بررسی تأثیر سیستم خنک‌کننده بر شرایط ایجاد ترک در فولاد (DIN)55Cr3

پویان احمدی طباطبایی[۱]، عباس نجفی‌زاده[۲] حسین مناجاتی‌زاده[۳]
۱-کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد
۲- استاد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد و دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد
Pooyan_2360@yahoo.com

چکیده

فولادهای فنر به‌طور عمده در صنعت ساخت قطعات خودرو و خصوصاً سیستم تعلیق خودروها مورد استفاده قرار می‌گیرند. وظیفه قطعات ساخته شده از فولاد فنر که در سیستم تعلیق خودروها استفاده می‌شود، مهارکردن اکسل‌ها در زمان اعمال گشتاورهای حرکت یا ترمز کردن و سایر نوسانات ناگهانی در حین حرکت است. از آنجا که قطعات ساخته شده از فولاد فنر و مورد کاربرد در سیستم تعلیق خودرو نقش ایمنی دارند، لذا وجود ترک در این نوع قطعات مطلوب نبوده و سبب شکست و حادثه برای خودرو و سرنشینان خواهد شد. با توجه به اینکه این فولاد در شرایط کوئنچ-بازپخت تولید می‌شود، در پژوهش حاضر سعی شده تأثیر سیستم خنک‌کاری در حین عملیات حرارتی بر فرآیند ایجاد ترک بررسی گردد. از این رو نمونه‌هایی از میان مواد اولیه مورد مصرف یعنی فولاد 55Cr3، به‌طور تصادفی و طبق استانداردهای نمونه‌گیری انتخاب و آزمون‌های متعدد بر روی این نمونه‌ها از جمله: انجام عملیات حرارتی شامل آستنیته، کوئنچ و بازپخت، ساچمه‌زنی، ترکیابی، سختی‌سنجی، متالوگرافی و تست کشش انجام شده‌است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که از جمله علل ایجاد ترک در قطعات شرایط روغن و سیستم خنک‌کننده می‌باشد که شرایط بهینه برای هر کدام در این تحقیق معرفی شده‌است.

واژه‌های کلیدی

فولاد 55Cr3، عملیات حرارتی، کوئنچ و بازگشت، ترک، کوئنچ در روغن، قطعات سیستم تعلیق خودرو

۱- مقدمه

یکی از مجموعه‌های مهم و تأثیرگذار در راحتی و امنیت خودرو مجموعه سیستم تعلیق خودرو است که نقش به‌سزایی در کنترل و تعادل خودرو در هنگام حرکت خودرو و نوسانات ناشی از جاده ایفا می‌کند[۱].

در سال‌های اخیر فعالیت‌های زیادی جهت طراحی و ساخت قطعات این مجموعه صورت گرفته است که هدف این فعالیت‌ها امنیت و راحتی سرنشیان این خودروها بوده‌است.

فولادهای فنر مورد استفاده در صنعت ساخت سیستم‌های تعلیق، SUP6[۱] (فولاد منگنز و سیلیسیم‌دار)، SUP9، SUP9A(فولاد منگنز و کرم‌دار) و SUP11 (فولاد منگنز، کرم و بوردار) می‌باشد. فولادهای فوق برای کاربرد مورد نظر باید بعد از عملیات حرارتی و انجام بازپخت دارای سختی در محدوده ۳۸۸ تا ۴۴۴ برینل باشند. فولاد مورد بررسی در این پژوهش در رده SUP9 می‌باشد[۲].

عموماً فولادهای فنر در شرایط کوئنچ- بازپخت مورد استفاده قرار می‌گیرندکه استحکام و چقرمگی بهینه را ارائه دهد. استحکام و ریزساختار بعد از فرآیند عملیات حرارتی بستگی به سرعت سردکردن در عملیات داشته و در بیشتر فرآیندهای تولید قطعات فنری، مارتنزیت بازپخت شده می‌باشد[۳].

به هنگام کوئنچ و سردشدن فولاد از دمای آستنیته همواره مقداری آستنیت در ساختار باقی می‌ماند که این مقدار با افزایش درصد کربن و عناصر آلیاژی محلول در آستنیت افزایش می‌یابد. هر چه مقدار آستنیت باقیمانده در فولاد بیشتر باشد، افزایش طول و یا افزایش حجم قطعه کمتر خواهد بود. اگر مقدار آستنیت باقیمانده به اندازه کافی زیاد باشد، حتی ممکن است قطعه نسبت به ساختار تعادلی کاهش حجم داشته باشد[۴].

هنگامی‌که یک قطعه فولادی از دمای اتاق تا ناحیه آستنیت گرم شده و یا از دمایی در ناحیه آستنیت تا دمای اتاق سرد شود دو نوع تغییر ابعاد در آن به وجود می‌آید: یکی انبساط و انقباض حرارتی که به ترتیب ناشی از گرم و سرد شدن، و دیگری انقباض و انبساط استحاله‌ای که به ترتیب ناشی از تشکیل و تجزیه آستنیت است. تنش‌های حرارتی معمولاً در عملیات حرارتی زیر دمای بحرانی A_{e1} انجام می‌شوند و تنش‌های استحاله‌ای معمولاً در عملیات حرارتی که نیاز به گرم‌کردن به ناحیه آستنیت و یا سرد کردن از ناحیه آستنیت دارد اهمیت دارند[۴]. مهمترین اثر ناشی از تغییرات ابعاد در ضمن عملیات حرارتی به دو صورت در قطعه به وجود می‌آید.

الف)ترکها: در این حالت موقع سردکردن سریع، در قسمت مرکزی و قسمت بیرونی قطعه، اختلاف درجه حرارت قابل توجهی به وجود خواهد آمد. اگر از سوی دیگر، فولاد دارای عمق نفوذ سختی کمی باشد، در قسمت مرکزی و در قسمت بیرونی قطعه، فازهای مختلف در زمان‌های مختلف ظاهر می‌شوند در این حالت درصورتی‌که تنش حاصل به‌اندازه کافی زیاد باشد (بیشتر از تنش تسلیم و یا حد سیلان فولاد) می‌تواند منجر به ترک برداشتن قطعه در ضمن عملیات حرارتی شود. پدیده اخیر به ترک برداشتن در اثر سریع سردشدن موسوم است، ب) تغییر شکل و کج‌شدن: این عیب در اثر تغییر حجم حاصله از دگرگونی فازها و یا تنش‌های حرارتی و ساختاری رخ می‌دهد. کج شدن، مخصوصاً در هنگامی اتفاق می‌افتد که گرم‌کردن قطعه نامنظم و سریع باشد و یا آنکه وضع قرار گرفتن قطعه در محیط کوئنچ ناقص و بد باشد و نیز هنگامی که عمل سردکردن در حد فاصل دگرگونی مارتنزیتی خیلی سریع انجام شود[۵].

محیط سردکننده مناسب جهت این فولاد، روغن می‌باشد روغن‌های کوئنچ را می‌توان به گروه‌های مختلفی تقسیم کرد. براساس ترکیب روغن، ویژگی آبدهی و دمای عمل، می‌توان روغن‌های کوئنچ را به محیط‌های معمولی، سریع و کوئنچ باهمگنی مارتنزیتی و یا کوئنچ گرم دسته‌بندی کرد[۶].

تمام روغن‌های کوئنچ جدید با پایه روغن معدنی و معمولاً بر مبنای پارافین هستند که هیچ نوع روغن چرب، که سابقاً به روغن‌های کوئنچ اضافه می‌شد، درآنها وجود ندارد. یکی از دلایل این امر، پایداری خیلی بهتر روغن‌های معدنی در برابر پیری و فساد می‌باشد. دلیل دیگر آن است که بعضی از روغن‌های چرب که مناسب هستند، به آسانی قابل دسترسی نمی‌باشند. روغن‌های معمولی آبدهی دارای یک مرحله نسبتاً طولانی فاز بخار می‌باشند، که در طول این مرحله، سرعت سردکردن قطعه خیلی پایین است.

---

[۱] JIS standard

در طول مرحله جوشش، سرعت سردکردن بیشتر شده و به دنبال آن مجدداً در ناحیه هدایت گرما، این سرعت خیلی کم می‌شود. به این ترتیب، قدرت سردکنندگی روغن‌های معمولی کم و بیش مشابه آب بوده برای فولادهایی که دارای سختی‌پذیری کم هستند مناسب می‌باشند. روغن‌های معمولی کوئنچ نیز روغن‌های معدنی هستند که بعضی از اوقات حاوی مواد ضداکسیدی می‌باشند[۵].

روغن‌های سریع، دارای سرعت اولیه سرد کردن بالایی بوده و در بعضی حالات، این مرحله، مشابه مرحله اولیه سردکردن در آب است و سپس در مرحله جوشش، با سردکردن سریع همراه می‌باشد. سرعت سردکردن در ناحیه هدایت گرما معمولاً برای روغن معمولی و روغن سریع، برابر است. با این حال بعضی از روغن‌های سریع دارای عناصر افزوده‌ای هستند که در نتیجه، موجب بالاتر رفتن سرعت سردکردن در ناحیه هدایت گرما می‌شوند و اثر آنها بر روی توزیع سختی در عمق قطعه خیلی بهتر از روغن‌های معمولی است[۷] [۸].

روغن‌های کوئنچ با همگنی مارتنزیتی یا روغن‌های کوئنچ گرم، روغن‌های معدنی از نوع پارافین هستند که دارای پایداری خیلی خوبی در برابر اکسیداسیون و گرما می‌باشند. این روغن‌ها برای عملیاتی نظیر عملیات کوئنچ با همگنی مارتنزیتی در دماهای بین $95^{\circ}C$ و $230^{\circ}C$ مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک محیط سردکننده ایده‌آل بایستی در مرحله ایجاد فاز بخار و جوشش، دارای سرعت سردکردن بالایی باشد. در مورد روغن، رعایت دو نکته عمومی زیر توصیه می‌شود:

الف- روغن‌های سرد و با ویسکوزیته بالا بایستی تا حدی گرم شوند که ویسکوزیته آنها کمتر شود.

ب- سعی شود روغن‌هایی با نقطه اشتعال بالا مورد استفاده قرار گیرند[۵].

مبنای انجام این پژوهش شکست‌هایی است که در حین سرویس‌دهی این قطعات حادث شد. لذا برمبنای این حوادث بررسی‌هایی در این زمینه صورت گرفت که نشانگر وجود ترک در قطعات بود لذا در این پژوهش سعی شده‌است راهکارهای اصلی درکاهش میزان ترک در قطعات ساخته شده از فولاد فنر ارائه گردد و بدین طریق، صدمات ناشی از شکست این قطعات که عموماً ایمنی هستند را کاهش داد. یکی از مواردی که باعث ایجاد ترک در این نوع فولاد می‌گردد تغییر و تحولات در حین سردشدن قطعه در محیط خنک‌کننده و همچنین خصوصیات محیط خنک‌کننده می‌باشد که مورد توجه قرار گرفته‌است.

۲- روش تحقیق

فولاد مورد بررسی در این پژوهش طبق استاندارد 55Cr3 DIN و طبق استاندارد ژاپنی Sup9 می‌باشد[۶].

که ترکیب این فولاد در جدول (۱) نشان داده شده‌است. نمونه‌های مورد استفاده در آزمایشات از مواد اولیه ورودی و از هر شمش دو نمونه و از شماره ذوب‌های مختلف به صورت تصادفی انتخاب گردیده است.

نمونه‌های انتخاب شده جهت متالوگرافی، طبق استانداردهای آماده‌سازی نمونه‌های متالوگرافی (ASTM E3)، میکرواچ فلزات (ASTM E 407)، تصاویر میکروسکوپ نوری (ASTM E 883)، آماده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

قطر شمش مورد استفاده ۲۲ میلی‌متر می‌باشد که طبق استاندارد EN 10089 این شمش دارای ۰/۳ میلی‌متر عیوب سطحی مجاز می‌باشد.

آنالیز شیمیایی شمش‌های نمونه‌گیری شده در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین نتایج حاصل از متالوگرافی در شکل (۱) نشان می‌دهد که ساختار حاصل پرلیتی است که دارای مقدار کمی فریت می‌باشد.که در شکل با پیکان نشان داده شده‌است. این ساختار، ساختار مورد تأیید جهت مواد اولیه این قطعه است[۷].

جدول(۱): ترکیب شیمیایی فولاد فنر طبق استاندارد DIN

عنصر	C	Si	Mn	Cr
درصد وزنی	۰/۵۹- ۰/۵۲	≤۰/۴	۱-۰/۷	۱-۰/۷

جدول(۲):ترکیب شیمیایی متوسط نمونه ۱ و ۲ بر حسب درصد وزنی عناصر

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
۰/۵۳۶	۰/۳۰۲	۰/۸۶۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	۰/۷۸۳	۰/۰۷۵	۰/۰۱۸

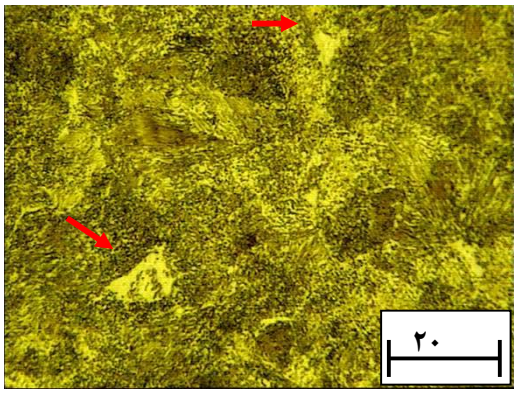
همان‌طورکه بیان شد محیط خنک‌کننده مناسب جهت این فولاد روغن است، لذا نمونه‌برداری از سه نوع روغن مورد آزمایش، انجام شد و پارامترهای تأثیرگذار بر قدرت سردکنندگی مورد بررسی قرار گرفت.

قبل از انجام آزمون‌ها کلیه قطعات به صورت غیرمخرب و با استفاده از روش ذرات مغناطیسی ترکیابی شدند و در گام بعدی مراحل عملیات حرارتی مطابق شکل (۲) از جمله آستنیته‌کردن و بازپخت با استفاده از کوره با ظرفیت حرارتی ۱۲۰۰ °C با دقت ۱۰ °C و کوئنچ به دو روش غوطه‌وری و پاشش بر روی نمونه‌ها انجام گرفت بعد از انجام عملیات حرارتی، کلیه نمونه‌ها مجدداً ترکیابی شدند و قطعات ترکدار مشخص و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عمق ترک و ساختار این نمونه‌ها مشاهده گردید. همچنین جهت حصول اطمینان از انجام صحیح عملیات حرارتی بر روی نمونه‌ها تست سختی (HRC) و کشش انجام گرفت.

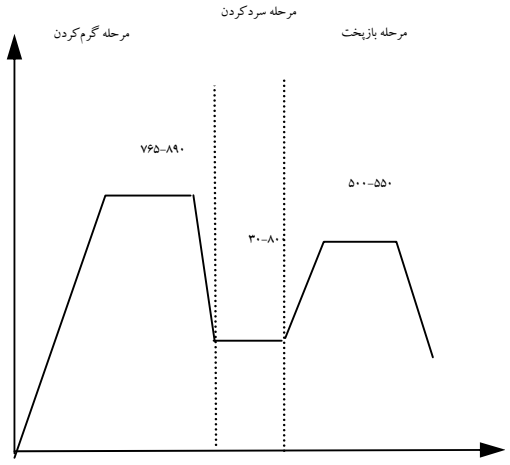
۳- نتایج و مباحث

از آنجاکه نوع و میزان افزودنی‌های مورد استفاده در روغن جهت اهداف مورد نظر از جمله ویسکوزیته، اسیدیته و نرخ سردکردن به صورت محرمانه می‌باشد، لذا آزمایشات انجام گرفته محدود به اندازه‌گیری مواردی شده است که محدوده پذیرش آنها مشخص و اندازه‌گیری آنها قابل انجام است.

همان‌طور که بیان شد در انجام آزمایشات از سه نوع روغن با شرایط سردکنندگی و کیفیت متفاوت جهت کوئنچ قطعات



شکل(۱): ساختار نمونه قبل از عملیات حرارتی (پرلیتی فریتی)



شکل(۲): سیکل آزمایش عملیات حرارتی صورت گرفته بر روی نمونه‌ها

استفاده شده است، در این پژوهش سه نوع روغن به نام‌های: ۱-روغن نوع اول ۲- روغن نوع دوم ۳- روغن نوع سوم معرفی شده‌اند. پس از آزمایش روغن‌های مورد استفاده، قطعات و روغن‌ها جهت انجام عملیات حرارتی آماده شده‌است. در ادامه نتایج حاصل از انجام آزمایشات در سه روغن مصرفی ارائه شده و سپس تحلیل و بحث در خصوص این نتایج بیان خواهد شد. نتایج آزمایشات با سه روغن حاکی از آن است که در روغن نوع اول به استثناء نرخ سردکنندگی (به مقدار ۰/۲) دیگر پارامترها در محدوده پذیرش می‌باشد، اما نکته‌ای که در نتایج آزمایشات روغن نوع اول مشخص است، بالای محدوده بودن مقادیر اسیدیته و میزان آب (۴۵۰ PPM) قبل از کارکرد این روغن است.

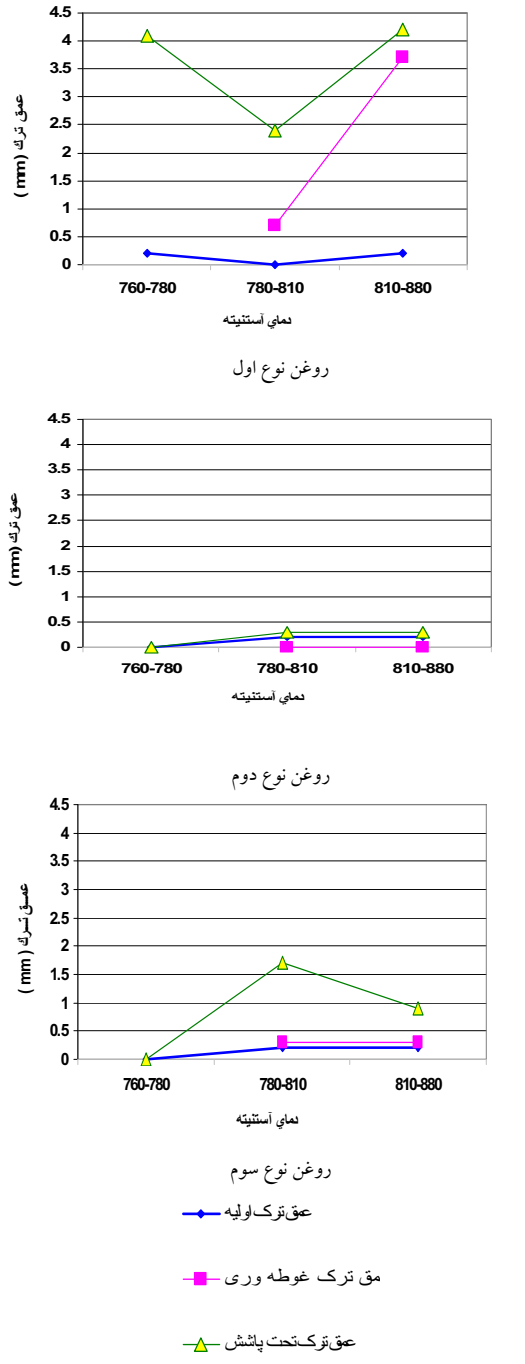
جدول (۳): نتایج آزمایشات سه نوع روغن مصرفی

نوع روغن	ویسکوزیته MAX ۲۶ در cst دمای ۴۰°C	نرخ سرد شدن ۵۰۰°C_۴۰۰°C ۱۱/۰ ~ ۱۰/۰ Sec	مقدار اسید MAX ۰/۱ Mg KOH/g	مقدار آب MAX ۵۰۰ PPM
نوع۱	۲۱/۵	۱۱/۲	۰/۰۸	۴۵۰
نوع۲	۲۱	۱۰/۶	۰/۰۶	۳۳۰
نوع۳	۲۳/۱	۱۰/۶	۰/۰۷	۳۷۰

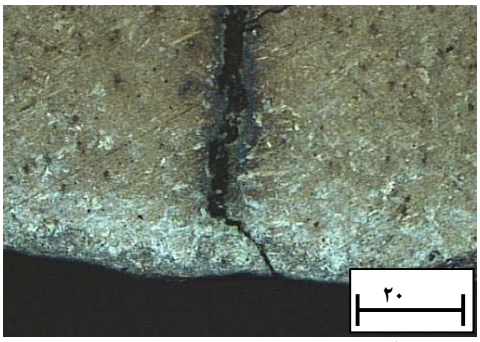
بالا بودن مقدار اسیدیته در روغن مطلوب نمی‌باشد و در اصطلاح سبب فساد روغن و عدم شرایط ایده‌آل برای روغن می‌شود[۵].

بنابراین باید حتی‌الامکان سعی شود که اسیدیته روغن در کمترین میزان خود باشد نکته دیگر که نباید فراموش شود آلودگی روغن است، زیرا آلودگی یک عامل در جهت افزایش اسیدیته روغن در حین شرایط‌کاری بوده، و از آنجا که قطعات کوئنچ شده دارای شرایط تحت کنترلی از لحاظ آلودگی نیستند لذا سبب افزایش هرچه سریعتر اسیدیته و در نهایت فساد روغن خواهند شد، بنابراین هرچه اسیدیته روغن در قبل از استفاده روغن کمتر باشد، مطلوب‌تر و امکان فساد روغن کمتر است. اما در خصوص آب دو نکته وجود دارد اول آنکه آلوده شدن روغن به آب سبب افزایش قدرت سردکنندگی روغن شده و از طرف دیگر به عنوان یک کاتالیست عمل کرده و سبب بالا رفتن اسیدیته و فساد روغن می شود[۵].

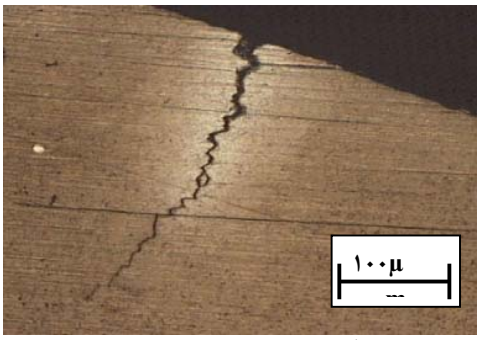
در شرایط‌کاری خواه ناخواه به علت شرایط محیطی به مرور زمان مقدار آب در روغن افزایش می‌یابد، لذا هرچه مقدار آب اولیه موجود در روغن کمتر باشد هم قدرت سردکنندگی مناسب‌تر و در نتیجه شوک حرارتی کمتر خواهد بود و هم مدت زمان عمر روغن بیشتر خواهد شد بررسی آزمایشات بر روی روغن نوع دوم نشان می‌دهد که مقدار آب موجود در محدوده پذیرش و کمتر از مقدار آب در روغن نوع اول و سوم است، همچنین بررسی میزان اسیدیته و ویسکوزیته بیانگر وضعیتی مناسب‌تر نسبت به دیگر روغن‌ها است. مقدار نرخ سردشدن در روغن نوع دوم و سوم یکسان است اما همان‌طورکه بیان شد



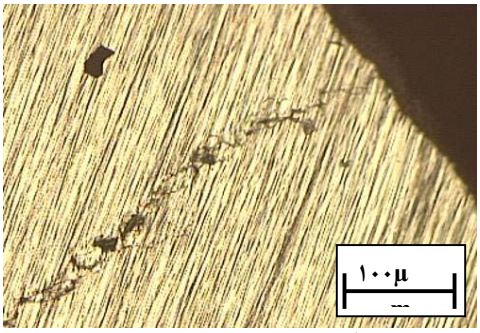
شکل(۳) :منحنی تغییرات عمق ترک با دمای آستنیته تحت تأثیر ترک اولیه و نحوه سردشدن



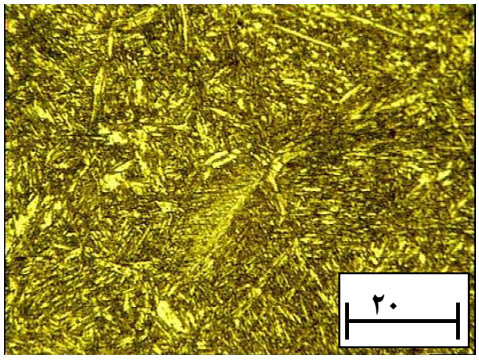
شکل(۴) :نمونه ترکدار آزمایش شده در روغن نوع اول



شکل (۶) : نمونه ترکدار در روغن نوع سوم



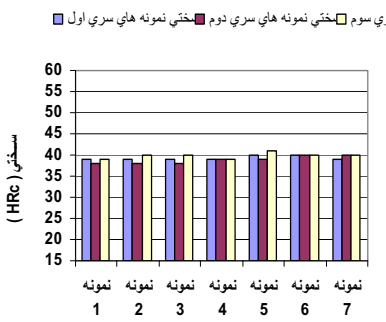
شکل (۵) : نمونه ترکدار در روغن نوع سوم



شکل(۷) : ساختار بعد از عملیات حرارتی (مارتنزیت تمپر شده)

وجود اسیدیته بالاتر روغن نوع سوم نسبت به روغن نوع دوم منجر به کاهش عمر روغن و فساد آن می‌شود. همچنین وجود ویسکوزیته بالاتر روغن نوع سوم سبب کاهش کیفیت سردکنندگی آن نسبت به دو نوع روغن دیگر می‌شود. لازم به‌ذکر است نرخ سردکنندگی پارامتری است که توسط افزودنی‌ها در روغن کنترل شده و به نوع و مقدار آنها بستگی دارد [۵]. بررسی آزمایشات با استفاده از روغن نوع سوم نشان می‌دهد که این روغن رفتاری متفاوت نسبت به روغن نوع اول و دوم دارد و به نحوی می‌توان شرایط این روغن را مابین روغن نوع اول و دوم در نظر گرفت. بعد از بررسی نتایج حاصل از آزمایش روغن‌های مصرفی به نتایج حاصل از عملیات حرارتی نمونه‌ها در این سه روغن خواهیم پرداخت، همان‌طورکه در شکل (۳) نشان داده شده‌است نمونه‌ها در دماهای مورد نظر کوئنچ‌شده و عمق ترک قبل و بعد از عملیات به‌صورت مقایسه‌ای آورده شده‌است. دمای آستنیته مورد استفاده با توجه به شرایط استاندارد در سه محدوده دمایی می‌باشد، ۱- محدوده دمای ۷۸۰-۷۶۰ درجه سانتیگراد که محدوده دمایی زیر محدوده دمایی استاندارد می‌باشد. ۲- محدوده دمای ۸۱۰-۷۸۰ درجه سانتیگراد که محدوده دمایی استاندارد می‌باشد. ۳- محدوده دمایی ۸۸۰-۸۱۰ درجه سانتیگراد که محدوده دمایی بالای محدوده دمایی استاندارد می‌باشد. همان‌طورکه در شکل (۳) مشاهده می‌شود در کلیه محدوده‌های دمایی عمق ترک به واسطه ترک اولیه و تحت پاشش قرار گرفتن در حین سردکردن تشدید می‌یابد.

همچنین در اکثر نمونه‌ها با بالارفتن دمای آستنیته شوک حرارتی بیشتر و عمق ترک افزایش می‌یابد. کلیه قطعات کوئنچ‌شده در روغن نوع اول به‌دلیل عدم مناسب بودن پارامترهای روغن که در بالا ذکر شد، دارای ترک هستند نتایج آزمایشات در روغن نوع یک نشان می‌دهد قطعاتی که دارای ترک اولیه بوده‌اند بعد از انجام کوئنچ دارای عمق ترک بیشتری شده‌اند. همان‌طورکه در



شکل (۸):نمودار مقایسه ای سختی نمونه‌ها به تفکیک روغن مصرفی

منحنی روغن نوع اول مشاهده می‌شود عمق ترک با پاشش روغن تشدید شده‌است. بنابراین ترک اولیه و پاشش روغن را می‌توان به‌عنوان عوامل ایجاد و تشدید ترک در نمونه‌ها دانست. در شکل (۴) نمونه ترکداری مشاهده می‌شود که در روغن نوع اول کوئنچ شده‌است.

در آزمایشات سری دوم که با روغن نوع دوم انجام شده‌است و نتایج مقایسه‌ای آن در شکل (۳) مشاهده می‌گردد. با توجه به اینکه شرایط روغن نوع دوم مناسب‌تر از دو روغن دیگر بوده و پارامترهای مؤثر بر شدت سردکنندگی در این روغن در محدوده مناسبی می‌باشد جدول (۳) لذا می‌توان گفت اگر قطعه به روش غوطه‌وری سرد گردد احتمال ایجاد ترک در قطعاتی که در این روغن سرد می‌شوند به صفر خواهد رسید.

همچنین همان‌طورکه در شکل (۳) و نتایج حاصل از آزمایشات با استفاده از روغن نوع سوم مشاهده می‌گردد این روغن نسبت به ترک اولیه در قطعه و تحت پاشش قرارگرفتن در حین کوئنچ، نسبت به روغن نوع دوم حساس‌تر است و در صورت وجود ترک در مواد اولیه این ترک‌ها اشاعه پیدا می‌کنند.

بنابراین قطعات کوئنچ شده در روغن نوع سوم، با توجه به شرایط اولیه، دارای شرایط متنوعی از نظر وجود و یا عدم وجود ترک می‌باشند که این امر را می‌توان در نتایج آزمایشگاهی مشاهده کرد. به‌عنوان مثال در نمونه‌ای که دارای ترک اولیه ۰/۲۵ میلی‌متر است عمق ترک بعد از عملیات حرارتی به ۱/۷ میلی‌متر و در نمونه‌ای دیگر که دارای عمق ترک اولیه۰/۱۵ میلی‌متر است عمق ترک نهایی به ۰/۹ میلی‌متر رسیده است.

همان‌طورکه در شکل (۴) و (۵) مشاهده می‌شود عمق ترک در شکل (۴) که در روغن نوع اول کوئنچ شده‌است بیشتر از عمق ترک در شکل (۵) می‌باشد که در روغن نوع سوم کوئنچ شده‌است این امر به‌دلیل تفاوت در پارامترهای مؤثر برقدرت سردکنندگی دو نوع روغن می‌باشد نکته‌ای که نباید فراموش شود این است که تحت پاشش قرارگرفتن قطعه توسط روغن به علت افزایش قدرت سردکنندگی مطلوب نمی‌باشد و در همه روغن‌های مصرفی باعث ایجاد مشکل در نمونه و ایجاد ترک در آن می‌شود.

همان‌طورکه گفته شد، ساختار نمونه‌ها بعد از انجام عملیات حرارتی مورد آزمون قرار گرفت که در شکل (۷) ساختار نهایی یک نمونه مشاهده می‌گردد که نشان دهنده مارتنزیت بازپخت شده می‌باشد. ساختار مذکور، ساختار مورد قبول جهت این فولاد بعد از انجام عملیات حرارتی می‌باشد که نشان‌دهنده انجام صحیح عملیات حرارتی و رعایت کلیه پارامترهای تاثیرگذار بر ساختار است.

همچنین نمونه‌ها به تفکیک روغن مصرفی سختی‌سنجی شدند که در شکل (۸) نمودار مقایسه‌ای این اعداد نشان داده شده‌است لازم به‌ذکر است که محدوده مورد پذیرش ۳۶/۶-۴۱/۸ راکول‌سی می‌باشد که با توجه به نتایج به‌دست آمده نمونه‌ها در محدوده پذیرش بوده که حاکی از تحت کنترل بودن پارامترهای تأثیرگذار بر این شاخص و انجام صحیح سیکل عملیات حرارتی بر روی نمونه‌ها است.

این ادعا نیز با مقایسه نتایج تست کشش به تفکیک نوع روغن مورد استفاده با مقادیر مرجع که در جدول (۴) آورده شده‌است قابل اثبات است.

همان‌طورکه در نتایج تست کشش مشاهده می‌گردد نمونه کوئنچ شده در روغن نوع اول به‌دلیل ترکدار بودن دارای مقادیر

غیرقابل قبولی از نظر استحکام می‌باشد ، اما دو نمونه کوئنچ شده در دو نوع روغن دیگر از نظر استحکام و درصد افزایش طول در محدوه پذیرش استاندارد قرار دارند.

٤- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در بررسی سیستم خنک‌کاری، دو عامل زیر سبب ایجاد و اشاعه ترک خواهد شد.

۱- نوع روغن:

روغن را می‌توان به‌عنوان یک عامل اصلی در فرایند ایجاد ترک دانست، همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، بررسی و کنترل پارامترهای موثر بر شرایط کاری روغن مصرفی بسیار مهم است از میان این پارامترها اسیدیته، نرخ سردکردن و مقدار آب از اهمیت ویژه‌ای برخودار هستند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با توجه حجم تولید، روغن مصرفی دارای کمترین میزان آب و اسیدیته باشد و حتی المقدور از روغنی با کمترین مقدار اسید و آب استفاده شود. همچنین تحت کنترل داشتن میزان آب روغن در حین فرایند تولید از موارد مهم است.

۲- نحوه خنک کاری:

همان‌طورکه بیان شد با توجه به اینکه با پاشش مستقیم روغن به قطعات در حین کوئنچ، قدرت سردکنندگی افزایش می‌یابد، لذا اگر قطعه قبل از عملیات حرارتی دارای ترک باشد این ترک در حین کوئنچ رشد خواهد کرد، و اگر عاری از ترک باشد با توجه به قدرت سردکنندگی احتمال ایجاد ترک در قطعات وجود خواهد داشت. بنابراین جلوگیری از پاشش مستقیم روغن به قطعه در حال کوئنچ و استفاده از سیستم سیر کوله مناسب جهت جلوگیری از قطعاتی از ترک لازم به نظر می‌رسد.

٥- مراجع

[1] Baggerly, Roy G"Quench cracks in truck spring “U” bolts and the implications for spring failure" Engineering FailureAnalysis, Vol 1. 135-141, 2003.

[2] Lee, C.S et al 'Microstructural influence on fatigue properties of a high-strength spring steel'International Journal of fatigue, Vol A241,30-37, 1998.

[3] Wise,J.P et al "Influence of short austenttizing times on the fracture behavior of a microalloyed automotive spring steel” Scripta Materialia . Vol 44, 299-304, 2000.

[۴] گلعذار، محمد علی. اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها، اصفهان: دانشگاه صنعتی، ۱۳۸۱

[۵] طاهری ،مهدی اصول عملیات حرارتی فولادها، تهران: دانشگاه تهران، (۱۳۷۷)

[۶] دبلیو، سی وگزت، ام وگزت.کلید فولاد، ترجمه دکتر احمد ساعتچی و دکتر حسین ادریس،چاپ اول، اصفهان: انتشارات ارکان دانش اصفهان، ۲۰۰۴

[7] Clarck C.K and G.E.Borowski. Evaluation of a Leaf Spring Failure., Abstract retrieve July 18 Vol 5(6), 54-63 From Jornal of Failure Analysis and Pervation, 2005.

[8] akhimov, D. M et al "Residual stresses in the leaves of automobile spring " *Metal Science and Heat Treatment* ,Vol 5,670-672, 2004.