

تأثیر عملیات تمپر بر مقاومت به ضربه فولاد 30CrMnSi

کامران امینی^۱، محمدعلی سلطانی^۲، علی نقیان^۳، مهدی بشیری^۴

۱- عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی

۲ و ۳ و ۴- مجتمع فولاد آلیاژی

Kamran_amini1978@hotmail.com

چکیده

در این پژوهش تأثیر عملیات تمپر بر فولاد 30CrMnSi که یک فولاد متوسط کربن پر مصرف برای ساخت مخازن جداره ضخیم و جداره فوق ضخیم است، بررسی شده است. بدین منظور تعدادی نمونه ضربه مطابق استاندارد EN 10045 تهیه شد و در دمای ۸۹۰ درجه سانتیگراد آستنیته گردید. تمام نمونه‌ها در محیط کوئنچ روغن سرد شدند و سپس در دماهای مختلف شامل ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۵۰، ۴۵۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت تمپر گردیدند و آنگاه در هوا سرد شدند. نمونه‌ها در دمای محیط و دماهای ۱۰ و ۴۰ درجه سانتیگراد زیر صفر تحت آزمایش ضربه قرار گرفت و نمودار انرژی ضربه بر حسب دمای تمپر ترسیم گردید. تمام نمونه‌ها متالوگرافی، عکس برداری و همچنین سنجی شدند. نتایج نشان داد در محدوده دمایی تمپر ۴۰۰ - ۲۵۰ درجه سانتیگراد انرژی ضربه در هر سه درجه حرارت تست شده تا حدودی کاهش یافته است، یعنی فولاد مذکور به تدریج تمپر در این محدوده دمایی حساس است.

واژه‌های کلیدی:

مقاومت به ضربه، فولاد 30CrMnSi، عملیات حرارتی

۱- مقدمه

از تمپر افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه این عنصر در فاز کاربید قرار نمی‌گیرد، باعث استحکام فریت (حاوی ذرات درشت و پخش شده کاربید) می‌شود [۱ و ۳]. عنصر Mn نیز که در فریت بیشتر از کاربید محلولند، مشابه Si عمل می‌کند با این تفاوت که قدرت آن در به تعویق اندازی نرم شدن در ضمن تمپر، کمتر از Si می‌باشد [۱ و ۲].

تمپر کردن معمولاً منجر به کاهش سختی نهائی فولاد می‌شود لیکن حضور عناصر آلیاژی در به تعویق انداختن افت سختی و استحکام بسیار مؤثر است [۱ و ۲]. عناصر Mn و Si که عناصر اصلی فولاد 30CrMnSi را تشکیل می‌دهند چنین نقشی ایفا می‌کنند. این عناصر به مقدار زیاد در کاربید حل نمی‌شوند بلکه عمدتاً در فریت حل شده و استحکام و سختی فولاد را بالا می‌برند [۲]. دیده شده است که با افزایش مقدار عنصر Si سختی فولادها پس

جدول (۱): ترکیب شیمیایی فولاد 30CrMnSi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Al	Cu
۰/۳۵	۰/۹۵	۰/۸۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۸۸	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۸	۰/۰۷

حین عملیات تمپر بر خوردار می‌باشد که برای حذف یا کاهش آن خصوصاً در قطعات بزرگ که در آنها سرد کردن سریع پس از تمپر کردن، اثر کمتری دارد، می‌توان از Mo استفاده کرد. بنابراین به نظر می‌رسد علت اصلی وجود مقادیر جزئی Mo (کمتر از ۰/۳٪) در ترکیب شیمیایی بعضی استانداردهای معادل و مشابه فولاد 30CrMnSi، همین مطلب باشد [۵].

تردی حرارتی در محدوده دمائی °C ۵۷۵ - ۳۷۵ رخ می‌دهد. علاوه بر عناصر آلیاژی، ناخالصی‌ها نیز در بروز این نوع تردی نقش مؤثری دارند. در فولاد 30CrMnSi حضور عناصر آلیاژی Cr, Mn, Ni و Si، تجمع ناخالصی‌ها در مرز دانه‌های آستنیت را تقویت می‌کند. این تجمع به صورت نوار باریک و پیوسته در امتداد مرز دانه خواهد بود که باعث افت تافنس می‌گردد [۶].

برای فولاد 30CrMnSi، با توجه به کاربرد آن خواص مکانیکی مطلوب (استحکام، انعطاف پذیری) زمانی حاصل می‌شود که سختی فولاد پس از کوینچ و تمپر حدود RC ۴۰ - ۳۰ باشد. محدوده دمای تمپر توصیه شده برای فولاد 30CrMnSi، ۵۰۰ - ۵۵۰ درجه سانتیگراد و دمای تمپر متداول آنها درجه سانتیگراد ۵۴۰ می‌باشد [۷].

۲- روش تحقیق

در این بخش تحقیق انجام شده در مورد موضوع آزمایش به اختصار گزارش شده است. ابتدا تعداد ۵۴ عدد نمونه ضربه مطابق استاندارد EN 10045 از فولاد 30CrMnSi با ترکیب شیمیایی مطابق جدول (1) استخراج گردید. نمونه‌ها به صورت طولی با شیار ISO-V شکل ساخته شدند.

عنصر Cr نیز می‌تواند مقاومت فولاد را در برابر نرم شدن در هنگام تمپر افزایش دهد [۲]. این عنصر که کاربردزای قوی می‌باشد به دلیل تشکیل کاربید، حتی می‌تواند باعث افزایش سختی در حین تمپر (سختی ثانویه) نیز گردد [۱]. برای مقاومت در برابر نرم شدن مخصوصاً در دماهای تمپر بالاتر، حتی Cr/۵۰٪ نیز کافی است.

بنابراین فولاد 30CrMnSi که دارای ۱٪ Cr به همراه عناصر Si, Mn می‌باشد، قاعداً باید افت سختی ناچیزی را در حین عملیات تمپر از خود نشان دهد.

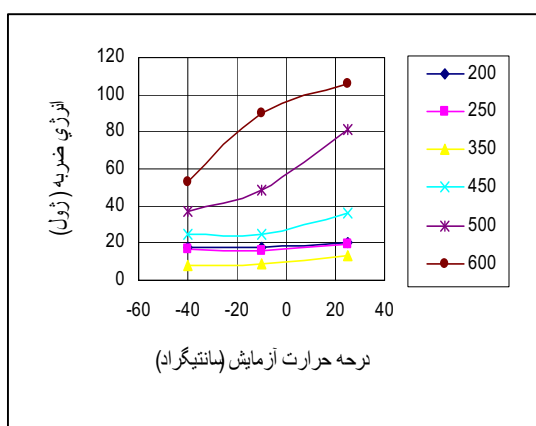
چنانچه مشاهده می‌شود عناصر کاربیدزا در دماهای تمپر پایین نقش زیادی ندارند. عنصر Si چنانکه قبلاً هم اشاره شد به طور مؤثر و قابل ملاحظه‌ای، مقاومت به نرم شدن در حین تمپر را افزایش می‌دهد. مطالعات ریزساختاری نشان داده که علت این امر، جلوگیری از استحاله کاربید انتقالی به سمانتیت است [۲ و ۱]. عنصر Mn در دماهای پایین تمپر اثر ناچیزی بر مقاومت به نرم شدن دارد، اما در دماهای بالاتر، اثر آن تشدید می‌شود. دلیل این موضوع، مشارکت Mn در تشکیل کاربیدها در دماهای بالای تمپر می‌باشد. این عنصر دارای ضریب نفوذ کم بوده و بنابراین درشت شدن کاربید را به تعویق می‌اندازد [۲ و ۱].

وجود Cr در فولاد 30CrMnSi باعث تمایل به تردی آن در حین تمپر می‌گردد. حضور توأم عناصر Mn و Cr در فولاد نیز (در حد ۱/۲-۰/۹٪ موجود در فولاد 30CrMnSi)، قابلیت تردی تمپر را افزایش می‌دهد [۴]. گفته شده در صورتی که مقدار Mn در فولاد کمتر از ۰/۵٪ باشد فولاد نسبت به تردی حرارتی حساس نخواهد بود [۲].

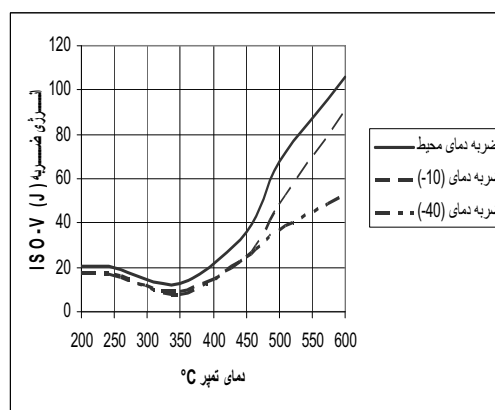
با توجه به اثرات فوق، فولاد 30CrMnSi از قابلیت ترد شدن در

جدول (۲): نتایج تست‌های ضربه و سختی

دمای تمپر (°C)	سختی	انرژی ضربه در دمای محیط (J)	انرژی ضربه در دمای (-۱۰) (J)	انرژی ضربه در دمای (-۴۰) (J)
۲۰۰	۵۴	۲۰/۵	۱۷/۷	۱۷/۶
۲۵۰	۵۱	۱۹/۵	۱۶/۳	۱۷/۱
۳۵۰	۵۰	۱۳	۹/۲	۸/۱
۴۵۰	۴۳	۳۶/۱	۲۴/۹	۲۴/۵
۵۰۰	۳۷	۸۱/۴	۴۸/۲	۳۶/۹



شکل (۲): مقدار انرژی ضربه فولاد بر حسب درجه حرارت آزمایش در دماهای مختلف تمپر (سانتیگراد)



شکل (۱): مقدار انرژی ضربه فولاد 30CrMnSi بر حسب درجه حرارت تمپر در دماهای محیط و زیر صفر

سانتیگراد نمونه‌ها به داخل محلول وارد شدند و به مدت 8 دقیقه در آن محلول مانده و سریعاً به دستگاه تست ضربه منتقل شدند و تست ضربه انجام گرفت.

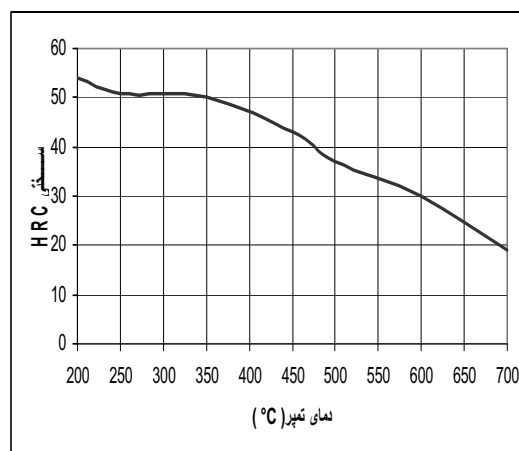
از هر ۶ گروه یک عدد نمونه پس از سمباده‌زنی با روش راکول سی سختی‌سنجی گردید. به منظور تعیین ریز ساختار نمونه‌ها و بررسی‌های متالوگرافی از هر گروه یک عدد نمونه (جمعاً ۶ عدد) پس از سمباده‌زنی و پولیش با خمیر آلومینا، توسط محلول اچ نایتال ۲ درصد حکاکی گردید و توسط میکروسکوپ نوری مطالعه و نهایتاً تصویربرداری شد.

تمام نمونه‌ها در دمای ۸۹۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت در کوره الکتریکی مجهز به اتمسفر محافظت شونده با گاز آرگن آستنیت‌ه شده و بلافاصله در محیط روغن با دمای حدود 40 درجه سانتیگراد کوئنچ گردید. نمونه‌ها به ۶ گروه ۹ تایی تقسیم گردید. گروه‌های شش‌گانه در دماهای مختلف شامل ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۵۰، ۴۵۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت تمپر گردیدند و آنگاه در هوا سرد شدند.

۳ عدد نمونه از هر گروه در دمای محیط، ۳ عدد در دمای -۴۰ و ۳ عدد دیگر در دمای -۱۰ درجه سانتیگراد تحت آزمایش ضربه قرار گرفت. برای حصول دمای منفی از مخلوط الکل و نیتروژن مایع استفاده شد. به این صورت که بعد از اضافه کردن الکل به نیتروژن مایع، دمای مخلوط حدود -۴۰ یا -۱۰ درجه سانتیگراد ثابت بماند. پس از تثبیت دما در -۴۰ یا -۱۰ درجه



شکل (۴): تصویر متالوگرافی فولاد 30CrMnSi در حالت سخت کاری و تمپر شده در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد (بزرگنمایی ۵۰۰X)



شکل (۳): میزان سختی فولاد 30CrMnSi بر حسب دمای تمپر

۳- نتایج و مباحث

شکل (۳) ترسیم شده است. ریزساختار میکروسکوپی در تمام نمونه‌ها مارتنزیت تمپر شده است، اما با افزایش دمای تمپر مورفولوژی ریزساختار مارتنزیت تمپر شده خشن تر شده است. در شکل (۴) ساختار میکروسکوپی یکی از نمونه‌ها (نمونه‌ای که در درجه حرارت ۴۵۰ درجه سانتیگراد تمپر شده است) برای نمونه آورده شده است.

در شکل (۱) مشاهده می‌شود انرژی ضربه در هر سه درجه حرارت اندازه‌گیری شده تا دمای تمپر ۳۵۰°C کاهش و سپس افزایش می‌یابد. این امر نشان می‌دهد که این فولاد به تدریج تمپر در محدوده دمایی ۲۵۰ - ۴۵۰°C حساس است. شکل (۲) به‌طور مشخص تدریج در دمای تمپر ۳۵۰°C را نشان می‌دهد. وجود عناصر آلیاژی کرم و منگنز در فولاد 30CrMnSi، قابلیت تدریج تمپر را افزایش داده است [۴]. بعضی از تئوری‌ها کاهش انرژی ضربه یا چقرمگی ضربه را عمدتاً ناشی از تشکیل یک فاز ثانویه نظیر فسفیدها و یا افزایش غلظت ناخالصی‌ها به صورت نوار باریک و پیوسته‌ای در مرز دانه‌های آستنیت اولیه می‌دانند [۸]. وجود مولیبدن به مقدار کم و نزدیک ۰/۳ درصد می‌تواند از تدریج تمپر جلوگیری کند اما چون مقدار آن در فولاد مورد

در این بخش ابتدا نتایج آزمایش‌های انجام شده به صورت جدول و نمودار ارائه و سپس مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. متوسط نتایج تست ضربه در دماهای محیط و زیر صفر (۴۰- و ۱۰- درجه سانتیگراد) برای هر ۶ گروه در جدول (۲) ارائه شده است. منحنی انرژی ضربه بر حسب دمای تمپر در شکل (۱) ترسیم شده است. همچنین نمودار انرژی ضربه بر حسب درجه حرارت آزمایش در شکل (۲) آمده است.

در این نمودار شکل (۱) مشاهده می‌شود با افزایش درجه حرارت تمپر تغییرات انرژی ضربه نرمال نیست. به عبارت دیگر در یک محدوده‌ای انرژی ضربه هم در دمای محیط و هم در دماهای زیر صفر کاهش یافته است. در شکل (۲) ملاحظه می‌شود منحنی انرژی ضربه مربوط به درجه حرارت تمپر ۳۵۰ درجه سانتیگراد زیر منحنی انرژی ضربه مربوط به سایر درجه حرارت‌های تمپر و حتی دماهای تمپر ۲۰۰ و ۲۵۰ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد.

متوسط نتایج تست سختی برای هر ۶ گروه نیز در جدول (۲) ارائه شده است. در این جدول دیده می‌شود سختی کاملاً وابسته به دمای تمپر است. منحنی سختی بر حسب دمای تمپر در

۵- مراجع

[۱] ع.ا. اکرامی، عناصر آلیاژی در فولاد، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول، ۱۳۷۵.

[۲] محمدعلی گل‌عذار. "اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها" انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۳۸۵.

[3] G. Krauss, Principles of Heat Treatment of Steel, American Society For Metals, 1980.

[4] R.D.K. Mishra, R.T.V. Balasub and P. Ram Rao "On Intraction Amongst Trace and Alloying Elements at the grain Boundaries of a Low Alloy Steel" Acta Metall Vol 35, No 12, PP.2995-3000, 1987.

[5] C.R. Brooks, Principles Of The Heat Treatment Of Plain Carbon And Low Alloy Steels, ASM, 1996.

[6] Y. I. Ustinovschikov, I. N. Shabanova, V. A. Sapukin, And V. A. Trapeznikov Embrittlement Of Alloy Steels During Tempering, Phys. Met. Metall. Vol. 44, No. 2, 91-99, 1978.

[7] GOST 4543-71 Standard

[8] L. Li, Q.Li,E.Guo, "Study on Temper Embrittlement on Phosphorus in Steel 12CrMoV", Engineering Materials Vols.1183-1188. pp. 297-300, 2005.

آزمایش بسیار کم بوده است (۰/۰۲ درصد) لذا از وقوع تردی ممانعت نکرده است.

در شکل (۳) ملاحظه می‌شود که با افزایش درجه حرارت تمپر سختی به تدریج کاهش می‌یابد و به عبارت دیگر مستعد گرفتن سختی ثانویه نمی‌باشد.

در حقیقت با افزایش درجه حرارت تمپر، مورفولوژی مارتنزیت تمپر شده خشن تر شده و ساختار به حالت تعادلی (ساختار آیل شده) نزدیک تر می‌شود بنابراین سختی کاهش و انرژی ضربه به شدت افزایش می‌یابد.

ساختار میکروسکوپی نمونه‌ای که پس از سخت کاری در دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد تمپر شده است در شکل (۴) نشان داده شده است. در این تصویر ریزساختار مارتنزیت تمپر شده همراه با آستنیت باقیمانده دیده می‌شود.

۴- نتیجه گیری

۱- فولاد 30CrMnSi مستعد تردی تمپر حرارتی است و محدوده دمائی تردی حرارتی در این فولاد ۲۵۰ تا ۴۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.

۲- با افزایش درجه حرارت تمپر انرژی ضربه افزایش و سختی کاهش می‌یابد. این فولاد سختی ثانویه نمی‌گیرد.

۳- با افزایش درجه حرارت آزمایش ضربه، انرژی ضربه دماهای تمپر بالاتر با شدت زیادتری افزایش می‌یابد.

۴- در درجه حرارت‌های تمپر بالاتر (سختی کمتر) اختلاف میزان انرژی ضربه در دماهای محیط و زیر صفر زیادتر می‌شود، درحالی‌که در درجه حرارت‌های تمپر پایین تر (سختی زیادتر) اختلاف مذکور بسیار کم شده و تقریباً قابل اغماض است.