

نقش عناصر آلیاژی و عملیات حرارتی پی در پی بر خواص مکانیکی چدن نشکن

محمود نیلی احمدآبادی

استادیار گروه مهندسی متالورژی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

حسین حاجی بهرامی

فارغ التحصیل کارشناسی دانشکده فنی - دانشگاه تهران

مهدی اوصیاء

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۷۶/۱۱/۱۸ تاریخ تصویب: ۷۷/۶/۲۸)

چکیده

انجام عملیات حرارتی آستمپرینگ پی در پی بر روی چدن نشکن پرمگنز نشان داد که خواص مکانیکی این چدن را با انجام این نوع عملیات تا حد بسیار زیادی می توان افزایش داد. به منظور بررسی تاثیر این عملیات حرارتی بر دیگر آلیاژهای چدن نشکن، چدن نشکن با ترکیب Ni-Cu-Mo بعنوان نمونه انتخاب گردید.

نمونه های ضربه و کشش از آلیاژ فوق تهیه شده و کلیه نمونه ها در کوره حمام نمک در دمای 900°C به مدت ۹۰ دقیقه آستنیته و سپس در دمای بالایی آستمپرینگ 375°C و دمای پائینی آستمپرینگ 315°C در زمانهای مختلف تحت عملیات حرارتی پی در پی قرار گرفتند.

جهت بررسی ریز ساختار، نمونه ها توسط میکروسکوپ نوری مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمایشهای ضربه نشان داد که انرژی ضربه تابعی از مدت زمان آستمپرینگ در دو دمای بالایی و پائینی این فرآیند است. علاوه بر این آزمایشها نشان می دهد که عملیات حرارتی پی در پی برخلاف تصورات قبلی، خواص مکانیکی چدن نشکن Ni-Cu-Mo را نیز به میزان قابل توجهی افزایش می دهد که بیانگر امکان بکارگیری موفقیت آمیز این روش برای ترکیبهای شیمیایی مختلف چدن نشکن است. مقایسه نتایج حاصله از بکارگیری عملیات حرارتی پی در پی بر روی آلیاژ این تحقیق و چدن نشکن پرمگنز $(0/75\% \text{ wt})$ نشان می دهد که استحکام کششی در چدن نشکن Ni-Cu-Mo بیش از چدن نشکن پرمگنز است در حالیکه ازدیاد طول دو آلیاژ نزدیک به هم می باشد که این امر احتمالاً ناشی از تاثیر مگنز در افزایش آستنیته باقیمانده است.

کلید واژه ها: چدن نشکن، بینایت، آستنیته باقیمانده

مقدمه

جهت بکارگیری ADI در ساخت قطعاتی نظیر چرخنده، میل لنگ، چرخ قطار و غیره صورت گرفته است [۱-۳]. در چدن نشکن به منظور جلوگیری از تشکیل پرلیت در عملیات حرارتی آستمپرینگ، باید عناصر آلیاژی مانند Ni، Mo، Mn و Cu اضافه نمود که در این میان Mo و Mn در مناطق بین سلولی و Ni و Cu در اطراف گرافیتها مجتمع می شوند. جدایش Mo ممکن است به تشکیل کاربید در

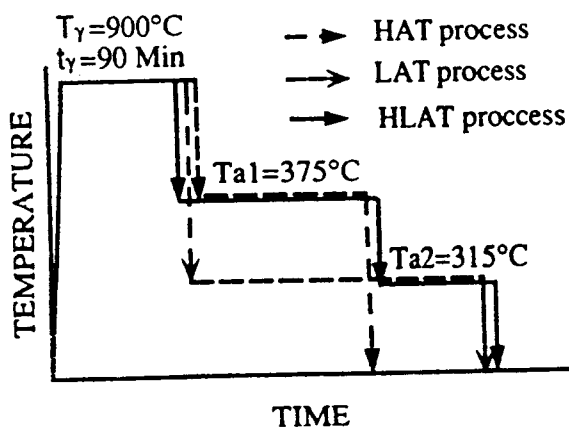
چدنهای نشکن آستمپر (ADI) امروزه جایگزین بسیار مناسبی برای قطعات فولادی فورج شده می باشند. این جایگزینی از طرفی به دلیل خواص مکانیکی مناسب و مقاومت به سایش عالی و از سوی دیگر به علت امکان ریخته گری آسانتر چدننها و همچنین امکان تهیه قطعات پیچیده و ماشینکاری قبل از عملیات حرارتی می باشد. بااستناد به این خواص است که امروزه تحقیقات وسیعی

آلیاژهای مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی نمونه ها بر حسب (wt%)

	C	Si	Mo	Mn	Ni	Cu	Mg
(آلیاژ ۱) Ni-Cu-Mo	۳/۴۵	۲/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۰۴۵
(آلیاژ ۲) ۰/۷۵%Mn	۳/۵	۲/۷۳	-	۰/۷۵	-	۰/۱۸	۰/۰۴

به منظور بررسی مقدار انرژی ضربه و بدست آوردن استحکام کششی، نمونه ها از Y بلوک تهیه و طی عملیات ماشینکاری به ابعاد استاندارد رسانده شدند. برای انجام عملیات حرارتی از سه کوره حمام نمک با دمش گاز آرگون به منظور حفاظت و یکنواخت نمودن دما استفاده شده است. یک کوره جهت آستنیت کردن در دمای ثابت 900°C و دو کوره نمک جهت عملیات حرارتی آستمپرینگ در دو دمای بالایی 375°C و 315°C مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه های ضربه ابتدا به مدت ۹۰ دقیقه تحت دمای 900°C آستنیت و سپس آستمپرینگ پی در پی در دو دمای ذکر شده و در زمانهای مختلف انجام شد. شکل ۱ مراحل مختلف این فرآیند را به صورت نمادین نشان می دهد.



شکل ۱: تصویر نمادین فرآیندهای مختلف حرارتی آستمپرینگ.

در فرآیند آستمپرینگ دو مرحله ای نمونه ها پس از آستنیت شدن بلافاصله در مدت زمانهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه ابتدا در دمای بالایی 375°C و سپس بلافاصله در مدت زمانهای مختلف در دمای پایینی 315°C نگهداری شدند

مناطق بین سلولی بیانجامد و جدایش Mn در این مناطق باعث تاخیر استحاله در مناطق فوق شده که در نهایت ممکن است باعث تشکیل UAV^(۱) در مناطق بین سلولی شود. تشکیل مناطق UAV در ADI به دلیل تبدیل شدن به مارتنزیت در این مناطق باعث کاهش شدید خواص مکانیکی چدن نشکن آستمپر می گردد. در این راستا به منظور مقابله با تاثیر منفی Mn بر خواص مکانیکی ADI، روش آستمپرینگ پی در پی ابداع گردید که باعث بهبود خواص مکانیکی چدن نشکن پرمنگنز حتی بالاتر از خواص مکانیکی چدن نشکن غیر آلیاژی گردید [۴-۵]. در این روش، تشکیل بینایت بالائی در مناطق اطراف گرافیت و بینایت تحتانی در مناطق بین سلولی، ضمن آنکه تشکیل مناطق UAV را به حداقل می رساند، باعث افزایش آستنیت پرکربن نیز می گردد که این موارد، عوامل اصلی افزایش خواص مکانیکی چدن نشکن پرمنگنز هستند.

باتوجه به ضریب جدایش $Mn (K = 0/7)$ تاکنون تصور بر این بوده است که عملیات حرارتی آستمپرینگ پی در پی عمدتاً در چدن نشکن پرمنگنز کاربرد دارد و بدلیل آنکه Ni, Mo و Cu دارای ضرایب جدایش متفاوتی در مقایسه با Mn می باشند لذا انجام این نوع عملیات حرارتی بر چدن نشکن با ترکیبات بدون مگننز تاثیر چندانی بر خواص مکانیکی ADI نخواهد داشت.

هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر عملیات حرارتی آستمپرینگ پی در پی و همچنین مدت زمان آستمپرینگ بر خواص مکانیکی چدن نشکن کم مگننز در حضور عناصر آلیاژی Ni-Cu-Mo و مقایسه آن با خواص مکانیکی چدن نشکن پرمنگنز [۶] می باشد.

روش تحقیق

جهت تهیه آلیاژ با ترکیب شیمیایی مورد نظر، مواد اولیه در کوره زمینی ذوب و سپس عملیات تلقیح مذاب با روش غوطه وری با فرو سیلیسیم منیزیم ۵ درصد به منظور کروی کردن گرافیت ها و به دنبال آن جوانه زنی با فرو سیلیسیم ۷۵ درصد صورت گرفت. جهت تهیه نمونه ها ذوب ریزی در قالب ماسه ای به شکل Y بلوک ۲۵mm در دمای حدود 1420°C صورت گرفت. ترکیب شیمیایی

نشاندهنده مدت زمان آستمپرینگ در دمای پائین می باشد) را نشان می دهد. باتوجه به مرفولوژی بینایت در زمینه تصویر، چنین می توان استنباط نمود که گرافیت در سمت چپ تصویر قرار داشته و مناطق بین سلولی در سمت راست تصویر. چنانچه از تصویر مشخص است نه تنها تعداد فریتهای بینایتی در واحد سطح در اطراف گرافیت بیشتر از مناطق بین سلولی است بلکه مرفولوژی آنها نیز متفاوت با بینایت دیگر مناطق می باشد.

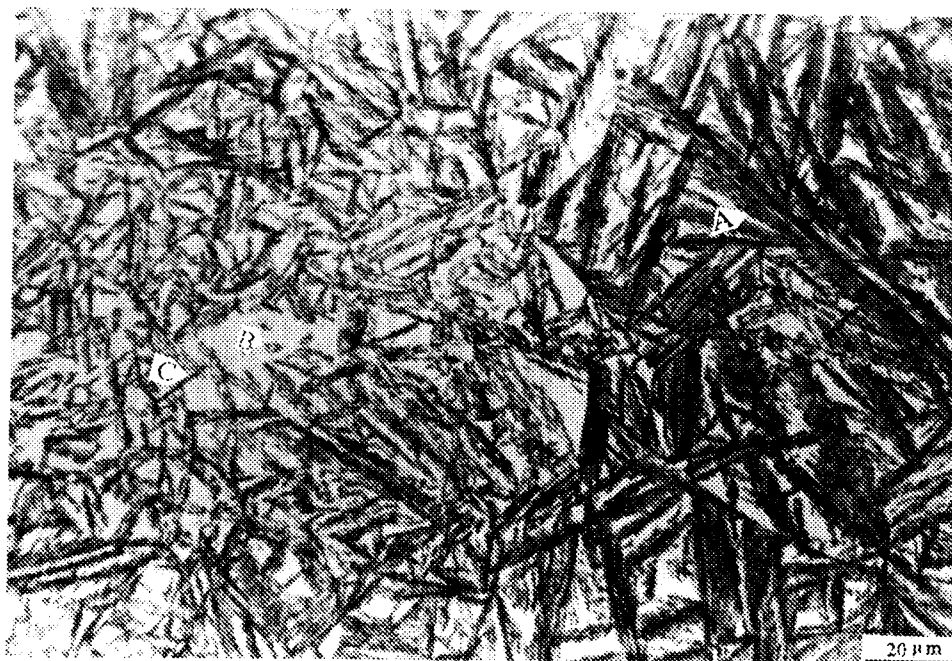
در این تصویر فریتهای بینایت با مرفولوژیهای مختلف را می توان ملاحظه نمود: فریتهای بینایتی پرشکل در نواحی نزدیک گرافیت که در طی آستمپرینگ در دمای بالا تشکیل شده اند و دارای طول و پهنای بیشتری هستند، فریتهای بینایتی بین گرافیت و مناطق بین سلولی که بنظر می رسد دارای طول شاخه های کمتری نسبت به فریتهای تشکیل شده در نواحی نزدیک گرافیت می باشند و فریتهای سوزنی و هم محور در مناطق بین سلولی. اختلاف در مرفولوژی بینایت ها در تصویر ۲ را بایستی ناشی از تغییر ترکیب زمینه از گرافیت تا مناطق بین سلولی و هم چنین آستمپرینگ دو مرحله ای دانست. بررسیهای انجام

و پس از آن در آب کوئچ شدند تا به دمای محیط برسند. در ادامه نمونه های کشش تحت سیکل عملیات حرارتی بهینه حاصله از آزمایش ضربه قرار گرفتند. آزمایش ضربه طبق استاندارد ASTM-A897 بر روی نمونه های چارپی بدون چاک با ابعاد $10 \times 10 \times 55 \text{ mm}$ در دمای محیط و با شرایط یکسان انجام پذیرفت. آزمایش کشش نیز طبق استاندارد و در دمای محیط توسط دستگاه آزمایش کشش ۱۰ تن با سرعت فک 2 mm/s انجام پذیرفت. پس از انجام آزمایشهای کشش، استحکام تسلیم و درصد ازدیاد طول مشخص گردید. جهت هر آزمایش ۳ نمونه آستمپر شده که میانگین نتایج حاصله مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه ها جهت بررسی های متالوگرافی پس از عملیات پولیش با محلول ۲ درصد نایتال اچ گردیدند.

نتایج و بحث

متالوگرافی

شکل ۲ تصویر متالوگرافی نمونه HLAT 30-480^(۱) (عدد اول بیانگر مدت زمان آستمپرینگ در دمای بالا و عدد دوم



شکل ۲: ریزساختار نمونه HLAT-30-480 آلیاژ ۱. علم رغم نگهداری نمونه در دمای پائین برای مدت ۴۸۰ دقیقه، بینایت تحتانی در تصویر فوق به میزان کمی در مناطق بین سلولی مشاهده می شود.

بینایت پائینی سوزنی شکل C = بینایت هم محور B = بینایت بالائی پرشکل A =

بینایت بالائی و پائینی و همچنین بلوکهای آستنیت بخوبی قابل ملاحظه می باشند. در این شکل، پرشکل بودن بینایتهای بالائی بخوبی قابل رویت است و همچنین بینایتهای پائینی که بشکل سوزنی هستند و بعضاً شاخه های بسیار کوچکی از آنها منشعب شده است. در سمت چپ و پائین تصویر بینایتهای هم محور نیز دیده می شوند. شکل ۵ و ۶ تصویر میکروسکوپی و نمادین این فریتهای که با استفاده از تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری تهیه شده را به شکل واضح تری نشان می دهد [۷]. در این تصویر سه نوع فریت بینایتی مختلف نشان داده شده است:

الف - فریتهای ۱، ۲، ۵ و ۷ که دارای شاخه های جانبی هستند منتهی طول و تعداد شاخه های آن متفاوت است.

ب - فریتهای ۳ و ۴ که بدون شاخه های جانبی هستند.

ج - فریت ۶ که فریت هم محور است.

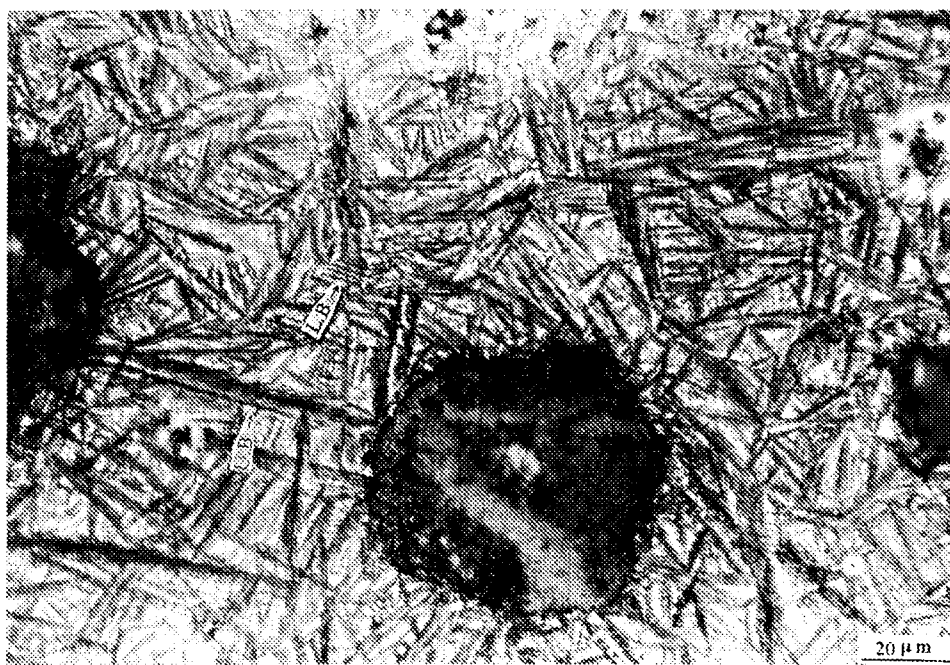
فریتهای گروه الف عمدتاً در آستمپرینگ بالائی تشکیل می شوند که فریتهای ۱ و ۲ عمدتاً در نزدیکی گرافیت و فریتهای ۵ و ۷ در مناطق بین سلولی .

فریتهای گروه ب احتمالاً بینایتهای پائینی هستند که شکل سوزنی داشته و بدون شاخه های جانبی می باشند.

شده نشان می دهد که Si و Ni و Cu در نواحی اطراف گرافیت مجتمع شده در حالیکه Mo در مناطق بین سلولی مجتمع می شود. بدیهی است که عناصر فوق بدلیل تجمعشان در نواحی مختلف و تاثیر آنها بر اکتیویته کربن استحاله بینایتی را تغییر داده که باعث تغیر در مرفولوژی بینایت و تعداد بینایت در واحد سطح می شود [۵-۴].

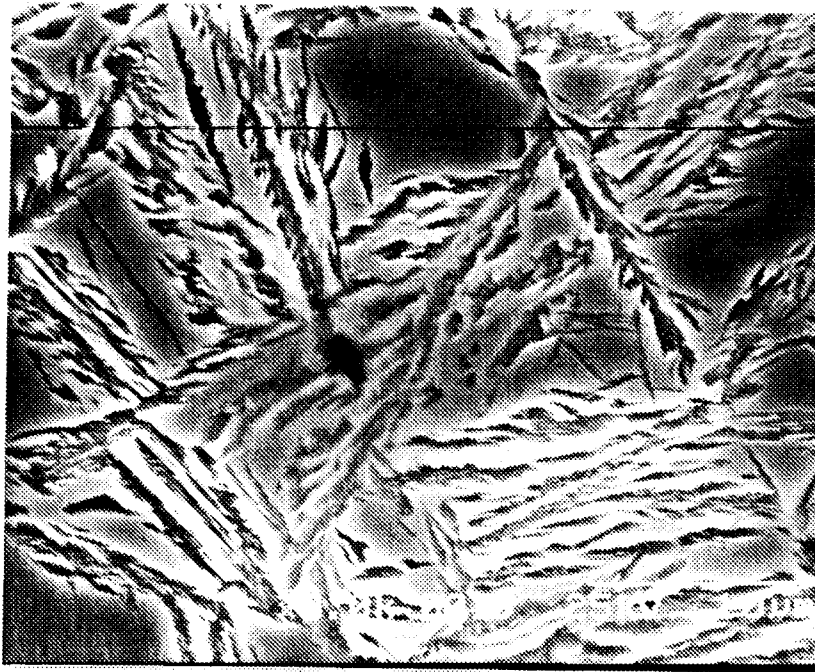
از طرف دیگر از آنجائیکه نمونه قبل از پایان استحاله بینایتی در دمای بالا در دمای پایین کوئنچ می شود لذا بینایت تحتانی در مناطق واکنش نیافته تشکیل شده که میزان آن بستگی به مدت زمان نگهداری در دمای بالا و پائین دارد. این موضوع به خوبی در شکل ۳ که تصویر متالوگرافی نمونه HLAT-15-240 را نشان می دهد قابل مشاهده است. مقایسه این تصویر با تصویر شماره ۲ نشان می دهد که میزان بینایت پائینی این نمونه به مراتب بیشتر از بینایت بالائی بوده و مناطق استحاله نیافته کمی قابل ملاحظه است که علت این موارد را بایستی در کوتاه بودن زمان آستمپرینگ در دمای بالا دانست.

شکل ۴ می تواند تصویر بهتری از مرفولوژیهای مختلف بینایت را ارائه نمایند. در شکل ۴ که تصویر SEM ریزساختار نمونه HLAT-60-60 می باشد مرفولوژی



شکل ۳: ریزساختار نمونه HLAT-15-240

U.B. = بینایت بالایی L.B. = بینایت پائینی



شکل ۴: تصویر SEM از ریزساختار نمونه HLAT-60-60.

خواص مکانیکی

مقاومت به ضربه



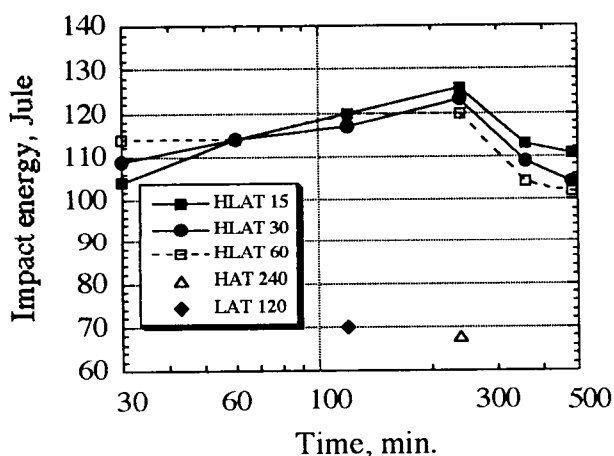
شکل ۵: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (DF) از برگشت (۲۰۰) استنیت نمونه استمپر شده پی در پی [۷].

شکل ۷ تغییرات انرژی ضربه نمونه های HLAT-15، HLAT-30، HLAT-60 و همچنین HAT-240^(۱)، LAT-120^(۲) که دارای انرژی ضربه بهینه آستمپرینگ یک مرحله ای در دمای 375°C و 315°C هستند را نشان می دهد [۸].

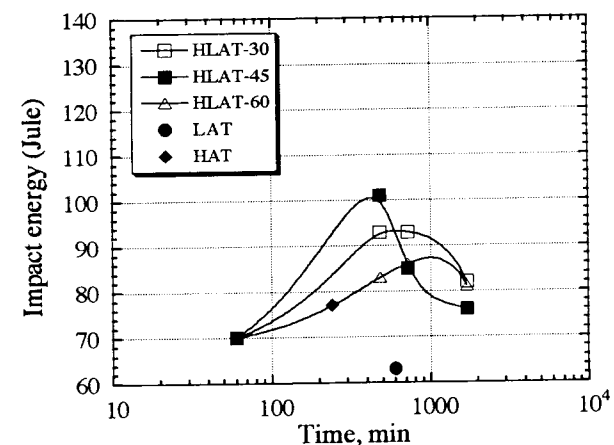
همانطور که ملاحظه می گردد آستمپرینگ پی در پی به میزان زیادی انرژی ضربه چدن نشکن Ni-Cu-Mo را در مقایسه با عملیات حرارتی یک مرحله ای بهبود داده است که این امر بیانگر نقش موثر عملیات حرارتی پی در پی در بهبود خواص مکانیکی است.

مقایسه نتایج انرژی ضربه نمونه های آستمپر شده پی در پی فوق نشان می دهد که هرچه زمان آستمپرینگ در مرحله اول کاهش یابد تاثیر عملیات حرارتی پی در پی بر افزایش انرژی ضربه بیشتر شده است. علاوه بر این کاهش بیشتر انرژی ضربه نمونه HLAT-60 در مقایسه با دیگر نمونه ها در زمان طولانی آستمپرینگ در دمای پایین تر به همراه مطالب بالا نشان می دهد که عامل اصلی کاهش انرژی ضربه باید عمدتاً ناشی از تجزیه استنیت

نمونه‌های پرمگنز که در دمای 375°C برای مدت‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ دقیقه آستمپر شده‌اند را نشان می‌دهد. در این شکل ملاحظه می‌شود که حداکثر مقاومت به ضربه مربوط به نمونه HLAT-45-480 است و پس از آن نمونه HLAT-30 است که حداکثر مقاومت به ضربه آن در مدت زمان آستمپرینگ در دمای پائینی بین ۴۸۰ تا ۸۰۰ دقیقه بدست می‌آید و این در حالی است که نمونه HLAT-60 کمترین مقاومت به ضربه را داشته و پس از مدت زمانی طولانی حدود ۱۰۰۰ دقیقه به حداکثر خود می‌رسد. این شکل نشان می‌دهد که مقاومت به ضربه بهینه نمونه‌های LAT و HAT که به ترتیب طی آستمپرینگ در زمانهای

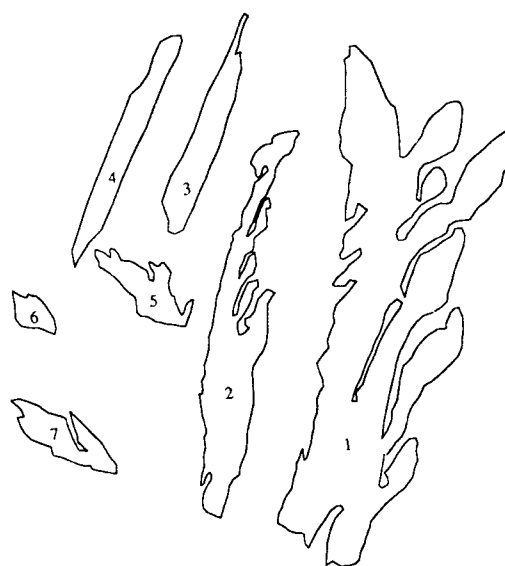


شکل ۷: مقایسه تغییرات انرژی بر حسب زمان مرحله دوم نمونه‌های آستمپر شده پی در پی و همچنین نمونه‌های آستمپر شده تک مرحله‌ای در دمای بالا و پایین آلیاژ ۱.



شکل ۸: مقایسه تغییرات انرژی بر حسب زمان مرحله دوم نمونه‌های آستمپر شده پی در پی و همچنین نمونه‌های آستمپر شده تک مرحله‌ای در دمای بالا و پایین آلیاژ ۲ (پرمگنز).

باقیمانده و نه افزایش فریت های تحتانی باشد. زیرا نمونه HLAT-15 دارای بیشترین فریت بینایت تحتانی بوده و اگر فریت بینایت تحتانی عامل کنترل باشد کاهش انرژی ضربه در این نمونه باید بارزتر باشد. نکته دیگر این است که نمونه HLAT-60 به دلیل آنکه در زمان طولانی تر در دمای 375°C قرار گرفته لذا باید دارای بیشترین آستنیته باقیمانده تشکیل شده در دمای بالا باشد. کاهش بیشتر انرژی ضربه این نمونه در زمان طولانی باید موید تجزیه آستنیته باقیمانده تشکیل شده در دمای بالا باشد تا آستنیته باقیمانده ناشی از آستمپرینگ در دمای پایین. شکل ۸ تغییرات انرژی ضربه بر حسب زمان را برای



شکل ۶: تصویر نمادین فریت‌های بینایتی نشان داده شده در شکل ۵.

۶۰۰ و ۲۴۰ دقیقه بدست می‌آید، بسیار پایین تر از مقاومت به ضربه نمونه آستمپر شده پی در پی می‌باشد که این امر ناشی از کاهش UAV و افزایش آستنیته باقیمانده در نمونه‌های آستمپر دو مرحله‌ای می‌باشد. از بررسی اشکال ۷ و ۸ موارد ذیل را که در حقیقت مقایسه تاثیر عملیات حرارتی آستمپرینگ پی در پی بر دو آلیاژ مختلف چدن نشکن است می‌توان استخراج نمود.

۱ - مقاومت به ضربه نمونه های Ni-Mo-Cu (آلیاژ ۱) حدود سی درصد بیش از مقاومت به ضربه نمونه‌های پرمگنز (آلیاژ ۲) می‌باشد.

۲ - اگر فرض کنیم که پنجره فرآیند عملیات حرارتی^(۱) یعنی فاصله زمانی پایان استحاله مرحله اول و شروع

خواص مکانیکی بهینه نمونه آستمپر شده در دمای بالا است، درصد ازدیاد طول نسبتاً خوب ولی استحکام کششی آن پائین می باشد که این امر احیاناً به علت تشکیل بینایت بالایی به همراه آستنیت واکنش نیافته است.

در مورد نمونه LAT-120 که دارای خواص مکانیکی بهینه نمونه های آستمپر شده در دمای پایین است ملاحظه می شود که نمونه ها دارای استحکام بیشتری نسبت به بینایت بالایی است. باتوجه به نمودار ASTM در این دو عملیات حرارتی یعنی HAT و LAT حتی در حالت بهینه، خواص نمونه ها زیر حد استاندارد هستند [۸].

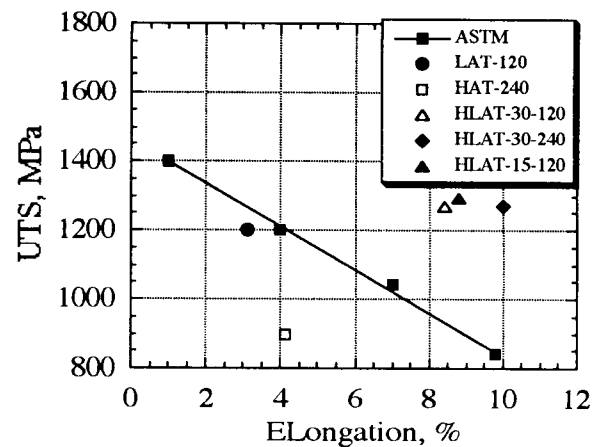
در بررسی عملیات حرارتی نمونه های HAT دیده می شود که حداکثر درصد ازدیاد طول در مورد نمونه های HAT-30-240 است که علت آن را می توان مدت زمان بهینه نگهداری در دمای بالایی 375°C جهت تشکیل مقدار کافی آستنیت باقیمانده و همچنین زمان نگهداری بهینه در دمای پایینی 315°C جهت از بین رفتن UAV و یا کاهش مقدار آن و همچنین عدم شروع واکنش مرحله دوم یعنی تجزیه آستنیت باقیمانده دانست. در مورد نمونه های دیگر نیز از روی نمودار می توان دریافت که تغییرات چندانی در میزان درصد ازدیاد طول و استحکام کششی مشاهده نشده است.

شکل ۱۰ تغییرات حداکثر استحکام کششی برحسب ازدیاد طول نمونه های آستمپر شده تک مرحله ای و پی در پی به همراه استاندارد ASTM برای نمونه های چندن شکن پرمگنز نشان می دهد. این شکل نیز همانند شکل ۹ نشان دهنده تاثیر مثبت عملیات حرارتی پی در پی بر خواص مکانیکی چندن شکن پرمگنز می باشد. مقایسه اشکال ۹ و ۱۰ نشان می دهد که خواص مکانیکی نمونه های آلیاژ ۱ که تحت عملیات حرارتی پی در پی قرار گرفته اند بالاتر از خواص مکانیکی نمونه های آلیاژ ۲ است که دلیل آن را چنانچه در بخش مقاومت به ضربه توضیح داده شد می توان ناشی از تاثیر منفی مگنز بر ساختار چندن شکن دانست.

نتیجه گیری

۱ - انجام عملیات حرارتی پی در پی در مقایسه با عملیات

استحاله مرحله دوم معادل با مدت زمان آستمپرینگی است که نمونه ها حداکثر مقاومت به ضربه را از خود نشان می دهند لذا زمان پایان استحاله مرحله اول در نمونه های آلیاژ ۱ به مراتب کوتاهتر از نمونه های آلیاژ ۲ است (۱۲۰ تا ۲۴۰ دقیقه برای آلیاژ ۱ در برابر ۴۸۰ دقیقه برای آلیاژ ۲). از طرف دیگر به نظر می رسد که "پنجره فرآیند عملیات حرارتی" در نمونه های آلیاژ ۱ طولانی تر از آلیاژ ۲ است که این موارد از نقطه نظر کاربردی حائز اهمیت است. اختلاف در مقاومت به ضربه و سینتیک استحاله در آلیاژ ۱ و ۲ را بایستی ناشی از ساختار اولیه چندن شکن این دو آلیاژ دانست. میزان زیاد عنصر مگنز علاوه بر آنکه جدایش زیادی را در زمینه چندن شکن بوجود می آورد علاوه بر آن باعث می شود که کیفیت ساختار گرافیت ها نیز کاهش یابد که این عوامل در نهایت می تواند به کاهش خواص مکانیکی چندن شکن آستمپر پرمگنز در مقایسه با دیگر آلیاژهای چندن شکن شود.



شکل ۹: تغییرات حداکثر استحکام کششی برحسب ازدیاد طول نمونه های آستمپر شده تک مرحله ای و پی در پی آلیاژ ۱ به همراه استاندارد ASTM.

آزمایش کشش

شکل ۹ تغییرات استحکام کششی در مقابل ازدیاد طول نمونه های آستمپر شده یک مرحله ای و دومرحله ای چندن شکن Ni-Cu-Mo به همراه استاندارد ASTM را نشان می دهد. باتوجه به نمودار و مقایسه با استاندارد ASTM می توان مشاهده کرد نمونه HAT-240 که دارای

۳ - عامل اصلی کاهش مقاومت به ضربه در نمونه‌های آستمپر شده پی در پی احتمالاً تجزیه آستنیت باقیمانده در مرحله اول است.

۴ - در حالیکه نمونه های آستمپر شده یک مرحله‌ای دارای خواص مکانیکی کمتر از استاندارد ASTM هستند انجام آستمپرینگ پی در پی باعث افزایش خواص مکانیکی بالاتر از استاندارد می شود.

۵ - مقاومت به ضربه، استحکام کششی و ازدیاد طول نمونه های Cu-Ni-Mo بیش از نمونه های پرمگنز است که احتمالاً ناشی از تاثیر منفی Mn بر ریزساختار چدن نشکن می باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران به خاطر تامین بودجه این تحقیق و همچنین از مرکز تحقیقات مهندسی جهادسازندگی، آقای مهندس ایزدی برای در اختیار قرار دادن نتایج آزمایشهای آستمپرینگ یک مرحله ای تشکر و قدردانی می گردد.

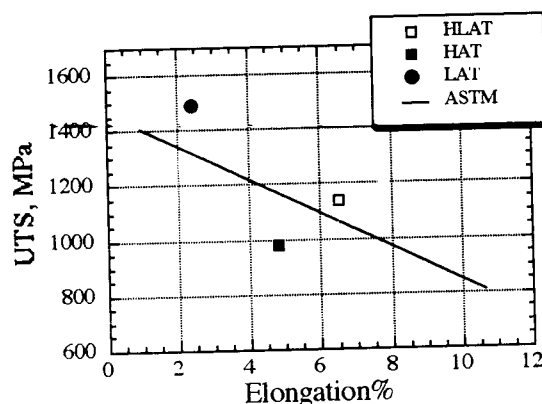
مراجع

- 1 - Kovacs, B. V. (1990). "Modern Casting." 38.
- 2 - Harding, R. (1986). "2nd Int. Conf. on ADI, Ann Arbor USA." 39.
- 3 - Morgan, H. L. (1987). "British Foundryman." 80, 2, 98-108.
- 4 - Nili Ahmadabadi, M., Ohide, T., and Niyama, E. (1992). "Tran. of JFS." 11, 40-47.
- 5 - Nili Ahmadabadi, M., Ohide, T., and Niyama, E. (1992). "Cast Metals." 5, 2, 62-72.
- ۶ - اوصیاء، م. "پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران." شهریور (۱۳۷۵).
- 7 - Nili Ahmadabadi, M. "To be Published in Metall. and Mat. Trans."
- ۸ - بهمنی ایزدی، م. "گزارش داخلی مرکز تحقیقات مهندسی جهاد سازندگی." (۱۳۷۵).

واژه‌نامه

5 - Heat Treatment Processing Window

پنجره فرایند عملیات حرارتی



شکل ۱۰: تغییرات حداکثر استحکام کششی برحسب ازدیاد طول نمونه‌های آستمپر شده تک مرحله‌ای و پی در پی آلیاژ ۲ به همراه استاندارد ASTM.

حرارتی یک مرحله‌ای باعث افزایش مقاومت به ضربه چدن نشکن آستمپر Cu-Ni-Mo و پرمگنز به میزان زیادی می گردد.

۲ - کاهش زمان آستمپرینگ در دمای بالا از ۶۰ دقیقه به ۱۵ دقیقه منجر به افزایش مقاومت به ضربه در نمونه های آستمپر شده Cu-Ni-Mo می گردد.