

بررسی تأثیرات دمای فوق ذوب و دمای پیش گرم قالب بر روی سیالیت ریخته گری فولاد PH-۴-۱۷

(ریخته گری به روش دقیق Investment Casting)

- امیر عابدی^(۱) - سید یاسر مرتضوی^(۲) - روح الله خالق پرست^(۲) - سعید نوروزی^(۳)
- ۱- دکترای مهندسی متالورژی مدیریت گروه متالورژی دانشگاه شهید رجایی (لویزان)
- ۲- دانشجوی کارشناسی بخش مهندسی متالورژی دانشگاه شهید رجایی (لویزان)
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی متالورژی مدیریت طراحی مهندسی صنایع ریختهگری هوا فضا

- چکیده :

فولاد زنگ نزن PH-۴-۱۷ بعنوان یک فولاد ریختگی بسیار مورد توجه می باشد در تحقیق حاضر به منظور شناسایی خواص ریخته گری آن، آزمایشاتی برای شناسایی اثر دمای فوق گداز و دمای پیشگرم قالب بر سیالیت ریخته گری این فولاد انجام شده است. بررسی نتایج نشان می دهد که سیالیت با افزایش دمای ذوب ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می یابد. بنابراین برای رسیدن به بهترین شرایط ریخته گری بایستی دمای بهینه را انتخاب نمود. کاهش دمای پیشگرم قالب نیز باعث کاهش سیالیت ریخته گری می گردد.

۱- مقدمه :

فولادهای زنگ نزن رسوب سخت شونده اولین بار در سالهای دهه ۱۹۴۰ میلادی توسعه یافتند و از آن پس به طور روز افزونی در انواع کاربردهایی که نیاز به خواص منحصر به فرد این نوع فولادها را دارند، مورد استفاده قرار گرفته اند. [۱] فولاد ۱۷-۴PH، جزو فولادهای زنگ نزن ریخته گری رسوب سخت شونده مارتنزیتی است که توسط عملیات حرارتی پیر سختی (محلول سازی و رسوب دهی)، استحکام می یابد. هنگام کوئنچ کردن، پس از عملیات محلول سازی، در این فولاد ساختار مارتنزیتی بدست می آید و طی رسوب دهی (پیر سازی) در محدوده دمایی ۶۲۰-۴۸۰ درجه سانتیگراد با تشکیل ذرات بسیار ریز و پراکنده یک فاز میکروسکوپی غنی از مس به حداکثر استحکام خود می رسد. [۲]

به منظور ریخته گری قطعات سالم از یک آلیاژ ریختگی، شناخت سیالیت ریخته گری (Casting Fluidity) آن آلیاژ از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. سیالیت ریخته گری به معنای قابلیت پرکنندگی قالب می باشد، که با اندازه گیری مسافت طی شده توسط مذاب در قالب مخصوص این آزمایش، میزان آن مشخص می گردد. سیالیت ریخته گری علاوه بر سیالیت فیزیکی مذاب به عوامل دیگری نیز ارتباط دارد. فلز مذاب در هنگام حرکت درون قالب با پدیده های انتقال حرارت از دیواره های قالب و پیامدهای آن همچون افزایش گرانشی، کاهش سرعت، انجماد از دیواره ها و در نهایت انجماد کامل روبرو خواهد بود. شدت این پدیده ها نباید به قدری باشد که از پر شدن کامل قالب جلوگیری کند. دمای فوق گداز و دمای پیشگرم قالب ریخته گری دو پارامتر موثر بر سیالیت ریخته گری هستند که به راحتی توسط ریخته گران قابل کنترل می باشند. [۳ و ۴] عموماً، می توان با افزایش درجه حرارت فوق گداز و پیشگرم قالب، سیالیت را افزایش داد. اما بایستی توجه داشت که با افزایش درجه حرارت فوق گداز، واکنشهای ترکیبی بین مذاب، قالب و محیط نیز بیشتر شده و باعث تشکیل ویا ورود انواع اکسیدها و آخالها به مذاب شده و باعث کاهش تدریجی خواص قطعه خواهد شد. بنابراین دانستن حداقل دمای فوق گدازی که دارای سیالیت کافی باشد، حائز اهمیت است.

تحقیق حاضر خاصیت سیالیت ریخته گری فولاد ۱۷-۴PH را مورد توجه قرار داده است. در این راستا با تغییر دمای فوق گداز در هنگام ریخته گری در قالب های آزمایشی، اثر این پارامتر بر سیالیت ریخته گری مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با افزایش زمان نگهداری قالب های پیش گرم شده در محیط، اثر سرد شدن قالب ها را بر سیالیت ریخته گری مورد آزمایش قرار داده می شود.

۲- روش آزمایش :

شکل مدل (نمونه آزمایشی) استفاده شده برای انجام آزمایشات در شکل ۱ نشان داده شده است. در این نمونه سعی شده است شاخه های هم ضخامت در فواصل مختلف از سیستم راهگامی قرار داده شوند تا اثر

فاصله از سیستم راهگامی نیز مورد بررسی قرار گیرد. چنانچه در شکل مشاهده می کنید، یکی از شاخه های ۲ میلیمتری از راهگاه ۸۷/۵ میلیمتر و دیگری (در سمت دیگر) ۱۷/۵ میلیمتر فاصله دارد. شاخه های ۳ میلیمتری نیز در فواصل ۱۷/۵ میلیمتر و ۵۲/۵ میلیمتر در دوطرف راهگاه قرار دارند. شاخه های ۵ میلیمتری با ۵۲/۵ میلیمتر و ۸۷/۵ میلیمتر فاصله در دو سمت راهگاه قرار گرفته اند. از یک سمت روش قالب گیری مورد استفاده ریخته گری دقیق (Investment Casting) می باشد، که این روش برای تولید قطعات با دقت ابعادی بالا استفاده می شود.

برای ساخت قالب آزمایش سیالیت در ابتدا احتیاج به تهیه مدل مومی است که به این جهت از مدل‌های چوبی (برای ایجاد شاخه های مدل سیالیت) با ضخامت های ۲، ۳ و ۵ میلیمتری برای ساخت قالب آرالدیتی که ترکیبی از رزین اپوکسی و یک سخت کننده می باشد، استفاده شد. مدل های مومی شاخه ها با تزریق در این قالب های آرالدیتی تهیه می شدند. سپس شاخه های مومی تهیه شده در قالب آرالدیتی روی راهگاه اصلی و فرعی مونتاژ گردید و به قسمت سرامیک منتقل می شد. قالبها بعد از خشک شدن و تخلیه موم برای مدت یک ساعت وارد کوره پیش گرم قالب می شدند.

کوره های پیش گرم قالبها از نوع کوره های شعله ای بود. در داخل کوره صفحه گردانی برای دسترسی بهتر به تمام فضای کوره و ترموکوپلی برای اندازه گیری درجه حرارت تعبیه شده بود. میزان درجه حرارت پیش گرم قالب ۱۱۵۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد.

کوره ذوب مورد استفاده از نوع کوره های القایی بدون هسته و با فرکانس بالا بود. این نوع کوره ها سرعت ذوب بالائی دارند و تلاطم مذاب در آنها نسبتا کم است. ظرفیت کوره مورد استفاده ۱۵۰ کیلوگرم در هر شارژ بود.

برای بررسی تاثیر دمای فوق ذوب بر روی سیالیت، با توجه به اینکه مدت زمان خارج شدن قالب از کوره پیش گرم تا هنگام بارریزی باعث کاهش درجه حرارت پیش گرم قالبها می شود، که خود یکی از عوامل موثر در سیالیت مذاب می باشد، برای ثابت در نظر گرفتن دمای پیش گرم قالبها این زمان تا حد امکان کوتاه و ثابت (حدود ۱۴ دقیقه) نگه داشته شد. در این آزمایش (آزمایش اول) ابتدا تعداد ۴ قالب از مدل مذکور تهیه شد. در حین پیشگرم کردن قالب ها، مذاب تهیه و به پایین ترین درجه حرارت مورد نظر در آزمایش (درجه حرارت 1540°C) رسانده شد. پس از بار ریزی اول دمای مذاب ۲۰ درجه سانتیگراد افزایش داده شده و قالب دوم در دمای 1560°C بار ریزی شد. به همین ترتیب بارریزی سوم در دمای 1580°C و بارریزی چهارم در دمای 1600°C انجام شد. اندازه گیری درجه حرارت بارریزی مذاب توسط ترموکوپل انجام گرفته و با رسیدن به دمای مورد نظر، قالب از کوره پیشگرم خارج شده و ریخته گری بلا فاصله انجام می شد. برای بررسی بیشتر، این آزمایش با شرایط یکسان برای ۴ قالب دیگر (آزمایش دوم) تکرار شد.

برای بررسی تاثیر دمای پیش گرم قالب بر روی سیالیت، دمای فوق گداز مذاب در دمای 1580°C ثابت نگه داشته شده و فاصله زمانی بین در آوردن قالبها از داخل کوره پیش گرم تا زمان بار ریزی به صورت متغیر در نظر گرفته شد. در این آزمایش (آزمایش سوم) از تعداد ۱۲ قالب برای تست استفاده گردید. قالب اول پس از ۱۰ ثانیه ریخته گری شده و در فواصل ۱۰ ثانیه قالب های بعدی بار ریزی شدند. از نکات قابل توجه، نحوه نگه داشتن قالبهای سرامیکی در زیر حوضچه بار ریزی کوره می باشد، برای اینکه نتایج قابل استناد باشند قالبها باید کاملاً به صورت افقی نگه داشته شوند. پس از بار ریزی فرصت کافی برای منجمد شدن مذاب و سرد شدن نمونه ها داده می شود و سپس قالبها تخریب شده نمونه های ریخته گری مورد بررسی قرار می گرفت. شکل ۲ یک نمونه ریخته شده را نشان می دهد. برای مشخص نمودن میزان سیالیت طول شاخه های ریخته شده به تفکیک با کولیس و خط کش اندازه گیری و بر حسب میلیمتر ثبت شدند.

۳- نتایج آزمایش :

نتایج مربوط به آزمایش تاثیر تغییرات دمای فوق ذوب بر سیالیت آلیاژ ۴PH-۱۷ در جداول ۱ و ۲ درج گردیده است. جدول ۳ مربوط به نتایج آزمایش تاثیر تغییرات دمای پیش گرم قالب بر روی سیالیت آلیاژ ۴PH-۱۷ می باشد.

در برخی از نمونه ها تمام طول شاخه ها پر شده بود که در این حالت طول پر شده ۲۵۰ میلیمتر ثبت شده است. در برخی شاخه ها مذاب از مسیر بالایی شاخه ها پر شده بود که بدلیل خطای آزمایش، در این موارد نتایج آزمایش حذف شده است. لازم بذکر است در مونتاژ مدل مومی به منظور عمود نگه داشتن شاخه ها، قسمت بالای شاخه ها نیز توسط موم به راهگاه اصلی وصل می شدند. این قسمت ها پس از تهیه قالب سرامیکی بصورت مجرا باقی می ماندند که در برخی موارد بصورت ناخواسته مذاب از این مجاری وارد شاخه ها می شد.

۴- بحث و بررسی نتایج:

نمودار شکل ۳ مربوط به شاخه های با ضخامت ۳ و ۵ میلیمتر می باشد که هر دو به فاصله یکسان ۵۲/۵ میلیمتر از راهگاه اصلی قرار دارند. همچنین نمودار شکل ۴ مربوط به شاخه های ۲ و ۵ میلیمتری هستند که هر دو به فاصله ۸۷/۵ میلیمتری از راهگاه اصلی قرار دارند. اثر دمای مذاب بر سیالیت ریخته گری بخوبی در این شکل ها مشاهده میگردد. چنانچه مشاهده می گردد در ضخامت ها و فواصل مختلف افزایش دما ابتدا باعث افزایش سیالیت ریخته گری آلیاژ ۴PH-۱۷ می شود. این موضوع با مطالبی که در

منابع مختلف در خصوص سیالیت مطرح شده است، مطابقت دارد. ولی بعد از دمای ۱۵۸۰ درجه سانتی گراد نمودارها افتی را در ارتفاع پر شده شاخه ها که همان افت سیالیت است را نشان می دهند. چنانچه از ترکیب شیمیایی فولاد ۴PH-۱۷ (جدول ۴) مشاهده میگردد، میزان کرم در این فولاد زیاد می باشد. وجود این عنصر فعال به میزان زیاد در ترکیب شیمیای این فولاد نشان دهنده حساسیت فولاد نسبت به افزایش درجه حرارت فوق گداز می باشد. از آنجاییکه کرم عنصر بسیار فعالی می باشد، با افزایش دما میزان سوخت آن در مذاب افزایش می یابد. این امر باعث تشکیل آخال های حاوی کروم در مذاب و کاهش عنصر کرم در ترکیب نهائی قطعه ریختگی و در نتیجه کاهش میزان مقاومت به خوردگی فولاد می گردد. وجود آخالها در مذاب باعث کاهش سیالیت مذاب می شود. در آزمایش حاضر دو موضوع افزایش دما و طول زمان نگهداری مذاب برای ریخته گری در دماهای بالاتر تشکیل آخالها را تشدید می کنند، لذا در دمای ۱۶۰۰ درجه افت سیالیت ریخته گری را در تمام نمونه ها شاهد هستیم. با توجه به این نتایج می توان نتیجه گیری نمود که برای رسیدن به بهترین شرایط ریخته گری بایستی دمای بهینه را انتخاب نمود. درخصوص آلیاژ مورد استفاده در این آزمایشات دمای بهینه ۱۵۸۰ درجه سانتیگراد می باشد. علاوه بر آن، نمودارهای شکل ۳ و ۴ تاثیر ضخامت شاخه ها را نیز بر سیالیت ریخته گری نشان می دهند. چنانچه مشاهده می گردد، طول پر شده شاخه ها در هر دو ضخامت ۳ و ۵ میلیمتر (شکل ۳) اختلاف زیادی نداشته و بخصوص در دماهای بارریزی ۱۵۶۰ و ۱۵۸۰ درجه طول های هر دو شاخه تقریباً یکسان می باشند. با وجود این، در نمودار شکل ۴ بخوبی اختلاف بین طول پر شده در شاخه های با ضخامت ۲ و ۵ میلیمتری مشاهده میگردد. از این موضوع می توان نتیجه گرفت که در ضخامتهای زیاد ضخامت در سیالیت ریخته گری اثر چندانی ندارد. در حالی که نقش سیالیت ریخته گری و عدم پر شدن قالب در ضخامت های نازک بسیار محسوس می باشد. از آنجایی که در ریخته گری دقیق همواره قطعات ظریف تری نسبت به دیگر روشهای ریخته گری تولید می گردد، لذا پدیده سیالیت ریخته گری بایستی بیشتر در این روش مورد توجه قرار گیرد.

شکل ۵ طول پر شده در شاخه های ۲ میلیمتری که در فاصله ۸۷/۵ میلیمتری و ۱۷/۵ میلیمتری از راهگاه اصلی قرار گرفته اند را برای دماهای مختلف نشان می دهد. این شکل ضمن تایید اثر دمای مذاب بر سیالیت که در نمودارهای شکل ۳ و ۴ مشاهده شد، نشان دهنده اثر فاصله شاخه از راهگاه اصلی می باشد. چنانچه مشخص است تمام شاخه هایی که نزدیک به راهگاه اصلی بوده اند از طول پر شده بیشتری برخوردار می باشند. این موضوع را با توجه به گرم تر بودن مذاب در هنگام پر کردن شاخه نزدیکتر می توان توضیح داد. در ضمن وجود فاصله بیشتر شاخه تا راهگاه اصلی باعث افت فشار بیشتری در مذاب می گردد و در نتیجه میزان فشار لازم برای پر کردن شاخه کمتر شده و در نتیجه طول پر شده کم می باشد.

در آزمایش تاثیر تغییرات دمای پیش گرم بر سیالیت آلیاژ ۱۷-۴PH انتظار می رود با افزایش زمان نگهداری قالب (فاصله زمانی بین پس از خارج کردن قالب از کوره پیش گرم و بار ریزی) سیالیت آلیاژ کاهش یافته و ارتفاع پر شده در هر شاخه کاهش یابد. ولی در بعضی از نتایج ذکر شده همانطور که ملاحظه می شود تناقضی در اعداد وجود دارد برای مثال برای ضخامت ۳ میلیمتر در ثانیه ۴۰ و ۹۰ و ۱۱۰ افزایش کمی در ارتفاع میله ها در حین کاهش دما دیده می شود. این موضوع می تواند به این دلیل باشد که برای ثابت نگهداشتن دمای فوق ذوب پس از گذشت هر چند ثانیه یک بار دمای مذاب کنترل می شد و در صورت پایین آمدن این دما، با افزایش توان کوره کمی دمای کوره را افزایش داده تا افت دما جبران گردد. به علت عدم دقت در کنترل دما در بعضی موارد درجه حرارت بیش از حد افزایش پیدا کرده یا بیش از حد کم می شد. لذا برخی نتایج آزمایشات با روند کلی آنها مطابقت ندارند. در حالت کلی و بدون در نظر گرفتن این نوسانات با افزایش زمان نگهداری قالب قبل از بار ریزی در بیرون از کوره پیش گرم (که به عبارت دیگر همان کاهش دمای پیش گرم قالب است) میزان ارتفاع میله ها نیز کاهش می یابد. این روند در شکل ۶ نشان داده شده است.

۴ - نتیجه گیری

از آزمایشاتی که برای بررسی اثر دمای مذاب و پیشگرم قالب بر روی سیالیت ریخته گری فولاد ۱۷-۴PH انجام شد نتایج زیر حاصل گردید.

- ۱- افزایش دمای مذاب ابتدا سیالیت ریخته گری را افزایش می دهد اما با افزایش بیشتر سیالیت ریخته گری کاهش می یابد.
- ۲- اختلاف طول پر شده در نمونه های ۳ و ۵ میلیمتری زیاد نمی باشد. در حالیکه طول پر شده در شاخه های ۲ میلیمتری بصورت محسوسی کمتر از طول پر شده در شاخه های ۳ و ۵ میلیمتری می باشد.
- ۳- سیالیت ریخته گری در شاخه های نزدیک به راهگاه اصلی نسبت به سیالیت ریخته گری در شاخه های هم ضخامت دور تر بیشتر می باشد.
- ۴- دمای پیشگرم قالب در محدوده مورد آزمایش تاثیر محسوسی بر کاهش سیالیت ریخته گری ندارد.

۵- مراجع و منابع :

- ۱-Aging reactions in a ۱۷-۴ph stainless steel material chemistry & physics. C.N.Hsiao,C.S.Chiou,J.R.Yang,۲۰۰۲.
- ۲-Microstructure evolution in a ۱۷-۴PH stainless steel after aging at ۴۰۰°C Published in Metal. Mater. Trans. A. Vol. ۳۰A, for ۱۹۹۹.

۳-Flemings, M.C, "Solidification Processing", USA, McGraw – Hill Inc. ۱۹۷۴. pp ۱۹۳-۲۲۴.

۴- دکتر محمد علی بوتراپی "نگرشی نوین بر طراحی سیستمهای راهگامی" اردیبهشت ۱۳۷۶

۶- جداول و شکلها:

جدول ۱: نتایج آزمایش اول تاثیر تغییرات درجه حرارت فوق ذوب بر سیالیت آلیاژ ۴PH-۱۷؛ طول سیالیت بر

حسب میلیمتر می باشد.

شماره	دمای	طول شاخه ۵	طول شاخه ۳	طول شاخه ۲	طول شاخه	طول شاخه
بارریزی	بارریزی	میلیمتری	میلیمتری	میلیمتری	۳ میلیمتری	۲ میلیمتری
۱	°C۱۵۴۰	۷۷,۶۶	۶۲,۲	۴۷	۶۰	۲۲,۹۸
۲	°C۱۵۶۰	۲۵۰	۲۵۰	۱۴۵,۹۹	۲۰۰,۹۹	۹۹,۷۸
۳	°C۱۵۸۰	۲۱۷	۲۱۰	۱۷۱,۹۶	۲۱۷,۲	۱۱۰,۷
۴	°C۱۶۰۰	۲۲۰,۷	۲۲۲,۷۴	۱۹۰,۱۸	۲۳۵,۹۹	۱۳۹,۲۹

جدول ۲: نتایج آزمایش دوم تاثیر تغییرات درجه حرارت فوق ذوب بر سیالیت آلیاژ ۴PH-۱۷؛ طول سیالیت بر

حسب میلیمتر می باشد.

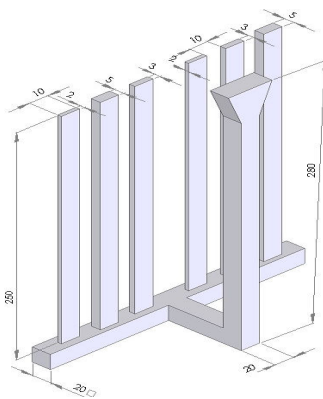
شماره	دمای	طول شاخه	طول شاخه	طول شاخه	طول شاخه	طول شاخه
بارریزی	بارریزی	۵ میلیمتری	۳ میلیمتری	۲ میلیمتری	۳ میلیمتری	۵ میلیمتری
۱	°C۱۵۴۰	۸۰,۴۳	۵۴,۶۵	۳۹,۵۱	۵۴,۳۶	۵
۲	°C۱۵۶۰	۲۰۰,۹۹	۲۰۷,۱	۱۹۱,۸	۲۵۰	۱۲۷,۵۷
۳	°C۱۵۸۰	۲۵۰	۲۴۰,۳۹	۲۱۸,۱۱	۲۵۰	۱۳۸,۹۹
۴	°C۱۶۰۰	۲۲۷,۵	۱۸۵,۵۸	۱۵۳,۳۵	۲۰۵,۰۷	۱۱۵,۲۲

جدول ۳: نتایج آزمایش سوم تاثیر دمای پیش گرم بر سیالیت فولاد ۴PH-۱۷؛ طول سیالیت بر حسب میلیمتر می باشد.

شماره بارریزی	زمان پس از پیشگرم قالب (ثانیه)	طول شاخه ۵ میلیمتری	طول شاخه ۳ میلیمتری	طول شاخه ۲ میلیمتری	طول شاخه ۱ میلیمتری	طول شاخه ۵ میلیمتری	طول شاخه ۲ میلیمتری
۱	۱۰	۲۵۰	-	۱۸۳,۱۱	۲۳۴,۵۸	-	۲۵۰
۲	۲۰	۲۲۶,۵۴	۲۱۷,۲۳	۱۶۷,۳۴	۲۰۱,۲۶	۲۳۸,۱۲	۱۱۸,۸۲
۳	۳۰	۲۲۲,۱	۲۱۳,۹۵	۱۴۲,۹۷	۱۷۹,۰۴	۲۴۰,۲۳	۹۷,۲
۴	۴۰	۲۲۷,۵۸	۲۱۵,۹۸	۱۷۴,۲	۱۹۸,۳۶	۲۵۰	۸۶,۶۳
۵	۵۰	۲۳۹,۳	۲۰۶,۳۹	۱۵۴,۲۶	۱۸۲,۴۴	۲۵۰	۱۲۴,۴۳
۶	۶۰	۲۳۰,۰۶	-	۱۵۶,۶۵	۱۸۵,۷۴	۲۳۵,۹۷	۸۶,۰۵
۷	۷۰	۲۵۰	-	۱۷۵,۴۲	۲۳۹,۳۵	-	۱۱۵,۷۴
۸	۸۰	-	-	۱۲۶,۰۱	۱۹۹,۰۹	-	۱۱۳,۸۵
۹	۱۰۰	۲۵۰	۲۰۳,۸۸	۱۲۵,۸	۱۷۷,۵	۲۵۰	۶۹,۰۴
۱۰	۱۱۰	۲۲۱,۵۴	۱۹۶,۰۷	۱۲۶,۰۲	۱۷۶,۸۹	۲۴۰,۲۸	۷۴,۳۲
۱۱	۱۲۰	۲۵۰	-	۱۱۳,۶۲	۱۵۳,۷۹	۲۵۰	۱۰۵,۹۵
۱۲	۱۳۰	۲۱۵,۴۶	۱۸۵,۹۱	۶۰,۱۵	۶۹,۳۲	۲۳۴,۸	۳۲,۴۶

جدول ۴: ترکیب شیمیایی استاندارد فولاد ۴PH-۱۷

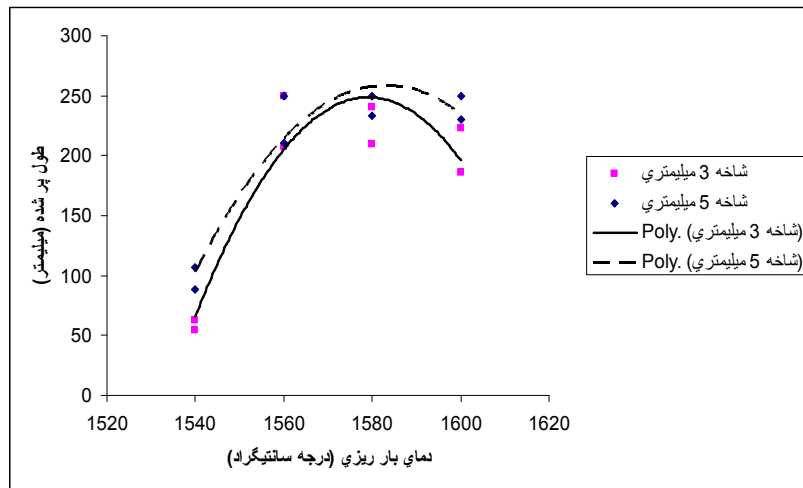
C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Cu	Nb+Ta
۰,۰۴	۱,۰۰	۱,۰۰	۱۵,۵-۱۷,۵	۳-۵	۰,۰۴	۰,۰۳	۳-۵	۰,۱۵-۰,۴۵



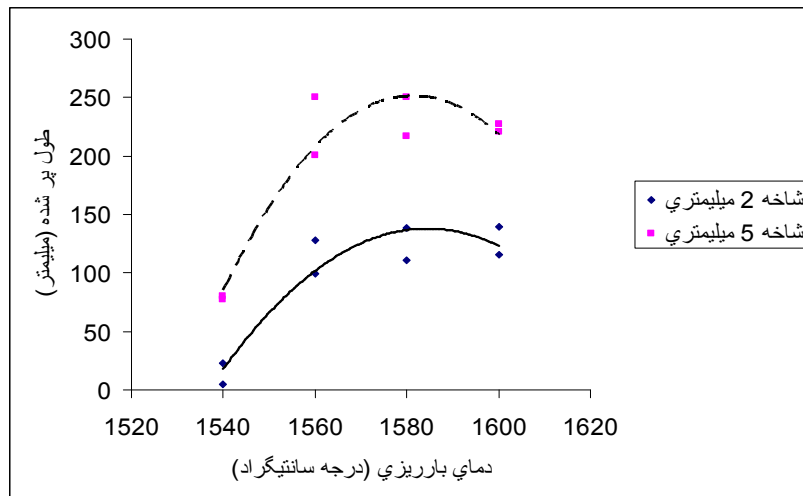
شکل ۱: مدل سیالیت مورد استفاده



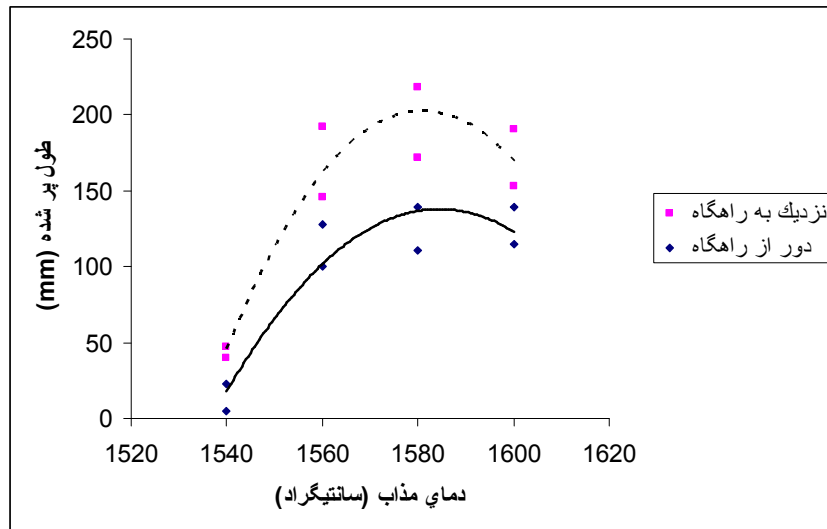
شکل ۲: نمونه ریخته شده آزمایش سیالیت



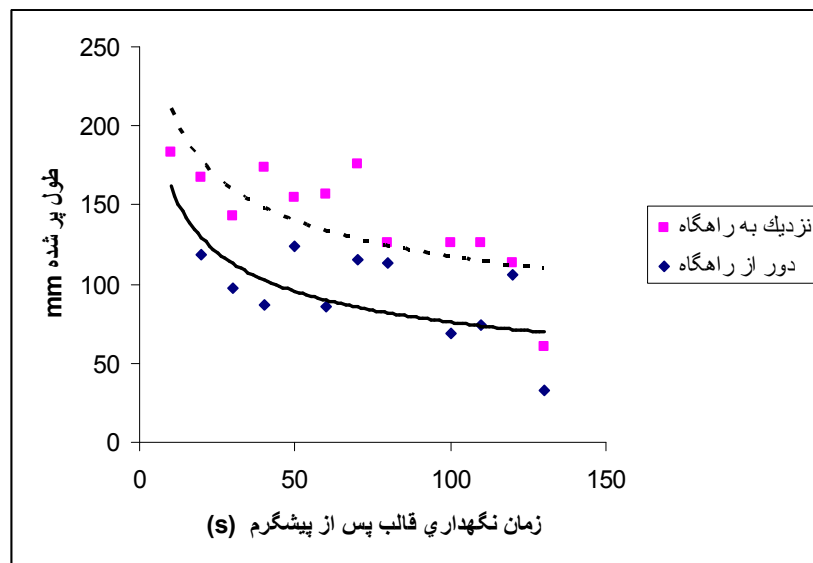
شکل ۳: طول پر شده شاخه های ۳ و ۵ میلیمتری با فاصله ۵۲/۵ میلیمتری از راهگاه اصلی



شکل ۴: طول پر شده شاخه های ۲ و ۵ میلیمتری با فاصله ۸۷/۵ میلیمتری از راهگاه اصلی



شکل ۵: سیالیت ریخته گری در شاخه های ۲ میلیمتری که در فاصله ۸۷/۵ میلیمتری و ۱۷/۵ میلیمتری راهگاه اصلی قرار گرفته اند.



شکل ۶: تاثیر زمان نگهداری قالب پس از پیشگرم آن بر طول پر شده شاخه های ۲ میلیمتری