فصل ۱

آزمایشگاه مواد قالب‌گیری (آزمایش‌های ماسه)

جلسه اول: تعیین خواص و مشخصات ماسه‌های ریخته‌گری ــ نمونه‌برداری از ماسه‌های ریخته‌گری ــ تهیه نمونه استاندارد

واحد یادگیری: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

مقدمه

برای تدریس این قسمت از درس، ابتدا مقدمه‌ای در مورد انواع قالب‌های مورد استفاده در ریخته‌گری را بیان کنید. سپس اهمیت و نقش قالب‌های موقت در تولید قطعات ریخته‌گری را به‌همراه تشریح مزایای این قالب‌ها به‌هنرجویان به‌طور کامل توضیح داده و از آنها بخواهید که انواع قالب‌های موقت مورد استفاده در صنایع ریخته‌گری را نام برده و برداشتشان را از تولید انواع قطعات در این قالب‌ها بیان کنند.

در ادامه ماسه‌های قالب‌گیری و اهمیت و نقش آن را در تولید قطعات ریختگی سالم بیان کرده و جهت یادآوری هنرجویان انواع ماسه‌های مورد استفاده در صنایع ریخته‌گری را نام برده و خصوصیات هر کدام را به‌طور مختصر شرح دهید. سپس از هنرجویان بخواهید که خواص عمومی قالب‌های موقت را نام ببرند. سپس فیلم‌هایی را که در رابطه با تولید قطعات در انواع قالب‌های موقت در اختیار دارید را به نمایش بگذارید و توصیه کنید که با دقت فیلم را نگاه کنند. در هر قسمت که توانستید سؤالی انگیزشی در مورد انواع قالب‌های موقت از هنرجویان بپرسید به‌نحوی که باعث توجه بیشتر آنها به اهمیت قالب‌های موقت در تولید قطعات و موضوع فیلم شود.

سعی کنید که در فرصت‌های مناسب از هنرجویان بخواهید که سؤال‌هایی مطرح کنند و برای پاسخ دادن به این سؤالات از دیگر هنرجویان کمک بگیرید؛ یعنی ابتدا از دیگر هنرجویان بخواهید که در صورت آگاهی از جواب سؤال، نظر خود را اعلام نمایند.

سپس با توضیحات خود، جواب صحیح را به‌هنرجو بدهید. این امر باعث خواهد شد که فضای رقابتی بین هنرجویان ایجاد شود به‌نحوی که بخواهند اطلاعات خود را به‌رخ یکدیگر بکشند و با هدایت شما این فضا به فضای بحث و تبادل نظر تبدیل شود.

دانش افزایی:

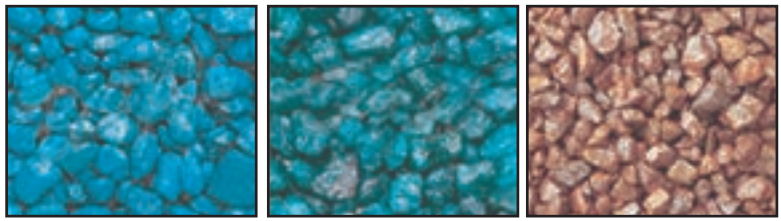
در ریخته‌گری کلیه اعمال تکنولوژیکی و متالورژیکی به‌این نکته ختم می‌شود که فلز یا آلیاژ مذاب در محفظه‌ای به‌نام قالب ریخته‌گری می‌گردد و مهم‌ترین بخش

ریخته‌گری دگرگونی ماهیت فیزیکی مذاب است که در درون قالب انجام می‌گیرد و در اثر انتقال حرارت فلز مذاب منجمد شده و در نهایت شکل محفظه قالب را به‌خود می‌گیرد.
بخش عمده تولید قطعات ریختگی داخل قالب‌های ماسه‌ای انجام می‌شود؛ به‌طوری که برای تولید یک تن قطعه ریختگی ممکن است به۴ تا ۵ تن ماسه قالب‌گیری نیاز باشد. نسبت مابین مقدار ماسه ـ فلز می‌تواند از ۱۰ به۱ تا ۱ به ۰/۲۵ متفاوت باشد که این نسبت به اندازه قطعات ریختگی و روش قالب‌گیری مورد استفاده بستگی دارد. به هر حال مقدار ماسه‌ای که باید در یک کارگاه ریخته‌گری نگهداری شود خیلی زیاد است و کیفیت آن نیز باید کنترل شود تا قطعات ریختگی سالم و بدون عیب تولید شوند.

شکل ۱ـ ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای (موقت)

به‌طور کلی یکی از اجزای اصلی در مخلوط ماسه قالب‌گیری ذرات دیرگداز ماسه می‌باشد. به‌طور کلی طبق تعریف ماسه ذرات ریزی از مواد معدنی است که قطر آن در محدوده ۲ـ ۰/۰۵ میلی‌متر است. ذراتی که قطر آنها کمتر از ۰/۰۰۲میلی‌متر باشد خاک نامیده می‌شوند. ماسه‌های قالب‌گیری که در ریخته‌گری مورد استفاده قرار می‌گیرند براساس ماهیتشان به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند.

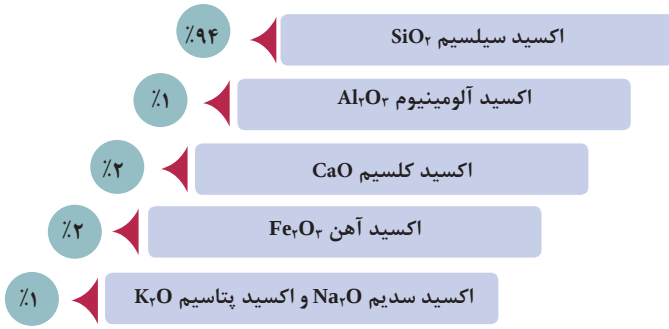
ماسه‌های طبیعی: جزء اصلی و دیرگداز این ماسه‌ها سیلیس(کوارتز) یا SiO_2 (اکسید سیلسیم)، می‌باشد که قسمت اصلی ماسه را تشکیل می‌دهد. معمولاً به‌غیر از سیلیس ماسه با مواد و ترکیبات معدنی دیگری که رنگ و خواص آن را تعیین می‌کند مخلوط است. به‌طوری که اگر ماسه اکسیدآهن (Fe_2O_3) زیاد داشته باشد رنگ آن قرمز یا قهوه‌ای و اگر اکسیدسدیم (Na_2O) و اکسیدپتاسیم (K_2O) داشته باشد به‌ترتیب رنگ‌های سبز و آبی خواهد داشت.



ماسه حاوی اکسیدآهن (Fe_2O_3) | ماسه حاوی اکسیدسدیم (Na_2O) | ماسه حاوی اکسیدپتاسیم (K_2O)

شکل ۲ـ ماسه‌های طبیعی با رنگ‌های مختلف

به‌طور کلی مواد شیمیایی تشکیل‌دهندهٔ یک ماسه طبیعی معمولاً از این قرار می‌باشد:



انواع ماسه‌های طبیعی

الف) ماسه‌های چسب دار طبیعی: فراوانی و ارزانی این نوع ماسه‌ها باعث شده تا به‌طور وسیعی در صنایع ریخته‌گری مصرف شوند. این نوع ماسه‌ها به‌صورت مخلوطی با چسب طبیعی (خاک رس) یافت می‌شوند و میزان خاک رس در آنها می‌تواند تا حدود ۲۰ درصد متغیر باشد. این ماسه‌ها به‌صورت پیش آماده در طبیعت موجود می‌باشند و فقط با اضافه کردن مقدار مناسبی آب، خواص لازم جهت قالب‌گیری به‌دست می‌آید.

وجود اکسیدهای قلیایی (K_2O و Na_2O) و همچنین آهک (CaO) در این ماسه‌ها دیرگدازی آنها را پایین می‌آورد و چون این ترکیبات در اثر حرارت مذاب تبخیر می‌گردند تشکیل مک و حفره‌های گازی و در نتیجه معیوب شدن قطعه ریختگی را به‌همراه دارد. برای جلوگیری از عیوب مذکور، افزودن موادی نظیر پودر چوب و مواد نشاسته‌ای به‌منظور خروج بهتر گازها می‌تواند مفید باشد. قابل ذکر است که از این ماسه‌های طبیعی به‌دلیل دیرگدازی پایین اکثراً در ریخته‌گری آلومینیوم و آلیاژهای

آن استفاده می‌کنند و در صنعت به‌ماسه آلومینیوم معروف می‌باشد.
معمولاً ماسه‌های چسب‌دار طبیعی را از لحاظ مقدار خاکی که به‌همراه دارند می‌توان به‌سه دسته تقسیم کرد:

ماسه ضعیف	حداکثر ۸٪ خاک
ماسه متوسط	از ۸٪ تا ۱۸٪ خاک
ماسه غنی	بیش از ۱۸٪ خاک

ب) ماسه‌های طبیعی بدون چسب: این نوع ماسه‌ها در مقایسه با ماسه‌های چسب‌دار طبیعی یا درصد کمتری چسب دارند یا به‌طور کلی فاقد چسب فعال هستند. معمولاً درجه خلوص بالاتر و کم بودن مقدار اکسیدهای قلیایی و آهک و گردی دانه‌ها در این نوع ماسه‌ها، در مقایسه با ماسه‌های چسب‌دار طبیعی، باعث بالا بودن کیفیت آنها می‌شود. در به‌کارگیری این نوع ماسه‌ها افزودن درصد مناسبی از چسب فعال نظیر بنتونیت و سایر مواد افزودنی، البته قبل از افزودن آب، الزامی‌است.
از این ماسه‌ها معمولاً در ریخته‌گری آلیاژهای مس و قطعات کوچک و متوسط چدنی استفاده می‌شود و در صنعت به ماسه بادی معروف می‌باشد.
در هرحال ماسه ریخته‌گری باید در مقابل حرارت به اندازه کافی مقاوم باشد؛ مثلاً اکسید سیلیسیم در مقابل حرارت مقاوم است ولی سایر مواد اضافی که همراه ماسه هستند گاهی در مقابل حرارت مقاوم نبوده و هنگام ریخته‌گری می‌سوزند و یا ذوب می‌شوند که در نتیجه کلوخه ماسه را تشکیل می‌دهند. همچنین ماسه ریخته‌گری باید قابلیت نفوذپذیری گاز و بخار را در هنگام ریخته‌گری داشته باشد.

ماسه مصنوعی

این نوع ماسه‌ها معمولاً از شکستن، خرد کردن و غربال نمودن سنگ‌های سیلیسی، زیرکنی، کرومیتی و اولیوینی به‌دست می‌آیند که برای ایجاد قابلیت شکل‌پذیری، به‌آنها چسب افزوده می‌شود. در شکل ۳ مراحل تولید این ماسه‌ها نشان داده شده است.

شکل ۳ــ مراحل تولید ماسه‌های مصنوعی

دلایل مهم استفاده از ماسه‌های مصنوعی به‌جای ماسه‌های طبیعی عبارت‌اند از:
الف) دستیابی به‌دیرگدازی بالاتر
ب) کنترل مشخصات فیزیکی و مکانیکی مخلوط به منظور تأمین خواص مورد نیاز، قابلیت بازسازی و استفاده مجدد.
از این رو در بیشتر واحدهای ریخته‌گری که به‌تولید قطعات بزرگ و نیز قطعاتی از فلزات و آلیاژهایی با نقطه ذوب بالا اشتغال دارند از ماسه‌های مصنوعی به‌طور وسیعی استفاده می‌شود.
به‌طورکلی در میان ماسه‌های مصنوعی، نوع سیلیسی آن مهم‌تر و پرمصرف‌تر از بقیه می‌باشد. همان‌طوری که قبلاً نیز اشاره شد ماده دیرگداز این نوع ماسه‌ها ذرات سیلیس (SiO_2) می‌باشد که معمولاً با ترکیبات دیگر همراه است. از میان این ترکیبات، اکسیدهای آلومینیوم و آهن دیرگدازی ماسه را افزایش داده و اکسیدهای پتاسیم و سدیم، علی‌رغم بهبود چسبندگی و شکل‌پذیری ماسه، دیرگدازی آن را کاهش می‌دهند.
هرچند ماسه‌های سیلیسی استفاده زیادی در ریخته‌گری دارند ولی به دلیل افزایش حجم (انبساط) سریع آن در درجه حرارت‌های بالا، امکان شکستن و یا تغییر شکل قالب وجود دارد. بنابراین جهت دستیابی به دیرگدازی بالاتر، از ماسه‌های کرومیتی، زیرکنی و اولیوینی استفاده می‌شود.

به‌طور کلی و با توجه به‌توضیحات داده شده، هر ماسه قابل استفاده در ریخته‌گری باید حداقل دارای شرایط زیر باشد:
- در درجه حرارت‌های بالا پایداری حرارتی و ثبات ابعادی داشته باشد.
- اندازه و شکل مناسب داشته باشد.
- از نظر شیمیایی میل به‌ترکیب و واکنش با فلز مذاب را نداشته باشد.
- به‌آسانی توسط فلز مذاب خیس نشود.
- عاری از مواد فرار و تبخیر شدنی که با بالا رفتن دما گاز تولید می‌کنند، باشند.
- به‌آسانی در دسترس باشد و صرفه اقتصادی داشته باشد.
- دارای خلوص و ترکیب شیمیایی و درجه اسیدی (PH) مطلوب باشد.
- قابلیت تطابق با سیستم چسب و اتصال را داشته باشد.

تعیین خواص و مشخصات ماسه‌های ریخته‌گری(آزمایش‌های ماسه قالب‌گیری)

برای تدریس این قسمت ابتدا فاکتورهای تأثیرگذار در تولید قطعات ریختگی سالم را به‌طور مختصر شرح داده و از هنرجویان بخواهید که نقش قالب در تولید قطعات سالم و عاری از عیب را بیان کنند. پس از شنیدن نظرات هنرجویان، خودتان در مورد

نقش مواد قالب در تولید قطعات سالم توضیحات کامل‌تری را ارائه داده و سپس از هنرجویان بپرسید که چطور می‌توان به‌خواص و خصوصیات ماسه‌های مختلف پی‌برد یا چطور می‌توان فهمید خصوصیات ماسه‌ای که برای ریخته‌گری قطعه‌ای درنظر گرفته‌ایم مناسب است یا نه. پس از شنیدن پاسخ هنرجویان مجدداً بپرسید که آیا می‌توان بدون انجام آزمایش به خصوصیات و خواص ماسه مورد استفاده پی برد. پس از شنیدن جواب خیر هنرجویان، خودتان درمورد هدف از انجام آزمایشات ماسه، اهمیت آزمایشات ماسه و نقش نتایج به‌دست آمده از این آزمایشات در تولید قطعات سالم توضیحات کامل‌تری را برای هنرجویان ارائه دهید.

دانش افزایی

به‌طورکلی خواص و مشخصات ماسه‌های قالب‌گیری را توسط یکسری آزمایشات استاندارد و مشخص شده تعیین می‌کنند که جزئیات، روش انجام و تجهیزات موردنیاز برای هر آزمایشی مطابق استانداردهای موجود (اکثراً استاندارد AFS) مشخص و تعیین شده است.

آزمایشات ماسه‌های ریخته‌گری راهی مناسب برای تعیین خصوصیات فیزیکی ـ شیمیایی و مشخصات ماسه‌ها است. آزمایشات ماسه‌های ریخته‌گری را می‌توان برای تعیین خصوصیات یک ماسه ناشناخته به‌کار گرفت و یا در یک کارگاه ریخته‌گری برای کنترل ماسه مصرفی در هر روز یا هر هفته و یا زمان‌های متناوب دلخواه دیگر مورد استفاده قرار داد. برای مقاسه ماسه‌های مختلف نیز لازم است خواص آنها از طریق این‌گونه آزمایشات تعیین شود تا امکان مقایسه و انتخاب فراهم گردد.

کلیه آزمایشات ماسه باید بر روی نمونه‌هایی که از قبل آماده شده است، انجام گیرد. در حقیقت چنین نمونه‌هایی شامل مقدار اندکی از ماسه موردنظر است که با شیوه‌ای ویژه از انبوه ماسه اصلی برداشته شده است. بسیاری اوقات هم این‌گونه نمونه‌ها از طریق مخلوط کردن ماسه خشک با چسب خاک رس و آب و یا مواد دیگر و نیز از طریق روش‌های دیگری که در تهیه قالب‌ها به‌کار برده می‌شود، نظیر روش CO_2 یا روش قالب‌گیری پوسته‌ای و... تهیه و آماده می‌شوند و پس از فراهم شدن نمونه‌های لازم، آزمایشات مورد نظر انجام می‌شود.

نمونه‌برداری از ماسه‌های ریخته‌گری و تهیه نمونه استاندارد:

تدریس این بخش را با طرح یک سؤال از هنرجویان شروع کنید و بپرسید که مرحله اول در انجام کلیه آزمایشات چه مرحله‌ای می‌باشد. پس از شنیدن جواب هنرجویان، در مورد انواع روش‌های نمونه‌برداری و اهمیت و نقش آن در نتایج آزمایشات، توضیحات کامل‌تری را ارائه دهید. سپس مراحل تهیه نمونه استاندارد توسط کوبه آزمایشگاهی مطابق با مطالب ذکر شده در کتاب را توضیح داده و بعداً کاربردهای

نمونه‌های استاندارد در آزمایشات ماسه را به‌طور کامل به‌هنرجویان توضیح دهید.

دانش افزایی

به‌طورکلی جهت انجام آزمایشات ماسه، باید نمونه‌برداری و تهیه نمونه از ماسه مورد مصرف صورت پذیرد. منظور از تهیه نمونه، به‌دست آوردن مقدار قابل توجهی از ماسه مورد نظر است تا با استفاده از آن آزمایشات متداول برای کنترل وضعیت ماسه مصرفی، بررسی توده ماسه و ارزیابی ماسه‌ای که در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد، انجام شود. مقدار ماسه ای که به‌عنوان نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد باید به‌اندازه‌ای باشد که برای انجام کلیه آزمایشات مورد نظر کفایت کند. برای آزمایشات کامل خواص فیزیکی، عددریزی، آزمایشات شیمیایی و تعیین خواص مکانیکی مقدار یک گالن (۳/۷۸ لیتر) ماسه نمونه توصیه شده است. اما برای آزمایشات متداول در کارخانجات ریخته‌گری مقدار یک چهارم گالن (حدود یک لیتر) کفایت می‌کند.

همچنین در نمونه‌برداری از ماسه باید به‌این نکته توجه داشت که نمونه به‌هیچ عنوان نباید در ظروف سرباز قرار داده شده و جابه‌جا شود نمونه حتماً باید در پاکت‌ها و ظروف پلاستیکی در بسته یا ظروف ضد زنگ قرار داده شوند تا از آلودگی ماسه به رطوبت و همچنین مرطوب شدن آن و نیز برعکس از کاهش رطوبت ماسه نمونه جلوگیری به عمل آید.

برای نمونه‌برداری از یک سیستم ماسه که در یک کارگاه قالب‌گیری یا کارخانه ریخته‌گری مورد استفاده قرار می‌گیرد، همواره این تردید وجود داشته است که آیا نمونه‌برداری ماسه از مخلوط‌کن و محل مخلوط کردن انجام شود و یا در نقطه استفاده ماسه و محل قالب‌گیری صورت گیرد. از اختلاف در خواص هریک از دو نقطه مذکور باید اطلاع در دست باشد تا بتوان مواد افزودنی مناسب در مخلوط‌کن اضافه نمود. فاصله زمانی مابین نمونه‌برداری از ماسه باید به‌اندازه کافی باشد. طول این فاصله زمانی به‌سرعت چرخش ماسه در سیستم ماسه کارگاه بستگی دارد. آزمایش کافی برای تعیین تغییرات در سیستم ماسه باید انجام شود. وقتی تغییرات شناخته شد، فاصله زمانی نمونه‌برداری به نیازمندی برای کنترل صحیح بستگی دارد. رطوبت مهم‌ترین عامل تغییرات است و لازم است به دفعات کافی کنترل شود تا حداقل تغییر در میزان آن حاصل شود.

نمونه‌برداری برای هریک از انواع ماسه رویه باید به‌طور روزانه انجام شود تا خواص آنها کنترل شود. نمونه‌برداری و انجام آزمایش باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن و پس از آنکه ماسه رویه آماده شد، صورت گیرد و درصورت لزوم اصلاحات لازم قبل از به‌کارگیری ماسه انجام شود.

به‌طورکلی برای بررسی توده ماسه یا ماسه انباشته نمونه‌برداری، ابتدا از وسط و انتهای توده انجام می‌شود. لازم است نمونه‌برداری از فاصله ۱۵۰ میلی‌متری (۶ اینچ) پایین‌تر از سطح ماسه صورت گیرد. تعداد نمونه‌ها باید به‌اندازه کافی باشد تا

تغییرات پدید آمده در توده ماسه تعیین شود. سپس کنترل این تغییرات را به‌حداقل می‌رساند تا خواص مطلوب حاصل شود. نمونه‌برداری و آزمایش باید در حداقل زمان ممکن و پس از آماده کردن توده ماسه انجام شود و می‌توان در صورت لزوم قبل از به‌کارگیری ماسه، اصلاحات لازم را مورد اجرا گذاشت.

فعالیت عملی ۱

نمونه برداری از مخلوط ماسه قالب‌گیری

جهت انجام این فعالیت هنرجویان را به‌کارگاه ریخته‌گری برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست‌محیطی، آنها را در گروه‌های دو یا سه نفره گروه‌بندی کنید. سپس از آنها بخواهید که مطابق مراحل ذکر شده در کتاب نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف ماسه را انجام داده و نمونه‌ها را داخل ظروف یا پاکت‌های پلاستیکی در بسته بریزند. سپس تمامی قسمت‌های دستگاه کوبه استاندارد و نحوه ساخت نمونه استاندارد توسط آن را به‌طور کامل به‌هنرجویان شرح داده و به‌عنوان نمونه خود هنرآموز یک یا دو عدد نمونه استاندارد را توسط کوبه‌آزمایشگاهی به‌همراه آموزش عملی و ذکر نکات لازم تهیه کند.

سپس هر گروه از هنرجویان با نظارت هنرآموز یا استادکار مربوطه نمونه‌های استاندارد را تهیه کرده و پس از بررسی کیفیت و استحکام نسبی آنها جدول آورده شده در کتاب را با راهنمایی هنرآموز کامل کنند، و گروه‌ها نتایج به دست آمده را با یکدیگر مقایسه کرده و با توجه به‌نتایج به دست آمده از انجام فعالیت به پرسش‌های آورده شده در کتاب به‌صورت گروهی و تحلیلی پاسخ داده و نتیجه را در قالب گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهند.

نکته

پس از اتمام کار حتماً نحوه نگهداری صحیح، تمیزکاری و روغنکاری بخش‌های متحرک دستگاه کوبه آزمایشگاهی را به هنرجویان آموزش دهید و همچنین پیشنهاد می‌شود مواقعی که از دستگاه استفاده می‌شود اعضای گروه‌ها را به‌صورت دوره‌ای موظف کنید تا تمیزکاری و روغنکاری دستگاه را انجام دهند تا به‌طور کامل نحوه نگهداری و سرویس دستگاه را فرا گیرند.

نکته ایمنی

دستگاه کوبه باید به یک پایه سفت و محکم پیچ شود تا هنگام تهیه نمونه از تکان خوردن و افتادن آن جلوگیری به عمل آید.

نکته زیست‌محیطی

پس از اتمام کار از هنرجویان بخواهید که هر گروهی محل انجام کار خود را تمیز کرده و ماسه‌های اضافی و باقیمانده را به ماسه‌دان کارگاه برگردانند.

جلسه دوم: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری ــ آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه

واحد یادگیری: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

مقدمه

در ابتدای جلسه هنرجویان را به‌کلاس درس برده و اهمیت و ضرورت و نقش نتایج حاصل از آزمایشات مخلوط ماسه قالب‌گیری در تولید قطعات سالم و با کیفیت را برای هنرجویان تدریس نمایید. سپس انواع آزمایشات متداول مواد قالب‌گیری را برای آنها نام برده و کاربرد و اهمیت هر کدام از آزمایش‌ها را به‌طور مختصر شرح دهید. برای تدریس بهتر می‌توانید از فیلم‌های موجود در نرم‌افزار آزمایشگاه متالورژی که قبلاً در اختیار شما قرار گرفته است کمک بگیرید، این فیلم‌ها را به‌طور مختصر جهت آشنایی هنرجویان با انواع آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری نمایش دهید و با طرح سؤال‌های انگیزشی به‌یادگیری و تفهیم اهمیت انواع آزمایش‌های ماسه کمک نمایید و به‌آنها یادآور شوید که در آزمایشگاه به‌صورت عملی همه آنها را توسط تجهیزات و دستگاه‌های مربوطه انجام خواهند داد.

دانش افزایی

با توجه به اهمیت و نقش اساسی مواد قالب (ماسه) در تولید قطعات ریختگی سالم در قالب‌های موقت، جهت آگاهی از خصوصیات و ویژگی‌ها و تعیین خواص ماسه‌های مصرفی همواره آزمایشات مختلف و متعددی به‌کار می‌رود، هر فردی که در صنایع ریخته‌گری مشغول به‌کار است باید از چگونگی این آزمایشات اطلاع داشته باشد. آزمایشاتی نظیر تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه (تعیین عددریزی ماسه)، قابلیت نفوذ گاز، درصد رطوبت و خاک ماسه، مشخصات مکانیکی ماسه نظیر استحکام فشاری، کششی و برشی (در حالت تر و خشک)، استحکام و سختی قالب، چقرمگی مخلوط ماسه تر همراه با آزمایشات شیمیایی مختلف که در کارخانجات ریخته‌گری انجام می‌شوند.

آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه: جهت تدریس این بخش پیشنهاد می‌شود مقداری از انواع مختلفی از ماسه موجود در کارگاه ریخته‌گری مانند ماسه

طبیعی چسب‌دار، ماسه طبیعی بدون چسب (ماسه بادی) و انواع ماسه‌های مصنوعی مانند ماسه سیلیسی و زیرکنی و کرومیتی را در ظروف پلاستیکی کوچک ریخته (بهتر است از لیوان‌های یک بار مصرف شفاف استفاده شود) و همراه خود سر کلاس ببرید و به‌هنرجویان نشان دهید سپس از آنها تفاوت‌های فیزیکی ماسه‌های نشان داده شده مانند شکل ذرات (کروی، گوشه دار و مرکب)، اندازه و توزیع ذرات، ریزی و درشتی ذرات ماسه و تأثیر این عوامل بر کیفیت قطعات ریختگی را سؤال کنید. پس از پاسخ هنرجویان خودتان به‌طور کامل اهمیت و اثر اندازه و پخش ذرات را بر خواص فیزیکی ماسه ریخته‌گری از جمله بر استحکام، نفوذپذیری و... را توضیح دهید.

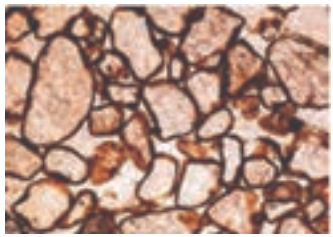
سپس استانداردها، مشخصات الک‌های مورد استفاده و روش‌های تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه را به‌همراه تجهیزات مورد نیاز برای انجام این آزمایش را به‌طور کامل برای هنرجویان شرح دهید. پیشنهاد می‌شود برای تدریس بهتر فیلم موجود در نرم‌افزار آزمایشگاه متالورژی برای هنرجویان نمایش داده شود. پس از نمایش فیلم آشنایی مختصر هنرجویان با نحوه انجام آزمایش مثال آورده شده در کتاب را به‌طور کامل حل کرده و نحوه محاسبه عددریزی دانه را برای هنرجویان به‌طور کامل آموزش دهید.

دانش افزایی

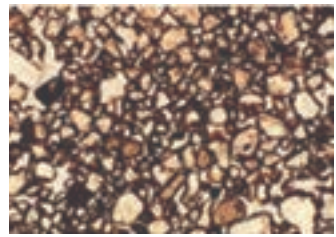
کنترل شکل و اندازه ذرات ماسه: شکل، اندازه و چگونگی توزیع و پخش ذرات ماسه از جمله ویژگی‌های مهمی است که خواص عمومی ماسه از قبیل دیرگدازی، قابلیت نفوذ گاز، استحکام و صافی سطوح را تحت تأثیر قرار می‌دهند. لذا کنترل ویژگی‌های مذکور جهت دستیابی به یک قطعه ریختگی سالم امری لازم و ضروری است.

شکل ذرات ماسه از لحاظ قابلیت نفوذ گاز و استحکام قالب دارای اهمیت بیشتری است. ذرات ماسه معمولاً به‌شکل‌های کروی، گوشه‌دار و یا حالتی بین این دو شکل وجود دارند. ماسه‌های کروی علی‌رغم داشتن قابلیت نفوذ عالی، از استحکام و شکل‌پذیری مطلوبی برخوردار نیستند. در حالی که ماسه‌های گوشه‌دار (غیرکروی) از این نظر عکس ماسه‌های کروی می‌باشند. در هرحال، هرچند ماسه‌های کروی عموماً به‌انواع دیگر ترجیح داده می‌شوند، ولی به دلیل فراهم نمودن مجموعه مناسبی از خواص ذکر شده، از ماسه‌هایی با شکل‌های مختلف استفاده می‌شود.

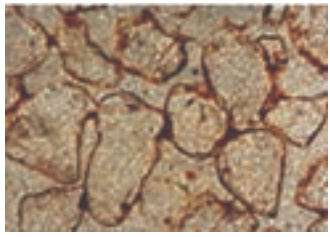
در شکل ۴ انواع مختلف شکل دانه‌های گرد، گوشه‌دار و مرکب ماسه‌های مورد استفاده در صنعت ریخته‌گری نشان داده شده است.



ب) دانه‌های گوشه‌دار



الف) دانه‌های گرد



د) نوعی از گوشه‌دار

ج) دانه‌های مرکب

شکل ۴ـ انواع شکل دانه‌های ماسه

به‌طورکلی ریزی یک ماسه ریخته‌گری توسط اندازه و توزیع ذرات آن تعیین می‌شود. به‌عبارت دیگر دو عامل اندازه دانه‌ها و نحوه توزیع دانه‌ها تعیین‌کننده ریزی ماسه است. به‌طور کلی ماسه‌های قالب‌گیری را براساس اندازه ذرات آن طبقه‌بندی می‌کنند؛ به‌طوری که برای ریخته‌گری قطعات کوچک و سبک ماسه ریز و نرم و برای قطعات سنگین به‌ماسه درشت نیاز است تا قابلیت نفوذ بیشتری داشته باشند.

اهمیت میزان ریزی: همان‌طوری که قبلاً نیز ذکر شد ریزی اثر قابل توجهی بر خواص فیزیکی ماسه ریخته‌گری و از جمله بر استحکام، نفوذپذیری و کارپذیری به‌هنگامی‌که مقدار رطوبت در حد بهینه باشد، دارد. ریزی همچنین اثر مهمی بر هزینه تهیه و آماده‌سازی ماسه دارد زیرا میزان ریزی بر مقدار ماده‌ای که به‌عنوان چسب برای حصول خواص مطلوب مورد نیاز است، اثر می‌گذارد. علاوه بر آن، ریزی ماسه می‌تواند بر سطح نهایی قطعات ریختگی تأثیر بگذارد. بنابراین، آزمایش تعیین ریزی ماسه ریخته‌گری اهمیت دارد و نتایج آن کمکی به‌حفظ خواص یکنواخت در ماسه مورد مصرف در ریخته‌گری است و نیز یکی از پایه‌های مشخص کردن وضعیت ماسه از طرف تولیدکننده‌ها می‌باشد.

آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه (عدد ریزی) جزء آزمایشات اولیه ماسه آزمایش بر روی ماسه ورودی به‌کارخانه انجام می‌شود و نتایج حاصل از آن نه فقط نسبت مابین دانه‌های ماسه و خاک رس در یک مخلوط ماسه ریخته‌گری را ارائه

می‌کند بلکه اندازه دانه‌ها و نسبت هریک از اندازه‌ها را بیان می‌کند. همچنین این آزمایش را می‌توان به‌عنوان راهنمایی برای مقدار چسب مورد نیاز به‌منظور حصول خواص مطلوب در یک مخلوط ماسه جدید، برای کنترل نسبت ماده چسبنده خاک رسی، و برای نسبت صحیح مواد ریز و توزیع صحیح اندازه دانه‌ها در ماسه ریخته‌گری به‌کار گرفت. نتایج این آزمایش را می‌توان به‌عنوان مبنایی برای بیان مشخصات ماسه به‌هنگام سفارش خرید مورد استفاده قرار داد.

همچنین با استفاده از نتایج این آزمایش می‌توان به غیر از محاسبه عدد ریزی دانه، تعداد الک‌های حاوی ذرات ماسه (چند الکه بودن) را که نشان دهنده نحوه توزیع ذرات ماسه می‌باشد، تعیین کرده و سپس نحوه توزیع ذرات ماسه را به‌صورت یک نمودار نشان داد.

تعیین اندازه ذرات ماسه (عدد ریزی): برای تعیین اندازه ذرات ماسه، استانداردهای متفاوتی به‌کار می‌رود که از جمله می‌توان استاندارد انگلیسی و آمریکایی را نام برد. استانداردهای مختلف بر اساس غربال‌ها یا الک‌هایی که کلیهٔ آنها تقریباً برابر بوده و مشابه هستند، تعیین می‌گردند. قطر سوراخ، و شبکه‌های غربال و قطر سیم‌های سازندهٔ غربال متفاوت است. در سیستم جامعه ریخته‌گران آمریکا (AFS) که معروفیت جهانی دارد، سیستم آزمایش از ۱۴ غربال (الک) تشکیل شده که درشت‌ترین غربال آن تحت شمارهٔ ۴، در هر اینچ طولی دارای ۴ دهانه و ریزترین غربال آن تحت شمارهٔ ۲۷۰، در هر اینچ طولی دارای ۲۷۰ سوراخ است.

کلمه مش (Mesh) در مقیاس اندازه‌گیری عبارت است از تعداد سوراخ‌های غربال یا الک در یک اینچ طول. بدیهی است بدون دانستن قطر سیم‌های شبکه‌بندی غربال کلمه مش معنایی ندارد. در جدول ۱ سیستم غربال‌های استاندارد مش انجمن ریخته‌گران آمریکا (AFS) و همچنین استاندارد آمریکایی (AF.ST) درج گردیده‌اند و در آزمایشگاه‌های مختلف معمولاً از ۱۱ ردیف غربال یا الک برحسب ریزی و درشتی ذرات ماسه استفاده می‌کنند.

به‌طورکلی در آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات، مقدار معینی از ماسه موردنظر را در الک اولی که درشت‌تر می‌باشد می‌ریزند و به‌مدت معینی تکان می‌دهند. این عمل به‌کمک یک سری غربال یا الک‌های استاندارد و معمولاً توسط یک الکتروموتور انجام می‌گیرد. پس از پایان زمان تکان دادن مقدار ماسهٔ باقیمانده از روی هر شماره غربال یا الک را توزین می‌کنند و با ضرب کردن درصد باقیمانده در هر الک، در ضریب آن الک اعداد مناسبی به دست می‌آید که به وسیله آن عدد ریزی ماسه مشخص می‌شود.

فعالیت عملی ۲

انجام آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه

جهت انجام این فعالیت هنرجویان را به‌آزمایشگاه متالورژی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست محیطی نحوه کار با وسایل و تجهیزات مورد نیاز در این آزمایش را به‌طور کامل شرح دهید. در اینجا پیشنهاد می‌شود جهت آشنایی بهتر هنرجویان با نحوه انجام آزمایش و کار با وسایل و تجهیزات مورد نیاز ابتدا خود هنرآموز بر روی یک نمونه ماسه آزمایش را انجام داده و در حین انجام آزمایش نکات کلیدی و لازم را به‌هنرجویان یادآوری کرده و سپس جدول مورد نیاز را برای تعیین عدد ریزی تنظیم کرده و عدد ریزی ماسه را محاسبه نمایید. همچنین پس از انجام آزمایش نحوه تمیزکاری الک‌های دستگاه تعیین عدد ریزی را به‌هنرجویان آموزش دهید.

پس از انجام مراحل فوق هنرجویان را گروه‌بندی کنید تا با نظارت هنرآموز یا استادکار آزمایش را بر روی نمونه‌های مختلف ماسه مطابق مراحل ذکر شده در دستورکار آزمایش در کتاب انجام داده و نتیجه را به‌صورت گزارش کار ارائه دهند.

نکته

پس از اتمام آزمایش به‌هنرجویان توصیه کنید که الک‌ها را با برس‌های مخصوص تمیز کرده و به‌ترتیب روی دستگاه ببندند.

نکته زیست‌محیطی

پس از اتمام کار از هنرجویان بخواهید که هر گروهی محل انجام کار خود را تمیز کرده و ماسه‌های اضافی و باقیمانده را به‌ماسه‌دان کارگاه برگردانند.

جلسه سوم: آزمایش تعیین مقدار خاک رس ــ آزمایش‌های تعیین رطوبت ماسه

واحد یادگیری: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

مقدمه

در ابتدای جلسه هنرجویان را به‌کلاس برده و انواع چسب‌های متداول و مصرفی در قالب‌های موقت را برای آنها به‌طور مختصر تشریح کنید. سپس خصوصیات خاک رس و نقش آن در چسبندگی ذرات ماسه به‌یکدیگر، استحکام بخشی به ماسه قالب‌گیری در حالت تر و خشک و همچنین نقش میزان رطوبت موجود در مخلوط ماسه قالب‌گیری جهت فعال شدن خاک رس را به‌طور کامل برای هنرجویان توضیح دهید. سپس از هنرجویان در مورد میزان بهینه خاک رس و رطوبت در مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری سؤال کرده و پس از شنیدن پاسخ آنها، خودتان توضیحات کامل و تکمیلی را به‌آنها بدهید. سپس به‌طور مختصر روش‌های تعیین میزان خاک رس و رطوبت و تجهیزات مورد نیاز برای انجام آنها را به همراه نمایش فیلم برای هنرجویان شرح دهید.

آزمایش تعیین مقدار خاک رس

جهت تدریس این قسمت پیشنهاد می‌شود که هنرجویان را به‌کارگاه ریخته‌گری برده و یک نمونه ماسه با چسب طبیعی (خاک رس) را به‌آنها نشان داده و در مورد انواع خاک رس‌ها (مونت موری لونیت، کائولینیت، ایلیت)، انواع ماسه‌ها با چسب طبیعی و دسته‌بندی آنها، مزیت ماسه‌های اتصال داده شده با خاک رس یا چسب‌های خاکی از لحاظ قابلیت برگشت‌پذیر بودن چسبندگی آنها پس از ریخته‌گری (درصورت افزودن رطوبت به‌میزان کافی) و قابلیت استفاده مجدد از آنها، مکانیزم اتصال خاک رس و کاربردهای آزمایش تعیین مقدار خاک رس ماسه قالب‌گیری توضیحاتی را ارائه دهید.
سپس سؤالاتی را از هنرجویان در رابطه با میزان خاک رس بهینه در ماسه، تأثیرات کم یا زیاد بودن آن در خواص ماسه قالب‌گیری پرسیده و پس از شنیدن پاسخ آنها، خودتان توضیحات کامل و تکمیلی را به آنها بدهید.
سپس وسایل و تجهیزات مورد نیاز و مراحل انجام آزمایش را به‌همراه نمایش فیلم به‌هنرجویان شرح دهید.

دانش افزایی

خاک محتوی ماسه که عامل چسبندگی ذرات ماسه است تأثیر زیادی روی خواص ماسه از جمله استحکام تر، استحکام خشک و قابلیت نفوذ گاز دارد. در حقیقت رطوبت کافی ماسه (آب فیزیکی) عامل یونیزه شدن آب تبلور (آب مولکولی) خاک رس می‌شود.

فرمول خاک رس خالص یا کائولن عبارت است از : $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ که پس از یونیزاسیون تولید یون‌های $2H^+$ و O^- می‌کند. این یون‌ها که دارای بارهای مثبت و منفی هستند و در لابه‌لای ذرات سیلیس قرار می‌گیرند، باید چسبندگی لازم را برای ماسه تأمین کنند زیرا این بارها مختلف‌العلامه هستند و یکدیگر را جذب می‌کنند. باید توجه داشت که عمل یونیزاسیون در داخل آب و رطوبت ماسه انجام می‌شود. لذا کنترل آن اهمیت زیادی دارد. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت که خاک رس در آب و رطوبت ماسه فعال می‌شود.

مقدار خاک رس موجود در ماسه به‌شرط آنکه رطوبت کافی برای فعال شدن خاک رس وجود داشته باشد، تعیین‌کننده استحکام و نفوذپذیری ماسه ریخته‌گری است. اطلاع از میزان خاک رس می‌تواند امکان پیش بینی خصوصیات ماسه را فراهم سازد. به‌طور کلی برای هر مقدار خاص از خاک رس به‌مقدار مشخص آب نیاز است تا بهترین نتیجه حاصل شود. به‌عبارت دیگر برای هر مقدار خاک رس، لازم است مقدار مشخصی آب موجود باشد که به‌آن مقدار بهینه گویند. اگر مقدار آب از حد بهینه کمتر باشد امکان فعال شدن کامل خاک رس وجود ندارد و استحکام و شکل‌پذیری ماسه کم است. با افزایش مقدار آب خاک رس بهتر فعال می‌شود و شکل‌پذیری و استحکام بالا می‌رود.

لازم به‌ذکر است که در یک دسته‌بندی کلی ماسه‌های طبیعی را از لحاظ مقدارخاک رسی که همراه دارند می‌توان به‌سه دسته به‌صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف) ماسه ضعیف حداکثر تا ۸٪ خاک رس دارد

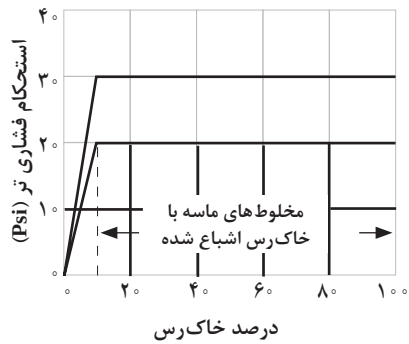
ب) ماسه متوسط که بین ۸٪ تا ۱۸٪ خاک رس دارد.

ج) ماسه غنی (ماسه خاک یا ماسه لات) که بیش از ۱۸٪ خاک رس دارد.

معمولاً خاک ماسه‌های طبقات زیرین بیشتر از لایه‌های سطحی می‌باشد و ریخته‌گران بایستی پس از آزمایشات دقیق، ماسه مطلوب خود را تهیه نمایند، که در ریخته‌گری معمولاً از ماسه‌های نوع دوم استفاده می‌شود.

میزان خاک رس موجود در مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری با چسب خاک رس بر روی بسیاری از خواص فیزیکی ماسه ریخته‌گری تأثیر دارد. به‌طوری که مقدار خاک رس موجود در ماسه به‌شرط آنکه رطوبت کافی برای فعال شدن خاک رس وجود داشته باشد، تعیین کننده استحکام و نفوذپذیری ماسه ریخته‌گری است. همچنین اطلاع از

میزان خاک رس می‌تواند امکان پیش‌بینی خصوصیات ماسه را فراهم سازد.
به‌طورکلی در یک دسته‌بندی دیگر نیز می‌توان ماسه‌های قالب‌گیری را برحسب میزان خاک رسی که به‌همراه دارند به‌دو صورت ماسه اشباع شده از خاک رس یا ماسه اشباع نشده از خاک رس دسته‌بندی کرد.
ماسه اشباع شده از خاک رس، ماسه‌ای است که حاوی مقدار بسیار زیادی از خاک رس است به‌طوری‌که افزایش بیشتر خاک رس به آن باعث افزایش استحکام فشاری‌تر چنین ماسه‌ای نمی‌شود. این مطلب در شکل شماره ۵ به‌صورت یک نمودار نشان داده شده است، در این نمودار حداکثر استحکام فشاری تر برحسب درصد خاک رس ترسیم شده است.



شکل ۵ــ نمودار تأثیر میزان خاک رس بر روی استحکام فشاری تر نهایی مخلوط‌های ماسه ــ آب ــ خاک رس

از بررسی نمودار شکل ۵ نتیجه می‌شود که وقتی مقدار خاک رس موجود به یک حد خاص افزایش یابد و ماسه به‌حالت اشباع از خاک رس برسد، ادامه افزایش خاک رس اثری بر استحکام نهایی نخواهد داشت. همچنین منطقه پهن شده نمودار، تغییرات حداکثر استحکام فشاری تر را که بر اثر خلوص خاک رس و نوع آن وضعیت اندازه و توزیع دانه‌ها و دیگر عوامل مشابه‌پدید آمده است نشان می‌دهد.
همچنین مقدار خاک رسی که برای تهیهٔ یک ماسه اشباع از خاک رس مورد نیاز است به‌نوع و خلوص خاک رس، ماسه اولیه و دیگر مواد اضافه شونده بستگی دارد. به‌طوری‌که در اغلب موارد در حدود ۸ تا ۱۲ درصد خاک رس برای تهیهٔ یک ماسه اشباع از خاک رس که عدد ریزی (AFS) آن بین ۶۰ تا ۱۰۰ باشد کفایت می‌کند.
ماسه‌های اشباع از خاک رس مناسب‌ترین و متنوع‌ترین مخلوط‌های ماسه تر برای ریخته‌گری قطعاتی با وزن‌های متفاوت و آلیاژهای گوناگون هستند. این‌گونه ماسه‌ها اگر به‌هنگام قالب‌گیری به اندازه کافی تحت کوبش قرار گیرند استحکام بالایی درحد ۱۴ الی ۲۰ پوند بر اینچ مربع (PSi) خواهند داشت.

نوع دوم از مخلوط‌های ماسه هنگامی‌حاصل می‌شود که خاک رس در کمتر از درصد اشباع مورد استفاده قرار گیرد. عموماً این‌گونه مخلوط‌ها دارای ۶ تا ۹ درصد خاک رس باشند. معمولاً مخلوط‌های ماسه با خاک رس کمتر از حد اشباع برای ریخته‌گری قطعات سبک و در جایی که عیوب ناشی از انبساط و یا سایش قالب کمتر پدید می‌آید مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نوع دیگری از مخلوط ماسه غیراشباع از خاک رس هم با استفاده از مقدار اندکی خاک رس که در حدود ۴ درصد است تهیه می‌شود و در کارگاه‌های تولید فولاد به‌کار می‌رود. مشکلات ناشی از انبساط در مورد این نوع مخلوط‌ها به‌بالاترین حد می‌رسد. در هر حال به دلیل پایین بودن استحکام فشاری تر (تا ۶ PSi) و رطوبت زیاد این‌گونه مخلوط‌ها، قالب‌گیری به‌سهولت امکان پذیر است و می‌توان فشردگی را تا بالاترین حد رساند. برای رفع مشکلات ناشی از انبساط نیز آرد حبوبات به‌مخلوط اضافه می‌شود.

همچنین لازم به‌توضیح است که در صورت کافی نبودن خاک رس در مخلوط ماسه قالب‌گیری ممکن است عیوبی مانند ماسه‌شویی و یا کنده شدن ماسه به‌وجود بیاید. به‌طورکلی در ریخته‌گری معمولاً از ماسه‌هایی استفاده می‌شود که بین ۸ الی ۱۸ درصد خاک دارند.

فعالیت عملی ۳

تعیین میزان خاک رس ماسه قالب‌گیری

جهت انجام این فعالیت پس از نمونه‌برداری از ماسه‌های موجود در کارگاه ریخته‌گری هنرجویان را به‌آزمایشگاه متالورژی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست‌محیطی، نحوه کار با وسایل و تجهیزات مورد نیاز جهت اجرای آزمایش را به‌آنها توضیح دهید.

نکته

پیشنهاد می‌شود که قبل از اجرای آزمایش، هنرآموز به‌طور خلاصه رابطه و قانون استوک را که بیان کننده وضعیت و نحوه حرکت ذره در داخل سیال است و جزء مبانی تئوری و مهم آزمایش تعیین خاک رس ماسه است را به‌همراه ذکر یک مثال قابل تفهیم برای هنرجویان توضیح دهید.

سپس هنرجویان را گروه بندی کنید تا با نظارت هنرآموز یا استادکار آزمایش را مطابق مراحل آورده شده در کتاب انجام داده و نتیجه را به‌همراه پاسخ تحلیلی به‌پرسش آورده شده در کتاب به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

نکته ایمنی

هنگام تهیه محلول استاندارد پیروفسفات یا سود سوزآور حتماً از دستکش پلاستیکی و ماسک تنفسی استفاده کنید و حتی‌الامکان محلول را زیر هود آزمایشگاهی تهیه کنید.

نکته

پس از اتمام آزمایش به‌هنرجویان توصیه کنید که وسایل و تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایش را با دقت تمیز کرده و در محل مشخص شده سرجای خود قرار دهند.

نکته زیست‌محیطی

پس از اتمام کار محیط آزمایشگاه را تمیز کرده و ماسه‌های اضافی را به ماسه‌دان کارگاه برگردانده و از پراکنده شدن ماسه در محیط کارگاه جلوگیری کنید.

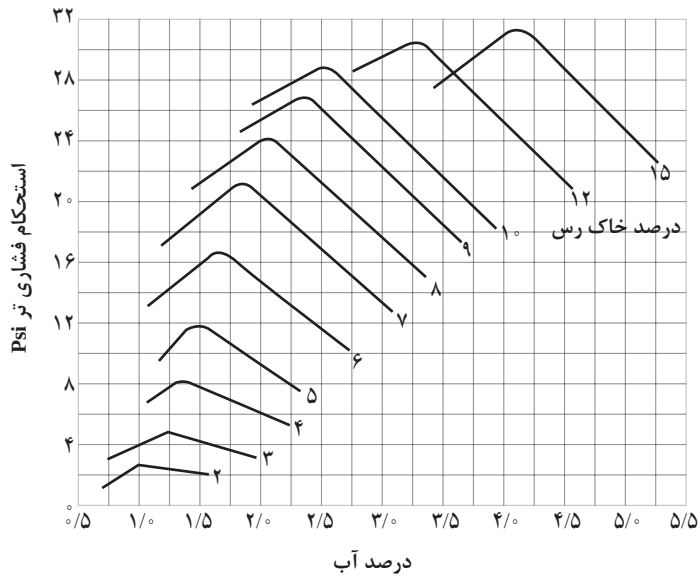
آزمایش‌های تعیین رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری

جهت تدریس این بخش هنرجویان را ابتدا به‌کلاس برده و در مورد اهمیت میزان رطوبت در خواص مخلوط ماسه قالب‌گیری و نقش آن در بالا بردن قابلیت قالب‌گیری و تولید قطعات سالم و عاری از عیوب ریختگی توضیحات کامل را بدهید. سپس سؤالاتی را درمورد میزان بهینه رطوبت و نحوه تعیین میزان آن در مخلوط ماسه قالب‌گیری از هنرجویان بپرسید. پس از شنیدن پاسخ‌های آنها خودتان توضیحات تکمیلی را داده سپس روش‌های تعیین میزان رطوبت ماسه قالب‌گیری (استاندارد و غیر استاندارد)، را با ذکر کاربردها، مزایا و معایب هرکدام از روش‌ها به‌همراه وسایل و تجهیزات مورد نیاز جهت انجام آزمایش و روش انجام آزمایش را با نمایش فیلم به‌هنرجویان شرح دهید.

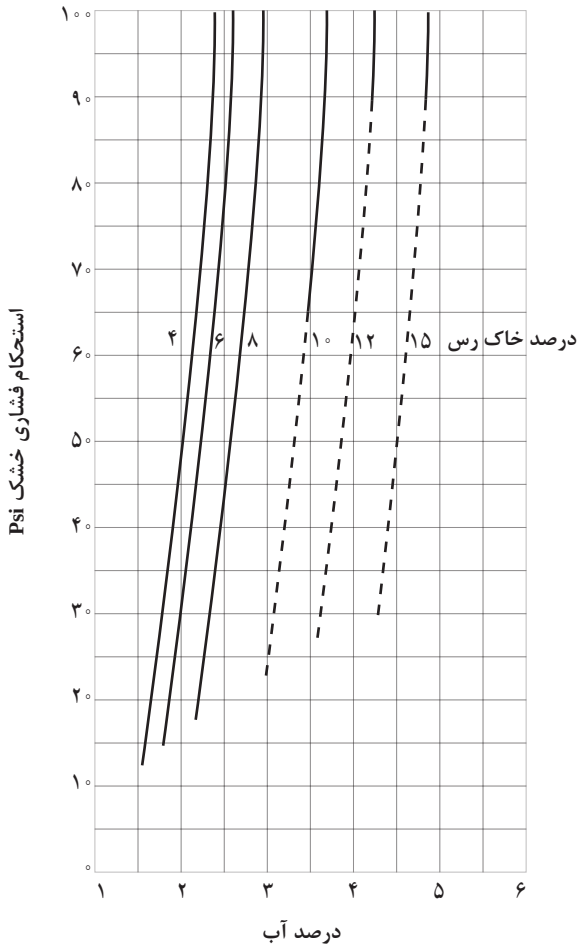
دانش افزایی

از آنجا که مقدار رطوبت در بسیاری از خواص قالب مانند تولید بخار، استحکام، قابلیت متلاشی شدن و غیره تأثیر دارد، بنابراین مقدار رطوبت مخلوط ماسه نباید از حد معینی تجاوز کند و همچنین کاهش مقدار رطوبت باعث از هم پاشیدگی و کاهش شکل‌پذیری قطعه می‌گردد و لذا تعیین مقدار مناسب رطوبت لازم و ضروری می‌باشد. خلاصه اینکه آب (رطوبت)، قابلیت قالب‌گیری را بالا می‌برد. ولی اگر مقدار آن از حد معینی بیشتر شود استحکام ماسه را کاهش می‌دهد از این رو کنترل و تنظیم میزان رطوبت ماسه خیلی مهم است. در واقع وجود یون‌های آب تبلور (آب مولکولی) خاک رس در داخل آب (رطوبت) عامل اصلی چسبندگی ذرات ماسه و در نتیجه استحکام و سفتی ماسه می‌باشد.

با توجه به‌اینکه مخلوط ماسه‌های قالب‌گیری دارای خاک رس و یا چسب‌های خاکی جهت چسبندگی ذرات ماسه به‌یکدیگر می‌باشند، و از آنجایی که از نقطه‌نظر قالب‌گیری مهم‌ترین خاصیت خاک‌ها جذب می‌باشد که به دلیل جذب آب توسط خاک ذرات آن و ذرات ماسه به‌هم اتصال می‌یابند که این عمل در داخل آب و رطوبت ماسه انجام می‌شود لذا کنترل میزان رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری جهت بالابردن قابلیت قالب‌گیری و تولید قطعات سالم و بدون عیب اهمیت فراوانی دارد.
همچنین میزان رطوبت و خاک رس تأثیر به سزایی بر روی استحکام فشاری تر و خشک مخلوط ماسه قالب‌گیری دارد که این مطلب در شکل‌های ۶ و ۷ به‌صورت نمودار آورده شده است.



شکل ۶ـ ارتباط مابین استحکام تر، خاک رس و درصد آب برای یک ماسه با چسب خاک رسی



شکل ۷ــ تأثیر مقدار آب بر روی استحکام خشک یک ماسه با درصدهای مختلف خاک رس

از بررسی نمودار شکل‌های ۶ و ۷ نتیجه می‌گیریم که برای هر مقدار خاص از خاک رس به مقدار مشخص آب نیاز است تا بهترین نتیجه حاصل شود. به‌عبارت دیگر برای هر مقدار خاک رس، لازم است مقدار مشخصی آب موجود باشد که به‌آن مقدار بهینه گویند. اگر مقدار آب از حد بهینه کمتر باشد امکان فعال شدن کامل خاک رس وجود ندارد و استحکام و شکل‌پذیری ماسه کم می‌شود. با افزایش مقدار آب خاک رس بهتر فعال می‌شود و شکل‌پذیری و استحکام بالا می‌رود. وقتی در یک مخلوط ماسه مقدار آب درحد بهینه باشد، استحکام در بالاترین حد است. درصورتی که مقدار آب از حد بهینه بالاتر رود، استحکام تر قالب کاهش خواهد یافت ولی بر روی مقدار استحکام خشک تأثیری پدید نخواهد آمد.

همچنین وقتی میزان رطوبت مخلوط ماسه افزایش یابد، به دلیل فعال شدن خاک رس و ایجاد یک لایه اتصال‌دهنده بر روی ذرات ماسه، قابلیت عبور گاز زیاد می‌شود. این افزایش قابلیت عبور گاز تا زمانی که مقدار آب برای فعال شدن همه خاک رس موجود کفایت کند، ادامه دارد و از آن پس با افزایش مقدار آب در مخلوط، به واسطه پر شدن فضای خالی توسط آب اضافی، قابلیت عبور گاز کم می‌شود. با توجه به موارد ذکر شده، کنترل میزان رطوبت در یک ماسه قالب‌گیری به‌طوری‌که بهترین خواص حاصل شود از موارد اساسی کنترل ماسه است.

به‌طورکلی میزان رطوبت مخلوط ماسه علاوه بر میزان چسب موجود در آن، با توجه به روش‌های قالب‌گیری هم می‌تواند متغیر باشد به‌طوری‌که در قالب‌گیری دستی میزان رطوبت ماسه معمولاً بین ۶ تا ۸ درصد بوده، در حالی که در قالب‌گیری‌های ماشینی و تحت فشار بالا میزان رطوبت بین ۳/۵ تا ۴/۵ درصد می‌باشد.

روش‌های تعیین رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری: برای تعیین میزان رطوبت موجود در یک مخلوط ماسه قالب‌گیری دو روش وجود دارد؛ طریقه اول که روش استاندارد است و طریقه دوم که روش غیراستاندارد محسوب می‌شود.

روش استاندارد: در این روش که برای کلیه مخلوط‌های ماسه به‌جز مخلوط‌هایی که به غیر از آب دارای مواد فرار و اکسید شدنی می‌باشند قابل اجرا می‌باشد مخلوط ماسه قالب‌گیری توسط تجهیزات مخصوصی مانند: کوره خشک کن (اون)، هوای گرم فشرده و لامپ مادون قرمز ماسه خشک می‌شود و اساس اندازه‌گیری میزان رطوبت ماسه بر مبنای کاهش وزن نمونه نسبت به‌وزن اولیه آن می‌باشد و معمولاً بر حسب درصد بیان می‌شود.

لازم به‌ذکر است که در تعیین میزان رطوبت به‌طریقه استاندارد استفاده از کوره الکتریکی (اون) بهترین روش کاربردی برای کارهای تحقیقاتی است اما به دلیل طولانی بودن زمان انجام کار برای کنترل مخلوط ماسه در کارخانه‌های ریخته‌گری که به‌طور مداوم انجام می‌گیرد، قابل اجرا نیست. به‌همین علت با توجه به مدت زمان کم خشک شدن ماسه در روش مادون قرمز (حدوداً ۳ الی ۵ دقیقه) در صنایع و کارخانجات ریخته‌گری، به‌هنگام تعیین میزان رطوبت ماسه به‌طریقهٔ استاندارد اکثراً از روش مادون قرمز استفاده می‌کنند که در این روش از یک لامپ اشعه مادون قرمز به‌عنوان منبع گرما برای تبخیر رطوبت از نمونه ماسه به‌کار می‌رود.

به‌طور کلی در تعیین رطوبت ماسه به طریقه استاندارد با استفاده از تجهیزات موجود ۵۰ گرم مخلوط ماسه قالب‌گیری نمونه‌برداری شده از خط قالب‌گیری (محل قالب‌گیری) را به‌مدت زمان کافی با توجه به دستگاه مورد استفاده جهت تعیین رطوبت به‌میزان لازم حرارت می‌دهند، پس از خشک شدن کامل نمونه مجدداً آن را وزن می‌کنند. کاهش وزن معادل وزن آبی(رطوبتی) است که در مخلوط ماسه وجود

داشته است که با ضرب آن در عدد ۲ مقدار رطوبت تعیین می‌شود.

روش غیر استاندارد: این روش برای کلیه مخلوط‌های ماسه قابل اجرا می‌باشد و معمولاً در مواردی که نتایج دقیق مورد نیاز است به‌کار می‌رود. روش کاربیدکلسیم، یکی از سریع‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها برای تعیین درصد رطوبت ماسه به‌طریقهٔ غیر استاندارد می‌باشد.

تعیین رطوبت ماسه به‌روش کاربید کلسیم: در این روش تعیین رطوبت با استفاده از واکنش شیمیایی مابین آب و کاربید کلسیم (CaC_2) انجام می‌گیرد، به‌طوری که کاربید کلسیم و آب طی یک واکنش شیمیایی به‌صورت زیر گاز استیلن تولید می‌کنند.

(گاز استیلن) C_2H_2 + (آهک) CaO ← (کاربید کلسیم) $CaC_2 + H_2O$ (رطوبت ماسه)

مقدار گازی که طی این واکنش ایجاد می‌شود متناسب با مقدار رطوبت موجود در ماسه است. نمونه ماسه و کاربید کلسیم به خوبی با یکدیگر مخلوط می‌شوند و مقدار کاربید کلسیم باید به اندازه‌ای باشد که همه رطوبت موجود در ماسه وارد واکنش شود. اگر واکنش در یک ظرف بسته انجام پذیرد، فشار گاز تشکیل یافته متناسب با مقدار رطوبت موجود در نمونه ماسه است.

دستگاهی که برای این روش به‌کار می‌رود در شکل ۸ نشان داده شده است که دارای یک محفظه بسته است که از نظر ورود و خروج هوا نیز کاملاً عایق‌بندی شده است و یک فشارسنج هم میزان فشار داخل محفظه (فشار گاز استیلن تولید شده) را دقیقاً مشخص می‌کند در واقع صفحه مدرج این دستگاه برحسب درصد رطوبت ماسه درجه‌بندی شده است که میزان رطوبت موجود در ماسه را به‌طور مستقیم نشان می‌دهد.

نکته مهم در این دستگاه آن است که باید مقدار کاربیدکلسیم به‌اندازه کافی و حتی بیشتر، در مخزن وجود داشته باشد تا بتواند تمامی رطوبت ماسه را در واکنش شیمیایی شرکت دهد و آن را بسنجد.

شکل۸ــ دستگاه رطوبت سنج ماسه با استفاده از کاربید کلسیم

این دستگاه شامل چهار قسمت به‌شرح زیر می‌باشد:

الف) تکان‌دهنده که عمل تکان دادن و لرزاندن مخلوط ماسه و کاربید کلسیم را انجام می‌دهد.

ب) کلاهک یا درپوش که بر روی تکان‌دهنده قرار دارد و به‌وسیلهٔ یک واشر کاملاً بر روی تکان‌دهنده محکم شده است.

ج) بست U شکل که به وسیلهٔ یک پیچ به‌انتهای مخزن تکان دهنده بسته می‌شود.
د: صفحه مدرج (فشار سنج) که درصد رطوبت ماسه را نشان می‌دهد.
لازم به‌ذکر است، همان‌طوری که قبلاً نیز ذکر شد روش تعیین درصد رطوبت به این طریق استاندارد نیست ولی از آنجایی که می‌توان از آن برای ماسهٔ قالب یا ماسهٔ ماهیچه که حاوی مواد فرار نظیر ترکیبات اکسید شونده و چسب‌های گیاهی هستند، به خوبی استفاده کرد، کاربرد قابل توجهی دارد.

فعالیت عملی ۴

تعیین درصد رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری

جهت انجام این فعالیت پس از نمونه‌برداری از ماسه مورد استفاده در محل قالب‌گیری کارگاه ریخته‌گری هنرجویان را به‌آزمایشگاه متالورژی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست‌محیطی، نحوه کار با وسایل و تجهیزات مورد نیاز جهت اجرای آزمایش را به آنها توضیح دهید.
سپس هنرجویان را گروه‌بندی کنید تا با نظارت هنرآموز یا استادکار آزمایش را مطابق مراحل آورده شده در کتاب انجام داده و نتیجه را به‌همراه پاسخ تحلیلی به‌پرسش آورده شده در کتاب به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

نکته ایمنی

هنگام استفاده از کوره خشک کن حتماً به‌هنرجویان تأکید کنید که از دستکش ایمنی استفاده نمایند.

نکته

پس از اتمام آزمایش به‌هنرجویان توصیه کنید که وسایل و تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایش را با دقت تمیز کرده و در محل مشخص شده سرجای خود قرار دهند.

نکته زیست‌محیطی

پس از اتمام کار از هنرجویان بخواهید که محیط آزمایشگاه را تمیز کرده و ماسه‌های اضافی را به‌ماسه‌دان کارگاه برگردانده و از پراکنده شدن ماسه در محیط کارگاه جلوگیری کنند.

هنرآموز محترم با توجه به‌اینکه آزمایش‌های تعیین درصد خاک و رطوبت برای یک جلسه ۸ ساعته در نظر گرفته شده است خواهشمند است نسبت به‌مدیریت زمان جهت اجرای کامل و دقیق آزمایشات توجه لازم را مبذول فرمایید.

جلسه چهارم: روش‌های تعیین استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری ـ آزمایش‌های مربوط به‌استحکام فشاری

واحد یادگیری: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

مقدمه

جهت تدریس این بخش ابتدا هنرجویان را به‌کلاس برده، اهمیت و نقش استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری را در تولید قطعات ریختگی سالم را به‌طور کامل به‌آنها توضیح دهید. سپس سؤالاتی را در مورد عوامل مؤثر بر استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری مطرح کرده و از هنرجویان بخواهید که به‌صورت گروهی در مورد سؤالات مطرح شده با همدیگر بحث و تبادل نظر کرده و نتایج را به‌شما ارائه دهند. پس از ارائه پاسخ سؤالات توسط هنرجویان، خودتان به‌طور کامل عوامل مؤثر بر مخلوط ماسه قالب‌گیری، انواع آن، وسایل و تجهیزات مورد نیاز برای انجام آنها را به‌طور کامل برای هنرجویان تشریح کنید.

دانش افزایی

به‌طور کلی جهت تعیین استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری می‌توان در آزمایش‌های فشاری، کششی، برشی و خمشی تعیین کرد که در دو حالت تر و خشک انجام می‌شوند.

در استحکام ماسه در حالت تر و خشک عواملی چون مقدار خاک و سایر چسب‌ها، مقدار رطوبت، درجه حرارت خشک کردن و اندازه ذرات بسیار مؤثر می‌باشند. این آزمایش‌ها همچنین می‌توانند خاصیت شکل‌پذیری مخلوط چسب و ماسه را تعیین کنند.

لازم به‌ذکر است که برای انجام کلیه آزمایش‌های استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری نیاز به‌نمونه استاندارد می‌باشد که نحوه تهیه آن برای هر کدام از آزمایش‌های استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری در کتاب درسی به‌طور کامل آورده شده است.

تعیین استحکام فشاری تر و خشک :

جهت تدریس این بخش پیشنهاد می‌شود هنرجویان را به‌آزمایشگاه برده سپس استحکام فشاری تر و خشک، عوامل مؤثر بر آن، وسایل و تجهیزات مورد نیاز و نحوه اجرای آن را به‌طور کامل برای هنرجویان تشریح کنید.

دانش افزایی

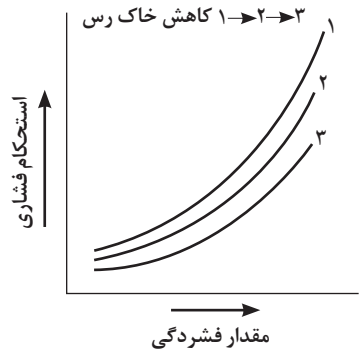
استحکام فشاری تر: ماکزیمم تنش فشاری نمونه برحسب PSi که یک نمونه معین از ماسه تر با ابعاد مشخص و استاندارد می‌تواند تحمل کند و گسیخته نشود استحکام فشاری تر آن نمونه نامیده می‌شود است. در عمل برای تعیین این استحکام ابتدا نمونه‌ای تهیه کرده و آن را با کوبیدن متراکم می‌کنند. سپس نمونه را (استوانه استاندارد) در امتداد طول، تحت نیروی فشاری قرار می‌دهند تا گسیخته شود.

استحکام فشاری خشک: استحکام فشاری خشک کاملاً مانند استحکام فشاری تر تعریف می‌شود، با این تفاوت که استحکام ماسه، در حالت خشک و پخته شده مورد نظر است.

وسیله انجام آزمایش برای انجام هر دو آزمایش استحکام فشاری تر و خشک یکسان می‌باشد که دارای امکانات اعمال بار و دو کفه (فک) دایره‌ای تخت است که نمونه استوانه‌ای در امتداد طول ما بین آن دو قرار گرفته و سپس به‌واسطه اعمال نیرو توسط دستگاه دو فک تخت به‌یکدیگر نزدیک می‌شوند و به نمونه نیرو وارد می‌شود. چند نوع دستگاه برای تعیین استحکام فشاری تر قابل استفاده است که از میان آنها می‌توان به‌نوع فنری و دستگاه آزمایش چند کاره (یونیورسال) اشاره کرد که در شکل ۱۳ کتاب درسی نمونه‌هایی از این دستگاه‌ها نشان داده شده است.

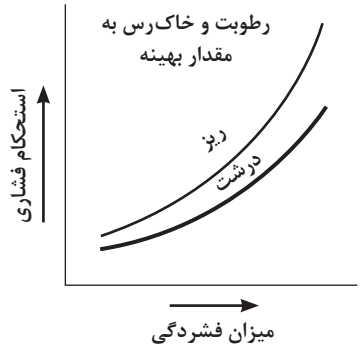
عوامل مؤثر بر استحکام فشاری مخلوط ماسه قالب‌گیری: عواملی چون میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازه ذرات ماسه بر استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری اثر می‌گذارد.

افزایش کوبش و در نتیجه بالا رفتن میزان فشردگی مخلوط ماسه، باعث افزایش استحکام فشاری می‌شود. اگر میزان فشردگی ثابت باشد، افزایش مقدار خاک رس باعث بالا رفتن استحکام خواهد شد این موضوع در شکل ۹ به‌صورت یک نمودار نشان داده شده است.



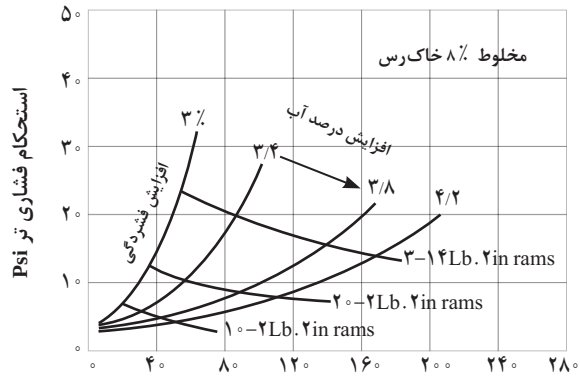
شکل ۹ـ تأثیر میزان فشردگی و خاک رس بر استحکام فشاری

همچنین مقدار کوبش عاملی است که در خلال قالب‌گیری موجودیت پیدا می‌کند و در زمره عوامل ناشی از قالب‌گیری است. از آنجا که امکان فشردگی ذرات ریز در هنگام قالب‌گیری بیشتر از ذرات درشت است، در یک مقدار فشردگی ثابت به‌شرط آنکه آب و خاک رس در حد بهینه باشد، استحکام فشاری ذرات ریز بالاتر است. در نمودار شکل ۱۰ تأثیر این عوامل نشان داده شده است.



شکل ۱۰ــ تأثیر اندازه ذرات و میزان فشردگی بر استحکام فشاری

همچنین استحکام فشاری تر و استحکام فشاری خشک ماسه متأثر از شرایط قالب‌گیری و از جمله میزان کوبش و مقدار رطوبت است. نمودار شکل ۱۱ تأثیر این عوامل را نشان می‌دهد. از نمودار مذکور می‌توان دریافت که با افزایش میزان کوبش، استحکام فشاری تر و استحکام فشاری خشک افزایش می‌یابد و با افزایش درصد آب میزان استحکام فشاری خشک بالا می‌رود ولی استحکام فشاری تر کاهش می‌یابد. نمودار مذکور مربوط به مخلوطی با ۸ درصد خاک رس است.



شکل ۱۱ــ ارتباط استحکام فشاری تر، استحکام فشاری خشک، مقدار رطوبت و میزان کوبش برای مخلوط ماسه با ۸ درصد خاک رس

به‌طور کلی استحکام فشاری مخلوط ماسه قالب‌گیری در حالت تر بین ۵ تا ۲۲ PSi و در حالت خشک نیز بین ۲۰ تا ۲۵۰ PSi می‌باشد.

نحوهٔ انجام فعالیت‌های عملی (آزمایش‌های) مربوط به‌استحکام فشاری:

هنرآموزان گرامی با توجه به اینکه برای جلسه چهارم واحد یادگیری آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری انجام آزمایش‌های مربوط به‌استحکام فشاری تر و خشک مخلوط ماسه قالب‌گیری که شامل:

فعالیت عملی

فعالیت عملی ۵: تعیین استحکام فشاری تر
فعالیت عملی ۶: بررسی تأثیر میزان رطوبت بر روی استحکام فشاری تر
فعالیت عملی ۷: تعیین استحکام فشاری خشک
فعالیت عملی ۸: بررسی تأثیر میزان چسب بنتونیت بر روی استحکام فشاری خشک

می‌باشند، در نظر گرفته شده است لذا جهت انجام آزمایش‌ها و مدیریت بهتر زمان موارد زیر پیشنهاد می‌شود.

- با توجه به ۸ ساعته بودن زمان جلسه پیشنهاد می‌شود که زنگ اول را به مباحث تئوری پیرامون استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری و استحکام فشاری درحالت تر و خشک و نحوه انجام آن اختصاص دهید.
- پس از اتمام کلاس تئوری جهت نمونه‌برداری هنرجویان را به‌کارگاه ریخته‌گری ببرید و نمونه‌برداری از مخلوط ماسه را به‌صورت زیر برای انجام آزمایش‌های آورده شده در کتاب درسی انجام دهید.

ابتدا هنرجویان گروه بندی شده سپس با نظارت هنرآموز یا استادکار مربوطه به‌اندازه مورد نیاز از محل قالب‌گیری جهت انجام آزمایش‌های استحکام فشاری تر و خشک نمونه‌برداری کنند.

با توجه به‌اینکه نمونه‌های مربوط به‌آزمایش استحکام فشاری خشک جهت خشک شدن نمونه بایستی در داخل کوره گرمکن به‌مدت زمان ۲ ساعت خشک شوند لذا توصیه می‌شود ابتدا هنرجویان با راهنمایی و نظارت هنرآموز و یا استادکار نمونه‌های مربوط به‌این آزمایش را تهیه کرده و با رعایت کامل نکات ایمنی نمونه‌ها را در داخل کوره گرم‌کن قرار دهند.

سپس در فاصله زمانی تا خشک شدن نمونه‌های داخل کوره گرمکن، هر گروه از هنرجویان نمونه‌های مربوط به‌آزمایش‌های استحکام فشاری تر را تهیه کرده و مطابق مراحل آورده شده درکتاب آزمایش‌های استحکام فشاری تر را انجام داده و نتایج آن را در جداول و نمودارهای آورده شده در کتاب ثبت کنند.

پس از خشک شدن نمونه‌های داخل کوره گرمکن، کوره را خاموش کرده و هر گروه از هنرجویان با رعایت کامل نکات ایمنی نمونه‌ها را از داخل کوره بیرون آورده و پس از رسیدن دمای نمونه‌ها به‌دمای محیط هر گروه با نظارت هنرآموز یا استادکار مربوطه آزمایش را مطابق مراحل آورده شده در کتاب انجام داده و نتیجه را در جداول و نمودارهای آورده شده در کتاب ثبت نمایند.

هنرآموزان محترم لطفاً پس از اتمام کلیه آزمایشات از هنرجویان بخواهید که نتایج حاصل از انجام آزمایشات فوق را به‌همراه پاسخ تحلیلی به‌پرسش‌های کتاب به شما ارائه دهند.

نکته

قبل از انجام آزمایشات نحوه استفاده صحیح از وسایل و تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایشات را حتماً به‌هنرجویان توضیح داده و از آماده به‌کار بودن و کالیبره بودن دستگاه‌های مورد استفاده اطمینان حاصل کنید.

نکته

پس از اتمام آزمایش به‌هنرجویان توصیه کنید که وسایل و تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایش را با دقت تمیز کرده و در محل مشخص شده سر جای خود قرار دهند.

نکته ایمنی

هنگام استفاده از کوره خشک کن حتماً به‌هنرجویان تأکید کنید که از دستکش ایمنی استفاده نمایند.

نکته زیست‌محیطی

پس از اتمام کار از هنرجویان بخواهید که محیط آزمایشگاه را تمیز کرده و ماسه‌های اضافی را به ماسه‌دان کارگاه برگردانده و از پراکنده شدن ماسه در محیط کارگاه جلوگیری کنند.

جلسه پنجم: آزمایش‌های مربوط به‌استحکام کششی و استحکام برشی

واحد یادگیری: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

مقدمه

جهت تدریس این بخش هنرجویان را به‌کلاس تئوری برده و در رابطه با استحکام کششی در حالت تر و خشک و همچنین استحکام برشی در حالت تر و خشک مخلوط ماسه قالب‌گیری توضیحاتی ارائه کنید. سپس در رابطه با تأثیر عوامل مختلف بر روی استحکام کششی و برشی مخلوط ماسه قالب‌گیری در دو حالت تر و خشک سؤالاتی را مطرح کرده و از هنرجویان بخواهید که در رابطه با سؤالات مطرح شده به‌صورت گروهی با یکدیگر بحث و گفتگو کرده و نتیجه را به‌شما ارائه دهند. سپس خودتان توضیحات تکمیلی را در رابطه با سؤالات مطرح شده به‌هنرجویان بدهید.
سپس وسایل و تجهیزات مورد نیاز، نحوه انجام آزمایشات استحکام کششی و برشی را به‌طور کامل برای هنرجویان توضیح داده و در صورت در اختیار داشتن فیلم مربوط به‌انجام آزمایشات فوق آن را برای هنرجویان نمایش دهید.

دانش افزایی

تعیین استحکام کششی تر: استحکام کششی تر یک مخلوط ماسه قالب‌گیری حداکثر تنش کششی است که نمونه استاندارد آن ماسه قادر به تحمل آن است. چنین نمونه‌ای تهیه می‌شود، تحت کوبش لازم قرار می‌گیرد و به‌شکل استاندارد آماده می‌شود. استحکام کششی تر یک مخلوط ماسه ریخته‌گری درحالت مرطوب است که برحسب PSi بیان می‌شود.
لوله تهیه نمونه برای آزمایش کششی تر باید به‌شکل دو تکه طراحی شده باشد به‌طوری‌که نمونه بتواند در خلال آزمایش در داخل لوله باقی بماند و دو تکه لوله به‌هنگام شکست نمونه به سهولت در ناحیه وسط از هم جدا شود.
در شکل شماره ۱۸ کتاب درسی لوله تهیه نمونه دو تکه که برای آزمایش استحکام کششی تر مورد استفاده قرار می‌گیرد نشان داده شده است.
لوله فوق‌الذکر معمولاً برای مخلوط‌های ماسه‌ای که استحکام کششی پایین دارند به‌کار می‌رود و در مورد مخلوط‌هایی که استحکام کششی بالا دارند از روشی که برای اندازه‌گیری استحکام کششی ماهیچه‌ها مورد توجه است، استفاده می‌شود.
نتایج حاصل از استحکام کششی‌تر می‌تواند اطلاعات خوبی در زمینه کیفیت بنتونیت مورد استفاده به‌ما بدهد.

به‌طور کلی استحکام مخلوط ماسه تر برای کشش کم می‌باشد. لذا برای تعیین استحکام کششی مخلوط‌های ماسه که استحکام زیادی دارند از روش تعیین استحکام ماهیچه‌های پخته شده استفاده می‌کنند. استحکام کششی ماسه‌های تر حدود ۱ تا ۶ پوند بر اینچ مربع یا ۶/۹ تا ۴۱/۵ کیلو پاسکال است که بستگی به ترکیب و نوع ماسه دارد.

فعالیت عملی ۹

انجام آزمایش استحکام کششی تر

جهت انجام این فعالیت پس از نمونه‌برداری از ماسه مورد استفاده در محل قالب‌گیری کارگاه ریخته‌گری هنرجویان را به آزمایشگاه متالورژی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست‌محیطی، نحوه کار با وسایل و تجهیزات مورد نیاز جهت اجرای آزمایش را به‌آنها توضیح دهید.

سپس هنرجویان را گروه‌بندی کنید تا با نظارت هنرآموز یا استادکار آزمایش را مطابق مراحل آورده شده در کتاب انجام داده و نتیجه را به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

دانش افزایی

تعیین استحکام کششی خشک: استحکام کششی خشک برابر است با حداکثر تنش کششی که به‌یک نمونه ماسه (نمونه کششی خشک ماسه‌ای استاندارد) در حالت خشک تا مرحله گسیختن وارد می‌شود. این استحکام برحسب PSi اندازه‌گیری می‌شود. چنین نمونه‌ای تهیه می‌شود، تحت کوبش لازم قرار می‌گیرد و به شکل استاندارد آماده شده و سپس در داخل کوره خشک کن تا دمای معینی خشک می‌شود.

جهت تهیه نمونه استاندارد استحکام کششی خشک ماسه از یک جعبه ماهیچه فلزی استفاده می‌شود که در شکل ۱۹ کتاب درسی ابعاد استاندارد و نیروهای وارد بر نمونه استحکام کششی خشک ماسه نشان داده شده است.

کلیه عوامل مؤثر بر استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری مخصوصاً میزان خاک رس، بر روی استحکام کششی خشک تأثیرگذار می‌باشند، به‌طوری‌که با افزایش میزان درصد خاک رس از ۱۰٪ به۱۶٪ استحکام کششی خشک آن حدود ۱۱۰٪ افزایش می‌یابد درحالی که استحکام کششی تر حدود ۱۶٪ افزایش خواهد داشت.

فعالیت عملی ۱۰

انجام آزمایش استحکام کششی خشک:

جهت انجام این فعالیت پس از نمونه‌برداری از ماسه مورد استفاده در محل قالب‌گیری کارگاه ریخته‌گری هنرجویان را به‌آزمایشگاه متالورژی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست محیطی، نحوه کار با وسایل و تجهیزات مورد نیاز

جهت اجرای آزمایش را به‌آنها توضیح دهید.
سپس هنرجویان در گروه‌های خود با راهنمایی و نظارت هنرآموز یا استادکار آزمایش را مطابق مراحل آورده شده در کتاب انجام داده و نتیجه را به همراه پاسخ تحلیلی به‌پرسش آورده شده در کتاب به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

نکته ایمنی

هنگام استفاده از کوره خشک‌کن حتماً به‌هنرجویان تأکید کنید که از دستکش ایمنی استفاده نمایند.

فعالیت عملی ۱۱

بررسی تأثیر میزان چسب سیلیکات سدیم و عدد ریزی ماسه بر روی استحکام کششی خشک

هنرجویان در گروه‌های خود با نظارت هنرآموز یا استادکار آزمایش را مطابق مراحل آورده شده در کتاب درسی انجام داده و نتایج به‌دست آمده را در جدول و نمودار کتاب ثبت کرده و به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

دانش افزایی

استحکام برشی تر و خشک

استحکام برشی تر: استحکام برشی تر یک ماسه ریخته‌گری برابر حداکثر تنش برشی است که نمونه استاندارد آن ماسه در حالت تر می‌تواند متحمل شود. آزمایش استحکام برشی تر بدین طریق صورت می‌گیرد که نمونه استاندارد در دستگاه چندکاره آزمایش استحکام قرار داده می‌شود. دو کفه مورد استفاده در این آزمایش تخت و صاف نیست بلکه بر روی هریک از فک‌ها پله وجود دارد به‌طوری‌که سطح مقطع هر فک به‌دو بخش پایین و بالا تقسیم شده است. شیارهای واقع بر روی فک‌ها مقابل هم قرار می‌گیرند و بدین طریق پس از اعمال بار، تنش برشی به‌نمونه اعمال می‌شود و گسیختگی پدید می‌آید. سرعت اعمال نیرو برش توسط دستگاه باید بین ۱۹ تا ۲۹ PSi در دقیقه باشد و مقدار استحکام برشی بر حسب پوند بر اینچ مربع (PSi) می‌باشد.
به‌طورکلی اکثر عوامل تأثیرگذار بر استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری مانند اندازه ذرات ماسه، میزان خاک رس، رطوبت و... بر استحکام برشی تر و خشک نیز تأثیرگذار می‌باشند. همچنین لازم به‌ذکر است که استحکام برشی تر ماسه در حدود ۱/۵ تا ۷PSi می‌باشد.

استحکام برشی خشک: استحکام برشی خشک نیز مشابه استحکام برشی تر اندازه‌گیری می‌شود اما در این مورد خشک کردن نمونه قبلاً صورت می‌گیرد و سپس آزمایش تعیین استحکام انجام می‌شود.

هنگامی که مخلوط ماسه خشک می‌شود هم استحکام فشاری و هم استحکام برشی اهمیت دارند. نسبت مابین استحکام برشی خشک به استحکام فشاری خشک به‌عنوان ملاکی برای ارتباط مابین فرمولاسیون ماسه و بازدهی عمل به‌کار می‌رود. پایین بودن نسبت فوق‌الذکر می‌تواند نشانگر به عمل نیامدن ماسه باشد درحالی که بالا بودن نسبت فوق‌الذکر می‌تواند نمایانگر زیاد بودن مقدار خاک رس، مواد قابل احتراق یا عدم کافی بودن مواد افزودنی به‌ماسه جدید باشد.

خشک کردن نمونه‌های مورد آزمایش حداقل به‌مدت ۲ ساعت در دمای ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد صورت می‌پذیرد و سپس فرصت خنک شدن نمونه تا دمای محیط در یک دسیکاتور به نمونه داده می‌شود.

فعالیت عملی ۱۲

انجام آزمایش استحکام برشی تر و خشک

جهت انجام این فعالیت پس از نمونه‌برداری از ماسه مورد استفاده در محل قالب‌گیری کارگاه ریخته‌گری هنرجویان را به‌آزمایشگاه متالورژی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست محیطی، نحوه کار با وسایل و تجهیزات مورد نیاز جهت اجرای آزمایش را به‌آنها توضیح دهید.

سپس هنرجویان در گروه‌های خود با راهنمایی و نظارت هنرآموز یا استادکار آزمایش را مطابق مراحل آورده شده در کتاب انجام داده و نتیجه را به‌همراه پاسخ تحلیلی به‌پرسش آورده شده در کتاب به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

نکته ایمنی

هنگام استفاده از کوره خشک کن حتماً به‌هنرجویان تأکید کنید که از دستکش ایمنی استفاده نمایند.

نکته

پس از اتمام آزمایش به‌هنرجویان توصیه کنید که وسایل و تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایش را با دقت تمیز کرده و در محل مشخص شده در جای خود قرار دهند.

نکته
زیست‌محیطی

پس از اتمام کاراز هنرجویان بخواهید که محیط آزمایشگاه را تمیز کرده و ماسه‌های اضافی را به‌ماسه‌دان کارگاه برگردانده و از پراکنده شدن ماسه در محیط کارگاه جلوگیری کنند.

هنرآموز محترم با توجه به اینکه آزمایش‌های مربوط به‌استحکام کششی و برشی برای یک جلسه ۸ ساعته درنظر گرفته شده است، خواهشمند است نسبت به‌مدیریت زمان جهت اجرای کامل و دقیق آزمایشات توجه لازم را مبذول فرمایید.

جلسه ششم: آزمایش‌های استحکام و سختی قالب

واحد یادگیری: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

مقدمه

در ابتدای جلسه هنرجویان را به‌کلاس برده و در رابطه با اهمیت استحکام و سختی قالب و ارتباط آنها با یکدیگر و نقش آنها در تولید قطعات ریختگی سالم توضیحاتی را ارائه کرده و سپس از هنرجویان در رابطه با عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر استحکام و سختی قالب سؤال کرده و پس از شنیدن پاسخ آنها، خودتان توضیحات کامل و تکمیلی را به‌آنها بدهید. سپس وسایل و تجهیزات مورد نیاز برای تعیین استحکام و سختی قالب را به‌همراه روش‌های انجام آنها را به‌همراه نمایش فیلم برای هنرجویان شرح دهید.

دانش افزایی

استحکام قالب: استحکام قالب میزان باری است که سطح یک قالب می‌تواند به‌هنگام اعمال بار ناشی از یک نفوذسنج فنری تحمل نماید. اطلاعات حاصل از این آزمایش برای تعیین یکنواختی سطح قالب تهیه شده که مستقیماً متناسب با یکنواختی فشردگی قالب است، به‌کار می‌رود. ابزار و وسیله اندازه‌گیری استحکام قالب مستقیماً بر روی سطح قالب تهیه شده قرار می‌گیرد و استحکام اندازه‌گیری می‌شود. واحد اندازه‌گیری در وسیله اندازه‌گیری استحکام قالب PSi می‌باشد که در دو نوع عقربه‌ای و دیجیتالی می‌باشد و در شکل شماره ۲۶ کتاب درسی آورده شده است.

به‌طورکلی عواملی همچون دانه‌بندی ماسه (اندازه ذرات)، شکل و توزیع ذرات ماسه (وضعیت ذرات)، میزان خاک رس یا چسب ماسه، میزان رطوبت و میزان فشردگی یا کوبش ماسه می‌تواند بر استحکام قالب تأثیرگذار باشد.

فعالیت عملی ۱۳

انجام آزمایش استحکام قالب

جهت انجام این فعالیت ابتدا هنرجویان را به‌کارگاه ریخته‌گری برده و در ۴ گروه، گروه‌بندی کنید. سپس برای هر گروه یک مدل یک تکه تحویل داده و از آنها بخواهید که فعالیت را با رعایت نکات ایمنی مطابق مراحل ذکر شده در کتاب انجام داده و نتایج آن را در جدول و نمودار آورده شده در کتاب ثبت کرده و در رابطه با عوامل مؤثر بر استحکام قالب به‌صورت گروهی بحث کرده و نتیجه آن را به‌همرا نتایج به‌دست آمده از آزمایش به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

نکته ایمنی

هنرآموز محترم توجه داشته باشید که هنرجویان قالب‌ها را با رعایت نکات ایمنی خشک کرده و در حین خشک کردن از دستکش ایمنی استفاده کنند و همچنین از سالم و ایمن بودن مشعل اطمینان حاصل کنید.

نکته زیست‌محیطی

پس از اتمام آزمایش هنرجویان محیط کارگاه را تمیز کرده و قالب‌ها را در ماسه‌دان تخلیه کنند.

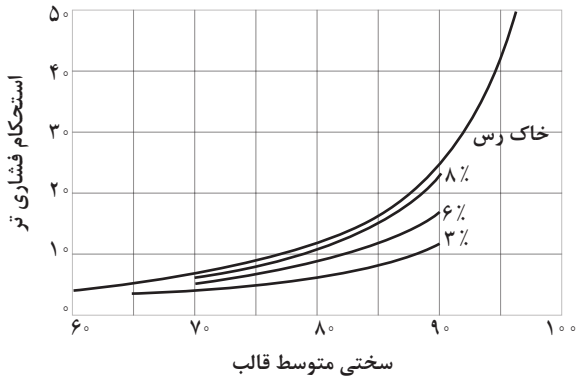
دانش افزایی

تعیین سختی قالب: سختی سطح یک قالب که از مخلوط ماسه تر آماده شده است به‌کمک این آزمایش تعیین می‌گردد. سختی سطح قالب عبارت است از: مقاومت سطح یک قالب ماسه ای تر در برابر نفوذ یک فرورونده وزین. هرقدر مقاومت سطح یک قالب در برابر نفوذ فرورونده بیشتر باشد نشانه سختی بیشتر آن است.

عمده‌ترین کاربرد عملی آزمایش سختی قالب و اطلاع از میزان سختی این است که می‌توان با توجه به‌مقدار سختی قالب، درجه یا میزان کوبش را کنترل کرد و در حد استاندارد و معین تثبیت نمود. به‌کمک فرایند قالب‌گیری مناسب و ماشین قالب‌گیری امکان حصول سختی یکنواخت و استاندارد وجود دارد. حداکثر سختی قالب که باید توسط کوبش حاصل شود توسط آزمایش سختی‌سنجی تعیین و مشخص می‌شود.

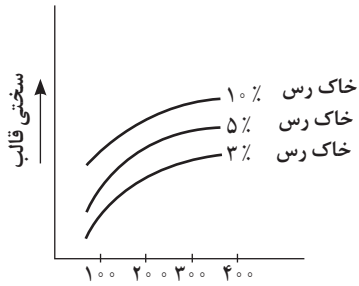
اگر سختی در نقاط مختلف قالب متفاوت باشد خواص ماسه هم در نقاط مختلف متغیر است. متفاوت بودن سختی در نقاط مختلف قالب نیز از طریق انجام آزمایش

سختی مشخص می‌شود.
به‌طورکلی بسیاری از خصوصیات مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری با یکدیگر ارتباط دارند؛ به‌عنوان مثال افزایش برخی از خواص باعث کاهش خاصیت دیگر می‌شود و یا افزایش برخی از خصوصیات باعث افزایش خاصیت دیگر می‌شود و یا افزایش برخی از خصوصیات باعث افزایش خاصیت دیگر نیز خواهد شد.
به‌عنوان مثال استحکام فشاری تر یک مخلوط قالب‌گیری با مقدار سختی آن تناسب دارد و هرقدر سختی مخلوط قالب‌گیری بیشتر شود استحکام آن نیز افزایش می‌یابد. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که چگونه افزایش سختی مخلوط‌هایی با درصد خاک رس متفاوت باعث افزایش استحکام می‌شود.



شکل ۱۲ــ تأثیر مقدار خاک رس بر ارتباط مابین سختی قالب و استحکام فشاری تر

همچنین سختی قالب نیز با میزان فشردگی آن ارتباط مستقیم دارد. به‌طوری‌که هرچقدر میزان فشردگی بیشتر باشد، سختی حاصل نیز بالاتر است و این نکته قابل توجه است که در یک میزان فشردگی ثابت، هرقدر مقدار خاک رس مخلوط بالاتر باشد سختی قالب نیز بالاتر است که این موضوع در شکل ۱۳ به‌صورت نمودار نشان داده شده است.



شکل ۱۳ــ تأثیر مقدار خاک رس بر ارتباط مابین سختی و میزان فشردگی

فعالیت عملی ۱۴

انجام آزمایش تعیین سختی سطح قالب

جهت اجرای این فعالیت ابتدا هنرجویان را به‌کارگاه ریخته‌گری برده و پس از گروه‌بندی آنها، آزمایش را با نظارت هنرآموز و یا استادکار مطابق مراحل ذکر شده در کتاب انجام داده و نتیجه آن را به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

نکته

قبل از انجام آزمایشات نحوه استفاده صحیح از وسایل و تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایشات را حتماً به‌هنرجویان توضیح داده و از آماده به‌کار بودن و کالیبره بودن دستگاه‌های مورد استفاده اطمینان حاصل کنید.

نکته

پس از اتمام آزمایش به‌هنرجویان توصیه کنید که وسایل و تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایش را با دقت تمیز کرده و در محل مشخص شده درجای خود قرار دهند.

نکته زیست‌محیطی

پس از اتمام کار از هنرجویان بخواهید که محیط آزمایشگاه را تمیز کرده و ماسه‌های اضافی را به‌ماسه‌دان کارگاه برگردانده و از پراکنده شدن ماسه در محیط کارگاه جلوگیری کنند.

جلسه هفتم: آزمایش‌های تعیین خردشوندگی ماسه تر و اندازه‌گیری قابلیت نفوذگاز ماسه

واحد یادگیری: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

مقدمه

جهت تدریس این بخش هنرجویان را به‌کلاس تئوری برده و در رابطه با ضریب خردشوندگی ماسه و اندازه‌گیری قابلیت نفوذ گاز، اهمیت و عوامل مؤثر بر روی این دو پارامتر توضیحات لازم و کافی را ارائه کرده سپس وسایل و تجهیزات مورد نیاز، نحوه انجام آزمایشات تعیین خردشوندگی و تعیین قابلیت نفوذ گاز ماسه را به‌طور کامل برای هنرجویان توضیح داده و درصورت در اختیار داشتن فیلم مربوط به انجام آزمایشات فوق آن را برای هنرجویان نمایش دهید.

دانش افزایی

تعیین خُرد شوندگی مخلوط ماسه تر: برای اندازه‌گیری و تعیین چقرمگی مخلوط ماسه تر از آزمایش ضریب خرد شوندگی (اندیس شاتر) استفاده می‌شود. این آزمایش معیاری از استحکام ماسه می‌باشد به‌طوری که این استحکام با ضریب خردشوندگی ماسه ارتباط مستقیم دارد. با استفاده از نتایج این آزمایش می‌توان قابلیت شکل‌پذیری ماسه را اندازه‌گیری و تعیین کرد.

چقرمگی و ضریب خردشوندگی یک مخلوط ماسه تر می‌تواند متأثر از عواملی همچون میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازه ذرات ماسه باشد.

به‌طور کلی ضریب خرد شوندگی (اندیس شاتر) در بدترین حالت صفر و در بهترین و ایدئال‌ترین حالت ۱۰۰ درصد است. دامنه اندیس شاتر ماسه‌های قالب‌گیری در ریخته‌گری معمولاً بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است.

اهمیت اندیس شکل‌پذیری ماسه، بیشتر برای بلند کردن درجه‌های محتوی ماسه است. چنانچه این اندیس کم باشد، ماسه داخل درجه‌ها هنگام حمل و نقل ریزش می‌کند. درحالی که اگر این اندیس بیش از حد باشد مشکلاتی نظیر ترک خوردن قالب، عدم خروج گازها، عدم سهولت تخلیهٔ ماسه از درجه‌ها و غیره پیش می‌آید.

فعالیت عملی ۱۵

انجام آزمایش تعیین ضریب خُرد شوندگی و اندیس شکل‌پذیری مخلوط ماسه تر جهت انجام این فعالیت پس از نمونه‌برداری از ماسه مورد استفاده در محل قالب‌گیری کارگاه ریخته‌گری هنرجویان را به‌آزمایشگاه متالورژی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست محیطی، نحوه کار با وسایل و تجهیزات مورد نیاز جهت اجرای آزمایش را به آنها توضیح دهید.

سپس هنرجویان در گروه‌های خود با راهنمایی و نظارت هنرآموز یا استادکار آزمایش را مطابق مراحل آورده شده در کتاب انجام داده و نتیجه را به‌همراه پاسخ تحلیلی به‌پرسش آورده شده در کتاب به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

نکته

پس از اتمام آزمایش از هنرجویان بخواهید دستگاه تعیین خرد شوندگی ماسه را به‌طور کامل تمیز کرده و قسمت‌های متحرک آن را روغن‌کاری نمایند.

دانش افزایی

اندازه‌گیری قابلیت نفوذ گاز ماسه: یکی از عوامل مهم در تولید قطعات ریختگی سالم قابلیت نفوذ گاز از ماسه یا نفوذپذیری ماسه است. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر

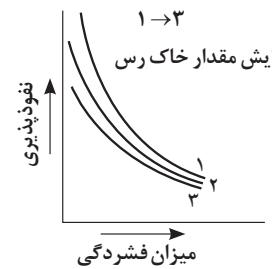
شد دانه‌بندی و پخش ذرات ماسه، نقش مهمی در خروج گازهای محلول در مذاب، هوای قالب، بخار آب و غیره دارد. لذا کنترل و تعیین قابلیت نفوذ گاز می‌تواند نتایج بسیار مفیدی برای کیفیت قطعات ریختگی داشته باشد.

به‌طورکلی برای تعیین قابلیت نفوذ گاز ماسه معمولاً سرعت خروج هوا از یک نمونه ماسه‌ای را برحسب سانتی‌متر مکعب در دقیقه در زمان معین و تحت فشار ثابت اندازه‌گیری می‌کنند. این سرعت در واقع می‌تواند مشخص‌کنندهٔ توانایی خروج گاز از ماسه باشد.

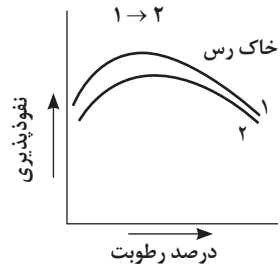
به‌طور کلی ماسه‌هایی که دانه‌های درشت‌تری دارند، فضای خالی مابین ذرات آنها بیشتر است و نفوذپذیری آنها از ماسه‌هایی با دانه‌های ریز بیشتر خواهد بود. گذشته از اندازه متوسط دانه‌ها، توزیع اندازه دانه‌ها نیز اثر قطعی بر نفوذپذیری دارد. هرقدر اندازه متوسط دانه‌ها کمتر باشد و یا به‌عبارت دیگر عدد ریزی ماسه بیشتر باشد، فضای خالی مابین دانه‌ها کاهش پیدا می‌کند و نفوذپذیری و قابلیت عبور گاز کمتر می‌شود. توزیع دانه‌ها نیز اثر قابل توجهی دارد. ماسه‌ای با دانه‌های ریز که محدوده توزیع ذرات آن گسترده است در مقایسه با ماسه‌ای که عدد ریزی آن یکسان است و اندازه ذرات نیز مشابه است ولی توزیع دانه‌های آن محدودتر است، نفوذپذیری کمتری دارد زیرا وقتی توزیع دانه‌ها گسترده‌تر باشد ذرات ریز و درشت فضای خالی را بهتر پر می‌کنند و نفوذپذیری کاهش می‌یابد.

نفوذپذیری قالب گذشته از عوامل دیگر به میزان متراکم‌سازی یا فشردگی بستگی دارد. اگرچه افزایش فشردگی قالب مقدار استحکام فشاری و سختی آن را بالا می‌برد ولی قابلیت عبور گاز و نفوذپذیری کاهش پیدا می‌کند. در این رابطه مخلوط‌هایی که خاک رس بیشتری دارند در ثابت بودن بقیه شرایط نفوذپذیری کمتری دارند.

اندازه، شکل و توزیع دانه در زمره دسته عوامل مؤثر بر نفوذپذیری و قابلیت عبورگاز هستند که به‌خصوصیات اولیه ماسه ارتباط پیدا می‌کنند و مواردی چون میزان کوبش و فشردگی، مقدار رطوبت و خاک رس مخلوط ماسه قالب‌گیری عوامل مؤثری هستند که طی فرایند قالب‌گیری و تهیه مخلوط ماسه قالب‌گیری موجودیت پیدا می‌کنند. در نمودار شکل‌های ۱۴ و ۱۵ تأثیر میزان فشردگی، خاک رس و رطوبت بر نفوذپذیری ماسه قالب‌گیری آورده شده است.



شکل ۱۴



شکل ۱۵

فعالیت عملی ۱۶

انجام آزمایش قابلیت نفوذ گاز ماسه

جهت انجام این فعالیت نیز همانند فعالیت قبلی پس از نمونه‌برداری از ماسه مورد استفاده در محل قالب‌گیری کارگاه ریخته‌گری هنرجویان را به آزمایشگاه متالورژی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست‌محیطی، نحوه کار با وسایل و تجهیزات مورد نیاز جهت اجرای آزمایش را به‌آنها توضیح دهید و قبل از انجام آزمایش از کالیبره بودن و آماده به‌کار بودن دستگاه تعیین قابلیت نفوذ گاز ماسه اطمینان حاصل کنید.

سپس هنرجویان در گروه‌های خود با راهنمایی و نظارت هنرآموز یا استادکار آزمایش را مطابق مراحل آورده شده در کتاب انجام داده و نتیجه را به‌همراه پاسخ تحلیلی به‌پرسش آورده شده در کتاب به‌صورت گزارش کار به‌هنرآموز خود تحویل دهند.

نکته

پس از اتمام آزمایش از هنرجویان بخواهید که قسمت‌های مختلف دستگاه تعیین قابلیت نفوذ گاز ماسه را تمیز کنند.

نکته زیست‌محیطی

پس از اتمام کار از هنرجویان بخواهید که محیط آزمایشگاه را تمیز کرده و ماسه‌های اضافی را به ماسه‌دان کارگاه برگردانده و از پراکنده شدن ماسه در محیط کارگاه جلوگیری کنند.