

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

راهنمای هنر آموز

قالب گیری و آلیاژ سازی

رشته متالورژی

گروه مواد و فراوری

شاخه فنی و حرفه ای

پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه



وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



نام کتاب:
پدیده‌آورنده:
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:

راهنمای هنرآموز قالب‌گیری و آلیاژسازی - ۲۱۲۹۱۹
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش
حسن طبیب‌زاده، امیر ریاحی، حسن عبدالله‌زاده، محمد معتمدی، اسداله عابدی، غلامرضا
خلج، حسن حامد، حسن طبیب‌زاده و میثم بهره‌بر (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
محمدرضا بهرامپور، موسی امیری، اکبر ضیاء‌عزیزی، حسین خنامانی، داریوش اسدپور
و حامد بلوچ امدادی (اعضای گروه تألیف)

مدیریت آماده‌سازی هنری:
شناسه افزوده آماده‌سازی:
نشانی سازمان:

اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
جواد صفری (مدیر هنری) - مهلا مرتضوی (صفحه‌آرا)
تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir

ناشر:

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

چاپخانه:
سال انتشار و نوبت چاپ:

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
چاپ اول ۱۳۹۷

کلیه 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 به صورت چاپی
و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه،
عکس برداری، 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.



دست توانای معلم است که چشم انداز آینده ما را ترسیم می کند.
امام خمینی (قُدّس سرّه)

فصل اول: آلیاژسازی آلومینیوم	۱
فصل دوم: آلیاژسازی مس	۵۵
فصل سوم: آلیاژسازی چدن	۶۷
فصل چهارم: قالب گیری پوسته ای	۹۷
فصل پنجم: ریخته گری قطعات تزئینی	۱۰۷
منابع	۱۲۸

از الزامات اجرای برنامه درسی، وجود محتوای آموزشی جهت تحقق نیازهای فردی و اجتماعی و اهداف نظام تعلیم و تربیت می‌باشد. با توجه به تغییرات نظام آموزشی که حول محور سند تحول بنیادین آموزش و پرورش انجام شد چرخش‌های جدیدی از وضع موجود به مطلوب صورت پذیرفت. از جمله به نقش معلم از آموزش‌دهنده صرف، به مربی، اسوه و تسهیل‌کننده یادگیری و نقش دانش‌آموز از یادگیرنده منفعل به فراگیرنده فعال، تربیت‌جو و مشارکت‌پذیر و نقش محتوا از کتاب درسی به عنوان تنها رسانه آموزشی به برنامه محوری و بسته یادگیری (آموزشی) نام برد. بسته یادگیری شامل رسانه‌های متنوعی از جمله کتاب درسی دانش‌آموز، کتاب همراه دانش‌آموز/ هنرجو، کتاب راهنمای تدریس معلم/ هنرآموز، نرم‌افزارهای آموزشی، فیلم آموزشی و پوستر و... می‌باشد که با هم در تحقق اهداف یادگیری نقش ایفا می‌کنند. کتاب راهنمای هنرآموز جهت ایفای نقش تسهیل‌گری، انتقال‌دهنده و مرجعیت هنرآموز در نظام آموزشی برای هر کتاب درسی طراحی و تدوین شده است. در این رسانه سعی شده روش تدریس کلی و جلسه به جلسه به همراه تجهیزات، ابزارها و مواد مصرفی مورد نیاز هر جلسه، نکات مربوط به ایمنی و بهداشت فردی و محیطی آورده شود. همچنین نمونه طرح درس، تبیین پیچیدگی‌های یادگیری هنرجویان، هدایت و مدیریت کارگاه و کلاس در هنرستان، راهنمایی و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها، بیان شاخص‌های اصلی جهت ارزشیابی شایستگی و ارائه بازخورد، اشاره به اشتباهات و مشکلات رایج در یادگیری هنرجویان و روش سنجش و نمره‌دهی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت و ارگونومی، منابع مطالعاتی، نکات مهم در فرایند اجرا و آموزش در محیط یادگیری، بودجه‌بندی زمانی و صلاحیت‌های حرفه‌ای و تخصصی هنرآموزان و دیگر موارد آورده شده است.

امید است شما هنرآموزان گرامی با دقت و سعه صبر در راستای تحقق اهداف بسته آموزشی که با کوشش و تلاش مؤلفین گرانقدر تدوین و تألیف شده موفق باشید.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش



فصل ۱

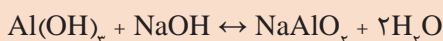
آلیاژسازی آلومینیوم

برای تدریس این قسمت از درس ابتدا مقدمه‌ای در مورد استخراج فلزات و انواع روش‌های استخراج بیان نمایید و در هنگام ارائه از هنرجویان بپرسید که استخراج چیست و از آنها بخواهید که برداشت‌شان را از استخراج فلزات بیان کنند. سعی کنید در هنگام بیان این قسمت فیلم‌هایی که در اختیار دارید را به نمایش بگذارید در هر قسمت که توانستید سؤالات انگیزشی در مورد استخراج از هنرجویان بپرسید و در هر جا که نیاز به توضیح بیشتر داشت با ثابت کردن فیلم به ارائه توضیحات بپردازید به نحوی که باعث توجه بیشتر آنها به استخراج و موضوع فیلم شود. سعی کنید که در فرصت‌های مناسب سؤال‌هایی مطرح کنید و برای پاسخ دادن به این سؤالات از هنرجویان کمک بگیرید یعنی ابتدا از هنرجویان بخواهید که در صورت آگاهی از جواب سؤال، نظر خود را اعلام نمایند. سپس با توضیحات خود، جواب صحیح را به هنرجویان بدهید. این امر باعث جلب توجه بیشتر هنرجویان و بارش فکری خواهد شد که فضای رقابتی بین هنرجویان ایجاد می‌کند و با هدایت شما این فضا به فضای بحث و تبادل نظر تبدیل می‌شود.

دانش‌افزایی

آلومینیوم برای اولین بار در سال ۱۸۵۵ در کشور فرانسه توسط شخصی به نام H.Sainte-Clavill Deville از طریق احیای آلومینیوم کلراید با سدیم تهیه شد. همانند اغلب موارد، در این مورد نیز مصارف مهم نظامی این فلز جدید منجر به پشتیبانی دولتی از تولید آن گردید. آلومینیوم از سنگ معدنی به نام بوکسیت که معمولاً حاوی ۴۰ تا ۶۰ درصد آلومینای هیدراته به همراه ناخالصی‌هایی مانند آهن اکسید، سیلیس و تیتان است تهیه می‌شود. این اسم از نام Les baux ناحیه‌ای در فرانسه است که اولین بار این سنگ معدن را از آنجا استخراج کردند گرفته شده است. بوکسیت در اثر هوازدگی سطحی صخره‌های حاوی آلومینیوم، مانند گرانیت و بازالت، در مناطق گرمسیری تشکیل می‌شود. در خاک رس، سنگ‌های رسی و سایر مینرال‌ها مقادیر بسیار زیادی آلومینیوم وجود دارد ولی استخراج آن از این مواد مشکل و غیره اقتصادی است. یک استثنا در این مورد کشور روسیه است که در آن ذخایر بوکسیت پرعیار موجود نیست و چند کارخانه تولیدی در مناطقی دور از منابع این سنگ معدن وجود دارد. تولید آلومینیوم از بوکسیت دو فرایند مجزا که اغلب در دو مکان کاملاً متفاوت انجام می‌شود را به کار می‌گیرد. ابتدا با استفاده از فرایند انحصاری بایر، که اساساً عبارت است از حل کردن بوکسیت خرد شده توسط یک محلول سود غلیظ در دمای ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد، آلومینای خالص (Al_2O_3) تهیه می‌شود. بخش

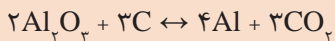
اعظم آلومینا به این طریق خارج می شود و باقی مانده آن به صورت رسوب غیرقابل انحلالی که لجن قرمز نامیده می شود و قسمت اصلی آن آهن اکسید و سیلیکا (سیلیسیم اکسید) است از طریق فیلتر کردن جدا می شود. با افزودن بلورهای آلومینیوم تری هیدرات به عنوان هسته های اولیه، به محلول حاصل سرد شده، واکنش شیمیایی معکوس انجام می گیرد و بدین ترتیب محلول سود بازیابی شده و مجدداً استفاده می شود. کل این فرایند را می توان در فرمول زیر خلاصه کرد:



سپس تری هیدرات آلومینای حاصل را در یک کوره گردان در 1200°C تکلیس می کنند تا آب تبلور آن گرفته شود و پودر نرم آلومینا حاصل شود. آلومینا دارای نقطه ذوب بالا (2040°C) و هدایت الکتریکی ضعیفی است. کلید موفقیت تولید آلومینیوم در حل کردن آلومینا در کریولیت مذاب (Na_3AlF_6) نهفته است و یک نمونه از محلول الکترولیت دارای ترکیبی حاوی ۸۰-۹۰٪ کریولیت و ۲-۸٪ آلومینا به همراه مواد افزودنی مانند فلوراید های آلومینیوم و کلسیم است، اولین کریولیت از منابع غیر قابل دسترسی مانند گرینلند تهیه شده است ولی امروزه به صورت مصنوعی ساخته می شود. شکل ۱ یک مقطع از سلول تولید چند آندی را ترسیم می کند. پوسته خارجی این سلول از یک جعبه چهار گوش فولادی آستر شده با آجر تشکیل می شود که دارای قطعات کربنی یا گرافیتی پخته شده است، که هم به عنوان کاتد و هم به عنوان جمع آوری کننده آلومینیوم مذاب عمل می کند. آند از قطعات کربنی پیش ساخته شده است که در داخل الکترولیت غوطه ور می شود و در اثر واکنش به تدریج مصرف می گردد. در روش دیگر از الکترود های تکی بزرگی (شودربرگ Soderberg) استفاده می شود که خمیری کربنی اند و همزمان با عملیات الکترولیز افزوده می شود و توسط حرارت هدر رفته از سلول می پزد. حمام مربوط در دمای حدود 950°C به کار گرفته می شود و سلول ها به صورت ردیفی که خط ظرف نامیده می شود قرار می گیرند. امروزه جریان برق برقرار شده در این سیستم تا ۲۸۵۰۰۰ آمپر با افت ولتاژی در حدود ۵ ولت در هر سلول می رسد. آلومینیوم تولیدی در فواصل زمانی لازم از طریق سرریز کردن یا سیفون کردن خارج شده و آلومینای مورد نیاز مجدداً اضافه می شود.

مکانیزم دقیق واکنش الکترولیتی در سلول هنوز کاملاً مشخص نیست ولی احتمال دارد یون های حامل جریان برق یون های Na^+ ، AlF_4^- و AlF_6^{3-} و تعدادی یون پیچیده تر مانند AlO_2^- باشند. احتمالاً یون های آلومینیوم فلوراید برای تولید آلومینیوم فلزی و یون های F^- در کاتد مصرف می شوند در حالی که در آند یون های پیچیده تر تجزیه شده و اکسیژن تولید می کند که تشکیل CO_2

می‌نماید. واکنش کلی را می‌توان به صورت زیر نوشت:



همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید، فاکتور مهم در تولید آلومینیوم مصرف برق است، که امروزه علی‌رغم تغییرات و تصحیحاتی که در قسمت‌های مختلف فرایند انجام می‌گیرد هنوز برق مورد نیاز برای تولید یک تن آلومینیوم از آلومینا در حدود ۱۳۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ کیلووات ساعت است.

خواص و کاربرد آلومینیوم

برای تدریس این قسمت بهتر است از هنرجویان بخواهید که کاربردهایی از آلومینیوم که اطرافشان یا در منزل می‌بینند بیان کنند سپس با نشان دادن چند عکس یا فیلم از کاربرد آلومینیوم در صنعت از هنرجویان بخواهید کاربردهای بیشتری مثال بزنند و درباره علت کاربرد آن نیز توضیح دهند. در صورت امکان می‌توان چند قطعه تولیدشده از آلیاژهای آلومینیوم را به هنرجویان نشان داد. سپس از هنرجویان خواسته شود که فعالیت آورده شده را به صورت انفرادی یا گروهی انجام دهند و نتیجه را در کلاس بیان کنند و درستی نتایج آنها بررسی و اصلاح گردد.

دانش‌افزایی

نقطه ذوب آلومینیوم ۶۶۰ و نقطه جوش آن ۲۰۵۷ درجه سلسیوس است. نقطه ذوب پایین آلومینیوم نسبت به مس (۱۰۸۳ درجه سلسیوس) و آهن (۱۵۳۹ درجه سلسیوس) و مقایسه وزن مخصوص و سایر خواص فیزیکی و مکانیکی این سه فلز و آلیاژهای آنها یکی از دلایل عمده گسترش روزافزون و کاربردهای آلومینیوم در صنعت می‌باشد، زیرا برای ریخته‌گری و ذوب این فلز تقریباً امکان استفاده از تمام کوره‌های صنعتی ذوب معمولی و با قدرت حرارتی کم میسر است. آلومینیوم بعد از منیزیم سبک‌ترین فلز صنعتی است. چگالی آن برابر ۲/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. سبکی آلومینیوم یکی دیگر از عوامل مهم در کاربردهای صنعتی آن می‌باشد. چنانچه چگالی آلومینیوم با مس (۸/۹) و آهن (۷/۸) مقایسه شود، نتیجه می‌شود که برای ساخت قطعاتی با شکل مشابه از آلومینیوم نسبت به مس ۳۰ درصد و نسبت به آهن ۳۴ درصد کاهش وزن وجود دارد.

آلومینیوم یکی از فلزات با هدایت خوب است و هدایت حرارتی آن تقریباً ۵۵/۷ درصد مس و مقاومت الکتریکی آن برابر ۲/۶۵۵ میکرواوم بر سانتی‌متر مربع است (۱/۵۸ برابر ضعیف‌تر از مس) که در مقایسه با مس به نسبت چگالی، هدایت

حجمی آلومینیوم از مس بیشتر است.

آلومینیوم فلزی نرم است که درصد ازدیاد طول نسبی کششی آن نسبتاً بالا ولی سختی آن تقریباً کم است. قابلیت آلیاژسازی و استفاده از آلیاژهای مختلف آلومینیوم با عناصری مانند سیلیسیم، منیزیم و مس باعث شده در حالی که خواص فیزیکی آلومینیوم نظیر وزن مخصوص افزایش قابل توجهی نداشته (حتی نقطه ذوب آن کاهش یابد) آلیاژهای مقاومی حاصل گردد که سختی آن به مقادیر بالاتری برسد و از استحکام کششی و خواص مکانیکی بسیار بالایی برخوردار باشد. یکی دیگر از مشخصات عمده آلومینیوم که در گسترش زمینه‌های کاربرد این عنصر و آلیاژهای آن در صنعت نقش مهم و اساسی دارد، مقاومت این فلز در مقابل اکسیژن هوا و سایر عوامل خورنده شیمیایی نظیر آب دریا، برخی از مواد روغنی و... است. آلومینیوم به سرعت اکسید می‌شود، ولی اکسید حاصل تشکیل یک لایه فشرده و غیره متخلخل را می‌دهد که از نفوذ اکسیژن به قسمت‌های درونی قطعه جلوگیری کرده و خود حفاظت فلز را در مقابل اکسیژن برعهده می‌گیرد.

آلومینیوم صنعتی نه به صورت یک عنصر شیمیایی بلکه به صورت یک ماده در دسته‌های مختلف قرار می‌گیرد که از آلومینیوم خالص تجارتي با درجه خلوص حدود ۹۹ درصد تا آلومینیوم ویژه خالص با درجه خلوص ۹۹/۹۹ درصد تغییر می‌کند و بدیهی است که هر یک کاربرد صنعتی خاص خود را دارد. مهم‌ترین زمینه‌های کاربرد آلومینیوم در صنایع مختلف عبارت‌اند از:

۱) **مصارف خانگی:** نظیر کتری، قاشق، چنگال، قابلمه، و قسمت‌هایی از یخچال. توسعه و گسترش آلومینیوم در ساخت وسایل خانگی فوق بر دلایل متعددی استوار است که مهم‌ترین آنها مقاومت آلومینیوم در مقابل اکسیژن (هوا)، سبکی و هدایت حرارتی می‌باشد. علاوه بر مشخصات فوق آلیاژهای آلومینیوم که دارای مقدار بسیار کمی تیتانیوم هستند، قابلیت شستشو و پرداخت کاری بسیار زیادی داشته و تحت نام تجارتي آلپاکا و آلپاکس در ساخت قاشق و چنگال به کار می‌روند.

۲) **مصارف ساختمانی:** نظیر در، پنجره، دستگیره در و... به صورت ریختگی و نوردی (کارشده) توسعه و گسترش آلومینیوم در مصارف ساختمانی علاوه بر سبکی و زنگ نزدن بر استحکام نسبی و همچنین قابلیت آبکاری الکتریکی آنها استوار است. قطعات فوق می‌توانند علاوه بر مقاومت در مقابل عوامل جوی و مکانیکی و تحمل نیروهای فشاری در رنگ‌های متنوع و ثابت نیز عرضه شود.

۳) **مصارف شهرسازی:** نظیر لوله، اتصالات، پمپ‌های آب و... . مهم‌ترین دلایل موارد مصرف آلومینیوم در این زمینه‌ها علاوه بر مشخصات

فوق، مقاومت آنها در در مقابل آب و رطوبت استوار است.

۴ **مصارف هواپیمایی:** در صنایع هواپیمایی، وزن و سبکی قطعات در کنار استحکام آنها از اهمیت ویژه برخوردار است و همین امر باعث توسعه کاربرد آلومینیوم در صنایع گردیده است. از طرف دیگر قابلیت شکل پذیری آلومینیوم و آلیاژهای آن از طریق روش‌های مختلف نظیر ریخته‌گری، نورد، فشارکاری و پتک کاری (آهن‌گری) باعث گردیده است که هر قطعه با مشخصات مکانیکی خواسته شده را بتوان از یکی از انواع آلیاژهای آلومینیوم تهیه کرد.

۵ **مصارف اتومبیل‌سازی و قطار:** بنابر دلایل عمده فوق، از آلومینیوم به صورت قطعات مختلف و به ویژه در ساخت پیستون، اگزوز، دستگیره کاربراتور و.... استفاده می‌شود.

۶ **مصارف کشتی‌سازی و زیردریایی:** علاوه بر سبک بودن، مقاومت به خوردگی آلیاژهای آلومینیوم در مقابل نمک‌های دریا و آب دریا یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاربرد آلومینیوم در قسمت‌های مختلف زیر بدنه، پروانه، پمپ و سایر قطعات کمکی در کشتی‌ها است.

۷ **مصارف تجاری و بسته‌بندی:** نظیر بسته‌بندی‌های چای، مواد لبنی، پاکت شیر، در بطری. آلومینیوم به عنوان لفاف و پوشش در بسته‌بندی انواع محصولات تجاری به منظور جلوگیری از جذب رطوبت و با توجه به سبکی آن به کار می‌رود، این پدیده به دلیل آن است که آلومینیوم از طریق عملیات نورد به ضخامتی تا حدود ۱۰ میکرون و کمتر از آن می‌رسد که از آنها زوررق تهیه می‌گردد.

۸ **مصارف الکتریکی:** نظیر کابل‌ها، اتصالات. هدایت الکتریکی مطلوب آلومینیوم و خواص هدایت الکتریکی حجمی بهتر از تمام عناصر و فلزات و به خصوص در مقایسه با مس، دلیل اصلی استفاده از آلومینیوم در مصارف الکتریکی است. بعد از انجام فعالیت قبل، در مورد خواص آلومینیوم به خصوص مقاومت به خوردگی و علت این خاصیت همچنین روش تولید قطعات آلومینیومی بحث و تبادل نظر شود سعی شود که تمام هنرجویان در بحث شرکت کنند می‌توان با پرسیدن سؤالات ذهن هنرجویان را به سمت نحوه تقسیم‌بندی آلیاژها سوق داد یا با پرسیدن سؤالاتی از دانش‌آموزانی که در بحث کلاسی شرکت نمی‌کنند نظر آنها را جویا شد و آنها را در بحث کلاسی شرکت داد.

استانداردهای آلیاژهای آلومینیوم

در اغلب کتاب‌ها و منابع که به تکنولوژی و فن شناسی اهمیت بیشتری می‌دهند، این تقسیم‌بندی براساس کاربرد و زمینه‌های مختلف کاربری فلز یا آلیاژ انجام می‌گیرد. به‌طورمثال در مبحث آلومینیوم تقسیم‌بندی به‌صورت آن است که:

آلیاژهای مقاوم مکانیکی، آلیاژهای مقاوم در مقابل خوردگی، آلیاژهای هادی و... ولی از نظر اصول علمی و نحوه تدریس نمی‌توان روش فوق را به‌طور کامل اجرا نمود و از این‌رو سعی می‌شود که با تقسیم‌بندی آلیاژها براساس کیفیت مطالعاتی و یادگیری در هر قسمت به زمینه‌های کاربرد آنها نیز اشاره شود.

آلیاژهای آلومینیوم به دو دسته آلیاژهای ریختگی^۱ و آلیاژهای نوردی (کارپذیر)^۲ تقسیم می‌شوند. هر یک از دو دسته فوق نیز به دو گروه آلیاژهای عملیات حرارتی‌پذیر و عملیات حرارتی‌ناپذیر تفکیک می‌شوند. در جداول ۱ و ۲، ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریختگی و نوردی آلومینیوم نشان داده شده است. در این جداول، آلیاژهایی که عملیات حرارتی‌پذیر هستند با حرف (T) مشخص شده است.

در خلال سال‌های اولیه صنعت آلومینیوم هرآلیاژ جدیدی که ساخته و پرداخته می‌شد به‌وسیله کمپانی‌های سازنده و به‌اسامی مورد قبول آنها نام‌گذاری می‌گردید و هیچ‌گونه نام‌گذاری بین‌المللی وجود نداشت. بعدها به تدریج سه گروه کلی نام‌گذاری عمومیت یافت که عبارت بودند از سیستم تجارتي، سیستم ASTM و سیستم SAE، مثلاً آلیاژی که امروزه آلیاژ آلومینیوم ۱۱۰۰ نامیده می‌شود در سیستم تجارتي، S_p، در سیستم ASTM، ۹۹۰A، و در سیستم SAE، ۲۵ نامیده می‌شد. به‌همین ترتیب در سایر کشورها نیز سیستم‌های قراردادی دیگر مورد استفاده قرار می‌گرفت. واضح است که یک چنین اسامی مختلف و درهمی برای صنعت نامناسب است به ناچار یک سیستم مشخص‌تر و استانداردتر به اسم A.A برای آلیاژهای کارپذیر آلومینیوم یعنی آلیاژهایی که از طریق مکانیکی به شکل لازم درمی‌آیند و نه از طریق ریخته‌گری پیشنهاد و اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سیستم نام‌گذاری، آلیاژهای کارپذیر آلومینیوم براساس عناصر آلیاژی اصلی خود به هشت گروه مختلف تقسیم می‌گردند (جدول ۲) در هرگروه نیز مشخصات کامل آلیاژ به‌وسیله چهار عدد از هم تفکیک می‌گردد، رقم اول از سمت چپ نشان‌دهنده گروه اصلی آلیاژی است، دومین رقم تغییر آلیاژ نسبت به آلیاژ اولیه را نشان می‌دهد. سومین و چهارمین عدد مقدار خلوص یا نوع آلیاژ را مشخص می‌کند.

۱. Cast alloy

۲. Wrought alloy

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژهای ریختگی آلومینیوم

«استاندارد انگلیسی LM، علامت اختصاری «Light Metals» فلزات سبک می باشد.

نوع آلیاژ LM	% منیزیم مس	% سیلیسیم	% منگنز	% عناصر دیگر	مصارف اصلی
LMO	-	-	-	آلومینیوم ۹۹/۵	- ریخته گری در ماسه برای مصارف الکتریکی - تهیه ورق در مصارف شیمیایی و مواد غذایی
LM۱ LM۲ LM۳	۷ ۱/۵ ۳/۵	- - -	۳ ۱۰/۰ -	روى ۳ - روى ۱۱	- مصارف عمومی ریخته گری در قالب ویژه مصارف ریخته گری تحت فشار - مصارف عمومی برای ریخته گری در ماسه
LM۴ (T) LM۵ LM۶	۳ - -	- ۴/۵ -	۵ - ۱۲	۰/۵ ۰/۵ -	- یکی از آلیاژهای بسیار مناسب برای ریخته گری - ریخته گری در ماسه و قالب ویژه، مقاوم به خوردگی در کشتی ها - آلیاژ بسیار سیال و مناسب برای ریختن قطعات نازک
LM۸ (T) LM۹ (T) LM۱۰ (T)	- - -	۰/۵ ۰/۴ ۱۰	۵ ۱۲/۰ -	- ۰/۵ -	- مقاوم به خوردگی با استحکام زیاد - مانند LM۶ با مقاومت بیشتر بعد از عملیات حرارتی - آلیاژ بسیار مقاوم در ریخته گری باید توجه شود
LM۱۱ LM۱۲ (T) LM۱۳	۴/۵ ۱۰ ۱/۰	- ۰/۳ ۱/۰	- - ۱۲	- روى ۰/۸ تا نیکل ۱/۶	- مقاومت بالا و نرمی زیاد - مناسب برای درجه حرارت های بالا - مناسب برای پیستون موتورهای بنزینی
LM۱۴ LM۱۶ (T) LM۱۸	۴ ۱/۵ -	۱/۵ ۰/۵ -	- ۵ ۵	نیکل ۲ - -	- مناسب برای درجه حرارت های بالا، پیستون های ویژه خواص مقاومتی بالا - مشخصات ریخته گری خوب مقاوم به خوردگی
LM۲۰ LM۲۱ LM۲۲ (T)	- ۴ ۳/۵	- ۰/۲ -	۱۲ ۶ ۵	- ۰/۵ ۰/۵	روى ۰/۲ تا
					- مانند LM۶ با ناخالصی های بیشتر - مانند LM۲ با قابلیت ماشین کاری بهتر - مصارف عمومی ریخته گری قالب ویژه

جدول ۲- برخی از آلیاژهای نوردی (کارپذیر) آلومینیوم استاندارد (A.A)

نوع آلیاژ	% آلومینیوم	% مس	% منیزیم	% سیلیسیم	% آهن	% منگنز	% سایر عناصر
۱۱۰۰	>۹۹	-	-	-	-	-	- - -
۱۱۳۰	>۹۹/۳	-	-	-	-	-	- - -
۱۲۳۵	>۹۹/۳۵	-	-	-	-	-	- - -
۱۳۴۳	>۹۹/۴۵	-	-	-	-	-	- - -
۱۰۶۰	>۹۹/۶۰	-	-	-	-	-	- - -
۲۰۱۱ (T)	باقی مانده	۵/۵	۰/۴	۰/۸	-	۰/۶	۰/۵ سرب -
۲۰۱۴ (T)	باقی مانده	۴/۴	۰/۶	-	-	-	۰/۵ بیسموت -
۲۰۱۸ (T)	باقی مانده	۴	۱-۱/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۷	نیکل ۲
۲۰۲۴ (T)	باقی مانده	۴/۴	-	-	۰/۸	۰/۸	- - -
۲۰۲۵ (T)	باقی مانده	۴/۵	-	-	-	-	- - -
۳۰۰۳	باقی مانده	-	-	-	-	۱/۲	- - -
۳۰۰۴	باقی مانده	-	۱/۰	-	-	۱/۲	- - -
۴۰۳۲	باقی مانده	۰/۹	۱/۱	۱۲/۲	-	-	نیکل ۰/۹
۴۰۴۳	باقی مانده	-	-	۵	-	-	- - -
۴۳۴۳	باقی مانده	-	-	۷/۵	-	-	- - -
۴۰۴۵	باقی مانده	-	-	۱۰/۰	-	-	- - -
۵۰۰۵	باقی مانده	-	۰/۸	-	-	-	- - -
۵۰۵۰	باقی مانده	-	۱/۴	-	-	-	- - -
۵۰۵۲	باقی مانده	-	۲/۵	-	-	-	تا ۰/۲۵ کرم
۵۲۵۲	باقی مانده	-	۲/۵	-	-	-	- - -
۵۱۵۴	باقی مانده	-	۳/۵	-	-	-	تا ۰/۲۵ کرم
۵۰۸۶	باقی مانده	-	۴/۰	-	-	۰/۵	تا ۰/۱ کرم
۶۱۰۱	باقی مانده	-	۰/۶	۰/۵	-	-	تا ۰/۶ بر
۶۱۵۱ (T)	باقی مانده	-	۰/۷	۰/۱	-	۰/۵	کرم تا ۰/۲۵
۶۰۶۳ (T)	باقی مانده	-	۰/۷	۰/۴	-	-	کرم تا ۰/۲۵
۶۰۶۱ (T)	باقی مانده	۰/۲	۱	۰/۶	-	-	-
۷۰۰۱ (T)	باقی مانده	۲/۱	۳/۰	-	-	-	روی ۷/۴
۷۰۷۵ (T)	باقی مانده	۱/۶	۲/۵	-	-	-	روی ۵/۶ کرم ۰/۳
۷۱۷۸ (T)	باقی مانده	۲	۲/۷	-	-	-	روی ۶/۸ کرم ۰/۳
۷۰۷۹ (T)	باقی مانده	۰/۶	۳/۲	-	-	۰/۲	روی ۴/۳

در رابطه با این سیستم نام‌گذاری ابتدا گروه ۱۰۰۰ در نظر گرفته می‌شود. این گروه در واقع آلومینیومی را نشان می‌دهد که حداقل خلوص آن ۹۹/۰۰ درصد است، یک درصد باقی‌مانده شامل برخی عناصر خاص چون سیلیسیم، آهن، منیزیم و تعداد دیگری عناصر است که آنها را بیشتر به عنوان ناخالصی معرفی می‌کنند تا عنصر آلیاژی. مقادیر این عناصر در جداول استاندارد ترکیبات آلیاژی

در واقع حداکثر مقدار مجاز هریک را نشان می‌دهد. این عناصر ناخالصی، هریک بر روی خواص مکانیکی و فیزیکی آلومینیوم تأثیر خاص خود را دارد و مقادیر بیش از حد مجاز آنها می‌تواند چنان تأثیری بگذارد که آلومینیوم خواص مورد درخواست را به دست نیاورد. اگر چنین چیزی اتفاق افتد لازم است که مقدار مجاز آن عنصر تغییر داده شود. در اینجا است که رقم دوم از سمت چپ نشان‌دهنده این تغییر یا کنترل مقدار عنصر مربوطه است. همان‌گونه که قبلاً گفته شد رقم‌های سوم و چهارم از سمت چپ مقدار ناخالصی (یا خلوص) را تعیین می‌کند. مثلاً ترکیب ۱۰۶۰ دارای حداقل درصد خلوص ۹۹/۶۰ درصد است. یعنی مقدار ناخالصی نمی‌تواند از ۰/۴ درصد بیشتر باشد.

با مقایسه این ترکیب با ترکیب ۱۲۶۰ که دارای همان مقدار ۰/۴ درصد ناخالصی است می‌توان دید که اختلاف بین این دو ترکیب این است که در ترکیب ۱۲۶۰ کنترل خاصی نیز بر روی مقدار یک یا چند عنصر وجود دارد، مثلاً در این مورد مجموع ناخالصی‌ها نباید بیش از ۰/۴ درصد باشد و مقدار مس نباید از یک دهم این مقدار (یعنی بیش از ۰/۰۴ درصد) باشد. توجه شود که خود رقم دوم از سمت چپ از نظر عددی هیچ‌گونه معنی خاصی ندارد و فقط به عنوان قراردادی از AA مطرح گردیده است.

گروه‌های ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ را بر خلاف گروه ۱۰۰۰ که به عنوان آلومینیوم شناخته شده است، آلیاژهای واقعی آلومینیوم می‌نامند. در این گروه‌های آلیاژی اعداد سوم و چهارم از سمت چپ فقط جهت تفکیک آلیاژها در یک گروه از هم به کار می‌روند. رقم دوم مانند قبل نشان‌دهنده تغییر یا کنترل خاصی بر روی آلیاژ است. اگر این رقم صفر باشد به معنی این است که در آلیاژ مربوطه از ابتدای ثبت آن هیچ‌گونه تغییری داده نشده است. اعداد ۱ تا ۹ نشان‌دهنده تغییر یا اصلاح آلیاژ اولیه است و خود عدد نشان‌دهنده مرحله تغییر است، مثلاً آلیاژ ۲۲۱۸ به معنی دومین تغییر در آلیاژ ۲۰۱۸ است، یعنی اینکه ترکیب آلیاژ همان ترکیب می‌باشد، به استثنای اینکه مقدار منیزیم آن حدوداً به دو برابر مقدار اولیه آن رسیده است.

علاوه بر استاندارد LM، آلیاژهای ریختگی یعنی قطعاتی که از طریق ریخته‌گری به شکل مورد نظر در آورده می‌شوند در سیستم AA به صورت یک عدد چهاررقمی که بین رقم‌های سوم و چهارم از سمت چپ یک نقطه گذاشته می‌شود، نام گذاری گردیده است. اولین رقم از سمت چپ نشان‌دهنده گروه آلیاژی می‌باشد که در جدول ۱ مشخص گردیده است. دو رقم بعدی (درست مانند دو رقم سوم و چهارم در آلیاژهای کارپذیر) مشخص‌کننده نوع آلیاژ و یا خلوص آلومینیوم است. آخرین رقم بعد از نقطه نوع تولید را نشان می‌دهد، مثلاً صفر برای قطعه ریختگی و عدد یک برای شمش به کار می‌رود.

جدول ۳- سیستم نام گذاری AA آلیاژهای ریختگی

گروه آلیاژی	۱XX-X	۲XX-X	۳XX-X	۴XX-X	۵XX-X	۷XX-X	۸XX-X	۹XX-X	۶XX-X
عنصر اصلی آلیاژی	آلومینیوم با خلوص ۹۹٪ یا بیشتر	مس	سیلیسیم همراه با مقداری مس یا منیزیم یا هر دو	سیلیسیم	منیزیم	روی	قلع	سایر عناصر	گروه های استفاده نشده

به هر صورت از جدول ۱ چنین استنباط می گردد که آلیاژهای ریختگی آلومینیوم عموماً از عناصر متعددی تشکیل یافته است که مهم ترین آنها مس، منیزیم و سیلیسیم می باشد. با اندک توجهی به جدول ۲ نیز مشخص می گردد که همین عناصر در مورد آلیاژهای نوردی نیز اهمیت بسیار دارند. روی و نیکل نیز دوفلزی محسوب می شوند که اهمیت آنها بعد از سه عنصر فوق قرار دارد. عناصر دیگری نظیر تیتانیوم، بُر و لیتیم از نظر آلیاژسازی در شرایط فعلی فاقد اهمیت ولی از نظر تأثیر در جوانه زایی، دانه بندی، اکسیدزدایی و سایر عملیات کیفی از اهمیت ویژه برخوردارند.

تمام آلیاژهای کارپذیر آلومینیوم، ابتدا به صورت شمش تولید می شوند، انواع شمشال و تختال که در نورد، پتک کاری و فشارکاری آلومینیوم به کار می روند، به صورت شمش تولید می شوند. عملیات کیفی، کنترل ترکیب، گاززدایی، اکسیژن زدایی و جوانه زنی در مذاب برای تولید شمش ها از آنچه که در شکل ریزی خواهد آمد جدا نیست.

ریخته گری آلیاژهای آلومینیوم

برای آموزش این روش بهتر است ابتدا در مورد پرسش خواسته شده بحث شود و نظر هر یک از هنرجویان را در این خصوص جویا شد. سپس با بیان اینکه آیا برای تولید یک قطعه از هر دو روش می توان استفاده کرد به بیان مزایای روش ریخته گری آلومینیوم پرداخته شود و اینکه کدام روش ها در ریخته گری آلومینیوم بیشتر استفاده می شود فیلم آموزشی را در کلاس نمایش داد. می توان قطعاتی که توسط روش های مختلف ریخته گری و نورد تولید شده اند را به هنرجویان نشان داده و روش تولید هر یک را از آنها سؤال کرد و مطالبی را که سال گذشته در این مورد خوانده اند را یادآوری کرد. همچنین می توان انواع قالب های ریخته گری موقت و دائم را آماده و در هر کدام عملیات ریخته گری مذاب آلومینیوم را انجام داد و قطعات تولیدی را با هم مقایسه کرد.

قالب‌های ساده، قالب‌های گردان، روش تولید شمش دورویل، قالب‌های آبگرد از انواع روش‌های ریخته‌گری تکباری (منفرد) و روش‌های ریخته‌گری مداوم و نیمه مداوم و همچنین انواع روش‌های تسمه‌ریزی، در تهیه آلیاژهای نوردی کارپذیر آلومینیوم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

متداول‌ترین فرایندهای مورد استفاده ریخته‌گری در ماسه، ریخته‌گری در قالب دائمی (ثقلی) و ریخته‌گری در قالب تحت فشار محفظه سرد می‌باشند. مذاب فلزات تحت نیروی ثقل به داخل قالب‌های ماسه‌ای ریخته‌گری می‌گردند. انواع ماسه‌های طبیعی و ساختگی می‌توانند در ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم مورد استفاده قرار می‌گیرند این مواد انواع سیلیس، اولیوین، زیرکن و کرومیت می‌باشند که در آن میان ماسه‌های سیلیسی طبیعی با مقدار ۱۲ تا ۱۸ درصد خاک و همچنین ماسه‌های سیلیسی ساختگی با ۴ تا ۵ درصد چسب بنتونیت بیشتر به کار می‌روند. به دلیل شرایط ذوب و نیروهای هیدرواستاتیکی آلیاژهای آلومینیوم می‌توان انواع ماسه‌های نرم و ریز را استفاده کرد. وزن مخصوص کم آلیاژ و کاهش نیروهای هیدرواستاتیکی و شرایط تسهیلی خروج گازها از محفظه قالب باعث آن می‌شود که مقاومت در حالت ماسه تر کم باشد و از این رو فشار ماسه تر از ۲ تا ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تجاوز نمی‌کند. جهت تقلیل تولید گاز و همچنین استحکام کم قالب، رطوبت ماسه از ۵ درصد تجاوز نمی‌کند و در غیر این صورت بخار ناشی از فعل و انفعالات رطوبت قالب و مذاب باعث ایجاد تخلخل به خصوص در پوسته خارجی و قسمت‌های نزدیک به پوسته می‌گردد. برای ایجاد قابلیت نفوذ در ماسه و استحکام سطح آزاد ماسه (در قطعات بزرگ) معمولاً مواد سلولزی و خاک اره به ماسه می‌افزایند. در شرایط عمومی، قالب‌های ماسه از ماسه سوز و فعل و انفعالات شدید مذاب و قالب برکنار می‌باشند و از این رو در این قالب‌ها هیچ‌گونه مواد پوششی به کار نمی‌رود و فقط در مورد آلیاژهای آلومینیوم - منیزیم (با بیش از ۴٪ منیزیم) برای جلوگیری از فعل و انفعالات با رطوبت و تولید گاز و اکسیژن و همچنین عدم چسبندگی ماسه به قطعه ریختگی مواد پوششی مختلفی به کار می‌رود که تحت نام بازدارنده (Inhibitor) مشخصات کامل مواد پوششی را دارا نمی‌باشند. این مواد را در سطح قالب و یا مخلوط با ماسه قالب در مورد آلیاژهای منیزیم دار به کار می‌برند که عبارت‌اند از براکس، بوریک‌اسید و فلوئور آمونیم. بایستی توجه کرد که ماسه‌های مخلوط با بازدارنده‌ها، قابلیت استفاده در ریخته‌گری سایر آلیاژها را ندارند و کلاً جداگانه نگهداری می‌شوند.

ماهیت ماسه‌ای: انواع ماسه‌های نرم سیلیسی همراه با چسب‌های روغنی، رزین‌های فنلی، سیلیکات سدیم (روش CO_۲) و انواع چسب‌های گرم و سرد

در ساخت ماهیچه‌های آلومینیوم ریزی به کار می‌روند که مشخصات کلی زیر را دارند:

- نرم و ریز هستند.
 - گاز بسیار کمی تولید می‌کنند.
 - استحکام زیادی ندارند و فقط نیروهای در حمل و نقل و در جاگذاری را تحمل می‌کنند.
 - قابلیت از هم پاشیدگی سریع دارند.
- تا جمعاً علاوه بر ایجاد سطوح صاف و عدم تخلخل در سطح، در مقابل انقباض آزاد آلیاژ مقاومتی نداشته باشند.

قالب‌های دائمی

در قالب‌های فلزی مورد استفاده در روش ریخته‌گری دائمی، مذاب یا تحت نیروی ثقل و یا با استفاده از هوا یا سایر گازهای تحت فشار کم به داخل قالب تزریق می‌گردد. آلیاژهای آلومینیوم همچنین در قطعات کوچک و متوسط و حداکثر به وزن ۲۰ کیلوگرم در قالب‌های فلزی ریخته می‌شوند. قالب‌های دائمی مورد استفاده در آلیاژهای آلومینیوم، اغلب به دلیل مقاومت کم این آلیاژ در هنگام انجماد، دارای ماهیچه‌های ماسه‌ای هستند که به نوعی قالب‌های نیمه دائمی تعبیر می‌گردد و بدیهی است به همین دلیل کلیه آلیاژهای آلومینیوم نمی‌توانند از این روش تهیه شوند. مشخصات عمومی قالب‌های فلزی از نظر دقت ابعادی، صافی سطوح، ریز دانه بودن آلیاژهای آلومینیوم به قوت خود باقی است به طوری که حتی در مورد قالب‌های تحت فشار، ظریف کردن ساختار آلیاژهای آلومینیوم - سیلیسیم به وسیله سدیم چندان موردی ندارد.

جنس قالب‌های فلزی معمولاً از چدن خاکستری (پر کربن) ساخته می‌شود تا حتی‌الامکان از خوردگی آهن توسط آلومینیوم مذاب جلوگیری شود و معمولاً قالب‌های فلزی را با گرافیت و یا زیرکن محلول در آب پوشش می‌دهند. عمل پوشش دادن با گرم کردن قالب تا حدود 80°C (برای جلوگیری از تبخیر سریع آب) انجام می‌گیرد و پس از هر بار خشک کردن، پوشش را تکرار می‌کنند تا حداقل به ضخامت یک میلی‌متر پوشش لازم داده شود. با تغییر ضخامت پوشش می‌توان در قالب‌های فلزی جهت انجماد ایجاد نمود و بنابراین قسمت‌هایی از قالب که باید دیرتر سرد شوند دارای ضخامت پوششی بیشتری هستند. ماهیچه‌های فلزی باید به سرعت بعد از اولین نشانه‌های انجماد در پوسته قالب از آن خارج شوند، چون در غیر این صورت به دلیل انقباض شدید خطی آلومینیوم امکان خروج آنها کم و شکستگی قطعه ریخته شده زیاد می‌شود. در ریخته‌گری قالب‌های فلزی معمولاً قالب را 270°C تا 370°C درجه

سلسیوس گرم می‌کنند. بدیهی است در مواردی که ریخته‌گری در قالب به سرعت انجام می‌گیرد، افزایش درجه حرارت قالب در چگونگی انجماد و تأخیر در انجماد کامل و در نتیجه ایجاد قطعه با عیوب انجمادی و گازی مؤثر می‌باشد که معمولاً در این موارد قالب را با عبور آب یا هوا خنک می‌کنند.

در ریخته‌گری تحت فشار، مذاب آلومینیوم با کمک یک پیستون هیدرولیکی، با فشار زیاد به داخل قالب فولادی تزریق می‌شود. از مزایای دیگر آلیاژهای آلومینیوم برای قطعات ریختگی، علاوه بر وزن کم می‌توان دمای ذوب نسبتاً پایین، حلالیت کم برای تمام گازها به استثنای هیدروژن و سطح تمام شده خوب قطعات تولیدی را نام برد. اغلب آلیاژها سیالیت خوبی نیز از خود نشان می‌دهند و می‌توان ترکیباتی با دامنه مناسب انجمادی برای موارد مصرف خاص انتخاب کرد. مسئله اصلی در مورد قطعات ریختگی آلومینیوم، انقباض نسبتاً بالای بین $\frac{3}{5}$ تا $\frac{8}{5}$ درصد است که در خلال انجماد صورت می‌گیرد. این انقباض باید در طراحی قالب در نظر گرفته شود تا دقت ابعادی لازم حاصل گردد و از مسائلی مانند ترک یا پارگی داغ، تنش‌های باقی مانده و حفره‌های انقباضی جلوگیری شود.

در مورد آلیاژهای ریخته‌گری آلومینیوم نیز همانند آلیاژهای کارپذیر، آلیاژهایی وجود دارند که به عملیات حرارتی عکس‌العمل نشان می‌دهند معمولاً قطعات ریخته‌گری تحت فشار، تنش عملیات حرارتی انحلالی نمی‌شوند زیرا ممکن است در اثر انبساط هوا که داخل فرایند ریخته‌گری در قطعات محبوس شده‌اند تاول ایجاد شود به علاوه با آزاد شدن تنش‌های باقی مانده احتمال اعوجاج وجود دارد.

سیستم راهگاهی

در این قسمت هنجاریان با اصول علمی و عملی محاسبات سیستم‌های راهگاهی آشنا می‌شوند و می‌توانند توسط روابطی که از طریق قانون برنولی، تریچلی و پاسکال به‌دست می‌آورند سرعت خطی مذاب در تنگه، سطح مقطع لوله راهگاه و سطح مقطع تنگه را محاسبه کنند و همچنین با توجه به ضریب ریختگی و محاسبه ارتفاع مؤثر قالب می‌توانند زمان بارریزی مذاب و سطح مقطع کانال فرعی را نیز محاسبه نمایند. در ابتدا جهت یادآوری مطالبی از سال‌های گذشته در مورد سیستم راهگاهی را بیان کنید. سؤالاتی در این مورد از هنجاریان پرسیده شود و در مورد جواب آنها بحث کنید. سپس چند قطعه سالم و معیوب را به همراه سیستم راهگاهی به هنجاریان نشان داده و از آنان خواسته شود تا نقش سیستم راهگاهی را در سلامت قطعات ریختگی توضیح دهند. سپس از آنان خواسته شود که آیا نیاز به محاسبات خاصی دارد یا هر اندازه که خواستیم می‌توان آن را طراحی کرد؟ اندازه آن را چگونه محاسبه کنیم؟ این اندازه چه تأثیری بر مسائل اقتصادی دارد؟ تمرین‌های موجود در کتاب با

مشارکت هنرجویان حل شوند و در انتها محاسبات سیستم راهگاهی را برای مدل‌های موجود در کارگاه انجام دهند و درستی محاسبات آنها حتماً مورد بررسی قرار گیرد.

دانش‌افزایی

سیستم راهگاهی مجموعه‌ای از کانال‌هاست که مذاب را از بوت‌ه به محفظه قالب هدایت می‌کند. ایجاد سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری صحیح در ریخته‌گری آلومینیوم از دیرباز به‌عنوان عامل مؤثر در ایجاد قطعه سالم شناخته شده و باید دارای ویژگی‌ها و مشخصات اصلی زیر باشد:

ویژگی‌های سیستم راهگاهی

- هدایت جریان مذاب به‌صورت آرام و یکنواخت و بدون تلاطم سطحی
- پرکردن به ترتیب و کامل اجزای سیستم
- جلوگیری از تشکیل اکسید، آخال، سرباره، گاز و حباب و ورود آنها به محفظه قالب
- تنظیم شیب دمایی مناسب به منظور ایجاد انجماد جهت‌دار در قطعه ریخته‌گری
- تولید قطعه سالم
- اقتصادی بودن وزن سیستم راهگاهی
- سهولت جدا کردن سیستم راهگاهی از قطعه
- کاهش عملیات تراشکاری قطعه ریخته‌گری

معایب طراحی اشتباه سیستم راهگاهی

- واردشدن ماسه، سرباره و آخال به همراه مذاب به درون محفظه قالب
 - خشن شدن سطح قطعه ریخته‌گری
 - انحلال گازها در مذاب و ایجاد مک و حفره در قطعه ریخته‌گری
 - اکسید شدن بیش از حد مذاب
 - ایجاد حفره انقباضی در قطعه ریخته‌گری
 - پر نشدن کامل قالب
 - نفوذ مذاب درون ماهیچه‌ها
 - وارد شدن ذرات پیش جامد شده به محفظه قالب
- هرچند در عمل در طی جریان بارریزی و نیز توقف فلز مذاب در قالب، سیالیت و گرانروی آن دائماً در حال تغییر است و به همین دلیل نیز از نظر فیزیکی نمی‌توان آن را یک سیال کامل (ایده‌آل) تلقی نمود. با این حال بسیاری از قوانین مربوط به مکانیک سیالات را می‌توان در مورد جریان مذاب در سیستم راهگاهی و نیز درون قالب مورد استفاده قرار داد. رفتار مایعات در علوم و نیز در

صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، علم مکانیک سیالات رفتار مایعات را در دو مقوله مورد بحث قرار می‌دهد: ۱- استاتیک مایعات که در رابطه مایعات ساکن و ۲- دینامیک مایعات که در رابطه با مایعات جاری صحبت می‌کند. دینامیک مایعات موضوعی پیچیده است و در واقع یکی از از پیچیده‌ترین شاخه‌های مکانیک به حساب می‌آید (مثل حرکت آب رودخانه) خوشبختانه در بسیاری از موارد مهم، مسائل را می‌توان با مدل‌های ایده‌آل، تطبیق داد که در این صورت تجزیه و تحلیل آنها به مراتب آسان‌تر می‌شود.

راندمان ریختگی: عبارت است از نسبت جرم قطعات بدون سیستم راهگاهی و تغذیه (Q) به جرم قطعات با سیستم راهگاهی و تغذیه (P). در این مرحله قطعات راهگاهی و منابع تغذیه جز ضایعات (برگشتی) محسوب شده‌اند و لذا راندمان ریختگی پدیده‌ای است که در مورد طراحی سیستم راهگاهی حایز اهمیت است.

$$Rc = \frac{Q}{P} \times 100$$

راندمان کلی یا راندمان مفید: عبارت است از نسبت مجموع جرم قطعات قابل فروش (S) به جرم کل آلیاژ شارژ شده (M). بدیهی است که در راندمان کل هر دو گروه برگشتی و ضایعات غیرقابل برگشت توأماً دخالت دارند.

$$Rt = \frac{S}{M} \times 100$$

هر نوع مخارجی که برای راندمان ریختگی منظور می‌شود در بازده و راندمان کلی نیز مؤثر است. چنانچه بازده ریختگی زیاد باشد (میزان برگشتی‌ها کم می‌شود) مسلماً در بازده کلی مؤثر است، به هر حال اگرچه تقلیل بازده کلی باعث افزایش قیمت است ولی هزینه ذوب برگشتی‌ها از نظر سوخت و انبار کردن و غیره عاملی است که می‌تواند کاهشی در مقدار هزینه بازده کلی ایجاد نماید و از این نظر نمی‌توان مخارج بازده کلی را فقط با مخارج و هزینه‌های ذوب در مدتی کوتاه بررسی نمود.

مثال:

جرم یک قطعه ریختگی (بدون سیستم راهگاهی و تغذیه) ۲۴kg و جرم سیستم راهگاهی و تغذیه ۸kg وزن شده است. چنانچه جرم قطعات قابل فروش کلاً ۲۱۰kg و جرم کل آلیاژ شارژ شده ۲۴۰kg باشد راندمان ریختگی و راندمان کل را محاسبه کنید؟

$$Rc = \frac{Q}{P} \times 100$$

$$Rc = \frac{24}{32} \times 100 \Rightarrow Rc = 75\%$$

$$Rt = \frac{S}{M} \times 100$$

$$Rt = \frac{210}{240} \times 100 \Rightarrow Rt = 87.5\%$$

۳۰۰ کیلو از شمش چدن نشکن (سورل) و ۲۰۰ کیلو از برگشتی های چدن نشکن کارگاه در کوره القایی شارژ شده اند. برای ریختن قطعاتی به وزن ۱۵ کیلو سیستم راهگاهی و تغذیه طوری طراحی شده اند که راندمان ریختگی برابر ۵۰ درصد است در صورتی که تعداد قطعات قابل فروش ۱۲ عدد باشد راندمان کلی و درصد ضایعات را محاسبه کنید؟

$$300 + 200 = 500 \text{ kg} \quad \text{وزن شارژ}$$

$$Rc = \frac{Q}{P} \times 100 \Rightarrow 50 = \frac{15}{P} \times 100 \Rightarrow P = 30 \text{ Kg} \quad \text{وزن قطعه و سیستم راهگاهی}$$

$$300 - 15 = 15 \quad \text{وزن سیستم راهگاهی}$$

$$12 \times 30 = 360 \text{ kg} \quad \text{وزن فلز ریخته شده}$$

$$500 - 360 = 140 \text{ kg} \quad \text{وزن اتلافات و سرریز در مرحله ذوب}$$

$$\frac{140}{500} \times 100 = 28\% \quad \text{درصد اتلافات ذوب و سرریز}$$

$$Rt = \frac{S}{M} \times 100 \Rightarrow Rt = \frac{360}{500} \times 100 \Rightarrow Rt = 72\%$$

سیال کامل (ایده آل)

سیال کامل (ایده آل) سیالی است تراکم ناپذیر، بدون اصطکاک و بدون گرانروی. سیال کامل سیالی فرضی است که وضع مایعات را با تقریب کافی مشخص می کند.

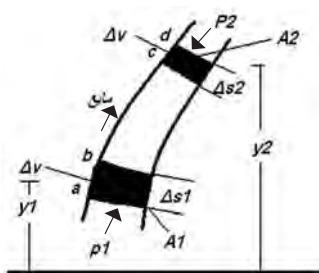
معادله برنولی

این رابطه فشار، سرعت و ارتفاع را در حرکت یک مایع ایده آل به هم ربط می دهد. ابتدا باید به این نکته توجه کرد که اگر مایعی تراکم ناپذیر درون یک لوله افقی با سطح مقطع متغیر در حرکت باشد سرعت آن تغییر می کند.

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

یعنی حاصل ضرب AV در طول لوله مایع ثابت است، نتیجه می شود که هر جا سطح مقطع لوله کاهش یابد سرعت افزایش می یابد و بالعکس. هر جزء از مایع باید شتاب داشته باشد و نیروی لازم برای ایجاد این شتاب از طرف مایع همجوار با این جزء بر

آن وارد می‌شود، پس فشار درون مایع باید از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییر کند. اگر مایع از منطقه‌ای با فشار زیاد به منطقه‌ای با فشار کم در حرکت باشد جهت برآیند نیروی وارد بر آن رو به جلو است و سرعت حرکت افزایش می‌یابد. پس اگر سطح مقطع لوله مایع تغییر کند حتی اگر ارتفاع نقاط مختلف آن یکسان باشد فشار باید تغییر کند، اگر ارتفاع نقاط مختلف لوله نیز متغیر باشد یک تغییر فشار قبلی نیز افزوده می‌شود. معادله برنولی اختلاف فشار بین دو نقطه درون سیال را با اختلاف ارتفاع این دو نقطه و نیز اختلاف سرعت حرکت



در آنها به هم ربط می‌دهد.

برای به دست آوردن معادله برنولی قضیه کار انرژی را در مورد جزیی از مایع که درون لوله در حرکت است به کار می‌بندیم. در شکل روبه‌رو جزیی از مایع را که بین دو مقطع a و c قرار دارد در نظر می‌گیریم.

در زمان Δt مایعی که ابتدا در a بوده است فاصله $\Delta s_1 = v_1 \Delta t$ را پیموده و به b می‌رسد (v_1 سرعت مایع در این طرف لوله است) در همین مدت مایعی که ابتدا در c بوده است نیز $\Delta s_2 = v_2 \Delta t$ را پیموده و به d می‌رسد دو سطح مقطع در دو طرف لوله مذکور را به ترتیب A_1 و A_2 فرض کنید بنابر معادله پیوستگی ΔV حجم مایعی که در زمان Δt از هر مقطع عبور می‌کند است. $\Delta V = A_1 \Delta s_1 = A_2 \Delta s_2$

اکنون کار انجام شده بر روی مایع در زمان Δt را حساب می‌کنیم، اندازه نیروهای وارد بر سیال در a و c به ترتیب $p_1 A_1$ و $p_2 A_2$ هستند که در آنها p_1 و p_2 به ترتیب فشار در a و c هستند، پس قدرمطلق کار انجام شده بر روی مایع در این جابه‌جایی عبارت است از:

$$W = p_1 A_1 \Delta s_1 - p_2 A_2 \Delta s_2 = (p_1 - p_2) \Delta V \quad 1$$

علامت منفی در جز دوم رابطه بالا به این دلیل است که نیروی وارد بر جزء مایع در c در جهت مخالف حرکت آن است.

اکنون این کار را برای تغییر انرژی‌های جنبشی و پتانسیل جزء مایع قرار می‌دهیم. در فاصله b تا c انرژی جنبشی مایع تغییر نمی‌کند در لحظه شروع Δt ، حجم، جرم و انرژی جنبشی مایع واقع بین a و b به ترتیب $\rho A_1 \Delta s_1$ ، $A_1 \Delta s_1$ و $\rho \frac{1}{2} A_1 \Delta s_1 v_1^2$ هستند در انتهای Δt مایع واقع بین c و d انرژی جنبشی $\rho \frac{1}{2} A_2 \Delta s_2 v_2^2$ را دارد لذا قدرمطلق تغییر انرژی جنبشی عبارت است از:

$$\Delta K = \frac{1}{2} \rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2) \quad 2$$

تغییر انرژی پتانسیل را نیز به طریق مشابهی حساب می‌کنیم انرژی پتانسیل

جرمی از مایع که در زمان Δt از مقطع b لوله وارد لوله می شود $\rho \Delta v g y_1 = \Delta m g y_1$
و انرژی پتانسیل جرمی که در همین مدت از c خارج می شود $\rho \Delta v g y_2 = \Delta m g y_2$
و قدر مطلق تغییر انرژی پتانسیل برابر است با

$$\Delta u = \rho \Delta v g (y_2 - y_1) \quad \text{۳}$$

با به کار گرفتن روابط ۱ و ۲ و ۳ در قضیه کار - انرژی $w = \Delta k + \Delta u$ رابطه زیر به دست می آید:

$$(p_1 - p_2) \Delta V = \frac{1}{\rho} \rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2) + \rho \Delta V g (y_2 - y_1)$$

و یا با تقسیم طرفین بر (ΔV)

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{\rho} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1) \quad \text{۴}$$

معادله برنولی به صورتی که در بالا آمده است نشان می دهد که کار انجام شده بر روی یک واحد حجم از مایع $(p_2 - p_1)$ با تغییر انرژی های جنبشی و پتانسیل یک واحد حجم از مایع برابر هستند.

می توان رابطه ۴ را بر حسب فشارها نیز مورد تفسیر قرار داد. عبارت دوم سمت راست این رابطه اختلاف فشار حاصل از وزن مایع به ازای اختلاف ارتفاع موجود بین ابتدا و انتهای لوله است، عبارت اول سمت راست نیز فشار حاصل از تغییر سرعت مایع است، می توان رابطه ۴ را به صورت زیر نوشت:

$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{\rho} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{\rho} \rho v_2^2$$

و چون اندیس های ۱ و ۲ را می توان به هر دو نقطه دلخواه درون لوله جریان نسبت داد معادله برنولی را به صورت زیر نیز می نویسند:

$$v^2 = \text{const } P + \rho g y + \frac{1}{\rho}$$

اگر کل رابطه بالا را بر ρg تقسیم کنیم آنگاه رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{const} = \frac{P}{\rho g} + y + \frac{v^2}{2g}$$

مثال: از لوله ای که قطر داخلی آن ۲ سانتی متر است آب با فشار 4×10^5 پاسکال (در حدود ۴ اتمسفر) وارد خانه ای می شود، در حمام طبقه دوم ساختمان به ارتفاع ۵ متر قطر لوله آب ۱ سانتی متر است، اگر سرعت عبور آب در لوله ورودی ۴ متر بر ثانیه باشد سرعت آب و فشار در لوله آب حمام چقدر است؟
حل:

نقطه یک را در لوله ورودی و نقطه دو را در حمام انتخاب می کنیم، سرعت v_1 در حمام از معادله $A_1 V_1 = A_2 V_2$ معادله پیوستگی به دست می آید:

$$\frac{\pi D_1^2}{4} \times V_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} \times V_2 \Rightarrow \frac{\pi 1^2}{4} \times V_1 = \frac{\pi 2^2}{4} \times V_2 \Rightarrow V_2 = 16 \text{ m/s}$$

فرض کنید ارتفاع لوله ورودی $y_1=0$ باشد، ارتفاع لوله حمام $y_2=\Delta m$ است فشار p_1 و سرعت v_1 معلوم است P_2 را از معادله برنولی به دست می آوریم.

$$\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1)$$

$$4 \times 10^5 - p_2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^3 \times (16^2 - 4^2) + 1 \times 10^3 \times 9.8 \times (5 - 0)$$

$$\Rightarrow p_2 = 231000 \text{ pa}$$

$$\Rightarrow p_2 = 2/3 \times 10^5 \text{ pa}$$

مفهوم عملی این موضوع آن است که هر قدر ارتفاع راهگاه بارریز بیشتر باشد، سطح مقطع کل کانال های فرعی را کوچک تر در نظر می گیرند. زیرا افزایش ارتفاع بارریز، باعث افزایش انرژی پتانسیل مذاب شده و در نتیجه سرعت خطی مذاب نیز هنگام ورود به محفظه قالب در این مقاطع (یا مقطع) بیشتر می شود به عنوان مثال در مورد قطعات چدنی، مجموع سطوح مقاطع کانال های فرعی بستگی به ارتفاع راهگاه بارریز دارد.

جدول زیر تأثیر آن را نشان می دهد:

مجموع سطوح مقاطع فرعی (cm ²)		وزن قطعه ریختگی (کیلوگرم)
راهگاه بارریز کوتاه	راهگاه بارریز بلند	
3/2	2/5	10
3/8	3	30
4/5	3/5	50
6	4	100
10	6	500
15	9	1000

قانون تداوم (پیوستگی)

بر اساس این قانون، حجم مذاب یا مایع جاری در هر مقطع در واحد زمان مقداری ثابت است.

$$Q = \frac{V}{T} = \text{const}$$

با توجه به اینکه حجم V را می توان به صورت حاصلضرب مساحت A در ارتفاع یا طول L بیان کرد از این رو رابطه بالا را می توان به صورت زیر نوشت:

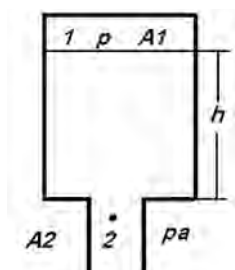
$$Q = \frac{V}{T} \rightarrow Q = \frac{A \times L}{t} \rightarrow Q = A \frac{L}{t} \rightarrow Q = A \times V$$

بنابراین قانون تداوم برای دو نقطه مختلف از یک سیستم بسته به صورت رابطه زیر می باشد:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

قضیه تریچلی (سرعت فوران)

شکل زیر مخزنی را نشان می دهد که سطح مقطع آن A_1 است و تا ارتفاع h از مایعی به چگالی ρ پر شده است.



روی سطح بالایی مایع هوا با فشار P قرار دارد و مایع از مجرایی به سطح مقطع A_2 بیرون می ریزد فرض کنید همه مایعی که به طرف خارج در حرکت است درون یک لوله منفرد حرکت می کند و V_1 و V_2 به ترتیب سرعت های حرکت مایع در نقاط ۱ و ۲ باشند V_2 را سرعت فوران می نامند. فشار در نقطه ۲ فشار جو یعنی P_a است. اگر معادله برنولی را برای نقاط ۱ و ۲ بنویسیم و تراز مرجع را کف مخزن فرض کنیم خواهیم داشت:

انرژی پتانسیل + انرژی جنبشی + فشار

$$P + \rho gh + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_a + \rho gh + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

از آنجایی که ارتفاع در کف ظرف صفر باشد بنابراین

$$P + \rho gh + \frac{1}{\rho} \rho v_1^2 = P_a + \frac{1}{\rho} \rho v_2^2 \rightarrow v_2^2 = v_1^2 + \frac{2(P - P_a)}{\rho} + 2gh$$

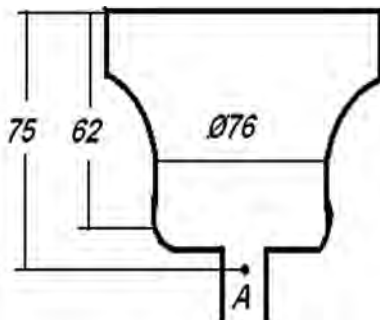
اگر مخزن باز و به هوای جو مربوط باشد داریم:

$$P = P_a \rightarrow P - P_a = 0 \rightarrow (v_2^2 - v_1^2) = 2gh$$

چنانچه در شکل بالا سطح A_2 به مراتب از A_1 کوچک تر باشد V_1^2 نیز به مراتب از V_2^2 کوچک تر و قابل چشم پوشی است در این صورت رابطه قبلی چنین می شود:

$$V_2^2 = 2gh \rightarrow V_2 = \sqrt{2gh}$$

یعنی سرعت مایعی با سرعت جسمی که از ارتفاع h آزادانه رها شده باشد برابر است. این قضیه را قضیه تریچلی می نامند. لازم نیست مجرای خروجی حتماً در کف مخزن باشد این رابطه برای هر وضع مجرا در عمق h صادق است. به عنوان مثال سرعت جریان مذاب در کف حوضچه (نقطه A) به داخل راهگاه باریز برابر است:



طبق رابطه تریچلی تنها اندازه مؤثر در سرعت جریان مذاب ۷۵ میلی متر است بنابراین:

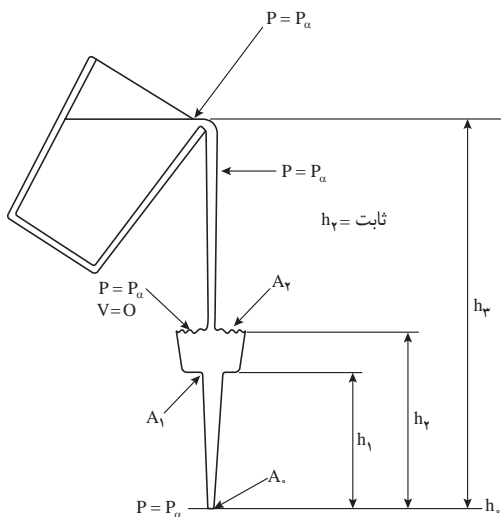
$$V = \sqrt{2gh} \rightarrow V = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.075} \rightarrow V = 1.213 \text{ m/s}$$

به کمک قانون تریچلی و قانون تداوم می توان تأثیر ارتفاع ریختن مذاب را بر سرعت پر شدن قالب محاسبه کرد. در شکل زیر مقدار بار خروجی از پاتیل باریز باید معادل مقدار مذاب خروجی از انتهای راهگاه باریز باشد براساس قانون تریچلی:

$$V_o = \sqrt{2gh_r} \rightarrow V_o = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_r}$$

V_o سرعت خروج مذاب از انتهای راهگاه باریز است و مقدار خروج مایع از سطح مقطع A_2 برابر است با:

$$Q_o = V_o A_o = \sqrt{2g} \sqrt{h_r} \times A_o$$



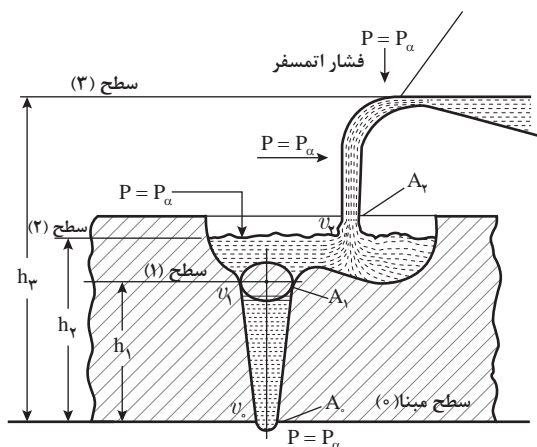
در نتیجه برای آنکه مقدار h_r ثابت بماند لازم است همواره سیستم راهگاهی از مذاب پر نگه داشته شود در این صورت دبی در تمام سطوح مقاطع یکسان خواهد بود.

$$Q_1 = Q_2 = V_2 A_2 = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_r - h_1} \times A_2$$

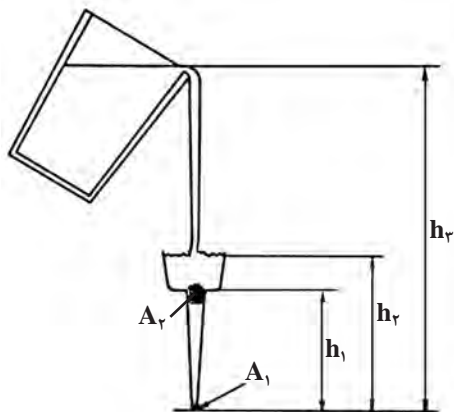
Q_2 و V_2 به ترتیب دبی جریان و سرعت جریان ورودی به حوضچه هستند. از رابطه اخیر می توان نتیجه گرفت:

$$A_2 = A_1 \sqrt{\frac{h_r}{h_r - h_1}}$$

که در آن مقدار $h_r - h_1$ فاصله بین دهانه پاتیل تا سطح فوقانی حوضچه می باشد.



باید توجه کرد که فشار در تمام سطوح مساوی و برابر فشار اتمسفر است. ریختن مذاب از پاتیل به داخل حوضچه باعث افزایش موضعی فشار در حوضچه می‌گردد که به نوبه خود حرکت مذاب را به صورت اغتشاشی درمی‌آورد (هرچه فاصله بین محل ریزش مذاب و سوراخ کف حوضچه بیشتر باشد این اغتشاش کمتر شده و مذاب آرام‌تر حرکت می‌کند) این حرکت ناآرام تلف‌کننده انرژی است و اتلاف انرژی را می‌توان با افزایش مقدار کمی به h_p جبران کرد. (با بالا بردن پاتیل مذاب) افزایش موضعی فشار در حوضچه روی مقدار مذاب خروجی از قسمت تحتانی راهگاه (سطح مبنا) تأثیری ندارد. بنابراین شخص باریز می‌تواند ریختن مذاب را به دلخواه به وسیله تغییر ارتفاع h_p یا میزان خم کردن پاتیل کنترل کند. از آنچه که در فوق گفته شد چنین استنباط می‌گردد که سرعت پر کردن قالب از مذاب مستقل از ارتفاع لبه پاتیل تا حوضچه می‌باشد لکن در خارج از حدود تعادل، یا مذاب به بیرون از حوضچه پاشیده می‌شود و یا راهگاه باریز از مذاب پر نمی‌ماند.



براساس قانون تریچلی داریم:

$$Q = v_r \times A_r$$

$$v_r = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_r - h_p}$$

$h_r - h_p$ ارتفاع مذاب از پاتیل سطح فوقانی حوضچه باریز است در نتیجه خواهیم

داشت:

$$Q_1 = Q_r = v_r A_r = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_r - h_p} \times A_r$$

$$Q_1 = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_r} \times A_1 = Q_r = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_r - h_p} \times A_r$$

$$\sqrt{h_r} \times A_1 = \sqrt{h_r - h_p} \times A_r$$

طرفین رابطه بالا را بر $\sqrt{h_3 - h_2}$ تقسیم می‌کنیم:

$$\frac{\sqrt{h_2}}{\sqrt{h_3 - h_2}} \times A_1 = \frac{\sqrt{h_3 - h_2}}{\sqrt{h_3 - h_2}} \times A_2 \rightarrow \frac{\sqrt{h_2}}{\sqrt{h_3 - h_2}} \times A_1 = A_2$$

$$A_2 = A_1 \sqrt{\frac{h_2}{h_3 - h_2}}$$

$h_3 - h_2$ فاصله بین دهانه پاتیل تا سطح فوقانی حوضچه بارریز است. پیشنهاد می‌شود هنرآموزان محترم در انتها چند مدل را به همراه محاسبات سیستم راهگاهی (با روش محاسبه و نمودگرام) قالب‌گیری و ریخته‌گری نمایند و تأثیر سیستم راهگاهی صحیح همراه با محاسبات را در تولید قطعه به‌صورت عملی بررسی کنند.

نمودگرام برای محاسبه سطوح سیستم راهگاهی

برای این قسمت ابتدا روش محاسبه سیستم راهگاهی را با استفاده از نمودگرام با چند مثال به هنرجویان آموزش داده و سپس اندازه سیستم راهگاهی قطعاتی که با روش قبل محاسبه کرده‌اند را با اعداد به‌دست آمده با نمودگرام (برای همان قطعات) مقایسه نمایند.

تغذیه‌گذاری در قطعات ریخته‌گری

هنرجویان در این قسمت با مفهوم انقباض قطعات آشنا شده و لزوم استفاده از تغذیه را در قطعات ریخته‌گری می‌آموزند. روش‌های مختلف محاسبه ابعاد تغذیه اعم از قطر، ارتفاع و حجم را برای قطعات مشخص انجام می‌دهند، و همچنین با روش مدول که زمان انجماد قطعه و تغذیه را محاسبه می‌کند آشنا شده و می‌تواند با این روش زمان انجماد قطعه ریخته‌گری را محاسبه کند و ابعاد تغذیه را به‌دست آورد. لذا ابتدا مطالبی را جهت یادآوری از پایه یازدهم در این رابطه بیان نموده و بعد از آموزش نحوه محاسبه ابعاد تغذیه چند مثال برای حل کردن به هنرجویان داده شود و از آنها خواسته شود فعالیت‌ها را حل کنند. سپس ابعاد تغذیه را برای چند مدل موجود در کارگاه حساب کرده عملیات ذوب و ریخته‌گری را انجام دهد همچنین می‌توان جهت مقایسه بهتر چند قطعه که دارای حفره انقباضی بوده‌اند را با قطعات سالم مقایسه کرد و نحوه به‌وجود آمدن حفره انقباضی را روی سطح قطعه مشاهده نمایند. البته باید تفاوت بین حفره انقباضی با حفره گازی برای هنرجویان بیان گردد تا در تشخیص نوع عیب دچار اشتباه نشوند.

بیشتر فلزات و آلیاژها در هنگام انجماد منقبض می‌شوند و کاهش حجم پیدا می‌کنند. تغییرات حجمی ناشی از انجماد برای فلزات و آلیاژهای مختلف حدود ۲ تا ۷ درصد است در نتیجه این انقباض شکل قطعه ریختگی دگرگون شده و دارای عیوب ناشی از کشیدگی و کاهش حجم می‌گردد.

در سال ۱۹۴۰ نیکلاس چورنیف ریاضی‌دان روسی اولین کسی بود که نسبت حجم به سطح را در محاسبه زمان انجماد ارائه نمود این نسبت مدول نامیده شد.

$$t_r = K \left(\frac{V}{A} \right)^n$$

در این رابطه n ضریب ثابتی است که بین ۲-۱/۵ متغیر است که معمولاً آن را ۲ در نظر می‌گیرند.

t = زمان انجماد بر حسب دقیقه

K = ضریب قالب که بستگی به جنس مذاب، دانسیته مذاب، ظرفیت گرمایی مذاب، گرمای نهان ذوب فلز، فوق ذوب فلز مذاب، دمای اولیه قالب، ضریب هدایت حرارتی قالب، دانسیته قالب و ضخامت دیواره قالب دارد.

V = حجم قطعه یا تغذیه بر حسب cm^3

A = سطح تماس ماسه با قالب یا تغذیه بر حسب cm^2

مقدار k از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$K = \left(\frac{\rho_m L}{T_m - T_o} \right)^2 \left(\frac{\pi}{4 k \rho_c} \right) \left(1 + \left(\frac{c_m \Delta T_s}{L} \right)^2 \right)$$

ρ_m چگالی فلز مذاب، L گرمای نهان ذوب، T_m نقطه ذوب یا نقطه انجماد، T_o دمای اولیه مذاب، C_m گرمای ویژه فلز، ρ_c چگالی قالب، ΔT_s فوق ذوب $(T_{\text{pour}} - T_{\text{melt}})$

یک راه محاسبه حداقل اندازه تغذیه رابطه چورنیف است اما باید زمان انجماد تغذیه طولانی‌تر از زمان انجماد قطعه باشد در بیشتر محاسبات معمولاً زمان انجماد تغذیه را ۲۵٪ طولانی‌تر از زمان انجماد قطعه در نظر می‌گیرند.

$$t_{\text{riser}} = 1/25 t_{\text{casting}} \rightarrow \left(\frac{V}{A} \right)_{\text{riser}}^n = 1/25 \left(\frac{V}{A} \right)_{\text{casting}}^n$$

نسبت حجم به سطح ریختگی اعم از قطعه یا تغذیه که در رابطه فوق با $\frac{V}{A}$ نشان داده شده را مدول قطعه یا مدول تغذیه گویند و با علامت M نمایش می‌دهند.

$$\Rightarrow \frac{t_r}{t_c} = \frac{k_r (M_r)^2}{k_c (M_c)^2} \Rightarrow \frac{t_r}{t_c} = \frac{k_r \left(\frac{V_r}{A_r} \right)^2}{k_c \left(\frac{V_c}{A_c} \right)^2}$$

از آنجایی که جنس مذاب، قطعه و تغذیه یکسان است بنابراین $K_r = K_c$

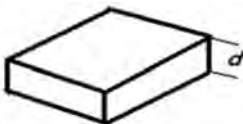
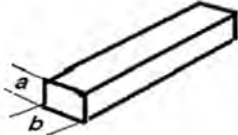
$$\Rightarrow \frac{t_r}{t_c} = \left(\frac{M_r}{M_c}\right)^2 \Rightarrow \frac{t_r}{t_c} = \frac{M_r^2}{M_c^2}$$

با افزایش مدول حرارتی، زمان انجماد نیز افزایش می‌یابد لذا برای عملکرد درست یک تغذیه مدول حرارتی آن باید از مدول حرارتی قطعه بزرگ‌تر باشد. در محاسبات عملی، با احتساب نسبت زمان انجماد در تغذیه به قطعه (قالب) و یا احتساب مدول آنها به راحتی حجم تغذیه را محاسبه می‌کنند. در محاسبات مقدماتی معمولاً نسبت t_r به t_c را حدود ۱/۵ در نظر می‌گیرند تا تأخیر در انجماد تغذیه، نسبت به قطعه مشخص باشد.

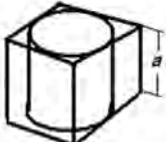
برای فولادها و آلیاژهای با انجماد پوستره‌ای، معمولاً اگر $M_r = 1/2 M_c$ باشد مذاب‌رسانی با موفقیت انجام می‌شود. برای دیگر آلیاژها معمولاً این نسبت بین ۱/۲ تا ۱/۵ متغیر می‌باشد.

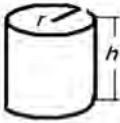
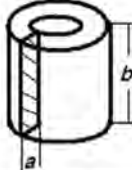
به منظور سرعت بخشیدن به عملیات محاسباتی در مورد برخی شکل‌ها می‌توان بدون محاسبه واقعی، سطح و حجم مقدار مدول را محاسبه نمود.

جدول ۴- روابط مدول ساده‌ترین اشکال هندسی

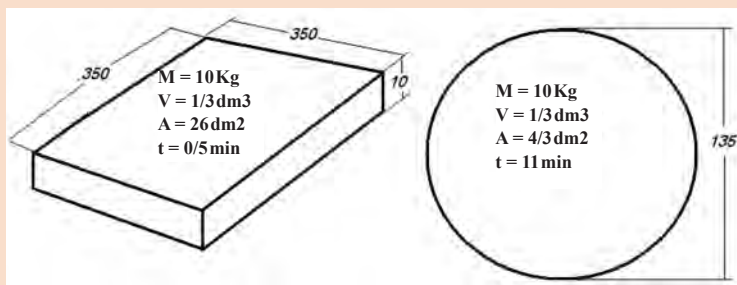
	صفحه با ابعاد نامحدود	$M_c = d/2$
	میله با طول نامحدود	$M_c = ab/2(a+b)$

* منظور از صفحه با ابعاد نامحدود و میله با طول نامحدود قطعاتی هستند که از طرف سطوح نامحدود آنها انتقال حرارت صورت نمی‌گیرد و لذا این سطوح در محاسبه مدول آنها دخالت نمی‌کنند.

	مکعبی با ابعاد a استوانه محاط در مکعبی با ابعاد a کره محاط در مکعبی با ابعاد a	$M_c = a/6$
---	--	-------------

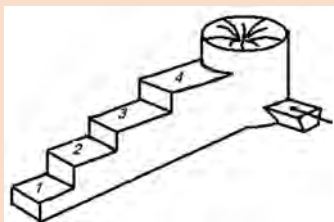
		$M_c = rh/2(r+h)$
		$M_c = ab/2(a+b)$

برای ساده و سریع تر شدن روش مدول برخی از شکل های مهم و متداول منابع تغذیه مورد محاسبه قرار گرفته و مدول تغذیه برحسب ابعاد مختلف آنها داده شده است که جداول مربوط به اشکال مختلف در کتاب همراه هنرجو آورده شده است. اگر ده کیلوگرم مذاب، نخست به صورت کره ای و سپس به شکل صفحه نازکی ریخته شود، صفحه سریع تر از کره منجمد خواهد شد، علت کوتاه تر بودن زمان انجماد صفحه به خاطر این است که گرمای موجود در ده کیلو مذاب از سطح بزرگ تری در آن خارج می شود. یعنی هرچه سطح دفع گرما در یک حجم مشخص بزرگ تر باشد انجماد سریع تر صورت می گیرد.

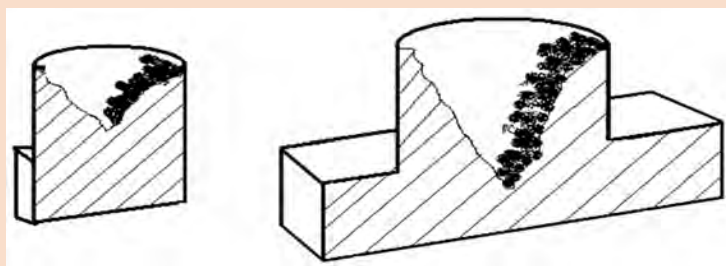


مقایسه رفتار انجماد یک کره فولادی با صفحه ای فولادی با همان وزن
حال یک قطعه پله ای را در نظر بگیرید نخست نازک ترین قسمت پله منجمد می شود زیرا مدول آن کمتر از پله بعدی است، پله ضخیم تر (یعنی دومین پله) مانند تغذیه ای برای پله نازک تر عمل کرده و به آن مذاب رسانی می کند. پله دوم نیز به نوبه خود توسط پله سوم تغذیه می شود و به همین ترتیب ادامه می یابد. مقدار مذاب لازم برای پله آخر از تغذیه تأمین می شود. در نتیجه مذاب مورد نیاز برای جبران حفره های انقباضی در کل قطعه پله ای شکل از طریق

پله‌های منفرد به توسط تغذیه تأمین می‌گردد.



نکته مهمی که باید در هنگام استفاده از روش مدول بدان توجه نمود این است که در مورد قطعات نازک، تغذیه پیشنهادی بر اساس رابطه چورنیف بسیار کوچک است و در عمل نمی‌توان قطعه را به‌خوبی مذاب‌رسانی نماید این موضوع از این حقیقت سرچشمه می‌گیرد که در رابطه چورنیف مقدار انقباض حاصل از انجماد قطعه که به حجم قطعه مربوط است در محاسبات دخالت داده نشده است. برای اینکه مشخص شود دو قطعه مکعبی با ابعاد متفاوت، با توجه به رابطه چورنیف نیاز به تغذیه‌های متفاوت دارند مثالی در این رابطه زده می‌شود. محاسبات نشان می‌دهند که حجم تغذیه برای دو مکعب یکی با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ و دیگری با ابعاد $20 \times 20 \times 5$ مناسب است اما در عمل این اتفاق نمی‌افتد. در عمل هنگامی که از تغذیه فوق برای دو مکعب استفاده می‌شود انتظار می‌رود که برای هر دو قطعه تغذیه مناسبی باشد ولی با توجه به شکل زیر تغذیه انتخاب شده برای مکعب مستطیل مناسب نیست و حفره انقباضی به داخل قطعه امتداد می‌یابد.



جهت درک بهتر هنرجویان، که چرا یک تغذیه برای مکعب مستطیل مناسب نیست و کم است همکاران محترم باید اصطلاحاتی از جمله برد قالب - برد تغذیه - میرد - مواد عایق - مواد گرمازا را برای هنرجویان توضیح دهند. جهت کسب اطلاعات بیشتر همکاران محترم می‌توانند به کتاب اصول متالورژی سال سوم هنرستان چاپ سال ۱۳۷۹ به بعد مراجعه کنند.

به حداکثر فاصله‌ای که تغذیه می‌تواند عمل مذاب‌رسانی به قطعه را به خوبی انجام دهد فاصله مذاب‌رسانی گفته می‌شود. با توجه به تعریف فوق می‌توان با کمک فاصله مذاب‌رسانی، تعداد تغذیه‌های لازم را برای یک قطعه مشخص نمود که برای این منظور لازم است عوامل مؤثر در فاصله مذاب‌رسانی را مورد بررسی قرار داد این عوامل عبارت‌اند از:

(الف) تأثیر تغذیه که از آن به عنوان برد تغذیه یاد می‌شود.

(ب) تأثیر قالب که تحت عنوان برد قالب نام برده می‌شود.

فاصله مذاب‌رسانی در حقیقت مجموع دو عامل فوق می‌باشد.

الف) برد تغذیه

فاصله‌ای است که تغذیه با توجه به شکل و نوع آلیاژ می‌تواند عمل مذاب‌رسانی را انجام دهد. استفاده از مواد عایق و گرمازا در منبع تغذیه به منظور طولانی‌تر نمودن زمان انجماد تغذیه می‌تواند در افزایش برد تغذیه مؤثر باشد.

ب) برد قالب

حداکثر فاصله‌ای است که قالب می‌تواند در جهت‌دار کردن انجماد تأثیر گذاشته و فاصله مذاب‌رسانی را افزایش دهد. با افزایش قابلیت سردکنندگی قالب، برد قالب به طور محسوسی افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از مبرد در افزایش برد قالب و نهایتاً فاصله مذاب‌رسانی بسیار مؤثر است.

شکل و ضخامت دیواره قالب، اثر در برد قالب دارد. شکل‌های پیچیده و با سطح مقطع غیریکنواخت نیاز به تعداد تغذیه‌های بیشتری دارند.

پس از توضیحات به هر یک از هنرجویان در کارگاه یک مدل داده شود تا به طور انفرادی تغذیه و سیستم راهگاهی را حساب کنند و بعد از قالب‌گیری به همراه تغذیه ریخته‌گری نمایند در پایان قطعات از سیستم راهگاهی و تغذیه جدا گردند و عیوب احتمالی قطعات بررسی گردد تا در مراحل بعدی اصلاح گردند.

محاسبه حجم تغذیه با استفاده از روش کاین

اساس تئوریک روش‌هایی که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته‌اند بر این اصل استوار بود که تغذیه باید دارای زمان انجماد به مراتب بیشتری از زمان انجماد قطعه باشد تا بتواند کمبود مذاب قطعه را که در اثر انجماد حاصل می‌شود به‌طور کامل جبران کند. بنابراین در صورت وجود رابطه‌ای بین زمان‌های انجماد تغذیه، قطعه و ابعاد آنها به راحتی می‌توان ابعاد تغذیه را از روی ابعاد قطعه محاسبه نمود.

بدین ترتیب روش‌های مختلفی طرح و پیشنهاد گردید که می‌توان آنها را براساس نام بنیان‌گذارانشان چنین تقسیم‌بندی نمود.

۱ روش چورنیف (کاوارینف) N.Chvorinov

۲ روش کاین J.B.Caine

۳ روش بیشاپ Bishop

۴ روش نامور R.Namur

اساس محاسبه ابعاد تغذیه به روش چورنیف که در قسمت‌های قبلی آورده شده است بر ارتباط مناسب بین مدول قطعه M_c و مدول تغذیه M_r و حجم قطعه نهاده شده بود به‌طوری که $M_r = f M_c$ باشد. با انتخاب $f > 1$ مدول اولیه تغذیه کمی بزرگ‌تر از مدول قطعه بوده تا با کاهش تدریجی آن در آخر انجماد بتواند برابر مدول قطعه گردد. لذا با داشتن مدول قطعه و انتخاب مقدار f (تقریباً $f = 1/2$) مدول تغذیه محاسبه شده و از این طریق ابعاد آن نیز مشخص می‌گردد.

به‌طور کلی این روش (چورنیف) مستقل از شکل قطعه، حفره انقباضی ایجاد شده در تغذیه به‌صورت سهمی و حداکثر حجم آن نسبت به حجم تغذیه برای تغذیه‌های استوانه‌ای و کروی به ترتیب ۱۴٪ و ۲۰٪ فرض گردیده بود. در روش چورنیف عمدتاً مدول قطعه (M_c) در محاسبه تغذیه مناسب شرکت داشته و شکل قطعات به‌طور دقیقی در محاسبات مربوطه دخالتی ندارند.

کاین در بررسی دقیقی برای تأثیر شکل قطعه بر محاسبه ابعاد تغذیه دو نسبت را به‌عنوان انعکاس هرچه بیشتر قطعه و تغذیه به‌صورت زیر تعریف نمود.

$$X = \frac{M_r}{M_c} \Rightarrow X = \frac{\text{مدول تغذیه}}{\text{مدول قطعه}} = \text{نسبت سرد شدن}$$

$$Y = \frac{V_r}{V_c} \Rightarrow Y = \frac{\text{حجم تغذیه}}{\text{حجم قطعه}} = \text{نسبت حجمی}$$

در روش چورنیف برای یک تغذیه باز استوانه‌ای حداقل مقادیر X و Y به قرار زیر است.

$$X = \frac{M_r}{M_c} = f > 1/2$$

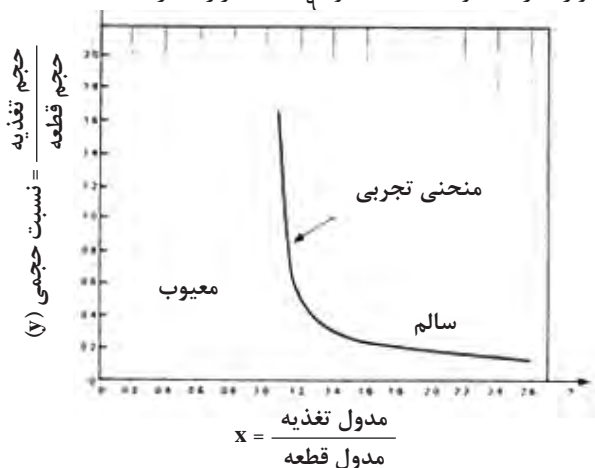
طبق این روش اگر حداکثر حجم قابل تغذیه شدن قطعه V_c و حجم تغذیه استوانه‌ای باز مربوطه V_r و ضریب انقباض حجمی فولاد $\beta = 5\%$ و حجم حفره انقباضی نسبت به تغذیه برابر 14% باشند خواهیم داشت.

$$V_c = V_r \frac{14 - \beta}{\beta}$$

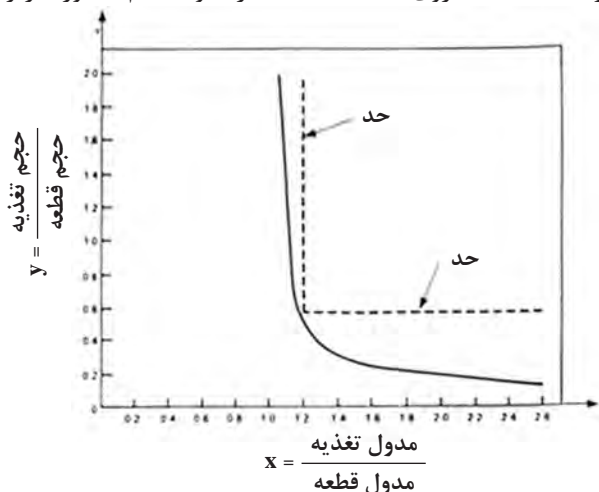
$$\frac{V_r}{V_c} = \frac{\beta}{14 - \beta} = \frac{5}{14 - 5} = \frac{5}{9}$$

$$Y = \frac{V_r}{V_c} > \frac{5}{9}$$

لذا در روش چورنیف انتخاب درست تغذیه ایجاب می‌کند که تغییرات Y نسبت به تغییرات X همواره در محدوده $X > 1/2$ و $Y > \frac{5}{9}$ قرار بگیرد.



کاین ارتباط واقعی نسبت سرد شدن X و نسبت حجمی Y قطعه و تغذیه استوانه‌ای باز را با انجام آزمایشات متعدد روی قطعات مختلف نازک و ضخیم به صورت زیر ارائه کرد.



نمودار خط‌چین در شکل صفحه قبل براساس روش چورنیف رسم شده و اختلاف آن را با منحنی تجربی کاین نشان می‌دهد. کاین در این آزمایشات متوجه شد که برای قطعات نازک‌تر کارایی تغذیه بیشتر بوده، به‌طوری که با افزایش نسبت سرد شدن ($X = \frac{M_r}{M_c} = f$) نسبت حجمی تغذیه به قطعه کاهش یافته و در نتیجه توسط تغذیه کوچک‌تری در قطعات نازک نسبت به قطعات ضخیم می‌توان حجم

معینی را تغذیه نمود. در این شرایط راندمان ریختگی نیز افزایش خواهد یافت. به‌طور کلی کاین نتایج آزمایشات خود را به‌صورت رابطه زیر نشان داده است.

$$X = \frac{a}{Y-b} + c$$

که X و Y به ترتیب نسبت‌های سرد شدن و حجمی بوده و a , b , c مقادیر ثابت تجربی هستند. تجربیات کاین اساس روش‌های جدیدی در محاسبه ابعاد تغذیه گردید که توسط افراد دیگری ادامه یافت. عمدتاً این روش‌ها به روابط ریاضی پیچیده منتهی می‌شوند که ضرورت به‌کارگیری کامپیوتر را ایجاب می‌کنند. در اینجا تمام روش‌های ارائه شده براساس تجربیات کاین که به تغییرات کارایی تغذیه نسبت به شکل قطعات مختلف توجه کرده‌اند تحت عنوان روش کاین نامیده شده‌اند.

در زیر چگونگی محاسبات انجام شده برای محاسبه قطر تغذیه D برحسب مدول قطعه M_c و حجم قابل تغذیه قطعه یا بخشی از آن V_c با توجه به شکل قطعه ملاحظه می‌گردد که به یک معادله درجه سه منتهی شده است. البته در این محاسبات تغذیه به‌صورت باز و استوانه‌ای در نظر گرفته شده به‌طوری که قطر و ارتفاع آن مساوی باشند $H=D$

همان‌طور که در مورد زمان انجماد قطعه و تغذیه مربوط به آن در بخش‌های قبلی آمده است اگر تغذیه قبل از قطعه به انجماد کامل برسد، قطعه با کمبود مذاب مواجه شده و معیوب خواهد شد و برعکس وجود مذاب در تغذیه پس از انجماد کامل قطعه نیز ضرورتی نخواهد داشت و لذا بهترین حالت زمانی است که تغذیه و قطعه با هم به پایان انجماد برسند و به عبارت دیگر باید زمان انجماد قطعه و تغذیه یکسان باشد. طبق قانون چورنیف زمان انجماد از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$t = k \left(\frac{V}{A} \right)^n$$

چون در خلال انجماد مقداری از مذاب تغذیه به قطعه منتقل شده و مقدار دیگری از آن صرف جبران انقباض در انجماد خود تغذیه می‌شود لذا زمان انجماد تغذیه برای ریخته‌گری یک صفحه خواهد شد.

$$t_r = k_r \left[\frac{V_r - \beta(V_c - V_r)}{A_r} \right]^{n_r} \Rightarrow k_r \left[\frac{V_r(1-\beta) - \beta V_c}{A_r} \right]^{n_r}$$

مقداری از مذاب تغذیه در طول انجماد به مذاب قطعه اضافه می شود و در حقیقت می توان قطعه را با حجم بیشتر ولی با سطح سردشونده اولیه تصور کرد در نتیجه زمان انجماد آن خواهد شد.

$$t_c = k_c \left[\frac{V_c + \beta V_c}{A_c} \right]^{n_c} \Rightarrow k_c \left[\frac{V_c (1 + \beta)}{A_c} \right]^{n_c}$$

در روابط بالا β درصد انقباض حجمی فولاد در خلال انجماد می باشد با مساوی قرار دادن زمان های انجماد قطعه و تغذیه خواهیم داشت.

$$K_r \left[\frac{V_r (1 - \beta) - \beta V_c}{A_r} \right]^{n_r} = K_c \left[\frac{V_c (1 + \beta)}{A_c} \right]^{n_c}$$

با فرض اینکه $K_r = K_c$ و نسبت $\frac{n_c}{n_r}$ برابر مقدار ثابتی چون α باشد داریم.

$$\left[\frac{V_r (1 - \beta) - \beta V_c}{A_r} \right] = \left[\frac{V_c (1 + \beta)}{A_c} \right]^\alpha$$

$$M_r (1 - \beta) - \beta \frac{V_c}{A_c} = (M_c)^\alpha (1 + \beta)^\alpha$$

در صورتی که تغذیه را استوانه بازروی با مشخصات $H=D$ در نظر بگیریم یک سطح تغذیه در محل اتصال به قطعه به عنوان سطح سردشونده محسوب نمی شود لذا مدول آن خواهد شد.

$$M_r = \frac{\pi \frac{D^r}{4} \times D}{\pi \frac{D^r}{4} + \pi D \times D} \Rightarrow M_r = \frac{\pi \frac{D^r}{4}}{\pi \frac{D^r}{4} + \pi D^r} \Rightarrow M_r = \frac{D}{\Delta}$$

در نتیجه رابطه بالا خواهد شد.

$$\frac{D}{\Delta} (1 - \beta) - \beta \frac{V_c}{\pi \frac{D^r}{4} + \pi D^r} = (M_c)^\alpha (1 + \beta)^\alpha$$

$$D^r - \Delta D^r \times (M_c)^\alpha \times \frac{(1 + \beta)^\alpha}{1 - \beta} - \frac{4}{\pi} \times \frac{\beta}{1 - \beta} \times V_c = 0$$

α به صورت تجربی با توجه به شکل قطعه و تغذیه و نوع آلیاژ تعیین می گردد (مثلاً مقدار n در رابطه چورنیف را برحسب شکل قطعه و نوع آلیاژ ریختگی برای فولاد کربنی و قطعه صفحه ای شکل برابر ۲ در نظر می گیرند) و با مشخص بودن درصد انقباض فولاد β و همچنین حجم و مدول قطعه V_c و V_r قطر تغذیه باز استوانه ای D از رابطه بالا قابل محاسبه خواهد بود. باید توجه نمود که V_c برابر حجم قابل تغذیه

شدن قطعه می باشد و با توجه به شکل قطعه و منطقه اثر یک تغذیه باید محاسبه گردد. این روابط تنها برای تغذیه های باز استوانه ای با نسبت $H=D$ صادق است، در صورتی که انواع دیگر تغذیه ها مورد نظر باشد، باید در محاسبات قبلی مقادیر V_r و M_r مربوط به این نوع تغذیه ها را منظور نمود و در نتیجه به جای معادله درجه سه قبلی معادله دیگری حاصل خواهد شد.

محاسبه ابعاد تغذیه با روش بیشاپ Bishop

علت ارائه این روش مشکلاتی بود که در محاسبه مدول قطعات پیچیده در روش کلاسیک چورنیف به وجود می آمد لذا در روش بیشاپ به جای مدول $M = \frac{V}{A}$ ضریب دیگری به نام ضریب شکل جایگزین گردید که با حجم قطعه و تغذیه ارتباط پیدا می کرد.

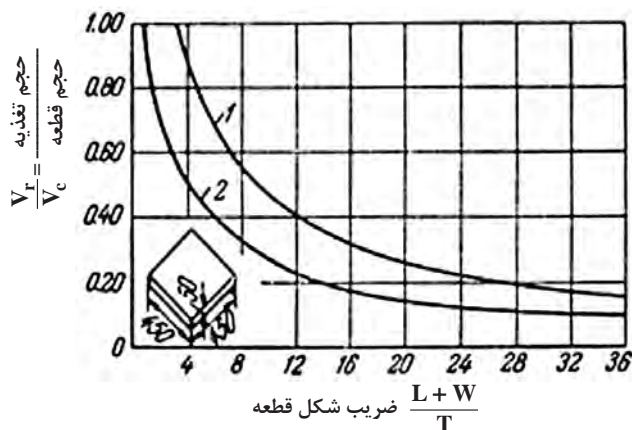
$$\frac{L+W}{T} = \text{ضریب شکل}$$

W = پهناي قطعه

L = طول قطعه

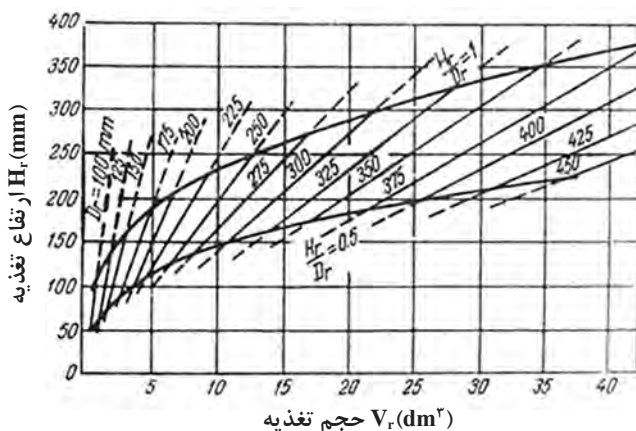
T = ضخامت قطعه می باشد.

شکل زیر نشان دهنده رابطه بین ضریب شکل قطعه و نسبت حجم تغذیه به حجم قطعه است.

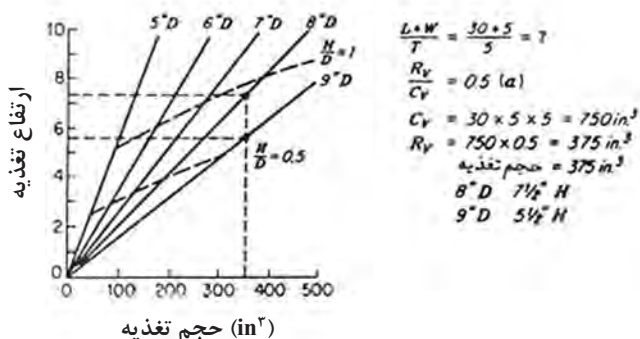


چگونگی ارتباط ضریب شکل قطعه $\left(\frac{L+W}{T}\right)$ و نسبت حجمی $\left(\frac{V_r}{V_c}\right)$

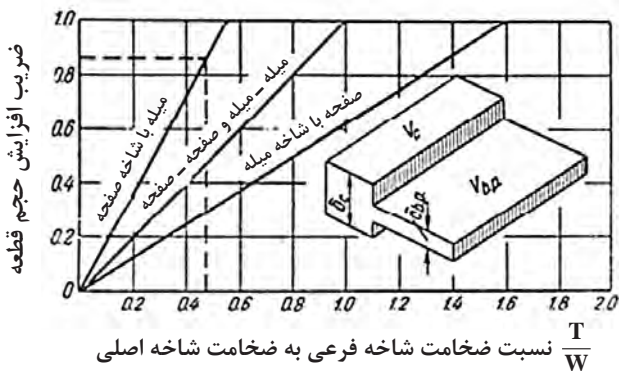
با تعیین ضریب شکل قسمتی از قطعه که نیاز به تغذیه دارد و با استفاده از منحنی بالا نسبت حجم تغذیه به حجم قطعه به دست می آید و با معلوم بودن حجم قطعه، حجم تغذیه و در نتیجه ابعاد آن قابل محاسبه می گردد.



تعیین ارتفاع تغذیه از روی حجم آن در سیستم متریک



تعیین ارتفاع تغذیه از روی حجم آن در سیستم اینچی



تعیین ضریب افزایش حجم قطعه نسبت ضخامت شاخه فرعی به ضخامت شاخه اصلی

تعیین ضریب افزایش حجم قطعه در اثر اتصال شاخه به آن

محاسبه ابعاد تغذیه به روش نامور R.Namur

در این روش حجم تغذیه V_r از معادله زیر به دست می آید:

$$V_r = AR_c^r + \alpha V_c$$

که $A = \frac{V_c}{R_r^r}$ به عنوان ضریب شکل تغذیه، که R_r ضخامت تغذیه، R_c ضخامت قطعه در نقطه اتصال به تغذیه و α ضریب انقباض حجمی فولاد از مایع به جامد و V_c حجم قسمتی از قطعه که از یک تغذیه استفاده می کند می باشد با داشتن حجم تغذیه و انتخاب شکل آن، ابعاد آن به راحتی قابل محاسبه هستند.

محاسبه ترکیب آلیاژ

برای تدریس این قسمت بهتر است که ابتدا شمش خالص آلومینیوم، انواع هاردنرهای آلومینیوم-سیلیسیم، آلومینیوم-مس همچنین چند قطعه برگشتی از کارگاه به همراه قراضه به هنجریان نشان داده شود و سپس در مورد هر کدام و مشخصاتشان از آنها سؤالاتی پرسیده شود و در صورت نیاز آنها را راهنمایی کرده و در نهایت نقش هر کدام در شارژ کوره بیان شود. لذا از هنجریان خواسته شود در صورت امکان قطعاتی از جنس فلزات خالص را نام ببرند و علت خالص بودن آنها را شرح دهند سپس به تعریف آلیاژ و علت ترکیب کردن فلزات با یکدیگر پرداخته شود.

دانش افزایی

فلزات خالص در صنعت تعدادشان محدود است و بنابراین خواص و کاربرد آنها نیز محدود است. از فلزات خالص به جز در موارد به خصوصی نمی توان استفاده نمود (مانند خاصیت حرارتی بالا - خاصیت الکتریکی بالا - تغییر شکل و...) لذا برای بهبود مشخصات و ایجاد تغییرات مناسب در آنها عناصری به فلز خالص اضافه می شود. این اضافه کردن عناصر به فلز خالص یا به طور کلی آلیاژسازی باعث می شود که استحکام فلز خالص افزایش یابد. بنابراین آلیاژ عبارت است از ترکیب یا محلول یا کریستال های مخلوط دو یا چند عنصر که یکی از آنها فلز بوده یا کلاً خاصیت فلزی داشته باشد. به عناصری که این آلیاژ را تشکیل می دهند اجزای آلیاژ گفته می شود. اگر سیستمی از دو جزء تشکیل شده باشد مجموعه ای از ترکیبات متفاوت این دو جزء پدیدآورنده یک سیستم آلیاژی دوتایی است. حال اگر یک سیستم آلیاژی سه جزیی تشکیل شود یک سیستم آلیاژی سه تایی نامیده می شود. مثلاً مس-روی (برنج) از دو جزء تشکیل شده و مس-روی-سرب از سه جزء و مس-روی-سرب-قلع از چهار و... .

اگر تنها ۴۵ عنصر معروف فلزات در نظر گرفته شوند با آنها می توان ۹۹۰ سیستم دوتایی پدید آورد و ترکیب سه تایی آنها بیش از ۱۴۰۰۰ سیستم سه تایی خواهد بود. در یک سیستم دوتایی تنها با تغییر ترکیب دو جزء به میزان یک درصد ۱۰۰ آلیاژ گوناگون پدید می آیند. از آنجایی که اغلب آلیاژهای صنعتی حاوی

چند جزء (عنصر یا ترکیب) هستند روشن است که تعداد آلیاژهای امکان پذیر به بی نهایت خواهد رسید.

در ساخت آلیاژها فلزی که درصد بیشتری را تشکیل می دهد عنصر پایه و بقیه عناصر را آلیاژی گویند.

ترکیب: اغلب ترکیبات شیمیایی از عناصری تشکیل می شوند که دارای ظرفیت های منفی و مثبت هستند، انواع مختلف اتم ها به نسبت های مشخصی با هم ترکیب می شوند و در کنار هم قرار گیرند که با فرمول شیمیایی نشان داده می شوند از نمونه های معروف NaCl و H_2O و... که در فرمول آب دو اتم هیدروژن با یک اتم اکسیژن ترکیب شده. اتم ها با هم ترکیب شده و مولکول را به وجود می آورند که کوچک ترین واحدی است که خواص یک ترکیب شیمیایی را دارد، در ترکیب ها اتم ها در محل های معینی قرار می گیرند.

محلول: اکثر فلزات در حالت مذاب با هم تشکیل محلول های مذاب همگنی را می دهند، در تبدیل آنها به یک حالت کریستالی جامد، همگنی بسیاری از آلیاژها حفظ می شود در نتیجه قابلیت آنها نیز حفظ می شود. فازهای جامدی که در آنها نسبت اجزاء می توانند بدون تخلف از یکنواختی تغییر کنند را محلول جامد گویند. در محلول جامد انواع مختلف اتم های اجزای موجود در آلیاژ یک شبکه کریستالی مشترک را تشکیل می دهند. عنصری که شبکه کریستالی اش حفظ شود حلال و عنصری که شبکه کریستالی آن از بین برود محلول نامیده می شود. **کریستال مخلوط:** بسیاری از فلزات دارای خاصیتی می باشند که می توانند، اتم های فلزات دیگر را تحت شرایطی در شبکه خود جای دهند، بدین ترتیب مخلوطی بسیار ظریف از هر دو نوع اتم در یک شبکه کریستالی به وجود می آید که به کریستال مخلوط معروف است. این کریستال مخلوط دارای شبکه کریستالی فلزات اصلی می باشند و با حروف یونانی α ، β ، γ و... نشان داده می شوند. مثلاً آلیاژ برنج (مس-روی) یک محلول است ولی نمک طعام یک ترکیب است، فاز α (فریت) در فولادها یک کریستال مخلوط است.

جدول ۵- خصوصیات فلزی که توسط آلیاژسازی تحت تأثیر قرار می گیرند

خواص مکانیکی	خواص فزاینده	خواص کاری	خواص فیزیکی
استحکام در دمای بالا	قابلیت ریخته گری	مقاومت حرارتی	مدول الاستیسیته
سختی پذیری	قابلیت جوشکاری (لحیم کاری)	تافنس و مقاومت سرمایی	دانسیته
مقاومت خستگی	قابلیت شکل پذیری	مقاومت خوردگی	خواص مغناطیسی
مقاومت خزشی	قابلیت ماشین کاری	سختی و مقاومت به سایش	خواص الکتریکی
		مقاومت اکسیداسیون	انبساط حرارتی
			رنگ

در متالورژی تعیین درصد عناصر یا مواد تشکیل دهنده و یا انطباق بعضی از خواص اجسام با نسبت اتم‌های متشکل آن لازم به نظر می‌رسد. در عمل همواره مقدار کل و مجموعه اتم‌ها یا مواد را با عدد ۱۰۰ نشان می‌دهند. بنابراین محاسبه عناصر متشکله به صورت دو درصد اتمی و وزنی بوده که درصد وزنی از آنجایی که با وزن کردن مواد با ترازو راحت‌تر است معمول‌تر می‌باشد و از درصد اتمی کمتر استفاده می‌شود.

بنابراین یکی از مهم‌ترین مسائلی که در تهیه قطعات ریختگی همواره مورد توجه است تعیین ترکیب آلیاژ می‌باشد. مهم‌تر آنکه در تهیه آلیاژ و ساخت قطعات باید به مشخصات اقتصادی نیز توجه نمود و با استفاده حداکثر از مواد اولیه ارزان، هزینه تمام شده قطعات را حتی‌الامکان کاهش داد.

تحصیل دو عامل متالورژیکی و اقتصادی فوق، استفاده از قراضه‌ها، برگشتی‌ها و کاهش اتلافات مواد ذوب و محاسبات دقیق و کنترل شرایط ذوب را لازم می‌نماید. در تهیه آلیاژ معمولاً از دسته‌های مختلف آلیاژی استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:

۱ شمش‌های اولیه

۲ شمش‌های ثانویه

۳ آلیاژسازها

۴ قراضه‌ها

شمش‌های اولیه

شمش‌های اولیه قطعاتی هستند که برحسب نوع فلز در وزن معین، از مواد اولیه (سنگ معدن) تهیه می‌شوند، این شمش‌ها معمولاً درجه خلوص زیادی دارند، این شمش‌ها مستقیماً از روش‌های استخراجی تهیه می‌شوند و حاوی ناخالصی‌های موجود در سنگ معدن فلز می‌باشند. در این مورد می‌توان به شمش‌های آلومینیوم، مس، روی و... اشاره کرد.

شمش‌های ثانویه

این شمش‌ها دارای ترکیب معین و مشخصی می‌باشد و از ذوب و تصفیه قراضه‌ها و یا ذوب مجدد و تصفیه و اضافه کردن مواد ترکیبی معین تولید می‌شوند، از نظر درجه خلوص با شمش‌های اولیه متفاوت می‌باشند ولی کنترل ترکیبی معین در آنها وجود دارد. این شمش‌ها با ترکیباتی معین ساخته می‌شوند که مستقیماً قابل مصرف در صنعت هستند.

آلیاژسازها

در تهیه آلیاژهای مختلف، اغلب لازم است که فلزی را به فلز دیگر افزود، افزایش

یک فلز (عنصر) به فلز دیگر اشکالاتی را پدید می‌آورد که به نقطه ذوب آنها و تفاوت فشار بخار آنها بستگی دارد.

به عنوان مثال چنانچه عنصری با نقطه ذوب پایین به عنصری با نقطه ذوب بالا افزوده شود و کاملاً درهم محلول باشند، هیچ گونه مسئله متالورژیکی پدید نمی‌آید. در حالی که اگر میزان حلالیت این دو عنصر کم باشد و یا اختلاف فشار آنها زیاد باشد امکان تبخیر و تصعید عنصر با نقطه ذوب پایین زیاد می‌شود، از طرفی در چنین حالتی تمایل عنصر با نقطه ذوب پایین به اکسیده شدن زیاد است که در نتیجه دامنۀ اتلافات فلزی زیاد می‌شود، علاوه بر آنچه عکس مسئله بالا باشد یعنی فلزی یا عنصری با نقطه ذوب بالا به فلزی با نقطه ذوب پایین اضافه شود امکان ذوب آن و پخش یکنواخت و محلولی آن کم است و نمی‌توان به سهولت آن را به شارژ اضافه کرد. در چنین مواردی از ترکیبات پرعیار آنها تحت نام آلیاژساز استفاده می‌شود.

بنابراین آلیاژسازها عبارت‌اند از آلیاژ دو یا چند عنصر با نسبت ترکیبی پرعیار که عموماً ارزش صنعتی و مکانیکی ندارند و فقط در مورد عملیات ذوب و افزودن عنصری به عنصر دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مشخصات مهم این آلیاژها آن است که:

(الف) دارای نسبت ترکیبی مشخصی از حداقل دو عنصر هستند.

(ب) نقطه ذوب آنها حتی‌الامکان پایین است.

(ج) قابل شکستن هستند.

برای این قسمت می‌توان فعالیت خواسته شده در کتاب را طبق مراحل خواسته شده انجام دهند تا روش ساخت هاردنرها و محاسبات آنها آشنا شوند

۱) ۱۰ کیلوگرم هاردنر آلومینیوم - مس (۵۰-۵۰) را پس از محاسبات لازم

تحت نظر هنرآموز شارژ و عملیات ریخته‌گری را انجام دهید.

۲) ابتدا مس را تحت یک فلاکس پوششی مثل بوراکس، خرده شیشه، زغال

چوب و... ذوب کنید.

۳) از ایجاد فوق ذوب جلوگیری نمایید.

۴) آلومینیوم را در قطعات کوچک و به دفعات ۴ تا ۵ مرتبه به مذاب مس اضافه

کنید و مذاب را خوب بهم بزنید.

۵) مذاب را در قالب شمش تخلیه کنید.

نکته: برای ساخت هاردنر از شمش خالص آلومینیوم و مس استفاده نمایید.

در هنگام توزین مقادیر محاسبه شده آلومینیوم و مس دقت کنید و از ترازویی با دقت بالا استفاده کنید.

قراضه‌ها

مواد غیرقابل استفاده را قراضه گویند، قراضه‌ها به دو دسته برگشتی‌ها و قراضه‌های تجاری تقسیم می‌شوند.

۱ برگشتی‌ها

۲ قراضه‌های تجاری

الف) برگشتی‌ها: در هر کارگاه ریخته‌گری، قطعات برگشتی وجود دارد که این مواد شامل قطعات معیوب، راهگاه‌ها، منابع تغذیه و... می‌باشند که از تولید قبلی به جا مانده‌اند. بنابراین برگشتی‌ها شامل قطعات اضافی است که در خود کارگاه وجود دارد و از آنجایی که در کارگاه تولید شده نسبت ترکیبی آن مشخص است.

ب) قراضه‌های تجاری: قراضه‌های تجاری عبارت از قطعات فلزی می‌باشند که قبلاً قسمتی از ماشین‌آلات یا دستگاه‌های تولیدی بوده‌اند و به دلیل شکستن، خرد شدن و... ارزش تعمیراتی ندارند و فقط به منظور ذوب مجدد از آنها استفاده می‌شود. از این رو از آنها به میزان ۳۰ تا ۷۰ درصد شارژ توصیه می‌شود، به طور کلی قراضه‌ها ترکیباتی مشخص ندارند و فقط از روی شکل ظاهری هر قطعه به دامنه آلیاژی آن می‌توان پی برد. در کارخانه‌های صنعتی پیشرفته ابتدا قراضه‌ها را ذوب کرده، ترکیبی از آن مشخص می‌کنند و سپس از آن استفاده می‌کنند.

عملیات کیفی مذاب

برای آموزش این قسمت ابتدا توضیحاتی در مورد عیوب ریختگی را بیان نموده و مطالبی از سال‌های قبل در این مورد یادآوری شود. سپس در مورد عیوب حفره‌های گازی و انقباضی بحث و تبادل نظر شود و به بیان تفاوت بین این دو عیب پرداخته شود و روش‌های جلوگیری از ایجاد این عیوب بررسی گردد و در نهایت فعالیت زیر را طبق مراحل خواسته شده انجام دهند و قطعات تولیدی بررسی گردد و تفاوت آنها را به عینه مشاهده نمایند.

در درجه حرارت ذوب آلومینیوم، فعل و انفعالات شیمیایی مختلف بین مواد اکسیدی و ترکیبات مختلف و آلومینیوم و مواد آلیاژی آن انجام می‌گیرد که حاصل آن به صورت مواد جامد غیرفلزی (اکسیدی) و یا حباب‌های گازی در قطعه باقی می‌ماند. اکسیژن هوا و همچنین ازت موجود در آن مهم‌ترین منشأ وجود ترکیبات غیرفلزی در مذاب آلومینیوم هستند. سوخت‌های فسیلی در درجه حرارت اشتعال به CO ، CO_2 و H_2O تجزیه می‌شوند. سایر ترکیبات سوخت مانند CH_4 ، H_2 و N_2 می‌توانند تا حدودی از شدت اکسیداسیون بکاهند ولی اغلب آنان به صورت دیگری گازهای محلول در مذاب را افزایش می‌دهند. باید توجه داشت که کلیه گازها مانند CO ، H_2O ، CO_2 و CH_4 در مذاب آلومینیوم نامحلول هستند و فقط هیدروژن در آن حل می‌گردد و CH_4 نیز در اثر تجزیه به هیدروژن و کربن تبدیل می‌شود. بخار آب از هر منبعی که حاصل شود با آلومینیوم مذاب و مواد آلیاژی آن ترکیب می‌شود که نتیجه آن علاوه بر ترکیبات اکسیدی، وجود هیدروژن به صورت اتمی می‌باشد که در مذاب حل می‌گردد. مواد نسوز مورد استفاده در صنایع آلومینیوم بیشتر از انواع گرافیت و ترکیبات سیلیسی می‌باشد تا تشکیل ترکیبات مختلف را کاهش دهد. مواد نسوز، اغلب با روش مکانیکی شکسته و به مذاب آلومینیوم افزوده می‌شود ولی در درجه حرارت‌های ذوب نیز وجود فعل و انفعالاتی امکان‌پذیر است. هیدروژن تنها گاز قابل حل در آلومینیوم مذاب است و به دلیل آنکه حلالیت آن در حالت جامد بسیار کم است، گازهای خارج شده از حلالیت به صورت حباب و تخلخل در قطعه ریخته شده خواص مکانیکی را به شدت کاهش می‌دهند. علاوه بر فعل و انفعالات فوق مواد ناخالصی و مواد غیرفلزی از طرق مکانیکی، در جریان ذوب، کاربرد وسایل ذوب، حمل و نقل، مواد قالب و... نیز به داخل مذاب رانده می‌شوند که ممکن است به همان صورت در مذاب باقی بمانند و یا تحت تأثیر یکی از فعل و انفعالات فوق، تغییرات ترکیبی آلیاژ را نیز باعث شوند.

روش‌های جلوگیری از فعل و انفعالات با مذاب

برای جلوگیری از این فعل و انفعالات باید نکاتی را رعایت کرد که عبارت‌اند از:

- ۱ جلوگیری از تلاطم مذاب
- ۲ استفاده از فلاکس‌های پوششی
- ۳ پیش گرم کردن و تمیز کردن مواد شارژ
- ۴ پیش گرم کردن بوته و نسوز
- ۵ استفاده از شعله نسبتاً اکسیدان در کوره‌های با سوخت‌های فسیلی
- ۶ استفاده از کوره‌های الکتریکی

۷ استفاده از نسوزهای مناسب برای هر آلیاژ

در ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم بسیاری از عناصر به صورت‌های ناخالصی فلزی، ترکیبات بین فلزی، گازها و آخال‌ها از منابع متنوع و متعدد به مذاب افزوده می‌گردند که در صورت عدم کنترل دقیق بر آنها و یا انجام عملیات خاص جهت حذف این مواد و یا تقلیل خواص مضر آنان، آلیاژ ریخته شده از کیفیت مطلوب برخوردار نخواهد بود. وجود مواد اکسیدی، حباب‌های گازی و درشت بودن شبکه از جمله مسائلی است که در ذوب آلومینیوم همواره مورد توجه و بررسی قرار می‌گیرد. از این رو عملیات کیفی در مذاب آلومینیوم به دسته‌های مختلف تقسیم می‌گردد.

در بسیاری موارد برای جلوگیری از اکسیداسیون مواد شارژ، آنها را با فلاکس (Coveral Flux) پوشش می‌دهند. برای جلوگیری از تمام مراحل ترکیبی، بایستی آلومینیوم قبل از ریختن از نظر ترکیب شیمیایی کنترل شود و چنانچه درصد یکی از عناصر زیادتر از اندازه متعارف باشد با افزودن آلومینیوم خالص و یا آمیزان‌های مخصوص ترکیب آن را موازنه نمود. در آزمایشات کنترل ترکیبی معمولاً مذاب را در یک قالب فلزی (کتابی) ریخته و از قسمت‌ها مختلف آن نمونه‌برداری می‌کنند و همچنین آزمایشات متالوگرافی نیز می‌تواند در این امر از اهمیت خاصی برخوردار باشد.

گازهای محلول در مایع بعد از انجماد به دلیل تنش سطحی مذاب و عدم امکان خروج کامل به صورت حباب‌هایی با اندازه‌های مختلف در قطعه ریخته‌شده باقی می‌مانند که خواص مکانیکی و وزن مخصوص قطعه را شدیداً کاهش می‌دهند. در مورد ذوب آلیاژهای آلومینیوم، هیدروژن تنها گازی است که به صورت محلول در مایع و حباب در جامد ظاهر می‌گردد و از این رو عملیات گاززدایی (هیدروژن زدایی) در ذوب آلومینیوم و آلیاژهای آن از اهمیت خاص برخوردار است. میزان حلالیت هیدروژن در مذاب آلومینیوم به درجه حرارت و فشار خارج از مذاب (نسبت به فشار داخل مذاب) بستگی دارد و همین امر پایه و اساس گاززدایی آلومینیوم را تشکیل می‌دهد. لذا کنترل درجه حرارت برای اجتناب از جذب گاز (که بایستی حداقل ممکن باشد) اولین عاملی است که در جریان ذوب باید رعایت شود. ذوب در خلأ به دلیل عدم وجود گازهای محیطی، علاوه بر تقلیل میزان هیدروژن از شدت اکسیداسیون و امکان وجود سایر ترکیبات غیرفلزی نیز می‌کاهد. مهم‌ترین اصل در این روش تقلیل فشار خارجی است که در نتیجه حلالیت هیدروژن را به نسبت زیادی تقلیل می‌دهد. این روش در صنایع امروزه در حال توسعه است. افزودن گازهای بی‌اثر مانند ازت و آرگون باعث آن می‌گردد که فشار نسبی داخل مذاب افزایش پیدا کرده

و در نتیجه از حلالیت هیدروژن کاسته شود. ترکیب فلوئور مضاعف سدیم سیلیسیم Na_3SiF_6 نیز که در داخل مذاب تجزیه می‌شود و گاز SiF_4 را که نسبت به مذاب آلومینیوم بی‌اثر است، تولید می‌کند نیز همان نتایج گازهای ازت و آرگون را دارد جز آنکه سدیم حاصل نمی‌تواند در آلیاژهای منیزیم‌دار به کار رود. بهترین روش مؤثر در هیدروژن‌زدایی از آلومینیوم مذاب استفاده از کلر می‌باشد. به جای استفاده از گاز کلر، اغلب ترکیبات قابل تبخیر آن و به خصوص هگزاکلرواتان C_6Cl_6 استفاده می‌شود در بسیاری موارد تتراکلر و کربن CCL_4 مخلوط با ازت نیز به عنوان مواد گاززدا به کار می‌رود. همچنین به دلیل سمی بودن گاز کلر در کارخانجات امروز از مخلوط ۱ به ۶ گاز ازت و کلر استفاده می‌کنند.

جوانه‌زها (Grain refiners)

جوانه‌زها ذرات جامد معلق در مایع می‌باشند که به عنوان هسته‌های غیریکنواخت در انجماد عمل می‌کنند و افزایش تعداد هسته‌ها، باعث کوچک و یکنواخت شدن شبکه‌های کریستالی آلیاژ جامد می‌گردند. مشخصات عمومی این عناصر نقطه ذوب بالا، شباهت ساختمان کریستالی و نزدیکی ابعاد سلولی به ساختمان جامد آلومینیوم و قابلیت ترشوندگی (Wettability) است. TiC که در 3250°C ذوب می‌شود و دارای ساختمان کریستالی FCC است. ضلع ثابت آن $a = 4/329$ قطر

اتمی تیتان و کربن به ترتیب برابر $2/91$ و $1/54$ آنگستروم می‌باشد و نسبت اندازه

اتمی TiC به آلومینیوم برابر $1/07 = \frac{4/329 a(\text{TiC})}{4/041 a(\text{Al})}$ می‌باشد که تغییرات

ابعادی آن $7\%+$ و دقیقاً می‌توانند به عنوان هسته غیریکنواخت در آلومینیوم مذاب حضور داشته باشند.

TiN همچنین با ساختمان نمک طعام (NaCl) و ضلع ثابت $4/23$ و نقطه ذوب 2950°C یکی دیگر از ترکیبات برای کوچک کردن دانه‌های ساختمان آلیاژهای آلومینیوم می‌باشد. ترکیبات تیتان توسط آمیزان‌های آلومینیوم، تیتانیم و یا توسط فلاکس K_2TiF_6 به مذاب افزوده می‌گردد. زیر کنیم که همراه فلاکس K_2ZrF_6 به مذاب افزوده می‌گردد (این فلاکس خاصیت گاززدایی مهمی ندارد) در آلیاژ مذاب تبدیل به ZrC می‌گردد که در ساختمان FCC نوع نمک طعام دارای

ثابت کریستالی $a = 4/763$ آنگستروم و نسبت سلولی $1/17 = \frac{4/763}{4/041}$ می‌باشد

و خاصیت ریز کردن کمتری از TiN و TiC دارد. مهم‌ترین عنصر در ریز کردن دانه‌ها وجود تیتانیوم می‌باشد و باید توجه کرد که چنانچه مقدار تیتانیوم از حدود ۰/۲ درصد تجاوز کند بسیاری از ترکیبات بین فلزی تیتان حاصل می‌گردد که قابلیت کار مکانیکی بحرانی آلیاژ را شدیداً کاهش می‌دهند. از طرف دیگر وجود B بیش از اندازه مورد نیاز (۰/۰۳ درصد) باعث افزایش مقدار هیدروژن محلول در مذاب می‌گردد.

در ذوب مجدد آلیاژهای آلومینیوم، تیتانیوم و بُر امکان ریز کردن شبکه را ندارند و ترکیبات مختلف در مذاب بدون تأثیر خواهند بود و همچنین گاززدایی و عملیات فلاکس تأثیر ریزکننده‌ها را از بین خواهد برد. از این رو بایستی این مواد در انتهای عملیات ذوب افزوده شوند و به دلیل امکان رسوب ترکیبات زمان نگهداری مذاب بعد از عملیات ریز کردن نبایستی طولانی باشد.

در خاتمه توضیح این نکته ضروری است که ریز کردن دانه‌ها تحت تأثیر شرایط سرد کردن نیز انجام می‌گیرد و به‌خصوص در شمش‌ریزی‌های مداوم و نیمه‌مداوم به دلیل سرعت زیاد انجماد اندازه کریستال‌ها بسیار کوچک می‌باشند. از طرف دیگر ریز کردن دانه‌ها که قابلیت کار مکانیکی آلیاژ را افزایش می‌دهد بیشتر درمورد آلیاژهای نوردی مورد استفاده قرار می‌گیرد و آلیاژهای ریخته‌گری فقط در اثر شرایط خاص مشمول این عملیات می‌گردند.

آلیاژسازی

برای آموزش این قسمت می‌توان قطعاتی از جنس آلومینیوم خالص را به همراه قطعاتی از جنس آلومینیوم - سیلیسیم یا آلومینیوم - مس را به هنجرویان نشان داد سپس به بررسی خواص آنها و کاربردهای مختلف این آلیاژها در صنعت پرداخت. در نهایت می‌توان در آزمایشگاه تست‌های سختی، مقاومت به ضربه و... را انجام داد و نتایج را با هم مقایسه کرد تا علت کاربرد آلیاژها در صنعت برای هنجرویان مشخص شود. سپس روش محاسبه ترکیب شارژ و مقدار مورد نیاز از مواد شارژ را برای آنها بیان کرده و ضمن حل کردن چند مثال دیگر از هنجرویان خواسته شود تا فعالیت‌های خواسته شده در کتاب را حل نمایند و در نهایت محاسبات آنها را بررسی کرد تا فعالیت‌ها را درست انجام دهند.

آلیاژسازی را می‌توان به صورت فرایند افزودن یک یا چند عنصر به فلز پایه به منظور ایجاد تغییرات مفید در خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی تعریف کرد. چنانچه یک یا چند عنصر اضافه شده به فلز پایه در اثر ترکیب با هوا، یا گازهای دیگر به سرباره منتقل نشوند و در داخل مذاب باقی بمانند عمل آلیاژسازی انجام شده است. بدیهی است که هر عنصری و به هر دلیلی که وارد مذاب شده باشد قسمتی از نسبت ترکیب آلیاژ را اشغال خواهد نمود. در آلیاژسازی سعی می‌شود تا جایی که ممکن است از داخل شدن ناخالصی‌ها و مواد ناخواسته جلوگیری به عمل آید.

مقادیر تشکیل دهنده هر آلیاژ به صورت جزء وزنی (یا اتمی) و یا درصد وزنی (یا اتمی) بیان می‌گردد.

توجه: مجموع مقادیر وزنی (یا اتمی) اجزای تشکیل دهنده یک آلیاژ در صورت بیان به صورت جزء وزنی (یا اتمی) برابر واحد و در صورت بیان به صورت درصد وزنی (یا اتمی) برابر ۱۰۰٪ است.

درصد وزنی عبارت است از نسبت وزن یک عنصر یا یک ترکیب در ۱۰۰ واحد وزن از یک ماده.

درصد اتمی عبارت است از نسبت تعداد اتم‌های یک عنصر یا یک ترکیب در ۱۰۰ واحد اتم از یک ماده.

نسبت اجزای تشکیل دهنده هر آلیاژ می‌تواند در دو مقیاس اتمی و وزنی به صورت‌های جزء اتمی یا جزء وزنی و یا درصد اتمی یا وزنی بیان شود. در بسیاری از موارد لازم است تا این دو معیار به یکدیگر تبدیل شوند. معادلات زیر روش محاسبه مقیاس‌های اتمی و وزنی و نحوه تبدیل آنها به یکدیگر برای آلیاژی متشکل از دو جزء فرضی A و B را نشان می‌دهد.

$$\text{درصد وزنی (X)} = \frac{\text{تعداد اتم‌های A}}{\text{تعداد اتم‌های A} + \text{تعداد اتم‌های B}} \times 100 \Rightarrow \frac{\text{درصد وزنی (X)}}{\text{وزن اتمی (M)}} \times 100 = \frac{\text{درصد وزنی (Y)}}{\text{وزن اتمی (N)}} \times 100$$

$$\text{درصد اتمی (X)} = \frac{\text{تعداد اتم‌های A}}{\text{تعداد اتم‌های A} + \text{تعداد اتم‌های B}} \times 100 \Rightarrow \frac{\text{درصد اتمی (X)}}{\text{وزن اتمی (M)}} \times 100 = \frac{\text{درصد اتمی (Y)}}{\text{وزن اتمی (N)}} \times 100$$

$$\text{وزن جزء A} = \frac{\text{وزن جزء B}}{\text{وزن جزء A} + \text{وزن جزء B}} \times 100 \Rightarrow \text{وزن جزء A} = \frac{\text{وزن اتم A} \times \text{درصد اتمی (X')}}{\text{وزن اتمی (M)} + \text{وزن اتمی (Y')} \times \text{درصد اتمی (X')}} \times 100$$

$$\text{وزن جزء B} = \frac{\text{وزن جزء A}}{\text{وزن جزء A} + \text{وزن جزء B}} \times 100 \Rightarrow \text{وزن جزء B} = \frac{\text{وزن اتم B} \times \text{درصد اتمی (Y')}}{\text{وزن اتمی (M)} + \text{وزن اتمی (X')} \times \text{درصد اتمی (Y')}} \times 100$$

مثال‌های مختلف

۱ چنانچه در ۲۰ کیلو از یک آلیاژ برنز (مس - قلع) ۲ کیلو قلع وجود داشته باشد درصد وزنی هر یک از عناصر را محاسبه نمایید؟
این آلیاژ از دو جزء A مس و جزء B قلع تشکیل شده است طبق روابط بالا داریم:
وزن مس $20 - 2 = 18 \text{ kg}$

$$\text{درصد مس در آلیاژ} = \frac{18}{18+2} \times 100 = 90\% \Rightarrow \text{درصد وزنی مس} = \frac{\text{وزن جزء A}}{\text{وزن جزء A} + \text{وزن جزء B}} \times 100$$

$$\text{درصد قلع در آلیاژ} = \frac{2}{18+2} \times 100 = 10\% \Rightarrow \text{درصد وزنی قلع} = \frac{\text{وزن جزء B}}{\text{وزن جزء A} + \text{وزن جزء B}} \times 100$$

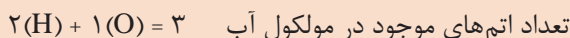
راه حل دوم که به صورت تناسب است (روشی که آموزش آن برای هنرجو آسان تر است پیشنهاد می گردد)

آلیاژ ۲۰ kg	قلع ۲ kg	
۱۰۰	x	$\Rightarrow \frac{x = 2 \times 100}{20} = 10\%$

آلیاژ ۲۰ kg	مس ۱۸ kg	
۱۰۰	x	$\Rightarrow \frac{x = 18 \times 100}{20} = 90\%$

۲ مطلوب است تعیین درصد اتمی اکسیژن و هیدروژن در آب خالص به فرمول شیمیایی H_2O ؟

این رابطه از دو جزء A هیدروژن و جزء B اکسیژن تشکیل شده است طبق روابط بالا داریم:



$$\text{درصد اتمی هیدروژن} = \frac{2}{2+1} \times 100 = 66.67\% \Rightarrow \text{درصد اتمی جزء A} = \frac{\text{تعداد اتم‌های A}}{\text{تعداد اتم‌های A} + \text{تعداد اتم‌های B}} \times 100$$

$$\text{درصد اتمی اکسیژن} = \frac{1}{2+1} \times 100 = 33.33\% \Rightarrow \text{درصد اتمی جزء B} = \frac{\text{تعداد اتم‌های B}}{\text{تعداد اتم‌های A} + \text{تعداد اتم‌های B}} \times 100$$

راه حل دوم که به صورت تناسب است

۳ atom (H_2O)	۱ atom (O)	
۱۰۰	x	$\Rightarrow \frac{1 \times 100}{3} = 33.33\%$

۳ atom (H_2O)	۲ atom (H)	
۱۰۰	x	$\Rightarrow \frac{2 \times 100}{3} = 66.67\%$

۳) مطلوب است تعیین درصد اتمی و درصد وزنی آهن و اکسیژن در یک ترکیب متجانس اکسیدی آن به فرمول Fe_xO_y ؟

$$M_{\text{Fe}} = 56 \quad M_{\text{O}} = 16$$

تعداد اتم‌های موجود در مولکول اکسید آهن $2(\text{Fe}) + 3(\text{O}) = 5$

درصد اتمی

اتم اکسید آهن

۵

۱۰۰

اتم آهن

۲

$$\Rightarrow \% \text{Fe} = \frac{2 \times 100}{5} = 40\%$$

درصد اتمی

اتم اکسیژن اتم اکسید آهن

$$\Rightarrow \% \text{O} = \frac{3 \times 100}{5} = 60\%$$

۵

۱۰۰

۳

x

درصد وزنی

$$\text{Fe}_x\text{O}_y = 2 \times 56 + 3 \times 16 = 160$$

اکسید آهن

۱۶۰ gr

۱۰۰

آهن

۱۱۲ gr

$$x \Rightarrow \% \text{Fe} = \frac{112 \times 100}{160} = 70\%$$

اکسید آهن

۱۶۰ gr

۱۰۰

اکسیژن

۴۸

$$x \Rightarrow \% \text{O} = \frac{48 \times 100}{160} = 30\%$$

۴) مقدار آلومینیوم در یک آلیاژ مس - آلومینیوم برابر ۹ درصد وزنی است تعیین کنید درصد اتمی آلومینیوم را در این آلیاژ؟

چنانچه وزن این آلیاژ ۱۰۰ گرم در نظر گرفته شود معلوم است که ۹ گرم از آن به آلومینیوم و ۹۱ گرم از آن به مس اختصاص دارد. با توجه به وزن اتمی آلومینیوم و مس که به ترتیب برابر ۲۷ و ۶۴ می‌باشد.

$$100 - 9 = 91 \text{ gr} \quad \text{وزن مس}$$

$$\% \text{Al} = \frac{\frac{A \text{ درصد وزنی (X)}}{A \text{ وزن اتمی (M)}}}{\frac{A \text{ درصد وزنی (X)}}{A \text{ وزن اتمی (M)}} + \frac{B \text{ درصد وزنی (Y)}}{B \text{ وزن اتمی (N)}}} \times 100 \Rightarrow \% \text{Al} = \frac{\frac{9}{27}}{\frac{9}{27} + \frac{91}{64}} \times 100$$

$$\Rightarrow \% \text{Al} = \frac{0.33}{1.42} \times 100 \Rightarrow \% \text{Al} = 18.85\%$$

$$\%Cu = \frac{\frac{B \text{ درصد وزنی (Y)}}{B \text{ وزن اتمی (N)}}}{\frac{A \text{ درصد وزنی (X)}}{A \text{ وزن اتمی (M)}} + \frac{B \text{ درصد وزنی (Y)}}{B \text{ وزن اتمی (N)}}} \times 100 \Rightarrow \%Cu = \frac{\frac{91}{64}}{\frac{9}{27} + \frac{91}{64}} \times 100$$

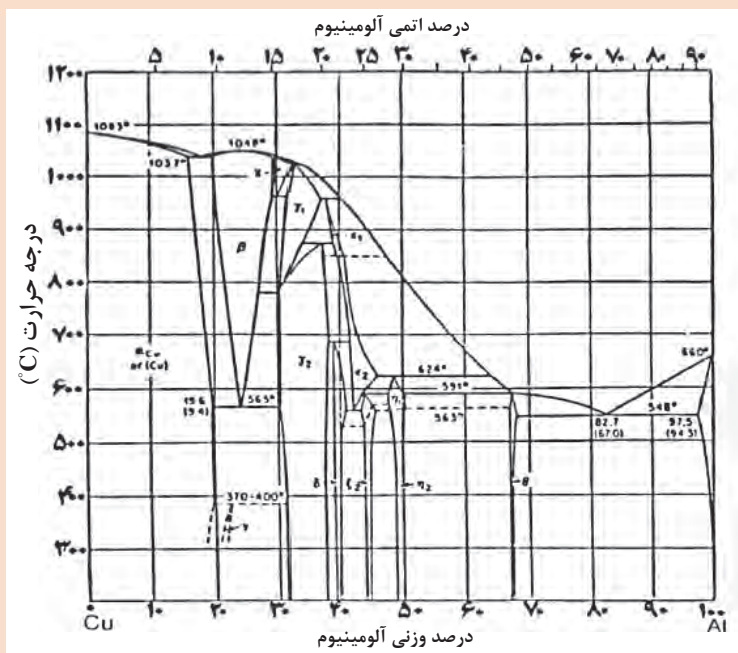
$$\Rightarrow \%Cu = \frac{1/42}{1/42 + 0/33} \times 100 \Rightarrow \%Cu = 81/15\%$$

آلومینیوم – مس

برای این قسمت ابتدا به معرفی آلیاژ آلومینیوم – مس پرداخته خصوصیات، کاربرد و روش تولید آن را بیان کرده و مسائل و نکات مربوط به محاسبات شارژ بیان شود چند مثال مختلف علاوه بر مثال کتاب حل شود و پس از تسلط هنرجویان برای حل مسائل فعالیت عملی خواسته شده را طبق مراحل انجام دهید.

تأثیر مس در آلومینیوم توسط دیاگرام تعادلی دوگانه مس - آلومینیوم در نمودار زیر نشان داده شده است. این دیاگرام نشان می‌دهد که حلالیت مس در آلومینیوم جامد با افزایش درجه حرارت از ۵/۵ درصد در درجه حرارت محیط به ۵/۶۵ درصد در دمای اوتکتیک ۵۴۸ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد. مس مازاد بر حلالیت در هر درجه حرارت در شبکه به فرمول تقریبی CuAl (فاز θ) ظاهر می‌شود که سخت و شکننده است.

از این رو افزایش مس در آلومینیوم باعث افزایش درصد فاز θ و در نتیجه افزایش مقاومت و سختی آلیاژ و کاهش انعطاف‌پذیری آن می‌گردد. همچنین سیالیت آلیاژ را به مقدار کمی کاهش می‌دهد. اغلب آلیاژهای آلومینیوم و مس کمتر از ۱۰٪ مس دارند و اغلب آلیاژهای صنعتی آنها نیز حدود ۲ تا ۵٪ مس دارند.



آلیاژهای آلومینیوم با ۸ تا ۱۲ درصد مس در قدیم موارد استفاده زیاد داشتند که پس از کشف آلیاژهای با ۵ درصد وزنی مس و امکان عملیات حرارتی آنها و به دلیل مشکلات ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم - مس، استفاده از آلیاژهای ۸ تا ۱۲ درصد مس کاهش یافت.

وجود مس باعث افزایش مقاومت و سختی آلیاژ و کاهش انعطاف‌پذیری آن می‌گردد. مس شدت اکسیداسیون مذاب و همچنین درصد حلالیت هیدروژن

را کاهش می‌دهد. آلیاژهای آلومینیوم - مس عموماً دارای دامنه انجماد وسیع بوده و از این رو انقباضات پراکنده در آنها زیاد است و کاربرد مبرد را لازم می‌سازد علاوه بر آن جذب گاز در این آلیاژها نیز نسبتاً زیاد بوده و گاززدایی با کلر و ازت را ایجاد می‌کند عمل گاززدایی باعث حذف هسته‌های غیریکنواخت گردیده از تیتانیوم به میزان حداکثر ۰/۱۵ درصد و یا بُر به میزان ۰/۰۳ درصد می‌توان برای ریز کردن دانه‌ها استفاده کرد. ساختار ریختگی این آلیاژ معمولاً از شرایط تعادلی به دور است و با عملیات حرارتی می‌توان خواص مکانیکی و ساختار ریختگی قطعات را بهبود بخشید. آلیاژهای آلومینیوم - مس از نظر ماشین‌کاری بسیار خوب و سطوح تمام شده مطلوبی را ارائه می‌کنند. این آلیاژها بعد از عملیات حرارتی، سختی و مقاومت به کشش بالایی داشته و در ساخت قطعات ماشین‌تحریر، اتصالات موتور، پیستون و... به کار می‌رود. از این آلیاژها به دلیل مقاومت به خوردگی پایین نمی‌توان در ساخت پمپ، شیر و قطعات دیگری که باید به خوردگی مقاوم باشند استفاده نمود.

آلومینیوم - سیلیسیم

در این قسمت ابتدا به معرفی آلیاژ آلومینیوم - سیلیسیم پرداخته، خصوصیات، کاربرد و روش تولید آن را بیان کرده و مسائل و نکات مربوط به محاسبات شارژ بیان شود. چند مثال مختلف علاوه بر مثال کتاب حل شود. سپس فعالیت عملی خواسته شده را طبق مراحل انجام دهید. ابتدا تجهیزات و وسایل لازم را تهیه نمایند و پس از رعایت مسائل و نکات ایمنی و زیست‌محیطی اقدام به تهیه آلیاژ مورد نظر نمایند.

دانش‌افزایی

این آلیاژها، امروزه وسعت ریخته‌گری بسیار یافته‌اند و این امر ناشی از خواص ریخته‌گری مطلوب آنهاست، در حالی که از نظر تاریخی، اهمیت آنها بعد از آلیاژهای آلومینیوم - مس قرار دارد. آلومینیوم - سیلیسیم در مقیاس صنعتی معمولاً از ۵٪ یا ۱۲٪ سیلیسیم تشکیل می‌شوند که آلیاژ دوم تقریباً دارای ترکیب اوتکتیکی بوده و از دامنه انجماد بسیار کوتاه برخوردار است. آلیاژهای آلومینیوم - سیلیسیم از مشخصات ریخته‌گری بسیار مطلوب برخوردار هستند. سیالیت بسیار زیاد این آلیاژها بهترین و مناسب‌ترین شرایط برای ریخته‌گری را ایجاد می‌کند و همین امر کاربرد این آلیاژها را در

ریختن قطعات نازک تسهیل می‌نماید. به‌طور کلی سیلیسیم با افزایش سیالیت آلیاژ و کاهش درصد جذب گاز و تسهیل انجماد پوسته‌ای، خواص ریخته‌گری آلیاژ را بهبود می‌بخشد و از این نظر آلیاژ بسیار مناسبی است. آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم به شکستگی گرم و انقباضات پراکنده حساس نیست. ظریف‌سازی این آلیاژ به‌وسیله سدیم و اخیراً به وسیله استرانسیم از نظر بهبود ساختار درونی و خواص مکانیکی به‌خصوص در ریخته‌گری قالب‌های ماسه‌ای و برخی از قطعات ضخیم در قالب‌های فلزی انجام می‌گیرد. زیرا سرعت سرد کردن نیز در ظریف کردن ساختار شبکه یوتکتیک نقش اساسی دارد. در هر حال قبل از ظریف کردن شبکه به وسیله سدیم یا استرانسیم باید عملیات گاززدایی انجام پذیرد. وجود آهن در این آلیاژها می‌تواند استحکام کششی را افزایش دهد ولی مقدار آن نباید از یک درصد تجاوز نماید. این مقدار نیز به‌خصوص برای ریخته‌گری تحت فشار منظور شده است. سیلیسیم معمولاً به‌صورت هاردنر آلومینیوم - سیلیسیم با ترکیب ۱۳٪ یا ۲۲٪ سیلیسیم به مذاب افزوده می‌شود.

آلومینیوم - منیزیم

پیشنهاد می‌شود هنرآموزان محترم در این قسمت ابتدا به معرفی آلیاژهای آلومینیوم - منیزیم پرداخته، خصوصیات، کاربرد و روش تولید آنها را بیان کرده و مسائل و نکات مربوط به محاسبات شارژ بیان شود. چند مثال مختلف علاوه بر مثال کتاب حل شود سپس فعالیت عملی خواسته شده را طبق مراحل انجام دهید. ابتدا تجهیزات و وسایل لازم را تهیه نمایند و پس از رعایت مسائل و نکات ایمنی و زیست محیطی اقدام به تهیه آلیاژ مورد نظر نمایند.

دانش‌افزایی

این آلیاژ نیز مقاومت به خوردگی و استحکام زیادی دارد. مس در این آلیاژ جزء عناصر نامطلوب می‌باشد و باید کنترل گردد زیرا وجود ترکیب $AlCuMgTi$ در حضور مس اجتناب‌ناپذیر می‌باشد و خواص کششی قطعه را شدیداً کاهش می‌دهد. در امر ذوب و ریخته‌گری این آلیاژ، نکات ویژه‌ای را باید در نظر داشت که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

۱) ذوب باید در بوت‌های گرافیتی و یا بوت‌هایی که ورود آهن و سیلیسیم (بوت‌های سیلیکاتی) را به مذاب حداقل می‌کنند انجام شود.

- ۲ از درجه فوق ذوب بالا به دلیل افزایش اکسیداسیون مذاب، اجتناب شود.
- ۳ از استفادهٔ مستقیم برگشتی‌ها، برای ذوب مجدد، خودداری شود.
- ۴ از دگازرها و فلاکس‌های حاوی سدیم، اجتناب شود.
- ۵ طراحی صحیح سیستم راهگاهی، تغذیه‌گذاری برای اجتناب از ایجاد تنش‌های انجماد.
- ۶ استفاده از تیتانیوم برای ریز کردن دانه.
- ۷ تقلیل خواص رطوبتی ماسه با استفاده از مواد مختلف (بوریک‌اسید، گوگرد)

تلفات کوره

برای این قسمت پس از ارائه مطالب مربوط به تلفات و اهمیت محاسبات مربوط به این قسمت چند مثال مختلف حل شود سپس فعالیت خواسته شده کتاب را انجام دهید.

دانش‌افزایی

محاسبه مقدار تلفات با دو روش تناسب و محاسبه مستقیم مقدار کل تلفات انجام می‌گیرد، محاسبه مقدار تلفات به روش تناسب مقدار دقیقی را به ما نمی‌دهد زیرا وزن تلفات محاسبه شده خود دارای اتلاف است که این تلفات محاسبه نشده است، بنابراین در درصد‌های کم تلفات این مقدار کم بوده و گاهی قابل چشم‌پوشی است ولی وقتی درصد تلفات زیاد باشد و قطعه تولیدی نیز به مقادیر جزیی عنصر آلیاژی حساس باشد بنابراین مقدار محاسبه شده دیگر قابل چشم‌پوشی نیست. بهترین روش محاسبه مقدار تلفات که در نهایت مقدار کل به همراه تلفات را می‌دهد رابطه زیر است.

$$\frac{\text{ترکیب}}{\text{درصد تلفات} - ۱} = \text{مقدار مورد نیاز}$$

مثال:

منیزیم را برای یک آلیاژ آلومینیوم در نظر بگیرید طبق جدول اتلاف عناصر مقدار تلفات در کوره‌های مختلف از ۲ درصد تا ۱۰ درصد متغیر است و از طرفی مقدار منیزیم طبق جدول اتلاف عناصر در آلیاژ آلومینیوم بین ۹ تا ۱۱ درصد نیز می‌رسد.
حال آلیاژی از قراضه منیزیم را اگر بخواهیم در یک کوره شعله‌ای که ۱۰ درصد

تلفات دارد ذوب کنیم به فرض اینکه ۱۱ کیلوگرم منیزیم داشته باشیم،

تلف شده ۱۰ ۱۰۰

$$۱۱ \quad x \Rightarrow x = \frac{۱۰ \times ۱۱}{۱۰۰} = ۱/۱ \text{ kg} \text{ به روش تناسب}$$

وزن منیزیم محاسبه شده $X_{\text{Mg}} = ۱۱ + ۱/۱ = ۱۲/۱$

$$X_{\text{Mg}} = \frac{۱۱}{۱ - \frac{۱۰}{۱۰۰}} = \frac{۱۱}{۱ - ۰/۱} = ۱۲/۲۲ \text{ تلفات}$$

اختلاف دو وزن محاسبه شده $۱۲/۲۲ - ۱۲/۱ = ۰/۱۲$

این سؤال ایجاد می شود که این اختلاف به چه دلیل است.

همان گونه که دیده می شود با استفاده از روش دوم راحت تر و سریع تر مقدار کل به دست می آید. از طرفی مقدار محاسبه شده در روش دوم کمی بیشتر از روش اول است و این مقدار همان گونه که قبلاً گفته شد وزن تلفات محاسبه شده خود دارای تلفات است که این تلفات در روش اول (تناسب) محاسبه نشده است.

فصل ۲

آلیاژسازی مس

کانی‌های معرف مس، استخراج مس، تغلیظ

در این قسمت کانی‌های معروف مس معرفی شده است و لازم است فرق کانی‌های سولفیدی و اکسیدی برای هنرجویان توضیح داده شود و همچنین باید درباره روش استخراج کانی‌های سولفیدی که ذوب است، توضیح داده شود که چرا کانی‌های اکسیدی را ذوب نمی‌کنند.

نکته

در روش پیرومتالورژی ذوب صورت می‌گیرد که کانی‌های سولفیدی استخراج می‌شوند ولی در روش هیدرومتالورژی حل کردن در اسید اتفاق می‌افتد که در نهایت به کاند ختم می‌گردد.

دانش‌افزایی

مس در برخی معادن به صورت خالص نیز یافت می‌شود ولی مقدار آن بسیار کم و اندک است و در استخراج مس همچنین مقدار قابل توجهی گوگرد یافت می‌شود عناصری مانند: مولیبدن - طلا - نقره - آرسنیک - سلنیم نیز وجود دارند.

نکته

مس استخراج شده در کوره‌های تشعشعی ریورب و فلش ذوب می‌گردد که نوع فلش جدیدتر می‌باشد و سوخت‌های آنها گازوییل - گاز شهری است. شعله بر روی سطح مذاب پخش می‌گردد و منجر به ذوب کنسانتره می‌گردد.

مس و سنگ معدن‌های آن

یادآوری

مس حدود 5×10^{-2} درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد و مقدار آن در آب دریاها در حدود 3×10^{-7} درصد است که در نتیجه قشر زمین برای استخراج مس مناسب‌تر است. مس به سه صورت در طبیعت یافت می‌شود که عبارت‌اند از: سنگ‌های اکسیده - سنگ‌های سولفوره - مس طبیعی
سنگ‌های اکسیده بیشتر در سطح قشر زمین وجود دارند و تغییرات جوی و فعل و انفعالاتی که در طبیعت صورت می‌گیرد باعث می‌شود که سنگ‌های سولفوره تبدیل به سنگ‌های اکسیده شوند که بیشتر از کربنات طبیعی، اکسیدها و... تشکیل شده‌اند همانند کوپریت Cu_2O .
سنگ‌های سولفوره برعکس سنگ‌های اکسیده در عمق بیشتری از قشر زمین قرار گرفته‌اند. قسمت اعظم سنگ‌های مس را سنگ‌های سولفوره تشکیل می‌دهند همانند کالکوپریت CuFeS_2 .

چرا محصولات مسی و آلیاژهای آن پس از مدتی به رنگ سبز در می آیند؟

مس در مجاورت هوا و رطوبت از یک قشر نازک مس اکسید که مخلوطی از Cu_2O و Cu_3O_2 است، پوشیده می شود. این قشر نازک بقیه فلز را از اکسید شدن حفظ می کند. اگر مدت زیادی این اکسیدها در مجاورت هوا قرار گیرند و یا سطح مس به شدت اکسیده شود رنگ مایل به سیاه آن به تدریج به رنگ سبز که مخلوطی از سولفات و یا کلورهای بازی است تبدیل می گردد که در آثار قدیمی مس مشاهده می شود و به نام زرنگار (Patina) معروف است.

توجه



معمولاً عملیات استخراج بر روی سنگ معدن های اکسیدی از طریق هیدرومتالورژی و سنگ معدن های سولفیدی از طریق پیرومتالورژی انجام می گیرد.

شناسایی جریان های آرام و آشفته بر اساس محاسبه عدد رینولدز

یادآوری

ایجاد جریان آرام و حداقل آشفته گی، برای دستیابی به قطعاتی سالم و بدون تخلخل گازی و ذرات سرباره ای از اهمیت خاصی برخوردار است. معمولاً برای شناخت نوع جریان از عدد رینولدز استفاده می شود. اگر عدد رینولدز کمتر از ۳۰۰۰ باشد جریان سیستم راهگامی آرام و اگر بیش از ۳۰۰۰ باشد جریان آشفته است. بین این دو جریان آرام ریخته گری نام دارد.

رابطه سرعت جریان مذاب (سرعت لحظه ای مذاب) از رابطه زیر به دست می آید:

$$v = \frac{\eta \times R_e}{\rho \times D_e}$$

که در آن:

v سرعت جریان مایع (متر بر ثانیه $\frac{m}{s}$)

η گرانیوی دینامیکی مایع [کیلوگرم بر (متر ثانیه)] $\frac{kg}{m.s}$

R_e عدد رینولدز (بدون بعد)

D_e قطر معادل کانال (متر m)

ρ چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب kg/m^3)

قابل ذکر است که برای مقاطع غیر دایره ای D ، قطر معادل است، که از رابطه زیر به دست می آید:

$$D_e = \frac{4 \times A}{U}$$

A و U به ترتیب مساحت و محیط مقطع است.

تفاوت کوره های فلش و ریورب

۱ ارتفاع مذاب در فلش کمتر از ریورب (حدود ۷۰ سانتی متر) و در ریورب بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ سانتی متر می باشد.

۲ سوخت کمتری نیز نسبت به ریورب مصرف می کند حتی اگر O_2 خالص اضافه کنیم می توان سوخت را حذف کرده و در نتیجه افزایش راندمان تولید را داریم (تولید $\frac{ton}{h}$ ۱۱۰).

۳ ترمیم و بازسازی کوره فلش هر ۷ سال یکبار انجام می شود ولی در کوره ریورب هر سال انجام می گردد.

توجه

مولیبدن در تغلیظ کنسانتره مس از روش فلوتاسیون به دست می آید.



فعالیت عملی

عمل فلوتاسیون را در کارگاه در یک وان به صورت شماتیک انجام داده تا هنرجویان با روش فلوتاسیون آشنا گردند. (توسط ایجاد کف با مایع دست شویی یا ظرف شویی و استفاده از براده های آهن)



کاربرد مس و آلیاژهای آن، جنس قالب ها و سیستم راهگاهی

کاربرد مس خالص فقط در صنایع الکتریکی است. ولی آلیاژهای مس کاربرد فراوانی دارند به طور مثال یکی از کاربردهای برنج ها در قدیم استفاده از دستگیره های در و شیرآلات بوده است که علاوه بر بحث مقاومت به خوردگی، خاصیت میکروب کشی و اثر ضدباکتری آن مد نظر قرار داده می شود. امروزه ظروف مسی جهت پخت و پز استفاده می گردد که به این ظروف دودرصد روی جهت استحکام بخشیدن به مس اضافه می گردد.

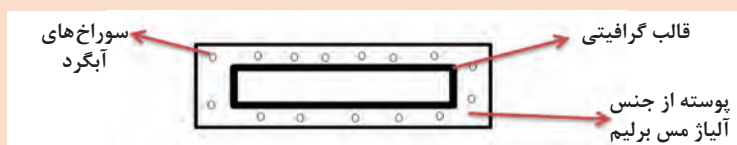
توجه

در ظروف مسی باید حتماً این مطلب را مد نظر داشته باشیم که دارای روکش قلع و یا قلع اندود باشد چون زنگار مس بسیار خطرناک و کشنده است.



دانش افزایی

جنس رادیاتورهای خودروها در گذشته از آلیاژهای مس مانند برنز-قلع بوده است که امروزه جای خود را به آلیاژهای آلومینیوم داده است. جنس شیرآلات بهداشتی نیز از آلیاژ برنج‌های سرب‌دار است و دلیل آن مقاومت به خوردگی بیشتر است. جنس قالب‌های شمش‌ریزی مس و آلیاژهای آن گرافیتی است که توسط یک قالب مسی آبگرد نگهداری می‌شود.



شکل قالب اسلب‌ریزی مس و آلیاژهای آن

توجه



- ۱ جهت افزایش عمر قالب‌ها می‌توان به جای آب از گاز نیتروژن جهت خنک کاری قالب استفاده کرد.
- ۲ سیستم راهگاهی در قالب‌گیری جهت ذوب‌ریزی مس و آلیاژهای آن از نوع فشاری می‌باشد.

دانش افزایی

با توجه به گرانروی بالای مس و آلیاژهای آن که ناشی از نحوه انجماد پوسته‌ای، خمیری می‌باشد بنابراین سرعت لحظه‌ای مذاب را محاسبه می‌کنیم.

فعالیت عملی



فعالیت صفحه ۵۶:

مذابی از آلومینیوم با جریانی آرام ($R_e = 2000$) در راهگاه اصلی یک سیستم راهگاهی با مقطع مستطیل شکل به ابعاد ۲ و ۳ سانتی‌متر جاری شده است با توجه به اینکه گرانروی دینامیکی و جرم مخصوص مذاب آلومینیوم به ترتیب برابر است با ۰/۰۳ گرم بر سانتی‌متر ثانیه (پواز) و ۲/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند. سرعت خطی مذاب را بر حسب ($\frac{m}{s}$) محاسبه کنید. ابتدا باید قطر معادل را محاسبه کرد:

$$D_e = \frac{4 \times A}{U} \Rightarrow D_e = \frac{4 \times 2 \times 3}{2(2+3)} = 2/4 \text{ cm}$$

$$v = \frac{\eta \times R_e}{\rho \times D_e} \Rightarrow v = \frac{0/03 \times 2000}{2/45 \times 2/4} = 10/2 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0/102 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

محاسبه سیستم راهگاهی، محاسبه ابعاد تغذیه

پس از به دست آوردن A_s از رابطه، در صورتی که راهگاه به صورت مخروط بود سطح مقطع تنگه آن را در فرمول مساحت دایره جایگزین کرده و قطر کانال به دست می آید.

$$A_s = \frac{d^2 \pi}{4}$$



و برای به دست آوردن A_g و A_r می توان A_s را در ضریب آن ضرب کرد و مساحت مقطع راهگاه اصلی و فرعی را به دست آورد مثلاً اگر سیستم ۳:۹:۱ باشد و A_s به دست آمده 10 cm^2 باشد A_r و A_g به صورت زیر حساب می گردد.

$$3:9:1 \rightarrow 10:30:3/3$$

یعنی $A_g = 30 \text{ cm}^2$ و $A_r = 3/3 \text{ cm}^2$ است.

پرسش صفحه ۵۷:

بله، برای قطعات کوچک و با ضخامت کم

پرسش



فعالیت ۱ صفحه ۵۹:

ابتدا از طریق حجم و چگالی، جرم قطعه محاسبه می شود:

$$V = \frac{d^2 \times \pi}{4} \times h \Rightarrow V = \frac{4^2 \times \pi}{4} \times 6 = 75.36 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \times V \Rightarrow m = 8 / 5 \times 75.36 = 640.56 \text{ g}$$

$$A_c = \frac{m}{\rho \cdot \mu \cdot t \cdot \sqrt{2gh_e}} \rightarrow A_c = \frac{640.56}{8 / 5 \times 5 \times 0.6 \sqrt{2 \times 9.80 \times 6}}$$

$$A = \frac{640.56}{2764.2} = 0.231 \text{ cm} = 2.31 \text{ mm}$$

فعالیت
کارگاهی





فعالیت ۲ صفحه ۵۹:

حجم مکعب مستطیل:

$$V_1 = a \times b \times c = 7 \times 7 \times 2 = 98 \text{ cm}^3$$

حجم استوانه:

$$V_2 = \frac{\pi D^2}{4} \times h = V = \frac{3/14 \times 3^2}{4} \times 4 = 28/26 \text{ cm}^3$$

حجم کل قطعه (استوانه + مکعب مستطیل):

$$V = V_1 + V_2 = 98 + 28/26 = 126/26 \text{ cm}^3$$

محاسبه جرم از رابطه چگالی و حجم و در نهایت تعیین ارتفاع مؤثر:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \times V \Rightarrow m = 8/7 \times 126/26 = 1098/462 \text{ g}$$

$$A_C = \frac{m}{\rho \cdot \mu \cdot t \cdot \sqrt{2gh_e}} \Rightarrow 2 = \frac{1098/462}{8/7 \times 0/5 \times 10 \sqrt{2 \times 1000 \times h_e}}$$

$$\Rightarrow \sqrt{2000 \cdot h_e} = \frac{1098/462}{2 \times 8/7 \times 0/5 \times 10} \Rightarrow \sqrt{2000 \cdot h_e} = \frac{1098/462}{87} \Rightarrow$$

$$(\sqrt{2000 \cdot h_e})^2 = (12/62)^2 \Rightarrow 2000 \cdot h_e = 159/26 \rightarrow$$

$$h_e = \frac{159/26}{2000} = 0/079 \text{ cm}$$



فعالیت صفحه ۵۹:

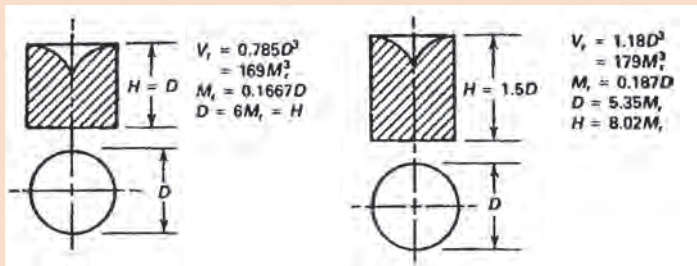
محاسبه مدول قطعه:

$$M_c = \frac{V_c}{A_c} \Rightarrow M_c = \frac{\frac{20^2 \times \pi}{4} \times 30}{(30 \times \pi \times 20) + (2 \times \frac{20^2 \times \pi}{4})} = 3/75 \text{ cm}$$

محاسبه مدول قطعه:

$$\frac{M_r}{M_c} = 1/2 \Rightarrow M_r = 3/75 \times 1/2 = 4/5 \text{ مدول تغذیه}$$

در صورتی که مدول و نسبت ابعادی تغذیه مشخص باشد می توان از روابطی ابعاد تغذیه را براساس مدول به دست آورد دو نمونه آن به صورت زیر است:



بنابراین قطر و سپس ارتفاع تغذیه براساس مدول حساب می شود:

$$M_r = 0.187 D \Rightarrow D = \frac{M_r}{0.187} \Rightarrow$$

$$D = \frac{4/5}{0.187} \Rightarrow D \approx 24 \text{ cm} \Rightarrow H = 24 \times 1.5 = 36 \text{ cm}$$

روش شارژ کوره، کوره تاندیش و نقش آن، محاسبه آلیاژ سازی، نمونه گیری از مذاب

با توجه به تفاوت نقطه ذوب و چگالی فلزات جهت آلیاژ سازی باید چند نکته مدنظر باشد.

- ۱ زمان افزودن عناصر آلیاژی
- ۲ نحوه اضافه کردن عناصر آلیاژی
- ۳ استفاده از پوشش هنگام اضافه کردن عناصر آلیاژی

نحوه افزودن عناصر آلیاژ با توجه به مباحثی که گفته شد متفاوت است که در کتاب نحوه افزودن قلع و آلومینیوم و روی آورده شده است. نحوه افزودن نیکل در ورشو به این صورت است که ابتدا کوره القایی را تا یک چهارم ظرفیت آن شارژ کرده و مس را ذوب می کنیم. $\frac{1}{4}$ درصد نیکل به مذاب اضافه کرده و پس از آماده سازی مذاب آلیاژ، مقدار مس را تا $\frac{1}{3}$ ظرفیت کوره رسانده و با داشتن فوق ذوب مناسب

(حدود 150°C) کل نیکل را به مذاب اضافه می‌کنیم، سپس مس باقی‌مانده را به کوره افزوده و پوشش زغال را به کوره می‌دهیم تا کوره به فوق ذوب مناسب برسد.

توجه



پوشش زغال متداول‌ترین پوشش در مس و آلیاژهای آن است به دو دلیل شیشه به‌عنوان پوشش مصرف کمتری دارد.
۱) جداسازی سختی دارد (مانند پنیر پیتزا کش می‌آید)
۲) بلافاصله به‌صورت تیغه‌های تیز در می‌آید که بسیار تیز و برنده می‌باشد.

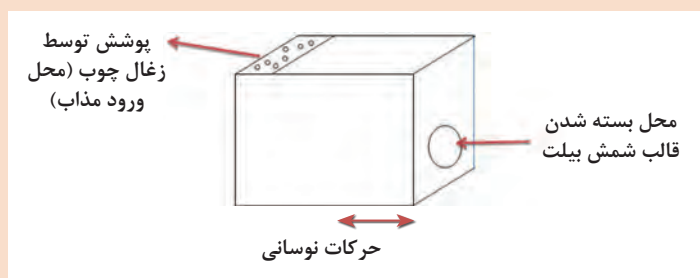
توجه



جوانه‌زایی مکانیکی یکی از پرکاربردترین و مؤثرترین راه جهت جوانه‌زایی مس و آلیاژهای آن است.

دانش‌افزایی

جوانه‌زایی مکانیکی به این صورت است که کوره‌ای تهیه می‌شود که از یک طرف آن مذاب از کوره ذوب و آلیاژسازی شده وارد و از طرف دیگر که قالب به آن متصل است خارج می‌گردد. این نوع کوره‌ها دارای حرکات نوسانی است که این حرکات منجر به خرد و ریز شدن یکنواخت دندریت‌ها می‌گردد.



شکل تاندیش

آلیاژسازی مس باید تحت پوشش های زیر باشند.

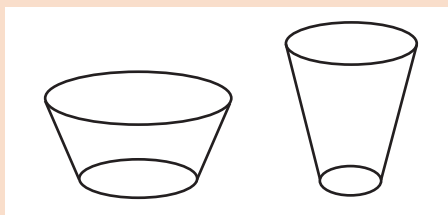
۱ بوراکس

۲ شیشه

۳ کریولیت

۴ زغال چوب

برای آلیاژسازی در کوره های زمینی حتماً در نظر داشته باشید جهت آلیاژسازی پوشش زغال همواره تا قبل از ریختن مذاب بر روی سطح مذاب باشد و برای استفاده از ظرفیت اسمی بوته می توان به صورت زیر از یک طوقه بریده شده استفاده کرد تا بتوان از قراضه ها و برگشتی ها استفاده کرد.



توجه



قطر کوچک تر بوته بریده شده باید برابر با قطر بزرگ بوته ذوب باشد.

دانش افزایی

برای آلیاژهای برنج نباید بیش از یک میزانی فوق ذوب در نظر گرفت چون فشار بخار روی نسبت به دما به شدت افزایش پیدا می کند که در جدول زیر مشهود است که روی در دمای 900°C دارای فشار بخار 160 mm Hg است و در دمای 1200°C درجه سلسیوس این فشار بخار به 2000 mm Hg رسیده است.

جدول فشار بخار روی در برنج مذاب (میلی متر جیوه)

درجه حرارت	۴۰٪	۳۵٪	۳۰٪	۲۰٪
۹۰۰	۱۶۰	۱۲۵	۹۰	۳۰
۱۰۰۰	۴۳۰	۳۳۰	۲۳۰	۸۰
۱۱۰۰	۹۸۰	۷۶۰	۵۴۰	۱۸۰
۱۲۰۰	۲۰۰۰	۱۵۵۰	۱۱۰۰	۳۷۰



فعالیت کارگاهی صفحه ۶۸:

اگر محاسبات بر اساس تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ انجام شود، اتلافات ذوب عبارت است از:

$$۸۰ \times \frac{۲}{۱۰۰} = ۱/۶ \text{ kg} \text{ اتلافات مس}$$

$$۱۴ \times \frac{۳}{۱۰۰} = ۰/۴۲ \text{ kg} \text{ اتلافات روی}$$

$$۳ \times \frac{۲}{۱۰۰} = ۰/۰۶ \text{ kg} \text{ اتلافات سرب}$$

$$۳ \times \frac{۱/۵}{۱۰۰} = ۰/۰۴۵ \text{ kg} \text{ اتلافات سیلیسیم}$$

بنابراین برای تهیه ۱۰۰ کیلوگرم آلیاژ با ترکیب مورد نظر داریم:

جمع	سیلیسیم	سرب	روی	مس	
۱۰۰	۳	۳	۱۴	۸۰	ترکیب آلیاژ
۲/۱۲۵	۰/۰۴۵	۰/۰۶	۰/۴۲	۱/۶	اتلافات ذوب
۱۰۲/۱۲۵	۳/۰۴۵	۳/۰۶	۱۴/۴۲	۸۱/۶	جرم بار محاسباتی

سیلیسیم لازم فقط از آلیاژ ۴ تأمین می‌شود بنابراین جرم آلیاژ ۴:

$$۱۰۰ \quad ۲۰ \quad x \quad ۳/۰۴۵ \Rightarrow x = \frac{۱۰۰ \times ۳/۰۴۵}{۲۰} = ۱۵/۲۲۵ \text{ kg}$$

جرم روی موجود در آلیاژ ۴:

$$۱۰۰ \quad ۲ \quad ۱۵/۲۲۵ \quad x \Rightarrow x = \frac{۲ \times ۱۵/۲۲۵}{۱۰۰} = ۰/۳ \text{ kg}$$

جرم روی باقی‌مانده که باید از آلیاژ ۳ تأمین شود و همچنین جرم آلیاژ ۳:

$$۱۴/۴۲ - ۰/۳ = ۱۴/۱۲ \text{ kg} \quad ۱۰۰ \quad ۴۰ \quad x \quad ۱۴/۱۲ \Rightarrow x = \frac{۱۰۰ \times ۱۴/۱۲}{۴۰} = ۳۵/۳ \text{ kg}$$

جرم سرب موجود در آلیاژ ۳:

$$۱۰۰ \quad ۵ \quad w \quad ۳۵/۳ \quad x \Rightarrow x = \frac{۵ \times ۳۵/۳}{۱۰۰} = ۱/۷۶ \text{ kg}$$

جرم شمش سرب خالص:

$$3/06 - 1/76 = 1/30 \text{ kg}$$

جرم شمش مس خالص:

$$102/125 - (15/225 + 35/30 + 1/30) = 50/3 \text{ kg}$$

برای تهیه ۵۰۰ کیلوگرم آلیاژ باید مقادیر به دست آمده را در عدد پنج ضرب کنیم:

جرم شمش مس خالص:

$$50/3 \times 5 = 251/5 \text{ kg}$$

جرم شمش سرب خالص:

$$1/3 \times 5 = 6/5 \text{ kg}$$

جرم کل آلیاژ ۳:

$$35/30 \times 5 = 176/5 \text{ kg}$$

جرم کل آلیاژ ۴:

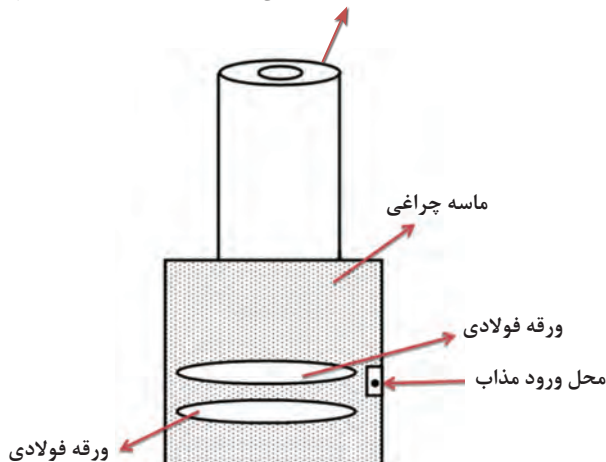
$$15/225 \times 5 = 76/125 \text{ kg}$$

نحوه نمونه گیری

۱ توسط ملاقه و ریختن در قالب فلزی

۲ توسط نمونه گیر یک بار مصرف

مقوا چند لایه استوانه‌ای جهت وارد کردن میله برای نمونه‌گیری مستقیم از مذاب



شکل نمونه‌گیر یک بار مصرف

فصل ۳

آلیاژسازی چدن

گروه‌بندی آلیاژهای آهنی

نکته



این قسمت بهتر است به‌طور کامل در کلاس درس اجرا شود تا هنرجویان در قسمت‌های بعد، قبل از ورود به کارگاه آمادگی لازم داشته باشند.

در این قسمت تفاوت آلیاژهای آهنی را با آلیاژهای غیرآهنی برای هنرجویان برشمارید. این تفاوت‌ها می‌تواند شامل موارد زیادی باشد که تفاوت در نحوه استخراج فلزات غیرآهنی با فلز آهن، مقایسه در میزان نیاز جامعه جهانی به فلزات غیرآهنی و آلیاژهای آهنی و همچنین تفاوت در میزان خواص مکانیکی انواع آلیاژهای آهنی و غیرآهنی، از مهم‌ترین آنهاست. در گام بعدی مقدمات لازم برای تقسیم‌بندی آلیاژهای آهنی را انجام دهید. این مقدمات می‌تواند شامل نکات زیر باشد:

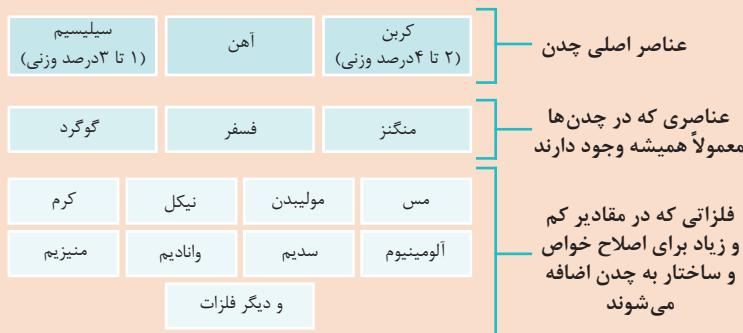
۱ تقسیم‌بندی آلیاژهای آهنی بر اساس میزان کربن و عناصر دیگر صورت می‌گیرد به همین دلیل بهتر است هنرجویان با بعضی از نمادهای شیمیایی عناصر ضروری در چدن‌ها آشنا شوند. جدولی مطابق زیر تهیه کنید و از هنرجویان بخواهید نمادهای شیمیایی هر عنصر را بنویسند.

آهن	کربن	سیلیسیم	منگنز	فسفر	گوگرد	منیزیم

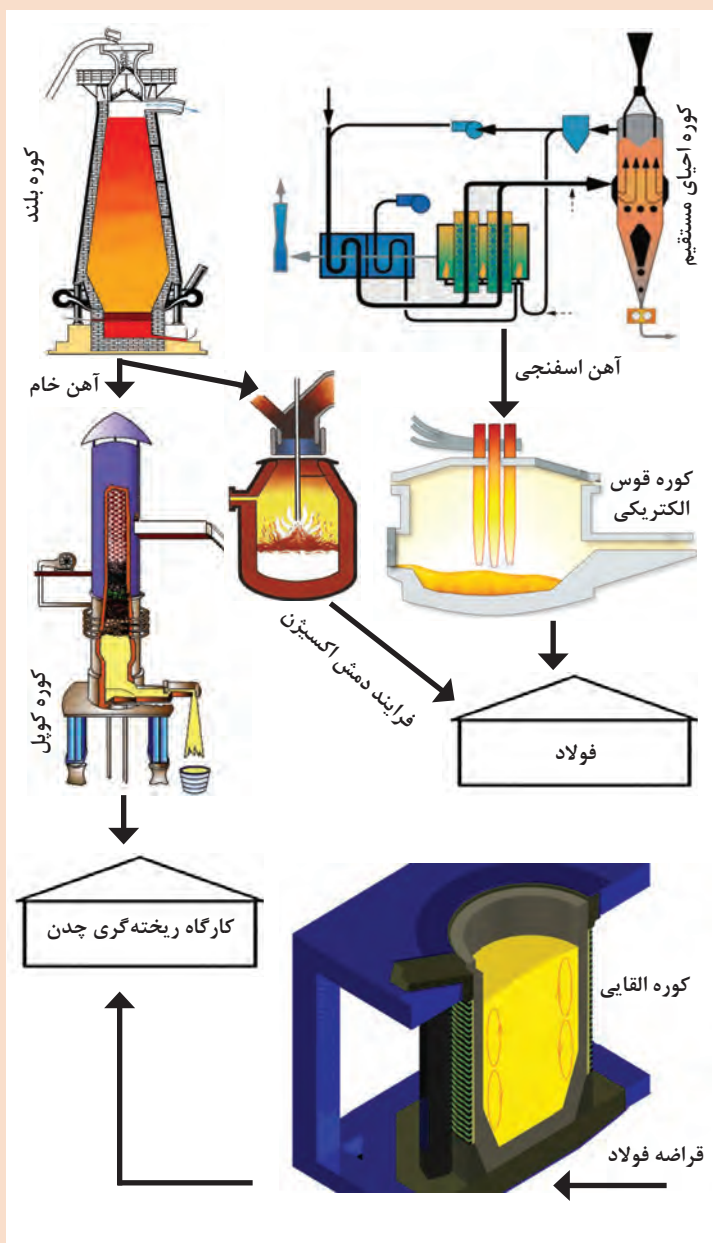
۲ استخراج از سنگ معدن آهن به‌طور کامل برای هنرجو توضیح داده شود (معرفی انواع سنگ معدن‌های آهن، مروری بر روش‌های احیای مستقیم و غیرمستقیم) این مرحله باید با پخش فیلم از کارخانجات تولید آهن همراه باشد تا هنرجویان مروری بر پودمان اول کتاب دانش فنی تخصصی نیز داشته باشند. سپس در این مرحله آلیاژهای آهنی را برای هنرجویان تقسیم‌بندی کنید. تفاوت‌های چدن و فولادها را از آنها بپرسید و در انتها مراحل تولید شمش چدن را توضیح دهید.

دانش افزایی

چدن‌ها همانند فولادها دسته‌ای بزرگ از خانواده آلیاژهای آهنی هستند. آلیاژی سه‌تایی متشکل از آهن، کربن و سیلیسیم، که در آن عناصری همانند منگنز، فسفر و گوگرد نیز وجود دارد. علاوه بر این عناصر، فلزاتی همانند کرم، نیکل، مولیبدن، مس، منیزیم در مقادیر کم یا زیاد نیز می‌توانند در چدن‌ها وجود باشند. برخلاف فولادها که مقدار درصد وزنی کربن زیر ۲ درصد است در چدن‌ها معمولاً این میزان بین ۲ تا ۴ درصد متغیر است و همین تفاوت درصد کربن و اضافه شدن سیلیسیم به عنوان عنصر سوم در چدن‌ها، باعث می‌شود خواص متفاوتی با فولادها از خود نشان دهند. در اولین مراحل تکامل کوره‌های بلند، مستقیماً از مذاب کوره که به آهن خام معروف است برای تولید قطعات چدنی استفاده می‌کردند، با گذشت زمان چدن‌های تولید شده در کوره‌های کوپل جایگزین آهن خام حاصل از کوره بلند گردید. در روش اخیر شمش چدن تهیه شده در کوره بلند را در این نوع کوره‌ها ذوب کرده و از مذاب چدن به دست آمده، اقدام به ریخته‌گری قطعات می‌نمایند و بنابراین ریخته‌گران با در اختیار داشتن شمش چدن و کوره‌هایی به مراتب کوچک‌تر از کوره بلند قادر به تولید قطعات چدنی مورد نیاز خود گردیدند. با رشد تکنولوژی و تولید آهن اسفنجی و ورود کوره‌های الکتریکی به خصوص کوره‌های القایی، تهیه مذاب چدن از طریق این کوره‌ها وارد مرحله تازه‌ای شد. موقعیت کشور ایران و وجود دخیار عظیم گاز طبیعی تولید فولاد را به سمت تولید آهن اسفنجی و فرایند احیای مستقیم سوق داده است به طوری که فقط کمتر از ۲۰ درصد از کارخانه‌های فولاد از طریق کوره بلند تغذیه می‌شوند. با این روند کارگاه‌های ریخته‌گری ایران بیشتر، از کوره‌های القایی برای تولید شمش چدن استفاده می‌کنند. شارژ اصلی این کوره‌ها معمولاً قراضه‌ها و برگشتی‌های فولادی و چدنی است. حذف آهن خام و استفاده از قراضه‌های فولادی در کوره‌های القایی برای تولید شمش چدن، نیازمند فرایند کربن‌دهی است که جهت بالا بردن مقدار درصد کربن شارژ، از گرافیت مصنوعی، گرانول و حتی زغال سنگ استفاده می‌شود.



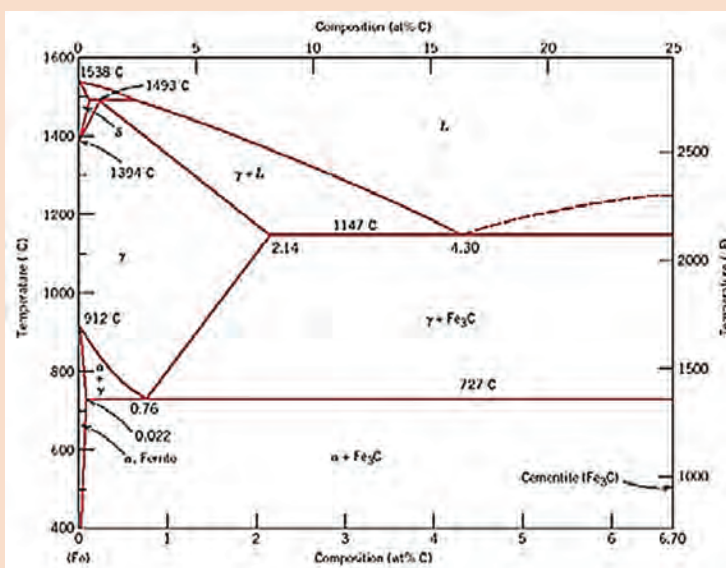
عناصر تشکیل دهنده چدن



مراحل مختلف تولید شمش چدن

در این قسمت هنرجو باید دیاگرام آهن - کربن را مورد بازبینی قرار دهد. با فازها و ترکیبات مختلف موجود در این دیاگرام بهتر آشنا شود. اصطلاحات زیر، از هنرجویان پرسیده شود تا آنها با اطلاع و آشنایی از واژه‌های زیر وارد بحث ساختارهای چدن شوند.

فریت، آستنیت، سمنتیت، پرلیت، لدبوریت، نقطه یوتکتیک، نقطه یوتکتوئید



نکته



در پودمان دوم از کتاب تغییر خواص متالورژیکی به‌طور کامل درباره دیاگرام آهن - کربن و واژه‌های مربوطه اطلاعات کافی ارائه شده است.

ساختار چدن‌ها

پس از آشنایی هنجرویان با دیگرام آهن - کربن و درک تمایز فولاد با چدن، نوبت به شناخت انواع چدن می‌رسد. پیشنهاد می‌شود برای ورود به بحث از هنجرویان سوالات زیر را بپرسید:

- تفاوت کربن ترکیبی و کربن آزاد چیست؟
- در فولادها و چدن‌ها کدام نوع کربن (ترکیبی یا آزاد) وجود دارد؟
- کربن معادل چیست و چه نقشی در چدن‌ها دارد؟

پس از دریافت جواب‌ها به‌طور کامل واژه‌های کربن ترکیبی، کربن آزاد و کربن معادل را برای هنجرویان تشریح کنید. سپس تقسیم‌بندی چدن‌ها را انجام دهید. بهتر است این نوع تقسیم‌بندی با نشان دادن اسلایدهایی از نوع و شکل گرافیت، نوع زمینه، ویژگی‌ها و کاربرد آنها همراه باشد. پس از بحث ساختار چدن‌ها، هنجرویان را برای کار عملی به کارگاه ببرید.

دانش‌افزایی

ساختار نهایی چدن‌ها تحت تأثیر عنصر کربن، ترکیبی از زمینه فلزی، کاربرد آهن و گرافیت است. گرافیت همان کربن آزاد است که به شکل‌های متفاوتی (ورقه‌ای، کروی و...) در هنگام انجماد چدن مذاب ظاهر می‌شود. در کاربرد آهن، کربن با فلز آهن به‌صورت ترکیب در می‌آید این فاز که سمنتیت نامیده می‌شود، سخت و شکننده است. بنابراین کربن در چدن‌ها به دو شکل وجود دارد:

۱ کربن آزاد یا گرافیت

۲ کربن ترکیبی.

خواص چدن‌ها به شدت وابسته به این موضوع است که چه مقدار کربن به‌صورت آزاد و چه مقدار به‌صورت ترکیبی در ساختار آنها یافت می‌شود. حتی نوع شکل گرافیت و زمینه چدن نیز روی ویژگی‌های آنها تأثیرگذار است. بر همین اساس می‌توان انواع چدن را در گروه‌های زیر طبقه‌بندی کرد:

۱ چدن خاکستری ۴ چدن مالیبیل

۲ چدن سفید ۵ چدن با گرافیت فشرده

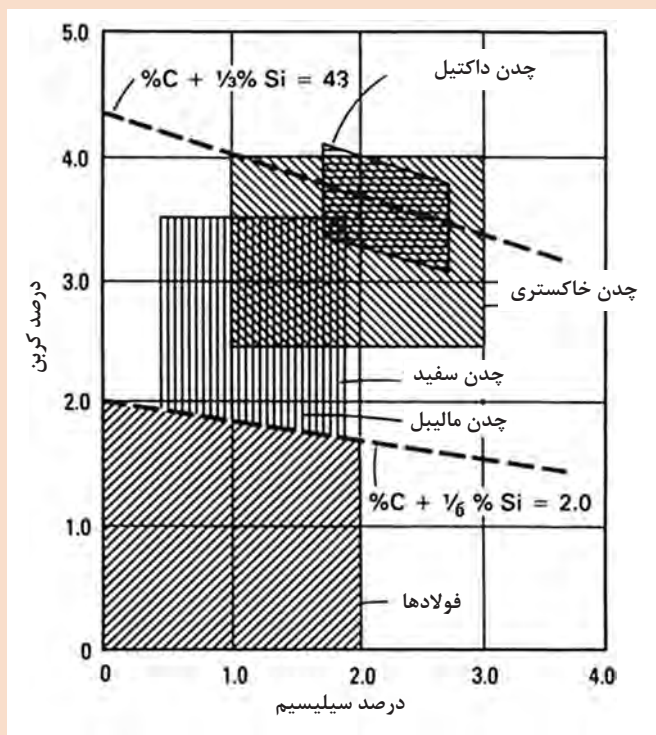
۳ چدن داکتیل ۶ چدن آلیاژی

چدن‌های آلیاژی در واقع نوعی از چدن‌های خاکستری و سفید می‌باشند که در مقایسه با اکثر فولادهای آلیاژی به لحاظ قیمت کمتر، ریخته‌گری آسانتر و خواص متنوع‌تر به ویژه مقاومت سایشی بهتر جایگاه مهمی را در صنعت به خود اختصاص داده‌اند.

نکته

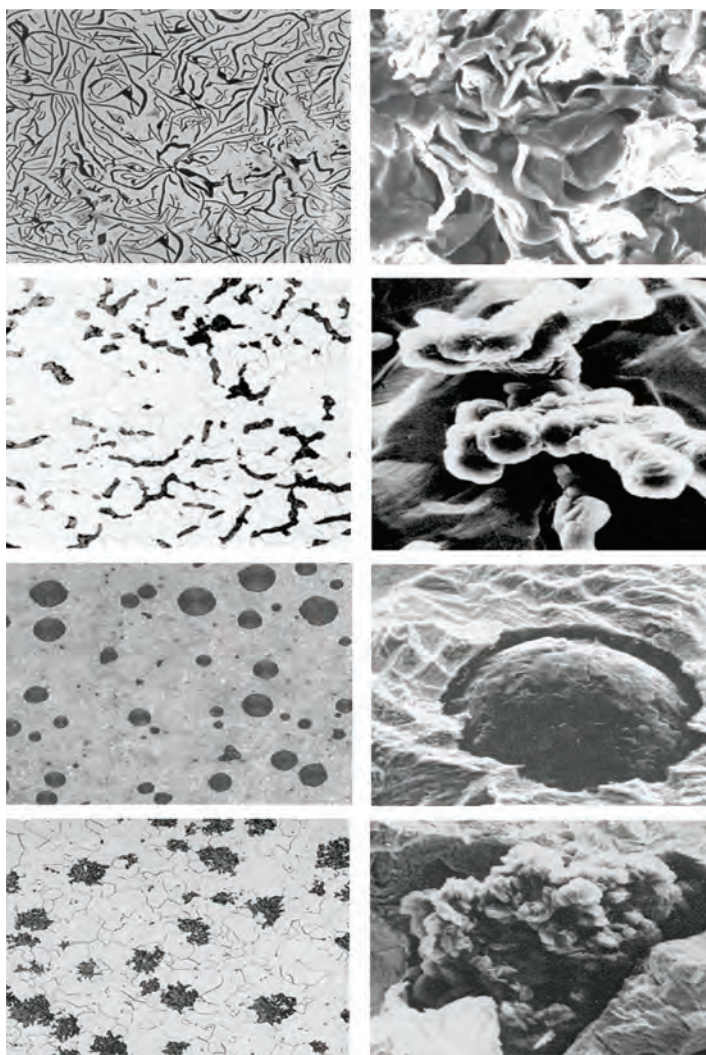


فصل سوم: آلیاژسازی چدن



مقدار تقریبی کربن و سیلیسیم در آلیاژهای آهنی

نام چدن	شکل کربن در چدن	انواع زمینه فلزی موجود در چدن	رنگ مقطع شکست چدن در حالت ماکروسکوپی	ویژگی چدن
چدن خاکستری	گرافیت ورقه‌ای	فریت، پرلیت، پرلیت + فریت	خاکستری	قابلیت ماشین کاری - انتقال حرارتی خوب - جذب ارتعاش و صدا
چدن سفید	به صورت ترکیبی (کاربید آهن)	پرلیت، سمنتیت	سفید	مقاومت به سایش
چدن داکتیل	گرافیت کروی	پرلیت، فریت	خاکستری - نقره‌ای	استحکام بالا - قابلیت انعطاف عالی
چدن مالیبیل	گرافیت برفکی	پرلیت، فریت	خاکستری - نقره‌ای	چکش خواری و چقرمگی بالا
چدن با گرافیت فشرده	گرافیت کرمی	پرلیت، فریت	خاکستری - نقره‌ای	مابین خواص چدن خاکستری و داکتیل
چدن آلیاژی	به صورت ترکیبی یا گرافیت ورقه‌ای	پرلیت، مارتنزیت، آستنیت	خاکستری - نقره‌ای یا سفید	مقاومت به سایش عالی - مقاومت به خوردگی عالی



تصاویر میکروسکوپی چدن‌های به ترتیب چدن‌های خاکستری - فشرده - داکتیل -
مالیبل

(سمت چپ تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی کم ($\times 250$) سمت
راست تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی با بزرگ‌نمایی بالا ($\times 850$))

فعالیت عملی



متالوگرافی چدن‌ها و مشاهده گرافیت‌ها

هنرجویان را در گروه‌های دو نفری تقسیم‌بندی کنید. به گروه‌ها نمونه‌های متفاوتی از قطعات کاربردی در صنعت نظیر بلوک سیلندر خودرو، میل لنگ، پوسته و یا پروانه پمپ‌های مقاوم در برابر سایش تحویل دهید. دقت داشته باشید گروه‌ها از جنس نمونه‌ای که قرار است متالوگرافی کنند اطلاع نداشته باشند و نمونه برای آنها مجهول باشد.

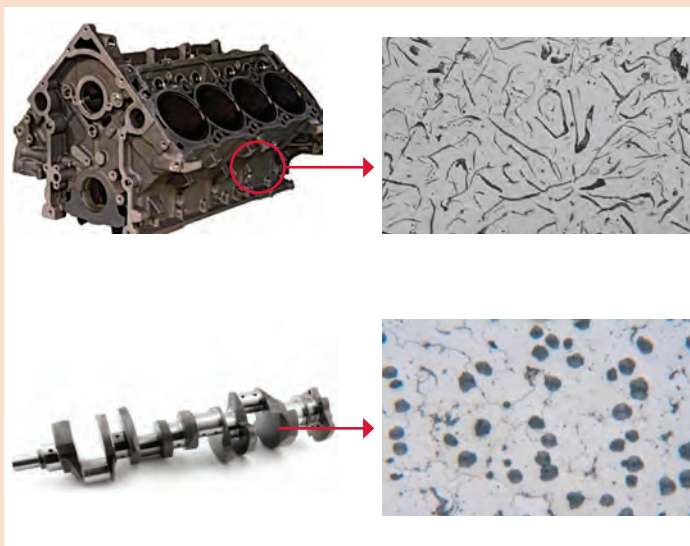
گروه‌ها موظف‌اند برای متالوگرافی نمونه‌ها، ابتدا عمل سنباده کاری با استفاده از سنباده‌های زبر (۸۰) تا نرم (۲۰۰۰) انجام دهند. پس از این مرحله، نوبت به پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون Al_2O_3 می‌رسد. پس از عمل پولیش، نمونه‌ها را با الکل شسته و بعد از خشک کردن در زیر میکروسکوپ مشاهده کرده و نوع چدن نمونه را اعلام کنند.

نکته: به منظور دیدن گرافیت‌ها برای نمونه‌های چدنی، باید عمل پولیش آرام صورت گیرد.

■ بلوک سیلندر خودرو گرافیت کشیده نوع A

■ میل لنگ گرافیت کروی

■ پوسته پروانه پمپ ضدسایش زمینه‌ای کاملاً سفید رنگ، زیرا گرافیت نداشته و کاربردها بدون اچ کردن قابل رؤیت نمی‌باشد.

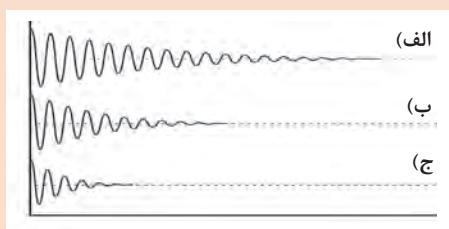




تمایز فولاد با چدن از طریق اعمال ضربه

یادآوری: گرافیت ورقه‌ای بیشترین کاربرد را در چدن‌ها به خود اختصاص داده است به طوری که اکثر پوسته‌ها، پایه‌ها و بدنه ماشین‌آلات صنعتی به دلیل تحمل فشار بالا و خاصیت جذب صدا و ارتعاش از چدن با این نوع گرافیت تولید می‌شوند. چنانچه پس از پرداخت کامل، سطح نمونه توسط میکروسکوپ بررسی شود گرافیت‌های ورقه‌ای قابل رویت می‌شوند. راه دیگر تشخیص این نوع چدن از سایر آلیاژهای آهنی به این صورت است که چنانچه با میله و یا چکش فلزی ضربه به آن وارد گردد صدای بم شنیده می‌شود.

قطعاتی از فولاد، چدن داکتیل و چدن خاکستری آماده کنید. به هنرجویان توضیح دهید که با ضربه زدن به فولاد و چدن داکتیل صدای زنگ شنیده می‌شود در حالی که چدن خاکستری صدای خفه دارد. از هنرجویان بخواهید با ضربه زدن و شنیدن ضربه، نوع آلیاژ را تشخیص دهند.



تابع ارتعاش برحسب زمان برای سه نوع آلیاژ
(الف) فولاد (ب) چدن داکتیل (ج) چدن خاکستری

ساختار چدن‌های خاکستری و سفید – آلیاژسازی

بیشترین کاربرد چدن‌ها در صنعت بر پایه چدن‌های خاکستری بنا شده است. بهتر است ابتدا تفاوت ترکیبی چدن سفید با خاکستری را برای هنرجویان برشمارید و عواملی که باعث می‌شود که چدن سفید به وجود بیاید را ذکر کنید. تست گوه نیز که بعداً به صورت عملی انجام می‌گیرد در راستای این توضیحات است.

پس از این مرحله برای هنرجویان انواع گرافیت‌های چدن‌های خاکستری را تشریح کنید. این تشریح حتماً باید با نشان دادن عکس‌ها و اسلایدهایی از شکل گرافیت‌ها همراه باشد. درباره تأثیر ضخامت بر شکل، مقدار و اندازه گرافیت‌ها صحبت شود تا هنرجویان برای فعالیت یک پیش زمینه داشته باشند.

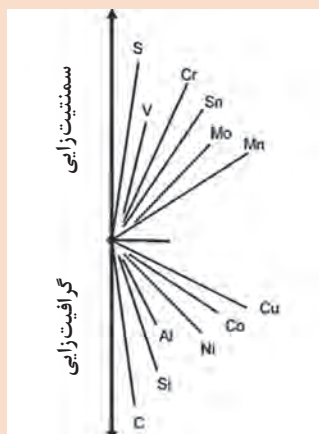
در انتهای بحث کلاس توضیحاتی از آلیاژسازی به خصوص آلیاژسازی چدن‌ها برای هنرجویان داده شود.

تأثیر نرخ سردکردن و عناصر آلیاژی بر روی چدن

شکل کربن در چدن‌ها تحت تأثیر عناصر آلیاژی، چگونگی سرعت سرد شدن در هنگام انجماد و نوع عملیات حرارتی است. بعضی از عناصر آلیاژی پایدارکننده گرافیت هستند (گرافیت‌زا) و برخی دیگر نرخ شکل‌گیری سمنتیت را افزایش می‌دهند (کاربیدزا). از بین عناصر آلیاژی علاوه بر کربن، سیلیسیم قوی‌ترین گرافیت‌زا است بنابراین بیشترین تأثیر را در چدن‌های خاکستری دارد. بنابراین باید انتظار داشت که در چدن سفید نسبت به چدن خاکستری مقادیر سیلیسیم کمتری وجود داشته باشد.

ترکیب شیمیایی چدن سفید در مقایسه با چدن خاکستری

کربن	سیلیسیم	منگنز	فسفر	گوگرد
۲/۵-۴	۳-۱	۰/۲۵-۱	۰/۰۲-۰/۲۵	۰/۰۵-۱
۱/۸-۳/۶	۰/۱-۵/۹	۰/۲۵-۰/۸	۰/۰۶-۰/۲	۰/۰۶-۰/۱۸



تأثیر عناصر آلیاژی بر میکرو ساختارهای چدن

برای تولید چدن سفید دو راه وجود دارد:

■ ترکیب شیمیایی برای ضخامت معینی از قطعه در محدوده مشخص باشد.
(جدول بالا)

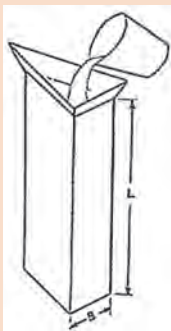
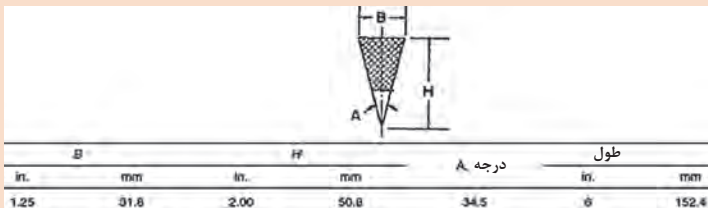
■ سریع سردکردن مذاب چدن در قالب در حالی که ممکن است ترکیب در محدوده چدن سفید نباشد.

در نتیجه در ریخته‌گری چدن‌ها در ضخامت‌های کم، وجود چدن سفید دور از انتظار نیست.



تست گوه

مدل گوه‌ای را با کمک هنرجویان با ابعاد زیر آماده کنید. مدل‌های فلزی برای این فعالیت مناسب‌ترند. این ابعاد براساس استاندارد ASTM است. نوک گوه تا ۵/۰ میلی‌متر گرد شود.



صرف نظر از نوع روش قالب‌گیری، مدل با ماسه نرم قالب‌گیری شود و معمولاً ماسه AFSY^۰ را در نظر می‌گیرند. قالب باید کاملاً عاری از هرگونه رطوبت باشد. قالب‌گیری مدل را می‌توان به صورت روباز نیز انجام داد. بهتر است که قالب‌گیری مطابق شکل به صورت عمودی انجام گیرد. هنرجویان حداقل دو قالب تهیه کنند. از هر گونه کوره که قادر به ذوب چدن خاکستری باشد می‌توان استفاده کرد. مقدار شارژ بسته به اندازهٔ بوته و تعداد قالب می‌تواند متغیر باشد.

نکته: چنانچه از قراضه فولادی برای شارژ کوره القایی استفاده می‌کنید به همراه شارژ از گرانول در ابتدا و از فرو سیلیسیم در انتهای ذوب استفاده نمایید. مقدار گرانول و فروسیلیسیم بسته به ترکیب شیمیایی قراضه دارد. بعد از آماده شدن ذوب عملیات کیفی مذاب را انجام دهید. این عملیات شامل گاززدایی با استفاده از فروتیوپ (به ازای هر ۲۵ کیلوگرم یک فروتیوپ کافی است) و سرباره‌گیری با استفاده از سلاکس است. (مقدار سلاکس حدود ۵/۰ درصد وزنی شارژ است). یک قالب بدون عمل جوانه‌زا و دیگری با عملیات تلقیح، ریخته‌گری کنید. تلقیح با فرو سیلیسیم انجام گیرد. حدود ۳/۰ درصد وزنی مذاب، فروسیلیسیم ۷۵ درصد اضافه شود. قطر فروسیلیسیم‌ها ۲ تا ۳ میلی‌متر باشد.

پس از اینکه قطعات جامد شدند آنها را از قالب جدا کرده و با انبر در آب سرد فرو کنید. زمانی که قطعات به اندازه کافی سرد شدند از آب خارج کنید. درجه حرارت گوه باید چنان باشد هنگامی که از آب خارج می‌شود سطح خیس را بتواند خشک کند. گوه‌ها را از وسط طول با چکش بشکنید. مناطق سفید شده در نمونه‌ها را که در مجاورت رأس قرار گرفته است، مشاهده و مرز بین منطقه خاکستری و سفید را برای هر دو نمونه پیدا کنید و طول این مرز را که موازی با قاعده گوه است را اندازه بگیرید. هنرجویان نتایج را به صورت کامل در قالب یک گزارش کاری ارائه دهند.

نکته



معمولاً بین ناحیه خاکستری و سفید ناحیه‌ای از چدن خالدار وجود دارد که در این مورد مرز به‌طور استاندارد در وسط منطقه واسطه تعریف می‌شود.

نکته ایمنی



رعایت کلیه نکات ایمنی و بهداشتی هنگام شارژ ذوب، بارریزی، قالب‌گیری، تخلیه قالب و جابه‌جایی لازم است. همچنین استفاده از لباس نسوز، کلاه مجهز به نقاب، دستکش و ماسک الزامی است.

دانش‌افزایی

در چدن‌های گرافیت‌دار وقتی آلیاژ در زیر نقطه یوتکتیک سرد شود گرافیت ابتدا از طریق جدا شدن از ترکیب آستنیت رسوب کرده و سپس در دمای یوتکتوئید انتقال کامل انجام می‌گیرد. البته محصول واقعی علاوه بر ترکیب ساختار آستنیت متأثر از سرعت سرد شدن نیز است. در شرایط عادی معمولاً استحاله شبکه آستنیتی به فریت و گرافیت را می‌توان با شرایط زیر به‌دست آورد:

(الف) سرعت سرد شدن آهسته، به‌طوری که سبب جدایش کربن از شبکه آستنیتی شود.

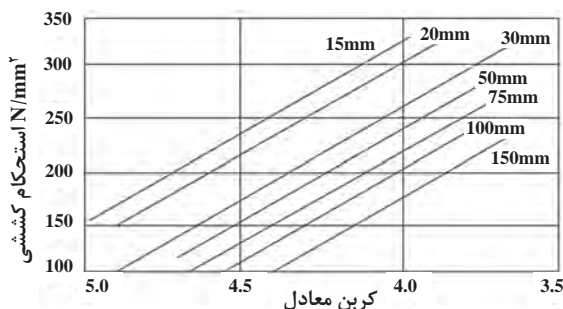
(ب) درصد بالای سیلیس در آلیاژ که موجب تشکیل گرافیت به جای فاز سمنتیت می‌شود.

(ج) مقادیر بالای کربن معادل در آلیاژ

(د) وجود گرافیت ریز دانه سرد شده (از نوع D) در ساختار.

در حالی که آلیاژ، کربن معادل نسبتاً پایین داشته یا سرعت سرد شدن به نسبت زیاد باشد استحاله بیشتر به سمت پرلیت هدایت می‌شود. در برخی موارد ساختار آلیاژ شامل هر سه جزء فریت، پرلیت و گرافیت خواهد بود.

منحنی زیر نشان می‌دهد که اختلاف ضخامت و در نتیجه اختلاف سرد شدن در استحکام کششی اثر داشته و می‌تواند مثل تغییرات در ترکیب شیمیایی مؤثر باشد.



رابطه بین استحکام کششی و کربن معادل برای میل‌گردهایی با قطرهای متفاوت

اختلاف در استحکام ناشی از ترکیب شیمیایی ارتباط به نحوه انجماد، ساختار دندریتهای آستنیت و یوتکتیک دارد و اختلاف استحکام ناشی از اختلاف ضخامت ارتباط به اختلاف در اندازههای یوتکتیک و گرافیت دارد. افزایش استحکام در اثر افزایش در سرعت سرد شدن که ناشی از کاهش ضخامت می باشد به علل زیر است:

- ۱ تعداد هسته های یوتکتیک تشکیل شده در طول انجماد افزایش پیدا می کند.
- ۲ سرعت بیشتر در انجماد یوتکتیک باعث ظرافت گرافیت ورقه ای می شود.
- ۳ سرعت بیشتر در قالب باعث ظرافت بیشتر در پرلیت و کاهش مقدار فریت (به جز گرافیت نوع D) می شود.

گرافیت های ورقه ای تشکیل شده از هسته یوتکتیک کوچک، دارای استحکام بیشتری است از گرافیت های ورقه ای که از هسته یوتکتیک بزرگ تر تشکیل شده و در نتیجه چدن های با هسته یوتکتیک کوچک تر یا تعداد هسته های یوتکتیک بیشتر، مقاوم ترند.

فعالیت عملی



تأثیر ضخامت بر اندازه های گرافیت در چدن های خاکستری

هنرجویان را به گروه های چند نفری تقسیم بندی کنید. نمونه های استوانه ای با قطر متفاوت از ۱۵ میلی متر تا ۴۵ میلی متر که طول هر استوانه حدود ۲۰ سانتی متر باشد به گروه ها تحویل دهید. بهتر است قطر استوانه ها ۵ میلی متر ۵ میلی متر اضافه گردد (یعنی ۱۵، ۲۰، ۲۵، ...، ۴۵). گروه ها استوانه ها را قالب گیری کنند. انتخاب نوع ماسه قالب گیری بر عهده هنرآموز است. گروه ها بعد از آماده کردن چدن مذاب و انجام عملیات کیفی آن، مذاب ریزی را انجام دهند. پس از خنک شدن نمونه ها، آنها را از وسط بریده و برای رؤیت گرافیت ها متالوگرافی کنند. در انتها سختی نمونه ها را اندازه گیری کنند.

تأثیر ضخامت بر اندازه گرافیت و همچنین تأثیر کربن ترکیبی بر سختی از اهداف این فعالیت است که هنرجویان باید در قالب گزارش کاری تحویل دهند.

نکته ایمنی



رعایت کلیه نکات ایمنی و بهداشتی هنگام شارژ ذوب، بارریزی، قالب گیری، تخلیه قالب و جابه جایی لازم است همچنین استفاده از لباس نسوز، کلاه مجهز به نقاب، دستکش و ماسک الزامی است.

دانش افزایی

برای تولید ۲۰۰ کیلوگرم مذاب با ۳/۵ درصد کربن، ۲/۴ درصد سیلیسیم، در صورتی که شارژ اصلی قراضه فولاد با کربن و سیلیسیم پایین باشد چه مقدار از مواد زیر بایستی به مذاب اضافه گردد؟

۱) فروسیلیس با عیار ۷۵ درصد سیلیسیم

۲) گرانول با عیار ۹۹ درصد کربن

گرانول	کربن	کربن	شارژ
۱۰۰	۹۹	۳/۵	۱۰۰
$x \Rightarrow x = \frac{700}{99} = 7.07 \text{ kg}$	۷	$x \Rightarrow x = 7 \text{ kg}$	۲۰۰
فروسیلیس	سیلیسیم	سیلیسیم	شارژ
۱۰۰	۷۵	۲/۴	۱۰۰
$x \Rightarrow x = \frac{480}{75} = 6.4 \text{ kg}$	۴/۸	$x \Rightarrow x = 4.8 \text{ kg}$	۲۰۰

طراحی سیستم‌های راهگاهی و تغذیه برای چدن ریزی

وظیفه یک سیستم راهگاهی در تولید قطعات ریختگی آهنی تأمین شرایط زیر است:

۱) تولید قطعه ریختگی کامل بدون معایب سطحی نظیر نرسیدن بار.

۲) انتقال مذاب تمیز از راهگاه به محفظه قالب و در نتیجه تولید قطعه تمیز.

۳) تولید قطعه ریختگی سالم، عاری از حفره‌ها و معایب انقباضی.

۴) امکان جدا کردن راهگاه‌ها و تغذیه از قطعه با هزینه کم و آسان‌تر.

بنابراین با توجه به اهمیت زیاد سیستم راهگاهی بهتر است که این قسمت به طور کامل به بحث تعبیه سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری اختصاص داده شود. هنرآموزان باید در ابتدای تدریس اهمیت سیستم راهگاهی را برای تولید یک قطعه سالم برای هنرجویان تشریح کنند. سپس با توضیح سیستم‌های فشاری، مرحله به مرحله با ذکر مثال‌های از قطعات متفاوت اندازه‌های کانال‌های فرعی، کانال‌های اصلی و قطر لوله راهگاه را برای هنرجویان محاسبه کنند.

در گام بعدی، از نقش تغذیه‌گذاری در ریخته‌گری صحبت شود. انواع روش‌های رایج در تغذیه‌گذاری برای چدن‌ریزی را نام برده و توضیح داده شود. سپس با حل چند نمونه، ابعاد تغذیه و ضلع گلوپی را جهت آموزش به هنرجویان به‌دست آورند.



محاسبه اندازه‌های سیستم راهگاهی

برای این فعالیت باید وسایل اندازه‌گیری طول و وزن همانند خط‌کش و ترازو در کارگاه مهیا باشد.

در کارگاه به هر دو نفر از هنرجویان یک قطعه متفاوت داده شود. هنرجویان با استفاده از گراف و نمودارهای موجود باید اندازه مناسب سیستم راهگاهی را به‌دست بیاورند و در عمل اجرا کنند. انتخاب نوع ماسه قالب‌گیری بر عهده هنرآموز است. پس از قالب‌گیری، با توجه به تعداد قالب، مذاب آماده گردد و چدن‌ریزی انجام شود.

هنرآموز محترم بعد از خنک‌شدن قطعات، آنها را مورد بررسی قرار دهد و نکات ضروری را به هنرجویان در جهت رفع عیب‌های احتمالی به وجود آمده از سیستم راهگاهی گوشزد کند.

با توجه به جدول زیر و در صورتی که از راهگاه بار ریز کوتاه استفاده شده باشد حساب کنید برای قطعه‌ای به وزن ۴۰۰ کیلوگرم مجموع سطوح مقاطع کانال‌های فرعی چه میزان است؟

برای قطعه ۴۰۰ کیلوگرم چدن که در جدول نمی‌باشد به صورت زیر عمل می‌شود:

به دلیل اینکه ۴۰۰ کیلوگرم بین ۱۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم موجود در جدول بوده بنابراین دو عدد مربوطه را از هم کم می‌کنیم:

$$۵۰۰ - ۱۰۰ = ۴۰۰$$

مجموع سطوح مقاطع کانال‌های فرعی به ازای راهگاه بار ریز کوتاه را نیز از هم کم می‌کنیم:

$$۱۰ - ۶ = ۴$$

اختلاف مجموع سطوح مقاطع کانال‌های فرعی (سانتی متر مربع)

$$۴۰۰$$

$$۴$$

$$۱۰۰$$

$$x \Rightarrow x = \frac{۱۰۰ \times ۴}{۴۰۰} = ۱$$

$$\Rightarrow A_c = ۱۰ - ۱ = ۹ \text{ cm}^2$$

توجه: در تناسب بالا عدد ۱۰۰ از اختلاف دو عدد ۵۰۰ و ۴۰۰ به‌دست آمده است.

مجموع سطوح مقاطع فرعی (سانتی متر مربع)		وزن قطعه ریختگی (کیلوگرم)
راهگاه بارریز بلند	راهگاه بارریز کوتاه	
۲/۵	۳/۲	۱۰
۳	۳/۸	۳۰
۳/۵	۴/۵	۵۰
۴	۶	۱۰۰
۶	۱۰	۵۰۰
۹	۱۵	۱۰۰۰

برای قطعه پرسش قبل، قطر لوله راهگاه و همچنین پهنا و ارتفاع کانال اصلی را حساب کنید.

چنانچه نسبت راهگاهی ($A_s:A_r:A_c$) به صورت (۴:۸:۳) در نظر گرفته شود داریم:
محاسبه قطر لوله راهگاه:

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{4}{3} \Rightarrow A_s = \frac{4}{3} A_c \Rightarrow A_s = \frac{4}{3} \times 9 \Rightarrow A_s = 12 \text{ cm}^2$$

$$d_s = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}} \Rightarrow d_s = \sqrt{\frac{4 \times 12}{3/14}} \Rightarrow d_s = 3/91 \text{ cm}$$

محاسبه پهنا و ارتفاع کانال اصلی:

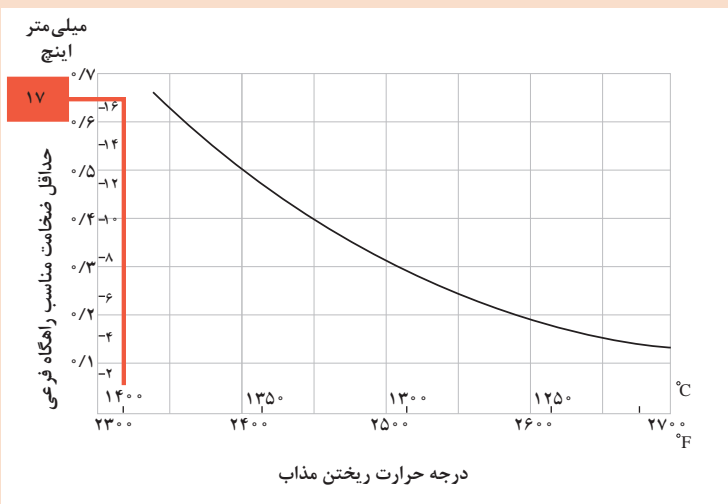
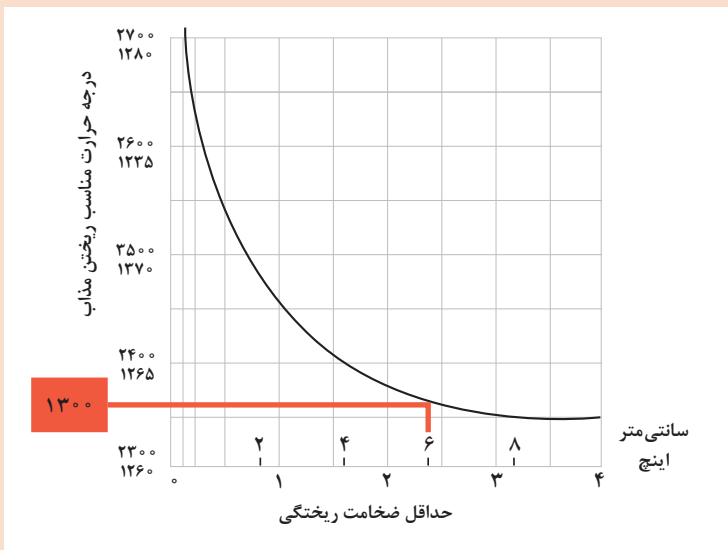
$$\frac{A_r}{A_c} = \frac{8}{3} \Rightarrow A_r = \frac{8}{3} A_c \Rightarrow A_r = \frac{8}{3} \times 9 \Rightarrow A_r = 24 \text{ cm}^2$$

$$A_r = w_1 \times h_1, h_1 = 2w_1 \Rightarrow A_r = 2w_1^2 \Rightarrow w_1 = \sqrt{\frac{A_r}{2}}$$

$$\Rightarrow w_1 = \sqrt{12} \text{ cm} \Rightarrow h_1 = 2\sqrt{12} \text{ cm}$$

برای قطعه پرسش قبل، در صورتی که حداقل ضخامت آن ۶ سانتی متر باشد ابعاد و همچنین تعداد کانال‌های فرعی را حساب کنید.

از منحنی دمای مذاب ریزی تقریباً 130° درجهٔ سلسیوس شده سپس از منحنی دوم حداقل ضخامت مناسب راهگاه فرعی h_2 تقریباً ۱۷ میلی متر می شود.



برای محاسبه پهنای کانال فرعی (w_r) از جدول زیر استفاده می‌شود و چون ۴۰۰ کیلوگرم بین ۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم است.

جرم قطعه ریختگی کیلوگرم	حداکثر عرض راهگاه فرعی متر	حداقل فاصله بین دو راهگاه فرعی مجاور متر
۵	۰/۰۱۹	۰/۰۳۷
۵۰	۰/۰۳۲	۰/۰۶۲
۵۰۰	۰/۰۵	۰/۰۷۵
۵۰۰۰	۰/۰۷۵	۰/۱۲۵
۵۰۰۰۰	۰/۱۲۵	۰/۲۰

$$۵۰۰ - ۵۰ = ۴۵۰$$

اختلاف وزن

$$۰/۰۵ - ۰/۰۳۲ = ۰/۰۱۸$$

اختلاف پهنای کانال فرعی بر حسب متر

$$۵۰۰ - ۴۰۰ = ۱۰۰$$

اختلاف وزن (کیلوگرم)

اختلاف پهنای (متر)

$$۴۵۰$$

$$۰/۰۱۸$$

$$۱۰۰$$

$$x \Rightarrow x = \frac{۱۰۰ \times ۰/۰۱۸}{۴۵۰} = ۰/۰۰۴ \text{ m}$$

در نتیجه پهنای هر کانال فرعی برای قطعه ۴۰۰ کیلوگرمی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$۰/۰۵ - ۰/۰۰۴ = ۰/۰۴۶ \text{ m} \Rightarrow ۰/۰۴۶ \times ۱۰۰۰ = ۴۶ \text{ mm}$$

$$n_1 = \frac{A_c}{w_r \times h_r} \Rightarrow n_1 = \frac{۹ \times ۱۰۰}{۴۶ \times ۱۷} \Rightarrow n_1 = ۱/۱۵ \Rightarrow n_r = ۲$$

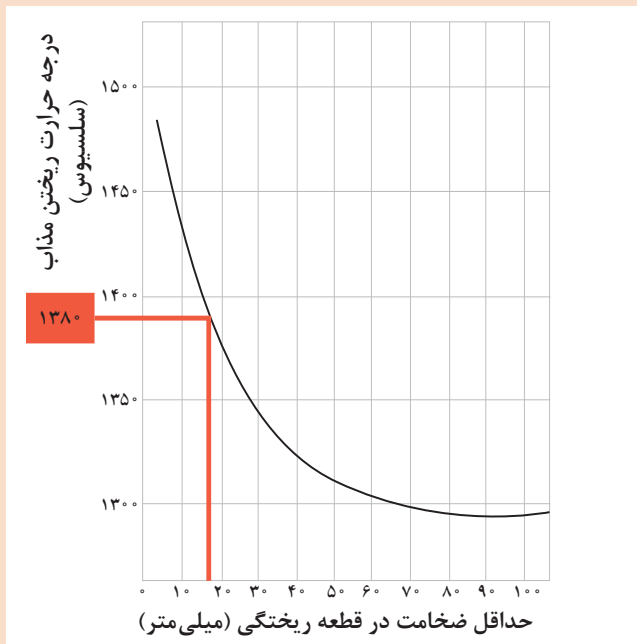
$$n_r = \frac{A_c}{w_r \times h_r} \Rightarrow w_r = \frac{۹۰۰}{۲ \times ۱۷} \Rightarrow w_r \approx ۲۶/۵ \text{ mm}$$

برای قطعه‌ای با حداقل ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر و وزن ۷۰ کیلوگرم با استفاده از نمودارها میزان حجم تغذیه لازم را به دست آورید.

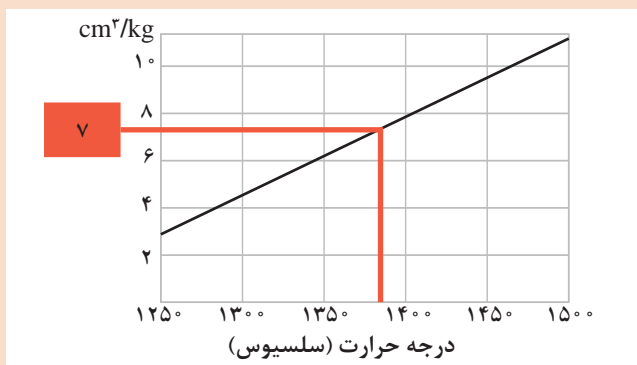
وزن قطعه ۱۰٪ + وزن قطعه = وزن مذاب

$$m = ۷۰ + \frac{۱۰}{۱۰۰} \times ۷۰ \Rightarrow m = ۷۷ \text{ kg}$$

از منحنی زیر با توجه به ضخامت ۱/۵ سانتی متر، دمای مذاب ریزی ۱۳۸۰ درجه سلسیوس تعیین می شود.



و از منحنی دوم نیز حجم فلز لازم برای تغذیه به ازای هر کیلوگرم، ۷ سانتی متر مکعب به دست می آید.



در نتیجه حجم تغذیه به دست می آید.

$$V_r = 77 \times 7 \Rightarrow V_r = 539 \text{ cm}^3$$

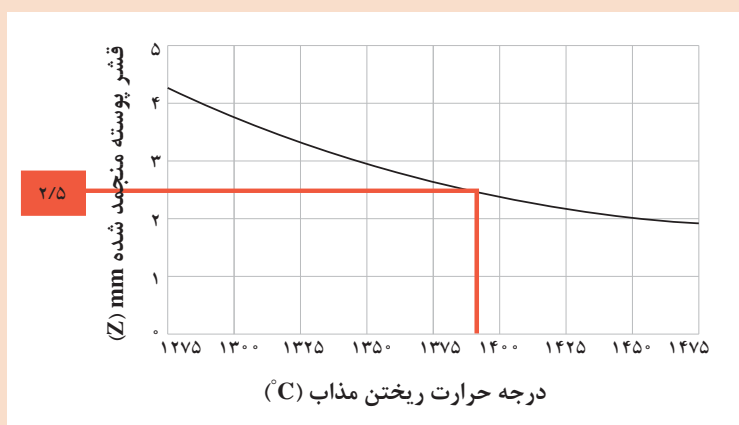
برای قطعه پرسش قبل و با توجه به اینکه از تغذیه‌ای با نسبت $\frac{H_r}{D_r} = 1$ استفاده شده، قطر و ارتفاع تغذیه را حساب کنید.

$$V_r = \frac{D_r^2 \times \pi}{4} \times H_r \Rightarrow V_r = \frac{D_r^2 \times \pi}{4} \times D_r \Rightarrow D_r = \sqrt[3]{\frac{4 \times V_r}{\pi}} \Rightarrow$$

$$D_r = \sqrt[3]{\frac{4 \times 539}{3/14}} \Rightarrow D_r = \sqrt[3]{686/6} \Rightarrow D_r = 8/8 \text{ cm}$$

از منحنی زیر براساس دمای مذاب‌ریزی قشر پوسته منجمد شده پس از دو دقیقه را مشخص می‌نماییم، که با توجه به دمای 1380° درجه سلسیوس تقریباً $2/5$ میلی‌متر می‌شود بنابراین قطر تغذیه نهایی به صورت زیر می‌باشد:

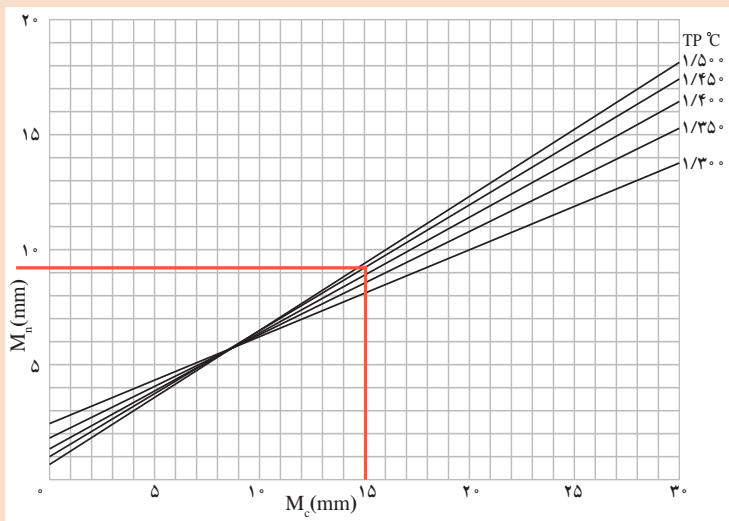
$$D_r = 88 + 2 \times 2/5 \Rightarrow D_r = 93 \text{ mm}, H_r = D_r = 93 \text{ mm}$$



برای قطعه پرسش قبل و در صورتی که مدول نازک‌ترین قسمت $1/5$ سانتی‌متر باشد ابعاد گلولی را محاسبه کنید.

برای به دست آوردن مدول گلولی و طول ضلع آن، چون مدول نازک‌ترین قسمت قطعه $1/5$ سانتی‌متر است توسط منحنی مدول گلولی مشخص می‌شود و با توجه به اینکه دمای مذاب‌ریزی 1380° درجه سلسیوس است.

$$M_n = 9 \text{ mm}, M_n = \frac{a}{4} \Rightarrow a = 4M_n \Rightarrow a = 4 \times 9 = 36 \text{ mm}$$



با استفاده از منحنی و برای قطعه‌ای که مدول ضخیم‌ترین قسمت آن ۲/۵ سانتی‌متر است ابعاد تغذیه با نسبت $\frac{H_r}{D_r} = 1$ و همچنین ضلع گلویی را محاسبه نمایید.

از منحنی و با توجه به اینکه مدول قسمت ضخیم قطعه ۲/۵ سانتی‌متر است تا حدود وسط منطقه هاشور خورده ادامه داده و مدول تغذیه تقریباً مساوی می‌شود.

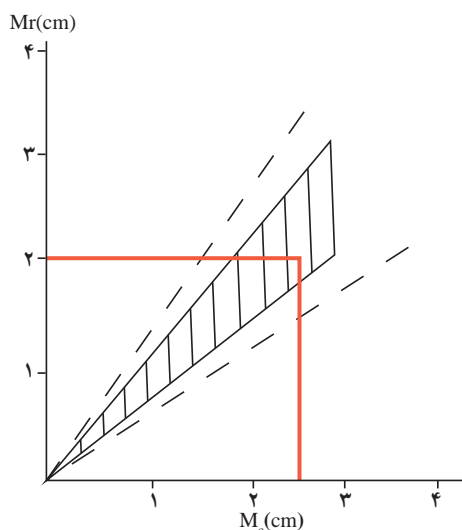
$$M_r = 2 \text{ cm}, \frac{H_r}{D_r} = 1 \Rightarrow H_r = D_r$$

$$M_r = \frac{V_r}{A_r} \Rightarrow M_r = \frac{\frac{D_r^2 \pi}{4} \times H_r}{\frac{2D_r^2 \times \pi}{4} + \pi D_r \times H_r} \Rightarrow$$

$$M_r = \frac{\frac{D_r^2 \pi}{4} \times D_r}{\frac{2D_r^2 \times \pi}{4} + \pi D_r \times D_r} \Rightarrow M_r = \frac{D_r}{6} \Rightarrow D_r = 6M_r$$

$$D_r = 6 \times 2 = 12 \text{ cm} \Rightarrow H_r = 12 \text{ cm}, M_n = 0.6 \times 2 \Rightarrow$$

$$M_n = 1.2 \text{ cm}, a = 4M_n \Rightarrow a = 4 \times 1.2 = 4.8 \text{ cm}$$



تولید چدن با گرافیت کروی و چدن‌های ضدسایش

هنرآموز این قسمت را با پرسش از هنرجویان آغاز کند:

۱ شکل گرافیت کروی چه خاصیتی به چدن می‌دهد؟

۲ چه عاملی باعث می‌شود شکل گرافیت کروی شود؟

۳ کاربرد این نوع چدن بیشتر در چه قطعاتی است؟

هنرآموز پس از طرح این مسائل و پرسش‌های مشابه و دریافت جواب‌ها، به پرسش‌های داده شده توضیح کامل بدهد. سپس از نقش چدن نشکن در صنعت و همچنین، تأثیر اندازه گرافیت‌ها و نحوه توزیع آنها در ویژگی‌های مکانیکی سخن به میان بیاورد. مهم‌ترین قسمت این بخش روش‌های داکتیل‌سازی است که باید به طور کامل درباره آن توضیح ارائه شود و نکات ضروری و همچنین ایمنی در هنگام این عمل به هنرجویان گوشزد کند. در انتها، هنرجویان فعالیت داکتیل‌سازی را در کارگاه انجام دهند.

از چدن داکتیل به عنوان یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای محققان متالورژی در قرن بیستم نام می‌برند. این چدن که به نام چدن نشکن نیز معروف است ترکیبی مشابه با چدن خاکستری دارد اما در هنگام انجماد، گرافیت‌ها به شکل کروی تجمع می‌کنند. این کروی بودن گرافیت‌ها، تمرکز تنش در قطعه را به حداقل می‌رساند و به همین علت چدن‌های داکتیل در مقایسه با چدن‌های خاکستری دارای استحکام و چقرمگی بالاتری می‌باشند.

ترکیب شیمیایی چدن نشکن در مقایسه با چدن خاکستری

گوگرد	فسفر	منگنز	سیلیسیم	کربن	
۰/۰۵ - ۱	۰/۰۲ - ۰/۲۵	۰/۲۵ - ۱	۱ - ۳	۲/۵ - ۴	چدن خاکستری
۰/۱Max	۰/۰۳Max	۰/۱ - ۱	۱/۸ - ۲/۸	۳ - ۴	چدن نشکن

این خصوصیات خوب باعث استفاده گسترده این نوع چدن در صنعت حمل‌ونقل شده است. نمونه بارز آن استفاده آنها در ساخت میل لنگ‌ها به دلیل ماشین‌کاری خوب، استحکام خستگی و مدول کشسان بالاتر است. در سال ۱۹۴۸ میلادی شرکت بین‌المللی نیکل ((International Nickel Company (INCO) و انجمن تحقیقات چدن BCIRA به‌طور مستقل پی بردند که با کاهش گوگرد و فسفر و اضافه کردن یک عنصر کلیدی شکل گرافیت‌ها در چدن خاکستری از ورقه‌ای به کروی تغییر پیدا می‌کند. این عناصر کلیدی منیزیم و سدیم بودند. باید خاطر نشان کرد منیزیم و سریم تنها عناصری نیستند که نقش کروی‌کننده گرافیت‌ها را بر عهده دارند اما از لحاظ جنبه‌های اقتصادی از منیزیم استفاده بیشتری می‌شود.

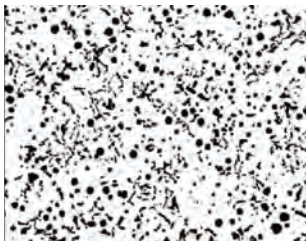
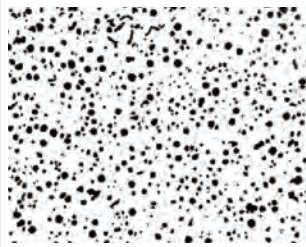
منیزیم با حذف عناصری همچون گوگرد و اکسیژن شکل گرافیت‌ها را به سمت کروی شدن سوق می‌دهد. برای تولید چدن نشکن هرچه مقادیر عناصری مانند گوگرد در چدن زیاد باشد مصرف منیزیم نیز بیشتر می‌شود و از طرفی به ازای اضافه کردن مقادیر یکسان از منیزیم، هر چه مقادیر گوگرد بیشتر باشد درصد کروی شدن گرافیت‌ها نیز کمتر می‌باشد.

عناصر بازدارنده و ترغیب کننده گرافیت کروی

بازدارنده گرافیت کروی	ترغیب کننده گرافیت کروی
گوگرد	منیزیم
اکسیژن	سرب
هیدروژن	لانتانیم
ازت	کلسیم
سرب	پتاسیم
تیتانیم	برلیم
آرسنیک	تیریم

به علت فشار بالای بخار منیزیم و چگالی پایین این فلز، کمتر از منیزیم خالص برای افزودن به مذاب استفاده می کنند. از میان آلیاژهای منیزیم دار برای داکتیل سازی در ایران، فروسیلیسیم منیزیم (MgFeSi) با حدود ۵-۷ درصد منیزیم (فروسیلیکومنیزیم) و نیکل منیزیم از مقبولیت بیشتری برخوردار است.

تأثیر مقدار گوگرد اولیه در شارژ بر عملکرد فرو سیلیکو منیزیم

گوگرد اولیه در شارژ: ۰/۰۱۸٪	گوگرد اولیه در شارژ: ۰/۰۱٪
مقدار اضافه فرو سیلیکو منیزیم: ۱٪	مقدار اضافه فرو سیلیکو منیزیم: ۱٪
گوگرد نهایی در محصول: ۰/۰۱۶٪	گوگرد نهایی در محصول: ۰/۰۰۸٪
کروی شدن گرافیت ها: ۵۰٪	کروی شدن گرافیت ها: ۸۰٪
	

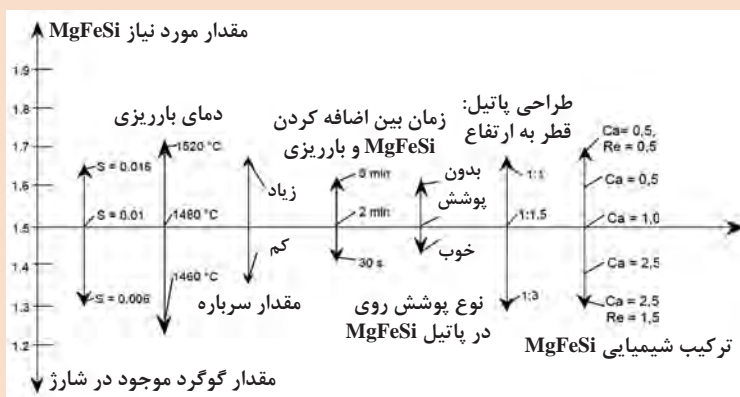
افزودن منیزیم (تلقیح) به مذاب چدن به روش‌های مختلف انجام می‌گیرد که متداول‌ترین آنها عبارت‌اند از:

■ روش ساندویچی

■ روش فرو بردن

■ روش افزودن منیزیم در راهگاه

هرچند بازیابی هر یک از این روش‌ها با یکدیگر فرق می‌کنند اما فاکتورهای زیادی در میزان اضافه کردن منیزیم دخالت دارند. فاکتورهایی نظیر مقدار گوگرد که قبلاً ذکر شد، دمای بارریزی، فاصله بین اضافه کردن منیزیم و زمان بارریزی.



تأثیر فاکتورهای مختلف بر میزان فروسیلیکو منیزیم جهت داکتیل سازی

برای تولید چدن نشکن از طریق روش ساندویچی با توجه به نوع کوره و ابعاد بوته، مواد شارژ مناسب انتخاب کنید. چنانچه از کوره زمینی استفاده می‌کنید بسیار مهم است نوع چدنی که به عنوان شارژ استفاده می‌شود همانند چدن سورل از نوع کم گوگرد باشد و برای کوره القایی صرف‌نظر از اینکه چدن یا قراضه فولاد به عنوان شارژ به کار گرفته می‌شود شرایط کم بودن گوگرد نیز برقرار باشد. قابل ذکر است اگر از مواد کربن ده همانند گرانول و فروسیلیسیم برای ترکیب شمش استفاده می‌کنید از گرانول در ابتدا و از فروسیلیسیم در آخرین مرحله ذوب به شارژ اضافه کنید.

نکته:

۱ در بازار گرانول‌های متفاوتی با درصدهای متفاوتی از گوگرد وجود دارد. دقت شود برای داکتیل‌سازی از گرانول کم سولفور استفاده شود.

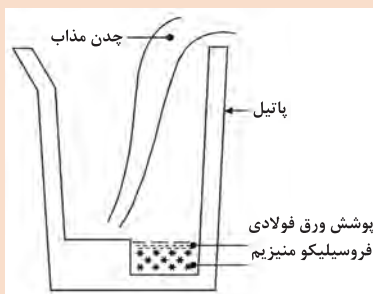
فعالیت عملی



۲ سیلیسیم از دو راه وارد مذاب می‌شود ۱- فروسیلیسیم ۲- فروسیلیکومنیزیم. بنابراین برای به‌دست آوردن چدنی با ترکیب سیلیسیم مشخص در مقدار فروسیلیسیم دقت شود.

مذلی را قالب‌گیری کنید. توجه داشته باشید که به علت فشار مذاب وارد، احتمال بالا آمدن درجه قالب‌روی وجود دارد. پس وزنه‌گذاری مناسب با توجه به نوع مدل و قالب انجام دهید. به عنوان تمرین محاسبه وزنه‌گذاری را با استفاده از فرمول $F_W = 1/5(F_N + F_A - W_K) - F_C$ انجام دهید.

پاتیلی مطابق شکل زیر آماده کنید. نسبت ارتفاع به قطر پاتیل باید بیشتر از ۲ باشد. هر چه این نسبت بیشتر باشد بازیابی منیزیم نیز بیشتر می‌شود. مقدار ۲ درصد وزنی مذاب، فروسیلیسیم منیزیم وزن کرده و پس از خرد کردن در ابعاد حدود ۱ سانتی‌متری در مکان نشان داده شده در انتهای پاتیل قرار دهید. ورق فولادی به ضخامت حدود ۳ میلی‌متر را به عنوان پوشش در ته پاتیل روی فروسیلیکومنیزیم قرار دهید. اطراف ورق فولادی به وسیله ماسه چراغی پوشانده شود تا در هنگام بارریزی از مکان خود جابه‌جا نشود.



پاتیل را به‌وسیله مشعل پیش گرم کنید. هنگامی که مذاب آماده و به دمایی حدود ۱۵۰۰ درجه سلسیوس رسید کوره را خاموش کنید. عملیات کیفی مذاب را با فرو تیوپ و سلاکس انجام دهید. پس از آن مذاب را به درون پاتیل تخلیه کنید.

نکته ایمنی: در هنگام اضافه کردن

منیزیم به مذاب در اثر واکنش سریع با مذاب و تولید بخار امکان پاشیدن مذاب به اطراف وجود دارد. لذا در صورت رعایت نکردن نکات ایمنی ممکن است آسیب جدی به فرد برساند.

محتوای پاتیل را به درون قالب، ریخته‌گری کنید. پس از آنکه قطعه‌ها درون قالب به آهستگی سرد شدند، قالب را تخلیه نمایید. نمونه چدن نشکن به‌دست آمده را متالوگرافی کنید تا ساختار آن را مشاهده و نتیجه را گزارش دهید.

قطعات زیادی از جمله بدنه آسیاب‌ها و سنگ شکن‌ها، گلوله‌های خردکننده، پره‌ها و پوسته‌های پمپ که تحت سایش شدید ناشی از استخراج و فرآوری مواد معدنی سخت می‌باشند. بهترین گزینه برای این منظور انتخاب چدن‌های ضدسایش برای ساخت آنها می‌باشد. زیرا اولاً چدن‌ها به دلیل داشتن کربن بالا و ثانیاً به دلیل تأثیر شدید عناصر آلیاژی بر نوع زمینه و تشکیل کاربیدهای سخت که در اثر ترکیب کربن با عناصر آلیاژی در زمینه شکل می‌گیرند می‌توانند مقاومت سایشی مطلوب را به وجود آورند. لازم به ذکر است که چدن‌های سفید معمولی با وجود اینکه سخت هستند ولی به واسطه دارا بودن دو عیب در اکثر موارد نمی‌توانند مناسب باشند. زیرا نوع زمینه به دلیل دارا بودن سمیت پیوسته از مقاومت به ضربه پائینی برخوردار است و به علاوه سختی سمیتیت مقایسه با فاز مارتنزیت که در زمینه‌های چدن‌های آلیاژی ضدسایش به وجود می‌آید کمتر بوده و نمی‌تواند جوابگو باشد. مهم‌ترین عنصری که به عنوان آلیاژ در این چدن‌ها کاربرد دارد کرم است. کرم به دلیل به وجود آوردن کاربیدهای ریز و سخت که به صورت پراکنده در زمینه مارتنزیتی شکل می‌گیرند در مجموع مناسب‌ترین حالت مقاومت در برابر سایش را به وجود می‌آورد. لازم به ذکر است میزان کرم در این چدن‌ها بین ۱۱ تا ۳۰ درصد می‌تواند متغیر باشد. چنانچه درصد کرم پایین‌تر از این مقدار باشد افت شدیدی در میزان مقاومت به ضربه به وجود می‌آید.

۱) فروکرم موجود در بازار معمولاً دارای عیار ۶۰ الی ۶۷ درصد کرم هستند

بنابراین در هنگام خریداری باید عیار آن از فروشنده درخواست گردد.

۲) فروکرم‌های موجود در بازار به دو گروه پرکربن با کربن حدود ۷ درصد و

کم کربن با کربن حدود ماکزیمم ۰/۱ درصد کربن تقسیم می‌گردند برای استفاده از آنها مخصوصاً در مورد چدن‌ها با میزان کرم بالا می‌بایست دقت کرد که کربن بیش از حد بالا نرود و بعضی مواقع نیاز می‌باشد مخلوطی از فرو کرم پرکربن یا کم کربن به مذاب اضافه گردد.

۳) همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد سیلیسیم نیز باید درصد پائینی داشته

باشد بعضی اوقات سیلیسیم اضافی می‌تواند توسط فروکرم افزودنی به مذاب در صورت عدم آشنایی به میزان سیلیسیم وارد گردد از این بابت باید کنترل شود معمولاً میزان سیلیسیم فروکرم پرکربن حدود ۲ درصد و کم کربن حدود ۱ درصد است.

۴ باید دقت کرد تا اکی والان (C_E) در محدوده نقطه یوتکتیک قرار گیرد به طوری که بالاتر یا خیلی پایین تر این حد نباشد میزان آن توسط رابطه زیر مشخص می گردد:

$$C_E = \%C + \frac{\%P + \%Si}{3}$$

۵ برای قالب گیری تا جایی که ممکن است از سیستم راهگانه چندگانه (چند کانال فرعی) به منظور توزیع حرارت در هنگام ورود مذاب به قالب استفاده شود و در مورد تغذیه گذاری معمولاً نکته خاصی وجود ندارد.

۶ از آنجایی که این چدن ها تقریباً غیرقابل براده برداری می باشند بنابراین اگر چنانچه در محلی نیاز به سوراخ کاری و یا رزوه کاری می باشد در این محل ها و درون قالب قطعاتی فلزی معمولاً از جنس فولاد ضدزنگ قرار داده تا در هنگام مذاب ریزی با مذاب یکپارچه گردند.

۷ چون مذاب درون کوره با لایه ای غلیظ تر از قسمت های داخلی و پایین تر پوشانده شده نباید تصور کرد که مذاب از سیالیت کافی برخوردار نیست. و همواره مذاب با درصد کرم بالا از سیالیت خوبی برخوردار است بنابراین محدوده دمای مذاب ریزی در مورد قطعات با ضخامت مختلف بین ۱۳۵۰ الی ۱۴۳۰ درجه سلسیوس است.

۸ پس از ریختن مذاب درون قالب و پایان عمل انجماد باید زمان کافی به منظور سرد شدن به قطعه داده شود و هیچ زمانی قطعه به صورت داغ از قالب خارج نشود. زیرا ترک خوردگی به وجود می آید. قطعاتی که از ضخامت های غیر یکنواخت تشکیل شده اند بایستی پس از سرد شدن کامل تخلیه گردند. پس از ساخت قطعات در مورد اکثر آنها و به منظور ضربه پذیری بهتر و سختی مطلوب تر عملیات حرارتی بر روی آنها انجام می شود در این مورد لازم است که پس از قرار دادن قطعات درون کوره، افزایش دما به کندی صورت گیرد و در مورد عمل سخت کاری محدوده ۹۵۰ الی ۱۰۲۰ درجه سلسیوس مناسب است. همچنین از هوا به منظور خنک کاری استفاده گردد که می تواند به صورت معمولی و یا هوای فشرده و با سرعت زیاد باشد. برخی مواقع و برای اینکه عملیات براده برداری را انجام دهیم از عمل آنیلینگ استفاده می شود به همین منظور قطعات را در کوره قرار داده تا دمای حدود ۱۰۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده و به مدت طولانی بین ۱۰ الی

۱۸ ساعت در این دما نگهداری کرده و بسیار آهسته سرد می‌کنند. نوع دیگری از چدن‌های ضد سایش چدن‌های نای‌هارد (نیکل سخت) می‌باشند که کاربرد بسیار زیادی دارند و اکثراً کاربرد آنها مشابه چدن‌های پرکرم می‌باشد. براساس میزان کرم و نیکل به شاخه‌های مختلفی تقسیم‌بندی شده و علاوه بر کرم و نیکل همواره حاوی مقداری منگنز نیز هستند. حداکثر کرم در آنها حدود ۹ درصد و مقدار نیکل ۵ درصد است. برای بالا بردن میزان سختی در آنها از عملیات حرارتی خاص استفاده می‌گردد به عنوان مثال برای چدنی با ترکیب ۸ درصد کرم و ۵ درصد نیکل چنانچه به مدت ۷ ساعت در دمای ۸۰۰ درجهٔ سلسیوس نگهداری و سپس در هوا خنک شود سختی از حدود ۴۰ راکول سی به ۶۳ راکول سی می‌رسد. عنصر آلایژی مولیبدن تأثیر بسیار زیادی در سختی‌پذیری دارد و میزان آن می‌تواند حدود ۱/۵ درصد باشد.

فصل ۴

قالب‌گیری پوسته‌ای

ماهیه سازی با ماسه رزین دار

پیشنهاد می شود تدریس این قسمت با مقایسه بین ماسه های ریخته گری آغاز شود. ابتدا تفاوت بین ماسه طبیعی و مصنوعی را ذکر کرده و از هنرجویان بخواهید انواع ماسه های مصنوعی و نحوه آماده سازی آنها را شرح دهند تا مروری بر پودمان اول کتاب تغییر خواص متالورژیکی نیز باشد. به علت اینکه اکثر هنرستان ها فقط با ماسه سیلیسی کار می کنند برای شناخت و درک بهتر انواع دیگر ماسه ها، از نحوه آماده سازی و قالب گیری این گونه ماسه ها، عکس یا فیلم برای هنرجویان نمایش داده شود. در قسمت بعدی این پودمان، توضیحاتی در مورد ساخت ماسه رزین دار ارائه شود. (مراحل ساخت در کتاب هنرجو آمده است). پس از آن مقایسه ای بین انواع اتصالات بین ذرات قالب های موقت انجام شود. بهتر است با کشیدن جدولی مطابق جدول زیر، هنرجویان را به بحث وارد کنید. می توانید روش های دیگر قالب های موقت نیز به این جدول اضافه نمایید.

نوع قالب	اجزای تشکیل دهنده قالب	نحوه اتصال ذرات مواد قالب	استحکام نسبی قالب (خوب - متوسط - ضعیف)
ماسه تر	ماسه + آب + بنتونیت یا خاک رس	اتصال چسب خاک رسی	ضعیف
گچی			
CO ₂			
پوسته ای			
دقیق (دوغاب سرامیکی)			

پس از بحث، هنرجویان را به کارگاه ببرید تا با ماسه رزین دار و همچنین با ساخت ماهیه با این گونه ماسه ها آشنا شوند.

دانش افزایی

ریخته گری در قالب های ماسه ای بر پایه چسب های آلی و شیمیایی

برای ساخت قالب و ماهیه ها گستره ای وسیع از چسب های آلی و شیمیایی موجود است. در اکثر فرایندهای ریخته گری حتی در قالب های دائمی همانند ریخته گری در قالب های ریژه یا ریخته گری گریز از مرکز نیز مورد استفاده قرار می گیرد. به طور کلی این گونه فرایندها بر حسب نوع چسب ها به سه دسته تقسیم می شوند که انتخاب هر دسته و نوع چسب به تعداد ماهیه و قالب های مورد نیاز، سرعت تولید و داشتن تجهیزات بستگی دارد:

دسته اول: فرایندهای چسب های رزینی بدون پخت (No-bake resin binder) ماسه (معمولاً سیلیسی)، چسب و یک ماده شیمیایی به عنوان کاتالیزور با یکدیگر

مخلوط می‌شوند. چسب و واکنش‌دهنده فوراً شروع به واکنش می‌کنند اما با سرعتی که اجازه شکل دادن به ماسه در درون قالب و جعبه ماهیچه را بدهد تا جایی که ماسه استحکام لازم برای ریخته‌گری را پیدا کند. بهترین دما برای به عمل آوردن این گونه مخلوط ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس است اما معمولاً عمل‌آوری در دماهای بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس انجام‌پذیر است. تفاوت زمانی میان پرکردن و تخلیه جعبه ماهیچه از مخلوط قالب‌گیری ممکن است از چند دقیقه تا چند ساعت طول بکشد که بستگی به دمای ماسه، کیفیت ماسه، نوع چسب و کاتالیزور مورد استفاده دارد. در این فرایند از چسب‌های متنوعی می‌توان استفاده کرد که چسب‌های فوران (Furan) همانند رزین‌های اوره - فرمالدئید ((urea-formaldehyde (UF یا فنول - فرمالدئید (Cold box resin binder) از این گونه هستند. نوع کاتالیزور هم بسته به نوع رزین مورد استفاده قرار می‌گیرد که از معروف‌ترین آنها فسفریک اسید است. نسبت مخلوط‌شونده‌ها در این فرایند بستگی به کیفیت ماسه دارد.

دسته دوم: فرایندهای چسب‌های رزینی جعبه سرد (Cold box resin binder) شباهت این دسته با دسته قبل در دمای عملیات است که همان دمای محیط می‌باشد اما تفاوت آن صرف نظر از ترکیب مخلوط، استفاده از دمش گاز به عنوان سخت‌کننده مخلوط قالب‌گیری است. بیشتر از ماسه سیلیسی استفاده می‌شود اما می‌توان از نمونه‌های کرومیتی و زیرکنی نیز بهره جست. فرایندهای موجود در این گروه نیز همانند گروه اول بر اساس چسب‌های به کار رفته تقسیم‌بندی می‌گردد. فرایند جعبه سرد اورتان فنولی ((Phenolic urethane cold box (PUCB نمونه‌ای از این گروه است. در این مورد چسب از دو قسمت تشکیل می‌شود بخش اول شامل رزین فنول و قسمت دوم پلی‌ایزوسیاناتات (polyisocyanate) است که در اینجا به نسبت مساوی هستند. پس از مخلوط کردن این چسب با ماسه، گاز آمین (Amine) درون آن دمیده می‌شود.

دسته سوم: فرایندهای چسب‌های رزینی گرماسخت (Heat-cured resin binder) در این روش ماسه و چسب مخلوط شده در تماس با مدل یا درون جعبه ماهیچه پیش گرم شده قرار می‌گیرند. گرما باعث فعال کردن کاتالیزور موجود در چسب می‌شود و در نهایت منجر به عمل آوردن چسب می‌گردد. جعبه ماهیچه و مدل‌ها باید از فلز ساخته شوند که معمولاً از جنس چدن خاکستری هستند. سطوح کاری جعبه ماهیچه به طور معمول تا ۲۵۰ درجه سلسیوس گرم می‌شوند و دمای بالاتر شاید منجر به سوختگی چسب گردد. ماسه هدایت حرارتی ضعیفی دارد بنابراین مشکل است که پوسته‌های ضخیمی از ماسه به طور سریع و کامل ایجاد شود. معمولاً رزین نوولاک فنولوئیک (Phenolic novolak) و فنول - فرمالدئید و همچنین کاتالیست هگزامین در این دسته کاربرد زیادی دارند. از مهم‌ترین فرایندهایی که

در این گروه قرار دارد می‌توان به فرایند جعبه داغ (Hot-box process)، جعبه گرم (Warm-box process) و فرایند پوسته‌ای (Shell or Croning process) اشاره کرد.

فعالیت عملی



آشنایی با ماسه رزین‌دار

هدف از این فعالیت کار با ماسه رزین‌دار (چراغی) است تا هنرجو علاوه بر آشنایی اجمالی با این نوع ماسه، یک مقایسه مختصر با ماسه‌های دیگر نظیر ماسه طبیعی داشته باشد.

توجه: ماسه مورد استفاده در پروسه ریخته‌گری پوسته‌ای بسیار دانه ریزتر از ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای تر است.

روند این فعالیت به این شرح است:

ابتدا در کارگاه با استفاده از ماسه رزین‌دار روند ساخت یک ماهیچه را در حضور همه هنرجویان ارائه دهید. از شرایط و نحوه کار با ماسه رزین‌دار برای هنرجویان توضیح دهید. حتماً درباره محدودیت نوع جنس جعبه ماهیچه و مدل‌های صفحه‌ای که در فرایند ریخته‌گری پوسته‌ای به کار می‌رود صحبت شود. سپس هنرجویان را به گروه‌های چند نفری تقسیم‌بندی نمایید. هر گروه باید ماهیچه‌ای را با یک جعبه ماهیچه آماده کنند. برای اینکه در آخر قرار است یک مقایسه‌ای بین ماهیچه‌ها انجام شود، بهتر است شکل جعبه ماهیچه‌ها همه به یک شکل باشند. بر اساس تعداد هنرجویان، گروه‌ها باید از مواد زیر برای ساخت ماهیچه استفاده کنند:

۱ ماسه تر

۲ ماسه CO_2

۳ ماسه رزین‌دار

۴ گچ

(دقت شود جعبه ماهیچه‌ای که برای ساخت ماهیچه با استفاده از ماسه رزین‌دار به کار می‌رود باید فلزی باشد.)

پس از ساخت ماهیچه‌ها و کنار هم قرار دادن آنها، از هنرجویان بخواهید با توجه به نوع مواد ماهیچه به سؤالات زیر پاسخ دهند:

■ برای ساخت کدام ماهیچه، جنس جعبه ماهیچه یک نوع محدودیت حساب می‌شود؟

■ برای ساخت کدام ماهیچه، وجود حرارت برای فعال شدن چسب موجود در ماسه الزامی است؟

■ کدام ماهیچه کیفیت سطح بهتری را دارد؟

■ ساخت کدام ماهیچه هزینه بیشتری را در بردارد؟

■ کدام ماهیچه ها کمترین و بیشترین استحکام را دارا هستند؟

پس از دریافت جواب پرسش ها و دلایل آنها به تشریح هر سؤال و جواب آنها بپردازید.

نکته



هنگام استفاده از ماسه رزین دار و گچ دقت داشته باشید که این مواد با ماسه کارگاهی موجود در چاله ماسه مخلوط نشود.

نکته ایمنی



رعایت کلیه نکات ایمنی و بهداشتی هنگام قالب گیری، ذوب، بارریزی و جابه جایی لازم است، همچنین استفاده از ماسک و دستکش نسوز الزامی است.

دانش افزایی

رزین هایی همانند رزین فنل فرمالدئید در ساخت ماسه رزین دار به عنوان چسب استفاده می شود. شکل رزین ممکن است به صورت مایع یا به صورت پولک های جامد که در مراحل بعدی می تواند به صورت پودر در آید، وجود دارد. رزین مایع در فرایند پوشش هوای گرم و رزین های جامد در فرایند پوشش داغ در ساخت ماسه رزین دار مورد استفاده قرار می گیرد. در هر صورت بعد از تکمیل ساخت ماسه چراغی، ذوب شدن رزین در اثر حرارت باعث چسبیدن ماسه به یکدیگر می شود. رزین جامد باید سه خصوصیت اصلی داشته باشد تا به عنوان یک رزین قابل قبول مورد استفاده قرار گیرد:

۱) دمای نرمی (softening points)

۲) نرخ روانی (flow rate)

۳) اندازه ذرات (particle size)

پارامترهای مهم برای رزین مایع نیز شامل شفافیت رزین، مقدار pH رزین و وزن مخصوص است.

نکته



علاوه بر رزین از هگزامین و یک روان ساز نیز در ساخت ماسه رزین دار استفاده می شود. هگزامین نقش کاتالیزور را بر عهده دارد و کلسیم استئارات نیز در نقش روان ساز ظاهر می شود.



آشنایی با رزین فنل فرمالدئید و ساخت ماسه رزین دار

برای درک معنی رزین در ماسه چراغی بهتر است هنرجو از نزدیک و قبل از مخلوط شدن با ماسه با رزین فنل فرمالدئید آشنا شود. هنرآموز در این قسمت باید در محیط کارگاه در حضور هنرجو مقدار بسیار کمی رزین فنل فرمالدئید را خرد و الک کند. سپس رزین را با شعله یا هر وسیله دیگر حرارت دهید تا هنجویان اثر گرما بر رزین فنل فرمالدئید را مشاهده کنند.

در مرحله بعد مقداری ماسه سیلیسی با مش ۹۰ وزن کنید. مقدار حداکثر ۱۰ درصد وزنی ماسه، رزین فنل فرمالدئید پودر شده را با ماسه مخلوط کنید. بعد از آنکه ماسه همگن به دست آمد هنجویان را به گروه‌های چند نفری تقسیم‌بندی کنید. هر گروه یک زیر درجه آلومینیومی را انتخاب کند و حرارت دهند. وقتی درجه حرارت به حدود ۲۵۰ درجه سلسیوس رسید حرارت دادن را متوقف کنند. سپس ماسه ساخته شده را روی صفحه داغ شده بپاشند و هنگامی که ضخامت به ۲ سانتی‌متر رسید سطح ماسه نیز با شعله حرارت دهند تا ماسه محکم شود. پس از خنک شدن صفحه زیر درجه پوسته را جدا کنند و هر گروه موظف است این آزمایش را در قالب یک گزارش کار تحویل دهد.

قالب‌گیری با ماسه رزین دار

در قسمت قبل هنجویان با ماسه رزین دار آشنا شده‌اند در این قسمت باید با نوع مدل‌هایی که در این پروسه مورد استفاده قرار می‌گیرد آشنا شوند. ابتدا ویژگی‌های مدل‌هایی که در قالب‌گیری پوسته‌ای به کار می‌روند را برای هنجویان تشریح کنید. برای آنها توضیح دهید چه روش‌هایی برای این نوع قالب‌گیری وجود دارد. سپس در جهت تکمیل روش‌های قالب‌گیری پوسته‌ای از روش مخزن جعبه‌ای صحبت بیشتری به میان آورید. چون از بین دو روش این پروسه، روش مخزن جعبه‌ای تنها روشی است که می‌توان آن را در هنرستان انجام داد.

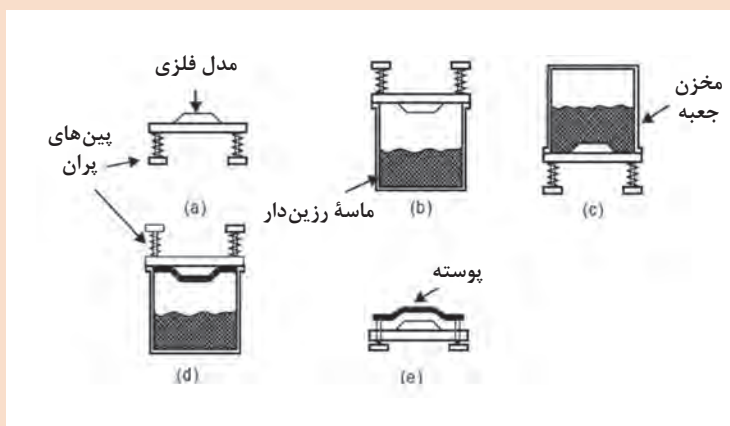
روش مخزن جعبه‌ای

این روش بسیار ساده است. صفحه مدل گرم شده روی مخزن ماسه قرار می‌گیرد و پس از محکم شدن صفحه به مخزن، کل مجموعه یک گردش ۱۸۰ درجه‌ای پیدا می‌کند. بنابراین ماسه روی صفحه مدل ریخته می‌شود تا پوسته اولیه شکل پیدا کند. بعد از دقایقی دوباره مجموع مخزن و صفحه مدل به حالت اولیه برمی‌گردد و ماسه‌های اضافی به مخزن برمی‌گردد. پس از برداشتن صفحه مدل از مخزن، پوسته را از مدل جدا می‌کنند.

پس از آن در کارگاه ساخت، با کمک هنرجویان مراحل ساخت مخزن جعبه‌ای را انجام دهید.

دانش‌افزایی

به‌طور کلی ابداع روش مخزن جعبه‌ای به این دلیل بود تا درجه‌ای اطراف مدل صفحه‌ای قرار گیرد تا کار نگهداری ماسه روی صفحه مدل را انجام دهد. چون مدل فلزی دمای بالایی دارد این کار به راحتی نیز انجام نمی‌گیرد. از طرفی یکنواختی پاشش ماسه روی صفحه مدل نیز دلیلی برای اختراع این روش شد.



ماشین‌های نیمه اتوماتیک و تمام اتوماتیک متفاوتی براساس روش مخزن جعبه‌ای برای قالب‌گیری پوسته‌ای طراحی شده است که دقت، سرعت و ایمنی را افزایش داده است و معمولاً این ماشین‌ها با توجه به اندازه صفحه مدل در ظرفیت‌های متفاوت ساخته می‌شوند.





ساخت مخزن جعبه‌ای

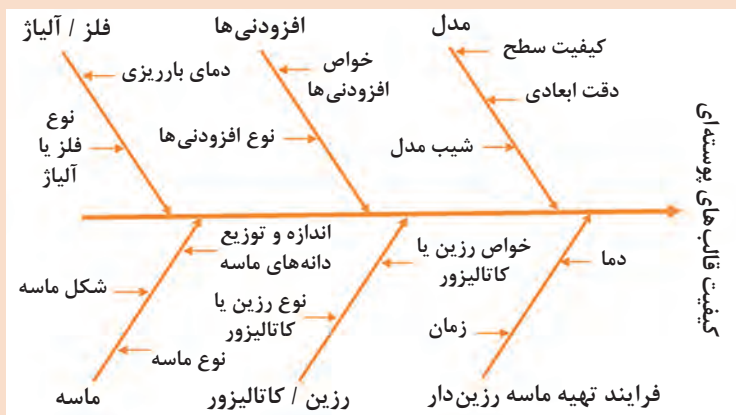
- ۱ مخزن ماسه‌ای باید با توجه به ابعاد صفحه مدل ساخته شود. توصیه می‌شود در این فعالیت از یک لنگه درجه قالب‌گیری در کارگاه استفاده کنید.
- ۲ کف مخزن را با استفاده از ورق ببندید. که به صورت میخ پرچ باشد.
- ۳ سطوح درونی درجه (مخزن) را با گچ به صورت شیب‌دار پر کنید تا زائده‌های درجه مانع از ریزش ماسه نشود.
- ۴ جهت راحت چرخاندن مخزن ماسه روی صفحه مدل دو طرف مخزن را مانند شکل زیر طراحی کنید.



در کارگاه‌های هنرستان بهتر است مدل صفحه‌ای را پس از حرارت دادن روی مخزن با استفاده از گیره دستی محکم کنید.



پارامترهای مؤثر در کیفیت قالب‌های پوسته‌ای شامل موارد زیر است:



قالب‌های پوسته‌ای معمولاً خط جدایش افقی دارند هر چند قالب‌های پوسته‌ای با خط جدایش عمودی نیز قابل استفاده هستند. به کار بردن ماسه پشت‌بند هم برای قالب‌های پوسته‌ای توصیه می‌شود. به این علت که دیواره‌های قالب نسبتاً صاف و هموار هستند می‌توان انتظار تولید قطعه‌هایی با گوشه‌های تیز و قسمت‌های نازک را داشت.

سیستم راهگاهی نیز جزء لاینفک پوسته می‌باشد که معمولاً روی صفحه مدل طراحی می‌شود. برای این فرایند معمولاً تغذیه لزومی ندارد و کار تغذیه بر عهده سیستم راهگاهی است.

پرسش: قالب‌گیری پوسته‌ای در گروه قالب‌های موقت قرار می‌گیرد یا دائمی؟ چرا؟

جواب: قالب‌گیری پوسته‌ای در گروه قالب‌های موقت قرار می‌گیرد زیرا پس از ذوب‌ریزی و خارج کردن قطعه امکان استفاده مجدد از قالب وجود ندارد.

پرسش: در مخلوط ماسه قالب‌گیری پوسته‌ای برای ریخته‌گری اکثر فولادها، درصد ماسه زیرکنی بیشتر از درصد ماسه سیلیسی است. علت این امر چیست؟

جواب: درجه دیرگدازی ماسه زیرکنی بیشتر از ماسه سیلیسی است با توجه به درجه حرارت بالای فولاد مذاب استفاده بیشتر از ماسه زیرکنی در مخلوط ماسه قالب‌گیری پوسته‌ای سفارش می‌شود.



ساخت قالب‌های پوسته‌ای

در این فعالیت عملی باید به تعداد گروه‌های هنرجو مدل صفحه‌ای برای کار در کارگاه وجود داشته باشد. باید توجه کرد چون این فعالیت بر اساس روش مخزن جعبه‌ای است حتماً صفحه مدل‌ها متناسب با مخزن جعبه باشد. هنرجویان را در گروه‌های دو یا چند نفری تقسیم‌بندی کنید. به هرگروه یک صفحه مدل داده شود. هنرجویان موظف‌اند با استفاده از مشعل یا هر وسیله دیگر صفحه مدل را گرم کنند. زمانی که صفحه مدل به دمایی بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ درجه سلسیوس رسید، مدل را روی مخزن جعبه‌ای متناسب که قبلاً از ماسه رزین‌دار پر شده باشد، قرار دهند.

توجه



می‌توان قبل از قرار دادن صفحه مدل روی مخزن جعبه‌ای، صفحه مدل را با روغن‌های صنعتی آغشته کند تا عمل جدا شدن پوسته از صفحه مدل به راحتی امکان‌پذیر گردد.

هنرجویان بهتر است صفحه مدل را با گیره به مخزن محکم کنند و تا در هنگام چرخش ۱۸۰ درجه‌ای مخزن مشکلی به وجود نیاید. پس از حدود دو الی سه دقیقه از چرخش مجموعه صفحه مدل و جعبه، آن را به حالت اول برگردانند و صفحه مدل را از مخزن جدا کنند. چند ضربه به پشت صفحه مدل وارد شود تا پوسته جدا گردد. نیمه دیگر پوسته هم بر همین منوال گرفته شود. پس از آماده شدن دو پوسته با چسب آنها را به هم بچسبانند تا قالب برای ذوب‌ریزی آماده شود. حتماً از ماسه پشت‌بند برای قالب‌گیری استفاده شود. این فعالیت در راستای فعالیت کتاب قالب‌گیری و آلیاژسازی است. هنرآموزان می‌توانند جهت کسب اطلاعات بیشتر به فعالیت شماره ۴ کتاب کارگاه ریخته‌گری ۲ مراجعه کنند.

نکته



هنگام استفاده از ماسه رزین‌دار و گچ دقت داشته باشید که این مواد با ماسه کارگاهی موجود در چاله ماسه مخلوط نشود.

نکته ایمنی



رعایت کلیه نکات ایمنی و بهداشتی هنگام قالب‌گیری، ذوب، بارریزی و جابه‌جایی لازم است، همچنین استفاده از ماسک، دستکش نسوز الزامی است.

فصل ۵

ریخته‌گری قطعات تزئینی

انواع قالب در تولید قطعات تزینی

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 تزینی 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 تزینی 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 برخواهد 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)

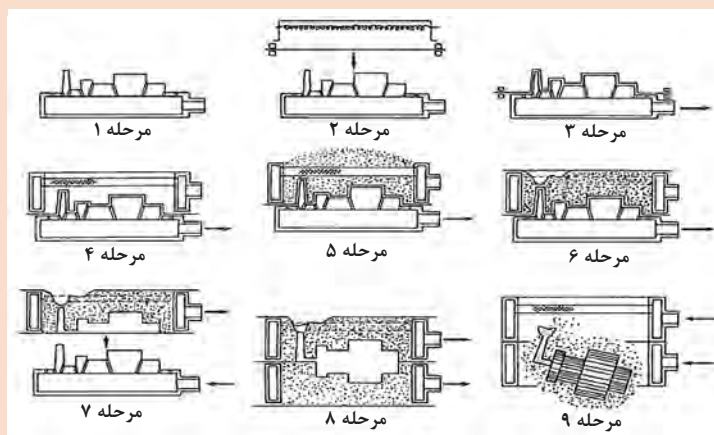
■ ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای بر پایهٔ چسب‌های آلی و شیمیایی

■ 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 می‌چسبد. 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 رزین دار با ماسه معمولی کارگاه قاطی شود و به چرخه ماسه کارگاه برگردد. از ماسه‌های استفاده شده به روش CO_2 هم می‌توان به عنوان 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 آمده 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 کلئیدی 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 ریخته گری و اجزای تشکیل دهنده 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 به‌جای 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. **۳** 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.

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، نشئت 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 آمادگی 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.

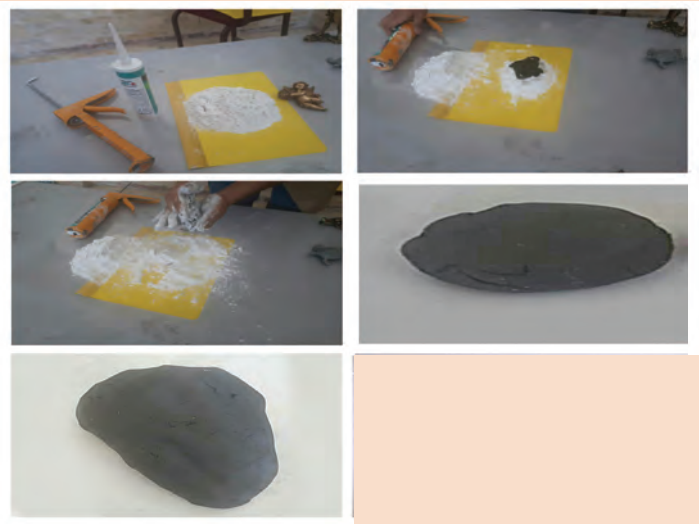


ساخت قالب سیلیکونی با استفاده از سیلیکون قالب‌گیری و خمیر چسب آکواریوم و نشاسته

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 ۹۶-۹۴ 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 ۳/۵ 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 آن قدر تکرار شود که لایه پوخته 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 رشته 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 املامی، 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، می‌توانید نظرهای اصلاحی خود را درباره 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.

وب‌گاه: tvoccd.oerp.ir

دفترتالیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش