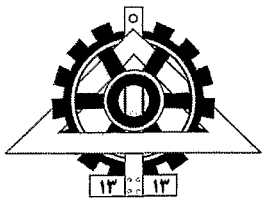


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۸۷/۱/۱۰ ۴۹۹۲
۸۷/۱۱/۱۹



دانشگاه تهران
پردیس دانشکده های فنی
دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

عنوان:

کنترل ریز ساختار و خواص مکانیکی چدن نشکن تیکسو فرم شده

نگارش:

بشیر حیدریان

استاد راهنما:

دکتر محمود نیلی احمد آبادی

استاد مشاور:

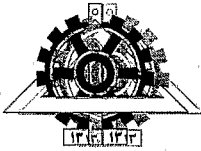
دکتر جعفر راثی زاده غنی

۱۳۸۷ / ۹ / ۲۵

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی متالورژی و مواد
گرایش شناسایی و انتخاب و روش ساخت مواد مهندسی

مهر ۱۳۸۷

۱۰۱۵۷۳



بسمه تعالی

دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

دانشکده مهندسی متالورژی و مواد

گواهی دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

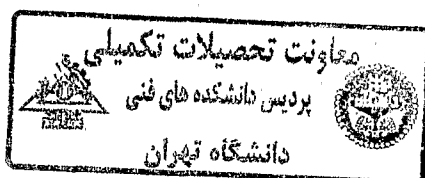
هیأت داوران پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای بشیر حیدریان به شماره دانشجویی ۸۱۰۷۸۵۱۴۴ در رشته مهندسی متالورژی و مواد گرایش شناسایی و انتخاب روش ساخت مواد مهندسی را در تاریخ ۱۳۸۷/۷/۷ با عنوان کنترل ریز ساختار و خواص مکانیکی چدن نشکن تیکسوفرم شده

به عدد به حروف

با نمره نهایی	۲۰	بیست
و درجه	عالی	ارزیابی کرد.

ردیف	مشخصات هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضاء
۱	استاد راهنما	محمود نیلی احمد آبادی	استاد	دانشگاه تهران	
۲	استاد مشاور	جعفر راثی زاده غنی	استادیار	دانشگاه تهران	
۳	استاد داور داخلی	فرشاد اخلاقی	دانشیار	دانشگاه تهران	
۴	استاد مدعو	ناصر ورهرام	دانشیار	دانشگاه صنعتی شریف	
۵	نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی مواد	محمود حیدر زاده سهی	استاد	دانشگاه تهران	

این برگه پس از تکمیل توسط هیأت داوران در نخستین صفحه پایان‌نامه درج می‌شود.





تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب بشیر حیدریان تایید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: بشیر حیدریان

امضاء دانشجو:

[Handwritten signature]

چکیده

از جمله دستاوردهای مهم فناوری نیمه جامد آلیاژهای فلزی، امکان فراوری آلیاژهای با نقطه ذوب بالا نظیر آلیاژهای آهنی و آلیاژهای پایه مس در حالت نیمه جامد می باشد. در این میان، چدن‌ها با داشتن بیشترین تناژ و حجم تولید در میان قطعات ریختگی دنیا باز هم موضوع تحقیقات هستند. روش سطح شیبدار به عنوان روشی مفید در فراوری نیمه جامد چدن‌ها به ویژه چدن نشکن که محدودیتهای زیادی در فراوری نیمه جامد آن وجود دارد شناخته می شود، مهمترین محدودیت آن از بین رفتن منیزیم در فرایند های مرسوم نیمه جامد است.

چدن نشکن آلیاژی دارای خواص منحصر به فرد نسبت به دیگر چدن هاست. برخی عوامل مانند ضخامت بحرانی پر کردن قالب، وجود ریز حفرات به ویژه در مقاطع نازک، انجماد دندریتی و جدایش عناصر آلیاژی، کاربرد های این آلیاژ مهندسی 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 نداشته، لذا تولید قطعات نازک و بی عیب با مشکلاتی همراه می باشد. تا کنون تحقیقات چندانی بر روی شکل دهی نیمه جامد چدن ها به دلیل وجود مشکلاتی نظیر پیچیده بودن فرایند های انجمادی انجام نشده است. در حالی که به نظر می رسد با جایگزینی ساختار گلوبولی 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. مزیت مهم این روش امکان شکل دهی چدن نشکن بدون تغییر شکل گرافیت های کروی می باشد. 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. علاوه بر آن، 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. پس از بهینه نمودن شرایط تزریق و تولید قطعات بدون عیب قطعات در شرایط مختلفی آستمپر و بهترین نمونه های آستمپر شده جهت تست کشش انتخاب شدند. نتایج حاصل از تست کشش نشان داد چدن نشکن فراوری شده به روش نیمه جامد با ساختار گلوبولی پس از عملیات آستمپر تلفیق بی نظیری از استحکام و انعطاف پذیری را داراست.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر نیلی احمدآبادی به خاطر کمک های بی دریغ و راهنمایی های با ارزش ایشان که در طول انجام پروژه راهگشای من بوده است کمال تشکر را می نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر راثی زاده که مشاور انجام این پروژه بوده اند تشکر و قدردانی می نمایم. از همکاران خوبم در آزمایشگاه استحاله فازها به ویژه سرکار خانم مهندس مرادی که طی انجام این پروژه همکاری بسیاری داشته اند تشکر می نمایم. برای پرسنل محترم کارگاه های ریخته گری و تراشکاری نیز آرزوی موفقیت و سلامت می نمایم.

فهرست مطالب

- ۱-۱- چشم انداز ۱
- ۲-۱- معرفی فرایند نیمه جامد ۱
- ۳-۱- حوزه تحقیقات ۳
- ۴-۱- روش و اهداف ۴
- ۱-۲- شکل دهی نیمه جامد ۵
- ۲-۱-۲- مسیر فرایندهای نیمه جامد ۷
- ۲-۲- فراوری نیمه جامد ۷
- ۱-۲-۲- فرایندهای ذوبی ۷
- ۱-۱-۲-۲- روش سطح شیب دار خنک کننده ۸
- ۲-۲-۲- فرایندهای حالت جامد ۹
- ۳-۲- مکانیزم تبدیل ساختار دندریتی به ساختار گلبولی در فرایند سطح شیب دار ۹
- ۴-۲- شکل دهی نیمه جامد ۱۱
- ۱-۴-۲- بررسی رفتار مواد در شکل دهی نیمه جامد ۱۲
- ۵-۲- شکل دهی نیمه جامد آلیاژهای پایه آهن ۱۵
- ۱-۵-۲- گرمایش مجدد ۱۶
- ۲-۵-۲- تحولات ریز ساختاری حین گرمایش مجدد ۱۶
- ۳-۵-۲- مواد قالب ۱۸
- ۴-۵-۲- شکل دهی نیمه جامد چدن ۱۹
- ۱-۴-۵-۲- تهیه شمش نیمه جامد ۱۹
- ۲-۴-۵-۲- شکل دهی نیمه جامد ۲۲

- ۲۴.....انتخاب ترکیب آلیاژ ۳-۴-۵-۲
- ۲۵.....عملیات حرارتی و خواص مکانیکی ۴-۴-۵-۲
- ۲۸.....چدن نشکن ۶-۶-۲
- ۲۹.....انجماد چدن نشکن ۱-۶-۲
- ۳۲.....مشکلات چدن نشکن و ریخته گری آن ۲-۶-۲
- ۳۲.....ریخته گری مقاطع نازک ۱-۲-۶-۲
- ۳۲.....جدایش عناصر آلیاژی در حین انجماد ۲-۲-۶-۲
- ۳۴.....تغییر شکل گرافیت ها ۳-۲-۶-۲
- ۳۵.....بررسی اثر کار گرم بر ریز ساختار چدن نشکن ۳-۶-۲
- ۳۵.....آلیاژ مناسب چدن نشکن جهت کنترل کسر مذاب در فرایند نیمه جامد ۷-۲
- ۳۷.....تاثیر عوامل مختلف بردامنه انجمادی چدن نشکن ۱-۷-۲
- ۳۷.....نحوه انجماد ۱-۱-۷-۲
- ۳۷.....مدل انجمادی Scheil ۲-۱-۷-۲
- ۳۸.....تاثیر عناصر آلیاژی بر دامنه انجمادی ۳-۱-۷-۲
- ۳۸.....تاثیر عناصر گرافیت زا ۱-۳-۱-۷-۲
- ۴۰.....روابط مربوط به ریخته گری تحت فشار ۸-۲
- ۴۱.....چدن نشکن آستمپر (ADI) ۹-۲
- ۴۳.....قابلیت آستمپر پذیری ۱-۹-۲
- ۴۳.....عملیات آستمپرینگ در چدنهای نشکن ۲-۹-۲
- ۴۵.....واکنش آستمپرینگ ۳-۹-۲
- ۴۶.....متغیرهای فرآیند آستمپرینگ ۱۰-۲
- ۴۶.....دما و زمان آستنیته کردن ۱-۱۰-۲

- ۴۶..... ۲-۱۰-۲- دما و زمان آستمپرینگ
- ۴۷..... ۲-۱۱-۱۱- نقش عناصر آلیاژی بر روی چدن نشکن آستمپر
- ۴۸..... ۲-۱۱-۱- منگنز
- ۴۹..... ۲-۱۱-۲- مولیبدن
- ۴۹..... ۲-۱۱-۳- مس و نیکل
- ۴۹..... ۲-۱۲- آستمپرینگ دو مرحله ای
- ۵۱..... ۲-۱۳- خواص مکانیکی چدن های نشکن آستمپر
- ۵۳..... ۳-۱- کلیات
- ۵۳..... ۳-۲- شبیه سازی و طراحی آلیاژ
- ۵۳..... ۳-۲-۱- فرایند شبیه سازی
- ۵۴..... ۳-۲- مواد اولیه
- ۵۵..... ۳-۴- سطح شیدار
- ۵۶..... ۳-۴-۱- قالب ماسه ای
- ۵۹..... ۳-۴-۲- قالب فلزی
- ۵۹..... ۳-۵- عملیات حرارتی گرمایش مجدد
- ۶۰..... ۳-۶- قالب پلکانی
- ۶۳..... ۳-۷- عملیات شکل دهی نیمه جامد
- ۶۴..... ۳-۸- عملیات آستمپرینگ
- ۶۵..... ۳-۹- روش های آنالیز ریز ساختار
- ۶۵..... ۳-۹-۱- آماده سازی سطحی نمونه ها
- ۶۶..... ۳-۹-۲- بررسی ریز ساختاری نمونه ها

- ۱۰-۳- بررسی خواص مکانیکی ۶۶
- ۱-۱۰-۳- سختی سنجی ۶۶
- ۲-۱۰-۳- تست کشش ۶۶
- ۱۱-۳- شکست‌نگاری ۶۷
- ۱-۴- نتایج حاصل از شبیه‌سازی ۶۸
- ۲-۴- ریز ساختارهای حاصل از ذوب ریزی ۷۰
- ۳-۴- ریز ساختارهای حاصل از گرمایش مجدد ۷۲
- ۴-۴- شکل دهی نیمه جامد ۷۴
- ۱-۴-۴- تخمین سرعت‌های پر شدن ۷۵
- ۲-۴-۴- تخمین زمان انجماد در مقاطع مختلف ۷۶
- ۳-۴-۴- تاثیر پارامترهای مختلف بر شکل دهی نیمه جامد چدن ۸۰
- ۱-۳-۴-۴- تاثیر دمای قالب ۸۰
- ۱-۱-۳-۴-۴- دمای قالب 450°C ۸۰
- ۲-۱-۳-۴-۴- دمای قالب 500°C ۸۴
- ۳-۱-۳-۴-۴- دمای قالب 600°C ۸۸
- ۲-۳-۴-۴- تاثیر ابعاد گیت ۹۲
- ۱-۲-۳-۴-۴- گیت مستقیم (گیت شماره ۲) ۹۲
- ۳-۳-۴-۴- تاثیر میزان مذاب (زمان گرمایش مجدد) ۹۹
- ۴-۴-۴- بررسی‌های ریز ساختاری دیگر ۱۰۰
- ۵-۴- محاسبه کرویت گرافیت‌ها قبل و بعد از فرایند دایکاست ۱۰۴
- ۶-۴- بررسی میزان جدایش حین انجماد ۱۰۸
- ۷-۴- بررسی تغییرات کسر مذاب در مقاطع مختلف ۱۰۹

- ۱۱۰ ۸-۴- عملیات حرارتی آستمپرینگ
- ۱۱۰ ۱-۸-۴- عملیات آستمپرینگ تک مرحله ای
- ۱۱۱ ۱-۱-۸-۴- عملیات آستنیته کردن
- ۱۱۲ ۲-۱-۸-۴- عملیات آستمپرینگ
- ۱۱۴ ۲-۸-۴- عملیات آستمپرینگ دو مرحله ای
- ۱۱۶ ۹-۴- نتایج سختی سنجی
- ۱۱۷ ۱۰-۴- نتایج تست کشش
- ۱۱۹ ۱۱-۴- نتایج شکست نگاری
- ۱۲۲ ۵- نتیجه گیری
- ۱۲۴ مراجع

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲ پتانسیل های ویژه فناوری نیمه جامد ۶
- جدول ۱-۲-۱ محدوده ترکیب شیمیایی چدنهای نشکن ۲۸
- جدول ۲-۲. محدوده خواص مکانیکی گریدهای مختلف چدن آستمپر ۵۲
- جدول ۱-۳. دامنه تغییرات عناصر آلیاژی ۵۳
- جدول ۳-۲. آنالیز شیمیایی مناسب جهت ریخته گری نیمه جامد ۵۴
- جدول ۳-۳. دامنه تغییرات عناصر آلیاژی ۵۴
- جدول ۳-۴. ترکیب شیمیایی آلیاژهای مورد استفاده (درصد وزنی) ۵۵
- جدول ۳-۵. ترکیب شیمیایی کرومی کننده مورد استفاده ۵۵
- جدول ۳-۶. ترکیب شیمیایی جوانه زای مورد استفاده ۵۵
- جدول ۱-۴. لیست عناصر آلیاژی موجود در آلیاژهای مختلف چدن نشکن ستفاده شده در شبیه سازی ۶۹
- جدول ۲-۴. دامنه انجمادی آلیاژهای مختلف چدن نشکن در دو حالت تعادلی و غیر تعادلی ۶۹
- جدول ۳-۴ تغییرات سرعت در مقاطع مختلف در قالب پلکانی بر اساس سرعت پیستون 100 mm/s ۷۶
- جدول ۴-۴ مشخصات فیزیکی جهت محاسبه زمان انجماد ۷۷
- جدول ۴-۵ پارامترهای مربوط به ابعاد مقاطع مختلف ۷۸
- جدول ۴-۶ زمان انجماد ضخامت های مختلف طبق روابط چورینف و پکرنی ۷۹
- جدول ۴-۷. میزان کرویت گرافیت ها قبل و بعد از دایکاست در مقاطع مختلف ۱۰۷
- جدول ۴-۸. آنالیز نقطه ای ترکیبات بین سلولی در مقاطع مختلف ۱۰۹

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲. شماتیک فرآیند های اصلی تولید مواد نیمه جامد ۷
- شکل ۲-۲. شماتیک روش استفاده از سطح شیب دار. ۸
- شکل ۳-۲. روند تغییر مورفولوژی یک ذره دندریتی در منطقه خمیری پراکنده ۱۰
- شکل ۴-۲. ریزساختار ماده نیمه جامد فراوری شده با سطح شیب دار نشان دهنده سلول هایی است که به صورت شبه کروی رشد کرده اند. ۱۰
- شکل ۵-۲. شماتیک منحنی کسر مذاب بر حسب دما. ۱۲
- شکل ۶-۲. تصاویری از نمونه های آزمایشی مختلف تهیه شده به روش ریخته گری نیمه جامد در قالب هایی به اشکال مختلف. ۱۳
- شکل ۷-۲. ریزساختار نمونه از جنس آلومینیم ۳۵۶ پس از شکل دهی در قالب پلکانی در دماهای مختلف گرمایش مجدد؛ (الف) 585°C ، (ب) 592°C ، (ج) 599°C ، (د) 604°C ۱۴
- شکل ۸-۲. نمونه قطعات فولادی تهیه شده به روش نیمه جامد از جنس های مختلف ۱۶
- شکل ۹-۲. ریز ساختار فولاد X210CrW12 در (الف) دمای محیط، (ب) 1210°C ، (ج) 1250°C ، (د) 1260°C ۱۸
- شکل ۱۰-۲. ریز ساختار نیمه جامد چدن خاکستری به روش سانتریفیوژ (الف) شرایط نامناسب هم زدن و تجمع فاز مذاب در مرکز شمش (ب) شرایط مناسب بهینه و توزیع بهتر ذرات جامد. ۲۱
- شکل ۱۱-۲. (الف) ریز ساختار چدن نیمه جامد چدن خاکستری جهت شکل دهی قطعه پوشش پمپ روغن، (ب) قطعه پوشش پمپ روغن از جنس چدن تهیه شده به روش نیمه جامد. ۲۲
- شکل ۱۲-۲. مراحل شکل دهی قطعه پوشش پمپ روغن به روش نیمه جامد از جنس چدن خاکستری ۲۳
- شکل ۱۳-۲. تاثیر هم زمان عناصر سیلیسیم و کربن بر میزان یوتکتیک ۲۵
- شکل ۱۴-۲. سیکل عملیات حرارتی های مختلف جهت حصول به خواص مکانیکی مطلوب در چدن خاکستری نیمه جامد ۲۷
- شکل ۱۵-۲. تاثیر عملیات حرارتی مختلف بر خواص مکانیکی چدن خاکستری نیمه جامد. ۲۸

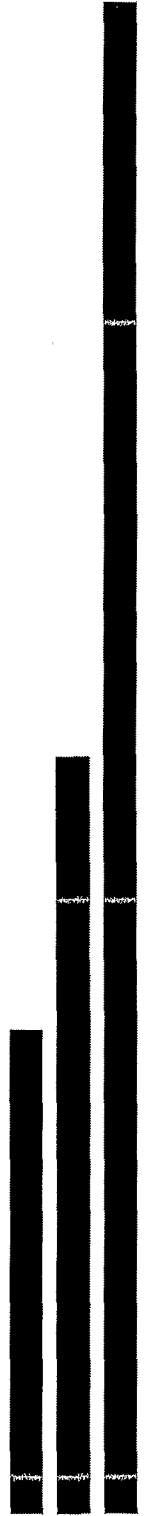
- شکل ۲-۱۶. نحوه انجماد چدن براساس تئوری تک هسته ای ۲۹
- شکل ۲-۱۷. نحوه انجماد چدن براساس تئوری چند هسته ای ۳۰
- شکل ۲-۱۸. نحوه انجماد چدن براساس تئوری جدید انجماد مستقل ۳۱
- شکل ۲-۱۹. شماتیکی از فرایند انجماد یوتکتیک چدن نشکن ۳۲
- شکل ۲-۲۰. دیاگرام فازی چدن ۳۷
- شکل ۲-۲۱. اثر جدایش عنصر منگنز بر **Processing window** ۴۴
- شکل ۲-۲۲. جدایش عناصر آلیاژی در چدن نشکن ۴۸
- شکل ۲-۲۳. تاثیر آستمپرینگ دو مرحله ای بر خواص مکانیکی چدن ADI حاوی ۱ درصد منگنز ۵۰
- شکل ۲-۲۴. محدوده خواص مکانیکی گریدهای مختلف چدن آستمپر ۵۱
- شکل ۳-۱. شماتیک سطح شیب دار استفاده شده در تهیه شمش های نیمه جامد ۵۶
- شکل ۳-۲. (الف) مدل چوبی جهت قالب گیری با ماسه CO₂ (ب) قالب ماسه ای ۵۷
- شکل ۳-۳. (الف) ابعاد مدل چوبی جهت قالب گیری با ماسه CO₂ (ب) ابعاد قالب ماسه ای ۵۷
- شکل ۳-۴. فرایند ریخته گری پیوسته در قالب ماسه ای توسط سطح شیب دار ۵۸
- شکل ۳-۴. تصویر قالب چدنی ۵۹
- شکل ۳-۵. (الف) شماتیک قالب پلکانی و اجزای تشکیل دهنده آن (ب) ابعاد قسمت های مختلف قالب پلکانی ۶۱
- شکل ۳-۶. ابعاد گیت های (الف) شماره ۱ و (ب) شماره ۲ ۶۲
- شکل ۳-۷. تصویر قالب پلکانی، (الف) مجموعه قالب، (ب) نیمه باز شده قالب ۶۲
- شکل ۳-۸. نمایی از قالب دایکاست ۶۴
- شکل ۳-۹. ابعاد نمونه کشش تخت مورد استفاده ۶۷
- شکل ۳-۱۰. موقعیت قرارگیری نمونه های کشش در قطعه دایکاست شده ۶۷
- شکل ۴-۱. مقایسه دیاگرام فازی چدن نشکن غیر آلیاژی و آلیاژی ۶۸

- الف) حاوی ۲/۸٪ سیلیسیم، ب) حاوی ۲/۸٪ سیلیسیم، ۱٪ منگنز و ۰/۵٪ مولیبدن ۶۸
- شکل ۲-۴. ریز ساختار چدن، (الف) ریخته گری در قالب فلزی، (ب) ریخته گری در قالب ماسه ای ۷۱
- شکل ۳-۴. ریز ساختار حاصل از گرمایش مجدد چدن، (الف) ریخته گری در قالب فلزی، (ب) ریخته گری در قالب ماسه ای ۷۳
- شکل ۴-۴. تصویر قطعه شکل داده شده از جنس چدن نیمه جامد در قالب پلکانی ۷۵
- شکل ۵-۴. قطعه شکل دهی شده در دمای ۴۵۰، قطعه به طور ناقص پر شده است. ۸۱
- شکل ۶-۴. ساختار قطعه شکل دهی شده در دمای ۴۵۰، حکاکی نشده ۸۲
- شکل ۷-۴. قطعه شکل دهی شده در دمای ۴۵۰، حکاکی شده ۸۳
- شکل ۸-۴. (الف) ساختار گیت و عدم تغییر شکل آن، (ب) ساختار انجماد دندریتی و گرافیت های کروی. ۸۴
- شکل ۹-۴. قطعه شکل دهی شده در دمای ۵۰۰، قطعه به طور ناقص پر شده است. ۸۵
- شکل ۱۰-۴. ساختار قطعه شکل دهی شده در دمای ۵۰۰، حکاکی نشده ۸۵
- شکل ۱۱-۴. ساختار قطعه شکل دهی شده در دمای ۵۰۰، حکاکی شده ۸۵
- شکل ۱۲-۴. قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰، قطعه تقریباً به طور کامل پر شده است. ۸۹
- شکل ۱۳-۴. ساختار قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰، حکاکی نشده ۹۰
- شکل ۱۴-۴. ساختار قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰، حکاکی شده ۹۱
- شکل ۱۵-۴. قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰ (پر شدن از یک سمت). ۹۲
- شکل ۱۶-۴. ساختار قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰ (پر شدن از یک سمت)، حکاکی نشده ۹۴
- شکل ۱۷-۴. ساختار قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰ (پر شدن از یک سمت)، حکاکی شده ۹۵
- شکل ۱۸-۴. قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰، قطعه (الف) قبل از پلیسه گیری (ب) پس از تمیز کاری. ۹۶
- شکل ۱۹-۴. ساختار قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰، حکاکی نشده ۹۷
- شکل ۲۰-۴. ساختار قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰، حکاکی شده ۹۸

- شکل ۴-۲۱. قطعه شکل دهی شده در دمای ۶۰۰ و کسر مذاب کم ۹۹
- شکل ۴-۲۲. تصاویر متالوگرافی بخشهای پلیسه و گوه و مجرای خروج هوا ۱۰۰
- شکل ۴-۲۳. عیوب بوجود آمده به علت انجماد دندریتی در زیر گیت (الف) و (ب) ترک، (ج) حفرات بین دندریتی ۱۰۲
- شکل ۴-۲۴. حفرات انقباضی که به علت تفاوت زمان انجماد پله ۳۰ میلیمتر و گیت معمولاً در پله ۳۰ میلیمتری رخ می دهد ۱۰۳
- شکل ۴-۲۵. غیر یکنواختی گرافیت ها در مقاطع مختلف ۱۰۴
- شکل ۴-۲۶. گرافیت ها در حالت (الف) ریخته گری نیمه جامد، (ب) پس گرمایش مجدد و (ج-ی) دایکاست در مقاطع مختلف ۱۰۷
- شکل ۴-۲۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از قطعات دایکاست شده ۱۰۸
- شکل ۴-۲۸. تغییرات کسر مذاب در مقاطع با ضخامت های مختلف ۱۱۰
- شکل ۴-۲۹. تاثیر زمان و دمای آستنیته کردن را بر انحلال کاربید ها ۱۱۲
- شکل ۴-۳۰. نتایج حاصل از آستمپرینگ تک مرحله ای در زمان های مختلف ۱۱۳
- شکل ۴-۳۱. نتایج حاصل از آستمپرینگ دو مرحله ای در زمان های مختلف آستمپرینگ مرحله دوم در مقطع ۵ میلیمتر ۱۱۴
- شکل ۴-۳۲. نتایج حاصل از آستمپرینگ دو مرحله ای در زمان های مختلف آستمپرینگ مرحله دوم در مقطع ۱۵ میلیمتر ۱۱۵
- شکل ۴-۳۳. مقایسه بین نتایج حاصل از آستمپرینگ دو مرحله ای در زمان آستمپرینگ مرحله دوم ۱۰ ساعت در مقاطع ۱۰، ۱۵ و ۳۰ میلیمتر ۱۱۶
- شکل ۴-۳۴. نتایج حاصل از سختی سنجی نمونه های آستمپر شده بر اساس زمان آستمپرینگ مرحله دوم ۱۱۷
- شکل ۴-۳۵. نتایج حاصل از تست کشش نمونه های آستمپر شده ۱۱۸
- شکل ۴-۳۶. مقایسه بین نتایج حاصل از تست کشش نمونه های این تحقیق و چدن های نشکن منگنز دار موجود در منابع مطالعاتی ۱۱۹

شکل ۴-۳۷. بررسی سطوح شکست نمونه‌های کشش ۱۲۱

اول
فضل
مقدمه



۱-۱- چشم انداز

انتخاب آلیاژهای مختلف جهت کاربرد های متفاوت معمولاً طبق معیارهای خاصی صورت می پذیرد. به عنوان مثال در صنایع هوا فضا همواره نسبت استحکام به وزن بالا مد نظر است. ولی در صنایع خودرو سازی و صنایعی که با تولید انبوه سرو کار دارند معیار ها کمی به سمت کاهش هزینه های تمام شده میل می کند و هر گاه معیار نسبت تنش تسلیم به هزینه تمام شده در نظر گرفته شود همواره چدن نشکن رتبه اول انتخاب مواد است.

چدن ها معمولاً دارای خواص ریختگی عالی و خواص مکانیکی ضعیف هستند که در این میان چدن نشکن به دلیل وجود گرافیت های کروی خواص منحصر به فردی دارند. خواص مکانیکی مناسب، استحکام و تافنس توامان، مقاومت به سایش، خواص ریخته گری مناسب از جمله این خواص هستند.

این ماده مهندسی با وجود کاربرد فراوان در صنعت دارای نقاط ضعفی از قبیل عدم شکل پذیری، ساختار دندریتی حاصل از انجماد، جدایش عناصر آلیاژی، تشکیل ریز حفرات حین انجماد، عدم توانایی پر کردن مقاطع نازک است که باعث محدودیت در کاربرد های آن می شود.

به نظر می رسد با جایگزینی ساختار گلوبولی به جای ساختار دندریتی توسط ریخته گری نیمه جامد تا حدودی بتوان خواص چدن نشکن و به تبع آن چدن نشکن آستمپر را بهبود بخشید. در این راستا افزایش عناصر آلیاژی نظیر منگنز و مولیبدن و عملیات حرارتی مناسب آستمپرینگ باعث افزایش چشمگیر خواص مکانیکی می گردد، به علاوه کنترل میزان جدایش، کاهش ریز حفرات، شکل دهی در حالت نیمه جامد و ایجاد مقاطع نازک که در ریخته گری چدن نشکن با مشکل روبروست، عوامل دیگری هستند که شکل دهی در حالت نیمه جامد چدن نشکن را تشویق می کنند.

۱-۲- معرفی فرایند نیمه جامد

فرایند های سنتی شکل دهی فلزات تا کنون به دو صورت عمده در حالت مذاب (ریخته گری) و در حالت جامد (آهنگری) انجام می شدند. قطعات تولید شده به روش آهنگری با وجود ریزساختار سالم و بی نقص، محدودیت هایی مانند: ساخت اشکال پیچیده، هزینه تمام شده زیاد به دلیل عمر کوتاه قالب در نتیجه سایش و مصرف انرژی زیاد را دارند. به بیان دیگر تولید به روش ریخته گری قابلیت بیشتری در شکل دهی قطعات با اشکال پیچیده و هزینه های تمام شده کمتر نسبت به فرایند شکل دهی آهنگری دارد. با این وجود تولیدات ریخته گری به دلیل حضور حفرات انقباضی و خواص مکانیکی نه چندان مطلوب ناشی از ساختار دندریتی و

حفرات که نتیجه مستقیم انجماد است، تامین خواص مطلوب به ویژه در تولید قطعات حساس مانند قطعات خودرو را مشکل می سازد.

فرایند نیمه جامد، ترکیبی از این دو روش است که فواید هر دو را دارد. در حقیقت مواد در دمایی زیر دمای مذاب و بالای دمای جامد یا یوتکتیک حرارت داده می شوند. این دما مطابق با دیاگرام تعادلی ماده مورد نظر در ناحیه دو فازی بنا بر کسر مذاب دلخواه انتخاب می گردد. سپس ماده نیمه جامد در قالب بسته ریخته گری و یا در قالب باز آهنگری، شکل داده می شود.

تا کنون تحقیقات بسیاری در زمینه رفتار سیال نیمه جامد و خواص آن تحت عنوان رئولوژی نیمه جامد صورت گرفته است. به طور خلاصه نکته مهم در شکل پذیری مواد نیمه جامد، عدم حضور مشخصه های دندریتی در مورفولوژی فاز جامد است. ایده این فرایند، نخستین بار توسط اسپنسر، مهربیان و فلمینگز در دانشگاه MIT شکل گرفت. تحقیقات آنها نشان داد، زمانی که دوغاب نیمه جامد حین انجماد تحت چرخش قرار می گیرد، ویسکوزیته ظاهری آن کاهش می یابد و ریزساختار به جای ویژگی های دندریتی، شکل هم محوره خود می گیرد. علاوه بر آن، نشان داده شده است که چنین دوغابی با ریزساختار هم محور و کروی برای شکل دهی به صورت نیمه جامد بسیار مطلوب می باشد. در حقیقت ساختار مطلوب چنین فرایندی عبارتست از ذرات ریز فاز جامد با مورفولوژی غیردندریتی (ترجیحاً کروی) که در زمینه مذاب به طور یکنواخت توزیع شده اند. چنین ساختاری موجب پدیدار شدن رفتار منحصر به فردی در مواد نیمه جامد شده که از یک سو قابلیت های فراوری ماده و از سوی دیگر استانداردهای محصول را بهبود می بخشد.

فرایندهای تولید در حالت نیمه جامد، به دو طریق کلی انجام می شود. در یک روش، ماده فراوری شده در حالت نیمه جامد مستقیماً به درون قالب هدایت شده و تحت فرایندهای شکل دهی قرار می گیرد (روش رئوفرمینگ^۱). در روش دیگر، ابتدا آلیاژ نیمه جامد به صورت شمش (با ساختار غیردندریتی) ریخته گری شده، سپس برای رسیدن به شرایط معین شکل دهی تا ناحیه دو فازی مجدداً گرم می شود و در نهایت با روش های مختلف شکل دهی از قبیل آهنگری، اکستروژن و یا ریخته گری به شکل قطعه نهایی در می آید (تیکسوفرمینگ^۲).

در حال حاضر برای ایجاد ساختار غیردندریتی مذکور روش های مختلفی ابداع گردیده که از مهم ترین آنها می توان به هم زدن مکانیکی در حین انجماد، هم زدن الکترومغناطیسی، اصلاح شیمیایی دانه ها، انجماد با تبرید کنترل شده، روش سطح شیب دار، عملیات ترمومکانیکی، تبلور مجدد و ذوب جزئی و غیره اشاره کرد.

¹ Rheoforming

² Thixoforming