

فصل ۵

ریخته‌گری قطعات تزئینی

انواع قالب در تولید قطعات تزئینی

هنرآموز محترم پیشنهاد می‌شود در این قسمت تاریخچه‌ای از ریخته‌گری برای هنرجویان بازگو شود تا آنها با روند این روش تولید، آشنا شوند و دریابند چه عامل یا عواملی باعث شد که ریخته‌گری به عنوان مهم‌ترین روش تولید مطرح شود. هنرآموزان محترم هنگام بیان کردن تاریخچه، به ساخت قطعات تزئینی نیز توجه داشته باشند تا علاوه بر آشنایی اجمالی با روند ساخت این قطعات در قدیم، هنرجویان با فرهنگ و تمدن کشورهای مختلف به‌خصوص ایران آشنا شوند. بنابراین بهتر است عکس‌های مجسمه‌های تزئینی قدیمی را از قبل آماده و اطلاعاتی دربارهٔ مجسمه شامل روش ساخت، زمان ساخت و نوع آلیاژ به‌کار رفته پیدا کنند. اگر این تبادلات و نشان دادن تصویر مجسمه‌ها با ویدئو پروژکتور در سالن‌های سمعی و بصری انجام گیرد نتیجه‌ای بهتر در بر خواهد داشت. پس از آن انواع روش‌های ریخته‌گری را با هنرجویان مرور کنید. فیلم‌هایی متنوع از ریخته‌گری را نشان دهید و از هنرجو تفاوت هر روشی که مشاهده می‌کنند با روش‌های قبلی جویا شوید. از هنرجویان سؤال بپرسید با کدام یک از این روش‌ها راحت‌تر می‌توان مجسمه‌های طرح‌دار تولید کرد. دلایل آنها را بخواهید و ضمن یادداشت کردن موارد مطرح‌شده، آنها را در میان هنرجویان به بحث بگذارید.

دانش‌افزایی

فرایند ریخته‌گری در این نوع قالب‌ها بر اساس نوع مدل، در دو گروه طبقه‌بندی می‌شود:

۱ ریخته‌گری در قالب‌های موقت با استفاده از مدل‌های ذوب‌شونده

■ ریخته‌گری در قالب‌های موقت با استفاده از مدل‌های پلی‌استیرنی (ریخته‌گری فومی)

■ ریخته‌گری در قالب‌های موقت با استفاده از مدل‌های مومی (ریخته‌گری دقیق)

۲ ریخته‌گری در قالب‌های موقت با استفاده از مدل‌های دائمی

استفاده از مدل دائمی در قالب‌های موقت آسان‌ترین و رایج‌ترین روش ریخته‌گری است که بارزترین آنها ریخته‌گری در ماسه‌تر است اصولاً انواع قالب‌هایی که در این طبقه قرار می‌گیرند بر اساس نوع چسب موجود در مواد قالب، رده‌بندی می‌شوند.

■ ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای بر پایهٔ چسب خاک‌رس (ریخته‌گری در ماسه تر)

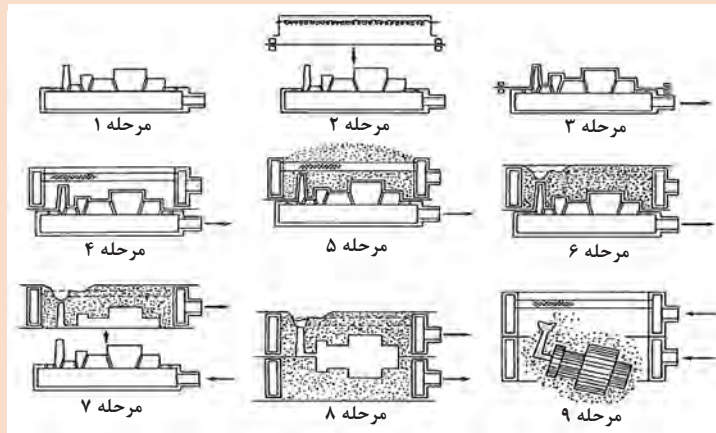
■ ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای بر پایهٔ چسب‌های آلی و شیمیایی

■ ریخته‌گری در قالب‌های گچی

■ ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای بدون استفاده از چسب (ریخته‌گری با کمک قالب‌گیری تحت خلأ) (Vacuum Moulding)

از ویژگی‌های مهم ریخته‌گری تحت خلأ این است که در ماسه به‌کار رفته برای ساخت قالب از هیچ‌گونه چسب یا رطوبتی استفاده نشده است، در حقیقت ماسه به

کمک نیروی حاصل از خلأ محفظه قالب را می‌سازد. اگر چه هر دو مدل صفحه‌ای و دو تکه را می‌توان برای این پروسه انتخاب کرد اما وجود روزه‌های ریز روی مدل برای مکش خلأ الزامی است. علاوه بر این، مدل باید روی یک صفحه حامل توخالی جهت انجام مکش، تعبیه شود. یک پوسته بسیار نازک از پلاستیک روی مدل کشیده می‌شود و عملیات مکش آغاز می‌گردد. در اثر این کار پلاستیک کاملاً به سطح مدل می‌چسبند. در ادامه درجه‌ای که منفذهایی برای مکش دارد بر روی مدل قرار گرفته و از ماسه پر می‌گردد. حوضچه باریز و راهگاه یا از اول روی مدل ساخته یا پس از این مرحله درون ماسه شکل داده می‌شود. یک پلاستیک نازک دیگر روی قالب قرار می‌گیرد و مکش از طرف درجه‌ها نیز آغاز می‌گردد که نتیجه آن، چسبیدن پلاستیک به قالب است. در حالی که مکش از طرف درجه‌ها ادامه دارد با قطع کردن مکش از طرف صفحه حامل، مدل از قالب خارج می‌شود. در انتها پس از مونتاژ کردن نیم قالب‌های بالا و پایین عملیات مذاب‌ریزی انجام می‌گیرد و پس از سرد شدن قطعه، مکش از درجه‌ها نیز قطع می‌شود. بیشتر آلیاژهایی که قابلیت ریخته‌گری در قالب‌های تر را دارند با این روش نیز قابل ریختن هستند.



مراحل مختلف فرایند ریخته‌گری تحت خلأ

- مرحله ۱: قرار گرفتن مدل روی یک صفحه حامل توخالی؛
- مرحله ۲: استفاده از یک هیتر جهت نرم کردن فیلم نازک پلاستیکی؛
- مرحله ۳: کشیدن پلاستیک روی مدل و آغاز مکش؛
- مرحله ۴: قرار دادن درجه بر روی مدل؛
- مرحله ۵: پر کردن درجه از ماسه خشک؛
- مرحله ۶: تعبیه کردن حوضچه بالای راهگاه؛
- مرحله ۷: قطع کردن مکش صفحه حامل توخالی و آغاز مکش درجه و جدا کردن مدل از قالب؛
- مرحله ۸: مونتاژ کردن قالب؛
- مرحله ۹: مذاب‌ریزی و قطع مکش.



ریخته‌گری قطعات تزئینی در قالب‌های موقت با استفاده از مدل‌های دائمی مدل‌های تزئینی مشابه مدل‌های زیر را از قبل آماده کنید. پس از اتمام بحث دسته‌بندی انواع قالب‌ها و روش‌های ریخته‌گری، هنرجویان را به کارگاه برده و بر اساس تعداد آمار کلاس آنها را در گروه‌های تک نفری، دو نفری یا چند نفری تقسیم‌بندی نمایید. به هر گروه یک مدل بدهید و از آنها بخواهید که با روش انتخابی خود از بین این سه روش (روش ریخته‌گری ماسه تر، روش ریخته‌گری CO_2 ، روش ریخته‌گری پوسته‌ای) یک روش را انتخاب کرده و قالب‌گیری کنند. پس از تکمیل شدن قالب‌ها، گروه‌ها ذوب‌ریزی آلومینیوم را انجام دهند. در انتها لازم است قالب‌ها با هم مقایسه شوند.



باید یادآور شد که نباید ماسه رزین‌دار با ماسه معمولی کارگاه قاطی شود و به چرخه ماسه کارگاه برگردد. از ماسه‌های استفاده شده به روش CO_2 هم می‌توان به‌عنوان پشت‌بند برای قالب‌های جدید دوباره استفاده کرد.

نکته



فعالیت عملی ۲



ریخته‌گری قطعات تزئینی به وسیله روش فومی (Lost Foam Casting):

از هنرجویان بخواهید با یک تکه فوم، مدل شکل‌دار و دلخواه خود را درست کنند. این کار را می‌توانند با ابزارهای موجود در کارگاه انجام دهند یا از قبل، مدل‌های خود را خارج از هنرستان با دستگاه‌های برش، بسازند. بهتر است انتخاب نوع مدل و اندازه آنها کاملاً اختیاری باشد تا در صورت بزرگی و کوچکی مدل‌ها، هنرجویان با مشکلات قالب‌گیری و مذاب‌ریزی روبه‌رو شوند. بهتر است برای این فعالیت، گروه‌های هنرجویان تک نفری باشد تا خلاقیت آنها هم در ساخت مدل مشخص شود. هنرجویان پس از ساخت مدل و قالب‌گیری، مذاب‌ریزی انجام دهند.

نکته



فعالیتی که در کتاب آلیاژسازی و مدل‌سازی برای ساخت جاکلیدی آماده است در راستای این فعالیت است و قابلیت جایگزینی با این فعالیت را دارد.

نکته
زیست‌محیطی



هنرجویان باید در هنگام درست کردن مدل در کارگاه از پخش شدن دانه‌های فوم جلوگیری کنند.

نکته



چنانچه قرار است مدل در خارج از محیط هنرستان با دستگاه‌های لیزر یا امثال آن ساخته شود جهت افزایش سرعت روند کار، پیشنهاد می‌شود، نقشه مدل (اتوکد) از قبل آماده شود.

دانش‌افزایی

یکی از روش‌های قالب‌گیری مدل‌های فومی استفاده از دوغاب سرامیکی است. در این روش میکروماسه با محلول سیلیکا کلوئیدی تشکیل دوغاب سرامیکی می‌دهد. سپس مدل‌های فومی را با دوغاب پوشش می‌دهند پس از خشک شدن دوغاب، مدل‌ها درون ظرف یا درجه قرار می‌گیرند و ماسه خشک اطراف آنها کوبیده می‌شود. معمولاً قطعات تولید شده در این روش از نظر کیفیت سطح بهتر از روش‌های متداول معمولی است.

موم ریخته‌گری و اجزای تشکیل‌دهنده آن و ساخت قالب

گچی ساده برای مدل مومی

نکته



پیشنهاد می‌شود هنرآموزان محترم، با توجه به حجم مطالب تدریس این قسمت را در دو الی سه جلسه انجام دهند. ترتیب انجام فعالیت‌های عملی با توجه به صلاحدید هنرآموز است.

ابتدا مقداری رزین درخت کاج و موم زنبور عسل جمع‌آوری کنید و با چند تکه پارافین به همراه خود به کلاس بیاورید. تدریس را با طرح سؤالاتی مشابه سؤالات زیر آغاز کنید:

- ۱ موم چیست؟ در کجاها این ماده کاربرد دارد؟
 - ۲ موم عسل چه ویژگی‌هایی دارد؟
 - ۳ ماده اصلی برای ساخت شمع چیست؟ و این ماده چه ویژگی‌هایی دارد؟ از این ماده به غیر از شمع در کجاها استفاده می‌شود؟
 - ۴ در گذشته برای ساخت کشتی از چه نوع چسبی استفاده می‌شده است؟ این ماده چه خصوصیتی دارد و در کدام دسته از مواد شیمیایی جا دارد؟
- پس از آنکه جواب‌های هنرجویان را دریافت کردید، پاسخ‌های مناسب به سؤالات بالا ارائه دهید. از ماده پارافین شروع کنید، بعد از ذکر خصوصیات و طریقه به‌دست آمدن آن، از نقش پارافین در صنایع مختلف به خصوص ریخته‌گری صحبت کنید. رعایت نکات ایمنی و زیست‌محیطی هنگام کار با پارافین حتماً بیان شود. در مرحله دوم پس از تقسیم‌بندی رزین‌ها، درباره رزین‌های طبیعی توضیح داده شود و روش‌های عمده جمع‌آوری رزین درخت کاج به عنوان تحقیق به هنرجویان واگذار شود.
- سپس هنرجویان را به کارگاه برده تا با ساخت قالب‌های گچی آشنا شوند و موم‌زدایی قالب‌ها و اثر گرما بر روی موادی همچون پارافین را شاهد باشند.

دانش‌افزایی

پارافین

پارافین یک جامد نرم است که از نفت، زغال سنگ و امثال اینها تشکیل شده است که در بازار به شکل‌های مختلف همانند مایع یا جامد یافت می‌شود. بعضی از پارافین‌های جامد که گاه با نام واکس پارافین نیز شناخته می‌شود حالت ژله‌ای دارند. در واقع هر زمان که سخن از واکس پارافین به میان می‌آید مقصود اصلی همان پارافین جامد است. نوع جامد پارافین به خصوص ژله‌ای از دیرباز بیش از هر کار دیگری برای تولید انواع شمع مورد استفاده قرار گرفته است. پارافین شامل ترکیبی از مولکول‌های هیدروکربنی است که از بیست تا چهل کربن اتمی تشکیل

می‌شود. در شیمی، پارافین نامی عمومی برای آلکان‌های با فرمول شیمیایی C_nH_{2n+2} است. پارافین در دمای اتاق جامد است و بسته به نوع پارافین نقطه ذوب آن از ۴۵ درجه سلسیوس تا حداکثر ۷۰ درجه سلسیوس متفاوت است. چگالی پارافین تقریباً مشابه چگالی یخ در حدود ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. در آب و الکل حل نمی‌شود اما در اتر، بنزن و استرهای خاص حل می‌شود. پارافین یک عایق الکتریکی بسیار خوب با مقاومت الکتریکی بین ۱۰^{۱۳} و ۱۰^{۱۷} اهم متر است و این یعنی تقریباً بهتر از تمام مواد دیگر است.

رزین

رزین ترکیبی طبیعی یا مصنوعی است که بسیار چسبناک است و تحت شرایطی سخت می‌شود که در آب حل نمی‌شود. این ترکیب به روش‌های گوناگون طبقه‌بندی می‌شود که بستگی به ترکیب شیمیایی و مورد مصرف آن دارد. همچنین کاربردهای زیادی در هنر، تولید پلیمر و غیره دارد.

رزین طبیعی از گیاهان به‌دست می‌آید. بهترین نمونه آن شیره درخت کاج است که بوی تندی دارد. این ماده بسیار چسبنده است ولی در اثر گذشت زمان سفت می‌شود. تعدادی از گیاهان دیگر نیز رزین تولید می‌کنند. رنگ رزین گیاهی از شفاف تا قهوه‌ای تیره متغیر است و میزان سختی و تیرگی آن متفاوت است. بعضی از آنها به شدت فرار هستند چون حاوی ترکیبات ناپایدارند. اشتباه در تشخیص درختان رزین‌دار نیز گاهی می‌تواند باعث حوادث ناگوار شود، چون بعضی از آنها حاوی هپتان هستند که هیدروکربنی قابل اشتعال و انفجار است. هزاران سال است که بشر از رزین‌های طبیعی استفاده می‌کند. رزین کاج برای درزگیری قایق‌ها، مومیایی کردن اجساد، ظروف غذا و مصارف دیگر استفاده شده است. همچنین در ساخت لاک، جلا، جوهر، عطر، جواهر و بسیاری از اشیای دیگر مورد استفاده است. با پیشرفت تکنولوژی، بشر پی برد که این ماده می‌تواند به پلیمر تبدیل شود و کمی بعد از آن رزین‌های مصنوعی کشف شد. در اکثر موارد پلیمرها با رزین‌های مصنوعی ساخته می‌شوند که ارزان‌تر و تصفیه آنها راحت‌تر است. انواع رزین‌های مصنوعی پایدارتر، قابل پیش‌بینی‌تر و یکنواخت‌تر از رزین‌های طبیعی هستند چون تحت شرایط کنترل شده ساخته می‌شوند و امکان تولیدات ناخالص در آن وجود ندارد. آنها از طریق ترکیب کردن مواد شیمیایی در آزمایشگاه ساخته می‌شوند و نتیجه واکنش تشکیل ترکیبات چسبناک است. این ماده می‌تواند در تولید پلاستیک، رنگ و بسیاری از مواد مشابه به جای رزین طبیعی مصرف شود. رزین پلی‌استر، رزین اپوکسی، رزین وینیل‌استر، رزین فنولیک نمونه‌هایی از رزین‌های مصنوعی هستند.



ساخت قالب‌های گچی با استفاده از مدل‌های مومی آماده و موم‌زدایی قالب: پیشنهاد می‌شود پیش از آنکه تولید مدل‌های مومی به هنرجویان آموزش داده شود از مدل‌های مومی طرح‌دار موجود در بازار همانند انواع شمع که به شکل‌های گل و عروسک هستند استفاده کنید.



نمونه مدل آماده در بازار

مرحله اول ساخت قالب گچی: هنرجویان را در کارگاه به گروه‌های دو الی سه نفری تقسیم کنید. به هر گروه یک مدل مومی از پیش آماده شده تحویل دهید. وظیفه هنرجویان ساخت قالب‌های گچی است. دو گروه اول باید با گچ نسوز ریخته‌گری (در صورتی که موجود باشد) و گروه‌های بعدی با مخلوط گچ ساختمانی و ماسه، قالب درست کنند. می‌توان درصد ماسه را برای گروه‌ها تا ۵۰ درصد به صورت پله‌ای افزایش داد. به‌طور مثال یک گروه فقط از گچ ساختمانی، گروه بعدی از مخلوط ۹۰ درصد وزنی گچ ساختمانی و ۱۰ درصد ماسه استفاده کند و این روند ادامه پیدا کند تا آخرین گروه، از مخلوط ۵۰ درصد ماسه و ۵۰ درصد گچ برای ساخت قالب استفاده کنند. مزیت این کار این است که می‌توان از مقایسه بین قالب‌ها، بهترین ترکیب مخلوط گچ و ماسه را به دست آورد. نکته‌ای که باید مد نظر داشت نوع ماسه است. بهترین نتایج برای این مخلوط استفاده از میکروماسه است. معمولاً برای این کار از میکرو سیلیسی که در بتن‌ریزی کاربرد دارد می‌توان استفاده کرد. هر گروه موظف است برای مدل مومی خود چارچوبی متناسب با مدل از چوب و گیره درست کند. استفاده از طلق هم برای ساخت درجه اطراف مدل مومی رایج است. هر گروه بعد از آماده کردن دوغاب گچ، آن را درون چارچوب یا درجه‌ای که ساختند بریزد. لازم است نکات را به هنرجویان متذکر شوید:

۱ همیشه باید گچ یا مخلوط آن را به آب اضافه کند.

۲ برای خارج کردن حباب‌های به دام افتاده هوا درون دوغاب تکان دادن قالب در هنگام دوغاب‌ریزی یا بعد از آن تا مرحله سخت شدن گچ الزامی است. با

انجام نشدن این کار زائده‌ای بر روی قطعه بعد از مذاب‌ریزی ایجاد خواهد شد. **۲** مدل مومی به علت سبکی در هنگام دوغاب‌ریزی از جای خود حرکت می‌کند به همین علت قبل از دوغاب‌ریزی حتماً مدل را محکم کنید.

مرحله دوم موم‌زدایی اولیه قالب‌های گچی: قالب‌های گچی که در مرحله قبلی توسط گروه‌ها ساخته شده است را می‌توان بلافاصله بعد از درست شدن موم‌زدایی کرد و هم می‌توان به جلسه بعد موکول کرد. انتخاب زمان موم‌زدایی بر عهده هنرآموز است که با توجه به زمان باقی‌مانده تصمیم بگیرد که چه زمانی این کار را انجام دهد. برای موم‌زدایی قالب‌های گچی احتیاج به وسایل زیر است:

۱ سطل فلزی برای جوشاندن آب متناسب با تعداد قالب‌ها

۲ صفحه‌ای مشبک یا توری مانند بزرگ‌تر از سطح مقطع سطل فلزی

سطل آب را روی شعله‌ای قرار دهید. قبل از به جوش آمدن آب توری را روی سطل آب گذاشته و سپس قالب‌ها را روی توری بچینید. قالب‌ها طوری روی توری چیده شده باشند که خروجی موم پایین و در تماس با بخار آب باشد. پس از به جوش آمدن آب موم‌زدایی آغاز می‌شود و موم بعد از ذوب شدن درون آب فرو می‌ریزد. هر چه قدر بخار آب بیشتر و با قدرت‌تر باشد موم‌زدایی قالب‌ها سریع‌تر انجام می‌شود. هنرجویان با رعایت نکات ایمنی هر چند دقیقه یک بار باید از قالب‌های خود بازدید کنند تا از روند اتمام فرایند موم‌زدایی اولیه اطمینان حاصل کنند. پس از آنکه آخرین قالب موم‌زدایی شد، هنرجویان باید شعله را خاموش کنند. ذکر این نکته ضروری است که به گروه‌ها و هنرجویان متذکر شوید، که وقتی آب درون سطل سرد شد اقدام به جمع‌آوری موم کنند. از این موم نمی‌توان بلافاصله برای ساخت مدل مومی جدید استفاده کرد باید موم را خشک کرد که این کار با قرار دادن موم در هوای محیط کارگاه و به مدت چند روز امکان‌پذیر است.

مرحله سوم موم‌زدایی ثانویه قالب‌های گچی و ذوب‌ریزی: برای مرحله موم‌زدایی ثانویه لازم است که به قالب حرارت داده شود. قالب‌های گچی مستعد ترک خوردن هستند این ترک خوردن به خاطر رطوبتی است که درون گچ وجود دارد و می‌خواهد در هنگام گرم شدن قالب خارج شود. هر چه قالب به آرامی گرم شود احتمال ترک خوردن قالب‌ها کمتر می‌شود. پروسه گرم کردن قالب‌ها با توجه به تجهیزات کارگاهی می‌تواند متفاوت باشد. می‌توان از هیترهای پخت ماهیچه استفاده کرد و در صورت نبود این امکانات می‌توان از بخاری‌های گازی کارگاه هم استفاده کرد. نکات ضروری این مرحله شامل موارد زیر است:

۱ قالب‌هایی که توسط هنرجویان ساخته شده‌اند باید با همدیگر و با یک عملیات،

گرم و مومزدایی شوند تا بتوان حالت مقایسه‌ای بین آنها را حفظ کرد.

۲ در صورتی که دمای قالب کنترل شود بهتر است هم‌زمان از فاکتورهای زمان و دما استفاده شود. یعنی ابتدا قالب‌ها را در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت مشخصی به‌طور مثال ۲ ساعت قرار دهید سپس دما را به میزان ۱۰ درجه سلسیوس افزایش دهید و این فرایند را تا دماهای بالا تکرار کنید.

۳ براساس اصول علمی و تئوری باید قالب‌ها تا دمای ۷۵۰ درجه سلسیوس خشک شوند و در دمای حدود ۶۵۰ درجه سلسیوس ذوب‌ریزی انجام گیرد. اما معمولاً امکان گرم کردن قالب‌ها به دلیل نبود تجهیزات، نوع گچ و مسئله ترک خوردن آن تا این دما وجود ندارد. در صورت نداشتن تجهیزات لازم، بهترین حالت گرم کردن قالب تا دمای ۲۷۵ درجه سلسیوس است. در این دما می‌توان به مومزدایی کامل دست پیدا کرد اما به شرطی که زمان کافی داده شود.

- ۴ مومزدایی ثانویه با بخار شدن شدید موم همراه است هنگامی که هیچ بخاری از قالب خارج نشود به منزله مومزدایی کامل قالب است.
- ۵ سعی شود در همان دمای بالا ذوب‌ریزی انجام گیرد.
- ۶ توصیه می‌شود از ماسه پشت‌بند برای قالب‌ها استفاده شود.



نمونه ریخته شده آلومینیومی در قالب‌های گچی که از مدل‌های مومی آماده در بازار درست شده است.

در صورتی که قالب کامل مومزدایی نشده باشد در هنگام مذاب‌ریزی احتمال پاشش مذاب وجود دارد.

نکته ایمنی



نکته
زیست‌محیطی



بخار موم به‌خصوص موم‌های صنعتی و به‌ویژه پارافین به شدت مضر است. میزان گاز سمی متصاعد شده از موم در فضاهای بدون تهویه به تدریج افزایش می‌یابد و سبب ناراحتی‌هایی نظیر حساسیت و آسم می‌شود. موم‌هایی که در ساخت آنها از پارافین استفاده شده است مقادیر زیادی تولوئن و بنزن از خود متصاعد می‌کند. تولوئن سبب رخوت در انسان می‌شود و بنزن که در تنباکو نیز وجود دارد ماده‌ای سرطان‌زاست. بنابراین کارگاه باید حتماً دارای تهویه مطبوع باشد و استفاده از ماسک برای هنرجویان الزامی است.

فعالیت عملی ۲



ساخت قالب‌های گچی جهت تولید مدل‌های مومی از روی یک مدل اولیه نکته: قبل از شروع ساخت قالب جهت تولید مدل‌های مومی، احتیاج به مدل‌های اولیه داریم. لازم است انواع مختلف مدل از نظر طرح، اندازه و پیچیدگی در اختیار هنرجویان قرار گیرد. جنس مدل اولیه دارای محدودیت نیست و می‌توان از انواع مجسمه‌های گچی، پلاستیکی، پلی‌استری و فلزی استفاده کرد. می‌توان از مدل‌های پلی‌استری به عنوان بهترین مدل‌های اولیه براساس تنوع و قیمت نام برد. اما مهم‌تر از جنس مدل اولیه، تنوع آن است که هنرجو بتواند در یک پروسه زمانی با انواع مدل آشنا شود. برای تولید مدل‌های مومی توسط قالب‌های گچی، مدل‌های اولیه باید ساده و ترجیحاً دو تکه باشد و تولید مدل‌های مومی دارای شکل‌های پیچیده، توسط قالب‌های سیلیکونی انجام می‌گیرد.



دو هدف از انجام این فعالیت وجود دارد: اول اینکه هنرجو تفاوت بین قالب‌های گچی و سلیکونی را در تولید مدل‌های مومی متوجه شود و دوم اینکه هنرجو بداند که قالب‌های گچی که برای تولید موم استفاده می‌شود و احتیاج به هیچ‌گونه پخت و گرم شدن ندارند متفاوت از قالب‌هایی است که از گچ ساخته می‌شوند و عملیات مذاب‌ریزی درون آنها انجام می‌گیرد. (فعالیت عملی ۱)

مرحله اول ساخت قالب گچی: هنرجویان را به گروه‌های دو الی سه نفری تقسیم کنید. به هر گروه یک مدل ساده به‌طور مثال یک مهره شطرنج داده شود. وظیفه این هنرجویان ساخت مدل‌های مومی توسط قالب‌های گچی است. برای ساخت قالب‌های گچی نیاز به استفاده از موادی همانند خمیربازی و محلول بیوفیلیم وجود دارد. هنرجویان بعد از ساخت چهارچوب موقت توسط چوب و گیره، مدل را تا سطح جدایش درون خمیر بازی فرو کنند. قابل ذکر است که روی خمیر بازی حفره‌هایی را می‌توان تعبیه کرد که بعداً به عنوان راهنماهایی برای جفت شدن دو تکه قالب گچی استفاده می‌شود. بعد از قرار دادن خمیر بازی درون چارچوب، حتماً باید قبل از ریختن دوغاب گچ، خمیربازی و مدل را با محلول بیوفیلیم آغشته کرد. این کار را می‌توان با یک برس کوچک انجام داد. هنرجویان باید بدانند لزوم استفاده از این محلول به این دلیل است که گچ به مدل و خمیربازی نچسبد. پس از ساخت دوغاب گچ آن را درون درجه‌ای که ساخته‌اند بریزند. هنرجویان می‌توانند پس از سخت شدن تکه اول قالب، آن را از خمیربازی جدا کنند. مدل را کمی لق کرده و سپس نیمه قالب و مدل را درون چارچوب گذاشته و پس از آنکه سطح مدل و نیمه قالب را به محلول بیوفیلیم آغشته کردند، دوغاب ریزی لنگه بالایی قالب را انجام دهند. پس از سخت شدن لنگه بالایی قالب می‌توانند مدل را از قالب جدا و راهگاهی برای ریختن موم درون قالب تعبیه کنند.

مرحله دوم موم‌ریزی: بعد از ساخت قالب، هنرجویان باید عملیات موم‌ریزی را انجام دهند. برای هنرجویانی که به تازگی با مدل‌های مومی آشنا شده‌اند کار



با پارافین به علت شکنندگی زیاد، مشکل است بهتر است برای دفعات اول از موم ریخته‌گری یا موم دندانپزشکی استفاده شود. موم دندانپزشکی محصولی است که از موم طبیعی مانند موم زنبور، موم کارنوبا یا پارافین ساخته شده است. این ماده بسیار انعطاف‌پذیر است و دمای ذوبش در همان محدوده پارافین است که معمولاً به صورت ورق‌های نازک در بسته‌های نیم کیلویی و یا یک کیلویی در بازار عرضه می‌شود.

فصل پنجم: ریخته‌گری قطعات تزئینی

هنرجویان باید قالب‌های گچی که ساخته‌اند را با گیره، محکم نگه دارند. ظرفی متناسب با حجم موم مورد نیاز (موم دندان‌سازی) را روی حرارت قرار دهند و پس از ذوب و با رعایت اصول ایمنی عملیات موم‌ریزی را درون قالب انجام دهند. بعد از سپری کردن زمان مناسب برای انجماد موم، مدل‌های مومی توسط هنرجویان بیرون آورده شود.



مرحله سوم قالب‌گیری مدل‌های مومی: پس از آماده شدن مدل‌های مومی هنرجویان می‌توانند همانند فعالیت قبلی با این مدل‌ها قالب‌های گچی درست کنند و پس از موم‌زدایی، مذاب‌ریزی کنند.



بهتر است که برای مومریزی هنرجویان از یک کاور پلاستیکی استفاده کنند زیرا در صورت ریختن موم روی لباس پاک کردن آن مشکل است.



تهیه موم از پارافین

با توجه به قیمت بالای موم ریخته‌گری و موم دندان‌سازی در بازار از پارافین می‌توان به عنوان بهترین ماده برای ساخت مدل‌های مومی نام برد اما همان‌گونه که قبلاً ذکر شد پارافین ماده‌ای بسیار ترد است که کار با آن بسیار سخت است بنابراین باید با ماده‌ای ترکیب شود که انعطاف‌پذیری آن افزایش یابد. هدف از این فعالیت این است که هنرجویان تا حدودی با ساخت موم ریخته‌گری آشنا شوند.

مرحله اول ساخت موم ریخته‌گری: این مرحله توسط هنرآموز در حضور هنرجویان انجام شود. مقداری پارافین از نوع معمولی یا کریستالی تهیه کنید. آن را درون ظرف فلزی قرار دهید. دقت شود ظرف کاملاً آب‌بندی شده باشد تا در هنگام ذوب پارافین، نشت از آن صورت نگیرد. ظرف حاوی پارافین را حرارت دهید تا کاملاً ذوب شود. بهتر است از حرارت غیرمستقیم همانند بخار آب برای ذوب پارافین استفاده شود. روش حرارت دادن بستگی به امکانات هنرستان دارد. پس از آنکه پارافین ذوب شد، دمای آن را همچنان افزایش دهید؛ هنگامی که دما به حدود ۱۰۰ درجه سلسیوس رسید رزین درخت کاج را اضافه کنید. اضافه کردن رزین باید به صورت تدریجی و با هم زدن پارافین مذاب همراه باشد. با اضافه شدن رزین، رنگ پارافین به زردی تغییر پیدا می‌کند. اضافه شدن رزین باید تا زمانی ادامه یابد تا حالت فوق اشباع پیدا کند معمولاً رزین تا یک پنجم وزن پارافین قابلیت حل شدن درون آن را دارد. گاهی اوقات می‌توان به این ترکیب وازلین هم اضافه کرد. در انتها، مخلوط را از یک صافی رد کنید تا ناخالصی‌هایی که همراه رزین وارد شده، گرفته شود.

مرحله دوم و سوم (تهیه قالب، موم‌زدایی و مذاب‌ریزی) بر اساس دو فعالیت قبلی توسط هنرجویان صورت گیرد.



ذوب پارافین به شدت برای سلامتی مضر است حتماً برای ذوب از ماسک استفاده کنید و محیط کارگاه مجهز به تهویه مطبوع باشد.

نکته



■ در صورت استفاده از پارافین و در اختیار نداشتن رزین سعی شود ابتدا هنرجویان از مدل‌های ساده که پیچیدگی کمتری دارند به عنوان مدل استفاده کنند. چون پارافین سفید است می‌توان از رنگ دانه‌های شمع برای رنگ کردن آن بهره برد. دو الی سه گرم رنگ‌دانه برای یک کیلو پارافین کافی است. پس از ذوب پارافین رنگ‌دانه‌ها را به آن اضافه می‌کنند.

■ دمای مومریزی خیلی مهم است. دقیقاً مشکلاتی که در بحث عیب کشیدگی و مسئله تغذیه در مورد قطعات فلزی ریخته‌گری شده وجود دارد در مورد مدل‌های مومی هم شاهد هستیم به خصوص پارافین که انقباض زیادی در هنگام انجماد از خود نشان می‌دهد. برای قطعات نازک دما بالا و برای قطعات ضخیم سعی شود دمای پایین برای مومریزی انتخاب شود. هرچند تجربه نشان داده است که کیفیت سطح مدلی که با دمای بالا ریخته شده بهتر از دمای پایین است.

■ هدایت حرارتی پارافین همانند هدایت الکتریکی آن است، یعنی بسیار هدایت حرارتی آن پایین است در نتیجه باید به این نکته دقت کرد در قالب‌های سیلیکونی و یا گچی که هنرجویان استفاده می‌کنند به علت اینکه این قالب‌ها هم از هدایت حرارتی ضعیفی برخوردارند باید به زمان باز شدن قالب دقت کرد تا انجماد کامل پارافین صورت گیرد. گاهی لازم است برای جبران کمبود مذاب پارافین و یا موم و برطرف کردن عیب کشیدگی در هنگام انجماد در دفعات متعدد مقداری مذاب پارافین به قالب اضافه کرد.

نکته فنی



مدل‌های مومی به خصوص نمونه‌های پارافینی در محیط گرم تغییر شکل می‌دهند بنابراین چنانچه دمای کارگاه و انباری که محل تولید و نگهداری مدل‌های مومی است بالا باشد به خصوص در فصل‌های گرم سال احتمال خراب شدن مدل‌ها وجود دارد. بهتر است مدل‌های پارافینی را پس از درست کردن درون ظرف آب گذاشت.

نکته
زیست‌محیطی



تمیز کردن پارافین از کف کارگاه و یا لباس مشکل است بنابراین به هنرجویان آموزش بدهید که حتماً با لباس کار در کارگاه مومریزی حاضر باشند. آن قسمت از کارگاه که این عملیات انجام می‌شود با پلاستیک یا امثال آن پوشانده شود.

ساخت قالب‌های سیلیکونی

در این قسمت هنرجویان باید با ماده جدید جهت قالب‌گیری که سیلیکون است آشنا شوند. تا قبل از این، ذهن و فکر آنها محدود به مواد سنتی قالب‌گیری مانند ماسه و گچ است. از هنرجویان بخواهید توضیح دهند که در صورتی که مدل اولیه پیچیدگی فراوانی داشت و دارای شیب‌های منفی بود با توجه به اینکه موم ماده‌ای بسیار شکننده است چه راهکارهایی برای قالب‌گیری این نوع مدل‌ها در جهت تبدیل به مدل مومی دارند. از آنها بخواهید به موادی فکر کنند که برای قالب‌گیری انعطاف داشته باشند و پاسخ‌ها را مورد تحلیل و تجزیه قرار دهید. سپس در مورد چسب آکواریوم توضیحاتی ارائه دهید و از هنرجویان درباره اینکه آیا می‌شود برای تولید مدل مومی از روی یک مدل اولیه از این ماده استفاده کرد سؤالاتی از هنرجویان بپرسید. جواب و دلایلی که ارائه می‌شود را مورد بحث قرار دهید و بعد برای تکمیل تدریس از ترکیبات چسب آکواریوم و خصوصیات آنها حرف به میان بیاورید تا ذهن هنرجویان برای شناخت ماده سیلیکون آماده‌گی پیدا کند. در انتهای بحث درباره سیلیکون‌ها، انواع آن و ویژگی‌های آنها صحبت کنید. برای کار عملی این قسمت از هنرجویان بخواهید در کارگاه از هر نوع مجسمه‌ای که در خانه دارند با موادی مشابه چسب سیلیکون نمونه مومی آن را تهیه کنند.

دانش‌افزایی

سیلیکون‌ها گروه بسیار مفید و پرکاربردی از پلیمرها هستند. این مواد دارای ویژگی‌های خاص (منحصر به فرد) در دماهای بالا و پایین هستند. در مقابل شرایط جوی مانند رطوبت و نور، مقاومت خوبی دارند و تا دماهای نسبتاً بالا خاصیت لاستیکی خود را حفظ می‌کنند. از سیلیکون‌ها در ترکیب رنگ‌ها، صنعت لاستیک و روغن‌های صنعتی به‌طور گسترده استفاده می‌شود.

زنجیره اصلی این پلیمر متشکل از اتم‌های سیلیسیم (Si) و اکسیژن (O) است که دارای شاخه‌های جانبی متنوعی است.

جهت ساخت قالب به ساده‌ترین شکل ممکن می‌توان از سیلیکون قالب‌گیری یا RTV_۲ استفاده کرد. سیلیکون قالب‌گیری از جمله موادی است که در ساخت آسان و سریع قالب‌ها به کار می‌رود. بنابراین می‌توان از RTV_۲ به عنوان مهم‌ترین انواع سیلیکون‌ها در صنعت نام برد.

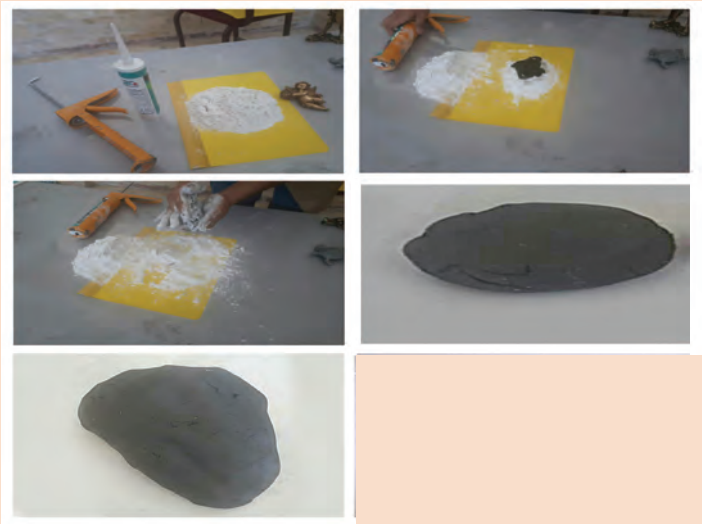


ساخت قالب سیلیکونی با استفاده از سیلیکون قالب‌گیری و خمیر چسب آکواریوم و نشاسته

نکته: استفاده از خمیر چسب آکواریوم و نشاسته برای قالب‌گیری فقط برای مدل‌های کوچک تا اندازه حداکثر ۱۵ سانتی‌متر کارایی دارد.

مرحله اول: هنرجویان در گروه‌های سه‌الی چهار نفری تقسیم‌بندی شوند و به هر گروه یک مدل اولیه داده شود. بهتر است انتخاب مدل بر اساس سلیقه هنرجو باشد. یک گروه از هنرجویان با سیلیکون قالب‌گیری و بقیه گروه‌ها با استفاده از چسب آکواریوم و نشاسته قالب‌گیری انجام دهند. گروهی که با سیلیکون قالب‌گیری کار می‌کنند مطابق دستورالعمل موجود در کتاب «آلیاژسازی و قالب‌گیری» عمل کنند. پس از ساخت درجه اطراف مدل با استفاده از وسایلی همانند طلق، باید مخلوط سیلیکون قالب‌گیری (شامل سیلیکون و هاردنر که قبلاً کاملاً باید به هم زده شوند) پس از آماده شدن، روی مدل ریخته شود و پس از سخت شدن سیلیکون آن برش داده شده و مدل خارج شود.

بقیه گروه‌ها باید مقداری نشاسته را کاملاً آسیاب کنند. هر چه نشاسته ریزتر باشد، قالب کیفیت سطح بهتری را پیدا می‌کند. چسب آکواریوم متناسب با اندازه مجسمه روی نشاسته بریزند و سپس خمیر (نشاسته و چسب آکواریوم) را ورز دهند. مقدار نشاسته باید به اندازه‌ای باشد که خمیر به دست آمده پس از ورز دادن به دست نچسبد. پس از آنکه خمیر آماده شد، مجسمه را با خمیر بپوشانند و پس از حدود یک ساعت پس از سفت شدن خمیر، می‌توانند همانند قالب‌های سیلیکونی آن را برش بدهند و مدل را خارج کنند.



مرحله دوم: هنرجویان باید پس از آماده شدن قالب‌های سیلیکونی، در صورت لزوم محل‌هایی را که به عنوان برش جهت خارج کردن مدل استفاده کردند با چسب شیشه‌ای ۵ سانتی‌متری کامل ببندند تا از درزها، موم مذاب نشت پیدا نکند. سپس موم‌ریزی را درون قالب انجام دهند.

مرحله سوم: این مرحله همانند فعالیت‌های قسمت قبل شامل قالب‌گیری مدل‌های موم با قالب‌های گچی، موم‌زدایی و مذاب‌ریزی است.

نکته



گاهی ظرافت و پیچیدگی مدل به شکلی است که لازم است برش‌های بسیار در قالب ایجاد کنید یعنی ممکن است قالب چندین تکه شود. بهتر است ابتدا قبل از برش دادن متوالی قالب، چند بار عملیات موم‌ریزی و خارج کردن مدل انجام گیرد تا در صورت گیر کردن مدل در قالب، آن نواحی از قالب برش داده شود.



از هنرجویان سؤال شود:

در صورتی که بخواهید عمل برش قالب‌ها صورت نگیرد باید طی چند مرحله جداگانه از سیلیکون قالب‌گیری استفاده کنید. فرایند این نوع عملیات را به صورت عملی نشان دهید.

دانش‌افزایی

استفاده از محلول آب و مایع ظرفشویی و چسب آکواریوم نیز برای ساخت قالب جهت تولید مدل مومی یک امری متداول است. در این روش حدود ۵۰ سی‌سی مایع ظرفشویی را درون یک لیتر آب حل کرده و سپس چسب آکواریوم درون محلول ریخته می‌شود. پس از ورز دادن کامل چسب درون آب، مجسمه را با آن می‌پوشانند. پس از خشک شدن همانند روش بالا می‌توان در صورت نیاز قالب را برش داد نکته‌ای که قابل ذکر است این است که مدت زمان خشک شدن چسب در این روش طولانی است.

ساخت قالب‌های سرامیکی

تدریس این قسمت با نشان دادن فیلم‌هایی از ریخته‌گری دقیق برای آموزش هنرجویان آغاز کنید. فیلم‌هایی که قالب‌های آنها با دوغاب سرامیکی ساخته می‌شوند. پس از نمایش دادن فیلم‌ها، جزئیات این روش برای هنرجویان بازگو کنید این جزئیات می‌تواند شامل تاریخچه این روش، مواد مصرفی، و تشریح ساخت قالب باشد. سپس از هنرجویان بخواهید ضمن مقایسه آنها با قالب‌های گچی، توضیح دهند این روش ممکن است چه مزایایی داشته باشد. در انتها هنرجویان را برای کار عملی به کارگاه هدایت کنید.

دانش‌افزایی

میکروسیلیس

نمونه‌ای ماسه سیلیسی وجود دارد که در بتن‌ریزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماسه در بازار به عنوان میکروسیلیس یا پودر سیلیکا معروف است. پودر میکروسیلیس، محصولی است به رنگ خاکستری روشن یا تیره که حاوی حدود ۹۴-۹۶ درصد سیلیسیم دی‌اکسید (SiO_2) می‌باشد. میکروسیلیس یک محصول جانبی از کوره‌های قوس الکتریکی است، که در صنعت بتن کاربرد زیادی دارد. این ماده با فیلتر کردن گازهای خروجی در بگ فیلترها، جمع‌آوری می‌شود و متوسط توزیع اندازه ذرات میکروسیلیس به شرح زیر است:

۲۰ درصد کمتر از ۰/۵ میکرومتر، ۷۰ درصد کمتر از ۰/۱۰ میکرومتر، ۹۵ درصد کمتر از ۰/۲۰ میکرومتر و ۹۹ درصد کمتر از ۰/۵۰ میکرومتر

از آنجا که اندازه اکثر ذرات این ماده کمتر از ۱۰۰ نانومتر است، می‌توان آنها را به عنوان نانوذرات محسوب کرد. در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی، اندازه ذرات میکروسیلیکا دو برابر کوچک‌تر است.



سیلیکا کلوئیدی

کلوئید سیلیکا (سیلیکا سل) سوسپانسیونی از ذرات آمورف، ریز، غیرمتخلخل و نوعاً کروی سیلیکا در یک فاز مایع است. کلوئید سیلیکا چگال تر از آب بوده و به روش الکترواستاتیک پایدار شده تا به ذرات اجازه بدهد به صورت معلق در محلول باقی بمانند. انواع مختلفی از سیلیکای کلوئیدی وجود دارد؛ اما تمام آنها از ذرات سیلیکا در محدوده اندازه ۳ تا ۱۵۰ نانومتر تشکیل شده‌اند. مورفولوژی این ذرات، کروی یا شبه کروی بوده و می‌توانند به صورت ذرات مجزا و یا به میزان محدودی به صورت کلوخه ظاهر شوند.

فعالیت عملی



ساخت دوغاب سرامیکی

در این فعالیت، هنرجویان در قالب تیم‌های دو نفری باید مدل‌های مومی را پوشش سرامیکی دهند.

مرحله اول: این مرحله شامل ساخت مدل‌های مومی است که بسته به نوع مدل اولیه تیم‌ها می‌توانند از قالب‌های سیلیکونی یا قالب‌های گچی استفاده کنند. هنرآموزان برای ساخت مدل‌های مومی هنرجویان در این مرحله نمره‌ای در نظر بگیرند. کیفیت سطح مدل‌ها و زمان باز شدن قالب‌ها می‌تواند به عنوان پارامترهای ارزشیابی تعیین شود.

مرحله دوم: هنرآموز محترم براساس تعداد مدل‌های مومی تیم‌ها یک ظرف پلاستیکی انتخاب کند. بهتر است اولین دوغاب سرامیکی توسط هنرآموز ساخته شود. درون ظرف حدوداً به نسبت یک لیتر محلول سیلیکا کلوئیدی یک کیلو میکروسیلیس اضافه شود و کاملاً به هم زده شود. برای ترشوندگی خوب مدل‌های مومی نسبت به دوغاب باید حدود ۳/۰ درصد وزنی دوغاب ماده سدیم لوریل اترسولفونات اضافه شود. در صورتی که این ماده در دسترس نبود می‌توان از چند قطره محلول مایع ظرفشویی استفاده کرد. مخلوط را کامل به هم بزنید و پس از

آماده شدن دوغاب، تیم‌ها باید پوشش دادن مدل‌هایشان را شروع کنند. هنرجویان باید ابتدا مدل‌ها را درون دوغاب غوطه‌ور کنند پس از آبکشی کامل، ماسه سیلیسی خشک روی مدل بریزند طوری این عمل انجام شود که تمام مدل پوشش داده شود. هر چه ماسه ریزتر باشد کیفیت سطح قطعه بهتر می‌شود. باید به پوشش زمان داده شود تا کاملاً خشک شود بهتر است از یک فن برای خشک شدن سریع‌تر پوشش استفاده کرد. پس از خشک شدن اولین پوشش، هنرجویان پوشش‌های بعدی هم به این شکل انجام دهند. این کار زمان بر باید آن‌قدر تکرار شود که لایه پوسته سرامیکی به حدود ۶ میلی‌متر برسد، این مقدار ضخامت برابر با حدود ده پوشش است. آخرین پوشش فقط شامل دوغاب خالی بدون ماسه خشک باشد.

مرحله سوم: هنرجویان باید برای موم‌زدایی قسمتی از قالب که در مراحل بعدی جزء سیستم راهگامی و محل حوضچه بارریز است از پوشش خالی کنند تا محلی برای خروج موم قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود هنرآموز محترم یک ظرف فلزی از پارافین مذاب آماده کند. مقدار پارافین باید براساس اندازه قالب باشد به طوری که قالب باید به‌طور کامل درون پارافین غوطه‌ور شود. هر چه دمای مذاب بالاتر باشد موم‌زدایی اولیه سریع‌تر انجام می‌گیرد. هنرجویان باید به وسیله یک سبد فلزی قالب را درون پارافین مذاب فرو ببرند. بعد از زمان مناسب و پس از اطمینان از خارج شدن کامل موم از قالب، باید موم‌زدایی ثانویه انجام شود.

موم‌زدایی ثانویه شامل حرارت دادن قالب تا دمای حدود ۷۰۰ درجه سلسیوس به طوری که قالب کاملاً از هرگونه موم عاری باشد. این کار با توجه امکانات هنرستان ممکن است به حالات‌های گوناگونی انجام می‌شود. راحت‌ترین کار این است که کوره زمینی به مدت چند دقیقه روشن شود و پس از خاموش کردن آن، قالب‌های مدل‌های مومی را درون کوره چیده شود. قابل ذکر است ممکن است در این عملیات قالب‌ها آتش بگیرند که مشکلی ایجاد نمی‌کند. در انتها پس از موم‌زدایی کامل می‌توان با استفاده از ماسه پشت‌بند ریخته‌گری قالب‌ها را انجام داد.

نکته



از روی تغییر رنگ قالب‌ها می‌توان به موم‌زدایی کامل پی برد.

نکته
زیست‌محیطی



دود ناشی از موم‌زدایی ثانویه بسیار کثیف و سرطان‌زا است لازم است در هنگام این عملیات از وسایل مناسب نظیر ماسک استفاده شود.

- ۱ راهنمای برنامه‌ریزی درسی رشتهٔ متالورژی (۱۳۹۴)، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۲ ریخته‌گری فلزات (۱۳۸۷)، امیر عابدی، پرویز مرعشی، انتشارات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی.
- ۳ محاسبات فنی تخصصی (۱۳۹۴)، سیاوش نظم‌دار شهری، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۴ شناخت فلزات (۱۳۹۴)، غلامرضا خلج، امیر ریاحی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۵ اصول متالورژی ریخته‌گری (۱۳۸۸)، حسن ثقفیان لاریجانی، منصور امامی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۶ چدن‌ها مبانی سیستم‌های راه‌گاهی و تغذیه‌گذاری (۱۳۶۱)، پرویز دوامی، انتشارات جامعه ریخته‌گران.
- ۷ نگرشی نوین بر طراحی سیستم‌های راه‌گاهی (۱۳۸۶)، محمدعلی بوترابی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.



هنرآموزان محترم، می‌توانند نظریه‌های اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه‌بردگاری تهران -

صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام‌نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب‌گاه: tvoccd.oerp.ir

دفترتالیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کارآموزان