



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

دستور کار

آزمایشگاه ریخته‌گری و انجماد فلزات

(نسخه موقت ۱)

بهزاد نیرومند

مجتبی شیخی

۱۳۹۶

فهرست

۲	..... اصول ایمنی در آزمایشگاه ریخته گری و انجماد
۳	..... تجهیزات و وسایل موجود در آزمایشگاه
۵	..... آزمایش شماره ۱
۷	..... آزمایش شماره ۲
۹	..... آزمایش شماره ۳
۱۴	..... آزمایش شماره ۴
۱۹	..... آزمایش شماره ۵
۲۱	..... آزمایش شماره ۶
۲۶	..... آزمایش شماره ۷
۳۲	..... آزمایش شماره ۸
۳۶	..... آزمایش شماره ۹
۳۸	..... آزمایش شماره ۱۰
۴۲	..... آزمایش شماره ۱۱
۴۷	..... آزمایش شماره ۱۲
۴۹	..... آزمایش شماره ۱۳
۵۰	..... منابع و مراجع

اصول ایمنی در آزمایشگاه ریخته‌گری و انجماد

در هنگام حضور در آزمایشگاه ریخته‌گری و انجماد به نکات زیر توجه داشته باشید:

- پوشش لباس کار مناسب در آزمایشگاه الزامی است.
- استفاده از ماسک ایمنی موقع ذوب ریزی الزامی است.
- استفاده از دستکش، پیش‌بند نسوز جهت جابجا کردن مذاب از کوره الزامی است.
- موقع انتخاب بوته جهت ذوب‌ریزی دقت لازم در سالم بودن بوته، نداشتن ترک و حجم و اندازه مناسب برای ذوب انجام گیرد.
- بوته از جنس گرافیت یا سرامیک بوده و تردوشکننده می‌باشد. به آن ضربه و فشار زیاد وارد نکنید.
- موقع برداشتن بوته از داخل کوره توسط انبر، فک انبر باید در سه چهارم ارتفاع بوته قرار گیرد و اطمینان کامل جهت بلند کردن بوته وجود داشته باشید.
- موقع جابه‌جا کردن مذاب دقت لازم را به خرج دهید. در مسیر حرکت نباید مانع (قطعه، قالب، دانشجویان، ...) قرار داشته باشند.
- در موقع ذوب‌ریز این احتمال وجود دارد که بوته از انبر رها شده و مذاب به اطراف پخش شود. پس دانشجویانی که اطراف قرار دارند نباید نزدیک ذوب‌ریز قرار گیرند.
- قبل از ذوب‌ریزی اطمینان حاصل نمایید که قالب رطوبت نداشته باشد و خشک شده‌اند.
- بهتر است موقع ذوب‌ریزی به جز افراد ذوب‌ریز دانشجویان دیگر در اطراف قالب حضور نداشته باشند. چند ثانیه پس از ذوب‌ریزی دانشجویان می‌توانند به قالب نزدیک شده و روند انجماد را بررسی نمایند.
- تخریب قالب‌های موقت (ماسه‌ای) فقط پس از اجازه کارشناس آزمایشگاه انجام می‌پذیرد.
- رنگ و حالت ظاهری قطعات فلزی داغ تا چند صد درجه سانتی‌گراد، هیچ تفاوتی با رنگ و حالت آنها در دمای اتاق نمی‌کند. در برداشتن قطعات فلزی منجمد شده و ظاهراً سرد از دست استفاده نکنید. نمونه‌ها را پس از خروج از قالب با انبر برداشته و زیر آب خنک نمایید.
- در موقع اچ کردن نمونه‌ها حتماً از دستکش استفاده کنید و از استنشاق گازهای حاصله جداً خودداری نمائید. حتی الامکان اینکار را زیر هود انجام دهید.
- در ترکیب برخی از محلول‌های اچ اسید فلئوئوریک وجود دارد. این ماده به هیچ وجه نباید با پوست یا ناخن شما تماس حاصل نماید. در صورت تماس سریعاً دست خود را با آب فراوان و صابون شسته، به کارشناس آزمایشگاه اطلاع دهید.

تجهیزات و وسایل موجود در آزمایشگاه

✓ ابزار و وسایل موجود در آزمایشگاه به شرح زیر می باشد:

۱. بوته: بوته‌های مورد استفاده از جنس آلومینا و گرافیت و کاربرد سیلیسی هستند و ذوب و نگهداری مذاب فلزات و آلیاژهای مورد آزمایش در داخل آنها انجام می‌شود.
۲. کوره‌ها: کوره‌هایی که در این آزمایشگاه برای تهیه ذوب استفاده می‌شوند، از نوع شعله‌ای (حداکثر تا دمای ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) و مقاومتی (حداکثر تا دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد) هستند.
۳. کمچه و انبر: برای جابه‌جایی بوته و قطعات یا نمونه‌های داغ استفاده می‌شوند.
۴. شمش: شمش‌های موجود در آزمایشگاه از جنس‌های آلومینیوم خالص تجاری، مس خالص تجاری، سرب خالص تجاری، آلومینیوم-۱۳٪ سیلیسیم، برنز آلومینیوم، چدن خاکستری و چدن داکتیل هستند. آلیاژهای دیگر در صورت نیاز با اختلاط مقادیر محاسبه شده این شمش‌ها ساخته می‌شود.
۵. ترمومتر: این دستگاه به همراه یک ترموکوپل برای اندازه‌گیری تماسی دمای مذاب استفاده می‌شود. نوع ترموکوپل مورد استفاده در این آزمایشگاه از نوع K است. در موقع اندازه‌گیری دمای مذاب ترموکوپل نباید به کف بوته برخورد کند. همچنین برای طول عمر ترموکوپل از یک پوشش سرامیکی استفاده می‌شود.
۶. آذرسنج (پیرومتر): این دستگاه برای اندازه‌گیری غیرتماسی دمای مذاب با اندازه‌گیری تشعشع مذاب استفاده می‌شود.
۷. انواع قالب: قالب‌هایی با ابعاد و جنس‌های متفاوت در آزمایشگاه وجود دارد که بر حسب نیاز و با راهنمایی کارشناس آزمایشگاه از آنها استفاده خواهد شد.
۸. در این آزمایشگاه از شش نوع قالب شامل زیر استفاده می‌شود.
 - قالب ماسه طبیعی
 - قالب ماسه مصنوعی با چسب سیلیکات سدیم (ماسه CO₂)
 - قالب ماسه رزینی (ماسه چراغی)
 - قالب ماسه با چسب فوران (روش چسب و اسید)
 - قالب فلزی از جنس فولاد با قطر و ارتفاع خارجی ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌متر
 - قالب آبگرد فلزی: این قالب دوجداره است و بین دوجداره آن، آب سرد حرکت می‌کند.
۹. انواع مدل‌های قالبگیری: مدل‌های متنوعی از جنس چوپ و آلومینیوم در آزمایشگاه موجود است که بر اساس آزمایش مورد نظر در اختیار شما قرار داده شده، براساس سطح جدایش و نیاز به ماهیچه‌گذاری قالبگیری می‌شوند.

۱۰. مبرد: در صورت لزوم، برای کاهش عیوب ریخته‌گری و جهت‌دار نمودن انجماد می‌توان از مبرد داخلی (از جنس آلایژ) و یا مبرد خارجی (از جنس مس یا فلزات آهنی) استفاده کرد.
۱۱. همزن: در صورت لزوم مذاب توسط یک میله از جنس گرافیت یا کاربید سیلیسیم خشک به هم‌زده می‌شود.
۱۲. سرباره‌گیر: از یک تسمه فولادی خشک، تمیز و ترجیحاً پوشش داده شده با مواد سرامیکی برای سرباره‌گیری استفاده می‌شود.
۱۳. گاززدا: در صورت لزوم برای گاززدایی مذاب از دمش گاز خنثی یا فرو بردن قرص‌های دگازر در مذاب استفاده خواهد شد.

✓ برای استفاده از کوره‌های آزمایشگاه به نکات ذیل توجه لازم مبذول دارید:

- درب کوره را زمانی که دمای کوره بالا است، باز نگه ندارید.
- موقع برداشتن و یا گذاشتن بوتله در کوره نباید به کف کوره ضربه وارد گردد.
- از آنجایی که جنس بدنه کوره اسیدی است، ترکیبات قلیایی (مس، برنج، برنز، ...) نباید در کف کوره ریخته شود.
- اگر مذاب در کف کوره ریخته شد باید در مرحله اول برق کوره قطع و یک جسم فلزی در درون مذاب گذاشته تا مذاب منجمد شود و سپس کف کوره را تمیز نمایید.

✓ در تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی برای آزمون‌های متالوگرافی و سختی‌سنجی به نکات زیر دقت نمایید:

- قبل از برش نمونه‌ها قسمت پایین و بالای خط برش را به گونه‌ای که توسط کارشناس آزمایشگاه گفته می‌شود کدگذاری نمایید.
- هنگام برش نمونه‌ها با اهر، از مایع خنک‌کننده دستگاه استفاده نمایید.
- سنباده‌زنی قطعات باید با دقت کافی صورت گیرد به صورتی که هیچ گونه خشی روی سطح باقی نماند.
- در موقع سنباده‌زنی آلومینیوم خالص نیروی زیادی بر نمونه وارد نکنید.

آزمایش شماره ۱

عنوان آزمایش: آشنایی با ریخته گری و انجماد فلزات

اهداف آزمایش

- آشنایی با تجهیزات، ابزارها و مواد لازم برای ذوب، قالبگیری و ریخته گری و انجماد فلزات
- آشنایی با اصول ایمنی در آزمایشگاه انجماد و ریخته گری
- آموزش ساخت قالب‌های موقت (ماسه‌ای)
- آموزش ساخت ماهیچه سرخود
- مطالعه حرکت مذاب در سیستم راهگامی و قالب با ریخته گری در قالب روباز
- ریخته گری یک نمونه فلانچ از جنس آلومینیوم

شرح آزمایش

در این آزمایشگاه، آزمایش‌هایی در مورد ریخته گری و انجماد مذاب آلیاژهای مختلف فلزی تحت شرایط متفاوت انجام شده و تاثیر پارامترهای ریخته گری و انجماد بر ساختار و خواص قطعات ریخته گری و نمونه‌های منجمد شده بررسی می‌شود.

در این جلسه با تجهیزات، ابزارها و مواد لازم برای ذوب، قالبگیری، ریخته گری و انجماد فلزات و اصول ایمنی لازم الاجرا در آزمایشگاه انجماد و ریخته گری آشنا خواهید شد. همچنین روش ساخت قالب با استفاده از ماسه طبیعی آموزش داده شده و دانشجویان اقدام به ساخت تعدادی قالب ماسه‌ای بسته یا روباز خواهند نمود. نهایتاً قالب‌ها با ریختن مذاب آلومینیوم در آنها پر می‌شوند.

در این آزمایش به چگونگی انجام موارد زیر دقت نمایید:

- ✓ انتخاب سطح جدایش مدل و قالب
- ✓ اختلاط مواد قالبگیری و تنظیم رطوبت ماسه
- ✓ قالبگیری و تنظیم استحکام قالب
- ✓ خارج سازی مدل از قالب
- ✓ نحوی ساخت ماهیچه سرخود
- ✓ خشک کردن قالب قبل از ذوب ریزی
- ✓ ریختن مذاب در قالب
- ✓ حرکت مذاب و پر شدن قالب در قالب‌های روباز

زمان و نحوه تخلیه قالب و خروج قطعه ✓
بررسی عیوب ظاهری قطعات منجمد شده ✓

آزمایش شماره ۲

عنوان آزمایش: ساخت قالب و ماهیچه‌های ریخته‌گری

اهداف آزمایش

- آموزش ساخت قالب و ماهیچه به روش‌های ماسه تر، ماسه CO₂، ماسه چراغی و روش فوران (چسب و اسید)
- آشنایی با قالب‌های دائم و قالب‌های آبگرد فلزی
- ساخت قالب‌های نمونه‌های انجماد با روش ماسه طبیعی و ماسه CO₂
- ساخت ماهیچه‌های قطعات ریخته‌گری با روش‌های ماسه CO₂، ماسه چراغی و فوران

شرح آزمایش

در این جلسه دانشجویان با روش ساخت قالب و ماهیچه به روش‌های ماسه طبیعی و ماسه مصنوعی مانند چسب سیلیکات سدیم (ماسه CO₂)، ماسه رزینی (ماسه چراغی) و فوران (روش چسب و اسید) و چگونگی استفاده از قالب دائم و قالب آبگرد فلزی آشنا می‌شوند. سپس دانشجویان اقدام به ساخت قالب‌های نمونه‌های انجماد (نمونه‌های استوانه‌ای شکل) مورد نیاز در طول ترم با ماسه طبیعی و ماسه مصنوعی و همچنین ساخت ماهیچه‌های قطعات ریخته‌گری مورد نیاز در طول ترم با روش‌های ماسه CO₂، ماسه چراغی و فوران خواهند نمود.

قالب و ماهیچه‌سازی با ماسه مصنوعی (ماسه CO₂)

قالب و ماهیچه‌های از جنس ماسه CO₂ از ماسه سیلیسی و چسب سیلیکات سدیم (آب شیشه) با فرمول شیمیایی Na₂SiO₃ · xH₂O و دمش گاز CO₂ به‌عنوان کاتالیزور ساخته می‌شوند. برای ساخت ماسه CO₂، ابتدا ماسه مصنوعی الک و وزن شده و در داخل میکسر ماسه ریخته می‌شود. سپس ماسه با مقدار مناسب چسب سیلیکات سدیم (حدود ۴ تا ۶ درصد وزنی) مخلوط شده و در ظرف‌های در بسته نگهداری و برای قالبگیری و ماهیچه‌سازی استفاده می‌شود. این مخلوط با دمش گاز CO₂ استحکام یافته و آماده مذاب‌ریزی می‌شود.

قالب و ماهیچه‌سازی با ماسه رزینی (ماسه چراغی)

مواد قالبگیری موسوم به "ماسه چراغی" از مخلوط ماسه سیلیسی مصنوعی و چسب رزین فنل فرمالدئید ساخته می‌شود و به‌صورت آماده در اختیار شما قرار دارد. برای ساخت قالب ماسه رزینی، ابتدا قالب و ماهیچه فلزی توسط مشعل تا حدود ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و سپس ماسه رزینی داخل آن ریخته می‌شود. پس از

آن، دور تا دور قالب به مدت زمان چند دقیقه توسط مشعل حرارت داده شده، تا رنگ ماسه رزینی کمی تغییر کند. نهایتاً قالب از مدل یا ماهیچه از جعبه ماهیچه جدا می‌شود.

قالب و ماهیچه‌های ساخته شده از روش فوران (روش چسب و اسید)

یکی از رایج‌ترین روش‌های چسب سرد، روش فوران است که برای قالب‌گیری و ماهیچه‌گیری استفاده می‌شود. در این روش از ماسه سیلیسی، حدود ۰/۸٪ تا ۱/۵٪ وزنی چسب فوران و نصف این مقدار اسیدسولفوریک به عنوان کاتالیزور یا یاردارنر استفاده می‌شود. دقت کنید که ابتدا باید ماسه و اسید به خوبی مخلوط و سپس چسب به آنها اضافه و مخلوط شود. دانه‌بندی ماسه بسته به جنس قطعه و وزن آن انتخاب می‌شود. وجود اکسیدهای قلیایی مانند اکسید سدیم که در ماسه‌های ایران وجود دارد، مصرف چسب و اسید را افزایش خواهد داد.

در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:

- ✓ اختلاط یکنواخت چسب سیلیکات سدیم با ماسه سیلیسی
- ✓ استحکام کششی کم قالب‌های ماسه CO₂ و چگونگی مقابله با آن
- ✓ گازدهی ماسه CO₂
- ✓ حرارت دهی قالب یا جعبه ماهیچه در روش ماسه چراغی
- ✓ ترتیب اختلاط چسب و اسید در روش فوران
- ✓ زمان خودگیری در روش‌های مختلف
- ✓ تفاوت نفوذپذیری قالب و ماهیچه‌های ساخته شده از روش‌های مختلف
- ✓ آماده‌سازی قالب‌های دائم و قالب‌های آبگرد فلزی

آزمایش شماره ۳

عنوان آزمایش: ریخته‌گری یک قطعه از جنس آلیاژ A356 و بررسی تاثیر سرعت سرد شدن بر ساختار انجمادی و سختی این آلیاژ

اهداف آزمایش

- قالبگیری و ریخته‌گری یک قطعه سه راهی از جنس آلیاژ A356 در قالب‌هایی از جنس ماسه طبیعی و با ماهیچه ساخته شده از ماسه CO₂
- ریخته‌گری ۴ نمونه انجمادی در قالب‌هایی از جنس ماسه طبیعی، ماسه CO₂، قالب دائم فولادی و قالب دائم فولادی آبگرد
- بررسی تاثیر سرعت سرد شدن بر ساختار انجمادی و سختی آلیاژ A356
- مروری بر اصول انجماد خمیری و پوسته‌ای

وسایل و مواد لازم

- کوره‌های الکتریکی مقاومتی و گازی
- شمش آلومینیوم خالص تجاری و شمش آلیاژ A356
- بوتنه‌های گرافیتی، انبر، کمچه، انواع قالب، ماهیچه CO₂
- پولیش و محلول اچ با ترکیب HF غلیظ (۱۵ ml)، HCl غلیظ (۴۵ ml)، HNO₃ غلیظ (۱۵ ml) و H₂O (۱ ml)
- (۲۵). این محلول در آزمایشگاه متالوگرافی در اختیار شما قرار دارد. البته می‌توانید از ترکیب‌های دیگری هم برای این کار استفاده کنید.

شرح آزمایش

در این آزمایش یک قطعه سه راهی در قالب‌هایی از جنس ماسه طبیعی و با ماهیچه ساخته شده از ماسه CO₂ قالبگیری و با مذاب آلیاژ A356 ریخته‌گری می‌شوند. همچنین چهار نمونه انجمادی از این آلیاژ در قالب‌هایی از جنس ماسه طبیعی، ماسه CO₂، قالب دائم فولادی و قالب دائم فولادی آبگرد ریخته‌گری شده و تاثیر سرعت سرد شدن بر ساختار انجمادی و سختی آلیاژ بررسی می‌شود.

کاربرد و ترکیب آلیاژ A356

آلیاژهای آلومینیوم A356 به دلیل داشتن خواص مکانیکی مطلوب نظیر سختی و استحکام بالا، سیالیت و قابلیت ریخته‌گری مناسب و مقاومت به خوردگی خوب کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف دارند. ترکیب شیمیایی استاندارد و یک نمونه آنالیز شیمیایی از یک شمش این آلیاژ در جدول ۱-۳ نشان داده شده است.

انعطاف‌پذیری آلیاژهای آلومینیوم A356 تابعی از مقدار ناخالصی‌های موجود در آلیاژ و خصوصیات ریزساختاری به خصوص ابعاد فاز سیلیسیم یوتکتیکی است. با اصلاح‌سازی ریز ساختار یوتکتیک در آلیاژهای آلومینیوم A356، خواص مکانیکی مطلوب نظیر سختی و استحکام، انعطاف‌پذیری و قابلیت ریخته‌گری آنها بهبود می‌یابد.

جدول ۱-۳: ترکیب شیمیایی استاندارد و یک شمش آلومینیوم A356

عنصر (درصد)	Al	Cu	Fe	Mg	Si	Ti	Zn
آنالیز استاندارد	۹۱/۱-۹۳/۳	</۲	</۲	/۲۵-/۴۵	۷/۵-۷/۵	</۲	</۰۱
آنالیز شمش	۹۲/۴۵	/۰۷	/۱۵	/۲۸	۷/۹۳	/۱۱	/۰۱

تئوری آزمایش

شرایط جوانه زنی فاز جامد از فاز مذاب در دمای کمتر از نقطه ذوب تعادلی ماده در درس انجماد مواد مورد بحث قرار گرفته است. در اینجا برخی از نکات کلیدی به طور خلاصه مرور می‌شود. برای بحث کامل موضوع به جزوه و مراجع این درس مراجعه نمایید.

تغییر انرژی آزاد سیستم در اثر تشکیل یک کلاستر کروی با شعاع r در مذاب به صورت زیر می‌باشد.

$$\Delta G_r = (4/3) \pi r^3 \Delta G_V + 4\pi r^2 \gamma$$

که در آن ΔG_V اختلاف انرژی آزاد حجمی بین فازهای جامد و مایع و γ انرژی لازم برای ایجاد یک سانتیمتر مربع از فصل مشترک است. تغییرات دو عبارت موجود در این رابطه و مجموع دو عبارت بر حسب r در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.

شعاع بحرانی (r^*) و سد انرژی (ΔG_r^*) مربوط به جوانه‌زنی از رابطه فوق به صورت زیر بدست می‌آید.

$$r^* = -2\gamma / \Delta G_V$$

$$\Delta G_r^* = 16\pi\gamma^3 / 3\Delta G_V^2$$

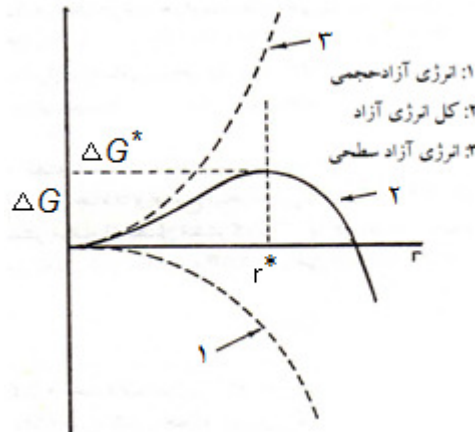
این روابط را می توان به صورت زیر بر حسب فوق تبرید مذاب ($\Delta T'$) بازنویسی کرد.

$$r^* = -2\gamma T_m / L_m \Delta T$$

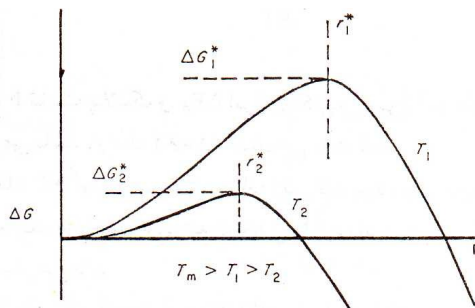
$$\Delta G_r^* = 16\pi\gamma^3 T_m^2 / 3L_m^2 \Delta T^2$$

جایی که L_m و T_m به ترتیب گرمای نهان ذوب و دمای ذوب تعادلی ماده هستند.

همان گونه که در شکل ۲-۳ دیده می شود، شعاع بحرانی جوانه زنی با افزایش فوق تبرید کاهش می یابد.



شکل ۱-۳: تغییر انرژی آزاد در اثر به وجود آمدن یک کلاستر کروی شکل جامد در درون مذاب



شکل ۲-۳: تاثیر کاهش دما بر شعاع بحرانی و کار جوانه زنی

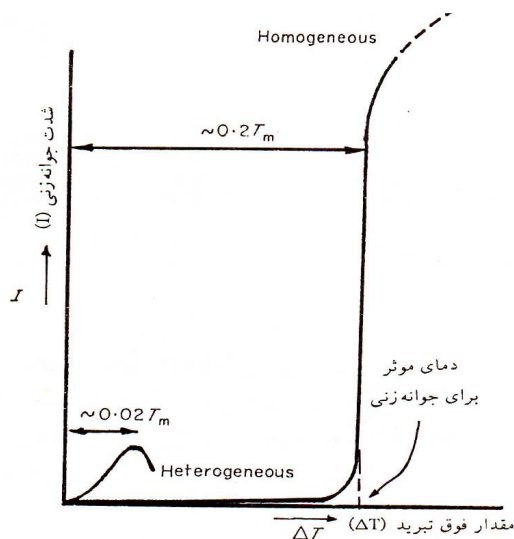
سرعت جوانه زنی (I)، یعنی تعداد جوانه تشکیل شده در یک سانتی متر مکعب مذاب در هر ثانیه به صورت رابطه زیر نوشته می شود.

$$I = I_0 \exp\left(\frac{-\Delta G_r^* + \Delta G_d}{KT}\right)$$

که در آن I_0 یک پارامتر تقریباً ثابت، ΔG_d انرژی اکتیواسیون انتقال اتم ها از مذاب به جامد، T دمای مذاب و K ثابت بولتزمن می باشد. بر اساس روابط فوق، می توان تغییرات سرعت جوانه زنی با فوق تبرید را به صورت

¹ Supercooling, Undercooling

شکل ۳-۳ نشان داد. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش فوق تبرید (کاهش دمای مذاب) تا یک مقدار مشخص، سرعت جوانه زنی به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. این فوق تبرید در شرایط جوانه‌زنی همگن حدود ۰/۲ نقطه ذوب تعادلی و در شرایط جوانه‌زنی غیر همگن حدود ۰/۰۲ نقطه ذوب تعادلی تخمین زده می‌شود. البته در صورت افزایش شدید فوق تبرید و نزدیک شدن به دمای صفر مطلق سرعت جوانه‌زنی به سمت صفر می‌رود.



شکل ۳-۳: تاثیر فوق تبرید بر سرعت جوانه زنی

در جوانه زنی غیر همگن افزایش ناگهانی سرعت جوانه زنی با شیب کم تری انجام می‌شود و پس از رسیدن به یک مقدار حداکثر مجدداً کاهش یابد. علت این مسئله کاهش تدریجی مکان‌های مناسب برای جوانه‌زنی با شروع جوانه‌زنی است.

افزایش سرعت سرد کردن مذاب موجب افزایش فوق تبرید مذاب و در نتیجه افزایش سرعت جوانه‌زنی در مذاب می‌شود. در نتیجه فاصله‌ای که هر دانه تا قبل از برخورد به دانه مجاور خود ممکن است رشد کند کوچک بوده و دانه‌های حاصل قطری کمتر و ساختار انجمادی ظریف‌تر خواهد بود.

مراحل آزمایش

ریخته‌گری قطعه سه‌راهی

در این قسمت حدود ۱۰ کیلوگرم از آلیاژ A356 را در بوتله قرار داده و با استفاده از کوره گازی ذوب نمایید. همزمان قالبی ماسه‌ای با ماهیچه‌ای از ماسه CO₂ برای ریخته‌گری قطعه سه‌راهی آماده کنید. پس از خشک کردن، بستن و وزنه‌گذاری قالب‌ها، مذاب آلیاژ A356 را در دمای ۷۲۰ سانتی‌گراد در قالب‌ها بریزید. قبل از ریختن مذاب آن را با گاز آرگون گاززدایی کنید.

ریخته‌گری قطعات استوانه‌ای

- ۱- در قسمت اول این آزمایش، حدود ۱۲۰۰ گرم آلومینیوم خالص تجاری (خلوص حدود ۹۹/۸ درصد) را داخل بوته قرار داده و در داخل کوره مقاومتی در دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار دهید تا ذوب شود. سپس پنج قالب ماسه‌ای، رزینی، ماسه CO₂، فلزی و فلزی آبگرد را به ترتیب و با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر روی یک خط قرار داده و پس از اندازه‌گیری درجه حرارت مذاب، مذاب آلومینیوم را درون هر یک از قالب‌ها ریخته و بگذارید تا سرد شود. سپس نمونه‌ها را مقطع عرضی زده، سختی هر یک را اندازه بگیرید. نهایتاً نمونه‌ها را پولیش و اچ ماکروسکوپی کرده و از ساختار آنها تصویربرداری کنید.
- ۲- در این قسمت حدود ۱۲۰۰ گرم از آلیاژ A356 را در کوره و در دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار دهید. جهت جلوگیری از جدایش ثقلی عناصر، قبل از ریخته‌گری مذاب را هم بزنید. سپس مشابه قسمت قبل پنج نمونه از مذاب آلیاژ A356 را در درجه حرارت ۷۲۰ درجه سانتی‌گراد در پنج قالب ماسه‌ای، رزینی، ماسه CO₂، فلزی و فلزی آبگرد بریزید. پس از سرد شدن، نمونه‌ها را مورد آزمون سختی سنجی و بررسی ساختار ماکروسکوپی قرار دهید.

در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:

- ✓ ترکیب شیمیایی آلیاژ A356 بر اساس یکی از استانداردهای معتبر نظیر استاندارد ASTM یا DIN
- ✓ تاثیر نوع قالب و سرعت سرد کردن مذاب بر ساختار انجمادی قطعات استوانه‌ای
- ✓ تاثیر ترکیب شیمیایی بر ساختار انجمادی قطعات استوانه‌ای (با توجه به دیاگرام فازی Al-Si)
- ✓ ترتیب افزایش سرعت سرد شدن در قالب‌های مختلف
- ✓ تفاوت ضریب نفوذ حرارتی قالب ماسه‌ای و فلزی
- ✓ تفاوت تغییر شکل سطح مذاب با زمان در قالب‌های مختلف
- ✓ تفاوت انجماد خمیری و پوسته‌ای و تاثیر سرعت سرد کردن مذاب بر آن

آزمایش شماره ۴

عنوان آزمایش: تاثیر جوانه‌زایی بر ساختار انجمادی و سختی آلومینیوم خالص تجاری

اهداف آزمایش

- مروری بر مبانی جوانه‌زنی غیرهمگن و جوانه‌زایی
- بررسی تاثیر جوانه‌زایی بر ساختار انجمادی و سختی آلومینیوم خالص تجاری
- بررسی تاثیر مقدار ماده جوانه‌زا بر ساختار انجمادی و سختی آلومینیوم خالص تجاری
- بررسی تاثیر دما بر ساختار انجمادی و سختی آلومینیوم خالص تجاری
- بررسی تاثیر زمان ماند پس از جوانه‌زایی بر ساختار انجمادی و سختی آلومینیوم خالص تجاری

وسایل و مواد لازم

- ✓ کوره الکتریکی مقاومتی
- ✓ شمش آلومینیوم خالص تجاری
- ✓ ماده جوانه‌زا قرص نئوکولانت (برن - تیتانیم)
- ✓ بوتنه ، انبر ، دستکش نسوز، ترازو
- ✓ محلول اچ ماکرو

شرح آزمایش

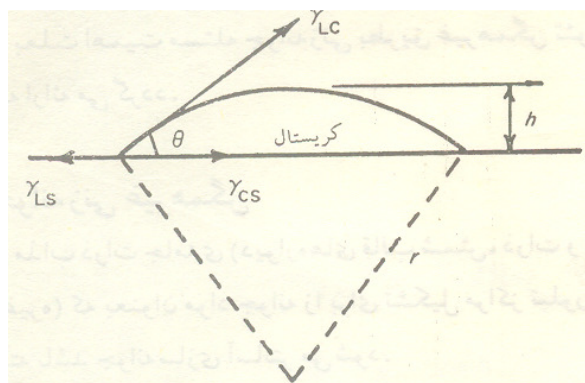
در این آزمایش تاثیر جوانه‌زایی، مقدار ماده جوانه‌زا، دمای افزودن ماده جوانه‌زا و زمان ماند پس از جوانه‌زایی (میرایی) بر ساختار انجمادی و سختی آلومینیوم خالص تجاری مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

تئوری آزمایش

تئوری جوانه‌زنی غیرهمگن در درس انجماد مواد مورد بحث قرار گرفته است. در اینجا برخی از نکات کلیدی به طور خلاصه مرور می‌شود. برای بحث کامل موضوع به جزوه و مراجع این درس مراجعه نمایید.

مشخصات جوانه‌زنی همگن در تئوری آزمایش شماره ۳ مرور شد. در شرایط عملی بدلیل وجود دیواره‌های قالب و ذرات خارجی در تماس یا درون مذاب، جوانه‌زنی همیشه به صورت غیرهمگن انجام می‌شود. اگر مذاب ماده‌ای در تماس با سطح یک عامل خارجی باشد و یک کلاستر به شکل عرقچین با شعاع r و با زاویه

تماس θ روی آن تشکیل شود (شکل زیر)، شعاع بحرانی جوانه‌زنی غیر همگن (r_{Het}^*) و سد انرژی جوانه‌زنی غیر همگن ($\Delta G_{r_{Het}}^*$) از روابط زیر بدست می‌آید که $f(\theta)$ تابعی وابسته به θ و کمتر از یک است.



شکل ۴-۱: عرقچین کروی جامد که بر سطح یک جسم خارجی مسطح در مذاب به وجود آمده است

$$r_{Het}^* = -2\gamma_{LC} / \Delta G_V$$

$$\Delta G_{r_{Het}}^* = (16\pi\gamma_{LC}^3 / 3\Delta G_V^2) \cdot f(\theta)$$

میزان اثر هر سطح خارجی بر جوانه‌زنی تابعی از زاویه تماس است. هنگامی که فصل مشترک بین فاز جامد و سطح خارجی دارای انرژی سطحی کمی باشد، زاویه θ کوچک خواهد بود و تحت این شرایط اتم‌های فلز مایع به سهولت و با مقدار کمی فوق تبرید، روی سطح عامل خارجی جوانه جامد را تشکیل می‌دهند.

ریز کردن دانه‌ها معمولاً باعث افزایش خواص مکانیکی قطعات می‌شود. اغلب فلزات و آلیاژهای تجاری دارای تعداد کافی ناخالصی‌های غیرقابل انحلال هستند که باعث شروع جوانه‌زنی غیر همگن در فوق تبریدهای کم (چند درجه سانتی‌گراد) گردد. اگر برای مقاصد خاصی تعداد سطوح موجود در مذاب کافی نباشد ممکن است برای ریز کردن دانه‌ها از تلقیح عوامل جوانه‌زا به مذاب استفاده کرد.

یک ماده جوانه‌زا ماده‌ای است که جهت ایجاد سطوح مناسب برای جوانه‌زنی به مذاب اضافه می‌شود. این مواد معمولاً پس از حل شدن در مذاب با برخی عناصر موجود در مذاب واکنش داده و ترکیبات غیر محلول پایدار با زاویه تماس کوچک در مذاب ایجاد می‌کنند. میزان و راندمان جوانه‌زایی، ساختمان نهایی و خواص ماده منجمد شده را تعیین می‌نماید.

در جدول ۴-۱ برخی عوامل جوانه‌زای مورد استفاده برای فلزات مختلف دیده می‌شود. برای مثال از ترکیبات زیرکونیم‌دار برای جوانه‌زنی آلیاژهای منیزیم، از ترکیبات تیتانیم و بر برای جوانه‌زنی آلیاژهای آلومینیوم، از ترکیبات آهن برای جوانه‌زنی برخی آلیاژهای مس و از ترکیبات سیلسیم‌دار برای جوانه‌زنی چدن خاکستری استفاده می‌شود.

هرچه زمان بین مرحله جوانه‌زنی و انجماد طولانی باشد، و یا دمای مذاب در هنگام افزودن ماده جوانه‌زا بیشتر باشد، تاثیر جوانه‌زایی کاهش می‌یابد و دانه‌ها بزرگتر می‌شوند. به این مسئله "میرایی" می‌گویند. علاوه بر این، افزایش سرعت سرد کردن مذاب نیز با افزایش فوق تبرید مذاب موجب ریز شدن ساختار انجمادی می‌شود. روش‌های دیگری هم برای کنترل دانه بندی قطعات بکار می‌رود که در آزمایشات بعدی در مورد آنها صحبت خواهد شد.

<i>Metal or alloy</i>	<i>Grain refiner</i>	<i>Comments</i>
Magnesium and Mg-Zr alloys	Zirconium added as alloy or salts	Zr or Zr-enriched Mg peritectic nuclei
Magnesium-aluminium	Carbon, for example as hexachlorethane	Al_4C_3 or $Al_3Al_4C_3$ nuclei
Magnesium-aluminium	Superheating	In presence of C, Al_4C_3 and/or Al-Mn nuclei
Magnesium-aluminium-manganese	$FeCl_3$	Fe-Al-Mn or Al_4C_3 nuclei
Mg Zn	$FeCl_3$ or Zn-Fe	Fe compound nuclei
Mg Zn	NH_3	Nucleated by H_2 (?)
Al alloys	Ti as reducible halide salts or as Al-Ti hardener	TiC nucleus or peritectic $TiAl_3$
Al alloys	Ti + B as reducible halide salts or as Al-Ti-B hardener	TiB_2 nuclei, more resistant to melt history
Al alloys	Boron as reducible halide salts or Al-B	AlB_2 nuclei
Al alloys	Niobium	
Cu alloys	Fe metal or alloy	Fe-rich peritectic nuclei
Bronzes	Transition nitrides and borides or FeB	
Cu- Al_2Cu eutectic	Titanium	Nucleates primary Al
Cu-7%Al	Mo, Nb, W, V	
Cu-9%Al	Bi	
Low alloy steel	Titanium	
Low alloy steel	Transition elements and carbides	
Silicon steel	TiB_2	Dissolves and precipitates TiN or TiC
Low alloy steel	Fe powder	Introduction of microchilling particles
Austenitic steel	$CaCN_2$, nitrated Cr and other metallic powders	In presence of increased nitrogen
Tin alloys	Germanium or indium	
Lead alloys	S	
Lead alloys	Se, Te	
Type metal	As, Te	
Monel	Lithium	
Al-Si hypereutectic	Phosphorus as Cu-P, $PnCl_2$ or proprietary inoculant	Refines primary Si
Fe-C (graphite)	Carbon	Refines eutectic, probably through nucleating graphite
Fe-C-Si (graphite)		
Grey cast iron		
Grey cast iron	Si alloys containing aluminium, alkaline earths and/or rare earths	Refines eutectic, may nucleate through precipitation of carbides or graphite

جدول ۴-۱: عناصر جوانه را در آلیاژها

مراحل آزمایش

ریخته‌گری قطعات استوانه‌ای

این آزمایش از سه قسمت تشکیل شده است و هدف آن بررسی اثر مواد جوانه‌زا بر ساختار انجمادی قطعات آلومینیومی در شرایط مختلف می‌باشد.

۱- در قسمت اول تاثیر مقدار ماده جوانه‌زا بر ریزساختار نمونه‌های استوانه‌ای در درجه حرارت ثابت بررسی می‌شود. در این آزمایش چهار نمونه آلومینیومی که به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۱ و ۰/۱۵ و ۰/۲۵ درصد مواد جوانه‌زا به آنها اضافه شده است در درجه حرارت ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد در قالب ماسه ای ریخته می‌شوند.

برای انجام این آزمایش در چهار بوتله مجزا در هر یک ۲۰۰ گرم آلومینیوم وزن کرده و آنها را در کوره در دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار دهید. پس از آماده شدن ذوب، مقدار مواد جوانه‌زای لازم را وزن نموده و هر یک را به مذاب اضافه کنید و پس از هم زدن، در قالب ماسه ای بریزید. نمونه‌ها را شماره‌گذاری کرده و مقطع عرضی بزنید و پولیش و اچ ماکروسکوپی نمایید.

۲- در قسمت دوم اثر درجه حرارت ریخته‌گری بر تاثیر ماده جوانه‌زا بررسی می‌گردد. در این آزمایش دو نمونه آلومینیومی که هر کدام دارای ۰/۱۵ درصد ماده جوانه‌زا هستند، به ترتیب از درجه حرارت‌های ۷۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در قالب ماسه‌ای ریخته می‌شوند.

ابتدا در دو بوتله مجزا در هر یک ۲۰۰ گرم آلومینیوم وزن کرده و یکی را به درجه حرارت ۷۰۰ و دیگری را به درجه حرارت ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد برسانید. سپس با اضافه کردن ماده جوانه‌زا به میزان ۰/۱۵ درصد، آنها را همزده و در قالب ماسه ای بریزید. پس از شماره‌گذاری نمونه‌ها را مقطع عرضی زده، پولیش و اچ ماکروسکوپی کنید..

۳- در قسمت سوم اثر زمان ماند بر تاثیر ماده جوانه‌زا بررسی می‌گردد. برای انجام این قسمت مقدار ۸۰۰ گرم آلومینیوم را وزن کرده و پس از ذوب و رسیدن به دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار ۰/۱۵ درصد به آن ماده جوانه‌زا اضافه نمایید و در فواصل زمانی آغاز ذوب ریزی (صفر)، ۵، ۱۵ و ۲۵ دقیقه نمونه‌هایی در قالب‌های ماسه‌ای بریزید. پس از شماره‌گذاری نمونه‌ها را مقطع عرضی زده، پولیش و اچ ماکروسکوپی کنید.

در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:

✓ فاکتورهای اساسی که در انتخاب یک ماده جوانه‌زای مناسب برای یک فلز یا آلیاژ بخصوص بایستی مدنظر قرار گیرند

- ✓ مواد جوانه‌زای مناسب برای فلزات و آلیاژهای صنعتی
- ✓ تابع $f(\theta)$ و تغییرات آن با θ
- ✓ کاربردهایی که استفاده و یا عدم استفاده از مواد جوانه‌زا توصیه می‌شود
- ✓ تاثیر مقدار ماده جوانه‌زا بر ساختار انجمادی و سختی نمونه‌ها
- ✓ تاثیر دما بر ساختار انجمادی و سختی نمونه‌ها
- ✓ تاثیر زمان ماند پس از جوانه‌زایی بر ساختار انجمادی و سختی نمونه‌ها

آزمایش شماره ۵

عنوان آزمایش: تاثیر ارتعاش بر ساختار انجمادی آلومینیوم خالص تجاری

اهداف آزمایش

- مروری بر مبانی جوانه‌زنی دینامیکی
- بررسی تاثیر ارتعاش بر ساختار انجمادی آلومینیوم خالص تجاری
- بررسی تاثیر زمان و اعمال ارتعاش و حضور لایه توری میانی بر ساختار انجمادی آلومینیوم خالص

وسایل و مواد لازم

- ✓ شمش‌های آلومینیم خالص تجاری و آلومینیوم-سیلیسیم یوتکتیک
- ✓ کوره الکتریکی مقاومتی و بوت‌ه گرافیتی، لیوان استیل، توری فولادی
- ✓ دستگاه ویراسیون

شرح آزمایش

تاثیر اعمال ارتعاش بر مذاب در حین انجماد در درس انجماد مواد مورد بحث قرار گرفته است. در اینجا برخی از نکات کلیدی به طور خلاصه مرور می‌شود. برای بحث کامل این موضوعات به جزوه و مراجع این درس مراجعه نمایید.

آنچه در تئوری آزمایش‌های قبلی گفته شد، در مورد انجماد مایعات ساکن و در شرایط استاتیک بود. مشاهدات تجربی نشان داده است که اعمال شرایط دینامیکی بر مذاب در حین انجماد، از جمله اعمال تلاطم یا ارتعاش، می‌تواند منجر به ریز شدن ساختار انجمادی نسبت به شرایط مشابه استاتیکی شود. نشان داده شده است که تلاطم ناشی از هر یک از این شرایط دینامیکی می‌تواند منجر به تکه‌تکه شدن ذرات جامد در حال رشد (مکانیزم تکثیر کریستالی^۱) شود. در واقع تلاطم بر جوانه‌زنی اولیه ذرات جامد در مذاب تاثیر چندانی نمی‌گذارد ولی موجب افزایش مراکز رشد در مرحله رشد می‌شود.

از طرفی نشان داده شده است که اگر ارتعاش وارد بر مذاب از شدت، فرکانس و دامنه ارتعاش مناسب برخوردار باشد، موجب رخ دادن پدیده حفره‌زایی^۲ در مذاب می‌شود. این پدیده به صورت‌های مختلف از جمله تاثیر بر نقطه ذوب ماده منجر به تشدید جوانه‌زنی در مذاب می‌شود. متداول‌ترین راه برای ایجاد حفره‌زایی

¹ Crystal multiplication

² Cavitation

در مذاب استفاده از امواج مافوق صوت^۱ است. بیشترین تاثیر ارتعاش بر ساختار مواد زمانی حاصل می شود که بر مذاب فوق تبرید شده اعمال گردد.

مراحل آزمایش

آزمایش ها در سه بخش انجام می شود.

- ۱- در این قسمت اثر اعمال ارتعاش از قبل از شروع انجماد تا پایان انجماد بر ساختار انجمادی بررسی می شود. به این منظور، آلیاژی از آلومینیم و ۳ درصد سیلیسیم تهیه کرده و پس از ذوب، این آلیاژ را از درجه حرارت ۸۰۰ درجه سانتی گراد به داخل قالب لیوانی شکل استیل که تا ۴۰۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شده است بریزید. ریختن مذاب در حالی صورت می گیرد که دستگاه ویراسیون در حال ارتعاش است. ارتعاش را تا پایان انجماد ادامه داده، نمونه به دست آمده را مقطع طولی زده، شماره گذاری، پولیش و اچ ماکروسکوپی کنید.
- ۲- در این قسمت اثر اعمال ارتعاش بعد از شروع انجماد مورد بررسی قرار می گیرد. آلیاژی با ترکیب قبلی را پس از ذوب در درجه حرارت ۸۰۰ درجه سانتی گراد در داخل قالب لیوانی شکل استیل که تا ۴۰۰ درجه سانتی گراد پیش گرم شده ریخته و پس از گذشت یک دقیقه دستگاه ویراسیون را به کار اندازید. ارتعاش را تا پایان انجماد ادامه دهید، نمونه را مقطع طولی زده، شماره گذاری، پولیش و اچ ماکروسکوپی کنید.
- ۳- آلیاژ را تحت شرایط مشابه حالت ۱ ذوب و داخل قالب لیوانی شکل استیل که در وسط آن یک توری فلزی استوانه ای قرار دارد ریخته، تحت ارتعاش قرار دهید. پس از پایان انجماد نمونه را مقطع طولی شماره گذاری، پولیش و اچ ماکروسکوپی کنید. هدف از این آزمایش، بررسی این مسئله است که آیا مانع توری در داخل مذاب می تواند منجر به شکسته شدن سرشاخه های دندریت ها شود و اینکه آیا ارتعاش باعث جدا شدن جوانه ها از سطح مذاب هم می شود یا فقط بر دیواره های قالب تاثیر دارد.

در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:

- ✓ مکانیزم های تکثیر کریستالی و حفره زایی در حین انجماد
- ✓ تاثیر زمان و مدت اعمال ارتعاش و حضور لایه توری میانی بر ساختار انجمادی آلومینیوم خالص
- ✓ روش های اعمال ارتعاش بر مذاب و کاربرد عوامل دینامیکی در کنترل ساختار قطعات ریختگی
- ✓ معایب احتمالی اعمال ارتعاش در حین انجماد

^۱ Ultrasonic

آزمایش شماره ۶

عنوان آزمایش: تخمین مقدار گاز حل شده در مذاب توسط آزمون RPT و رسم منحنی دما-زمان در حین انجماد چند آلیاژ آلومینیومی

اهداف آزمایش

- مروری بر گاززدایی مذاب
- آموزش آزمون RPT (Reduced Pressure Test) در تعیین کیفی مقدار گاز حل شده در مذاب
- بررسی تاثیر گازدهی و گاززدایی از مذاب آلومینیوم خالص تجاری بر نتایج آزمون RPT
- آموزش رسم منحنی دما-زمان در حین انجماد و استفاده از آن برای تعیین دماهای لیکوئیدوس، سالیدوس و استحاله‌های فازی
- رسم منحنی‌های دما-زمان برای آلومینیوم خالص تجاری و آلیاژهای Al-Si و Al-7wt%Si یوتکتیک و تعیین دماهای لیکوئیدوس، سالیدوس و استحاله یوتکتیکی
- آموزش چگونگی تعیین پیشرفت جبهه انجماد و انجام آزمون تخلیه مذاب سرب و یا آلیاژ Al-Cu

وسایل و مواد لازم

- ✓ شمش‌های آلومینیوم خالص تجاری و آلومینیوم-سیلیسیم یوتکتیک
- ✓ شمش‌های مس خالص تجاری و سرب خالص تجاری
- ✓ کوره موفلی
- ✓ دستگاه ویراسیون
- ✓ دستگاه RPT
- ✓ دستگاه ثبت دما و زمان (Data logger)
- ✓ بوته گرافیتی، لیوان استیل، قالب‌های ماسه‌ای و فلزی،
- ✓ عامل افزایش دما
- ✓ گاززدا قرص دگازر (هگزا کلرواتان) ساخت شرکت فوسکو

شرح آزمایش

موضوع جذب گاز در مذاب، گاززدایی از مذاب، تغییرات دما-زمان در هنگام انجماد مواد و رشد فصل مشترک مذاب-جامد در درس انجماد مواد مورد بحث قرار گرفته است. در اینجا برخی از نکات کلیدی به طور خلاصه مرور می‌شود. برای بحث کامل این موضوعات به جزوه و مراجع این درس مراجعه نمایید.

جذب گاز در مذاب و آزمون RPT: جذب گاز در مذاب یکی از مشکلات صنایع ریخته‌گری است. با سرد شدن مذاب در حین انجماد و تبدیل فاز مایع به جامد حد حلالیت گازهای جذب شده در مذاب کاهش یافته و گاز مازاد بر حد حلالیت به صورت حباب ماکروسکوپی آزاد شده منجر به عیوب گازی در قطعات و کاهش خواص مکانیکی، کاهش مقاومت به خوردگی و نشستی آنها می‌شود. به این دلیل بایستی قبل از ریخته‌گری گاز حل شده در مذاب را تا حد قابل انحلال در فاز جامد در دمای اتاق کاهش داد. روش‌های متنوعی برای گاززدایی مذاب وجود دارد. همچنین روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری کمی و کیفی مقدار گاز جذب شده در مذاب وجود دارد. روش RPT روشی کارگاهی برای اندازه‌گیری کیفی مقدار گاز حل شده در مذاب است. مقدار گاز جذب شده در مذاب از شکل و مقدار بالا آمدن سطح مذاب قرار گرفته تحت یک خلا جریئی و مقدار تخلخل‌های ایجاد شده در نمونه‌های منجمد شده تخمین زده می‌شود.

تغییرات دما-زمان در حین انجماد: با ریختن مذاب درون قالب دمای آن کاهش یافته و پس از رسیدن به یک فوق‌تبرید مشخص جوانه‌زنی شروع می‌شود. در ادامه جوانه‌های تشکیل شده رشد کرده و نهایتاً انجماد معمولاً با انجام یک استحالته مذاب به جامد، مثل استحالته یوتکتیک یا پریتکتیک، پایان می‌یابد. هر یک از این رخدادها بر سرعت سرد شدن مخلوط مذاب و جامد و شکل منحنی دما-زمان تاثیر می‌گذارد. در نتیجه با ثبت و رسم تغییرات دما با زمان در حین انجماد می‌توان اطلاعات مهمی در مورد دمای شروع انجماد، دمای پایان انجماد و دما و ترکیب مذاب در استحالته‌های انجام شده به دست آورد.

ثبت و رسم تغییرات دما با زمان می‌تواند به صورت دستی با استفاده از یک ترمومتر و ساعت یا به صورت اتوماتیک با استفاده از تجهیزات و نرم‌افزارهای تخصصی¹ انجام گیرد.

سرعت پیشرفت جبهه انجماد: یکی از مسایل مهم در انجماد مواد سرعت پیشرفت جبهه انجماد، یا به عبارتی سرعت افزایش ضخامت لایه منجمد شده با زمان در حین انجماد، است. این عامل نه تنها بر سرعت تولید بلکه بر ساختار انجمادی و عیوب داخلی قطعات نیز تاثیر می‌گذارد. تعیین سرعت پیشرفت جبهه انجماد بر اساس محاسبات تئوری انتقال حرارت و آزمایش‌های عملی انجام می‌گیرد.

¹ Data logger, Date acquisition system

در انجماد فلزات در ساده‌ترین حالت، با فرض این که فلز و قالب هر دو نیمه بی‌نهایت و درجه حرارت فصل مشترک فلز و قالب ثابت باشد و فلز مذاب در ابتدا در نقطه ذوب خود قرار داشته باشد، می‌توان رابطه زیر را بین ضخامت لایه منجمد شده (D) و زمان انجماد (t) به دست آورد.

$$D = q\sqrt{t}$$

که در آن q ضریب ثابت انجماد و برابر $1.128[b(\theta_i - \theta_0)/L\gamma]$ است. L ، γ و b به ترتیب گرمای نهان ذوب، دانسیته فلز جامد و قابلیت نفوذ حرارتی است. قابلیت نفوذ حرارتی برابر $\sqrt{k\gamma C}$ است که k و C به ترتیب قابلیت هدایت حرارتی و گرمای ویژه هستند.

هرچند رابطه فوق برای یک شرایط فرضی به دست آمده است، ولی پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که ضخیم شدن پوسته منجمد شده با ریشه زمان تقریب معتبری است. به طور نمونه، آزمایش‌های تجربی نشان داده است که برای برخی آلیاژهای آلومینیم، مس، منیزیم و روی که با ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد فوق‌گداز در قالب ماسه ای ریخته شده‌اند، نتایج را می‌توان به صورت زیر نشان داد.

$$D = q\sqrt{t} - c$$

در جایکه q و c مقادیری ثابت هستند. مقدار ثابت q توسط اندازه قطعه ریختگی و سرعت جذب حرارت تعیین می‌گردد و ثابت c به مقدار زیادی به مقدار فوق‌گداز بستگی دارد.

چرنیف^۱ نشان داد که برای مذابی که با فوق‌گداز ریخته می‌شود، زمان لازم برای انجماد از رابطه زیر (رابطه چرنیف) پیروی می‌کند که V حجم قطعه و A سطح تماس قالب و فلز برابر است. به نسبت V/A مدول قطعه گفته می‌شود.

$$t = \left(\frac{V}{A}\right)^2 \times Const$$

از نظر آزمایشگاهی، سه روش زیر برای اندازه‌گیری سرعت پیشرفت جبهه انجماد وجود دارد.

(۱) روش خالی کردن:

در این روش قالب را از مذاب پر کرده پس از گذشت زمانی معین آن را تخلیه می‌کنند و ضخامت متوسط لایه منجمد شده را پس از مقطع زدن اندازه‌گیری می‌کنند.

(۲) اندازه‌گیری درجه حرارت مذاب:

در این روش با استفاده از ترموکوپل‌هایی تغییر درجه حرارت مذاب در فواصل مشخصی از جداره قالب با زمان اندازه‌گیری می‌شود. از روی منحنی‌های به دست آمده می‌توان زمان شروع انجماد هر فاصله از جداره قالب را تعیین و منحنی D بر حسب t را رسم کرد.

^۱ Chvorinov equation

۳) اندازه گیری سرعت انجماد با آلیاژ کردن:

در این روش از تعدادی قالب مشابه استفاده و مذاب در شرایط کاملاً یکسان در همه آنها ریخته می شود. پس از چند ثانیه تأمل، مقدار کمی از مذاب یک عنصر آلیاژی که قبلاً در یک کوره جداگانه آماده شده است به قالب اول اضافه می شود (مثلاً افزودن روی مذاب به مذاب آلومینیوم). به قالب های دیگر هم به ترتیب بعد از ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ ... ثانیه تأمل، مذاب عنصر آلیاژی افزوده می شود. پس از مقطع زدن، سطح نمونه ها پولیش و اچ می شود. فصل مشترک لایه منجمد شده قبل از اضافه کردن عنصر آلیاژی و پس از آن تعیین و ضخامت متوسط لایه منجمد شده اندازه گیری می شود.

مراحل آزمایش

آزمایش ها در چند بخش به صورت زیر انجام می گیرد.

الف) آزمایش RPT

ابتدا مقدار ۶۰۰ گرم آلومینیوم خالص در سه بوته در دمای ۷۵۰ درجه سانتی گراد در کوره الکتریکی آماده کنید. سپس مقدار گاز هیدروژن حل شده در مذاب موجود در بوته اول و دوم را به روشی که در آزمایشگاه گفته خواهد شد، افزایش دهید.

سپس مذاب بوته اول را در یک قالب فلزی ریخته گری کنید و اجازه دهید منجمد شود. بوته دوم را در داخل قالب فلزی دیگری ریخته، درون محفظه اعمال خلا گذاشته و توسط پمپ خلاء فشار داخل محفظه را کاهش دهید تا گازهای داخل مذاب خارج شود. قالب را تا پایان انجماد تحت خلا نگهدارید. در پایان بوته سوم را با گاز بی اثر آرگون یا قرص دگازور گاززدایی کرده و مذاب آن را در یک قالب فلزی بریزید. این قالب را هم درون محفظه اعمال خلا گذاشته و توسط پمپ خلاء فشار داخل محفظه را کاهش دهید. قالب را تا پایان انجماد تحت خلا نگهدارید.

در پایان هر سه نمونه را کدگذاری کرده و قبل و پس از برشکاری مورد بررسی چشمی قرار دهید.

ب) رسم منحنی دما-زمان

در این آزمایش منحنی سرد شدن مذاب (منحنی دما-زمان) برای سه نمونه آلومینیوم خالص و آلومینیوم با ۷ و ۱۳ درصد وزنی سیلیسیم رسم می شود. پس از خشک کردن قالب، یک ترموکوپل پوشش داده شده داخل هر قالب قرار داده و ثابت کنید. سپس دستگاه دیتالاگر یا ترمومتر را روشن کرده و هر مذاب را با فوق گداز مشخص به داخل قالب مربوطه بریزید و تغییرات دما با زمان هر مذاب را ثبت و رسم کنید.

ج) بررسی پیشرفت جبهه انجماد

در این قسمت مقداری سرب مذاب را در یک قالب ماسه‌ای رزینی ریخته و پس از تأمل یک تا دو دقیقه، مذاب باقی مانده را تخلیه کنید. سعی کنید ساختار دندریتی و دندریتهای ستونی رشد کرده روی دیواره‌های قالب را مشاهده کنید.

همین کار با یک آلیاژ Al-40wt%Cu تکرار کنید و تفاوت ساختار انجمادی باقیمانده با حالت قبل را بررسی کنید.

در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:

- ✓ روش‌های گاززدایی از مذاب
- ✓ تاثیر گازدهی و گاززدایی از مذاب آلومینیوم بر نتایج آزمون RPT
- ✓ تفاوت‌های منحنی‌های دما-زمان انجماد برای آلومینیوم خالص و آلیاژهای Al-Si و Al-7wt%Si یوتکتیک
- ✓ تعیین دماهای لیکوئیدوس، سالدوس و استحاله یوتکتیکی هر آلیاژ
- ✓ خطاهای موجود در آزمایش رسم منحنی‌های دما-زمان
- ✓ شکل کریستال‌های جامد در حال رشد در آلیاژ Al-Cu و سرب
- ✓ بررسی درستی رابطه $D = q\sqrt{t} - c$
- ✓ محاسبه مدول قطعه (V/A) برای اشکال هندسی مختلف و مقایسه زمان انجماد آنها با استفاده از رابطه چرنیف

آزمایش شماره ۷

عنوان آزمایش: اندازه‌گیری سیالیت ریخته‌گری و بررسی عوامل موثر بر آن

اهداف آزمایش

- مرور بر مبانی سیالیت ریخته‌گری و عوامل موثر بر آن
- آموزش آزمون اسپیرال برای اندازه‌گیری سیالیت ریخته‌گری
- بررسی تاثیر دما بر سیالیت ریخته‌گری آلومینیوم خالص تجاری
- بررسی تاثیر درصد سیلیسیم بر سیالیت ریخته‌گری آلیاژهای Al-Si

وسایل و مواد لازم

- ❖ شمش‌های آلومینیوم خالص تجاری و آلیاژهای Al-7%Si و Al-13%Si
- ❖ کوره الکتریکی مقاومتی
- ❖ مدل ماریچ (اسپیرال). دقت کنید که هر مدل با درجه مخصوص خود هم‌رنگ باشد.
- ❖ ترموکوپل و متر

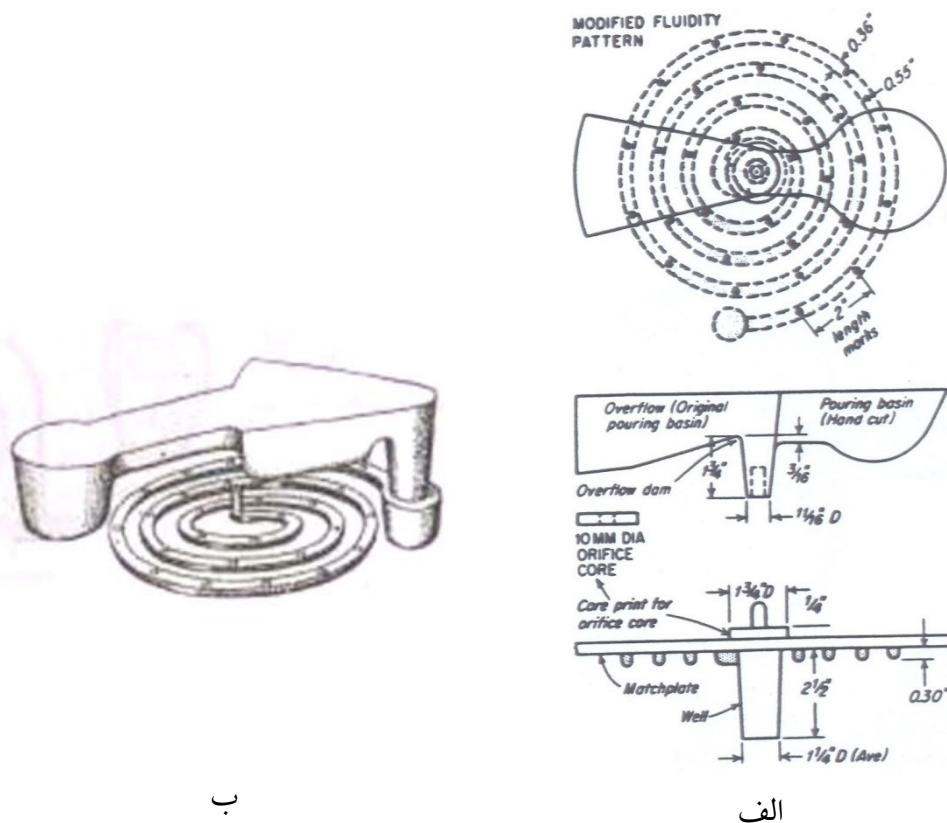
شرح آزمایش

مفهوم سیالیت ریخته‌گری و عوامل موثر بر آن در دروس ریخته‌گری و انجماد مواد مورد بحث قرار گرفته است. در اینجا برخی از نکات کلیدی به طور خلاصه مرور می‌شود. برای بحث کامل موضوع به جزوه و مراجع این دروس مراجعه نمایید.

در فرایندهای ریخته‌گری مسئله پر شدن کامل قالب از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. پر شدن قالب به بسیاری از خواص فلز، قالب و شرایط ریخته‌گری بستگی دارد. این مسئله امروزه عموماً تحت عنوان سیالیت ریخته‌گری مورد توجه قرار می‌گیرد.

اصطلاح سیالیت در نزد ریخته‌گران به معنی توانایی در پر کردن قالب می‌باشد و بوسیله اندازه‌گیری میزان جریان یافتن مذاب در داخل یک قالب استاندارد اندازه‌گیری می‌شود. برای تعیین قابلیت پر کردن یک قالب توسط مذاب، لازم است آزمایش‌هایی تحت شرایطی نسبتاً نزدیک به شرایط عملی ریخته‌گری وجود داشته باشد. آزمون‌های مختلفی برای این کار توصیه شده است. توانایی فلز مذاب در پر کردن قالب بستگی به عوامل زیادی دارد. از این رو جهت مقایسه نتایج لازم است شرایط هر آزمایش با دقت زیاد استاندارد شده باشد.

یکی از متداول‌ترین آزمایشات سیالیت که توسط جامعه ریخته‌گران و موسسه ASTM آمریکا توصیه شده است، آزمون مارپیچ (اسپیرال)^۱ است. طراحی و شکل نمادین قالبی که جهت اندازه‌گیری سیالیت در این آزمون استفاده می‌شود در شکل ۷-۱ نشان داده شده است. در این آزمون میزان حرکت مذاب در مارپیچ قالب قبل از انجماد معیار سیالیت مذاب است.



ب

الف

شکل ۷-۱: الف) طراحی حوضچه بارریز و مسیر مارپیچ و ب) تصویر نمادین قالب اسپیرال جهت تعیین سیالیت ریخته‌گری

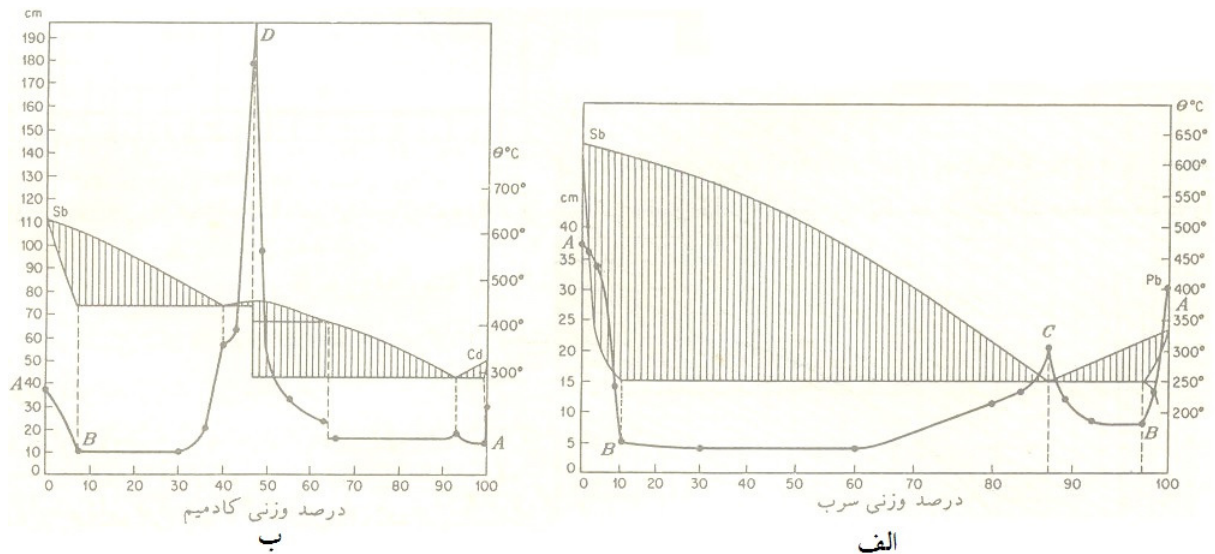
عوامل متالورژیکی زیادی از جمله ترکیب شیمیایی، فوق‌گداز، ویسکوزیته مذاب، کشش سطحی مذاب، پوسته‌های اکسیدی سطح مذاب، لایه‌های گازی جذب شده، آخال‌ها و ناخالصی‌های موجود در بار کوره، جنس قالب و زبری سطح قالب بر سیالیت ریخته‌گری اثر می‌گذارد.

از این عوامل ترکیب شیمیایی و فوق‌گداز مذاب از مهم‌ترین عوامل هستند. واضح است که هرچه فوق‌گداز بیشتر باشد، مذاب مدت بیشتری در داخل قالب به حالت مایع خواهد بود و این امر به معنی طی کردن مسیر بیشتری در داخل قالب، نسبت به فلزی که فوق‌گداز کمتری دارد، می‌باشد.

¹ Spital fluidity test

ترکیب شیمیایی بر نحوه انجماد فلزات تاثیر می‌گذارد و از این طریق به‌طور موثری بر سیالیت هم اثر می‌گذارد.

به عنوان مثال شکل ۲-۷ منحنی تغییرات سیالیت با ترکیب شیمیایی را که بر روی دیاگرام‌های فازی سیستم‌های دوتایی سرب-آنتیموان و آنتیموان-کادمیم منطبق شده را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل دیده می‌شود که بیشترین سیالیت، برای مواد خالص و ترکیبات یوتکتیک (یا فازهایی که در درجه حرارت ثابت منجمد می‌شوند) به دست می‌آید. برعکس کمترین سیالیت مربوط به آلیاژهایی است که بیشترین برد انجماد را دارند.

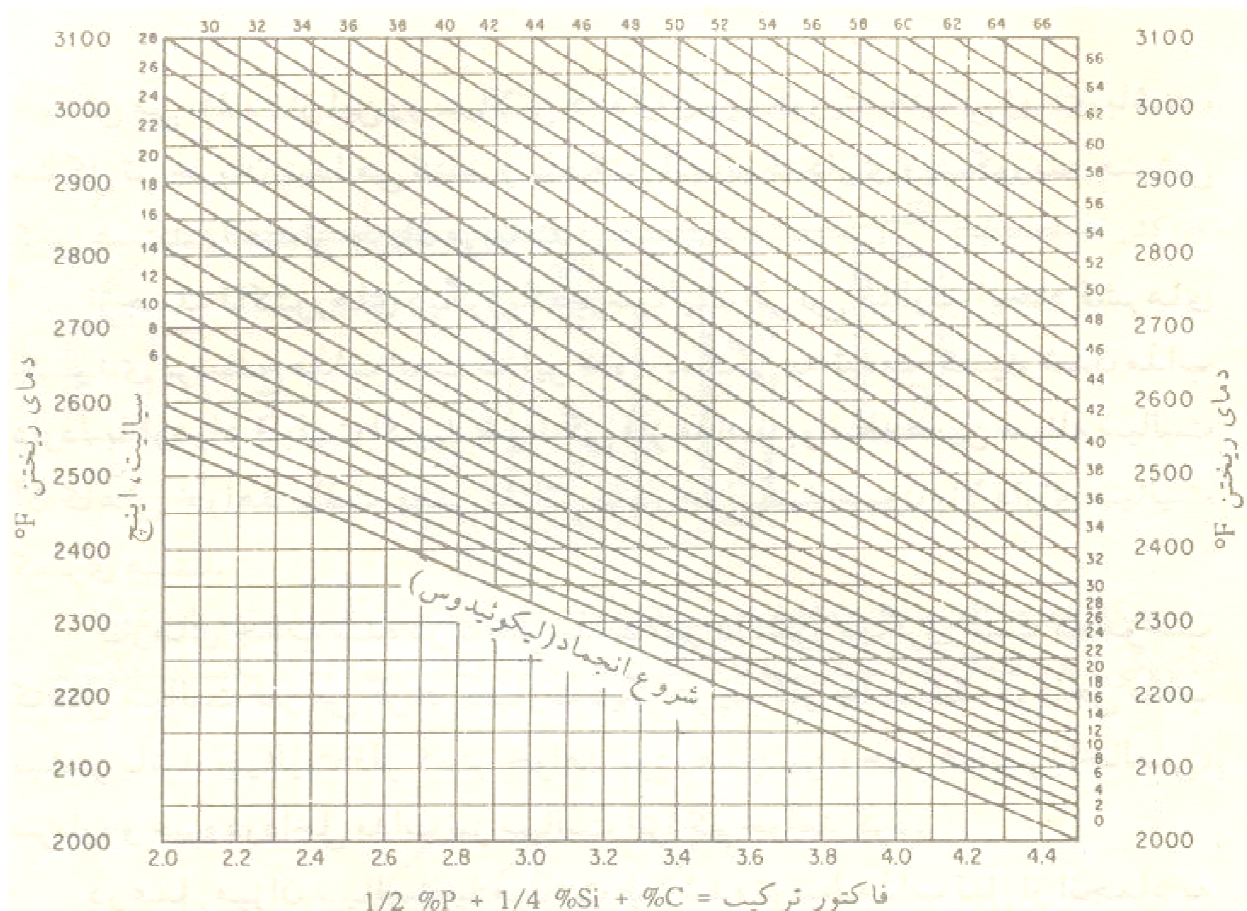


شکل ۲-۷: منحنی سیالیت در سیستم‌های دوتایی الف) آنتیموان-سرب و ب) آنتیموان-کادمیم

آلیاژهای با برد انجماد بزرگ به صورت خمیری منجمد می‌شوند. در این شرایط فاز جامد به صورت دندریت-های پر شاخ و برگ که توسط مذاب احاطه شده رشد می‌کند. طبیعی است که در این وضعیت حرکت مخلوط مذاب و جامد مشکل و سیالیت محدود خواهد بود.

از طرف دیگر فلزات خالص و آلیاژهای با ترکیب یوتکتیک به صورت پوسته‌ای منجمد می‌شوند و انجماد آنها با رشد تدریجی از جداره‌های قالب توام انتقال مذاب است. در این شرایط تا آخرین مراحل انجماد، مجاری کاملاً بازی در مرکز مسیر ماریچ برای انتقال مذاب باز خواهد ماند.

شکل ۳-۷ مثال دیگری از رابطه بین سیالیت، ترکیب شیمیایی و درجه حرارت ریخته‌گری (فوق‌گداز) برای مذاب چدن را نشان می‌دهد. مشخص است که با افزایش فاکتور ترکیب شیمیایی و دمای ریخته‌گری سیالیت مذاب هم زیاد می‌شود. دیاگرام‌های مشابهی برای فولاد نیز وجود دارد. سیالیت فولادهای کاملاً کشته شده بوسیله سیلیسیم بیشتر از فولادهای کاملاً کشته نشده است. سیلیسیم عموماً سیالیت فولاد را افزایش می‌دهد. غلظت‌های زیاد منگنز سبب افزایش قابل ملاحظه سیالیت در درجه حرارت‌های کمتر می‌شود، اما در درجه حرارت‌های بالا اثر کمتری دارد.



شکل ۷-۳: نمودار تاثیر فاکتور ترکیب شیمیایی و دمای بارریزی بر سیالیت ریخته‌گری

آلومینیوم تا آن مقدار که برای اکسیداسیون فولاد لازم است، سیالیت را بالا می‌برد ولی مقادیر بیشتر آن سبب کم شدن سیالیت می‌شود. افزایش سیالیت در قسمت اول به خاطر اکسیژن زدایی مذاب و کم شدن آن در مرحله بعد به علت ایجاد پوسته‌های اکسیدی سطحی است. کرم اثر کمی بر سیالیت فولاد دارد و تنها تا غلظت ۳٪ افزایش محسوسی در سیالیت ایجاد می‌نماید و از این مقدار بیشتر اثر چندانی ندارد. نیکل سیالیت فولاد را افزایش می‌دهد. مولیبدن سبب کاهش سیالیت در غلظت‌های کم می‌شود اما در غلظت‌های بیش از ۰/۵٪، سیالیت را تا حالت طبیعی‌اش افزایش می‌دهد. وانادیم تا غلظت ۰/۲۵٪ سیالیت را کاهش می‌دهد. مقادیر بیشتر وانادیم سیالیت را افزایش می‌دهد اما آن را به مقدار سیالیتی که فولاد بدون وانادیم دارد نمی‌رساند. مس تا ۴٪ سبب افزایش سیالیت می‌شود و از ۴-۶٪ اثر کمی بر سیالیت دارد و از این مقدار بیشتر سیالیت شروع به کاهش می‌کند. فسفر سیالیت فولاد را در درجه حرارت‌های پایین افزایش می‌دهد اما در درجه حرارت‌های بیش از ۱۵۶۰ درجه سانتی‌گراد اثر قابل توجهی ندارد.

وقتی که مذاب دارای سطحی در تماس با اتمسفر باشد، کشش سطحی آن نیز ممکن است بر خواص جریان آن تاثیر بگذارد. دو عامل موثر دیگر بر سیالیت مذاب، چگالی و گرانشی مذاب است. با افزایش چگالی و کاهش

گرانروی مذاب سیالیت آن افزایش می‌یابد. از آنجایی که چگالی فولاد حدود هفت برابر آب ولی گرانروی آن تقریباً برابر آب است، می‌توان انتظار داشت فولاد مذاب با سهولت بیشتری در یک مجرای مشابه جریان پیدا کند.

با تقسیم گرانروی یک سیال بر چگالی آن کمیتی موسوم به گرانروی سینماتیکی به دست می‌آید که معیاری از سهولت جریان مایع تحت نیروی گرانش است. سیالاتی که دارای گرانروی سینماتیکی زیادی هستند مشکل-تر جریان پیدا می‌کنند و آنهایی که دارای ویسکوزیته سینماتیکی کمی هستند راحت‌تر جریان می‌یابند.

• مراحل آزمایش

این آزمایش در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول اثر ترکیب شیمیایی و در مرحله دوم اثر فوق‌گداز بر سیالیت آلیاژهای آلومینیوم بررسی می‌شود. برای ساخت قالب‌های ماریچ از ماسه تر استفاده نموده و سعی کنید رطوبت همه قالب‌ها یکسان باشد. قبل از ریختن مذاب قالب‌ها را به‌طور یکسان با شعله خشک نمایید و سعی کنید تا درجه حرارت قالب‌ها یکسان باشد. دقت شود که در هنگام قالب‌گیری داخل مسیر ماریچ کاملاً تمیز بوده و مجرای خروج هوا در انتهای هر ماریچ زده شود. برای تهیه مذاب لازم است دقت شود که هر قالب به‌طور تقریبی ۹۰۰ گرم مذاب نیاز دارد.

۱- بررسی اثر ترکیب شیمیایی:

برای بررسی اثر ترکیب شیمیایی بر سیالیت، مذاب آلیاژهای $Al-7wt\%Si$ و $Al-13wt\%Si$ و آلومینیوم خالص تجاری را به ترتیب در درجه حرارت‌های ۶۸۰، ۷۴۰ و ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد (همه با ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد فوق‌گداز) در قالب‌های ماریچ که قبلاً آماده کرده‌اید بریزید. سپس مقدار مسافتی که مذاب توانسته در داخل هر ماریچ پیشرفت کند را اندازه بگیرید. نتایج به دست آمده را به صورت منحنی طول بر حسب درصد عنصر آلیاژی ترسیم کنید. کنترل درجه حرارت در لحظه ریخته‌گری و اندازه‌گیری دقیق طول سیالیت در به دست آوردن نتایج صحیح تاثیر زیادی دارد.

۲- بررسی اثر فوق‌گداز مذاب:

برای بررسی اثر فوق‌گداز بر سیالیت از آلومینیوم خالص تجاری استفاده می‌شود. علاوه بر نمونه قبلی که در دمای ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد ریخته شد، نمونه دیگری به صورت مشابه در دمای ۸۱۰ درجه سانتی‌گراد (با ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد فوق‌گداز) ریخته‌گری کنید و طول پیموده شده توسط مذاب را اندازه‌گیری کنید.

در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:

✓ تغییرات طول سیالیت مذاب بر حسب درصد عنصر آلیاژی

- ✓ تغییرات طول سیالیت مذاب بر حسب فوق‌گداز
- ✓ امکان باز کردن مارپیچ‌های منجمد شده به صورت میله مستقیم
- ✓ آزمایش‌های سیالیت دیگر مانند تست راگون و کانال‌های تسمه‌ای شکل و مقایسه آنها با آزمون اسپیرال
- ✓ چرا در آلیاژهای Al-Si که ترکیب یوتکتیک آن در حدود ۱۲٪ سیلیسیم است (شکل ۸-۱)، بیشینه سیالیت در حدود ۱۸٪ سیلیسیم رخ می‌دهد؟

آزمایش شماره ۸

عنوان آزمایش: اصلاح‌سازی ساختار انجمادی آلیاژهای Al-Si

اهداف آزمایش

- آموزش مبانی اصلاح‌سازی ساختار انجمادی آلیاژهای Al-Si
- بررسی تاثیر اصلاح‌سازی با نمک‌های حاوی سدیم بر ساختار و خواص مکانیکی آلیاژ یوتکتیک Al-Si
- بررسی تاثیر اصلاح‌سازی با نمک‌های حاوی سدیم بر سیالیت ریخته‌گری آلیاژ Al-Si یوتکتیک

وسایل و مواد لازم

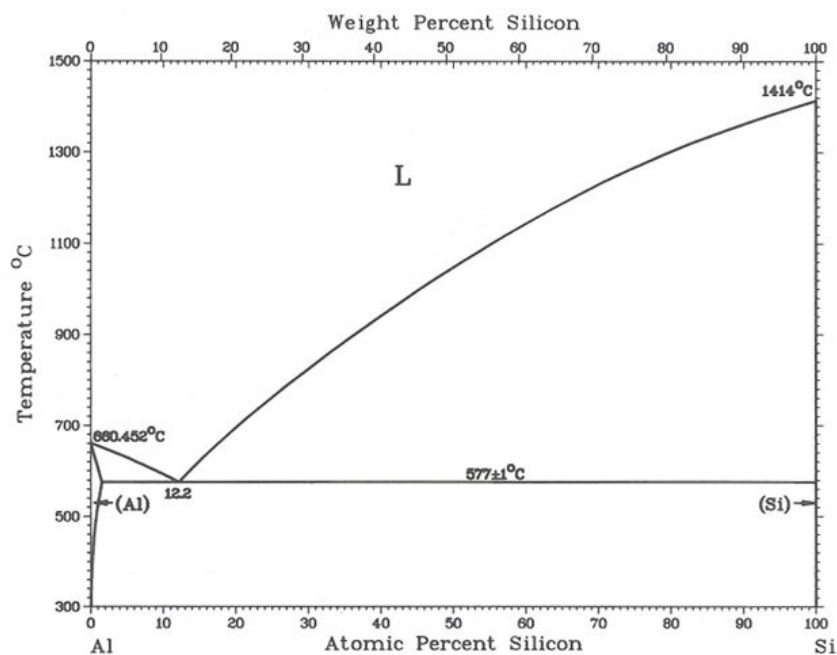
- ❖ شمش آلیاژ یوتکتیک Al-Si
- ❖ مواد اصلاح‌ساز
- ❖ کوره الکتریکی
- ❖ قالب‌های فلزی و ماسه‌ای و ماریچ (اسپیرال)
- ❖ بوت‌های گرافیتی، ترمومتر و همزن

شرح آزمایش

موضوع اصلاح‌سازی تیغه‌های سیلیسیم در آلیاژهای Al-Si در دروس ریخته‌گری و انجماد مواد مورد بحث قرار گرفته است. در اینجا برخی از نکات کلیدی به طور خلاصه مرور می‌شود. برای بحث کامل‌تر موضوع به جزوه و مراجع این درس مراجعه نمایید.

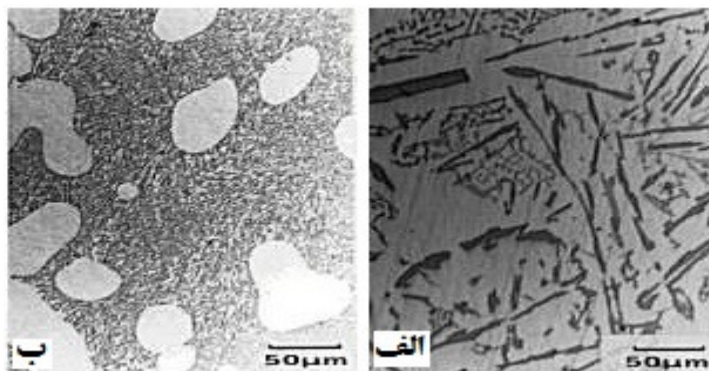
آلیاژهای آلومینیوم-سیلیسیم به دلیل سهولت ریخته‌گری و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مناسب کاربردهای زیادی در بین آلیاژهای آلومینیوم دارند. سیلیسیم در حین انجماد افزایش حجم یافته و تا حدودی انقباض حاصل از انجماد آلومینیوم را جبران می‌کند و بدین ترتیب در مجموع انقباض حین انجماد آلیاژ کم می‌شود. دیاگرام فازی تعادلی Al-Si در شکل ۸-۱ نشان داده شده است. در این دیاگرام استحاله یوتکتیک $L \rightarrow Al_{\alpha} + Si$ در دمای ۵۷۷ درجه سانتی‌گراد و درصد سیلیسیم حدود ۱۲/۲٪ رخ می‌دهد. ساختار یوتکتیک Al-Si دارای تیغه‌های سیلیسیم در زمینه آلومینیوم می‌باشد. در اکثر آلیاژهای Al-Si، در آخرین مراحل انجماد

ترکیب مذاب بین مرز دانه‌ها به ترکیب یوتکتیک رسیده و فازهای ترد غنی از سیلیسیم در مرز دانه‌ها ایجاد می‌شود. از این رو خواص آلیاژهای Al-Si به شکل و اندازه فاز غنی از سیلیسیم بستگی دارد. در آلیاژهای Al-Si که با سرعت آهسته منجمد شوند، فاز غنی از سیلیسیم به صورت تیغه و ورقه‌های نسبتاً درشت در می‌آید و موجب کاهش خواص مکانیکی به ویژه انعطاف پذیری قطعات می‌گردد. اصلاح ساختار در این آلیاژها به معنی جلوگیری از تشکیل تیغه‌های درشت غنی از سیلیسیم در ساختار با افزودن عناصر قلیایی و قلیایی خاکی و یا نمک‌های آنها به مذاب است.



شکل ۸-۱: دیاگرام فازی تعادلی Al-Si

البته اصلاح تیغه‌های فاز غنی از سیلیسیم در ساختار آلیاژهای Al-Si با اصلاح اندازه دانه آنها که به روش‌های مختلفی مثل افزودن مواد جوانه زاء، اعمال ارتعاش یا کنترل سرعت انجماد انجام می‌گیرد، متفاوت است. در اصلاح اندازه دانه، هدف کاهش اندازه دانه فازهای جامد اولیه (Al_α) که در دمای بالاتر از یوتکتیک تشکیل می‌شوند، است. این کار موجب افزایش استحکام و انعطاف پذیری قطعات می‌شود. در حالی که در اصلاح تیغه‌های فاز غنی از سیلیسیم، هدف تبدیل ریخت (مورفولوژی) این فازها از حالت تیغه‌ای و صفحه‌ای درشت به کروی یا رشته‌ای ریز است که به خصوص باعث بهبود انعطاف پذیری و چقرمگی قطعات می‌شود. شکل ۸-۲ نمونه‌ای از یک ساختار اصلاح نشده و اصلاح شده در یک آلیاژ Al-Si را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲: ریزساختار یک آلیاژ Al-Si در حالت الف) اصلاح نشده و ب) اصلاح شده

ابعاد شاخه‌های سیلیسیم در زمینه بر خواص مکانیکی تاثیر مستقیم دارد. این مسئله به‌خصوص در آلیاژهای آلومینیوم با درصد بالای سیلیسیم اهمیت پیدا می‌کند. به‌طور مثال، آلیاژهای آلومینیوم با سیلیسیم بالا به‌دلیل مقاومت سایشی بالا در ساخت پیستون و سیلندر وسایل نقلیه کاربرد دارند. تشکیل تیغه‌های درشت فاز غنی از سیلیسیم موجب تردی و کاهش استحکام ضربه این قطعات می‌شود.

با ریزکردن اندازه دانه‌ها تا حدودی می‌توان از درشت و خشن شدن فاز غنی از سیلیسیم (فاز بتا) جلوگیری کرد. ولی یک روش مفید و موثرتر اضافه کردن عناصر آلیاژی خاص است که منجر به ریز و پراکنده شدن این فاز در زمینه (ساختار موسوم به رشته‌ای) می‌شود. این کار مشابه تبدیل گرافیت لایه‌ای در چدن‌های خاکستری به گرافیت در چدن‌های داکتیل با اضافه کردن مقدار کمی منیزیم به مذاب است.

تحقیقات نشان داده است که اغلب عناصر قلیایی و قلیایی خاکی خاصیت اصلاح‌کنندگی دارند که در این عناصر سدیم از عناصر قلیایی و استرانسیم از عناصر قلیایی خاکی مهمترین عناصر اصلاح‌کننده می‌باشند. برای اصلاح آلیاژهای حدود یوتکتیک از سدیم و استرانسیم و نمک‌های این دو عنصر نظیر فلئوئور سدیم (NaF) و کلرید استرانسیم (Cl_2Sr) و برای آلیاژهای هایپریوتکتیک معمولاً از فسفر استفاده می‌شود.

سدیم در محیط در مقابل هوا سریع اکسید می‌شود و در مقابل رطوبت بسیار حساس است و تولید گاز هیدروژن می‌کند که ممکن است سبب پیدایش گاز در مذاب و معیوب شدن قطعه شود. با استفاده از سدیم در کپسول‌های خلا مشکلات کمتر می‌شود ولی با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی سدیم استفاده از آن همواره با مشکلاتی همراه است. از جمله می‌توان به بالا بودن قابلیت اشتعال سدیم و کوتاه بودن زمان اثر آن (معمولاً ۵ دقیقه) اشاره کرد.

برای برطرف کردن مشکل اول، یک راه حل مناسب استفاده از نمک‌های سدیم (NaF) است که به صورت فلاکس در مذاب استفاده می‌شود. البته چون نقطه ذوب NaF (۹۲۲ درجه سانتی‌گراد) بالاتر از دمای ریخته‌گری آلیاژهای Al-Si است، این نمک با ترکیبات دیگری مثل KCl و NaCl مخلوط می‌شود تا با تشکیل ترکیب یوتکتیک نقطه ذوب آن کاهش یابد. در قالب ماسه‌ای حدود ۰/۱۵ تا ۰/۰۲ درصد سدیم باقیمانده در

مذاب برای اصلاح ساختار کفایت می‌کند. لازم به توضیح است میزان سدیم و استرانسیم مورد نیاز با افزایش سرعت سرد شدن (در قالب‌های فلزی) و کاهش ضخامت قطعه کاهش می‌یابد.

استرانسیم (Sr) و نمک‌های آن علاوه بر مزایای سدیم، عمر بیشتری در مذاب دارند و سبب می‌شوند که مشخصات ساختاری و مکانیکی قطعات در زمان‌های طولانی‌تر ریخته‌گری کاهش زیادی پیدا نکند. علاوه بر این قطعات ریخته‌گری اصلاح شده را می‌توان دوباره ذوب کرده و بدون آنکه تاثیرات آن کاهش زیادی پیدا کند، مجدداً ریخته‌گری کرد.

مراحل آزمایش

حدود ۲۲۰۰ گرم از آلیاژ یوتکتیک Al-Si را در پنج بوته قرار داده و ذوب کنید و تا دمای حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دهید. همزمان چهار قالب استوانه‌ای ماسه‌ای، چهار قالب استوانه‌ای فولادی و یک قالب ماسه‌ای ماریچج آزمون سیالیت را آماده و خشک کنید.

سپس یکی از بوته‌ها را از کوره خارج کرده و مذاب را در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک قالب ماسه‌ای و یک قالب فولادی بریزید. برای سه بوته دیگر، پس از خارج کردن بوته از کوره به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۰۳ و ۰/۰۵ درصد از مواد اصلاح‌کننده حاوی NaF را که قبلاً توزین کرده‌اید به مذاب اضافه نمایید. سپس مذاب را سریعاً همزده و در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در قالب‌های ماسه‌ای و فلزی ریخته‌گری کنید. سپس نمونه‌ها را مقطع عرضی زده و ساختار میکروسکوپی و سختی آنها را بررسی کنید.

برای بوته پنجم، پس از خارج کردن بوته مقدار ۰/۰۲ درصد از مواد اصلاح‌کننده حاوی NaF را که قبلاً توزین کرده‌اید را به مذاب اضافه نموده، مذاب را سریعاً همزده و در دمای ۷۴۰ درجه سانتی‌گراد در قالب آزمون سیالیت بریزید. در پایان طول سیالیت این نمونه را اندازه‌گیری کنید.

در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:

- ✓ مکانیزم اصلاح‌سازی با سدیم و استرانسیم
- ✓ تاثیر اصلاح‌سازی با نمک‌های حاوی سدیم بر ساختار و سختی آلیاژ Al-Si یوتکتیک
- ✓ مزایا و معایب دیگر اصلاح‌سازی با استرانسیم
- ✓ تاثیر اصلاح‌سازی با نمک‌های حاوی سدیم بر سیالیت ریخته‌گری آلیاژ Al-Si یوتکتیک (در مقایسه با نتایج آزمایش قبل)
- ✓ سهولت باز کردن ماریچج منجمد شده به صورت میله مستقیم در مقایسه با ماریچج اصلاح‌سازی نشده در آزمایش قبل

آزمایش شماره ۹

عنوان آزمایش: ریخته‌گری یک قطعه رینگی شکل از جنس آلیاژ برنز آلومینیوم

اهداف آزمایش

- مروری بر مشخصات و کاربردهای آلیاژ برنز آلومینیوم
- قالب‌گیری یک قطعه رینگی شکل در قالب از جنس ماسه تر با استفاده از سه درجه و بدون نیاز به ماهیچه
- قالب‌گیری یک قطعه رینگی شکل در قالب از جنس ماسه تر با استفاده از ماهیچه متحرک (شناور) و بدون نیاز به ماهیچه
- ریخته‌گری قطعه رینگی شکل از جنس آلیاژ برنز آلومینیوم

وسایل و مواد لازم

- شمش مس و آلومینیوم خالص تجاری
- کوره گازی
- مدل دو تکه با سطح جدایش غیر یکنواخت قطعه رینگی شکل
- بوته و پیرومتر
- مواد پوششی و کمک ذوب

شرح آزمایش

در این آزمایش یک قطعه رینگی شکل در قالب‌هایی از جنس ماسه تر و بدون استفاده از جعبه ماهیچه قالب‌گیری و با مذاب آلیاژ برنز آلومینیوم ریخته‌گری می‌شود. قالب‌گیری با استفاده از سه یا دو درجه انجام خواهد شد و تاثیر سرعت سرد شدن بر ساختار انجمادی و سختی آلیاژ بررسی می‌شود.

مشخصات و کاربرد آلیاژ برنز آلومینیوم

آلیاژهای آلومینیوم برنز گروهی از آلیاژهای پایه مس هستند که شامل حدود ۵ تا ۱۱ درصد آلومینیوم و بعضاً شامل مقادیری آهن، نیکل، منگنز یا سیلیسیم هستند. خواص منحصر به فرد این آلیاژها باعث جذابیت و کاربرد روز افزون این آلیاژها شده است. از جمله این خواص، قابلیت ریخته‌گری به روش‌های مختلف، استحکام بالا

در حدود فولادهای ساده کربنی و بیشتر از فولادهای زنگ نزن متداول، قابلیت تغییر شکل مناسب قبل از شکست، قابلیت جوش پذیری مناسب بدون نیاز به عملیات حرارتی بعدی، مقاومت خوردگی عالی در محیط- های دریایی (خوردگی عمومی و حفره‌ای)، خوردگی تنشی و خوردگی کاویتاسیونی، خواص مطلوب خستگی، خستگی خوردگی، خستگی خزشی و مقاومت به سایش بالا می‌باشد. این آلیاژها در صنایع مختلفی مثل صنایع شیمیایی و پتروشیمی، صنایع دریایی، صنعت آب، کاربردهای مخصوص دمای بالا و اتمسفر خورنده و قطعات مکانیکی مثل چرخ‌دنده و واشرها کاربرد فراوان دارند.

مراحل آزمایش

ریخته‌گری قطعه رینگ شکل

در این قسمت یک مدل دو تکه فلزی از قطعه مورد نظر در اختیار شما قرار داده می‌شود. برای ساخت قالب این قطعه، به یک ماهیچه دوری گرد نیاز است. به‌طور معمول برای این کار باید از یک جعبه ماهیچه استفاده کرد. ولی از این آزمایش چنین جعبه ماهیچه‌ای در اختیار شما نیست و انتظار می‌رود با امکانات موجود در کارگاه، یعنی با دو یا سه لنگه درجه، قالب ساخته شود.

برای مذاب‌ریزی، نیاز به حدود ۱۸ کیلوگرم از آلیاژ آلومینیوم برنز است. برای تهیه این آلیاژ، مقادیر مناسب از شمش‌های آلومینیوم خالص و مس خالص را برش داده و درون بوته گرافیتی بگذارید و با استفاده از کوره گازی ذوب کنید. همزمان قالب ماسه‌ای را آماده کنید. پس از خشک کردن، بستن و وزنه‌گذاری قالب‌ها، مذاب آلیاژ برنز آلومینیوم را در دمای ۱۱۰۰ سانتی‌گراد در قالب‌ها بریزید. یکی از نمونه‌ها را با فاصله کوتاهی از ریخته‌گری تخلیه و اجازه دهید در هوا سرد شود. بقیه قالب‌ها را پس از سرد شدن کامل قطعه، تخریب کنید. پس از پولیش و اچ، ریزساختار و سختی قسمت‌های بریده شده از قطعات را بررسی کنید.

در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:

- ✓ ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم برنز بر اساس یکی از استانداردهای معتبر
- ✓ مفهوم ماهیچه متحرک (شناور)
- ✓ مقایسه ساختارهای میکروسکوپی با دیاگرام فازی مس-آلومینیوم و تشخیص فازها در ساختار
- ✓ علت تفاوت ساختار و سختی نمونه‌های مختلف
- ✓ تاثیر سرعت سرد شدن قطعه پس از انجماد بر ساختار و سختی نمونه‌ها
- ✓ تاثیر عناصر آلیاژی در ریخته‌گری آلیاژهای پایه مس
- ✓ کاربردهای آلیاژهای آلومینیوم برنز در صنعت

آزمایش شماره ۱۰

عنوان آزمایش: ریخته‌گری گریز از مرکز و انجماد جهت‌دار آلومینیوم خالص تجارتي

اهداف آزمایش

- مرور مبانی ریخته‌گری گریز از مرکز
- مرور مبانی انجماد تحت شرایط گریز از مرکز و انجماد جهت‌دار
- ریخته‌گری گریز از مرکز یک استوانه توخالی از جنس آلومینیوم خالص تجاری و آلیاژ A356
- بررسی تاثیر فوق‌گداز و ترکیب شیمیایی بر ساختار انجمادی استوانه ریخته شده
- بررسی انجماد جهت‌دار آلومینیوم خالص تجارتي

وسایل و مواد لازم

- ❖ شمش آلومینیوم خالص تجاری و آلیاژ A356
- ❖ دستگاه ریخته‌گری گریز از مرکز
- ❖ قالب انجماد جهت‌دار
- ❖ کوره الکتریکی، مشعل دستی، بوته، مواد پوشش قالب

شرح آزمایش

روش ریخته‌گری گریز از مرکز و تاثیر آن بر نحوه انجماد قطعات قبلا در درس ریخته‌گری مورد بحث قرار گرفته است. در اینجا برخی از نکات کلیدی به طور خلاصه مرور می‌شود. برای بحث کامل موضوع به جزوه و مراجع این درس مراجعه نمایید.

روش ریخته‌گری گریز از مرکز واقعی افقی عموماً برای تولید سریع و اقتصادی قطعات با تیراژ بالای استوانه‌ای شکل توخالی مثل لوله‌های انتقال آب، بوش و سیلندرها، بدون نیاز به ماهیچه‌گذاری، به کار می‌رود. در این روش مذاب در درجه حرارت مشخصی درون یک قالب فلزی پیشگرم شده (کوکیل) در حال دوران ریخته می‌شود. نیروی گریز از مرکز وارده بر مذاب از قالب، باعث توزیع یکنواخت مذاب بر روی سطح داخلی کوکیل و ایجاد یک شکل استوانه‌ای توخالی از مذاب درون کوکیل می‌شود. شکل و ابعاد قطعه توسط شکل داخلی کوکیل و ضخامت قطعه توسط مقدار مذاب ریخته شده تنظیم می‌شود.

سرعت دوران کوکیل باید شتابی حداقل برابر شتاب گرانش زمین بر مذاب وارد آورد تا مذاب از روی دیواره فوقانی کوکیل به پایین نریزد (پدیده بارش). در عمل در فرایندهای ریخته‌گری گریز از مرکز شتابی ده‌ها بار بیش از شتاب گرانش زمین بر مذاب وارد می‌شود. نیروی گریز وارده بر هر نقطه از مذاب به چگالی مذاب، شعاع دوران و سرعت زاویه‌ای دوران کوکیل بستگی دارد.

این نیرو موجب برقراری تماس کامل مذاب با سطح کوکیل، جلوگیری از بوجود آمدن فاصله هوایی بین پوسته منجمد شده مذاب و سطح کوکیل، افزایش سرعت انتقال حرارت از قالب و ایجاد انتقال جهت‌دار از سطح داخلی قالب به سمت مرکز قطعه می‌شود.

علاوه بر این، نیروی گریز از مرکز موجب انتقال فازهای با چگالی بالا به سمت سطح بیرونی، و فازهای با چگالی کم مثل آخال‌ها و حباب‌های گازی و انقباضی به سمت سطح داخلی قطعات می‌شود. از این‌رو معمولاً قطعات ساخته شده به‌روش ریخته‌گری گریز از مرکز دارای ساختاری ریزدانه با عیوب داخلی کم و خواص مکانیکی بالا هستند. از طرفی پدیده‌های فوق ممکن است در آلیاژها موجب جدایش فازی در مقطع قطعات شود.

در آزمایش‌های قبل مشخص شد که اندازه دانه‌ها را می‌توان با جوانه زایی و افزایش سرعت سرد کردن کاهش داد. عواملی چون درجه حرارت ریختن (فوق‌گداز) مذاب، جنس قالب، درجه حرارت پیشگرم قالب، ضخامت قالب، ابعاد و ضخامت (مدول) قطعه، اعمال فشار یا نیروی گریز از مرکز بر مذاب بر سرعت سرد کردن مذاب تاثیر می‌گذارد. از این بین درجه حرارت فوق‌گداز مذاب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

به‌طور کلی در ریخته‌گری کلیه فلزات معمولاً احتیاج به حدود ۵۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد فوق‌گداز به منظور تامین سیالیت مذاب هست. از سوی دیگر اگر درجه حرارت فوق‌گداز زیاد باشد، ممکن است موجب سوختن یا اکسیداسیون برخی عناصر آلیاژی مذاب، از بین رفتن جوانه‌های موجود در مذاب (میرایی)، جذب گاز در مذاب و بروز معایبی نظیر ماسه‌سوزی در سطح قطعه شود. علاوه بر این سرعت سرد شدن مذاب در قالب در فوق‌گدازهای بالا کاهش می‌یابد. کم شدن تعداد جوانه‌ها و کاهش سرعت سرد شدن مذاب موجب درشت‌تر شدن ساختار انجمادی و در نتیجه پایین آمدن خواص مکانیکی قطعات می‌شود.

انتخاب درجه حرارت فوق‌گداز به پارامترهای زیادی از جمله حداقل ضخامت قطعه ریخته‌گری، جنس و ابعاد قالب، تاثیر عناصر آلیاژی بر سیالیت، ساختار و خواص مورد نیاز و تجهیزات مورد استفاده بستگی دارد. به‌عنوان یک قاعده تخمینی می‌توان میزان فوق‌گداز را حدود ۲۰٪ دمای نقطه ذوب فلز در نظر گرفت. به عنوان نمونه، جدول ۱۰-۱ دمای پیشنهاد برای ریخته‌گری انواع چدن‌های خاکستری را بر حسب دمای لیکوئیدوس، ابعاد و ضخامت دیواره‌های قطعه نشان می‌دهد.

Class	Approximate liquidus temperature		Pouring temperature							
			Small castings				Large castings			
			Thin sections		Thick sections		Thin sections		Thick sections	
°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	
30	1150	2100	1400	2550	1370	2500	1345	2450	1315	2400
35	1175	2150	1425	2600	1400	2550	1370	2500	1345	2450
40	1200	2190	1450	2640	1420	2590	1395	2540	1365	2490
45	1220	2230	1470	2680	1445	2630	1415	2580	1390	2530

جدول ۱۰-۱: وابستگی دمای ریخته‌گری چدن‌های خاکستری به ضخامت و ابعاد دیواره‌های قطعه

مراحل آزمایش

این آزمایش از دو بخش تشکیل شده است. در بخش اول، سه قطعه استوانه‌ای توخالی از جنس آلومینیوم خالص تجاری و آلیاژ A356 به روش ریخته‌گری گریز از مرکز افقی ریخته شده و تاثیر فوق‌گداز و ترکیب شیمیایی بر ساختار انجمادی آنها بررسی می‌شود. در بخش دوم انجماد جهت‌دار آلومینیوم خالص تجاری در شرایط استاتیک مطالعه می‌شود.

۱) ریخته‌گری گریز از مرکز افقی

در هر آزمایش، ۲/۵ کیلوگرم مذاب توسط کوره شعله‌ای ذوب شده و در دمای مناسب در کوکیل ریخته‌گری گریز از مرکز ریخته می‌شود. قبل از هر ریخته‌گری، کوکیل را تمیز کرده، درب آن را با پیچ‌های مربوطه ببندید و آن را با دقت روی دستگاه گریز از مرکز قرار دهید. سپس با استفاده از مشعل دستی کوکیل و ناودان مذاب‌ریزی را به طور یکنواخت حرارت داده و دمای آن را در حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم کنید. پس از آماده شدن مذاب، حفاظ دستگاه را در محل خود قرار داده و دستگاه را روشن کنید تا به حالت پایدار برسد. پس از پوشش‌دهی داخل کوکیل با لایه یکنواختی از ماسه چراغی، مذاب را به آرامی از طریق ناودان در داخل کوکیل تخلیه نمایید. پس از اطمینان از انجماد کامل قطعه، دستگاه را خاموش کرده و قطعه را خارج کنید.

- برای بررسی اثر ترکیب شیمیایی بر ساختار و سختی، دو ذوب از جنس آلومینیوم خالص تجاری و آلیاژ A356 با دمایی معادل ۵۰ درجه سانتی‌گراد فوق‌گداز و برای بررسی اثر فوق‌گداز ذوب دیگری از آلیاژ A356 با دمایی معادل ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد فوق‌گداز ریخته‌گری کنید. پس از خروج قطعات از کوکیل، از نیمه طول قطعات نمونه‌هایی برای بررسی‌های ساختاری و سختی جدا کرده، پس از شماره‌گذاری، پولیش و اچ ماکروسکوپی و میکروسکوپی کنید.

۲) انجماد جهت‌دار

در این قسمت برای ایجاد انجماد جهت‌دار از آلومینیوم خالص تجاری استفاده می‌شود. ابتدا یک قالب فلزی را در داخل کوره در دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار دهید. پس از تهیه ذوب، قالب فولادی کاملاً پیش‌گرم شده را روی یک سیستم آب‌گرد قرار داده و ۲۵۰ گرم مذاب آلومینیوم خالص را از درجه حرارت ۷۵۰ درجه

سانتی گراد در آن بریزید. برای جلوگیری از تشکیل جوانه و شروع انجماد از دیواره‌های جانبی قالب، قالب را از بالا توسط مشعل حرارت دهید. همچنین برای جلوگیری از اعمال عوامل دینامیکی روی سطح مذاب توسط شعله مشعل، روی قالب رابایک ورقه فولادی که از ابتدا خوب سرخ شده است بپوشانید و این روق را از هم بالا توسط مشعل حرارت دهید. پس از حدود ۵ دقیقه، فاصله شعله مشعل از سطح قابل را به تدریج زیاد کرده و اجازه دهید جبهه انجماد به بالاترین سطح قطعه برسد. پس از تخلیه قالب، نمونه را به صورت طولی از وسط برش زده، پولیش و اچ ماکروسکوپی کنید.

در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:

- ✓ روش پوشش‌دهی سطح داخلی کوکیل
- ✓ چگونگی توزیع مذاب روی سطح داخلی کوکیل در لحظات ابتدایی ذوب‌ریزی
- ✓ تغییرات ساختار و سختی از سطح به داخل قطعات ریخته‌شده
- ✓ تاثیر ترکیب شیمیایی بر ساختار و سختی قطعات ریخته‌شده
- ✓ تاثیر دمای ریخته‌گری بر ساختار و سختی قطعات ریخته‌شده
- ✓ تغییر ساختار و رشد رقابتی از پایین به بالا در نمونه انجماد جهت‌دار
- ✓ عیوب ایجاد شده در صورت پایین و یا بالا بودن بیش از حد درجه حرارت فوق‌گداز
- ✓ اهمیت انجماد جهت‌دار در صنعت و طراحی ریخته‌گری

آزمایش شماره ۱۱

عنوان آزمایش: ریخته‌گری چدن خاکستری و چدن داکتیل

اهداف آزمایش

- مرور مبانی ریخته‌گری چدن‌ها و عملیات کروی کردن گرافیت در آنها
- تاثیر عناصر آلیاژی در چدن‌های خاکستری و داکتیل (نشکن)
- قالب‌گیری یک قطعه از سیستم بالابر آسانسور با ماسه طبیعی و ماهیچه مصنوعی ماسه چراغی
- ریخته‌گری قطعه فوق از آلیاژ چدن خاکستری با ترکیبی نزدیک به یوتکتیک
- انجام عملیات کروی سازی بر روی مذاب با افزودن فروسیلیکومینزیم و ریخته‌گری یک قطعه آسانسور
- مقایسه مقاومت به ضربه و قابلیت جذب ارتعاش چدن خاکستری و چدن داکتیل
- آشنایی با ساخت نمونه چیل شده و روش کوانتومتری برای تعیین ترکیب شیمیایی چدن‌ها

وسایل آزمایش

- ✓ کوره زمینی با سوخت گازوییل
- ✓ بوته گرافیتی
- ✓ شمش چدن خاکستری با کربن معادل حدود ۴/۳ درصد
- ✓ شمش چدن داکتیل با کربن معادل حدود ۴/۳ درصد
- ✓ محفظه تلقیح
- ✓ فرو سیلیکومینزیم

شرح آزمایش

انواع چدن‌ها

چدن‌ها آلیاژهایی از آهن، کربن، سیلیسیم، منگنز، فسفر و گوگرد و احتمالاً مقادیری از عناصر آلیاژی دیگر هستند. با توجه به نوع و شکل فازهای حاصل از رسوب کربن موجود در مذاب در حین انجماد، می‌توان چدن‌ها را به چند گروه کلی به صورت زیر تقسیم بندی نمود.

- ✓ چدن خاکستری با گرافیت ورقه‌ای (لایه‌ای، فلسی یا پولکی)
- ✓ چدن‌های مالیل یا چکش خوار با گرافیت کلوخه‌ای یا شکوفه‌ای
- ✓ چدن‌های با گرافیت کروی (چدن‌های داکتیل، نشکن یا SG¹)
- ✓ چدن‌های سفید که در آنها کربن به صورت کاربید آهن رسوب می‌کند
- ✓ چدن خالدار که ساختاری بین چدن‌های خاکستری و سفید دارند. در این چدن‌ها گرافیت‌های نسبتاً بزرگ ورقه‌ای در بین زمینه روشن رنگی از فازهای کاربیدی و فریت تشکیل می‌شوند.

از نظر نوع زمینه میتوان چدن‌ها را به چدن‌های با زمینه فریتی، زمینه فریتی-پرلیتی، زمینه پرلیتی، زمینه مارتنزیتی، زمینه آستنیتی و زمینه بینیتی تقسیم کرد. جدول ۱۱-۱ مشخصات و اثرات فازهای مشاهده شده در چدن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱-۱: مشخصات و اثرات فازهای مشاهده شده در چدن‌ها

اثرات	مشخصات	اجزای ریزساختاری
استحکام پایین، نرمی و انعطاف پذیری یالا	معمولاً به فازهای دیگر تبدیل می‌شود، فقط در آلیاژهای خاص دیده می‌شود و قازی نسبتاً نرم به حساب می‌آید	آستنیت
کاهش استحکام، افزایش انعطاف پذیری	قازی نرم به صورت محلول جامد آهن	قریت
- افزایش قابلیت ماشینکاری - افزایش خواص ضربه پذیری - کاهش انقباض حین انجماد - امکان کاهش شدید استحکام، بسته به شکل گرافیت	کربن آزاد در سایز و اشکال مختلف	گرافیت
افزایش سختی- افزایش مقاومت در برابر اکسیداسیون- کاهش شدید قابلیت ماشینکاری	قاز بین قلزی سخت کاربید آهن	سمنتیت
افزایش استحکام بدون ایجاد خاصیت تردی- قابلیت ماشینکاری خوب	قاز لایه ای شکلی که شامل لایه های متناوب قریت و سمنتیت است	پرلیت
سخت ترین ساختاری که در نتیجه دگرگونی به وجود می‌آید- ساختاری ترد و شکننده، مگر اینکه تحت عملیات حرارتی تمپر قرار گیرد	ساختار سختی که در نتیجه عملیات حرارتی ایجاد می‌شود	مارتنزیت
در حالت مذاب باعث افزایش سیالیت اما در حالت جامد ترد و شکننده است	یونکتیک آهن، کربن و قسفر- سخت و شکننده	استدیت
سختی خیلی زیاد- پوشش مقاومتری خوب در برابر اکسیداسیون- غیر ممکن کردن عملیات ماشینکاری	قاز حجیم یونکتیک سمنتیت و آستنیت- در حین عملیات سردکاری تبدیل به سمنتیت و پرلیت می‌شود(ساختار پوست پلنگی)	لدیوریت

¹ Spherodized graphite

چدن های خاکستری

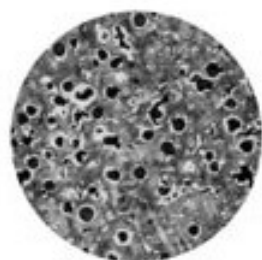
هنگامی که ترکیب شیمیایی و آهننگ سرمایه چدن مذاب به گونه ای باشد که کربن موجود در آن در حین انجماد به صورت ورقه های (لایه های) گرافیت جدا شود، به آن چدن خاکستری گفته می شود. ورقه های گرافیت در درون هر سلول یونکتیک به یکدیگر متصل اند. هنگامی که چدن خاکستری می شکند، بخش عمده شکست از روی ورقه های گرافیتی می گذرد و به همین دلیل رنگ مقطع شکست آن خاکستری است.

خواص چدن خاکستری از ابعاد، مقدار، و توزیع لایه های گرافیت و خواص مکانیکی فلز زمینه در پیرامون گرافیت تأثیر می پذیرد. این عوامل را می توان با کنترل مقدار کربن و سیلیسیم فلز مذاب و آهننگ سرمایه قطعه ریختگی تنظیم کرد. هرچه چدن آهسته تر سرد شود و مقدار کربن و سیلیسیم آن بیشتر باشد، تمایل به ایجاد ورقه های بزرگتر و بیشتر گرافیت و تشکیل ساختار زمینه نرم و با استحکام کمتر افزایش می یابد.

گرافیت ورقه ای خواص بی همتایی به چدن خاکستری می بخشد که از آن جمله می توان به قابلیت ماشینکاری عالی، مقاومت در برابر سایش بسیار خوب، توانایی مقاومت در برابر برهم سای، و میرایی ارتعاش عالی، ناشی از خطی نبودن رابطه تنش- کرنش در تنش های نسبتاً کم، اشاره کرد. در عین حال مقاومت به شکست و انعطاف پذیری چدن های خاکستری بسیار پایین است.

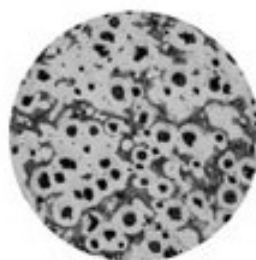
چدن با گرافیت کروی

این چدن، که به نام های چدن داکتیل یا چدن SG هم شناخته شده، ترکیبی مناسبی از خواص مکانیکی، انعطاف پذیری و مقاومت به شکست بالا را به طور همزمان به دست می دهد. در این نوع چدن، گرافیت به جای ورقه های جداگانه، به صورت کره یا گویچه تشکیل می شود. این کار با افزودن مقداری اندک، ولی معین، از عنصر منیزیم به چدن مذاب با ترکیب شیمیایی مناسب به دست می آید. شکل ۱۱-۱ نمونه ای از ریزساختارهای چدن های خاکستری و داکتیل را نشان می دهد.



Ductile Cast Iron with Pearlite Structure

ج



Ductile Cast Iron with Ferrite Structure

ب



Cast Iron with Flake Structure

الف

شکل ۱۱-۱: ریز ساختار: الف) یک چدن خاکستری، ب) یک چدن داکتیل چشم گاوی

و ج) یک چدن داکتیل پرلیتی

در چدن داکتیل کنترل درصد عناصر و ناخالصی‌ها به‌خصوص گوگرد و فسفر اهمیت زیادی دارد. دن بعضی عناصر فرعی مانع تشکیل گرافیت کروی می‌شوند. زیاد بودن مقدار کربن و سیلیسیم در چدن داکتیل از لحاظ فرایند ریخته‌گری مزایایی در بر دارد، اما افزایش زیاد از حد کربن‌های گرافیت بر خواص مکانیکی تأثیر منفی می‌گذارند.

ویژگی اصلی چدن‌های داکتیل انعطاف‌پذیری بالای آنها است که بعضاً تا ۲۵٪ و بیشتر هم می‌رسد. قطعات ریختگی چدن داکتیل در گستره وسیعی از ابعاد مختلف و مقاطع گوناگون، از بسیار نازک تا بسیار ضخیم، تولید می‌شوند. رده‌های مختلف این نوع چدن با تنظیم ساختار زمینه در پیرامون گرافیت، در حالت ریختگی یا عملیات حرارتی شده تولید می‌شوند. بین رده‌های معمولی این نوع چدن، از لحاظ ترکیب شیمیایی تفاوت اندکی وجود دارد، ولی برای تنظیم ساختار زمینه چدن داکتیل در حالت ریختگی، یا آماده‌سازی آن برای عملیات حرارتی می‌توان عناصر آلیاژی را به چدن افزود.

مراحل آزمایش

ابتدا براساس وزن مدل و سیستم راهگامی مقدار شارژ چدن خاکستری مورد نظر را محاسبه کنید و در داخل بوته گرافیتی قرار دهید. سپس بوته را درون کوره زمینی و روی زیر بوته‌ای قرار دهید و کوره را روشن کنید. همزمان با استفاده از مدل یک قطعه از سیستم بالابر آسانسور که در اختیار شما گذاشته می‌شود و ماهیچه ماسه چراغی که در جلسه دوم ساخته‌اید، قالب قطعه را از جنس ماسه طبیعی آماده کنید.

در این آزمایش برای کروی کردن مذاب از افزودن ۲٪ وزنی فروسیلیکو منیزیم استفاده می‌شود. پس از آماده شدن قالب‌ها، محاسبات وزنی شارژ چدن داکتیل را انجام داده و مقدار لازم را وزن کنید. سپس محفظه تلقیح را به صورتی که در آزمایشگاه گفته خواهد شد، آماده کرده و فروسیلیکو منیزیم وزن شده را درون آن قرار دهید. پس از ذوب چدن، بوته را در دمای ۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد از کوره خارج کرده و در تعدادی از قالب‌های ماسه‌ای ذوب‌ریزی کنید.

بعد از ریخته‌گری قطعات چدن خاکستری، بوته را به کوره برگردانید. پس از رسیدن دمای مذاب به ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، عملیات کروی کردن مذاب را به روش فروبری انجام داده و قالب‌هاب باقیمانده را ذوب‌ریزی کنید.

بعد سرد شدن قطعات ریخته شده، قالب‌ها را در گود ماسه تخلیه کرده و پس از تمیزکاری، نمونه‌های آزمایشگاهی لازم را از آنها جدا کنید.

- در این آزمایش به موارد زیر دقت نمایید و در گزارش آزمایش در مورد آنها بحث کنید:**
- ✓ تهیه نمونه چیل شده از هر دو نوع چدن و تعیین ترکیب شیمیایی به روش طیف سنجی نشر نوری (کوانتومتری)
 - ✓ مقایسه ساختار میکروسکوپی چدن خاکستری و داکتیل قبل و بعد از اچ نمونه‌های ریخته شده
 - ✓ تعیین نوع و توزیع گرافیت‌ها در چدن‌های خاکستری و داکتیل
 - ✓ تعیین درصد کرویت گرافیت‌ها در چدن داکتیل
 - ✓ تعیین قطر متوسط کره‌های گرافیتی در چدن داکتیل
 - ✓ مکانیزم کرویت شده گرافیت‌ها در چدن داکتیل
 - ✓ تاثیر عناصر گرافیت‌زا و کاربیدزا بر ساختار چدن‌ها
 - ✓ انواع روش‌های افزودن منیزیم به مذاب چدن داکتیل

آزمایش شماره ۱۲

عنوان آزمایش: شبیه‌سازی فرایندهای ریخته‌گری و انجماد

اهداف آزمایش

- آشنایی با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ریخته‌گری و انجماد
- طراحی سیستم راهگامی و تغذیه گذاری یک قطعه ساده ریختگی
- شبیه‌سازی پر شدن و انجماد یک قطعه ساده ریختگی
- پیش‌بینی و رفع عیوب ریخته‌گری با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی

وسایل آزمایش

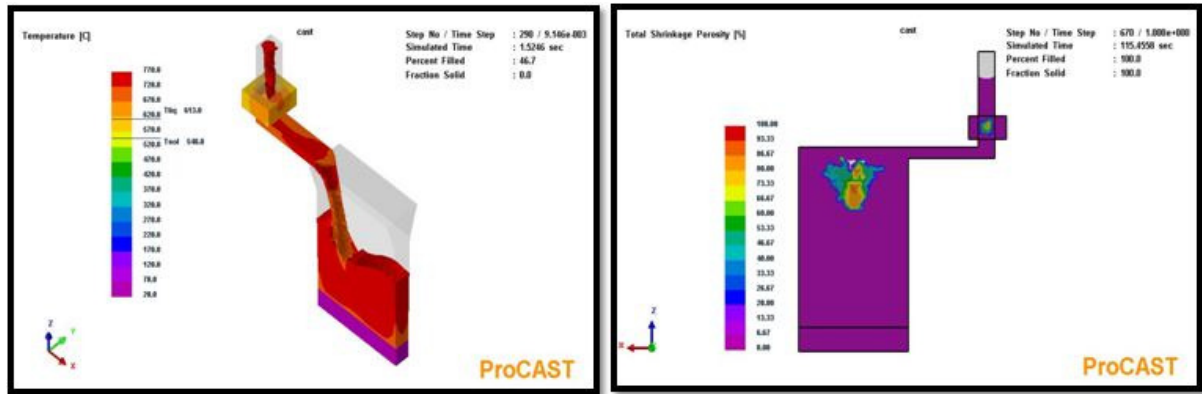
رایانه و نرم‌افزار شبیه‌سازی Procast

شرح آزمایش

در این آزمایش اصول کلی حاکم بر شبیه‌سازی ریخته‌گری و انجماد قطعات فلزی مرور شده و قابلیت‌های نرم‌افزار شبیه‌سازی Procast در موارد زیر نشان داده خواهد شد.

- ✓ پر شدن و انتقال حرارت در قالب
- ✓ انجماد مذاب و تشکیل ریزساختار انجمادی
- ✓ تاثیر مبرد و مواد عایق یا حرارت‌زا بر انجماد جهت‌دار در قالب
- ✓ پیش‌بینی عیوب ریخته‌گری شامل نیامد و عیوب انقباضی و گازی

نمونه ای از نتایج چنین شبیه‌سازی در شکل ۱۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۱: شبیه‌سازی کامپیوتری انجماد و پرشدن یک قطعه ریختگی.

آزمایش شماره ۱۳

عنوان آزمایش: بررسی و جمع بندی نتایج آزمایش‌ها

اهداف و شرح آزمایش

- ✓ بررسی و تجزیه و تحلیل عیوب ریخته‌گری
- ✓ بررسی و تجزیه و تحلیل ساختاری نمونه‌های انجماد و ریخته‌گری
- ✓ بررسی خواص مکانیکی نمونه‌های انجمادی
- ✓ بررسی نتایج آزمون‌های سیالیت
- ✓ بررسی آنالیز حرارتی

در این جلسه هر گروه از دانشجویان نتایج به دست آمده از آزمایش‌هایی که مسئول آزمایش آن بوده‌اند را به صورت پاورپوینت ارائه داده و در مورد نتایج آن بحث و نتیجه‌گیری خواهد شد.

منابع و مراجع

- 1- ASM Handbook (Volume 15): Casting, ASM International, 2008, 9th Ed.
- 2- Peter Beeley, Foundry Technology, Second Edition, Butterworth-Heinemann, 2001, 2nd Ed.
- 3- John Campbell, Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design, Butterworth-Heinemann, 2011, 1st Ed.
- 4- Richard W. Heine, Carl R. Loper Jr., Philip C. Rosenthal, Principles of Metal Casting, McGraw-Hill, 1967, 2nd Ed.
- 5 - Richard A. Flinn, Fundamentals of Metal Casting, Addison-Wesley, 1963, 1st Ed.

۶- جلال حجازی، ریخته‌گری فلزات غیر آهنی، چاپ هفتم، ۱۳۸۸.

۷- دستور کار آزمایشگاه انجماد فلزات، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، بازبینی ۱۳۹۳.