بسم الله الرحمن الرحیم

مجموعهٔ مقالات

هفتمین کنگره سالانه

انجمن مهندسین متالورژی ایران

۲۱ الی ۲۳ مهرماه ۱۳۸۲

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکدهٔ مهندسی و علم مواد

جلد دوّم

دبیر کنگره

دکتر عباس اکبرزاده

هفتمین کنگره سالانه
انجمن مهندسین متالورژی ایران
۲۳-۲۱ مهرماه ۱۳۸۴
دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی و علم مواد

طراحی و ساخت سیستم اندازه‌گیری سرعت سردکنندگی روغنهای کوئنچ

احد ضابط[۱]، سیدرضا علمی حسینی و روح‌اله چالاکی
دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

روغن‌های کوئنچ در عملیات حرارتی قطعات صنعتی دارای کاربرد وسیعی می‌باشند. مهمترین مشخصه فنی این روغنها سرعت سرد کنندگی آنها است که به وسیله منحنی سرد کردن ارائه می‌گردد. هدف از طراحی و ساخت سیستم اندازه گیری سرعت سردکنندگی روغن های عملیات حرارتی، ایجاد امکان رسم این منحنی‌ها برای روغن ها و محیطهای کوئنچ مطابق با استانداردهای بین المللی می‌باشد. سیستم طراحی شده شامل کوره، پروب اندازه گیری درجه‌حرارت، سیستم انتقال پروب و سیستم جمع‌آوری اطلاعات(Data Acquisition System) می‌باشد. طی آزمایشات متعدد با رسم منحنی‌های روغنهای کوئنچ مختلف، تکرارپذیری و خطاهای اندازه‌گیری سیستم مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم منحنی سرعت سردکنندگی روغنها دو پروب استوانه ای از جنسهای نقره و فولاد استفاده شد که نتایج به دست آمده مقایسه، بحث و تحلیل شده‌اند. با استفاده از دستگاه ساخته شده و انتخاب پروب مناسب می‌توان سرعت سردکنندگی روغن‌های عملیات حرارتی را مطابق با استانداردهای ISO JIS K2242 و9950 ASTM D6200 [۳-۱] تعیین نمود.

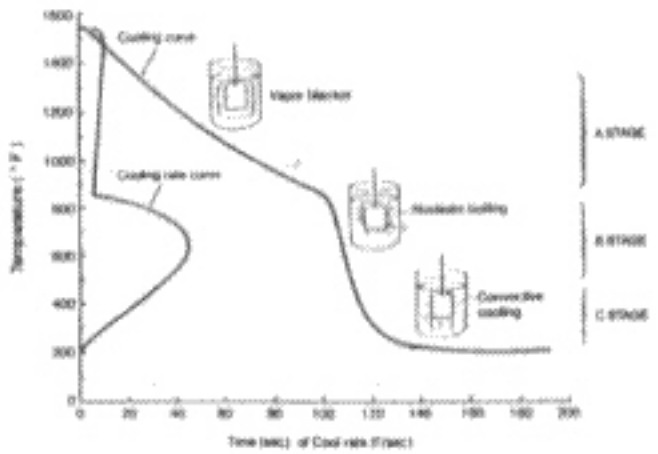
۱- استادیار دانشکده مهندسی

مقدمه

با توجه به رشد و توسعه صنعت خودروسازی و صنایع وابسته در کشور و اهمیت کنترل فرآیندها در تضمین کیفیت محصول، کنترل متغیرهائی همچون قدرت سردکنندگی روغن در فرآیند کوئنچ اهمیت خاصی دارد. مشخصات عمومی روغنها به وسیله چگالی، گرانروی در دمای محیط، گرانروی در دمای کار روغن، شاخص گرانروی، نقطه اشتعال و نقطه ریزش تعیین می‌گردند. این مشخصات معمولاً توسط تامین‌کننده روغن ارائه می‌شوند.[۴-۷] اغلب تولیدکنندگان معتبر در دنیا همراه با اطلاعات مذکور منحنی سردکنندگی روغن را نیز ارائه می‌نمایند. ولی با توجه به عدم امکان انجام این آزمایش درکشور تاکنون این منحنی‌ها برای روغنهای تولید شده تهیه نمی‌شده‌اند و از این جهت اطلاعات کاملی در خصوص روغن‌های کوئنچ وجود ندارد. از طرفی خصوصیات روغنهای عملیات حرارتی پس از استفاده مکرر به علت آلودگی و یا سوخته‌شدن تغییرکرده و قدرت سردکنندگی آنها کاهش می‌یابد. همچنین برخی کارگاههای عملیات حرارتی از تغییر خصوصیات یک نوع روغن در محموله‌های مختلف گلهمند می‌باشند. لذا طراحی یک سیستم اندازه‌گیری سرعت سردکنندگی روغنهای کوئنچ که پاسخگوی نیاز صنعت در حال توسعه عملیات‌حرارتی در کشور باشد ضروری و مناسب به نظر می‌رسد تا علاوه بر امکان کنترل کیفیت روغن خریداری شده، بتوان کیفیت روغن کارکرده را آزمایش و زمان تعویض آن را تعیین نمود.

مراحل سرد شدن قطعه در روغن

چنانچه منحنی درجه‌حرارت بر حسب زمان را برای یک قطعه در حال سرد شدن از دمای ۸۵۰°C تا دمای محیط در یک روغن بدون تلاطم رسم کنیم (شکل۱) سه منطقه مشخص مشاهده می‌شود.



شکل۱- شمایی از منحنی سردکنندگی وسرعت سردکنندگی یک روغن کوئنچ

این سه منطقه عبارتند از: مرحله تشکیل فیلم بخار[1]، مرحله جوشیدن[2] و مرحله جابه‌جایی[3].

1- Vapor blanket cooling stage
2- Nucleate boiling stage
3- Convection cooling stage

مرحله تشکیل فیلم بخار:

این مرحله شامل تشکیل یک لایه بخار پایدار در اطراف قطعه و در نتیجه جدا کردن آن از محیط سرد اطراف می‌باشد. از آنجایی که در این مرحله لایه بخار به عنوان یک عایق عمل می‌کند، سرد شدن قطعه توسط تشعشع حرارت از میان این لایه بخار پایدار انجام می‌گیرد. سرعت سرد شدن در این مرحله آهسته می‌باشد.

مرحله جوشیدن:

این مرحله که به مرحله سرد شدن توسط بخار موسوم است و بیشترین سرعت انتقال حرارت را در بین مراحل مختلف داراست موقعی شروع می‌شود که درجه حرارت سطح قطعه آن قدر کاهش یافته که سبب ناپایداری لایه بخار شده و در نتیجه قطرات مایع از میان این لایه بخار ناپایدار می‌توانند با سطح فلز تماس پیدا کنند. سپس این قطرات به سرعت بخار شده و با جذب گرما از قطعه باعث سریع سردشدن آن می شوند. طول مدت و سرعت سرد شدن در این مرحله بستگی به پارامترهای مختلفی نظیر نقطه جوش مایع، صافی سطح قطعه، اندازه و شکل حبابهای بخار دارد.

مرحله جابجایی:

این مرحله به مرحله سرد شدن توسط مایع موسوم است. سرعت سردشدن در این مرحله از مراحل اول و دوم کمتر است. مرحله سوم موقعی شروع می‌شود که درجه حرارت سطح فلز از نقطه جوش سیال کوئنچ کمتر شود. در این حالت جوشیدن متوقف شده و بخار روغن ایجاد نمی شود. لذا قطعه در تماس با روغن بوده و دفع حرارت از طریق جابجایی در مایع انجام می‌گیرد. از جمله پارامترهای موثر برسرعت سرد شدن در این مرحله گرانروی مایع و اختلاف درجه حرارت قطعه و روغن می‌باشد.[۸]

روش رسم منحنی سردکنندگی

جهت رسم منحنی سردکنندگی باید از یک پروب مناسب که امکان اندازه گیری درجه حرارت را به صورت پیوسته داشته باشد استفاده نمود. پروب تا ۸۵۰°C گرم شده سپس در مایع کوئنچ فرو برده می شود و در حالیکه به صورت پیوسته تا دمای محیط سرد می‌شود دمای آن ثبت می گردد. جنس پروب باید طوری انتخاب شود که در اثر تغییرات دما استحاله فازی نداشته و حتی المقدور ضریب انتقال حرارت آن بالا باشد تا دمای سطح پروب با دمای محل تماس پروب با ترموکوپل تفاوت زیادی نداشته باشد. در مقالات و استانداردهای موجود [۷-۱] به انواع پروب از جنس نقره، آلیاژهای نیکل و فولاد زنگ‌نزن اشاره شده است. در این پروژه پروبهایی از جنس نقره و فولاد زنگ نزن ۳۰۴ مورد استفاده قرار گرفتند.

طبق استاندارد ASTM D6200 و ISO 9950 پروب باید در کوره ای با حد اکثر تغییرات دمایی±۲/۵ درجه سانتیگراد برای مدت مشخصی در دمای ۸۵۰°C قرارگیرد تا دمای پروب یکنواخت و ثابت شود. زمان انتقال پروب از داخل کوره به مخزن روغن کمتر از ۳ ثانیه بوده و دمای پروب به صورت لحظه‌ای توسط رایانه ثبت می‌گردد.

طراحی سیستم

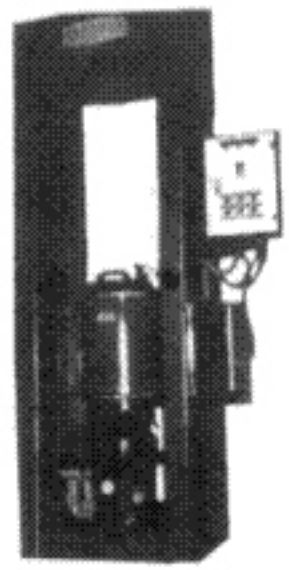
برای تامین خواسته‌های استاندارد و امکان رسم منحنی مناسب، قسمت‌های مختلف سیستم به ترتیب زیر طراحی و ساخته شده‌اند.

۱- کوره آستنیته: این کوره از نوع مقاومتی به شکل استوانه عمودی شکل بوده که دارای حداکثر دمای کاری °C ۱۲۰۰ می‌باشد. توان کوره kW ۳ است وکنترلر از نوع Shinko (با قابلیت کنترل دما تا °C ۱۲۰۰) امکان کنترل دمای کوره طبق شرایط مورد نظر را فراهم می کند. کوره دارای دو درب می باشد، یکی در بالا جهت ورود نمونه به داخل کوره ودیگری در پایین برای خروج نمونه از کوره به داخل مخزن کوئنچ. (شکل۲)

۲- سیستم انتقال پروب: این سیستم از دستگیره، چرخ دنده، دنده شانه‌ای و وزنه تعادل جهت انتقال پروب به داخل کوره و مخزن روغن تشکیل شده است که انتقال پروب از مکان مشخص در داخل کوره تا مکان مشخص در مخزن روغن را در مدت تقریباً یک ثانیه امکان پذیر می‌کند. (شکل۲)

۳- سیستم رایانه‌ای ثبت اطلاعات: این سیستم از یک کامپیوتر مجهز به کارت جمع آوری اطلاعات[1] تشکیل شده که توسط یک نرم افزار، عملیات ثبت لحظه ای درجه حرارت را انجام می دهد.

۴- ظرف روغن: جهت انجام آزمایشات کوئنچ در روغن ساکن از یک ظرف استوانه ای که حاوی دو لیتر روغن است استفاده شد.



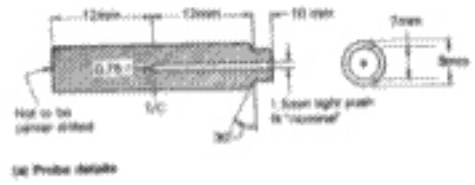
شکل۲- نمایی از سیستم ساخته شده

علاوه بر قسمتهای اصلی ذکر شده در بالا، جهت انجام آزمایشات در حالت روغن متلاطم شده، تجهیزات جانبی زیر نیز در طراحی سیستم مد نظر قرار گرفت.

۱- مخزن کوئنچ: این مخزن شامل محفظه روغن به حجم ۱۵ لیتر است که مجهز به سیستم گرم کن روغن، ترمومتر، ترموستات و پمپ سیرکولاسیون جهت آزمایشات با روغن متلاطم می باشد که در قسمت تحتانی کوره طراحی و ساخته شد. (شکل۲)

۲- کنترل دور پمپ تانک روغن[2] (شکل۲): کنترل دور با تغییردورپمپ سیرکولاسیون باعث ایجاد تلاطم دردبی‌های متفاوت میشود.

1- Advantech PCL 818L (DAS Card)
2- Inventor



شکل۳- ابعاد پروب استفاده شده جهت انجام آزمایشات

برای انجام آزمایشات اولیه دو پروب از جنس‌های نقره و فولاد زنگ نزن ۳۰۴ ساخته شدند. (شکل۳) ترموکوپل مورد استفاده از نوع K با جداره محافظ فولاد زنگ نزن به قطر mm ۱/۵ می‌باشد که داخل آن دو سیم آلومل و کرومل به وسیله پودر MgO از یکدیگر جدا و عایق بندی شده‌اند. اتصال نوک دو سیم آلومل و کرومل بدون تماس با جداره فولادی و با یک فاصله هوایی کوچک از جداره بر قرار شده است.[1] جهت ثبات ترموکوپل در سوراخ پروب از پودر نیترات نقره استفاده شد. نیترات نقره در دمای بالاتر از °C ۵۰۰ تجزیه شده و رسوب نقره باقی می‌ماند. لذا پروب تا دمای °C ۸۰۰ حرارت داده شد و پس از قرار دادن ترموکوپل در داخل سوراخ پروب، پودر نیترات نقره اطراف ترموکوپل ریخته شد. این پودر پس از تماس با پروب تجزیه شده، رسوب نقره سوراخ را پر نموده و ترموکوپل در داخل سوراخ پروب ثابت شده و تماس مناسب با پروب ایجاد می شود.

روش انجام آزمایشات

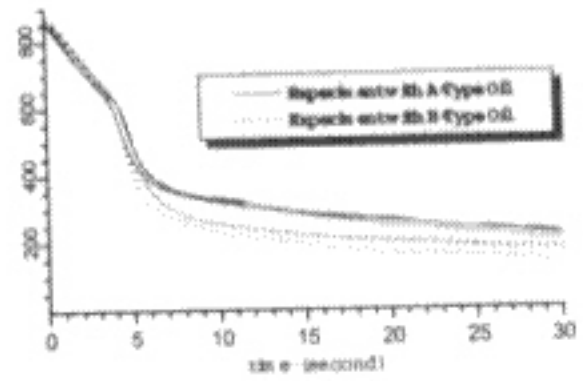
آزمایشات مطابق استانداردهای ISO و ASTM [۳ و۲] با گرم کردن نمونه تا دمای °C ۸۵۰ ، نگهداری به مدت ۵ دقیقه در این دما و سپس کوئنچ نمونه در مخزن کوئنچ بدون تلاطم وبه حجم دو لیتر انجام گرفت. نتایج آزمایش توسط سیستم ثبت درجه حرارت به صورت منحنی های درجه حرارت بر حسب زمان و سرعت سرد شدن بر حسب دما و زمان رسم شده اند. [۹]

آزمایشات اولیه با استفاده از دو پروب نقره ای و فولاد زنگ نزن در روغن A (نوع ایرانی) و روغن B (نوع آلمانی) انجام شد. در هر روغن و با هر پروب سه آزمایش انجام شد. در تمام این آزمایشات روغن به حجم دو لیتر، بدون تلاطم و در دمای °C ۲۲ مورد آزمایش قرار گرفت. روش انجام آزمایش هم در تمام آزمایشات ثابت و مشابه بود.

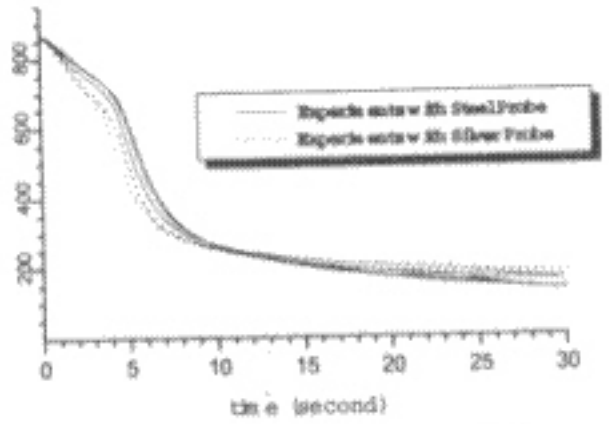
نتایج و بحث

منحنیهای سردکنندگی دو نوع روغن A و B در اشکال ۴ و۵ رسم شده اند. خواسته های استاندارد ASTM برای مقایسه این روغن ها در جدول ۱ آورده شده‌اند. با توجه به تغییرات محسوس منحنی ها در مقایسه دو نوع روغن متفاوت و همچنین استفاده از دو نوع پروب مختلف، اختلاف بسیار کم منحنی های سردکنندگی در شرایط مساوی نشان دهنده تکرارپذیری خوب آزمایشات به وسیله سیستم طراحی شده می‌باشد. البته با توجه به انجام سه آزمایش مشابه برای هر یک از شرایط در نظر گرفته شده امکان تحلیل آماری و بررسی تکرارپذیری از طریق شاخص‌های آماری امکان پذیر نبود. ولی با توجه به آزمایشهای مختلف و نتایج پروژه های دیگری که با استفاده از سیستم طراحی شده اجرا شده‌اند می‌توان به دقت سیستم طراحی شده پی برد.

1- Ungrounded Stainless Steel Shielded thermocouple



شکل۴- منحنی تکرارپذیری روغن های نوع **A** و **B** در دمای۲۲°C با پروب نقره ای



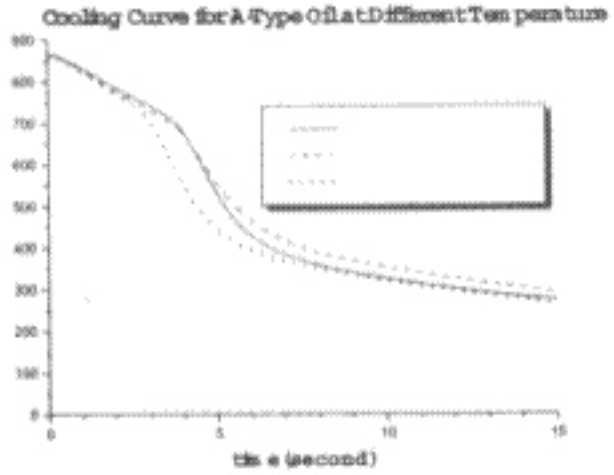
شکل۵- منحنی تکرارپذیری روغن نوع **B** در دمای۲۲°C با دو پروب فولادی و نقره ای

علمی حسینی وچالاکی[۹] با استفاده از روغن A در سه دمای۳۵°C،۲۲°C و۴۵°C تاثیر تغییرات دمای روغن را بر منحنی سردکنندگی بررسی کردند. در این آزمایشات با رسم منحنی سردکنندگی روغن A در دماهای مختلف اختلاف منحنی سردکنندگی کاملا مشخص می‌باشد (شکل۶). در این شکل می‌بینیم که زمان رسیدن دمای پروب به ۴۰۰°C برای دو روغن در دماهای۳۵°C و۴۵°C حدود ۲ ثانیه اختلاف وجود دارد در صورتیکه حداکثر اختلاف زمان برای روغن A در حالت آزمایشات تکرارپذیری (شکل۴) حدود ۰/۶ ثانیه است.(جدول۱)

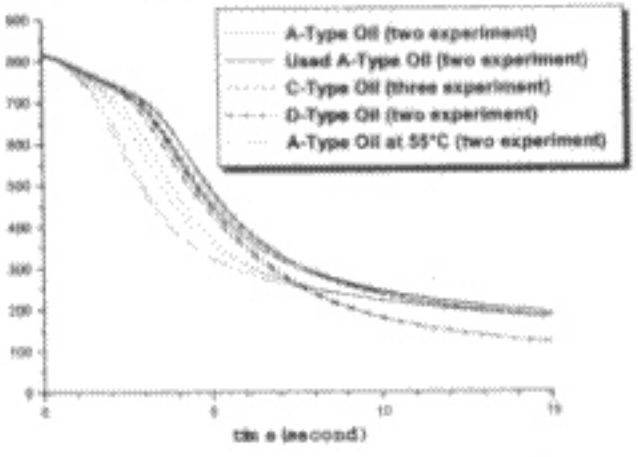
علمی حسینی وچالاکی[۹] همچنین جهت مقایسه منحنی سردکنندگی روغن های مختلف، سه نوع روغن A، C و D را انتخاب کرده و با رسم منحنی سردکنندگی آنها در دمای۲۸°C اختلاف منحنی سردکنندگی این روغن ها را نشان دادند. شکل۷ منحنی سردکنندگی روغن A با روغن سه سال کارکرده آن و نیز منحنی سردکنندگی روغن A در دو دمای۲۸°C و۵۵°C را نشان می دهد. زمان رسیدن دمای پروب به دمای ۴۰۰°C در منحنی‌های مختلف شکل۷ در حدود ۲/۵ ثانیه اختلاف دارند در صورتیکه حداکثر مقدار اختلاف زمان طبق جدول۱ در شرایط تکرارپذیری حدود ۰/۶ ثانیه بود.

جدول۱- خواسته‌های استاندارد **ASTM** جهت مقایسه منحنی‌های سردکنندگی

نوع روغن	خواسته‌های استاندارد: تعداد آزمایش	ماکزیمم سرعت سردکنندگی	دما در ماکزیمم سرعت سردکنندگی (°C)	سرعت سردکنندگی در (°C/sec) 300°C	زمان صرف شده جهت رسیدن دمای پروب به (sec) 600°C	400°C	200°C
روغن B 22°C پروب نقره‌ای	1	171.91	513.28	35	4.2	5.5	20.55
	2	160	512.25	35	3.78	5	14
	3	170.5	549.8	27.5	3.91	5.35	16.8
روغن B 22°C پروب فولادی	1	147.8	560.11	35.1	5.11	6.72	16.1
	2	152.52	566.06	33.2	4.9	6.43	15.97
	3	162.62	572.27	34.3	4.47	5.95	15.4
روغن A 22 °C پروب نقره‌ای	1	165.56	544.16	8.76	5.7	7.5	33.2
	2	155.35	529.94	8.34	4.99	6.35	34.8
	3	154.34	557.75	8.88	3.77	5.03	29.9
روغن A 22°C پروب فولادی	1	130.7	606.42	10.3	4.55	7	28.4
	2	126.66	607.46	12.32	4.4	7.16	31.47
	3	158.54	603.36	10.5	4.5	6.52	25.7



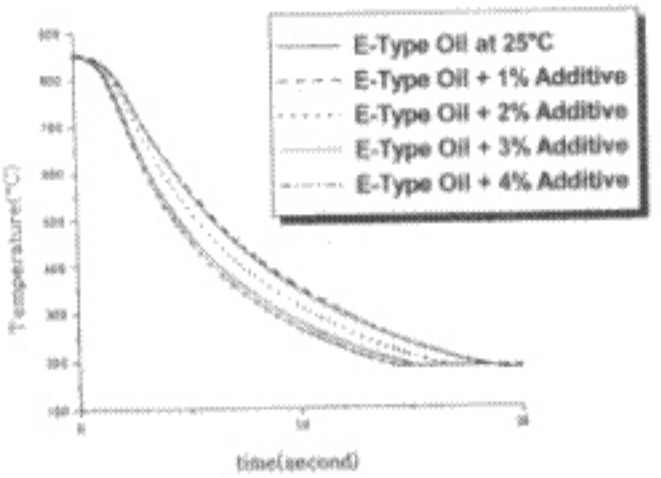
شکل۶- تاثیر تغییرات دمایی بر منحنی سردکنندگی روغن نوع A



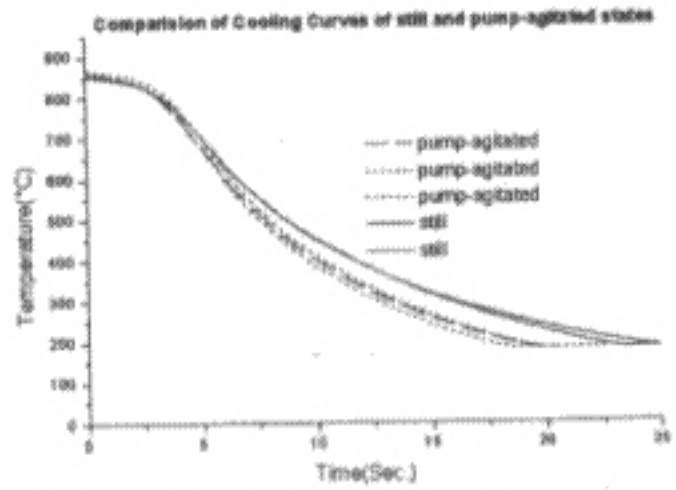
شکل۷- مقایسه منحنی سردکنندگی روغن های مختلف

برزگران و سمیع زاده[۱۰] جهت بررسی تاثیر مواد افزودنی بر منحنی سردکنندگی روغن، درصدهای مختلفی از یک ماده افزودنی را به روغن پایه E اضافه کردند که با رسم منحنی سردکنندگی روغن در هر مورد تاثیر ماده افزودنی بر منحنی سردکنندگی در دمای۲۵°C بررسی شد (شکل۸). اختلاف زمان رسیدن دمای پروب به دمای۴۰۰°C برای روغن پایه E در حالت با افزودنی و بدون افزودنی حدود ۲/۵ ثانیه است.

یزدانی و شهابی[۱۱] جهت بررسی تاثیر تلاطم بر منحنی سردکنندگی روغن، منحنی سردکنندگی روغن A را در حالت متلاطم و در دمای۳۵°C رسم کردند (۳ بار تکرار آزمایش) که این منحنی ها با منحنی سردکنندگی روغن A در حالت ساکن مقایسه شد (شکل۹). همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف زمان رسیدن دمای پروب به دمای۴۰۰°C برای روغن A در حالت متلاطم و ساکن حدود ۲/۵ ثانیه است.



شکل ۸- تاثیر ماده افزودنی خاص بر منحنی سردکنندگی روغن نوع E در دمای ۲۵°C



شکل۹- مقایسه منحنی سردکنندگی روغن نوع A در حالت های ساکن ومتلاطم شده توسط پمپ در دمای ۳۵°C

(۳آزمایش در حالت روغن ساکن و ۳ آزمایش در حالت روغن متلاطم و با دور ثابت)

منحنی‌های رسم شده برای روغن A وB (شکل۴) به وضوح اختلاف دو نوع روغن موردآزمایش را نشان می‌دهند. حال آنکه آزمایشات تکرار شده با یک نوع روغن در این شکل نتایج مشابهی را نشان می‌دهند.

منحنی‌های رسم شده با پروب نقره‌ای و فولادی (شکل۵) نشان دهنده تاثیر جنس پروب در منحنی‌های به دست آمده می‌باشد.حال آنکه اختلاف منحنی‌های تکرار شده با یک پروب بسیار کمتر می‌باشد. موارد ذکر شده حاکی از دقت مناسب دستگاه در نمایش نتایج دو نوع روغن و یا دو پروب استفاده شده و نیز تعیین قدرت سردکنندگی روغن‌ها با دقت قابل قبول می‌باشد.

خلاصه

روش‌ها و استانداردهای مختلف اندازه‌گیری سرعت سردکنندگی مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به روش های استاندارد اندازه‌گیری سرعت سردکنندگی ملزومات یک سیستم مناسب در نظرگرفته شدند.

سیستمی مبتنی بر الزامات استانداردهای اندازه‌گیری سرعت سردکنندگی طراحی و ساخته شد.

سیستم ساخته شده با پروب ها و روغن های مختلف آزمایش شد و روغن‌های عملیات حرارتی در دماهای متفاوت و شرایط مختلف تلاطم و نیز مقادیر مختلف مواد افزودنی مورد آزمایش قرار گرفتند.

در تمام آزمایشات انجام شده نتایج قابل قبول بود که حاکی از حساسیت مناسب دستگاه ساخته شده بودند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت قطعات اتومبیل ایران و شرکت قطعات محوری خراسان که هزینه خرید تجهیزات و ساخت کوره را متقبل شدند اعلام می دارند. نویسندگان همچنین لازم می دانند تا از مرکز توسعه تحقیقات و تکنولوژی شرکت ساپکو و دفتر شمال شرق این شرکت که امکان انجام این پروژه را فراهم کردند قدردانی نمایند.

مراجع

1- JIS K2242, "Heat treating oils",1997

2- ASTM D6200,"Standard test method for determination of cooling characteristics of quench oils by cooling curve analysis",1997

3- ISO 9950,"Industrial quenching oils-Determination of cooling characteristics -Nichel alloy probe test method",1995

4- Heat treatment of metels,"Measurment and evaluation of the power of quenching media for hardening",1993

5- G.E.Totten & C.E.Bates & N.A.Clinton,"Handbook of quenchants & quenching technology", 1993,PP.148,339

6- B.Liscic & H.M.Tensi & W.Luty,"Theory & technology of quenching",1992 "Heat treating",Metals Handbook, Vol.4,1981, PP. 44-45

۸- محمد علی گلعذار، اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولاد، ۱۳۷۸، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان

۹- سیدرضا علمی حسینی و روح الله چالاکی، پایان نامه کارشناسی، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۱

۱۰- وحید برزگران و محمود سمیع زاده مشهدی، پایان نامه کارشناسی، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۱

۱۱- غلامحسین یزدانی و امیر شهابی، پایان نامه کارشناسی، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۱