

بررسی تأثیر سرعت سردکنندگی روغن‌های عملیات حرارتی بر سختی و ساختار فولاد DIN 1/1191

سید رضا علمی حسینی^۱، احمد ضابط^۲

- ۱- دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۲- گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

روغن یکی از انواع محیط‌های کوئیچ در کارگاه‌های عملیات حرارتی است که به علت استفاده زیاد خاصیت اولیه‌اش تعییر کرده و از قدرت سردکنندگی آن کاسته می‌شود. از طرفی عدم وجود اطلاعات مناسب درخصوص سرعت سردکنندگی روغن‌های عملیات حرارتی در ایران و اینکه کارگاه‌های عملیات حرارتی از تعییر خصوصیات یک نوع روغن در محموله‌های مختلف گله‌مند می‌باشند، ما را بر آن داشت تا با طراحی سیستم اندازه‌گیری سرعت سردکنندگی روغن‌های کوئیچ، پاسخگوی نیاز صنعت عملیات حرارتی باشیم. سیستم مورد نظر شامل یک کوره استوانه ای، مخزن روغن، پراب (کاوشنگر) اندازه‌گیری دما، سیستم انتقال پراب و سیستم جمع‌آوری اطلاعات می‌باشد. در این سیستم، اندازه‌گیری سرعت سردکنندگی روغن‌های کوئیچ مطابق با استانداردهای رایج امکان‌پذیر است. در این تحقیق با انتخاب دو نوع روغن بهران ۱۴۵ استفاده نشده (روغن نو) و بهران ۱۴۵ استفاده شده، سرعت سردکنندگی آنها اندازه‌گیری شد و سپس تأثیر اختلاف سرعت سردکنندگی آنها بر سختی و ساختار فولاد DIN 1/1191 مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: روغن عملیات حرارتی بهران ۱۴۵، سردکنندگی، فولاد DIN 1/1191، سختی، ساختار، پراب، ترموموکوپل

۱- مرتبی
۲- استادیار

بررسی تأثیر سرعت سرد کنندگی روغن‌های عملیات حرارتی بر سختی و ساختار فولاد DIN 1/1191

سید رضا علمی حسینی^۱، احمد ضابط^۲

چکیده

روغن یکی از انواع محیط‌های کوئیچ در کارگاههای عملیات حرارتی است که به علت استفاده زیاد خاصیت اولیه‌اش تغییر کرده و از قدرت سرد کنندگی آن کاسته می‌شود. از طرفی عدم وجود اطلاعات مناسب در خصوص سرعت سرد کنندگی روغن‌های عملیات حرارتی در ایران و اینکه کارگاههای عملیات حرارتی از تغییر خصوصیات یک نوع روغن در محموله‌های مختلف گله‌مند می‌باشد، ما را بر آن داشت تا با طراحی سیستم اندازه‌گیری سرعت سرد کنندگی روغن‌های کوئیچ، پاسخگوی نیاز صنعت عملیات حرارتی باشیم. سیستم مورد نظر شامل یک کوره استوانه‌ای، مخزن روغن، پراب (کاووشگر) اندازه‌گیری دما، سیستم انتقال پراب و سیستم جمع آوری اطلاعات می‌باشد. در این سیستم، اندازه‌گیری سرعت سرد کنندگی روغن‌های کوئیچ مطابق با استانداردهای رایج امکان‌پذیر است. در این تحقیق با انتخاب دو نوع روغن بهران ۱۴۵ استفاده نشده (روغن نو) و بهران ۱۴۵ استفاده شده، سرعت سرد کنندگی آنها اندازه‌گیری شد و سپس تأثیر اختلاف سرعت سرد کنندگی آنها بر سختی و ساختار فولاد DIN 1/1191 مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: روغن عملیات حرارتی بهران ۱۴۵، سرد کنندگی، فولاد DIN 1/1191، سختی، ساختار، پراب، ترموموکوبل

۱- مریبی، گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان (Elmi@eng.usb.ac.ir)

۲- استادیار، گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

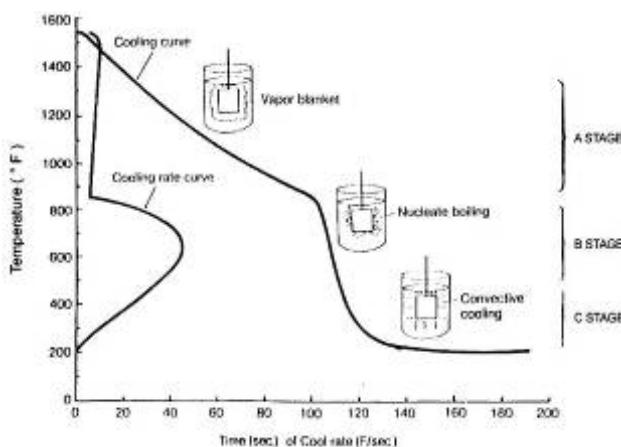
۱. مقدمه

۱-۱- معرفی محیط‌های کوئنچ:

آب، روغن و محلول‌های پلیمری سه نوع از انواع محیط‌های کوئنچ در صنعت عملیات حرارتی به حساب می‌آیند. آب با سرعت سردکنندگی خیلی بالا امکان ایجاد ترک در قطعات کوئنچ شده را به دنبال دارد. امروزه استفاده از محیط‌های پلیمری به دلیل هزینه بالا مقرن به صرفه نیست. لذا روغن به عنوان محیط کوئنچ در صنعت عملیات حرارتی کاربرد زیادی پیدا کرده است [۱].

۱-۲- تحلیل منحنی سردکنندگی:

یکی از روش‌های معمول برای آزمایش یک محیط کوئنچ رسم منحنی تغییرات درجه حرارت قطعه کوئنچ شده بر حسب زمان یا منحنی سردکنندگی محیط کوئنچ است. شما بی از منحنی‌های سردکنندگی و سرعت سردکنندگی در شکل ۱ ارائه شده است. در این شکل مراحل متفاوتی که در مدت فرآیند کوئنچ در یک منحنی سردکنندگی اتفاق می‌افتد نشان داده شده است [۲].



شکل ۱. شما بی از منحنی‌های سردکنندگی و سرعت سردکنندگی [۲]

زمانیکه فولادی از دمای آستنیتیه در یک محیط کوئنچ وارد می‌شود، سه مرحله انتقال حرارت اتفاق می‌افتد که این مراحل عبارتند از:

الف- مرحله تشکیل فیلم بخار (Vapour blanket stage)

در این مرحله از انتقال حرارت (مرحله A از شکل ۱) یک لایه بخار پایدار در اطراف قطعه تشکیل شده که قطعه را از محیط کوئیج اطراف خود جدا می‌کند. این مرحله موقعی اتفاق می‌افتد که گرمای خروجی از سطح قطعه از مقدار گرمای لازم (در واحد سطح قطعه) برای تبدیل سیال از حالت مایع به حالت بخار بیشتر باشد. به طور کلی سردشدن در این مرحله به طور آهسته صورت می‌گیرد، زیرا اولاً این لایه بخار پایدار به عنوان یک عایق حرارتی عمل کرده و ثانیاً سرد شدن قطعه در این مرحله توسط تشعشع حرارت از میان این لایه انجام می‌شود [۲ و ۳].

ب- مرحله جوشیدن (Nucleate boiling stage)

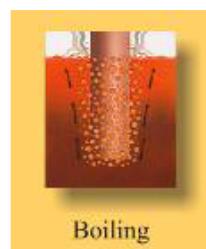
این مرحله انتقال حرارت (مرحله B از شکل ۱) بیشترین سرعت انتقال حرارت را در بین مراحل مختلف داراست و هنگامی شروع می‌شود که دمای سطح فلز آنقدر کاهش یافته که سبب ناپایداری لایه بخار شود. لایه بخار ناپایدار تبدیل به حبابهای گاز شده که این حبابهای گازی با جذب گرما از قطعه باعث سردشدن سریع آن می‌شود. مدت زمان و سرعت سردشدن در این مرحله توسط پارامترهای مختلفی نظیر نقطه جوش سیال، اندازه و شکل حبابهای بخار کنترل می‌شود [۲ و ۳].

ج - مرحله جابه‌جایی (Convection cooling stage)

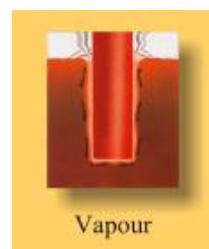
در این مرحله از انتقال حرارت (مرحله C از شکل ۱) سرعت سردشدن از مراحل قبل کمتر است. این مرحله هنگامی شروع می‌شود که دمای سطح فلز تا زیر نقطه جوش مایع کوئیج کاهش یافته باشد. در این لحظه جوشیدن مایع متوقف شده و اطراف قطعه را مایع اشغال می‌کند. از این رو خروج حرارت توسط جابه‌جایی انجام می‌شود [۲ و ۳]. شمایی از نحوه انتقال حرارت در این سه مرحله در شکل ۲ ارائه شده است.



(ج)



(ب)

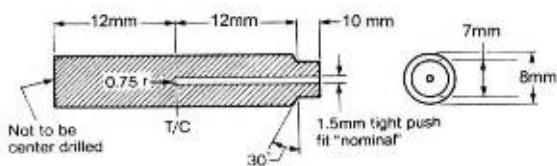


(الف)

شکل ۲. شمایی از نحوه انتقال حرارت در (الف) مرحله تشکیل فیلم بخار، (ب) مرحله جوشیدن و (ج) مرحله جابه‌جایی [۲]

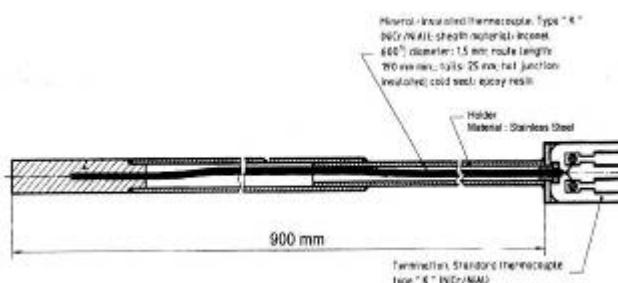
۱-۳- پراب، ترموکوبل و سیستم انتقال آنها:

پراب یا کاوشگر (Probe) قطعه‌ای است که باعث تمرکز و انتقال حرارت به ترموکوبل می‌شود که در داخل آن تعییه شده است. این حرارت می‌تواند حرارت کوره‌ای باشد که پراب در داخل آن قرار گرفته و یا دمای محیط کوئنچ باشد. پرابها از جنس‌های مختلف مانند فولادهای زنگ نزن، نقره، آلیاژهای نیکل، مس، طلا و آلومینیوم ساخته می‌شوند. در این تحقیق پраб از جنس فولاد زنگ نزن ۳۰۴ AISI تهیه شد که ابعاد آن در شکل ۳ ملاحظه می‌شود [۵]. داده‌های دمایی از پраб به نوک ترموکوبل و از طریق سیم رابط ترموکوبل به یک برد مخصوص منتقل که در آنجا این اطلاعات از حالت آنالوگ به دیجیتال تبدیل شده و به کامپیوتر منتقل می‌شود.



شکل ۳. نمایی از پраб و مجرای موجود در آن برای قرارگیری ترموکوبل [۵]

ترموکوبلی که در این آزمایش‌ها استفاده شد از نوع K با جداره محافظ فولاد زنگ نزن به قطر ۱/۵ mm است که دارای تأییدیه کالیبراسیون نیز می‌باشد. برای جلوگیری از حرکت یا شکست ترموکوبل در محل اتصال آن با پраб از یک نگهدارنده استفاده شد. شمایی از ترموکوبل متصل به پраб و نگهدارنده آن در شکل ۴ ارائه شده است [۵].



شکل ۴. شمایی از ترموکوبل متصل به پраб و نگهدارنده آن [۵]

سیستم انتقال پраб از یک دستگیره، چرخ‌دنده و یک دنده‌شانه‌ای تشکیل شده است که وظیفه انتقال پраб به داخل کوره و مخزن روغن را بر عهده دارد.

۲. مواد و روش تحقیق:

۱-۱- ساخت سیستم اندازه گیری سرعت سرد کنندگی روغن‌های عملیات حرارتی:

جهت اندازه گیری سرعت سرد کنندگی روغن‌های عملیات حرارتی، سیستمی شامل قسمتهای مختلف طراحی و ساخته شد که شمای کلی این سیستم در شکل ۵ آورده شده است. دو قسمت مهم این سیستم شامل کوره و مخزن روغن می‌باشد. مشخصات در نظر گرفته شده برای کوره عبارتند از:

- کوره استوانه‌ای با دو درب در بالا و پایین و منفذی در درب بالا برای عبور پراب

- دمای کوره: حداقل 1200°C

- ارتفاع و قطر منطقه گرم کننده: به ترتیب 300 mm و 100 mm

- سیستم باز و بست کننده درب‌های بالایی و پایینی

- توان کوره: 3 kW

مشخصات در نظر گرفته شده برای مخزن روغن عبارتند از:

- ابعاد مخزن به ارتفاع 300 mm و قطر 300 mm

- دمای مخزن روغن با قابلیت تنظیم تا 100°C

- قابلیت ایجاد تلاطم در مخزن توسط پمپ سیرکولاسیون و امکان کنترل دور آن

لازم به ذکر است که سیستم ساخته شده در اداره ثبت شرکتها و مالکیت صنعتی به تبت رسیده است.

جهت بررسی تأثیر سرعت سرد کنندگی روغن‌های عملیات حرارتی بر سختی و ساختار فولاد، دو نوع

روغن انتخاب شدند که عبارتند از:

الف- روغن استفاده نشده بهران ۱۴۵ (روغن نو)

ب- روغن استفاده شده بهران ۱۴۵ (روغن سه سال کارکرده): به طور متوسط در مدت این سه سال

در هر روز کاری، ۵ بار عملیات کوئنچ در این روغن انجام می‌گرفت.

فولاد مورد نظر از نوع ۱۱۹۱ DIN و به قطر 11 mm انتخاب شد. ترکیب شیمیایی این فولاد در

جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده در این تحقیق

عنصر	C	Al	Ti	Mo	Ni	Fe
درصد وزنی	<۰/۰۳	۰/۱	۰/۷	۹/۰	۵/۰	۱۸/۰



شکل ۵. بخش‌های مختلف سیستم اندازه‌گیری سرعت سردکنندگی روغن‌های عملیات حرارتی

روش انجام آزمایشات در هر یک از دو نوع روغن در دو مرحله زیر انجام گرفت [۴]:

مرحله اول: ابتدا پراب فولادی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای 850°C قرار گرفته و سپس در روغن کوئنچ شد. با انتقال داده‌های دمایی از پراب به ترموموکوپل و از ترموموکوپل به کامپیوتر، منحنی‌های سردکنندگی و سرعت سردکنندگی این دو نوع روغن ترسیم گردید.

مرحله دوم: در این مرحله همراه پراب، دو نمونه فولادی که قرار است تأثیر سرعت سردکنندگی بر ساختار و سختی آنها بررسی شود نیز وارد کوره شدند. سیکل عملیات حرارتی در این مرحله همانند مرحله اول است. پس از انجام کوئنچ فولادها در هر یک از دو روغن، آزمایشات متالوگرافی و سختی سنجی بر روی مقاطع برش خورده نمونه‌های کوئنچ شده که دارای قطر یکسانی هستند انجام گرفت. برای اینکه آزمایشات بر روی روغن‌های مختلف در شرایط یکسانی صورت پذیرد موارد زیر در نظر گرفته شدند:

الف- دمای روغن مورد آزمایش ثابت در نظر گرفته شد. (دمای آن برابر با دمای محیط انتخاب شد).

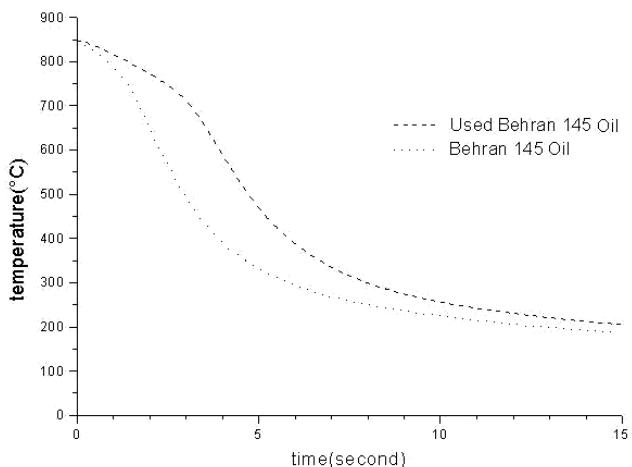
ب- روغن بدون تلاطم در نظر گرفته شد.

ج- حجم روغن ۲ لیتر انتخاب شد.

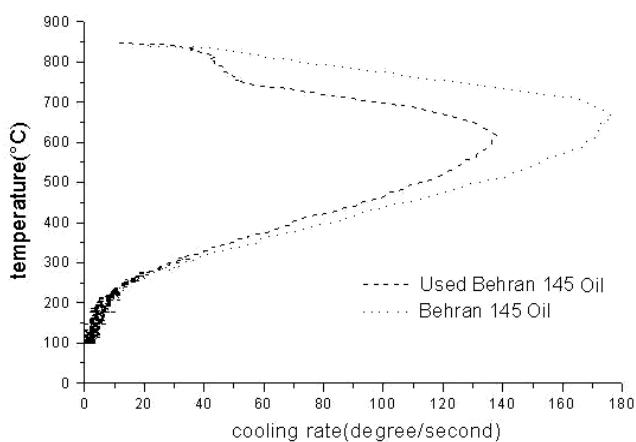
۳. نتایج و بحث:

۳-۱- مقایسه اختلاف سرعت سرد کنندگی روغن‌های عملیات حرارتی:

در شکل ۶ منحنی‌های سرد کنندگی روغن‌های بهران ۱۴۵ استفاده شده و استفاده نشده ترسیم شده است. جهت مقایسه بهتر سرعت سرد کنندگی روغن‌ها، از منحنی‌های شکل ۶ مشتق گرفته شد. منحنی‌های به دست آمده، منحنی‌های سرعت سرد کنندگی است که در شکل ۷ ارائه شده است. بر اساس اشکال ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که روغن بهران ۱۴۵ استفاده نشده دارای شب منحنی سرد کنندگی و به طبع سرعت سرد کنندگی بیشتری نسبت به روغن بهران ۱۴۵ استفاده شده است.



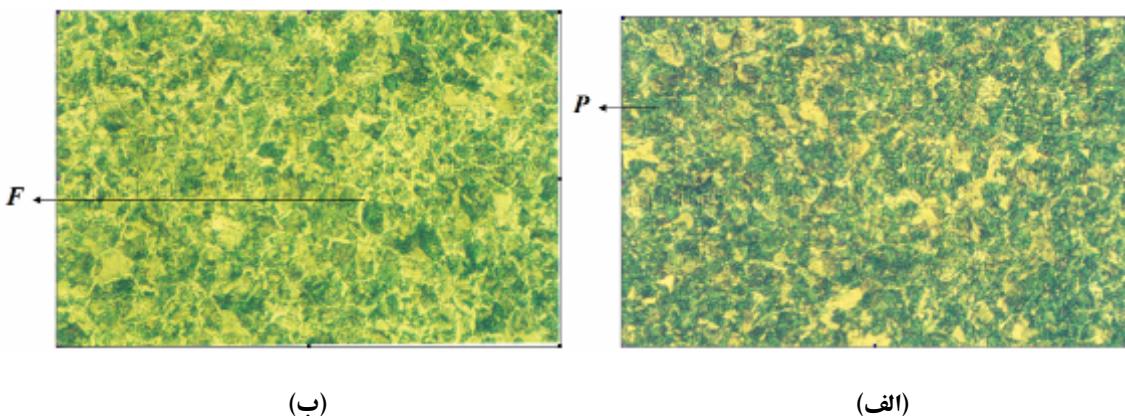
شکل ۶. تفاوت منحنی‌های سرد کنندگی روغن‌های بهران ۱۴۵ استفاده شده و استفاده نشده



شکل ۷. تفاوت منحنی‌های سرعت سرد کنندگی روغن‌های بهران ۱۴۵ استفاده شده و استفاده نشده

۳-۲- بودسی تأثیر اختلاف سرعت سردکنندگی روغن‌های عملیات حرارتی بر ساختار فولاد:

جهت بررسی تأثیر اختلاف سرعت سردکنندگی این دو نوع روغن بر ساختار فولاد، بررسی های ریزساختاری از نواحی مغز (دقیقاً وسط قطعه) و لبه فولاد (در فاصله ۱ mm از لبه نمونه‌ها) کوئنچ شده انجام شد که تصاویر آن در اشکال ۸ و ۹ ارائه شده است. با توجه به شکل ۸ به دلیل بالاتر بودن سرعت سردکنندگی روغن استفاده نشده نسبت به روغن استفاده شده مشاهده می‌شود که ساختار مغز فولاد کوئنچ شده در روغن استفاده نشده دارای پرلیت بیشتر و نیز فریت پرویوتکتوئید کمتری نسبت به ساختار کوئنچ شده در روغن استفاده شده است. فازهای پرلیت (مناطق تیره‌تر) و فریت پرویوتکتوئید (مناطق روشن‌تر) در شکل ۸ به ترتیب با نمادهای P و F نشان داده شده‌اند.



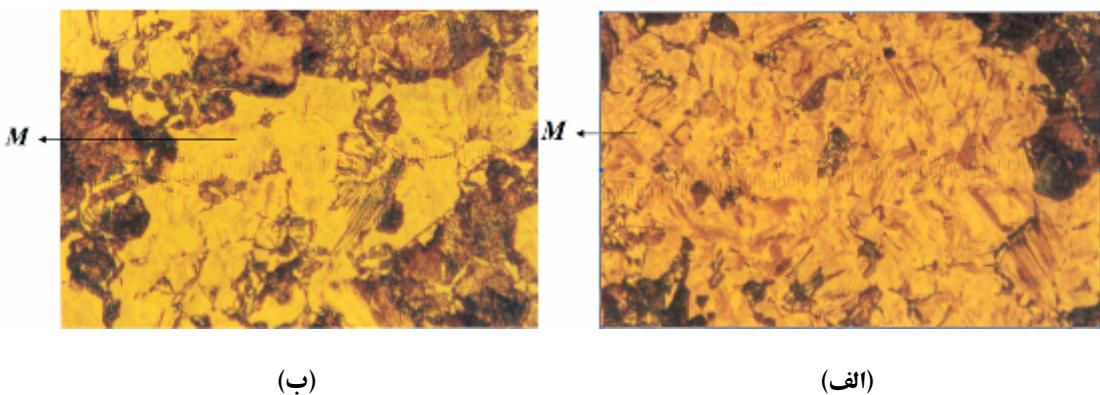
شکل ۸. ساختار میکروسکوپی از ناحیه مغز نمونه‌های کوئنچ شده در (الف) روغن بهران ۱۴۵ استفاده نشده و (ب) روغن بهران ۱۴۵ استفاده شده

در شکل ۹ که ساختار میکروسکوپی از لبه نمونه‌های کوئنچ شده را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که به دلیل بالاتر بودن سرعت سردکنندگی روغن استفاده نشده، کسر سطحی فاز مارتنزیت در ساختار کوئنچ شده در این روغن بیشتر از ساختار کوئنچ شده در روغن استفاده شده است. در این شکل فاز مارتنزیت با نماد M مشخص شده است.

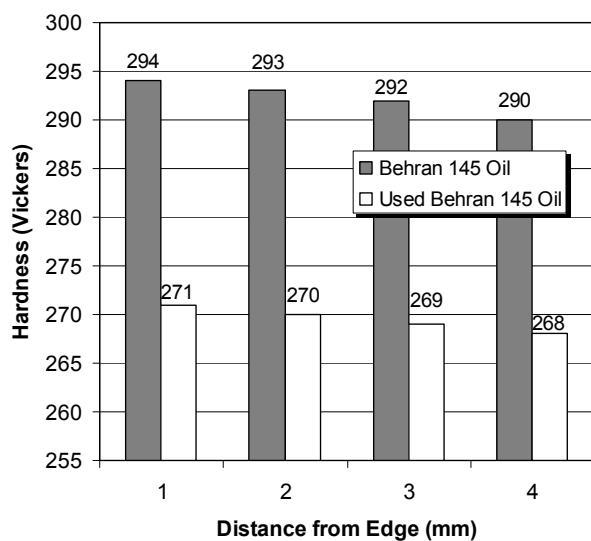
۳-۳- بودسی تأثیر اختلاف سرعت سردکنندگی روغن‌های عملیات حرارتی بر سختی فولاد:

از ناحیه عمق نمونه‌های فولادی کوئنچ شده در این دو نوع روغن، آزمون سختی سنجی به عمل آمد که نتایج آن در شکل ۱۰ ارائه شده است. به دلیل سرعت سردکنندگی بیشتر روغن استفاده نشده، سختی نمونه کوئنچ شده در این روغن بیشتر از سختی نمونه کوئنچ شده در روغن استفاده شده است. لازم به

ذکر است که مقادیر سختی گزارش شده از ناحیه لبه فولاد که فاز مارتزیت در آن تشکیل می شود انجام نگرفته و فقط مقایسه ای بین مقادیر سختی مغز دو نمونه انجام گرفته است. در ضمن مقادیر اندازه گیری شده، میانگین سه بار تکرار آزمایش می باشد.



شکل ۹. ساختار میکروسکوپی از لبه نمونه های کوئنچ شده در (الف) روغن بهران ۱۴۵ استفاده نشده و (ب) روغن بهران ۱۴۵ استفاده شده



شکل ۱۰. اختلاف سختی عمق فولادهای کوئنچ شده در دو نوع روغن

بر اساس میانگین سختی نمونه های کوئنچ شده در این دو نوع روغن (جدول ۲) نتیجه می شود که اختلاف سختی نمونه های کوئنچ شده در حدود ۸ درصد است. بنابراین استفاده از روغن نو به جای روغن مستعمل می تواند تا ۸ درصد سختی مغز فولاد را افزایش دهد.

جدول ۲. میانگین سختی نمونه‌های کوئنچ شده در دو روغن و اختلاف این مقادیر

۲۹۲/۲۵ HV	در روغن بهران ۱۴۵ استفاده نشده	میانگین سختی نمونه کوئنچ شده
۲۶۹/۵ HV	در روغن بهران ۱۴۵ استفاده شده	
۸/۴۴ %	اختلاف سختی میانگین نمونه های کوئنچ شده در دو نوع روغن	

۴. نتیجه گیری:

- الف- به کمک سیستم ساخته شده امکان انجام آنالیز حرارتی بر روی انواع روغن‌های عملیات حرارتی و نیز انواع محیط‌های کوئنچ مهیا شده است.
- ب- به مرور زمان سرعت سردکنندگی روغن‌های مورد استفاده در صنعت عملیات حرارتی کاهش یافته که در نتیجه آن سختی فولادهای کوئنچ شده کم شده و ساختار آنها به سمت تشکیل فازهای تعادلی پیش می‌رود.

۵. مراجع:

- ۱- سید رضا علمی حسینی، روح الله چالاکی، احمد ضابط، "رسم منحنی سردکنندگی روغن‌های کوئنچ مورد استفاده در صنعت عملیات حرارتی"، دومین همایش علمی دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۱
- ۲- احمد ضابط، سید رضا علمی حسینی، روح الله چالاکی، "طراحی و ساخت سیستم اندازه گیری سرعت سرد کنندگی روغن‌های کوئنچ"، هفتمین کنگره سالانه انجمن مهندسین متالورژی، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۲
- 3- G.E. Totten, C.E. Bates, N.A. Clinton, "Handbook of quenchants & quenching technology", PP. 148- 339, 1993
- 4- B. Liscic, H.M. Tensi,W. Luty, "Theory & technology of quenching", 1992
- 5- Metals Handbook, Vol. 4, 1994
- 6- ASTM Standard: D6200-1997, "Standard test method for determination of cooling characteristics of quench oils by cooling curve Analysis"
- 7- JIS Standard: K2241- 1997, "Heat treating oils"

The Effect of Cooling Rate of Heat Treating Oils on Hardness and Microstructure of DIN 1.1191 Steel

S.R. Elmi Hoseini¹, A. Zabett²

1- Corresponding Author: Lecturer, Department of Materials Science & Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan & Baluchestan (Elmi@eng.usb.ac.ir)

2- Assistance Professor, Department of Materials Science & Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad (Ahad@ferdowsi.um.ac.ir)

Abstract

Oil is one of the quenching media in heat treating industry that its' primary characteristics change gradually due to more use. Also, it decreases its' cooling rate. Nowadays, there is not enough information about cooling rate of heat treating oils in Iran. Furthermore, heat treating factorials are complaint from properties changes of one type oil in different packages. Therefore we decided to answer to this request of industry with design of measuring system for cooling rate of quenching oils. This system includes of a tubular furnace, oil tank, probe for measuring the temperature, a system for probe transmission and a system for data acquisition. This system capable to measure the cooling rate of quenching oils according to custom standards. In this study we used two type oils named "Unused Behran 145 Oil (New Oil)" and "Used Behran 145 Oil". Then cooling rate of them was measured, and effect of their cooling rate difference on hardness and microstructure of DIN 1.1191 was investigated.

Keywords: Behran 145 Heat treating Oil, Cooling, DIN 1.1191 Steel, Hardness, Microstructure, Probe, Thermocouple