بررسی اثر عملیات حرارتی آستمپرینگ بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی چدن داکتیل آلیاژ شده (1٪ مس،1٪ آلومینیوم)

ابراهیم کرمیان[1]، سید محمد جمالی[2]، سید محمود منیر واقفی[3]

چکیده

دما و زمان استمپرینگ مهم‌ترین عوامل تعیین ریزساختار و خواص مکانیکی چدن داکتیل آلیاژی آستمپر شده می‌باشد. هدف این پژوهش بهینه‌سازی ریزساختار و خواص مکانیکی چدن داکتیل آلیاژ شده با مس وآلومینیم(Fe-3/6C-2/7Si-0/05Mg-1Cu-1Al) تحت شرایط مختلف عملیات آستمپرینگ می باشد. ابتدا نمونه‌های ریخته شده در دمای 950 درجه به مدت 1 ساعت آستنیته شده، سپس به منظور رسیدن به خواص مکانیکی مورد نظر(استحکام کششی، درصد سختی، ازدیاد طول و چقرمگی شکست)، نمونه‌ها در یک حمام نمک در 3 دمای 285، 335 و375 درجه سانتی گراد و در فواصل زمانی 15 تا 150 دقیقه تحت عملیات آستمپرینگ قرار گرفتند.

برسی نتایج نشان داد که نمونه آستمپر شده در دمای 285 درجه سانتی گراد و زمان 15 دقیقه ازبهترین ریز ساختار وخواص مکانیکی برخور دار می باشد، زیرا ریزساختار نهایی این نمونه شامل مخلوطی از فریت بینیتی و آستنیت باقی‌مانده از پر کربن است.

واژه‌های کلیدی: چدن داکتیل آستمپر شده،عملیات حرارتی آستمپرینگ، فریت بینیتی، آستنیت باقیمانده

مقدمه

تولید چدن‌های داکتیل آستمپر شده با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد آن در سال‌های اخیر توجه زیادی را جلب کرده و در این زمینه شاهد تحولات زیادی در بهبود خواص این نوع چدن‌هاهستم[1]. تحقیقات اخیر در زمینه استفاده از عناصر آلیاژی در ترکیب شیمیایی چدن داکتیل و معرفی آلیاژهای جدید با خواص متالوژیکی بالاتر، متمرکز شده است به گونه‌ای که در مورد بکارگیری ترکیبات با درصدهای متفاوت از عناصر مس، نیکل، مولیبدن و ... به چدن‌های نشکن آستمپر شده و خواص متنوع ناشی از آن، گزارش‌های زیادی موجود است [2و3].

[1] هیأت علمی دانشگاه آزاد نجف‌آباد

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان

[3] دانشیار دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان

www.iran-mavad.com مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالوژی

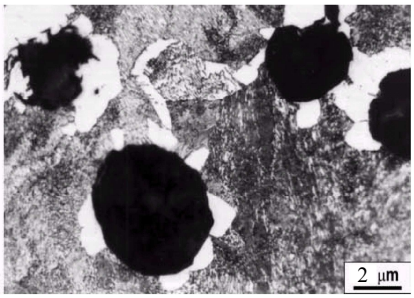
مس یکی از جمله عناصر آلیاژی است که برای افزایش سختی‌پذیری این نوع چدن‌ها بکار گرفته می‌شود، مس پایدارکننده آستنیت بوده و باعث تأخیر در شروع دگرگونی آن به پرلیت می گردد به طوری که امکان بدست آوردن ریزساختارهای بینیتی را در تحولات ایزوترم بیشتر می کند [4]. آلومینیوم نیز در بسیاری موارد شباهت‌های بی‌نظیری با سیلسیم که عنصری کلیدی در این نوع چدن‌ها می‌باشد، دارد و علاوه بر آن با داشتن خواص منحصر به فرد همچون افزایش مقاومت به خوردگی و مقاومت در برابر اکسیداسیون در درجه حرارت‌های بالا، به بهبود خواص تنش شکست و خزش چدن‌های آستمپر شده می‌انجامد [5].

تأثیر همزمان افزودن آلومینیوم و مس در تولید چدن داکتیل آستمپر شده و شناخت ارتباط بین تأثیرات هر یک بر خواص مکانیکی و ریزساختار نهایی اگرچه از پیچیدگی بالایی برخوردار است ولی پس از انجام آزمایشات اولیه منتج به نتایج جالبی در افزایش خواص مکانیکی گردید که در پژوهش حاضر شرایط اپتیمم از عملیات حرارتی آستمپرینگ معرفی می گردد.

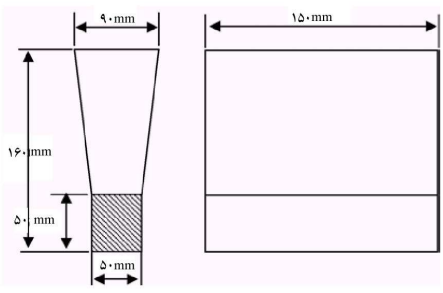
مواد و روش تحقیق

ذوب‌ریزی: جهت دستیابی به چدنی با ترکیب یک در صد مس و یک در صد آلومینیوم ،از شمش چدن سورل متال استفاده گردید عملیات کروی نمودن گرافیت‌ها با افزودن فروسیلیکو منیزیم توسط روش غوطه‌وری انجام گرفته شد. ریزساختار چدن داکتیل ریختگی که در قالب Y بلوک مطابق استاندارد ASTM536 ذوب ریزی شده است،در شکل 1 آمده است.

عملیات حرارتی: از Y بلوک‌های ریخته شده (شکل 2) جهت تهیه نمونه‌های کشش مطابق استاندارد ASTM536(شکل 3) و نمونه‌های ضربه مطابق استاندارد ASTMA327 استفاده شد. نمونه‌های تهیه شده در سه گروه 8 تایی(4 نمونه کشش و 4 نمونه ضربه)تقسیم بندی شده و جهت آستنیته کردن در دمای 950درجه سانتی گراد به مدت یک ساعت در جعبه سمانتاسیون 950 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد.سپس بلافاصله نمونه‌ها را از کوره خارج شده و در حمام نمک قرارگرفت (شکل 4). گروه اول نمونه‌ها در دمای 285 درجه سانتی‌گراد آستمپر شده و زوج نمونه‌های کشش ـ ضربه از این گروه به ترتیب پس از گذشت زمان آستمپرینگ 15، 30، 75، 150 دقیقه از کوره حمام نمک خارج و در هوا سرد شدند.



شکل 1. ریزساختار چدن داکتیل ریختگی



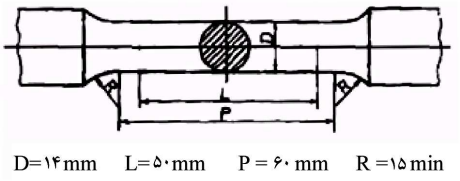
شکل 2. شماتیک Y بلوک ریختگی

www.iran-mavad.com مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالوژی

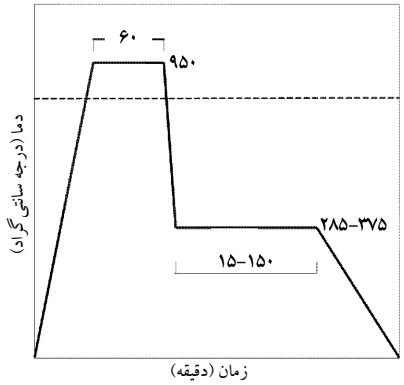
به همین ترتیب نمونه‌های گروه دوم و سوم در حمام نمک با دمای 335 و 375 وارد و پس از زمان‌های آستمپرینگ 15 تا 150 دقیقه از کوره خارج و در هوا سرد گردیدند.

تست‌های مکانیکی: نمونه‌های کشش هر سه گروه تحت آزمایش کشش قرار گرفت و برای هر نمونه استحکام کشش نهایی و ازدیاد طول نسبی به دست آمد. همچنین نمونه‌های ضربه تحت آزمایش ضربه شارپی قرار گرفته و انرژی ضربه آنها محاسبه شد. از تمامی نمونه‌های ضربه پس از یک مرحله سنگ‌زنی سختی برنیل گرفته شد و متوسط آن ثبت گردید.

متالوگرافی: تمامی نمونه‌های عملیات حرارتی شده و نیز نمونه اولیه Y بلوک ریختگی تحت بررسی ریزساختار توسط میکروسکوپ نوری قرار گرفت.



شکل 3. نمونه استاندارد تست کشش



شکل 4. شماتیک عملیات آستمپرینگ

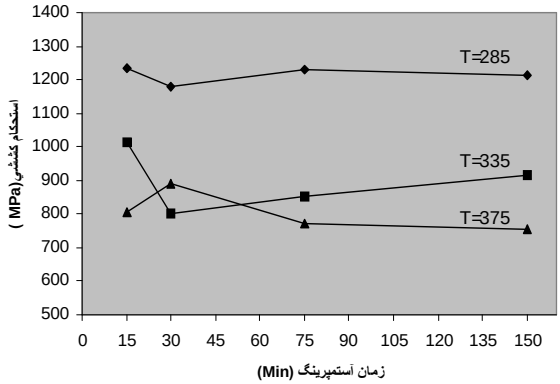
یافته‌ها

خواص مکانیکی: استحکام کششی و نیز درصد ازدیاد طول نسبی نمونه‌های چدن داکتیل آستمپر شده با انجام تست کشش محاسبه و تغییرات آن در سه گروه دمایی 335، 285 و 375 درجه سانتی گراد نسبت به زمان نگهداری در حمام نمک در شکل‌های 5 و 6 آمده است. همچنین میزان انرژی جذب شده تا شکست نمونه‌های آستمپر شده حاصل از انجام تست ضربه، برای تمامی نمونه‌ها محاسبه و تغییرات آن نسبت به شرایط مختلف عملیات حرارتی آستمپرینگ در شکل 7 آمده است. متوسط سختی تمامی نمونه‌ها عملیات حرارتی شده در شرایط دمایی و زمانی مختلف مذکور اندازه‌گیری و تغییرات آن نسبت به شرایط مختلف عملیات در شکل 8 آمده شده است.

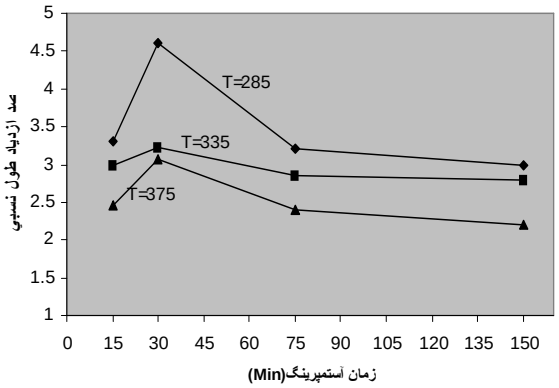
ریزساختار: تصویر متالوگرافی از چدن داکتیل آلیاژ شده با مس و آلومینیوم ریختگی (قبل از عملیات حرارتی) در شکل 1 آمده است. تمامی نمونه‌های عملیات حرارتی شده توسط میکروسکوپ نوری

www.iran-mavad.com مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالوژی

متالوگرافی شده و مورد مطالعه ریزساختاری قرار گرفت. در اینجا برای تشریح تأثیر ریزساختار حاصل از عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی که در قسمت بعد توضیح داده می‌شود، تصاویر کلیدی مربوطه آورده می‌شود. شکل شماره 9 مربوط به عملیات آستمپرینگ در دمای 285 و زمان 15 دقیقه نگهداری در حمام نمک می‌باشد. شکل شماره 10 و 11 نیز به ترتیب مربوط به عملیات حرارتی آستمپرینگ در دمای 335 و 375 و زمان‌های نگهداری 75 دقیقه و 150 دقیقه در حمام نمک می‌باشد.



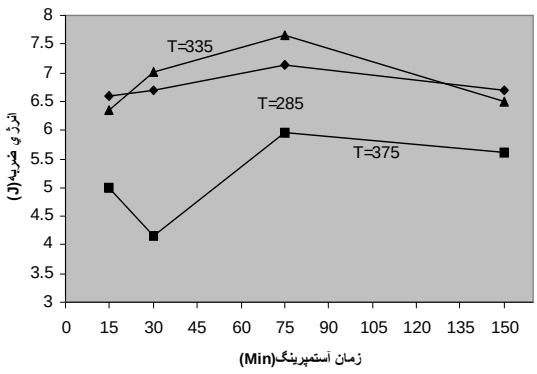
شکل 5. استحکام کششی به زمان آستمپرینگ



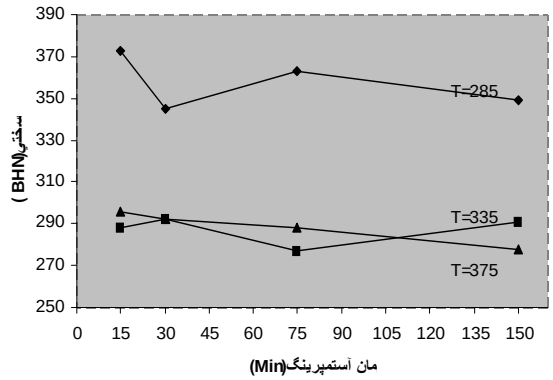
شکل 6. درصد ازدیاد طول نسبی به زمان آستمپرینگ

بحث

بطور کلی ریزساختار و خواص مکانیکی چدن داکتیل آلیاژ شده با مس و آلومینیوم پس از عملیات حرارتی آستمپرینگ این واقعیت را نشان می‌دهد که با کنترل صحیح پروسه شامل انتخاب صحیح درجه حرارت و زمان آستنیته کردن و همچنین انتخاب مناسب درجه حرارت و زمان آستمپرینگ می‌توان شاهد بهبود کیفیت متالورژیکی چدن داکتیل شامل خواص مکانیکی و ریزساختاری بود. در ادامه با توجه به یافته‌های این پژوهش حالت بهینه از شرایط عملیات حرارتی مذکور تشریح می‌شود.



شکل 7. انرژی ضربه‌ای به زمان آستمپرینگ

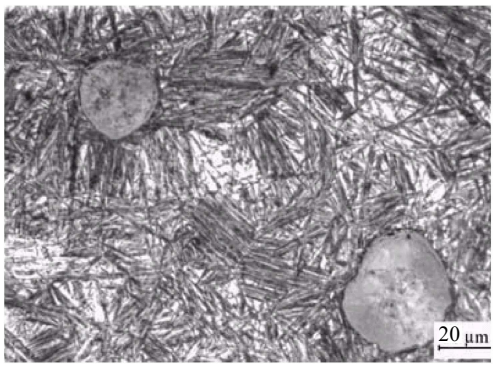


شکل 8. سختی به زمان آستمپرینگ

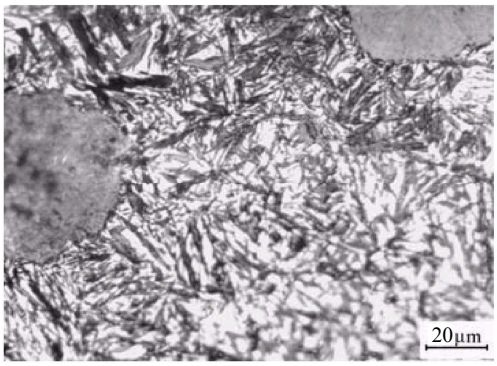
www.iran-mavad.com مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالوژی

با توجه به شکل 5 همان‌طور که دیده می‌شود عملیات آستمپرینگ در دمای 285 درجه سانتی گراد در کلیه زمان‌های آستمپرینگ، استحکام کششی بالاتری را ایجاد کرده است. علت این امر این است که دمای 285 درجه سانتی گراد نسبت به دو دمای 335 و 375 درجه سانتی گراد پایین‌تر بوده و تشکیل بینیت پایینی با تیغه‌های ظریف‌تر در شرایط دمایی پایین‌تر و زمان کم‌تر امکان‌پذیر خواهد بود که این مطلب به خوبی در شکل شمارهٔ 9 که تصویر متالوگرافی چدن داکتیل آستمپر شده در دمای 285 و زمان 15 دقیقه است، دیده می‌شود و همین دلیل بالا بودن استحکام کششی چدن داکتیل آستمپر شده می‌باشد.

.



شکل 9. ریزساختار چدن داکتیل آستمپر شده دما 285°C و 15 دقیقه



شکل 10. ریزساختار چدن داکتیل آستمپر شده دما 335°C و 75 دقیقه

از طرف دیگر هر چه زمان‌نگهداری نمونه‌های گروه دمایی 285 درجه در حمام نمک پایین‌تر باشد آستنیت به اندازه کافی فرصت تخلیه شدن از کربن نداشته و ناپایدار خواهد بود، لذا پس از خارج شدن از کوره حمام نمک و سرد شدن در هوا احتمال بدست آمدن ساختار مارتنزیت نیز وجود خواهد داشت و افزایش استحکام کششی را منجر خواهد شد. برای بهتر مشخص شدن این مطلب دو واکنش زیر که ناشی از استحاله آستنیت در حین عملیات آستمپرینگ است را در زیر می‌آوریم.

$$\gamma \rightarrow \alpha + \gamma\,(hc) \qquad (1)$$

$$\gamma\,(hc) \rightarrow \alpha + carbid \qquad (2)$$

در دمای 285 درجه سانتی‌گراد و زمان 15 دقیقه نگهداری در کوره حمام نمک، فقط واکنش (1) انجام می‌گیرد و $\gamma(hc)$ ناشی از واکنش (1) به علت عدم پایداری، مستعد به تشکیل ساختار مارتنزیت پس از سرد شدن، خواهد بود.

با توجه به شکل 6 که درصد ازدیاد طول نسبی گروه‌های دمایی مختلف در زمان‌های آستمپرینگ، آمده است می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نمونه‌هایی که 15 دقیقه در کوره حمام نمک نگهداری شده‌اند به علت

www.iran-mavad.com مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالوژی

وجود مارتنزیت نسبت به نمونه‌هایی که تا 150 دقیقه در کوره حمام نمک قرار گرفته‌اند انعطاف‌پذیرتر می‌باشند و این مطلب بواسطه پیشروی واکنش (2) در زمان‌های طولانی‌تر و تشکیل کاربید در ساختار که فازی ترد و شکننده است، می‌باشد.

نمونه‌هایی که در زمان 75 دقیقه آستمپر شده‌اند به علت عدم وجود تیغه‌های مارتنزینی و همچنین تیغه‌های کاربیدی در حالت بینابین بوده و حداکثر انعطاف‌پذیری را در این نمونه‌ها می‌توان دید.

شکل 11. ریزساختار چدن داکتیل آستمپر شده دما 375°C و 150 دقیقه

بطور کلی پیشروی هر کدام از واکنش‌های (1) و (2) در بوجود آمدن ساختار نهایی تأثیر مستقیم داشته و با توجه به اینکه دما و زمان از پارامترهای تأثیرگذار بر شرایط و نحوهٔ استحاله‌های متالورژیکی و میزان دیفوزیون و سرعت نفوذ عناصر در حین پروسه می‌باشد، انتظار ساختارهای مختلف برای نمونه‌های آستمپر شده در شرایط مختلف بدیهی بوده و بطبع خواص مکانیکی متفاوت منتج خواهد شد.

در ارتباط با شکل 7 که تغییرات انرژی ضربه برای نمونه‌های آستمپر شده آمده است می‌دانیم تافنس زیاد چدن‌های نشکن آستمپر شده مربوط به ساختار منحصر به فرد بینیتی آن می‌باشد و هر چه قدر واکنش به سمت راست پیشروی کند فریت و آستنیت باقی‌مانده بیشتر شده و نمونه از تافنس بالاتری برخوردار خواهد بود. از طرف دیگر واکنش 2 که منجر به تشکیل ساختار کاربیدی می‌شود از نظر تافنس شکست مطلوب نبوده و باعث کاهش میزان انرژی جذب شده تا شکست نمونه‌ها می‌گردد.

با توجه به نتایج تست ضربه و شکل 7 می‌توان گفت در تمامی دماهای آستمپرینگ، نمونه‌ای که 75 دقیقه آستمپر شده است از انرژی ضربه بالاتری برخوردار است و علت آن کامل شدن واکنش (1) پس از این مدت زمانمی باشدوایجاد ساختاری شامل فریت بینیتی و آستنیت باقی مانده که در شکل 10 نیز تصویر متالوگرافی آن آمده است، بیشترین تافنس را ایجاد می‌کند و نمونه‌هایی که در 375 درجه

www.iran-mavad.com مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالوژی

آستمپر شده‌اند به علت تکمیل واکنش (2) و ریزساختار شامل کاربید و تیغه‌های درشت بینیت (بینیت بالایی) که در شکل 11 دیده می‌شود، از تافنس پایین‌تری برخوردار خواهد بود.
مشابه بحثی که در مورد استحکام کششی نمونه‌ها شد نمونه‌هایی که در دمای 285 درجه آستمپر شده‌اند به علت وجود تیغه‌های ظریف فریت بینیتی دارای ماکزیمم سختی می‌باشند (شکل 9) و در حداقل دمای آستمپرینگ، 15 دقیقه به علت وجود تیغه‌های مارتنزیت و فریت بینیتی پایینی، حداکثر سختی را دارد.

نتیجه‌گیری

ـ چدن با گرافیت کروی در ساختار زمینه‌ای بیش از 80 درصد پرلیت به علت افزودن عناصر آلیاژی پرلیت‌زایی همچون مس قابل دستیابی است.
ـ استحکام کششی نمونه‌ای از چدن داکتیل آلیاژ شده با مس و آلومینیوم در دمای 285 درجه سانتی‌گراد و زمان 15 دقیقه آستمپرینگ ، حداکثر و به میزان 1233MPa می‌باشد.
ـ میزان انرژی جذب شده تا شکست نمونه‌ای از چدن داکتیل آلیاژ شده با مس و آلومینیوم که در دمای 285 درجه زمان 75 دقیقه آستمپرینگ شده حداکثر و برابر 9 ژول می‌باشد.
ـ سختی برینل نمونه‌ای از چدن داکتیل آلیاژ شده با مس و آلومینیوم که در دمای 285 درجه و به مدت 15 دقیقه آستمپرینگ حداکثر و برابر 375 برینل می‌باشد.
ـ ریزساختار شامل فریت بینیتی پایینی به همراه آستنیت باقی‌مانده و مقداری مارتنزیت ساختار نمونه‌ای است که در دمای 285 درجه سانتی‌گراد و زمان 15 دقیقه آستمپرینگ می شود و در بین تمام نمونه‌ها، از شرایط اپتیمم استحکام کششی، انرژی ضربه، درصد ازدیاد طول نسبی و میزان سختی برخوردار است.

مراجع

1. O. Eric, M. Jovanovic, L. id-anin, D. Rajnovic, S. Zec, 'The austempering study of alloyed ductile iron', Materials & Design, 27, 2006, 617–622.
2. P. Prasad Rao a, Susil K. Putatunda, 'Investigations on the fracture toughness of austempered ductile iron alloyed with chromium', Materials Science and Engineering A, 346, 2003, 254-265.
3. A. Kutsov, Y. Taran, K. Uzlov, A. Krimmel, M. Evsyukov, 'Formation of bainite in ductile iron', Materials Science and Engineering A, 273, 1999, 480–484.
4. B. Bosnjak, B. Radulovic, K. Pop-Tonev and V. Asanovic, 'Microstructural and Mechanical Characteristics of Low Alloyed Ni–Mo–Cu Austempered Ductile Iron, ISIJ International', 12, 2000, 1246–1252
5. Y. Kim, H. Shin, H. Park, J. Dae Lim, 'Investigation into mechanical properties of austempered ductile cast iron (ADI) in accordance with austempering temperature', Materials Letters, 2007.

www.iran-mavad.com مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالوژی

Microstructural and mechanical properties of low alloyed Cu-Al austempered ductile iron

E. Karamian[1], S. M. Jamali[2], S. M. Monirvaghefi[3]

Abstract

The austempering temperature and time are the most important parameters in determining both the microstructure and mechanical properties of alloyed austempred ductile iron. The aim of this work was to optimize the microstructure, and mechanical properties of ductile cast iron of composition Fe-3.6C-2.7Si-0.05Mg-1Cu-1Al (%wt).The samples were austenitised at 900°C for 1 hour and subsequently austempered at 285,335 and 375°C in the interval from 15 to 150 min. To obtin favorable mechanical properties such as tensile strength, elongation, hardness, and fracture toughness by austempring at 280 in 15 min, a microstructure typical for austempered ductile iron was produced, i.e. a mixture of free bainitic ferrite and highly carbon enriched austenite.

Keywords: astempered ductile iron, austempering treatment, bainitic ferrite, enriched austenite

[1]-faculty member of Islamic Azad university Najafabad
[2]-M.S. Student of Isfahan university technology
[3]-vagh-mah@cc.iut.ac.ir, Associate professor

www.iran-mavad.com مرجع دانلود رایگان مهندسی مواد و متالوژی