

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



مطالعه تاثیر دمای آستنیت و بازگشت بر خواص کششی یک فولاد کم آلیاژ

اشکان نوری^۱، قاسم عیسی آبادی^۲، حسین حسن نژاد^۳

چکیده

نقش دمای آستنیت و سپس کوئنچ از طریق عملیات سختکاری شعله ای روی یک نوع از فولاد آلیاژی مورد بررسی واقع شد. از سه دمای ۹۰۰، ۹۵۰ و ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد برای آستنیت کردن استفاده گردید. نمونه ها پس از کوئنچ در دماهای مختلف بازگشت داده شدند. نتایج حاصل از آزمون کشش نشان داد که انجام سخت کاری شعله ای و یعنی آستنیت کردن سریع ترکیب مناسبی از استحکام و انعطاف پذیری را فراهم می کند. همچنین مشاهده شد که با افزایش دمای آستنیت کردن استحکام کششی و تسلیم نمونه ها کاهش می یابد. نتایج حاکی از ایجاد پدیده تردی مارتنزیت تمپر شده به خصوص در دمای آستنیت کردن 1000°C در محدوده دمایی بازگشت مورد بررسی بود.

کلمات کلیدی: دمای آستنیت، خواص کششی، سخت کاری شعله ای

^۱- دکترای مهندسی مواد، استادیار دانشگاه اراک، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مواد و متالورژی، a-nouri@araku.ac.ir

^۲- دکترای مهندسی مواد، استادیار دانشگاه اراک، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مواد و متالورژی

^۳- دکترای مهندسی مواد، استادیار دانشگاه اراک، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مواد و متالورژی

مقدمه

فولادهای آلیاژی به دلیل برخورداری از نسبت زیاد استحکام به وزن از مقبولیت زیادی در صنایع برخوردارند. استفاده از فولادهای کم آلیاژ با کربن متوسط در دهه های اخیر مورد توجه واقع شده لذا مطالعاتی پیرامون عملیات های حرارتی و ترمومکانیکی و جوشکاری این فولادها صورت گرفته است [۱و۲].

از ساده ترین و در عین حال توانمندترین روشها برای دستیابی به استحکام بالا با حفظ و حتی تقویت جنبه انعطاف پذیری فولادهای کم آلیاژ، ریز کردن دانه های آستنیت اولیه قبل از اعمال سیکل عملیات حرارتی مورد نظر بعدی است [۳و۴]. این امر کمک می کند پس از عملیات حرارتی نیز ساختاری ظریف و ریزدانه فراهم گردد. مطالعات تجربی صورت گرفته از جمله معادله تجربی هال-پچ نیز بیان گر این واقعیت هستند که ریزدانهگی موجب افزایش خصوصیات استحکامی است. همچنین دیده شده است که ایجاد ساختارهای ظریف در مقایسه با ریزساختارهای درشت باعث بهبود انعطاف پذیری می گردد [۴و۵].

ریزساختار نهایی فولاد پس از کوئنچ را می توان از طریق کنترل دانه بندی آستنیت اولیه کنترل نمود. این امر از طریق مدت زمان و درجه حرارت آستنیت کردن و همچنین سرعت آستنیت کردن می تواند کنترل شود [۶]. کاهش مدت زمان آستنیت کردن و انتخاب دماهای پایین برای آستنیت کردن فولادها به گونه ای که از نظر یکنواختی و توزیع یکنواخت ذرات کاربیدی و فازی و ترکیب شیمیایی فازها مشکلی ایجاد نشود روش عمل مناسبی برای ریز کردن ساختار فولادها و اصلاح خواص مکانیکی آنهاست. در کنار تاثیرات مفید و سودمند حاصل از کاهش درجه حرارت آستنیت کردن به واسطه کاهش رشد دانه های آستنیت که منجر به کاهش و حذف عواقب ناشی از درشت دانگی می گردد این امر می تواند اثرات نامطلوبی نظیر عدم انحلال کامل رسوبات و در نتیجه ایجاد ترکیبی غیر یکنواخت در فولاد گردد [۷]. در نتیجه باعث بروز مشکلاتی از جمله کاهش سختی پذیری فولاد می گردد که از این رو اثرات مفید ظریف بودن ساختار را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. مطالعات نشان داده است که در صورت ایجاد فاز آستنیت باقی مانده به میزان قابل توجه در فولاد پس از کوئنچ که در فولادهای آلیاژی محتمل است بازگشت فولاد موجب استحاله این فاز می گردد [۸]. بسته به دمای این فرآیند امکان ایجاد سمنتیت به عنوان یک جزء اصلی و مهم در ریزساختار وجود دارد که این خود می تواند موجب ترد شدن فولاد موسوم به تردی مارتنزیت تمپر شده گردد که پدیده ای نامطلوب است و با کاهش انعطاف پذیری فولاد می تواند باعث ایجاد شکست ترد گردد [۳]. هدف از انجام این مطالعه بررسی و تبیین نقش دمای آستنیت و در نتیجه اندازه دانه آستنیت اولیه بر خواص کششی یک فولاد کم آلیاژ پس از انجام کوئنچ و بازگشت در دماهای مختلف به منظور دستیابی به یک ترکیب مناسب از استحکام و انعطاف پذیری

است. همچنین با بررسی دماهای بازگشت امکان ایجاد پدیده مارتنزیت تمپر شده در این فولاد مورد مطالعه واقع شد.

روش پژوهش

این تحقیق بر روی یک فولاد کم آلیاژ با استاندارد DIN 1.7720 انجام شد. ترکیب شیمیایی این فولاد مطابق جدول ۱ است. ریزساختار ابتدایی فولاد فریتی - پرلیتی بود. به منظور بررسی نقش اندازه دانه آستنیت اولیه، فرآیند آستنیت کردن فولاد در سه دمای ۹۰۰، ۹۵۰ و ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد صورت گرفت. برای این منظور تسمه های فولادی به ابعاد ۴×۲۵×۲۰۰ میلی متر که در جهت نورد برش داده شده بودند تحت سخت سازی شعله ای واقع شدند. علت انتخاب سخت سازی شعله ای آستنیت کردن سریع بود. دماهای آستنیت کردن قدری بیشتر از درجه حرارت آستنیت کردن فولاد مذکور است که علت انتخاب این دماها اطمینان از آستنیت شدن کامل تسمه ها بدلیل آستنیت کردن سریع است. نمونه ها سپس در آب کوئنچ شدند تا ساختار مارتنزیتی حاصل گردد. به منظور بازگشت فولادها، نمونه ها به مدت یک ساعت در سه دمای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی گراد تمپر شدند. اندازه دانه های آستنیت بر اساس تصاویر میکروساختاری حاصل از متالوگرافی نوری و به روش تقاطع خطی تعیین شدند.

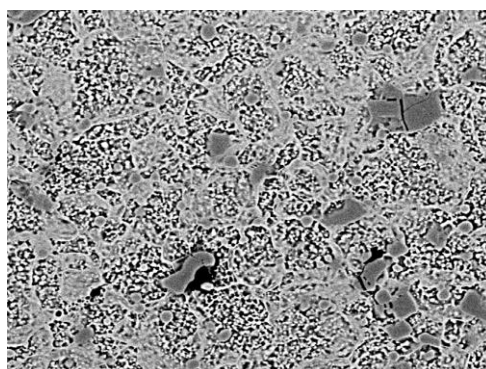
برای بررسی خواص کششی و تعیین استحکام و انعطاف پذیری، نمونه های فولادی تحت شرایط مختلف دمای آستنیت و دمای بازگشت مورد آزمایش کشش قرار گرفتند. به این منظور در هر وضعیت سه نمونه تحت استاندارد ASTM-E8 آماده سازی و مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش ها در دمای اتاق و تحت سرعت بار گذاری ۴ mm/min انجام شدند.

نتایج و بحث

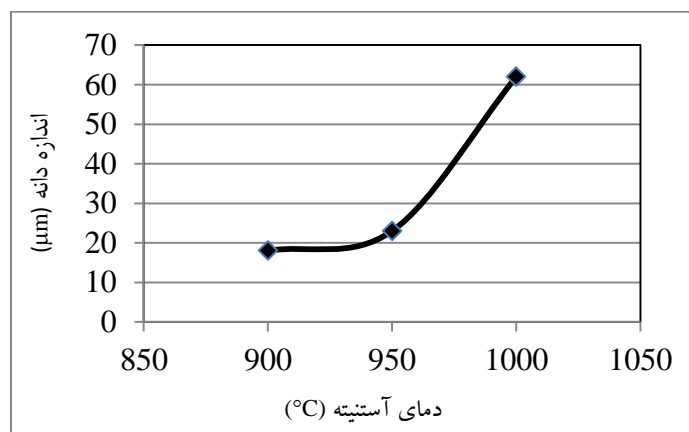
شکل ۱ ریزساختار فولاد را پس از کوئنچ در آب نشان می دهد. ساختار مارتنزیتی در شکل دیده می شود. شکل ۲ تغییر اندازه دانه های آستنیت اولیه با دمای آستنیت کردن را نشان می دهد. شکل نشان می دهد که با افزایش دمای آستنیت شدن، اندازه دانه های آستنیت رشد کرده اند. مشاهده می شود که اگرچه این تغییرات بین دماهای آستنیت ۹۰۰ و ۹۵۰°C خیلی زیاد نیست ولی تفاوت اندازه دانه در دمای آستنیت ۱۰۰۰°C در مقایسه با

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد بکار رفته (درصد وزنی)

Fe	Mo	Cr	Mn	Si	C
باقی	۰/۲۵	۱/۱	۰/۷	۰/۳	۰/۴



شکل ۱- ریز ساختار فولاد پس از آستنیت در دمای ۹۰۰ °C کوئنچ در آب.



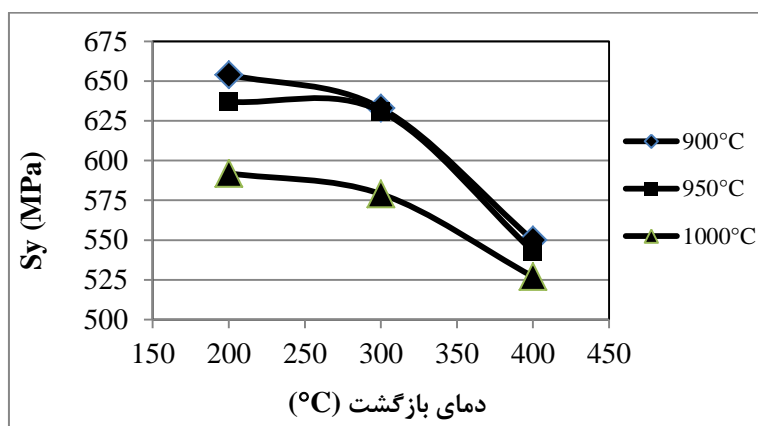
شکل ۲- تغییر اندازه دانه آستنیت اولیه با دمای آستنیت کردن

۹۵۰°C شدید است و در واقع رشد دانه ها در دمای ۱۰۰۰°C خیلی زیاد بوده است. از آنجایی که رشد دانه ها یک پدیده نفوذی محسوب می شود اگرچه افزایش دما موجب افزایش نفوذ و افزایش اندازه دانه ها می گردد ولی آهنگ رشد دانه ها با افزایش دما باید کاهش یابد. این افت در آهنگ رشد دانه از این روست که برد و عمق نفوذ با توان ۰/۵ ضریب نفوذ (که خود به شدت تابع دما است) رابطه دارد [۹]. بنابراین می توان انتظار

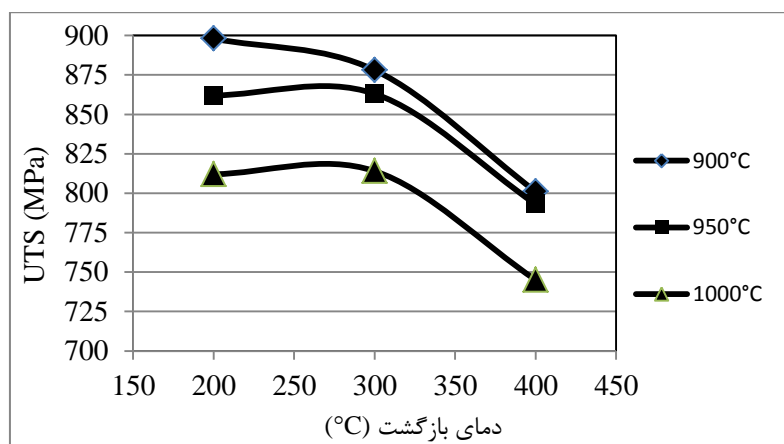
داشت که روند افزایش اندازه دانه آستنیت با دما در حدفاصل ۹۵۰ تا ۱۰۰۰°C کندتر از ۹۰۰ تا ۹۵۰°C باشد ولی نتایج تجربی بدست آمده که در شکل ۲ مشاهده می شوند خلاف این امر را نشان می دهد. این امر می تواند دلالت بر وقوع پدیده ای باشد که در محدوده دمایی ۹۵۰ تا ۱۰۰۰°C رخ داده است در حالی که این پدیده در محدوده دمای آستنیت ۹۰۰ تا ۹۵۰°C وجود نداشته است. شاید بتوان علت این امر را وجود نیروی محرکه کافی برای حرکت مرزدانه ها به واسطه انحلال ذرات کاربیدی و ناخالصی در درجه حرارت ۱۰۰۰°C عنوان کرد [۷]. این در حالی است که در محدوده دمایی آستنیت ۹۰۰ تا ۹۵۰°C عوامل بازدارنده رشد دانه ها نظیر ذرات کاربیدی پایداری خود را حفظ کرده لذا نیروی محرکه کافی برای حرکت مرزهای دانه و در نتیجه رشد دانه ها وجود نداشته است در نتیجه تغییر زیادی در اندازه دانه های آستنیت در دمای آستنیت ۹۵۰°C نسبت به ۹۰۰°C رخ نداده است.

برای بررسی خواص کششی نتایج آزمون کشش مورد استناد قرار گرفته است. در واقع از طریق بررسی و مقایسه ویژگی هایی مانند استحکام تسلیم، استحکام کششی و کرنش پلاستیک در نقطه ناپایداری تحت شرایط مختلف آستنیت کردن اولیه و نیز دماهای مختلف بازگشت می توان علاوه بر مقایسه متغیرهای فوق از دیدگاه مکانیکی به پیش بینی برخی جنبه های ریزساختاری که به وجود آورنده این نتایج هستند پرداخت. شکل ۳ تغییر استحکام تسلیم نمونه های عملیات حرارتی شده را با دمای بازگشت نشان می دهد. مشاهده می شود که بطور کلی با افزایش درجه حرارت آستنیت استحکام تسلیم کاهش یافته است که علت این امر را می توان افزایش اندازه دانه ها با دما عنوان کرد. در حقیقت کاهش در مساحت مرزهای دانه به واسطه افزایش اندازه دانه ها می تواند علت این امر باشد. همچنین می توان پیش بینی کرد که آستنیت باقی مانده در دماهای بالای آستنیت در فولاد جایگزین مقداری از مارتنزیت موجود در فولاد شود که همین امر نیز می تواند باعث افت در استحکام شود [۳]. شکل ۴ تغییر استحکام کششی فولاد را با دمای آستنیت و دمای بازگشت نشان می دهد. در اینجا نیز مشاهده می شود که در کلیه دماهای بازگشت، نمونه هایی که در دماهای بالاتری آستنیت شده اند استحکام کششی کمتری دارند. این شکل همچنین بیان گر این نکته است که استحکام کششی نمونه های آستنیت شده در ۹۵۰°C اختلاف کمتری را با نمونه های آستنیت شده در ۹۰۰°C نسبت به ۱۰۰۰°C نشان می دهند که به نوعی در تطابق با اندازه دانه های آستنیت در شکل ۲ است. در رابطه با نقش دمای بازگشت بر روی استحکام و اتفاقات صورت گرفته مشاهده می شود که نمونه های بازگشت داده شده در دمای ۴۰۰°C افت شدیدی را در استحکام به ویژه استحکام کششی نشان می دهند که می تواند حاکی از وقوع پدیده ای در این دما نظیر تردی مارتنزیت تمپر شده باشد. در واقع با افزایش دمای آستنیت کردن فولادها به خصوص درجه حرارت آستنیت کردن ۱۰۰۰°C از یک سو دانه ها رشد قابل ملاحظه ای کرده اند و از سویی دیگر بروز و پیدایش پدیده تردی

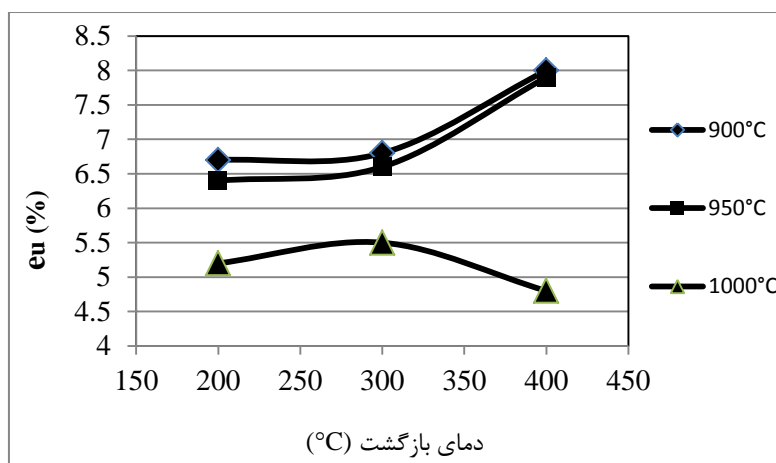
مارتنزیت تمپر شده که خود بی ارتباط به مقدار آستنیت باقی مانده نیست، می تواند علل افت قابل ملاحظه استحکام تسلیم و کششی نمونه های بازگشت داد شده در دمای 400°C باشند. ضمن اینکه این افت قابل ملاحظه در هر سه درجه حرارت آستنیت کردن مشاهده می شود. شکل ۵ تغییر کرنش پلاستیک نمونه های آستنیت شده با دمای بازگشت را در نقطه ناپایداری آزمایش کشش نشان می دهد. این شکل نشان می دهد که اگرچه در نمونه های آستنیت شده در دماهای 900°C و 950°C افزایش دمای بازگشت به ویژه از 300°C تا 400°C موجب افزایش انعطاف پذیری فولاد شده است ولی در نمونه های آستنیت شده در دمای 1000°C عکس این مطلب رخ داده و دیده می شود که انعطاف پذیری افت کرده و به بیان دیگر فولاد ترد شده است که این نیز میتواند



شکل ۳- تغییر استحکام تسلیم با دمای بازگشت برای سه دمای آستنیت.



شکل ۴- تغییر استحکام کششی با دمای بازگشت برای سه دمای آستنیت.



شکل ۵- تغییر نسبت ازدیاد طول پلاستیک با دمای بازگشت برای سه دمای آستنیت.

به نوعی مبین وقوع پدیده تردی مارتنزیت تمپر شده در محدوده دمای بازگشت 300°C - 400°C برای نمونه آستنیت شده در درجه حرارت 1000°C باشد.

نتیجه گیری کلی

- ۱- اعمال سخت کاری شعله ای با آستنیت سازی سریع فولاد کم آلیاژ DIN 1.7720 می تواند منجر به عدم رشد زیاد دانه های آستنیت و در نهایت خواص مطلوب استحکام - انعطاف پذیری گردد.
- ۲- دانه های آستنیت با افزایش دمای آستنیت سازی یافتند ضمن اینکه روند افزایش اندازه دانه با درجه حرارت آستنیت با افزایش دما افزایش یافت که می تواند دلالت بر از بین رفتن عوامل ممانعت کننده و وقوع پدیده ای مثل انحلال رسوبات کاربیدی نماید.
- ۳- نمونه هایی که در دمای 1000°C به صورت سریع آستنیت و سپس کوئچ شدند پدیده تردی مارتنزیت تمپر شده را پس از بازگشت و تمپر در دمای 400°C نشان دادند که نتایج استحکام و انعطاف پذیری و اندازه دانه های اولیه آستنیت به نوعی نشان گر این مورد هستند.
- ۴- نتایج آزمون کشش نشان داد که استحکام تسلیم، استحکام کششی و کرنش پلاستیک یکنواخت با افزایش دمای آستنیت سازی کاهش یافتند. این کاهش وقتی دمای آستنیت از 950°C به 1000°C افزایش یافت به مراتب بیشتر از هنگامی بود که دمای آستنیت از 900°C به 950°C افزایش یافت.

منابع و مراجع

- 1- Y. Tomita, "Development of Fracture Toughness of Ultra High Strength, Medium Carbon, Low alloy Steels for Aerospace Applications", Inter. mater. Rev., 45, 2000, 27-37.
- 2- C. D. Liu, P. W. Kao, "Tensile Properties of a 0.34C-3Ni-Cr-Mo-V Steel with Mixed Lower Bainite-Martensite Structures", Mater. Sci. & Eng., A150, 1992, 171-177.
- 3- G. Krauss, "Steels: Heat Treatment and Processing Principles", 1989, ASM International.
- 4- Y. Tomita and K. Okabayashi, "Heat Treatment for Improvement in Lower Temperature Mechanical Properties of Ultra High Strength Steel", Metall. Trans., 14A, 1983, 2387-2393.
- 5- M. E. Wahabi, L. Gavard, F. Montheillet J. M. Cabrera and J. M. Prado, "Effect of Initial Grain Size on Dynamic Recrystallization in High Purity Austenitic Stainless Steels", Acta Mater., 53, 2005, 4605-4612.
- 6- W. F. Smith, "Structure and Properties of Engineering Alloys", 1993, New York, McGraw-Hill.
- 7- A. Bruce, A. Becherer, J. Thomas, J. Witheford, "Heat Treating", 1991, ASM International.
- 8- D. Kallish, "Discussion of Structure and Mechanical Properties of Tempered Martensite and Lower Bainite in Fe-Ni-Mn-C", Metall. Trans., 3, 1972, 342-349.
- 9- V. Reddy and A. Sarma, "Austenite Precipitation during Tempering in 16Cr-2Ni Martensitic Stainless Steel", Scripta mater., 39, 1998, 901-905.

Effect of Austenitizing Temperature and Tempering on the Tensile Behavior of Low Alloy Steel

Ashkan Nouri*, Ghasem Eisaabadi, Hossein Hassannejad

**Department of Materials science and Metallurgy, Faculty of Engineering, Arak University, Arak, Iran.*

a-nouri@araku.ac.ir

Abstract

Role of austenitizing temperature and quenching by flame hardening treatment on the one kind alloying steel was studied. Three temperatures 900°C, 950°C and 1000°C were employed for austenitizing. After quenching, samples were tempered at various temperatures. Obtained results from tensile test showed that flaming hardening and rapid austenitizing was led to the suitable combination strength and ductility. It was also observed that with increasing austenitizing temperature decrease yield strength and ultimate tensile strength. Results imply that tempered embrittlement phenomenon occur especially in austenitizing temperature 1000 into the temper temperature range.

Keywords: Austenitizing temperature, Tensile properties, Flaming hardening