

تاثیر عملیات حرارتی آستمپرینگ و بازپخت بر ریزساختار و خواص مکانیکی چدن نشکن ۵٪ wt Mn

محمود نیلی احمدآبادی

استادیار گروه مهندسی متالورژی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

داود محمد تبار کاسگری

کارشناسی ارشد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

چکیده

در این پژوهش تاثیر دما و زمان آستمپرینگ و بازپخت بر خواص مکانیکی و ریزساختار چدن نشکن آستمپر (ADI) مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور نمونه‌های ضربه از چدن نشکن ۵٪ wt Mn تهیه و در دماهای ۲۷۵، ۳۱۵ و ۳۵۰ °C در مدت زمانهای ۱ تا ۲۴۰ دقیقه آستمپر شدند. سپس عملیات بازپخت نمونه‌های ADI با خواص مکانیکی بهینه در دماهای ۳۵۰ و ۵۰۰ °C در مدت زمانهای مختلف صورت گرفت. جهت بررسی تغییرات ریزساختاری از میکروسکوپیهای نوری و الکترونی روبشی (SEM) استفاده گردید. نتایج حاصل از آزمایشها نشان می‌دهد که بیشترین مقاومت به ضربه در دمای آستمپرینگ ۳۵۰ °C و در مدت زمان ۹۰ دقیقه حاصل می‌شود، و با افزایش تعداد گرافیت‌های کروی در واحد سطح، مقاومت به ضربه افزایش می‌یابد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهند که بازپخت در دماهای ۳۵۰ و ۵۰۰ °C موجب کاهش انرژی ضربه میگردد و این کاهش با بازپخت در دمای ۵۰۰ °C بیشتر میشود که جهت جلوگیری از افت بیشتر خواص مکانیکی، مدت زمان نگهداری نمونه در دمای بالا با توجه به میزان دما، بایستی کنترل شود.

مقدمه

دمای استحاله بینیتی (۲۳۵-۴۵۰ °C) سرد شده و در مدت زمان کافی نگهداری میشود و پس از آن قطعه در هوا یا آب سرد میگردد. در اثر انجام عملیات فوق ساختاری شامل فریت بینیتی و آستنیت باقیمانده بدست می‌آید. واکنشهای فرآیند آستمپرینگ در دو مرحله در زمانهای کوتاه (مرحله اول) و طولانی (مرحله دوم) صورت میگیرد:



که در آن γ_0 و γ_{hc} بترتیب آستنیت اولیه و آستنیت پرکربن میباشد. بدلیل کاهش خواص مکانیکی ناشی از واکنش مرحله دوم همواره سعی میشود از شروع این واکنش جلوگیری شود.

در سالهای اخیر چدن نشکن آستمپر (Austempered Ductile Iron)، بدلیل داشتن استحکام بالای توأم با چقرمگی زیاد بطور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه واقع شده و جنبه‌های مختلف آن مورد مطالعه قرار گرفته است. بالین حال، راجع به تاثیر بازپخت بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی آن گزارش چندانی دریافت نشده است [۱-۴]، این درحالیست که بمنظور استفاده از آن در دمای بالا و انجام عملیاتی نظیر گالوانیزه و نیتریده [۲،۵] که در دمای بالا صورت میگیرد انجام مطالعات اساسی و بررسی تاثیر بازپخت بر آن ضروری میباشد.

در فرآیند آستمپرینگ ابتدا چدن نشکن در دمای ۸۵۰-۹۵۰ °C در مدت زمان کافی آستنیت شده و سپس بمنظور جلوگیری از استحاله پرلیتی بسرعت تا

ریزساختار تقریباً بطور کامل فریتی خواهد شد و تنها در مناطق بین سلولی نواحی کوچکی حاوی کاربیدهای کرومی مشخص خواهد شد [۴].

هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر عملیات حرارتی آستمپرینگ و بازپخت بر ریزساختار و خواص مکانیکی چدن نشکن ۵/۰ درصد وزنی منگنز میباشد و تکیه اصلی در این تحقیق بررسی سینتیک تجزیه آستنیت بمنظور کنترل زمان نگهداری نمونه‌های آستمپر شده در درجه حرارت بالاتر میباشد.

روش آزمایش

به منظور تهیه آلیاژ چدن نشکن با wt ۵/۰ منگنز، عملیات ذوب در یک کوره زمینی با بوت‌گرافیتی صورت گرفته، و برای کرومی کردن گرافیتها عملیات تلقیح به روش غوطه‌وری با ۲/۵ درصد فروسیلیکو - منیزیم ۵ درصد و با دانه بندی ۱۵-۱۰ میلیمتر انجام شد و بلافاصله عملیات جوانه زنی با ۵/۰ درصد فروسیلیس ۷۵ درصد با دانه بندی ۲-۰/۷ میلیمتر صورت گرفت. عملیات ذوب ریزی در دمای تقریبی 1400°C بداخل قالب‌های ماسه‌تر (Y بلوک) انجام شده و بدنبال آن برای ایجاد انجماد جهت دار مقادیر یکسانی مواد گرمازا روی سطح هرکدام از بلوکها ریخته شد. ترکیب شیمیایی بدست آمده در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی چدن کم آلیاژی مورد استفاده

در این تحقیق

عنصر	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mg	S	p
درصدوزنی	۳/۷۱	۲/۵	۰/۵۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۴	<۰/۰۱	<۰/۰۰۲

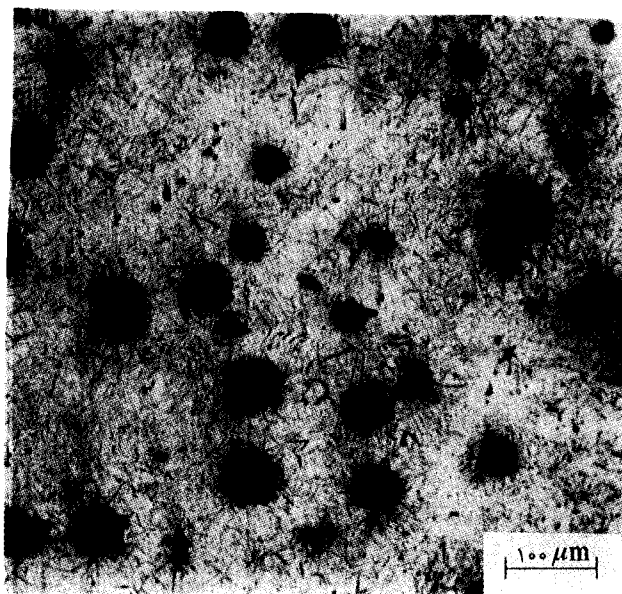
به منظور بررسی اثر جدایش عناصر آلیاژی و نیز تعداد گرافیتها در واحد سطح بر خواص مکانیکی، نمونه‌های ضربه مطابق استاندارد ASTM A ۵۳۶ از قسمتهای بالا و پائین Y بلوکهای ریخته شده براساس استاندارد ASTM A ۸۹۷ M، تهیه شد [۸]. نمونه‌های تهیه شده در حمام‌های نمک آستنیت و سپس آستمپر

رفتار ADI در دمای بالا تحت تاثیر ترکیب شیمیایی آلیاژ، عملیات حرارتی اولیه، سرعت گرم کردن در حین بازپخت [۶]، پایداری آستنیت باقیمانده و سینتیک تجزیه آستنیت باقیمانده میباشد [۱]. گزارش شده است که در اثر انجام فرایند آستمپرینگ کاربیدهایی در ADI تشکیل میگردد، که در اثر بازپخت در دمای بالا کاربیدهای انتقالی تشکیل شده در زمینه حل شده [۷] و موجب پیدایش و ضخیم شدن سمنتیت میشوند [۷ و ۵]. سمنتیت موجود در ریزساختارهای بازپخت شده از منابعی نظیر واکنش مرحله I، مارتنزیت پرکربن، آستنیت باقی مانده پرکربن و واکنش مرحله II (تجزیه آستنیت باقیمانده) ناشی میشود. توزیع نهایی سمنتیت منعکس کننده توزیع کربن در میان این اجزاء بعد از آستمپرینگ می‌باشد که با استفاده از میکروسکوپی الکترونی عبوری (TEM) و در بزرگنمایی بالا قابل مطالعه است [۵]. در گزارشهای منتشره راجع به بازپخت ADI در دمای بالا سه محدوده دمایی مطرح شده است [۶]:

- بازپخت در محدوده دمایی 100°C تا 460°C ، ساختار معمولاً خواص آسفریتی (ساختاری شامل آستنیت و فریت) را حفظ میکند و تنها مقدار کمی از آستنیت باقیمانده به فریت و آستنیت غنی از کربن تبدیل میشود که موجب افزایش جزئی در سختی و خواص مغناطیسی آن میشود.

- در محدوده حرارتی 460°C - 550°C ، بازپخت موجب تجزیه آستنیت پرکربن به فریت و کاربیدهای Si دار میشود. تجزیه آستنیت پرکربن در ابتدا با رسوب کاربیدهای Si دار در آستنیت و سپس با تشکیل فریت دنبال میشود.

- در اثر بازپخت در محدوده دمایی 550°C - AC_1 سیلیکوکاربیدها به سمنتیت تبدیل شده و در نتیجه گرافیت زایی از این سمنتیتهای متمرکز شده صورت میگیرد. راجع به زمان بازپخت گزارش شده است که افزایش زمان بازپخت در دمای بالا موجب حل شده سمنتیت و جوانه زنی فریت در مجاورت گرافیتهای کرومی میشود، و در صورت نگهداری در دماهای بالا و در مدت زمانهای طولانی،



شکل ۱: تصویر میکروسکوپی ریزساختار نمونه چدن نشکن آستمپر شده در دمای ۳۵۰ بمدت یک دقیقه، محلول اچ: نیتال ۲٪.

علاوه بر این آستنیت محصور شده (Blocky austenite) نیز بین سوزنها ظاهر میشود، که دلیل آن، نفوذ کربن از فریتهای به آستنیت مجاور می باشد که در نتیجه کربن آستنیت افزایش یافته و جوانه زنی فریتهای جدید در داخل این آستنیت با تاخیر صورت خواهد گرفت. در شرایطی که زمان آستمپرینگ کوتاه و یا میزان جدایش زیاد باشد آستنیت Blocky نیز افزایش می یابد. با افزایش زمان آستمپرینگ، رشد تیغهها بداخل مناطق آستنیتی و اکسایش نیافتاده UAV (Untransformed Austenite Volume) ادامه می یابد و در نهایت ساختاری شامل فریت بینیتی، آستنیت باقیمانده و مقدار کمی UAV تشکیل میگردد. آستمپرینگ در دماهای دیگر نظیر ۲۷۵ و ۳۱۵°C نیز روند تقریباً مشابهی دارد با این تفاوت که در اثر انجام استحاله در دمای پائین، امکان تشکیل کاربید در مرحله I استحاله وجود خواهد داشت. و از طرفی با کاهش دمای آستمپرینگ و افزایش نیروی محرکه استحاله بینیتی، مقدار آستنیت باقیمانده نیز کاهش می یابد [۸].

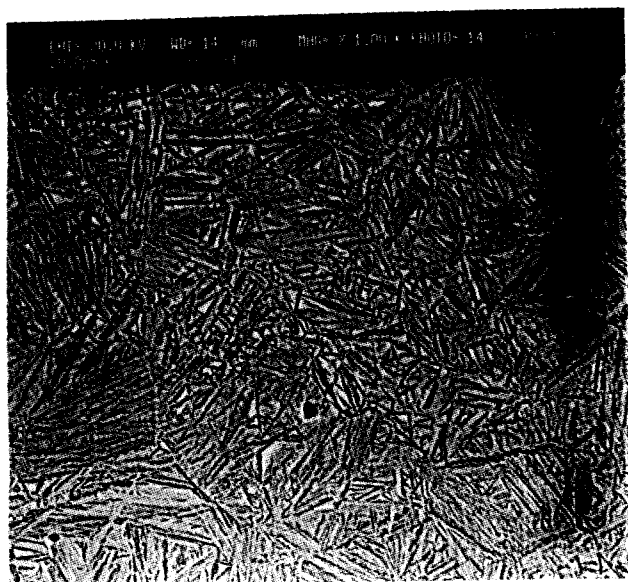
شدند، و برای بازپخت نمونه های ADI نیز از کوره های حمام نمک آستمپر استفاده گردید. بمنظور یکنواختی درجه حرارت حمام نمک از دمش گاز خنثی نیتروژن و برای کنترل دما از یک کنترل کننده با دقت $\pm 3^{\circ}\text{C}$ استفاده گردید. پس از عملیات آستنیتیزه کردن بمدت ۹۰ دقیقه در دمای 900°C ، نمونه ها بلافاصله در کوره حمام نمک در دماهای ۲۷۵، ۳۱۵، ۳۵۰ درجه سانتیگراد در مدت زمانهای از ۱ تا ۲۴۰ دقیقه آستمپر و سپس در آب یا هوا سرد شدند. پس از آن نمونه های چدن نشکن آستمپر شده مجدداً در دماهای ۲۵۰ و ۵۰۰ درجه سانتیگراد در مدت زمانهای کوتاه از ۱ تا ۱۲۰ دقیقه و در زمانهای طولانی بمدت ۵۷۶۰ دقیقه بازپخت شدند.

جهت مطالعات ریزساختاری از میکروسکوپ نوری و برای بررسی نحوه جدایش عناصر آلیاژی و نیز تغییرات فازی بعمل آمده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده گردید.

نتایج آزمایشها الف - متالوگرافی

در اثر آستمپرینگ در دماهای مختلف، تغییراتی در ریزساختار چدن نشکن حاصل میشود که بعنوان نمونه تغییرات ریزساختاری حاصله در نمونه های آستمپر شده در دمای 350°C در مدت زمانهای مختلف در شکلهای ۱ تا ۳ نشان داده شده است. شکل ۱ نشان میدهد که بعد از یک دقیقه که از زمان لازم برای جوانه زنی فاز فریت بینیتی بیشتر میباشد [۹]، سوزنهای فریتی در زمینه آستنیت تشکیل میشوند. سوزنها ترجیحاً در نواحی نزدیک گرافیتها و در مرزخانه های آستنیت اولیه جوانه می زنند و در نواحی بین سلولی استحاله کمی صورت میگیرد. باافزایش زمان آستمپرینگ تعداد و اندازه سوزنهای فریتی افزایش می یابد و از میزان مارتنزیت تشکیل شده کاسته میشود. رشد تیغه های بینیتی بصورت مجزا و در امتداد هم صورت می گیرد، بطوری که هر واحد محل جوانه زنی برای واحد بعدی می گردد.

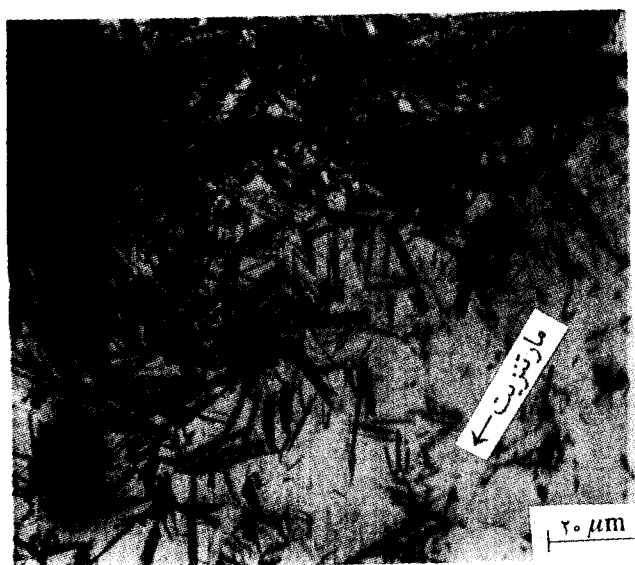
سانتیگراد مجدداً بازپخت شدند. تصویر میکروسکوپی مربوط به ریزساختار نمونه آستمپر شده در درجه حرارت 275°C در شکل ۴ بعنوان مثال نشان داده شده است که حاوی سوزنهای فریت بینیتی در زمینه آستنیتی می باشد.



شکل ۴: تصویر میکروسکوپ الکترونی ریزساختار نمونه چدن نشکن آستمپر شده در دمای 275°C بمدت ۱۲۰ دقیقه، محلول اچ: نیتال ۲٪.

در ششهای ۵ و ۶ تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های 350°ADI که در دمای 500°C بازپخت شده‌اند نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه میشود حتی در اثر بازپخت در زمانهای کوتاه نیز تجزیه و از بین رفتن ساختار بینیتی پرشکل بوضوح مشخص می‌باشد.

در اثر بازپخت طولانی مدت در دمای بالا، فریت ثانویه در اطراف گرافیت‌های کروی تشکیل میشود که براحتی با استفاده از میکروسکوپی نوری نیز قابل مشاهده میباشد (شکل ۶). در اثر بازپخت در دمای پایین (350°C)، بخاطر پایین بودن دما و تاخیر در دی کربوره شدن (Decarburization) آستنیت باقیمانده، تجزیه ساختار بینیتی بکندی صورت میگیرد، و نیروی محرکه کمی برای استحاله‌های ناشی از بازپخت وجود دارد.

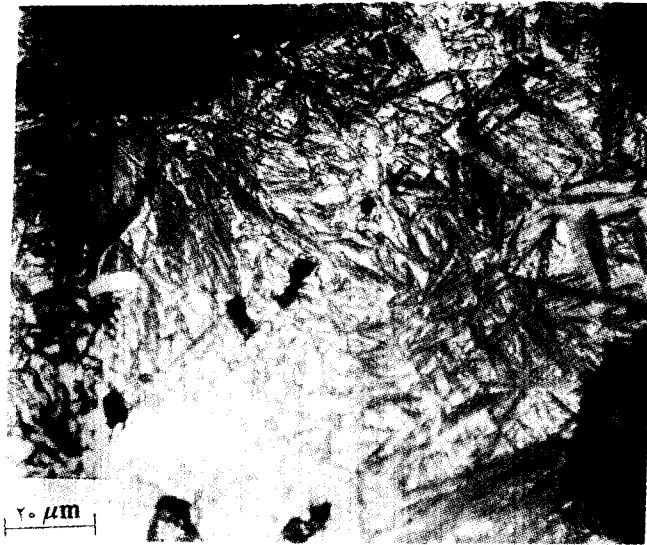


شکل ۲: تصویر میکروسکوپی ریزساختار نمونه چدن نشکن آستمپر شده در دمای 350°C بمدت ۱۰ دقیقه، محلول اچ: نیتال ۲٪.



شکل ۳: تصویر میکروسکوپی ریزساختار نمونه چدن نشکن آستمپر شده در دمای 350°C بمدت ۲۴۰ دقیقه، محلول اچ: نیتال ۲٪.

به منظور مطالعه تغییرات ریزساختاری ADI در اثر بازپخت، نمونه‌های آستمپر شده در دماهای 275°C و 350°C به ترتیب به مدت ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه که دارای بالاترین مقدار انرژی ضربه می‌باشند ($ADI 275$ و $ADI 350$) در دماهای 250°C و 500°C درجه

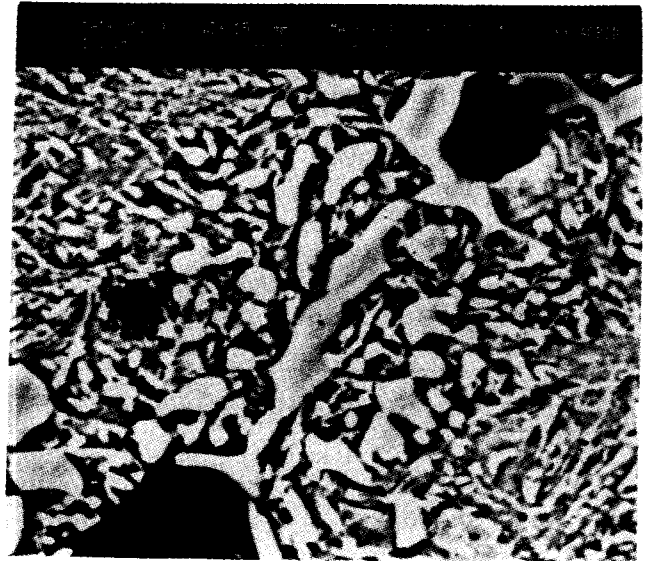


شکل ۷: تصویر میکروسکوپ الکترونی ریزساختار نمونه ADI 350 که در دمای 350°C بمدت ۲۴ دقیقه بازپخت شده است، محلول اچ: نیتال ۲٪.

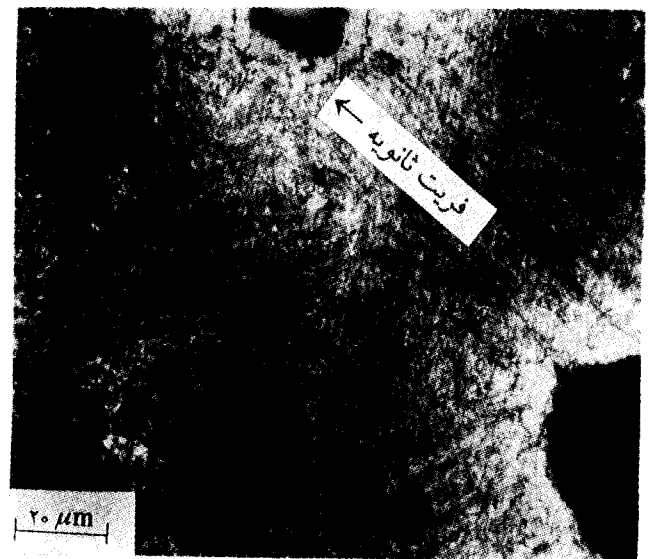
بازپخت در دمای 350°C بمدت ۲۴ دقیقه تغییرات محسوسی مشاهده نمیشود. برای نمونه های ADI 275 نیز رفتار تقریباً مشابهی مشاهده شده است، ولی از آنجا که ساختار اولیه آن از نوع بینیت پایینی می باشد و حاوی کاربید نیز می تواند باشد، تفاوت‌هایی نظیر افزایش نیروی محرکه بازپخت و تجزیه و تغییرات احتمالی در کاربیدها وجود دارد (شکل ۸).

ب: آزمایشهای مکانیکی

در شکل ۹ تاثیر زمان و دمای آستمپرینگ بر انرژی ضربه نمونه های آستمپر شده در دماها و زمانهای مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده میشود با افزایش زمان آستمپرینگ انرژی ضربه افزایش می یابد تا اینکه به یک مقدار ثابت در مدت زمانی مشخص، که انرژی ضربه بهینه حاصل میشود، می رسد. برای دماهای آستمپرینگ ۲۷۵، ۳۱۵ و 350°C زمان مذکور بترتیب برابر ۱۲۰، ۱۲۰ و ۹۰ دقیقه میباشد که احتمالاً در محدوده پنجره فرآیند

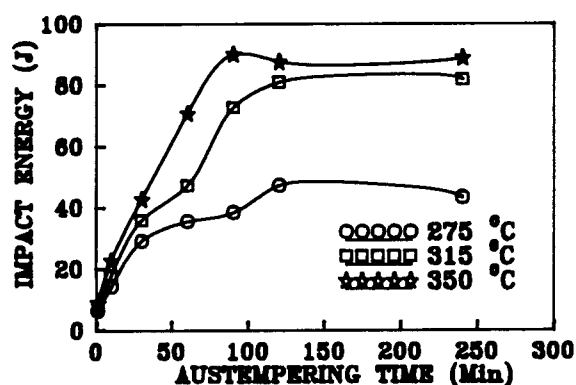


شکل ۵: تصویر میکروسکوپ الکترونی ریزساختار نمونه ADI 350 که در دمای 500°C بمدت ۱۰ دقیقه بازپخت شده است، محلول اچ: نیتال ۲٪.

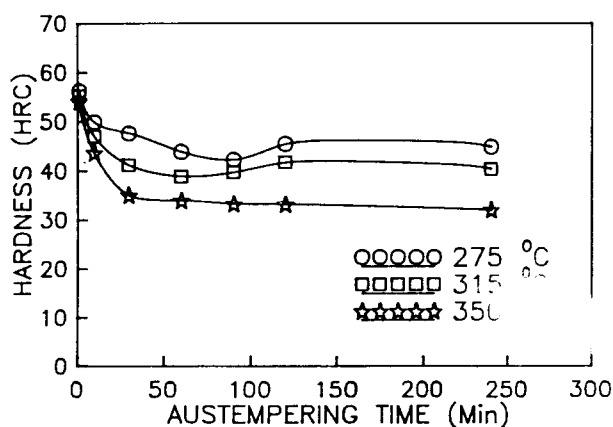


شکل ۶: تصویر میکروسکوپ الکترونی ریزساختار نمونه ADI 350 که در دمای 500°C بمدت ۲۴ ساعت بازپخت شده است، محلول اچ: نیتال ۲٪.

این موضوع بوضوح در شکل ۷ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده میشود در نمونه ADI 275 پس از



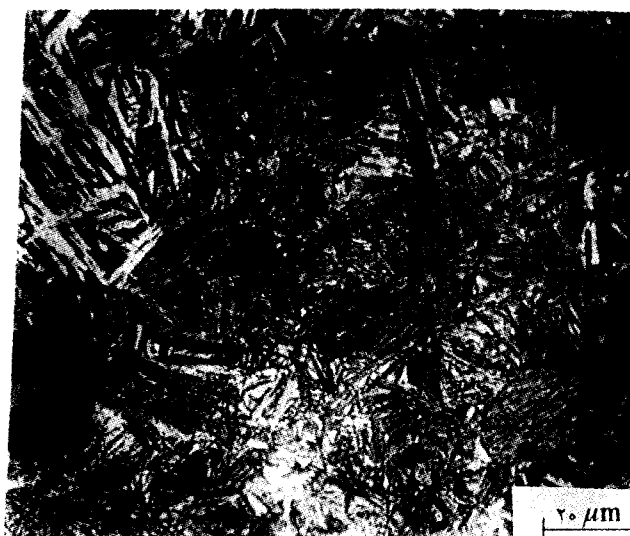
شکل ۹: منحنی تغییرات انرژی ضربه بر حسب زمان آستمپرینگ برای نمونه های آستمبر شده در دماهای مختلف.



شکل ۱۰: منحنی تغییرات سختی بر حسب زمان آستمپرینگ برای نمونه های آستمبر شده در دماهای مختلف.

زمانهای آستمپرینگ دارای بیشترین مقدار سختی میباشند که ناشی از مرفولوژی سوزنی شکل، آستنیت باقیمانده کمتر و وجود کاربید در آنها می باشد.

شکل ۱۱ تاثیر تعداد گرافیت های کروی بر انرژی ضربه را نشان می دهد، شکل فوق موید آنستکه نمونه های HNC (High Nodule Count) دارای انرژی ضربه بیشتری از نمونه های LNC (Low Nodule Count) در تمام

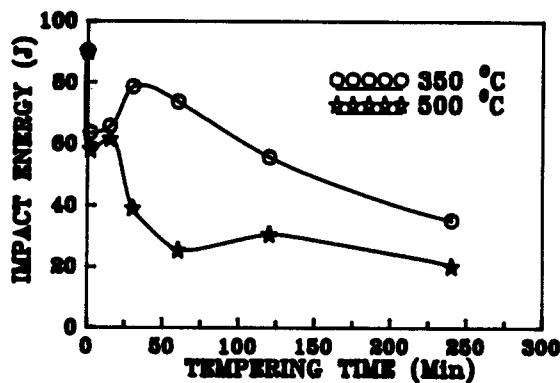


شکل ۸: تصویر میکروسکوپ الکترونی ریزساختار نمونه ADI 275 که در دمای ۵۰۰ °C بمدت ۱۵ دقیقه بازپخت شده است، محلول اچ: نیتال ۲٪.

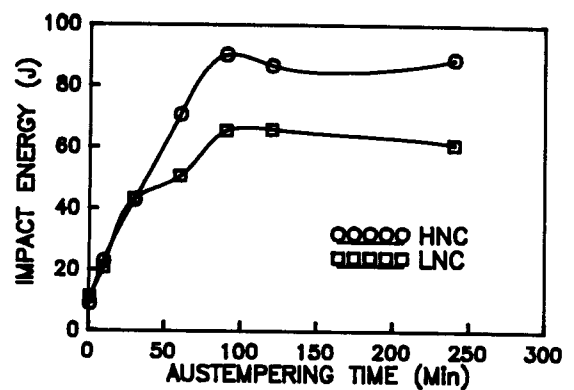
عملیات حرارتی (Heat Treatment Processing Window) می باشد. با افزایش زمان آستمپرینگ، در مدت زمانهای طولانی بدلیل انجام واکنش مرحله II و تشکیل کاربید، انرژی ضربه نمونه های ADI کاهش می یابد. شکل فوق نشان می دهد که بیشترین مقدار انرژی ضربه (حدود ۹۰ ژول) به دمای آستمپرینگ ۲۵۰ °C در مدت ۹۰ دقیقه مربوط می شود.

با کاهش دمای آستمپرینگ انرژی ضربه نمونه های ADI نیز کاهش می یابد و دلیل آن را می توان به کاهش مقدار استنیت باقیمانده و تغییر مرفولوژی از نوع بینیت بالایی و پرشکل به نوع بینیت پایینی و سوزنی نسبت داد. انرژی ضربه برای نمونه های آستمبر شده در دماهای ۲۱۵ و ۲۷۵ °C در مدت زمان آستمپرینگ ۱۲۰ دقیقه بترتیب برابر ۸۱ و ۴۵ ژول می باشد.

شکل ۱۰ تغییرات سختی را با تغییر زمان و دمای آستمپرینگ نشان میدهد. همانطور که مشاهده میشود با افزایش زمان و دمای آستمپرینگ مقدار سختی کاهش می یابد، کاهش اولیه در سختی تا زمان آستمپرینگ ۳۰ دقیقه، به کاهش مقدار مارتنزیت مربوط میشود. همچنین نمونه های ADI 275 در تمام



شکل ۱۳: منحنی تغییرات انرژی ضربه بر حسب زمان بازپخت برای نمونه های ۳۵۰ ADI HNC بازپخت شده در دمای ۵۰۰°C.

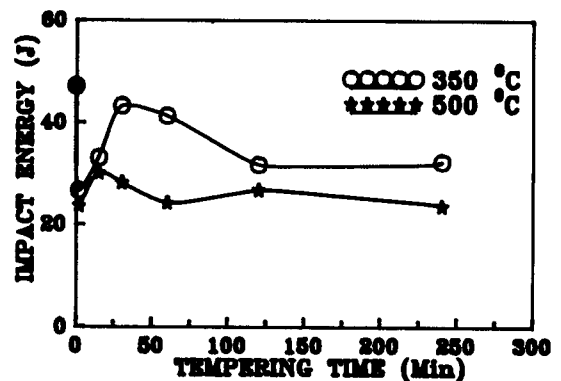


شکل ۱۱: منحنی تغییرات انرژی ضربه بر حسب زمان آستمپرینگ برای نمونه های HNC, LNC آستمپر شده در دمای ۳۵۰ درجه سانتیگراد.

می باشد که در اثر بازپخت در دماهای ۳۵۰ و ۵۰۰°C بمدت دو دقیقه بترتیب حدود ۲۶ و ۲۴ کاهش نشان می دهد و برای نمونه های ۲۵۰ ADI از حدود ۹۰ ژول به ۶۴ و ۵۸ ژول تنزل میکند، و با افزایش زمان بازپخت انرژی ضربه مجدداً افزایش مییابد و در زمانهای بازپخت بیشتر انرژی ضربه مجدداً کاهش یافته تا اینکه در مدت زمان ۲۴۰ دقیقه، تقریباً ثابت میشود.

همچنین از شکلهای فوق نتیجه میشود که انرژی ضربه کلیه نمونه های ADI بازپخت شده در دمای ۳۵۰°C بیشتر از انرژی ضربه نمونه های بازپخت شده در دمای ۵۰۰°C میباشد (شکل ۱۴)، و نیز انرژی ضربه نمونه های ۲۵۰ ADI بیشتر از انرژی ضربه نمونه های ۲۷۵ ADI می باشد که در شرایط یکسان بازپخت شده اند که علت آن عملیات حرارتی اولیه و نوع ریزساختار ناشی از آن می باشد.

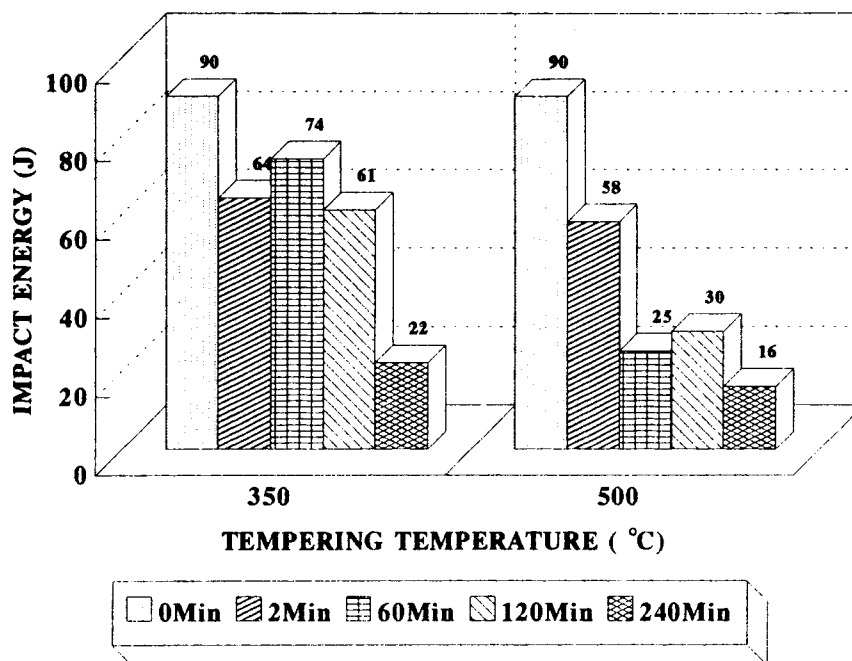
در شکل ۱۵ تاثیر تعداد گرافیتها کروی بر انرژی ضربه نمونه های بازپخت شده نشان داده شده است. همانطور که انتظار می رود انرژی ضربه نمونه های HNC بازپخت شده بیشتر از نمونه های LNC بازپخت شده می باشد، ولی اختلاف بین انرژی ضربه و نمونه های HNC و LNC در اثر بازپخت، کاهش می یابد.



شکل ۱۲: منحنی تغییرات انرژی ضربه بر حسب زمان بازپخت برای نمونه های ۲۷۵ ADI بازپخت شده در دماهای مختلف.

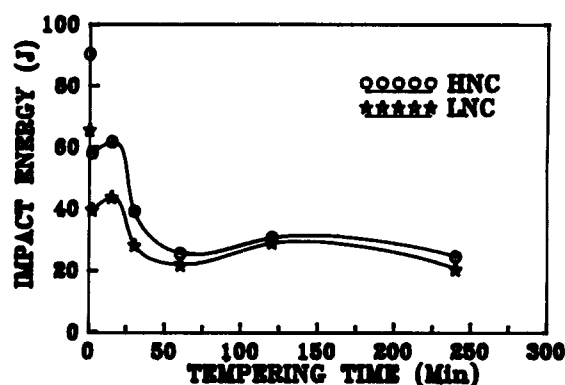
ممیابند، که دلیل این امر وجود شبکه نیمه پیوسته UAV در ساختار نمونه های LNC می باشد.

در شکلهای ۱۲ و ۱۳ منحنی تغییرات انرژی ضربه نمونه های ۲۷۵ ADI و ۲۵۰ ADI که در دماهای ۳۵۰ و ۵۰۰°C در مدت زمانهای مختلف بازپخت شده اند بر حسب زمان بازپخت نشان داده شده است. در اثر بازپخت ابتدا کاهش نسبتاً زیادی در انرژی ضربه حاصل می شود، بطوریکه برای نمونه های ۲۷۵ ADI انرژی ضربه در حالت بازپخت نشده برابر ۲۷ J



شکل ۱۴: تغییرات انرژی ضربه بر حسب دمای بازپخت برای نمونه‌های HNC ADI ۳۵۰ که در زمانهای مختلف بازپخت شده‌اند.

($\gamma_{hc} + \alpha + \text{Carbide}$) در آن وجود خواهد داشت. با تغییر ریزساختار خواص مکانیکی نیز تغییر می‌کند. با افزایش زمان آستمپرینگ تا زمان t_1 (زمان پایان واکنش مرحله اول) که توام با افزایش آستنیت باقیمانده می‌باشد، انرژی ضربه نیز از مقدار کمتر از ۱۰٪ در اثر آستمپرینگ در دمای 350°C به مدت یک دقیقه، به مقدار ۹۰٪ در مدت زمان ۹۰ دقیقه می‌رسد و این افزایش در انرژی ضربه در سایر دماهای آستمپرینگ نیز مشهود می‌باشد. علاوه بر افزایش آستنیت باقیمانده که در افزایش انرژی ضربه و کاهش سختی موثر می‌باشد، کاهش مارتنزیت را نباید از نظر دور داشت، بطوریکه با افزایش زمان آستمپرینگ مقدار سختی از ۵۳ HRC در اثر آستمپرینگ ب مدت یک دقیقه به مقداری تقریباً برابر ۴۵ HRC در مدت زمان آستمپرینگ ۶۰ دقیقه، در دمای 275°C می‌رسد. علاوه بر نوع ریزساختار زمینه که در ارتباط مستقیم با خواص مکانیکی ADI می‌باشد، تعداد گرافیت‌های کروی نیز بر آن تاثیر می‌گذارد بطوری که نمونه‌های HNC دارای انرژی ضربه بمراتب بیشتری از نمونه‌های LNC می‌باشند و با افزایش دمای آستمپرینگ اختلاف بین مقدار انرژی



شکل ۱۵: منحنی تغییرات انرژی ضربه بر حسب زمان بازپخت برای نمونه‌های HNC, LNC ADI ۳۵۰ بازپخت شده در دمای 500°C .

بحث

با انجام عملیات حرارتی آستمپرینگ یک ریزساختار بینیتی حاوی فریت در زمینه آستنیتی بوجود می‌آید که بسته به دمای آستمپرینگ وجود کاربرد نیز در آن، انتظار می‌رود. آستمپرینگ در دمای پایین منجر به تشکیل بینیت پائینی حاوی سوزنهای فریتی ظریف در زمینه آستنیتی می‌شود و علاوه بر آن کاربرد نیز در اثر استحاله مرحله I

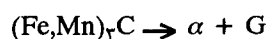
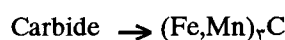
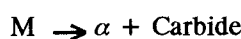
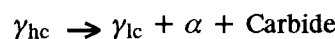
داشت که آستنیت بطور کامل به فریت و سمنتیت و یا احیاناً به گرافیت تبدیل شود، اما شرایط ترمودینامیکی و سینتیکی همواره بطور کامل فراهم نمی شود و لذا مقداری از آستنیت باقیمانده فوق اشباع میتواند پایدار بماند. این موضوع بطور واضحتری در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل در مناطق بین سلولی که جدایش منگنز وجود دارد فریت بینیتی در طول آستمپرینگ جوانه زده و لذا آستنیت باقیمانده کم کربن به همان شکل اولیه باقیمانده است. عدم حضور فریت بینیتی و میزان کم کربن آستنیت در این ناحیه باعث شده است تا انرژی محرکه کمی برای تجزیه این آستنیت وجود داشته، و در نتیجه حتی پس از بازپخت در دمای 500°C به مدت ۱۵ دقیقه آستنیت فوق به همان شکل قبلی در ساختار وجود داشته باشد. در حالیکه در مناطق اطراف گرافیت های کروی که غلظت فریت های بینیتی بیشتر، و آستنیت باقیمانده غنی از کربن است و لذا آستنیت سریعتر تجزیه شده و به فریت ثانویه و کاربید تبدیل می شود (شکل ۶).

نتیجه گیری

- ۱- نمونه های HNC آستمپر شده دارای انرژی ضربه بیشتری در مقایسه با نمونه های LNC بوده، که با افزایش دمای آستمپرینگ اختلاف بین آنها افزایش می یابد.
- ۲- بازپخت نمونه های ADI ۲۷۵ و ADI ۲۵۰ در دمای 500°C حتی در کوتاه مدت نیز به کاهش انرژی ضربه می انجامد.
- ۳- بازپخت نمونه های ADI ۲۷۵ در دمای 250°C به کاهش انرژی ضربه منجر می گردد ولی برای نمونه های ADI ۲۵۰ تاثیر کمتری بر خواص مکانیکی آن دارد.

قدردانی: بدینوسیله از شرکت تجهیزات برقی ایران بدلیل پشتیبانیهای مالی از پژوهش تشکر و قدردانی می شود.

ضربه نمونه های LNC و افزایش اختلاف انرژی ضربه آنها علاوه بر وجود شبکه نیمه پیوسته UAV در ساختار میکروسکوپی به وجود حفرات انقباضی که در حین انجماد تشکیل میشوند نیز بستگی دارد. از بررسی های بعمل آمده براساس نتایج حاصله نتیجه میشود که برای آلیاژ موردنظر بهترین فرآیند عملیات حرارتی، آستمپرینگ در دمای 250°C بمدت ۹۰ دقیقه می باشد که دارای انرژی ضربه بهینه می باشد. بطور خلاصه از نقطه نظر ترمودینامیکی واکنشهایی که در اثر بازپخت در ADI ایجاد می شود را میتوان بصورت زیر نوشت:



که در آن γ_{hc} ، γ_{lc} ، α ، M ، G بترتیب آستنیت پرکربن، آستنیت کم کربن، فریت، مارتنزیت و گرافیت میباشد. در واقع فازهای آستنیت باقیمانده و کاربید فازهای نیمه پایدار هستند و با توجه به دیگرام فازی آهن و فولاد مشخص میگردد که فازهای پایدار فریت و گرافیت می باشند. البته لازم به ذکر است که در حضور عناصری مانند منگنز، کاربیدها پایدارتر شده و تجزیه آنها نیازمند زمان طولانی تر در مقایسه با کاربیدهای غیر آلیاژی می باشد [۱۰]. با توجه به روابط بالا، در اثر بازپخت در دمای بالا در طولانی مدت، ساختار بینیتی شروع به انحلال و از بین رفتن میکند که در اثر آن زمینه آستنیتی به فریت و کاربید تجزیه میشود. فریت حاصله در اثر تجزیه آستنیت در اطراف گرافیتها جوانه زده و رشد میکنند. عمده ترین تغییر ریزساختاری در اثر بازپخت، تجزیه آستنیت باقیمانده می باشد، ولی تغییرات دیگری نیز می تواند صورت بگیرد، از جمله میتوان به تجزیه مارتنزیت به فریت و سمنتیت و در صورت وجود کاربیدهای آلیاژی، انحلال آنها و یا تبدیل آنها به سمنتیت اشاره کرد. همانطوریکه ذکر شد چنانچه شرایط از نظر ترمودینامیکی و سینتیکی مهیا باشد می توان انتظار

مراجع

- 1 - Lui, T. S. and Shieh, C. S.(1993). "The characteristics of austempered ductile Iron at elevated temperature." *Int. Conf. on The Mechanical Behavior of Ductile Iron and other Cast Metals*. Japan, 36.
- 2 - Shibutani, S. Onisawa, H. Kato, M. Yoshida. C. (1987). "Influence of galvanizing on mechanical properties of Austempered ductile cast Iron." *IMONO*, 59, 8 496.
- 3 - Lui, T. S. Din, T. A. Chen, L. H.(1992). "The tensile deformation behavior of austempered spheroidal graphite cast Iron at elevated temperature." *IMONO*, 64, 7 457.
- 4 - Massone, J. M. Boeri, R. E. Sikora. J. A.(1996). "Changes in the structure and properties of ADI on exposure to high temperatures." *Int. J. Cast Metals Res.* 9 79.
- 5 - Korichi, S. Priestner. R. (1995). "High temperature decomposition of austempered microstructure in spheroidal graphite cast Iron." *MST*, 9, 11 901.
- 6 - Schissler, J. M. Lui, Y. C. Chobaut, J. P. Velters. H.(1994). "Structural evolution of austempered ductile Iron (ADI) during tempering." *Fifth Int. Symp. on the Physical Metallurgy of Cast Iron(SCI5)*. Nancy, France.
- 7 - Honarbakhsh. Raouf, A. Edmonds, D. V. (1995). "Effects of heat treatment on the microstructure of Austempered ductile Iron (ADI)." *Proc. of the Seminar on Heat Treatment and Surface Engineering, IFHT 95*, Isfahan, Iran 245.
- ۸ - محمدتبار کاسگری، د. تاثیر عملیات حرارتی آستمپرینگ و بازپخت بر خواص مکانیکی و مقاومت خوردگی چدن ۰/۵ wt % منگنز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، (۱۳۷۵).
- 9 - Darwish, N. Elliot, R. (1993). "Austempering of low manganese ductile Irons part 1 processing window." *MST*, 7, 9 572.
- 10 - Nili, Ahmadabadi M., Niyama, E., Tanino, M., Abe, T., and Ohide, T. (1994). "Chemical composition and structural identification of eutectic carbide in 1 pct. Mn ductile Iron." *Metall. and Mat. Trans.*, 25A, 5911.