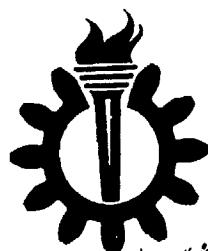


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٣٠٧٧١



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مواد و متالورژی

تأثیر نیکل بر ساختار و خواص سایشی چدن نشکن
آستمپر شده (ADI) با انجماد هیپوئوتکتیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

مهندسی مواد - شناسایی، انتخاب و ساخت مواد فلزی

۱۳۷۹ / ۵ / ۲۵

حسین ثقفی

استاد راهنما : دکتر خرازی

۷۸۶۹۰

با حمایت مالی و همکاری :

امور تحقیقات و مطالعات

مجتمع مس سرچشمه

دی ماه ۱۳۷۸

۳۱۷۷۱



تقدیم

از یکایک افراد خانواده عزیزم ،
که همواره حامی و مشوق من بوده اند ،
سپاسگذارم.

تقدیم به

پدر و مادر عزیز

و

همسر خوبم

تشکر و قدردانی

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر خرازی استاد راهنمای این پروژه که همواره از راهنمایی‌های ایشان برخوردار بوده‌ام، کمال تشکر را دارم.

از مدیریت محترم و کارکنان امور تحقیقات و مطالعات مس سرچشمه که حمایت مالی این پروژه را بر عهده داشته‌اند، به خصوص جناب آقای مهندس نوبری و جناب آقای مهندس حسنی سپاسگذاری می‌شود.

از مدیریت محترم شرکت مهندسی سدیدکاران صبا که نهایت همکاری را با اینجانب مبذول داشته‌اند، قدردانی می‌گردد.

از راهنمایی و همکاری‌های ریاست محترم مرکز تحقیقات ریخته‌گری، جناب آقای دکتر بوتراپی، سپاسگذاری می‌شود.

از مسئولین و پرسنل محترم کارگاه‌های مدل‌سازی، ذوب و ریخته‌گری و آزمایشگاه‌های متالوگرافی، خواص مکانیکی، اشعه X، عملیات حرارتی، هیدرومتالورژی و میکروسکوپ الکترونی، همچنین مدیریت و کارکنان محترم آموزش تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران که در طول انجام پروژه همکاری‌های لازم را مبذول داشتند، تشکر و سپاسگذاری می‌شود.

از مدیریت و کارکنان محترم آزمایشگاه صنعتی شهید آذرمند، مرکز پژوهش متالورژی رازی و آزمایشگاه اشعه X سازمان زمین‌شناسی کشور که همکاری‌های لازم را به عمل آوردند، تشکر می‌شود.

فهرست

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
الف	چکیده
ب	فهرست مطالب
ز	فهرست اشکال
س	فهرست جداول
۱	فصل اول - مقدمه
۵	فصل دوم - مروری بر منابع
۶	۱-۲- چدنهای نشکن آستمپر شده
۷	۱-۱-۲- انجمادهیپوتکتیک چدنهای نشکن
۸	۱-۱-۱-۲- عوامل مؤثر بر جوانه‌زنی و رشد گرافیت
۱۲	۲-۱-۱-۲- تأثیر عناصر آلیاژی در انجماد
۱۴	۲-۱-۲- جدایش
۱۷	۳-۱-۲- استحاله آستمپرینگ
۲۰	۱-۳-۱-۲- ساختار بینایتی
۲۱	۱-۱-۳-۱-۲- بینایت بالایی
۲۳	۲-۱-۳-۱-۲- بینایت پایینی
۲۵	۲-۳-۱-۲- آستنیت باقیمانده
۲۶	۳-۳-۱-۲- پایداری حرارتی و مکانیکی آستنیت

- ۲-۱-۳-۴- تأثیر درجه حرارت و زمان آستنیت‌ه بر ساختار و خواص مکانیکی ۲۷
- ۲-۱-۳-۵- تأثیر دمای آستمپرینگ بر ساختار و خواص مکانیکی..... ۳۰
- ۲-۱-۳-۶- تأثیر زمان آستمپرینگ بر ساختار و خواص مکانیکی ۳۳
- ۲-۱-۳-۷- تأثیر عناصر آلیاژی بر ساختار و خواص مکانیکی ۳۶
- ۲-۱-۴- چدنهای نشکن آستمپر شده با کربن معادل پایین ۴۱
- ۲-۲- تریبولوژی ۴۴
- ۲-۲-۱- سایش ۴۴
- ۲-۲-۲- فرسایش ۴۵
- ۲-۲-۳- تغییر شکل پلاستیک لایه های سطحی ۴۵
- ۲-۲-۴- مکانیزمهای فرسایش فلزات ۴۷
- ۲-۲-۵- طبقه بندی فرآیند فرسایش ۵۰
- ۲-۲-۵-۱- فرسایش چسبندگی ۵۰
- ۲-۲-۵-۲- فرسایش ورقه ای ۵۱
- ۲-۲-۵-۳- فرسایش کندگی..... ۵۳
- ۲-۲-۵-۴- فرسایش خستگی..... ۵۴
- ۲-۲-۵-۵- فرسایش اکسیدان ۵۴
- ۲-۲-۶- خواص سایشی چدنهای نشکن آستمپر شده ۵۵
- ۲-۲-۶-۱- ارتباط ساختار و خواص سایشی ۵۶
- ۲-۲-۶-۲- تأثیر درجه حرارت آستنیت‌ه بر خواص سایشی ۵۹
- ۲-۲-۶-۳- تأثیر دمای آستمپرینگ بر خواص سایشی ۶۰
- ۲-۲-۶-۴- تأثیر زمان آستمپرینگ بر خواص سایشی ۶۱

۶۲	..... ۲-۲-۵- ارتباط سختی و خواص سایشی
۶۴	..... فصل سوم - روشهای انجام آزمایشات
۶۵	..... ۳-۱- تهیه مدل و قالبگیری
۶۵	..... ۳-۲- طراحی سیستم راهگامی
۶۷	..... ۳-۳- تهیه ذوب و ریخته‌گری
۶۸	..... ۳-۴- تهیه نمونه
۶۹	..... ۳-۵- عملیات حرارتی آستمپرینگ
۷۰	..... ۳-۶- سختی سنجی
۷۰	..... ۳-۷- متالوگرافی با میکروسکوپ نوری
۷۱	..... ۳-۸- عملیات رنگی شدن حرارتی
۷۱	..... ۳-۹- آزمون سایش
۷۳	..... ۳-۱۰- بررسی رفتار سایشی
۷۳	..... ۳-۱۱- متالوگرافی کمی و کیفی
۷۳	..... ۳-۱۱-۱- محاسبه آستنیت باقیمانده با استفاده از روش XRD
۷۵	..... ۳-۱۱-۲- محاسبه UAV با استفاده از روش آنالیز تصویری
۷۶	..... ۳-۱۲- آزمایش ضربه
۷۷	..... فصل چهارم - یافته‌های آزمایشات
۷۸	..... ۴-۱- ویژگیهای نمونه‌های ریختگی
۷۸	..... ۴-۲- ساختار میکروسکوپی نمونه‌های آستمپر شده
۷۹	..... ۴-۳- آزمایش سختی سنجی
۷۹	..... ۴-۴- عملیات رنگی شدن حرارتی

- ۸۰ ۵-۴- آزمایش تفرق اشعه X
- ۸۰ ۶-۴- آنالیز تصویری
- ۸۱ ۷-۴- آزمایشهای سایش
- ۸۱ ۸-۴- ارتباط خواص سایشی با سختی و ساختار
- ۸۲ ۹-۴- بررسی سطوح سایش یافته
- ۸۳ ۱۰-۴- مقاومت به ضربه
- ۱۱۸ فصل پنجم - بحث و تحلیل نتایج
- ۱۱۹ ۱-۵- انجماد هیپوپوتکتیک و ساختار در حالت ریختگی
- ۱۲۰ ۲-۵- بررسی ساختار آستمپر شده
- ۱۲۰ ۱-۲-۵- تأثیر دمای آستنیت بر ساختار
- ۱۲۱ ۲-۲-۵- تأثیر زمان و دمای آستمپر بر ساختار
- ۱۲۲ ۳-۲-۵- تأثیر نیکل بر ساختار
- ۱۲۳ ۳-۵- بررسی سختی
- ۱۲۳ ۱-۳-۵- تأثیر زمان و دمای آستمپر بر سختی
- ۱۲۴ ۲-۳-۵- تأثیر نیکل بر سختی
- ۱۲۵ ۴-۵- بررسی انرژی ضربه‌ای
- ۱۲۵ ۵-۵- سایش و فرسایش
- ۱۲۶ ۱-۵-۵- خواص سایشی نمونه‌های ریختگی
- ۱۲۶ ۲-۵-۵- خواص سایشی نمونه‌های آستمپر شده
- ۱۲۶ ۱-۲-۵-۵- منحنی مشخصه فرسایش
- ۱۲۷ ۲-۲-۵-۵- تأثیر دما و زمان آستمپر بر خواص سایشی
- ۱۲۸ ۳-۲-۵-۵- تأثیر نیکل بر خواص سایشی

۱۲۹	..... ارتباط خواص سایشی با سختی و ساختار ۴-۲-۵-۵
۱۳۰	..... بررسی سطوح سایش و ذرات فرسایشی ۳-۵-۵
۱۳۰	..... فرسایش در نمونه‌های ریختگی ۱-۳-۵-۵
۱۳۱	..... سایش نمونه‌های آستمپر شده ۲-۳-۵-۵
۱۳۳	..... بررسی مکانیزم فرسایش ۳-۳-۵-۵
۱۳۶	..... فصل ششم - جمع بندی و نتایج
۱۴۱	..... مراجع
۱۴۹	..... ضمائم

چکیده

هدف از انجام این پژوهش بررسی سینتیک استحاله آستمپرینگ و مقاومت سایشی چدن نشکن آستمپر شده با انجماد هیپووتکتیک و تأثیر نیکل بر آن می باشد.

به این منظور آلیاژهایی با کربن معادل ۳/۲٪ و مقادیر ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد نیکل تهیه شده و نمونه‌های مناسبی آماده شدند. کلیه نمونه‌ها ابتدا در دمای 940°C آستنیت‌ه شده و سپس تحت عملیات آستمپرینگ در دماهای 250°C ، 300°C و 350°C و زمانهای ۵، ۳۰، ۶۰ و ۱۶۰ قرار گرفتند.

پس از عملیات حرارتی کلیه نمونه‌ها سختی سنجی شده و تحت عملیات سایش به روش Pin On Ring قرار گرفتند. به منظور بررسی سینتیک استحاله و ساختار، نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری، تفرق اشعه X و آنالیز تصویری مورد مطالعه قرار گرفتند. هم چنین جهت بررسی سطوح فرسایش یافته از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که سختی و مقاومت سایشی ارتباط مستقیم داشته و بالاترین سختی و مقاومت سایشی مربوط به درجه حرارت 250°C و زمانهای کوتاه آستمپر می‌باشد. در کلیه دماها و در زمانهای بالاتر از ۳۰ دقیقه آستمپر، افزایش نیکل باعث افزایش مقاومت سایشی می‌شود و در زمانهای کوتاه آستمپر آلیاژ حاوی ۱٪ نیکل که در دمای 250°C آستمپر شده بالاترین سختی (HRC ۵۸) و مقاومت سایشی را دارد. همچنین نیکل باعث افزایش انرژی ضربه‌ای می‌شود.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که بهترین خواص سایشی برای ساختاری است که فریت بینابینی کره‌های گرافیت را احاطه کرده و مارتنزیت به میزان حداکثر بصورت یکنواخت در زمینه توزیع

شده باشد.)

فهرست اشکال

صفحه

فصل دوم - مروری بر منابع

شکل (۱-۲): مقایسه خواص مکانیکی چدن نشکن آستمپر شده و کلاسهای استاندارد چدن	۶
داکتیل	۶
شکل (۲-۲): منطقه یوتکتیک پایدار از دیاگرام انجماد Fe-C-Si	۹
شکل (۳-۲): منطقه یوتکتیک شبه پایدار از دیاگرام انجماد Fe-C-Si	۹
شکل (۴-۲): مورفولوژی گرافیت در چدن نشکن حاوی ۱/۷۵ درصد Mn (a) نمونه ریخته‌گری شده در قالب ماسه‌ای (b) نمونه ریخته‌گری شده در قالب chill	۱۱
شکل (۵-۲): موقعیت عناصر آلیاژی نسبت به آهن	۱۳
شکل (۶-۲): توزیع بعضی عناصر در طی فرآیند انجماد	۱۵
شکل (۷-۲): شماتیک عملیات حرارتی آستمپرینگ	۱۷
شکل (۸-۲): تغییرات درصد حجمی آستنیت نسبت به زمان آستمپر که نشانگر تفکیک دو مرحله اول و دوم استحاله آستمپرینگ می‌باشد	۱۸
شکل (۹-۲): ساختار آسفریت در ADI	۱۹
شکل (۱۰-۲): شماتیک سیکل عملیات حرارتی جهت رسیدن به ساختار آسفریت	۱۹
شکل (۱۱-۲): شماتیک استحاله آستمپرینگ در درجه حرارت بالا	۲۱
شکل (۱۲-۲): نحوه جوانه زنی تیغه‌های فریت در نزدیکی کره‌های گرافیت و تغییر درصد کربن	۲۲

- شکل (۲-۱۳): ریز ساختار بدست آمده بعد از آستمپرینگ در دمای 380°C بعد از یک ساعت ۲۳
- شکل (۲-۱۴): شماتیک استحاله آستمپرینگ در دمای پایین ۲۴
- شکل (۲-۱۵): سختی سطح یک چرخ ماشین معدن از جنس ADI که در حین کار تحت کارسختی زیادی قرار گرفته است ۲۷
- شکل (۲-۱۶): تغییرات زمانهای استحاله با دماهای آستنیت‌کردن برای ۵٪ و ۹۵٪ استحاله ۲۸
- شکل (۲-۱۷): منطقه فریت آزاد در چدنهای آستمپر شده حاوی ۳/۷٪ Si و Mn ۲۹
- شکل (۲-۱۸): تأثیر درجه حرارت آستنیت‌کردن بر خواص مکانیکی چدنهای ADI ۳۰
- آستمپر شده در 385°C ۳۰
- شکل (۲-۱۹): اثر درجه حرارت آستمپرینگ بر ساختار ADI، تصاویر توسط SEM ۳۰
- شکل (۲-۲۰): تأثیر درجه حرارت آستمپر بر استحکام ۳۱
- شکل (۲-۲۱): ارتباط تغییر طول نسبی با درجه حرارت آستمپر ۳۲
- شکل (۲-۲۲): تغییرات انرژی ضربه‌ای با درجه حرارت آستمپر ۳۲
- شکل (۲-۲۳): اثر زمان آستمپر بر ساختار ADI غیر آلیاژی که در دمای 400°C ۳۳
- آستمپر شده است، f: فریت، m: مارتنزیت و a: آستنیت ۳۳
- شکل (۲-۲۴): دیاگرام IT فرآیند آستمپرینگ که در آن M_s و M_f با غنی شدن از کربن در مرحله I کاهش می‌یابد ۳۴
- شکل (۲-۲۵): ساختار نمونه آستمپر شده در دمای 400°C و زمان ۹۶۰ دقیقه ۳۵
- (U.B) بینایت بالایی و (E.N.B) بینایت ندولی کشیده شده ۳۵
- شکل (۲-۲۶): تأثیر زمان آستمپرینگ بر آستنیت باقیمانده ۳۵

- شکل (۲-۲۷): تأثیر زمان آستمپر بر مقدار UAV ۳۵
- شکل (۲-۲۸): الف) تأثیر زمان آستمپرینگ بر انرژی ضربه‌ای
ب) تأثیر زمان آستمپرینگ بر تغییر طول نسبی ۳۶
- شکل (۲-۲۹): تأثیر دمای آستنیت و آستمپرینگ در توسعه مناطق با تأخیر استحاله یافته
در چدن غیر آلیاژی ۳۸
- شکل (۲-۳۰): شروع واکنش بینایتی در آلیاژهای A و B به ترتیب با مقدار سیلیسیم
۲/۴۴ و ۳/۴٪ ۳۹
- شکل (۲-۳۱): تأثیر نیکل بر ازدیاد طول نسبی، سختی و استحکام کششی نمونه‌های
آستمپر شده در دماهای 300°C ، 350°C و 400°C ۴۱
- شکل (۲-۳۲): ساختار در حالت ریختگی، C، ۲٪، $\times 100$ ۴۲
- شکل (۲-۳۳): تأثیر کرنش پلاستیک بر ضریب کرنش سختی در کربن معادل‌های مختلف .. ۴۳
- شکل (۲-۳۴): یک مدل شماتیک به منظور تعیین سطح نرم و زیر ۴۵
- شکل (۲-۳۵): شماتیک تشکیل یک ذره فرسایشی پس از پدیده خیش خوردن ۴۶
- شکل (۲-۳۶): شماتیک نحوه جدا شدن یک ذره فرسایشی پس از تغییر فرم پلاستیک ۴۸
- شکل (۲-۳۷): شماتیک تشریح نحوه تغییر فرم پلاستیک در لایه‌ها ۴۸
- شکل (۲-۳۸): منحنی مشخصه فرسایش، I فرسایش آب بندی، II شرایط پایدار، III
شرایط تخریبی ۴۹
- شکل (۲-۳۹): شماتیک ایجاد یک ذره فرسایشی در اثر فرسایش ورقه ای ۵۱
- شکل (۲-۴۰): شماتیک ایجاد یک ذره فرسایشی ورقه ای ۵۲
- شکل (۲-۴۱): کنده شدن گرافیت در سطح سایش و پیشروی جبهه فرسایش به داخل
زمینه ۵۳
- شکل (۲-۴۲): فرسایش توسط مکانیزم کندگی و ایجاد شیار ۵۷
- شکل (۲-۴۳): فرسایش توسط مکانیزم ایجاد شیار ۵۷

- شکل (۲-۴۴): تغییرات سختی و ماکزیمم مقاومت سایشی با افزایش درجه حرارت آستنیته
- ۶۰ کردن برای ADI با ۱/۵ درصد Mn
- شکل (۲-۴۵): تغییرات میزان فرسایش و آستنیت باقیمانده بصورت تابعی از درجه
- ۶۱ حرارت آستمپرینگ در زمان ۶۰ دقیقه
- شکل (۲-۴۶): تأثیر زمان آستمپرینگ بر میزان فرسایش و آستنیت باقیمانده
- ۶۱ شکل (۲-۴۷): ارتباط خواص سایشی و سختی در دماهای مختلف آستمپر و زمان ۶۰
- ۶۲ دقیقه
- شکل (۲-۴۸): ارتباط خواص سایشی و سختی در زمانهای مختلف آستمپرینگ و دمای
- ۶۳ °C

فصل سوم - روشهای انجام آزمایش

- شکل (۳-۱): شماتیک Y بلوک استاندارد
- ۶۵ شکل (۳-۲): نحوه قالبگیری
- ۶۶ شکل (۳-۳): شماتیک سیستم راهگامی استفاده شده
- ۶۷ شکل (۳-۴): محدوده تهیه نمونه های آزمایش و شکل نمونه ها بعد از برش و
- ۶۹ تراشکاری
- شکل (۳-۵): شماتیک سیکل عملیات حرارتی برای هر دمای آستمپرینگ
- ۶۹ شکل (۳-۶): شماتیک دستگاه سایش
- ۷۱ شکل (۳-۷): ابعاد دیسک ساینده
- ۷۲ شکل (۳-۸): شماتیک سیکل عملیات حرارتی دیسک ساینده
- ۷۲

فصل چهارم - یافته های آزمایشات

- شکل (۴-۱): ساختار زمینه آلیاژ A (بدون نیکل) در حالت ریختگی، قبل از اج، ۱۰۰ ×
- ۸۶ شکل (۴-۲): ساختار زمینه آلیاژ B (۵٪ نیکل) در حالت ریختگی، قبل از اج، ۱۰۰ ×
- ۸۷

- شکل (۳-۴): ساختار زمینه آلیاژ C (۱٪ نیکل) در حالت ریختگی، قبل از اچ، $\times 100$ ۸۷
- شکل (۴-۴): ساختار زمینه آلیاژ D (۱/۵٪ نیکل) در حالت ریختگی، قبل از اچ، $\times 100$ ۸۸
- شکل (۵-۴): ساختار زمینه آلیاژ E (۲٪ نیکل) در حالت ریختگی، قبل از اچ، $\times 100$ ۸۸
- شکل (۶-۴): ساختار زمینه آلیاژ A (بدون نیکل) در حالت ریختگی شامل فریت و پرلیت،
محلول اچ ۲٪، $\times 100$ ۸۹
- شکل (۷-۴): ساختار زمینه آلیاژ B (۰/۵٪ نیکل) در حالت ریختگی شامل فریت و پرلیت،
محلول اچ ۲٪، $\times 100$ ۸۹
- شکل (۸-۴): ساختار زمینه آلیاژ C (۱٪ نیکل) در حالت ریختگی شامل فریت و پرلیت،
محلول اچ ۲٪، $\times 100$ ۹۰
- شکل (۹-۴): ساختار زمینه آلیاژ D (۱/۵٪ نیکل) در حالت ریختگی شامل فریت و پرلیت،
محلول اچ ۲٪، $\times 100$ ۹۰
- شکل (۱۰-۴): ساختار زمینه آلیاژ E (۲٪ نیکل) در حالت ریختگی شامل فریت و پرلیت،
محلول اچ ۲٪، $\times 100$ ۹۱
- شکل (۱۱-۴): ساختار میکروسکوپی نمونه (A11)، محلول اچ نیتال ۲ درصد، بزرگنمایی $\times 1350$ ۹۱
- شکل (۱۲-۴): ساختار میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای $900^{\circ}C$ و آستمپر در دمای $250^{\circ}C$ و زمان ۵ دقیقه، بدون نیکل، بزرگنمایی $\times 200$ ۹۲
- شکل (۱۳-۴): ساختار میکروسکوپی نمونه (D31)، محلول اچ نیتال ۲ درصد ۹۲
- شکل (۱۴-۴): ساختار میکروسکوپی نمونه (D32)، محلول اچ نیتال ۲ درصد ۹۳
- شکل (۱۵-۴): ساختار میکروسکوپی نمونه (D33)، محلول اچ نیتال ۲ درصد ۹۳
- شکل (۱۶-۴): ساختار میکروسکوپی نمونه (D34)، محلول اچ نیتال ۲ درصد ۹۴
- شکل (۱۷-۴): ساختار میکروسکوپی نمونه (C11)، محلول اچ نیتال ۲ درصد ۹۴
- شکل (۱۸-۴): ساختار میکروسکوپی نمونه (C21)، محلول اچ نیتال ۲ درصد ۹۵