



دانشکده مواد و متالورژی

تاثیر عملیات آستمپرینگ پی در پی بر ریز ساختار و خواص مکانیکی چدن های نشکن آستمپر

مهدی جوهری

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته

شناسایی و انتخاب مواد فلزی

استاد راهنما: دکتر محمد علی بوترابی

بهمن ۱۳۸۲

تقدیم به

پدر ، مادر

و همسر فداکارم

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از استاد گرامی جناب آقای دکتر بوتراپی که راهنمای اینجانب در انجام پروژه بوده اند تشکر و قدردانی می نمایم . همچنین از آقایان مهندس سعادت ، لواف و مهندس کیهانی مسئولین آزمایشگاه های مکانیکی ، متالوگرافی و ریخته گری دانشکده مواد و متالورژی دانشگاه علم و صنعت ایران که همکاری آنها سبب تکمیل پروژه شده است ، صمیمانه تشکر می نمایم .

چکیده:

در پژوهش حاضر تأثیر متغیرهای فرایند آستمپرینگ پی در پی بر روی ریز ساختار و خواص مکانیکی چدن های نشکن غیر آلیاژی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. در آزمایش های انجام گرفته، نمونه های چدن داکتیل در دمای 900°C و مدت زمان یک ساعت آستنیته شده و سپس در دماهای ۲۷۵ و ۳۷۵ درجه سانتی گراد یا هر دو دمای فوق برای زمان های ۱ تا ۶۰ دقیقه تحت فرایند آستمپرینگ قرار گرفت و تأثیر درجه حرارت و زمان آستمپرینگ بر ریز ساختار و خواص مکانیکی شامل استحکام کششی، استحکام تسلیم، درصد ازدیاد طول، سختی و انرژی شکست بحث و بررسی شد.

یافته های آزمایشی و بررسی های انجام شده نشان داد که در عملیات آستمپرینگ یک مرحله ای با افزایش دمای آستمپرینگ ساختار از فریت بینیتی سوزنی شکل به فریت بینیتی ورقه ای تبدیل می شود. همچنین با افزایش دمای آستمپر سختی، استحکام کششی و استحکام تسلیم کاهش یافته و درصد ازدیاد طول نسبی و انرژی ضربه ای افزایش می یابد. تأثیر زمان در آستمپرینگ یک مرحله ای نیز بدین گونه می باشد که افزایش زمان آستمپر سبب پیشرفت و تکمیل استحاله بینیتی گردیده و سختی کاهش و بقیه خواص مکانیکی (خواص استحکامی، درصد ازدیاد طول نسبی و انرژی ضربه ای) افزایش یافته اند.

در نمونه های آستمپر شده دو مرحله ای تغییرات خواص استحکامی بدین صورت بود که در نمونه های آستمپر شده دمای پایین - بالا (LHAT) خواص استحکامی در زمان های کوتاه آستمپر کم بوده ولی با افزایش زمان آستمپر افزایش می یافت به طوری که در مدت زمان ۶۰ دقیقه استحکام تسلیم 1073 MPa و استحکام کششی در حدود 1331 MPa بدست می آید. در نمونه های آستمپر شده دمای بالا - پایین (HLAT) خواص استحکامی پس از رسیدن به یک حداکثر در زمان های بالای آستمپرینگ کاهش می یافت و حداکثر خواص استحکامی) در مدت زمان ۳۰ دقیقه (استحکام تسلیم 889 MPa و استحکام کششی در حدود 1124 MPa) بدست می آید. تغییرات مقاومت به ضربه در نمونه های آستمپر شده دمای بالا - پایین (HLAT) بسیار مشابه نمونه های دمای بالا (HAT) بوده و حداکثر مقدار مقاومت به ضربه در مدت زمان ۳۰ دقیقه و در حدود $102/1$ ژول بدست آمد.

در نمونه های آستمپر شده دو مرحله ای سختی در زمان های کوتاه بالا بوده ولی با افزایش زمان آستمپرینگ در ابتدا کاهش یافته و در زمان های طولانی تر مجدداً افزایش می یابد. تغییرات مقاومت به ضربه در نمونه های آستمپر شده دو مرحله ای دمای بالا - پایین (HLAT) مشابه نمونه های آستمپر شده یک مرحله ای دمای بالا بوده و حداقل سختی نیز در مدت زمان

۲۰ دقیقه بدست آمده است. ولی در نمونه های آستمپر شده دو مرحله ای دمای پایین - بالا (LHAT) مقادیر استحکام ضربه ای خصوصاً در زمان های حدود ۲۰-۳۰ دقیقه بالاتر از نمونه های آستمپر شده یک مرحله ای دمای پایین حاصل شد و حداکثر مقاومت به ضربه در مدت زمان ۳۰ دقیقه و در حدود ۶۴/۴ ژول بدست آمده است.

۱	۱ - مقدمه
۳	۲ - مروری بر منابع
۴	۱-۲- استحاله آستمپر درچدن نشکن
۶	۱-۱-۲- ساختار و واکنش بینیتی درچدن نشکن
۱۱	۲-۱-۲- سرعت و نیروی محرکه استحاله بینیتی
۱۴	۲-۲- عوامل مؤثر بر ساختار و سینتیک واکنش ها در چدن نشکن آستمپر
۱۴	۱-۲-۲- عملیات حرارتی
۱۴	۱-۱-۲-۲- دمای آستنیته کردن
۱۶	۲-۱-۲-۲- زمان آستنیته کردن
۱۸	۳-۱-۲-۲- دما و زمان آستمپر
۲۰	۲-۲-۲- ترکیب شیمیایی
۲۲	۳-۲- خواص مکانیکی چدن نشکن آستمپر
۲۲	۱-۳-۲- تأثیر عملیات حرارتی
۲۲	۱-۱-۳-۲- دما و زمان آستنیته کردن
۲۵	۲-۱-۳-۲- دمای آستمپر
۲۸	۳-۱-۳-۲- زمان آستمپر
۳۱	۲-۳-۲- تأثیر ترکیب شیمیایی
۳۱	۱-۲-۳-۲- تأثیر سیلیسیم
۳۳	۴-۲- عملیات آستمپر دو مرحله ای
۴۲	۳- روش تحقیق
۴۳	۱-۳- تهیه مدل و قالب
۴۳	۲-۳- تهیه مذاب و ریخته گری
۴۵	۳-۳- تمیز کاری و ماشین کاری نمونه ها

۴۶	۳-۴- عملیات حرارتی
۴۶	۳-۵- آزمایش های مکانیکی
۴۶	۳-۵-۱- آزمایش کشش
۴۷	۳-۵-۲- سختی سنجی
۴۸	۳-۵-۳- آزمایش ضربه
۴۸	۳-۶- متالوگرافی
۴۸	۳-۶-۱- متالوگرافی کمی
۴۹	۴- نتایج
۵۰	۴-۱- نتایج ریز ساختار
۵۸	۴-۲- نتایج خواص مکانیکی
۵۸	۴-۲-۱- خواص کششی
۵۸	۴-۲-۱-۱- تغییرات خواص کششی در عملیات آستمپر یک مرحله ای
۵۸	۴-۲-۱-۲- تغییرات خواص کششی در عملیات آستمپر دو مرحله ای
۵۹	۴-۲-۲- سختی سنجی
۵۹	۴-۲-۲-۱- تغییرات سختی در عملیات آستمپر یک مرحله ای
۶۰	۴-۲-۲-۲- تغییرات سختی در عملیات آستمپر دو مرحله ای
۶۰	۴-۲-۳- خواص ضربه ای
۶۰	۴-۲-۳-۱- تغییرات انرژی ضربه ای در عملیات آستمپر یک مرحله ای
۶۰	۴-۲-۳-۲- تغییرات انرژی ضربه ای در عملیات آستمپر دو مرحله ای
۶۵	۵- تحلیل نتایج
۶۶	۵-۱- بررسی ریز ساختار
۶۶	۵-۱-۱- تاثیر درجه حرارت و زمان آستمپر کردن در عملیات آستمپرینگ یک مرحله ای
۶۹	۵-۱-۲- تاثیر درجه حرارت و زمان آستمپر کردن در عملیات آستمپرینگ دو مرحله ای
۷۲	۵-۲- بررسی خواص مکانیکی
۷۲	۵-۲-۱- خواص کششی

۷۲	۱-۱-۲-۵- تأثیر عملیات آستمپر یک مرحله ای بر روی خواص کششی
۷۴	۲-۱-۲-۵- تأثیر عملیات آستمپر دو مرحله ای بر روی خواص کششی
۷۵	۲-۲-۵- سختی
۷۵	۱-۲-۲-۵- تأثیر عملیات آستمپر یک مرحله ای بر سختی
۷۷	۲-۲-۲-۵- تأثیر عملیات آستمپر دو مرحله ای بر سختی
۷۸	۳-۲-۵- مقاومت به ضربه
۷۸	۱-۳-۲-۵- تأثیر عملیات آستمپر یک مرحله ای بر روی خواص ضربه ای
۸۰	۲-۳-۲-۵- تأثیر عملیات آستمپر دو مرحله ای بر روی خواص ضربه ای
۸۲	۶- نتیجه گیری
۸۳	منابع

- شکل (۱-۱): دامنه خواص چدن های نشکن ۳
- شکل (۱-۲): تعادل نیمه پایدار $(\gamma+\alpha)$ با توجه به دمای آغاز (Ms) و پایان (Mf) تشکیل مارتنزیت در دیاگرام فازی Fe-C-2.5 wt% Si ۷
- شکل (۲-۲): تغییرات ایده آل درصد حجمی آستنیت نسبت به زمان آستمپر ۸
- شکل (۳-۲): شماتیک استحاله آستمپر الف (درجه حرارت بالای آستمپر ب) درجه حرارت پایین آستمپر ۹
- شکل (۴-۲): مورفولوژی ساختار بینیتی در چدن نشکن غیرآلیاژی ($\times 2000$) در دماهای آستمپر الف (۳۰۰، ب) ۳۵۰ و ۴۰۰ °C ۱۲
- شکل (۵-۲): شماتیکی از جوانه زنی صفحات فریت از گرافیتها و رشد آنها به سمت آستنیت و گرادیان غلظتی کربن ما بین صفحات فریت و مقابل آنها ۱۳
- شکل (۶-۲): منحنی های انرژی آزاد فریت، آستنیت و کاربید در دیاگرام Fe-C-Si ۱۴
- شکل (۷-۲): تاثیر دمای آستنیت و آستمپر بر DTR ۱۶
- شکل (۸-۲): تاثیر دما و زمان آستنیت کردن بر روی درصد کربن آستنیت ۱۷
- شکل (۹-۲): تغییرات $C\gamma$ با زمان آستمپر ۱۹
- شکل (۱۰-۲): تغییرات $R\gamma$ با زمان و دمای آستمپر ۱۹
- شکل (۱۱-۲): تغییرات الف - $C^0\gamma$ با درصد Mn و Si ب - $C\gamma$ با درصد Si، Mn و Ni ۲۱
- شکل (۱۲-۲): تغییرات ($C\gamma - C^0\gamma$) با توجه به میزان عناصر الف (Mn، ب) Mo (پ) Ni ۲۲
- شکل (۱۳-۲): تاثیر دمای آستنیت کردن بر سختی، خواص کششی و ضربه ای ADI ۲۳
- شکل (۱۴-۲): تاثیر دمای آستنیت کردن بر روی استحکام کششی و تسلیم در زمان های مختلف آستمپر ۲۳
- شکل (۱۵-۲): تغییرات خواص کششی با دمای آستمپر در دماهای آستنیت کردن مختلف در ADI غیر آلیاژی ۲۴
- شکل (۱۶-۲): تاثیر دمای آستمپر بر روی سختی و خواص کششی ADI کم آلیاژ ۲۶
- شکل (۱۷-۲): تاثیر دمای آستمپر بر استحکام تسلیم و کششی در ADI ۲۷
- شکل (۱۸-۲): تاثیر دمای آستمپر بر روی استحکام کششی در زمان های مختلف آستمپر ۲۷
- شکل (۱۹-۲): تاثیر زمان آستمپر بر روی خواص مکانیکی در دماهای مختلف آستنیت و آستمپر چدن نشکن کم منگنز ۲۹
- شکل (۲۰-۲): تغییرات انعطاف پذیری در حالت ایده آل با توجه به مراحل مختلف آستمپر و میزان آستنیت باقیمانده موجود در ساختار ۳۰
- شکل (۲۱-۲): تغییرات استحکام کششی در زمان های مختلف آستمپر ۳۱
- شکل (۲۲-۲): تاثیر Si بر خواص ضربه ای ADI غیر آلیاژی به توجه به دما و زمان آستمپر ۳۲
- شکل (۲۳-۲): تاثیر Mn بر خواص مکانیکی ADI در سه دمای ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰ °C ۳۳
- شکل (۲۴-۲): نوعی عملیات آستمپر چند مرحله ای دمای پایین - بالا ۳۴
- شکل (۲۵-۲): تاثیر عملیات آستمپر چند مرحله ای بر سرعت واکنش بینیتی ۳۵
- شکل (۲۶-۲): تاثیر عملیات آستمپر چند مرحله ای بر افزایش محدوده عمل ۳۵
- شکل (۲۷-۲): نوعی عملیات آستمپر چند مرحله ای دمای بالا - پایین ۳۶
- شکل (۲۸-۲): تاثیر زمان و دمای آستمپر بر روی استحکام کششی و درصد ازدیاد طول در نمونه های آستمپر شده در شرایط مختلف ۳۷
- شکل (۲۹-۲): مقادیر انرژی جذب شده در آزمایش ضربه تحت سیکل های مختلف حرارتی ۳۸
- شکل (۳۰-۲): تاثیر زمان آستمپر در عملیات آستمپر دو مرحله ای بر روی مقاومت به ضربه و درصد ازدیاد طول در مقایسه با استاندارد ASTM ۳۹
- شکل (۳۱-۲): تاثیر زمان آستمپر بر انرژی ضربه در نمونه های آستمپر شده در سیکل های متفاوت آستمپرینگ ۴۰

- شکل (۲-۳۲): تاثیر زمان و دمای آستمبر بر روی درصد آستنیت استحاله نیافته
 ۴۱
- شکل (۳-۱): شماتیک قالب Casting test bar mold
 ۴۴
- شکل (۳-۲): ابعاد نمونه استاندارد تراشکاری شده براساس استاندارد ASTM A370
 ۴۶
- شکل (۳-۳): سیکل های عملیات حرارتی اعمال شده بر روی نمونه ها
 ۴۷
- شکل (۴-۱): تصویر میکروسکوپی نمونه ریختگی X100
 ۵۲
- شکل (۴-۲): تصویر میکروسکوپی نمونه ریختگی محلول اچ نیتال ۲ درصد، X100
 ۵۲
- شکل (۴-۳): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده به مدت ۵ دقیقه در دمای 375°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۲
- شکل (۴-۴): تصویر میکروسکوپی آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 375°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۲
- شکل (۴-۵): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده به مدت ۶۰ دقیقه در دمای 375°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۳
- شکل (۴-۶): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده به مدت ۵ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۳
- شکل (۴-۷): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۳
- شکل (۴-۸): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده به مدت ۶۰ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۳
- شکل (۴-۹): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۵ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۵ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۴
- شکل (۴-۱۰): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۵ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۵ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۱۰۰۰
 ۵۴
- شکل (۴-۱۱): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۱۰ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۱۰ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۴
- شکل (۴-۱۲): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۱۰ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۱۰ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۸۰۰
 ۵۴
- شکل (۴-۱۳): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۱۵ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۱۵ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۵
- شکل (۴-۱۴): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۲۰ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۲۰ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۸۰۰
 ۵۵
- شکل (۴-۱۵): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۲۵ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۲۵ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۵
- شکل (۴-۱۶): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۲۵ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۲۵ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۸۰۰
 ۵۵
- شکل (۴-۱۷): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۳۰ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۸۰۰
 ۵۶
- شکل (۴-۱۸): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیت شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمبر شده دو مرحله ای به مدت ۲/۵ دقیقه در دمای 375°C و سپس ۲/۵ دقیقه در دمای 275°C با بزرگنمایی ۴۰۰
 ۵۶

- شکل (۴-۱۹): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیته شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمپر شده دو مرحله ای به مدت ۵ دقیقه در دمای 275°C و سپس ۵ دقیقه در دمای 375°C با بزرگنمایی ۴۰۰
- شکل (۴-۲۰): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیته شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمپر شده دو مرحله ای به مدت ۱۰ دقیقه در دمای 275°C و سپس ۱۰ دقیقه در دمای 375°C با بزرگنمایی ۸۰۰
- شکل (۴-۲۱): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیته شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمپر شده دو مرحله ای به مدت ۱۵ دقیقه در دمای 275°C و سپس ۱۵ دقیقه در دمای 375°C با بزرگنمایی ۴۰۰
- شکل (۴-۲۲): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیته شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمپر شده دو مرحله ای به مدت ۲۰ دقیقه در دمای 275°C و سپس ۲۰ دقیقه در دمای 375°C با بزرگنمایی ۸۰۰
- شکل (۴-۲۳): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیته شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمپر شده دو مرحله ای به مدت ۲۵ دقیقه در دمای 275°C و سپس ۲۵ دقیقه در دمای 375°C با بزرگنمایی ۴۰۰
- شکل (۴-۲۴): تصویر میکروسکوپی نمونه آستنیته شده در دمای 900°C به مدت یک ساعت و آستمپر شده دو مرحله ای به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 275°C و سپس ۳۰ دقیقه در دمای 375°C با بزرگنمایی ۸۰۰
- شکل (۴-۲۵): تاثیر دما و زمان آستمپرینگ یک مرحله ای و دو مرحله ای بر روی استحکام تسلیم
- شکل (۴-۲۶): تاثیر دما و زمان آستمپرینگ یک مرحله ای و دو مرحله ای بر روی استحکام کششی
- شکل (۴-۲۷): تاثیر دما و زمان آستمپرینگ یک مرحله ای و دو مرحله ای بر روی درصد ازدیاد طول
- شکل (۴-۲۸): تاثیر دما و زمان آستمپرینگ یک مرحله ای و دو مرحله ای بر روی سختی
- شکل (۴-۲۹): تاثیر دما و زمان آستمپرینگ یک مرحله ای و دو مرحله ای بر روی استحکام ضربه
- شکل (۵-۱): رابطه بین درصد ازدیاد طول و استحکام کششی در عملیات آستمپر دو مرحله ای دمای آستمپر بالا- پایین (HLAT) و دمای آستمپر پایین- بالا (LHAT)

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

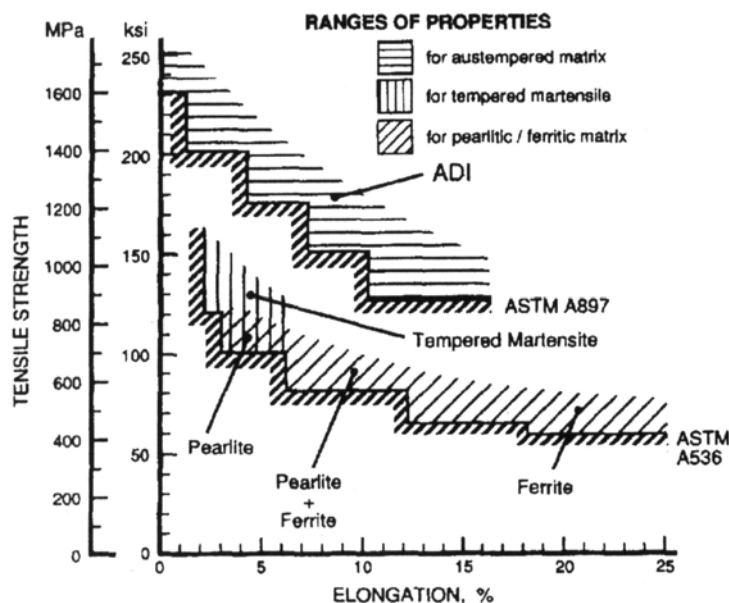
در خلال سی سال گذشته چدن های داکتیل آستمپر شده از یک موضوع آزمایشگاهی به یک ماده قابل رقابت در صنایع تبدیل شده تا جائیکه امروزه جایگاه ویژه ای در ساخت بسیاری از قطعات و کاربردهای مهندسی پیدا کرده است. دلیل این موضوع وجود ترکیبی از خواص مکانیکی مطلوب در کنار هم نظیر استحکام، انعطاف پذیری، چقرمگی، سختی پذیری و استحکام خستگی بالا توأم با مقاومت به سایش مناسب است که در این گروه از چدن ها مشاهده می شود. در حال حاضر به دلیل امکان دستیابی به همین خواص مکانیکی مطلوب از این چدن ها در ساخت بسیاری از قطعات مهندسی در صنایع خودروسازی، صنعتی و نظامی، تجهیزات ساختمانی و راه آهن نظیر چرخ دنده ها، میل لنگ ها، میل با دامک ها و... استفاده می شود [۱].

کاربرد روز افزون این آلیاژ تا آنجا گسترش یافته که حتی در بسیاری از کاربردها جایگزین فولادهای فورج شونده، سختی سطحی شونده و کم آلیاژی نیز شده است. برخی دیگر از مزایای چدن های ADI علاوه بر مواردیکه در بالا اشاره شد را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

- قابلیت ماشین کاری عالی
- کیفیت بالای سطوح ماشین کاری شده
- خاصیت جذب ارتعاش بالاتر
- تقلیل وزنی در حدود ۱۰ درصد
- عمر دوام بالاتر قطعات

خواص مکانیکی چدن های نشکن آستمپر (ADI) به گونه ای است که با حفظ انعطاف پذیری و چقرمگی، به استحکامی معادل دو برابر استحکام چدن های نشکن معمولی می رسد (شکل ۱-۱) [۱۷].

چدن های ADI با استحکام کششی نزدیک به 1600 N/mm^2 و با حدود ۱۰ درصد ازدیاد طول برای مقاصد مقاوم به سایش در درجه اول اهمیت می باشند. این در حالی است که می توان ترکیباتی با سختی پایین تر و استحکام کششی در حدود $1200 - 900 \text{ N/mm}^2$ و ازدیاد طولی تا ۱۴ درصد را نیز تولید نمود در صورتیکه انعطاف پذیری بالا مورد نیاز باشد [۵۰].



شکل (۱-۱): دامنه خواص چدن های نشکن [۱۷].

دسترسی به خواص مکانیکی مورد نظر در چدن های داکتیل آستمپر ، با کنترل ریز ساختار نهایی امکان پذیر می باشد . این ساختمان میکروسکوپی که خود از سه مرحله واکنش بینیتی تشکیل می شود ، متأثر از درجه حرارت و زمان آستنیت کردن و آستمپرینگ می باشد . مهمترین بحرانی ترین بخش ساختمان میکروسکوپی ADI ، آستنیت باقیمانده پر کربن است و خواص مکانیکی ADI تا حدود زیادی تحت تأثیر کسر حجمی ، مورفولوژی و میزان کربن آستنیت باقیمانده می باشد . البته نباید فراموش کرد که مورفولوژی و نحوه توزیع تیغه های فریت بینیتی و حضور فازهایی نظیر مارتنزیت و کاربید نیز بر این خواص تأثیر گذارند .

در پژوهش حاضر تأثیر پارامترهای دما و زمان آستمپر کردن پی در پی بر روی استحکام کششی ، استحکام تسلیم ، درصد ازدیاد طول ، سختی و انرژی شکست به دست آمده و برای مشخص شدن تأثیر عوامل فوق بر روی مورفولوژی بینیت از میکروسکوپ نوری استفاده گردید .

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱- استحاله آستمپر در چدن نشکن

عملیات آستمپر در فولادها منجر به ریز ساختار بینیت بالایی و یا پایینی می شود که شامل فریت سوزنی به همراه رسوب های ریز کاربید می باشد. استحاله آستمپر در چدن داکتیل شامل دو مرحله است که به طور قابل توجه ای متفاوت با استحاله بینیتی در فولادها می باشد [۲]. در فولادها استحاله یک مرحله ای بوده و آستنیت به طور مستقیم به بینیت تجزیه می شود ولی در چدن داکتیل، استحاله آستمپر شامل دو مرحله می باشد. در مرحله اول آستنیت به فریت و آستنیت غنی از کربن تجزیه می شود و در مرحله دوم وقتی زمان آستمپر طولانی باشد، زمینه مانند فولاد به بینیت تحول می یابد. به همین دلیل نام چدن داکتیل آستمپر به چدن داکتیل بینیتی ترجیح داده می شود تا به اهمیت اختلاف در ریزساختار تاکید شود [۳].

به طور کلی تفاوتهایی را که بین فولاد و چدن داکتیل وجود داشته و مسئول بوجود آمدن ساختار منحصر بفرد در چدن داکتیل آستمپر می باشند، می توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- غلظت کربن در فولاد ثابت بوده و وابسته به سیکل عملیات حرارتی نمی باشد ولی در چدن داکتیل به دلیل انجام عملیات آستنیت کردن در منطقه دو فازی $\gamma + G$ غلظت کربن وابسته به درجه حرارت آستنیت کردن می باشد.

۲- فولاد بصورت تک فازی منجمد می شود در حالی که چدن داکتیل طی استحاله یوتکتویدی بصورت دو فازی منجمد می شود به این علت توزیع عناصر آلیاژی بسیار متفاوت خواهد بود.

۳- سیلیسیم بعنوان عنصر اصلی چدن داکتیل، بطور موثری استحاله آستمپر را تحت تاثیر قرار می دهد [۴].

عملیات حرارتی آستمپر چدن نشکن با عملیات آستنیته کردن در محدوده دمایی ۸۵۰ الی ۹۵۰ °C شروع می شود که نتیجه آن ساختاری با زمینه آستنیتی می باشد. سپس قطعات با سرعت وارد محیطی با دامنه دمایی ۲۵۰ الی ۴۵۰ °C شده و بعد از انجام استحاله بینیتی، از محیط مورد نظر خارج گشته و تا دمای محیط سرد می شوند [۵،۶]. استحاله بینیتی معمولاً در حمام های نمک، فلز مذاب و هوای فشرده قابل انجام است [۷].

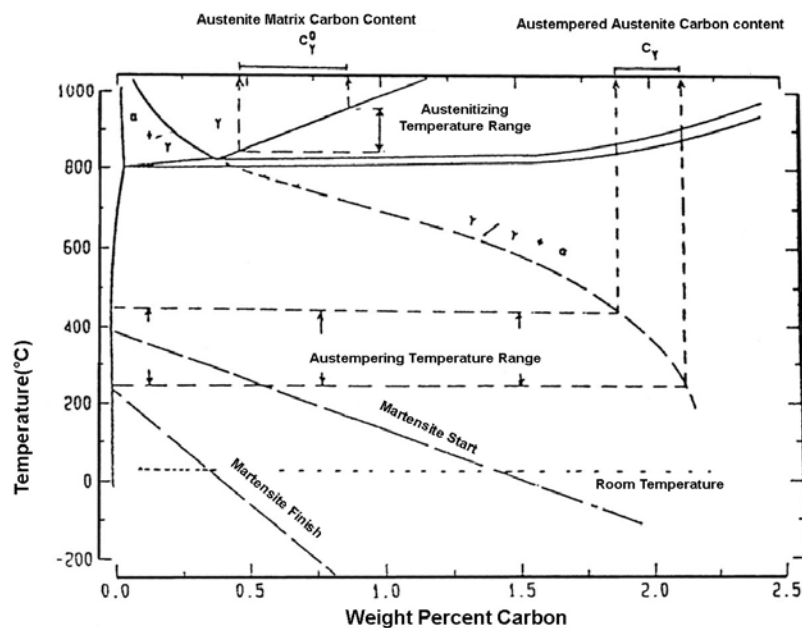
ساختار بینیتی بین دو دمای آغاز تشکیل بینیت و آغاز تشکیل مارتنزیت بوجود می آید. نظر به ساختار و خواص مورد نیاز، دمای آستمپر معمولاً در دو دمای بالا و پایین انتخاب می شود که نتیجه آن دسترسی به ساختار بینیت بالایی و بینیت پایینی می باشد. بینیتی که در بالای دمای Ms تشکیل می شود بینیت پایینی و بینیتی که در دماهای بالاتر و زیر دمای استحاله پرلیتی تشکیل می شود بینیت بالایی نامیده می شود [۸].

محققینی چون Voigt و Saverna مرز بینیت بالا و پایین را در محدوده ۳۳۰-۳۵۰ درجه سانتی گراد مشخص می کنند. دلیل این تغییرات را می توان چنین بیان کرد که دمای مرزی بینیت بالا و پایین به میزان کربن موجود در آستنیت و عملیات آستنیته کردن حساس می باشد [۹] و لذا هر مورد باید به مقدار کربن آستنیت استناد نمود.

۲-۱-۱- ساختار و واکنش بینیتی در چدن نشکن:

همانطور که گفته شد، در فولادهای معمولی، عملیات آستمپرینگ منجر به تشکیل ساختار بینیتی، مرکب از فریت و ذرات کاربید می شود. اما در فولادهای پر سیلیسیم و چدن های نشکن، ساختار حاصل از واکنش آستمپرینگ به دلیل حضور سیلیسیم متفاوت خواهد بود و استحاله آستمپر با جوانه زنی و رشد فریت در زمینه آستنیتی آغاز می شود. سیلیسیم از تشکیل

کاربیدها ممانعت به عمل آورده و اجازه می دهد که کربن دفع شده از فریت در حال رشد، آستنیت را تا زیر درجه حرارت محیط پایدار سازد [۱۰]. مطابق شکل (۱-۲) در چدن های داکتیل با غلظت Si ۲/۵٪ آستنیت با غلظت کربن بیشتر از ۱/۴٪، تا زیر درجه حرارت محیط پایدار می باشد.

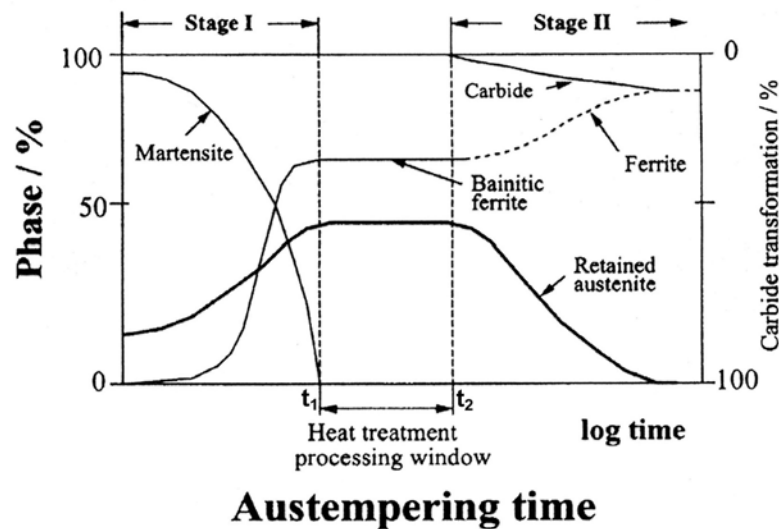


شکل (۱-۲) : تعادل نیمه پایدار (γ/α) با توجه به دمای آغاز (Ms) و پایان (Mf)

تشکیل مارتنزیت در دیاگرام فازی Fe-C-2.5 wt% Si [۱۰].

به عبارتی در حین این فرایند، به دلیل حضور عنصر سیلیسیم در فاز فریت و حلالیت کم کربن در آن، کربن به درون آستنیت مجاور فریت پس زده می شود [۵]، به طوری که میزان کربن اولیه آستنیت C^γ به حدی می رسد (C_γ) که موجبات کاهش دمای Ms را فراهم می سازد و لذا آستنیت می تواند بعد از سرد شدن، بدون تبدیل به مارتنزیت تا زیر دمای محیط از لحاظ حرارتی پایدار بماند [۱۱]. به این جهت، به این آستنیت، آستنیت غنی از کربن و یا آستنیت پایدار شده می گویند.

شکل (۲-۲) پروسه آستمپر ایده آلی را نشان می دهد که دو مرحله استحالته به خوبی تفکیک شده اند مرحله اول استحالته در زمان t_1 کامل می شود و با رسیدن به زمان t_2 مرحله دوم استحالته شروع شده و آستنیت غنی از کربن به دو فاز فریت و کاربید تجزیه می شود. در دوره زمانی پایان مرحله اول استحالته و شروع مرحله دوم استحالته (t_1 و t_2) که از آن به عنوان Process Window یا پنجره فرایند یاد می شود، عنوان شده که تنها تغییرات مختصری در مورفولوژی و ترکیب نیمه پایدار فریت - آستنیت غنی از کربن حاصل می شود [۱۱].

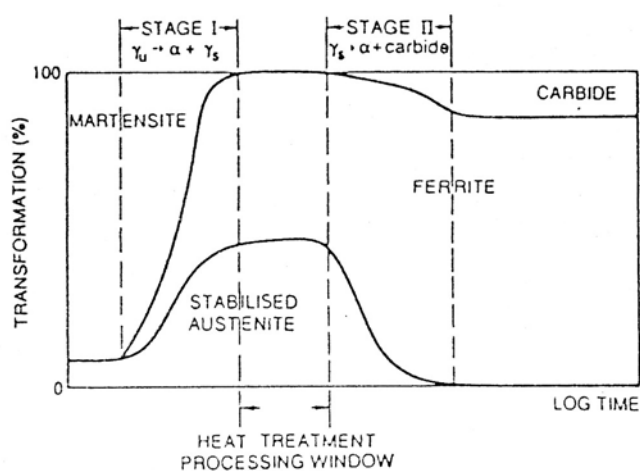


شکل (۲-۲): تغییرات ایده آل درصد حجمی آستنیت نسبت به زمان آستمپر که نشانگر تفکیک دو مرحله اول و دوم آستمپر می باشد [۱۲].

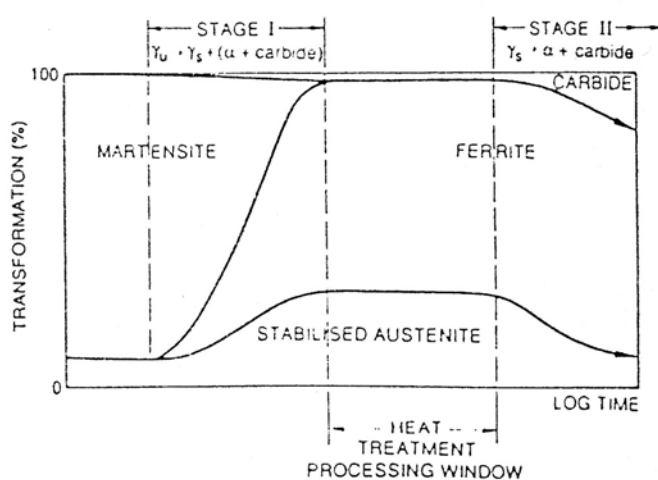
Voigt دو مرحله استحالته آستمپر در درجه حرارت های بالا و پایین را به طور شماتیک

مطابق شکل (۳-۲) ارائه کرده است. در شکل فوق می توان درصد فازهای مختلف را با گذشت

زمان آستمپر مشخص نمود [۱۳].



(الف)



(ب)

شکل (۳-۲): شماتیک استحاله آستمپر الف) درجه حرارت بالای آستمپر

ب) درجه حرارت پایین آستمپر [۱۳]

نکات مهمی که با استفاده از شکل (۳-۲) استنباط می شود عبارتند از:

۱- در دماهای بالای آستمپر واکنش مرحله اول و دوم در زمان های کوتاه تری نسبت به دماهای پایین آستمپر آغاز می گردد.

۲- مدت زمان انجام واکنش مرحله اول در دماهای بالاتر آستمپر نسبت به دماهای پایین آستمپر کمتر است.

مطابق شکل (۳-۲) در صورتی که زمان نگهداری در درجه حرارت آستمپر کافی نباشد، آستنیت