

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان  
مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## شکل دهی چدن نشکن نیمه جامد تهیه شده به روش سطح شیبدار

بشیر حیدریان<sup>۱</sup>، محمود نیلی احمد آبادی<sup>۲</sup>، مرضیه مرادی<sup>۳</sup> و جعفر راثی زاده غنی<sup>۴</sup>

### چکیده:

چدن نشکن آلیاژی با خواص منحصر به فرد نسبت به دیگر چدن هاست که برخی عوامل مانند ضخامت بحرانی پر کردن قالب، وجود میکرو پروسیتی مخصوصا در مقاطع نازک، انجماد دندریتی و جدایش عناصر آلیاژی کاربرد های این آلیاژ را محدود می سازد، از طرف دیگر چدن های نشکن به دلیل وجود گرافیت های کروی قابلیت کار گرم و شکل پذیری خانواده فولادها را نیز ندارند تا بتوان قطعاتی نازک و بی عیب از آنها تولید کرد ولی راه حل تولید قطعات بی عیب از چدن نشکن را می توان در فرایند شکل دهی نیمه جامد دنبال کرد. شکل دهی در حالت نیمه جامد در مورد چدن ها به دلیل وجود مشکلاتی نظیر پیچیده بودن فرایند های انجمادی تحقیقات زیادی انجام نشده است. در حالی که به نظر می رسد با جایگزینی ساختار گلبولی به جای ساختار دندریتی و جلوگیری از ایجاد ریز حفرات در حین انجماد مقاطع نازک تحت فشار بتوان تا حد زیادی نقایص چدن نشکن را بر طرف ساخت و خواص مکانیکی آن را بهبود بخشید. در این تحقیق از آلیاژ چدن نشکن حاوی منگنز و مولیبدن تهیه شده به روش سطح شیبدار جهت ریخته گری تحت فشار نیمه جامد استفاده گردید و جدایش عناصر آلیاژی، جدایش مذاب و جامد، وجود ریز حفرات در مقاطع نازک و تغییر شکل گرافیت ها در هنگام شکل دهی مورد بررسی قرار گرفت.

واژه های کلیدی: ریخته گری نیمه جامد، چدن نشکن، سطح شیبدار، مقاطع نازک

<sup>۱</sup>- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

<sup>۲</sup>- استاد، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

<sup>۳</sup>- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

<sup>۴</sup>- استادیار، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

#### مقدمه:

انتخاب آلياژهای مختلف جهت کاربرد های متفاوت معمولاً طبق معيارهای خاصی صورت می پذيرد. به عنوان مثال در صنايع هوا فضا همواره نسبت استحکام به وزن بالا مد نظر است. ولی در صنايع خودرو سازی و صنايعی که با توليد انبوه سرو کار دارند معيار ها کمی به سمت کاهش هزينه های تمام شده ميل می کند و هر گاه معياری نسبت تنش تسليم به هزينه تمام شده در نظر گرفته شود همواره چدن نشکن رتبه اول انتخاب مواد است.

اين ماده مهندسی با وجود کاربرد فراوان در صنعت دارای نقاط ضعفی از قبيل عدم شکل پذيری، ساختار دندريتی حاصل از انجماد، جدایش عناصر آلياژی، تشکیل ريز حفرات حين انجماد، عدم توانایی پرکردن مقاطع نازک دارد که باعث محدوديت در کاربرد های آن می شود.

به نظر می رسد با جایگزینی ساختار گلبولی به جای ساختار دندريتی توسط ريخته گری و شکل دهی نیمه جامد تا حدودی می توان خواص چدن نشکن و به تبع آن چدن نشکن آستمپر را بهبود بخشيد. در اين راستا افزایش عناصر آلياژی نظير منگنز و موليدن و عملیات حرارتی مناسب آستمپرینگ باعث افزایش چشمگیر خواص مکانیکی می گردد، به علاوه کنترل میزان جدایش، کاهش ريز حفرات، شکل دهی در حالت نیمه جامد و ایجاد مقاطع نازک که در ريخته گری چدن نشکن با مشکل ایجاد می شود، عوامل دیگری هستند که شکل دهی در حالت نیمه جامد چدن نشکن را تشويق می کنند. تا کنون هیچ تحقیقی بر روی شکل دهی نیمه جامد چدن نشکن صورت نگرفته است.

فرایند شکل دهی نیمه جامد، فرایندی جذاب در توليد قطعات نسبت به روش های سنتی و متداول ريخته گری و فورج می باشد. از مزيت های اين فرایند می توان به دمای پایین فرایند و کاهش مصرف انرژی گرمایی، رفتار ویسکوز مواد هنگام سیلان درون قالب، کاهش میزان حلالیت گاز و حفرات گازی، کاهش انقباض حين انجماد، افزایش عمر قالب و افزایش خواص مکانیکی نسبت به حالت ريختگی اشاره کرد [۲۱]. در حال حاضر برای ایجاد ساختار غیردندريتی مذکور روش های مختلفی ابداع گردیده که از مهم ترین آنها می توان به هم زدن مکانیکی در حين انجماد، هم زدن الکترومغناطیسی، اصلاح شیمیایی دانه ها، انجماد با تبريد کنترل شده، روش سطح شیب دار، عملیات ترمومکانیکی، تبلور مجدد و ذوب جزئی و غیره اشاره کرد.

فرایند سطح شیب دار خنک کننده یکی از روش های جديد فراوری نیمه جامد می باشد که در چند سال اخير در محافل علمی مطرح شده و به دليل برخورداری از سادگی و تجهيزات ارزان، به لحاظ صنعتی نیز مورد توجه قرار گرفته است. عدم استفاده از ابزارهای مکانیکی و شیمیایی و... - چنان که در ساير روش ها دیده می شود - و در عوض بهره گیری توأمان از خنک کردن سطح و جریان مذاب در فرایند سطح

شیب‌دار موجب شده که این فرایند از نظر عملکردی از سایرین کاملاً متمایز شده و به‌رغم سادگی ظاهری، از پتانسیل‌های ممتازی برخوردار شود که قابلیت ریخته‌گری پیوسته را می‌توان مهمترین آنها برشمرد. در این فرایند، پارامترهای مختلفی چون میزان فوق‌گداز، طول، زاویه و جنس سطح و... می‌توانند در ریزساختار نهایی تاثیرگذار باشند.

روش سطح شیب‌دار به عنوان روشی ایده آل جهت فراوری نیمه جامد فلزات با دمای ذوب بالا به ویژه چدن نشکن که دیگر روشهای فراوری نیمه جامد مانند همزدن مکانیکی باعث تحلیل رفتن منیزیم و کاهش کرویت گرافیت‌ها می‌گردد شناخته می‌شود [۳].

در این تحقیق برای فراوری شمش نیمه جامد از روش سطح شیب‌دار استفاده گردید و شکل دهی نیمه جامد توسط فرایند ریخته‌گری تحت فشار صورت گرفت.

### مواد و روش انجام آزمایش:

برای طراحی آلیاژی مناسب جهت کنترل تغییرات میزان کسر مذاب بر حسب دما بررسی تاثیر عناصر آلیاژی نظیر  $Nb, Ti, Cr, V, Cu, Ni, Mo, Mn$  بر افزایش دامنه انجمادی در حالت تعادلی و سپس به دلیل فاصله گرفتن نوع انجماد از حالت تعادلی بر روی سطح شیب‌دار، به صورت غیر تعادلی صورت گرفت. به دلیل زمان بر بودن و هزینه بر بودن فرایند، تاثیر عناصر با شبیه‌سازی توسط نرم افزار  $Thermo-Calc^{\circledR}$  انجام شد و بهترین نتایج شبیه‌سازی جهت رسیدن به دامنه انجمادی بهینه و کنترل میزان کسر مذاب به دما برای ریخته‌گری نیمه جامد انتخاب شد [۴].

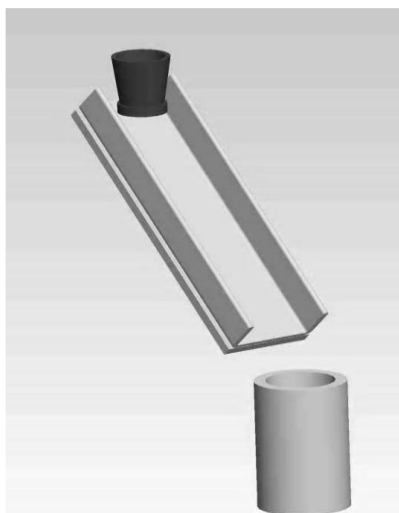
پس از بررسی‌های شبیه‌سازی آلیاژ جدول ۱ جهت ریخته‌گری نیمه جامد با دامنه انجمادی مناسب و حساسیت کسر مذاب کم جهت ریخته‌گری انتخاب شد.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی آلیاژهای مورد استفاده (درصد وزنی)

C	Si	S	P	Mn	Mo	Mg	Fe
۳/۶	۲/۹	۰/۰۰۷	۰/۰۱۷	۱/۰۵	۰/۴۵	۰/۰۶	Bal.

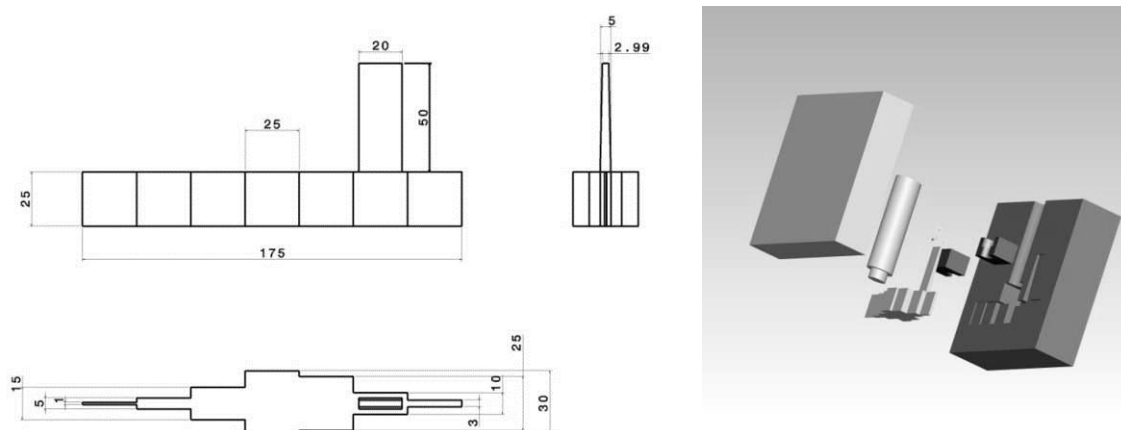
سطح شیب‌دار مورد استفاده جهت ریخته‌گری نیمه جامد به طول  $1000\text{ mm}$  و عرض  $50\text{ mm}$  از ورق مسی به ضخامت  $20\text{ mm}$  ساخته شد که جهت جلوگیری از چسبندگی مذاب، سطح آن توسط نیتريد بور (BN) پوشش داده شد. شماتیک روش استفاده از سطح شیب‌دار در شکل ۱ نشان داده شده است. شرایط ریخته‌گری اعم از دمای ذوب ریزی، دمای سطح شیب‌دار، طول و زاویه بهینه و دیگر موارد، مطابق با تحقیقات

انجام شده پيشين [۲] ( دمای بار ریزی ۱۳۷۰ درجه سانتیگراد، طول ۵۶۰mm و زاویه ۷/۵ درجه) انتخاب گردید. عملیات ذوب ریزی در قالب ماسه ای انجام شد.

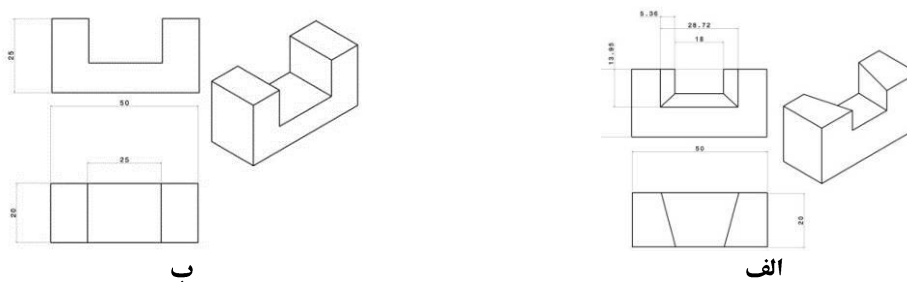


شکل ۱. شماتیک سطح شیب دار استفاده شده در تهیه شمش های نیمه جامد.

عملیات شکل دهی نیمه جامد در قالب پلکانی صورت گرفت. در شکل ۲ اجزای قالب پلکانی به صورت شماتیک نشان داده شده است. جهت شکل دهی از دو گیت یکی به شکل حجم منشوری که مقطع بالایی آن مربعی به طول ضلع ۲۶ میلیمتر و مقطع پایینی نیز مربعی به طول ضلع ۱۸ میلیمتر (گیت شماره ۱) و دیگری به صورت مستطیلی به ابعاد ۳۰×۲۵ میلیمتر (گیت شماره ۲) به صورت مستقیم طراحی گردید. ضخامت ها همانطور که در شکل نشان داده شده است، از ۳۰ میلیمتر تا ۱ میلیمتر متغیر می باشد. شکل ۳ ابعاد گیت ها را نشان می دهد.



شکل ۲. (الف) شماتیک قالب پلکانی و اجزای تشکیل دهنده آن (ب) ابعاد قسمت های مختلف قطعه.



شکل ۳. ابعاد گیت های (الف) شماره ۱ و (ب) شماره ۲

جهت شکل دهی نیمه جامد دمای قالب  $450^{\circ}\text{C}$ ،  $500^{\circ}\text{C}$  و  $600^{\circ}\text{C}$  و دو گیت مختلف با ابعاد  $18 \times 18$  (گیت شماره ۱) و  $30 \times 25$  میلیمتر (گیت شماره ۲) در نظر گرفته شد و گرمایش مجدد نمونه ها در دمای  $1150^{\circ}\text{C}$ ، مطابق با کسر مذاب ۵۰ درصد، در زمان حدود ۳۵ دقیقه انجام گردید. گرمایش مجدد نمونه ها در کوره مقاومتی و در نگهدارنده استوانه ای شکل از جنس گرافیت تحت گاز آرگون جهت جلوگیری از اکسیداسیون چدن صورت گرفت. در انجام آزمایشات، تزریق در سرعت  $100 \text{ mm/sec}$  انجام شد. فشار اعمالی پس از پر شدن قالب حدود ۱۲ تن و به مدت ۵ ثانیه اعمال گردید. شکل دهی باید با سرعت مناسبی انجام گردد تا قبل از انجماد، قطعه به طور کامل پر شود.

بررسی های میکروسکوپی توسط میکروسکوپ نوری مدل ZEISS انجام شد. برای حکاکی نمونه ها جهت تشخیص فازهای مختلف از محلول حکاکی رنگی چدن نشکن استفاده شد که حاوی ترکیب ۱۴

گرم هیدروکسید سدیم (NaOH)، ۲ گرم هیدروکسید پتاسیم (KOH)، ۲ گرم اسید پیکریک و ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر می باشد که محلول اچ مربوطه در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  صورت می گیرد.

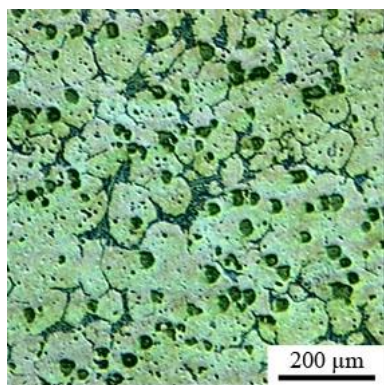
#### نتایج و بحث:

شکل ۴ تصویر نمونه شکل دهی شده در دمای قالب  $450^{\circ}\text{C}$  و گیت شماره ۱ را نشان می دهد. به دلیل محدودیت سرعت تزریق و انجماد قطعه شکل داده شده در این شرایط، قطعه به طور کامل پر نشده و فقط پله های ۳۰، ۲۵ و ۱۵ میلیمتر به طور ناقص پر شده اند.

بررسی های ریز ساختاری نشان می دهد که انجماد در گیت اتفاق افتاده و مانع از پر شدن کامل قالب شده است. همانطور که در تصاویر مشاهده می گردد هیچ فشردگی در ریز ساختار فاز جامد مشاهده نمی شود و این بیانگر انجماد در گیت است.

شکل ۵ (الف) تصویر نمونه شکل دهی شده در دمای قالب  $500^{\circ}\text{C}$  و گیت شماره ۱ را نشان می دهد. به دلیل محدودیت سرعت تزریق و انجماد قطعه شکل داده شده در این شرایط، قطعه به طور کامل پر نشده و فقط پله های ۳۰، ۲۵ و ۱۵ میلیمتر به طور ناقص پر شده اند.

همانند قبل بررسی های ریز ساختاری نشان می دهد که انجماد در گیت اتفاق افتاده و مانع از پر شدن کامل قالب شده است.



ب



الف

شکل ۴. (الف) قطعه شکل دهی شده در دمای  $450^{\circ}\text{C}$ ، قطعه به طور ناقص پر شده است (ب) عدم تغییر شکل گرافیت ها در ساختار گیت





شکل ۵. (الف) قطعه شکل دهی شده در دمای  $500^{\circ}\text{C}$ ، قطعه به طور ناقص پر شده است. (ب) قطعه شکل دهی شده در دمای  $600^{\circ}\text{C}$ ، قطعه تقریباً به طور کامل پر شده است

پس از عدم موفقیت در پر کردن قطعه در دو دمای مذکور راه حل بعدی افزایش دمای قالب تا دمای  $600^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی گراد بود. برای کاهش زمان پر کردن قالب از قطعه ای با ابعاد  $15 \times 25 \times 25$  میلیمتر جهت قرار دادن در پله ۱۵ میلیمتر و بستن قسمت نازک قالب استفاده گردید.

در تصویر ۵ (ب)، تصویر قطعه شکل دهی شده در این دمای قالب و گیت شماره ۱ ملاحظه می شود. به دلیل محدودیت سرعت تزریق و انجماد قطعه شکل داده شده در این شرایط، قطعه تقریباً به طور کامل پر شده و فقط قسمت گوه ای شکل به طور ناقص پر شده است.

محاسبات نشان می دهد که وجود قطعه فلزی که جهت بستن نیمی از قالب استفاده گردید باعث کاهش مدول پله ۳۰ میلیمتر شده و زمان انجماد را کاهش می دهد این امر سبب می شود تا قطعه به طور کامل پر نگردد [۵].

در تصویر ۶، تصویر قطعه شکل دهی شده در دمای قالب  $600^{\circ}\text{C}$  و گیت شماره ۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است قطعه به طور کامل پر شده و هیچ عیب ظاهری ندارد. بررسی های ریز ساختاری در شکل های ۸ در دو حالت حکاکی شده و حکاکی نشده نشان می دهد که تمامی پله ها به جز پله ۳۰ میلیمتر بدون عیوب ریز ساختاری اعم از تغییر شکل گرافیت ها و حفرات انقباضی و... بوده و نکته قابل توجه این است که تمامی پله ها حتی پلیسه های اطراف و مجرای خروج گاز به طور کامل توسط مخلوط نیمه جامد پر شده اند (شکل ۹) و در تمامی پله ها گرافیت به صورت یکنواخت در تمامی سطح پراکنده است.



علت بوجود آمدن حفرات انقباضی در مقطع ۳۰ میلیمتر وجود مذاب اولیه است که به دلیل غیر یکنواختی عملیات گرمایش مجدد بوجود می آید، و به هنگام عملیات در ابتدا وارد قالب شده و با انجماد دندریتی و سیالیت کم باعث بوجود آمدن عیوبی همچون ترک و حفرات انقباضی می گردد.



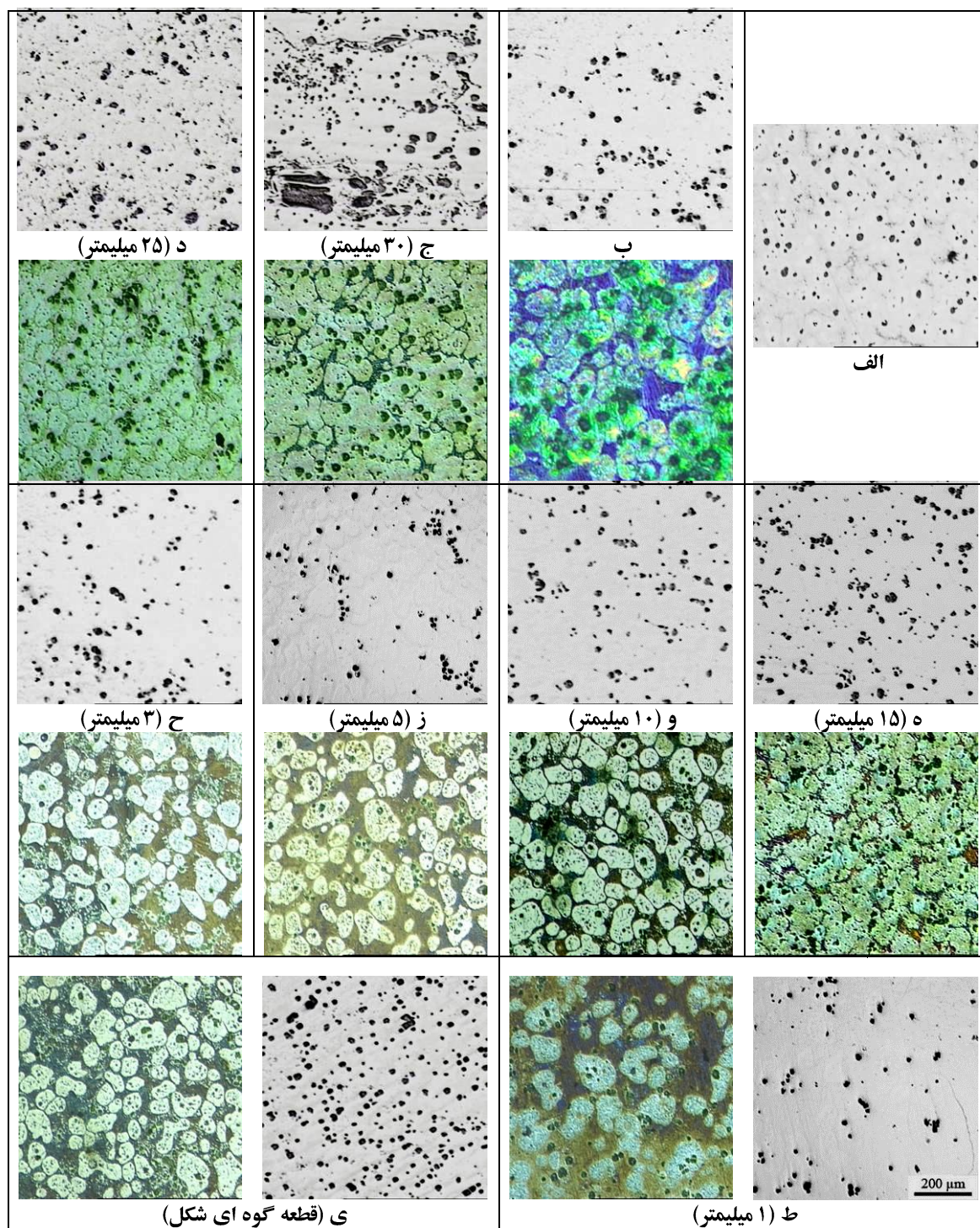
شکل ۶. قطعه شکل دهی شده در دمای  $600^{\circ}\text{C}$  و گیت شماره ۲

تصاویر ۸ نشان دهنده گرافیت ها در حالت ریخته گری نیمه جامد، پس گرمایش مجدد و دایکاست در مقاطع مختلف را در حالت حکاکی نشده نشان می دهد. جدول ۲ نشان دهنده میزان کرویت گرافیت ها در مقاطع مختلف را نشان می دهد.

با انتخاب دمای بهینه گرمایش مجدد، کسر مذاب حدود ۵۰ درصد و سرعت تزریق مناسب می توان به قطعه ای سالم با ریز ساختاری مناسب دست یافت.

عدم تغییر شکل گرافیت ها نکته بسیار مهمی در شکل دهی چدن نشکن به روش نیمه جامد است، وجود گرافیت در پوسته های آستنیتی و محافظت شدن آنها از تغییر شکل و وارد نشدن تنش به گرافیت ها در مورد گرافیت هایی که در مذاب قرار دارند باعث می شود که حین تغییر شکل و تولید قطعاتی حتی با ضخامت ۱ میلی متر تغییر شکلی متوجه گرافیت ها نباشد. البته باید توجه داشت این شرایط فقط با وجود گرمایش مجدد، شرایط تزریق و طراحی مناسب قالب بدست می آید.

شکل دهی چدن نشکن ...

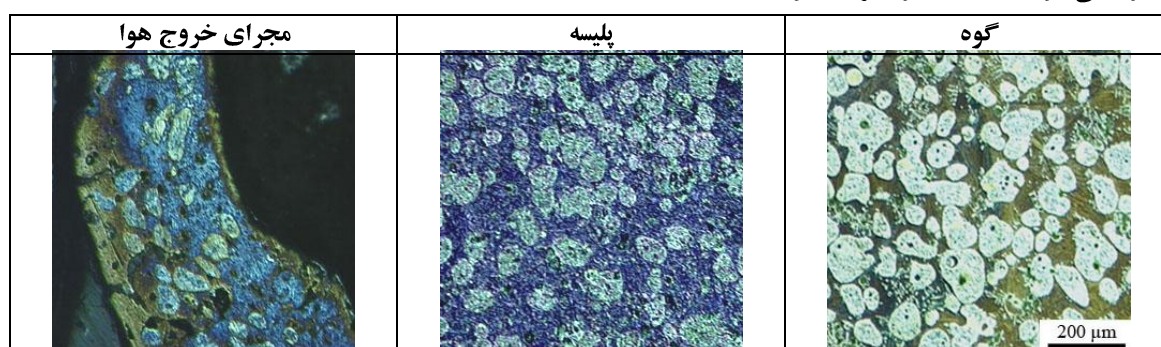


شکل ۸. گرافیت ها در حالت (الف) ریخته گری نیمه جامد ، (ب) پس گرمایش مجدد و (ج-ی) دایکاست در مقاطع مختلف

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالورژی

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است کرویت گرافیت پس از عملیات شکل دهی در حالت نیمه جامد تغییر چندانی نمی کند و در حد مطلوب باقی می ماند. تغییر فرم گرافیت ها زیر ۱۵٪ باقی می ماند و این نکته نقطه قوت فرایند نیمه جامد نسبت به دیگر فرایندهای شکل دهی چدن نشکن می باشد. البته باید توجه داشت در ضخامت های ۳۰، ۲۵ و ۱۵ ( زیر گیت) به دلیل اغتشاش اولیه و کمبود مذاب برخی از گرافیت ها تغییر شکل می دهند که با طراحی صحیح قالب و سرعت بالا که مانع از جدایش مذاب می شود می توان از آن جلوگیری نمود.



شکل ۹. تصاویر متالوگرافی بخشهای پلیسه و گوه و مجرای خروج هوا  
جدول ۲. میزان کرویت گرافیت ها قبل و بعد از دایکاست در مقاطع مختلف

کرویت	مقطع ( میلیمتر)	کرویت	مقطع ( میلیمتر)
۰/۹۵	۳	۰/۸۲	۳۰
۰/۹۴	۱	۰/۸۴	۲۵
۰/۹۴	گوه	۰/۸۵	۱۵
۰/۹۷	ریختگی	۰/۹	۱۰
۰/۹۸	گرمایش مجدد یافته	۰/۹۱	۵

### نتیجه گیری:

۱. شکل دهی در حالت نیمه جامد می تواند به عنوان یکی از بهترین روشهای شکل دهی چدن های نشکن مطرح گردد. نتایج حاصله نشان می دهد با این روش می توان قطعاتی با ضخامت ۱ میلیمتر بدون تغییر شکل محسوس در گرافیت ها تولید نمود.
۲. در این فرایند سرعت تزریق امری بسیار مهم است و همواره باید با سرعتی انجام گردد که قبل از انجماد قطعه به طور کامل پر شود..
۳. وجود مذاب اولیه به دلیل گرمایش مجدد غیر همگن باعث ایجاد عیوبی نظیر ترک و حفرات انقباضی و تغییر شکل گرافیت ها در مقطع ۳۰ میلیمتر می گردد.

### مراجع:

1. G. Chairmetta, 6<sup>th</sup>.Int.Conf. Semi-Solid.Comp.,Torino,Italy, 2000, p. 15.
2. L. Salvo, M.Suery, Y.de Charentenay, W.Loue, Proc. 4<sup>th</sup> Int.Conf. Semi-Solid.Comp.,Sheffield, 1996, p. 10.
3. M. Nili-Ahmadabadi, F. Pahlevani, P. Babaghorbani, Tsinghuya Science & Technology, 2008, Vol. 13, No. 2, pp. 147-151.
4. B. Heidarian, M. Nili-Ahmadabadi, H. Mehrara, Submitted to Int. Journal of Cast Metals.
5. Richard A. Flinn, "Fundamentals of Metal Casting", Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1963.



## Semi-solid casting of ductile cast iron produced by inclined cooling plate

**B. Heidarian**<sup>1</sup>, M.Nili-Ahmadabadi<sup>2</sup>, M. Moradi<sup>3</sup>, J. Rasizadeh Ghani<sup>4</sup>  
[Bashir.Heidarian@gmail.com](mailto:Bashir.Heidarian@gmail.com), [Nili@ut.ac.ir](mailto:Nili@ut.ac.ir), [Moradi4728@yahoo.com](mailto:Moradi4728@yahoo.com), [Jghani@ut.ac.ir](mailto:Jghani@ut.ac.ir)

### Abstract

The processing of metals in the semi-solid state is becoming an innovative technology for the production of globular structure and high quality cast parts. Ductile irons because of spherical graphite have specific properties such as good mechanical properties, strength and toughness together and suitable castability. This engineering alloy along with growing application has several shortcoming which had limited its applications such as non-formability, dendritic structure and alloying element segregation, micro-porosity resulted from solidification mode and fabrication of thin section parts. It seems that replacing dendritic structure with globular structure and thixoforming, results in improving of mechanical properties, controlling of alloying element segregation, decreasing of micro-porosity and increasing of ability to thin section filling. In this paper high pressure mold filling of ductile iron contains Mn and Mo in semi-solid state has been investigated. Filling properties, fluidity, liquid segregation, alloying element segregation and defects like shrinkages holes and cracks were characterized.

**Keywords:** Semi- solid, ductile iron, high pressure mold filling, segregation

---

<sup>1</sup>- Master student, School of Metallurgy and materials Engineering, University College of Engineering University of Tehran.

<sup>2</sup> - Professor of School of Metallurgy and materials Engineering, University College of Engineering University of Tehran.

<sup>3</sup> - Master of Science, School of Metallurgy and materials Engineering, University College of Engineering University of Tehran.

<sup>4</sup> - Professor assistant of School of Metallurgy and materials Engineering, University College of Engineering University of Tehran.