



تخمین مقاومت حرارتی تماسی در محل دریچه دود و نشیمنگاه یک موتور احتراق داخلی هواخنک

محمد حسن شجاعی فرد^۱، محسن مطهری نژاد^{۲*}، محمد مزیدی شرف آبادی^۳

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، mhshf@iust.ac.ir

^۲ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، mmotaharinezhad@gmail.com

^۳ پژوهشکده توسعه و بهینه‌سازی فناوری‌های انرژی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران، mazidim@ripi.ir

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۲۸ اسفند ۱۳۹۵

پذیرش: ۹ آذر ۱۳۹۶

کلیدواژه‌ها:

انتقال حرارت تماسی

دستگاه آزمایشگاهی

دریچه دود

موتور احتراق داخلی

در موتورهای احتراق داخلی، با خروج گازهای بسیار گرم از روی دریچه دود، دریچه و نشیمنگاه آن به دماهای قابل توجهی می‌رسند. برای اجتناب از آسیب رسیدن به دریچه، مطالعه روی نرخ انتقال حرارت تماسی و تأثیر متغیرهای مهم روی آن لازم و ضروری است. در این پژوهش، به تعیین مقاومت حرارتی تماسی بین دریچه دود و نشیمنگاه پرداخته شده است. بدین منظور یک دستگاه آزمون شامل بستار یک موتور احتراق داخلی هوا خنک مطابق با نیاز طراحی و ساخته شده است. آزمون‌های تجربی انجام شده و با استفاده از دماهای اندازه‌گیری شده و روش برون‌یابی خطی، دماهای سطوح در نقطه تماس و سپس مقاومت حرارتی تماسی در حالت تماس تناوبی بین دریچه دود و نشیمنگاه محاسبه گردید و اثر برخی از متغیرها از قبیل بسامد تماسی و فشار تماسی بر مقاومت حرارتی تماسی مورد مطالعه قرار گرفت. طبق نتایج بدست آمده، با افزایش فشار تماسی مقاومت حرارتی تماسی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش بسامد یا کاهش زمان تماس، مقدار مقاومت حرارتی تماسی افزایش می‌یابد. میانگین خطای محاسبه‌شده برابر با ۱۲٫۹۶٪ است.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

در موقعیت بسته دریچه، گرما عمدتاً به نشیمنگاه و سیستم خنک کاری بستار منتقل می‌شود و در حالت باز بودن دریچه، ساق دریچه مسیر عمده برای انتقال گرما می‌باشد. بدون وجود خنک کاری مناسب، در اثر تماس دریچه دود با نشیمنگاه به دلیل درجه حرارت بالای دریچه، دریچه و نشیمنگاه دچار سوختگی و تغییر شکل می‌شوند. با گذشت زمان و در اثر تماس‌های متناوب، این تغییر شکل عمدتاً سبب شکستگی در نشیمنگاه و گلولی دریچه می‌گردد. همچنین در اثر جمع شدن ذرات و به خصوص کربن در محل تماس، این مواد به صورت عایق حرارتی عمل کرده و از خنک شدن دریچه جلوگیری می‌کنند و در نتیجه مشکل سوختگی دریچه و حتی کوبش و احتراق زودرس پیش می‌آید و سبب ناقص بودن احتراق و افزایش آلودگی محیط‌زیست می‌شود. لذا با توجه به اهمیت موضوع لازم است کنترلی روی درجه حرارت دریچه دود در محل تماس صورت گیرد. در حال حاضر یک مدل مناسب برای پیش‌بینی نرخ انتقال حرارت از این محل‌ها برای موتورهای احتراق داخلی وجود ندارد.

آناند و لاناری جریان پایای روی یک مدل دریچه را در فواصل مختلف از نشیمنگاه اندازه گیری کردند. در کار آنها دریچه توسط المان‌های داغ داخل دریچه گرم شده و توسط جریان سرد اطراف دریچه خنک می‌شد. آنها با استفاده از این سیستم خنک‌کننده ساده کل نرخ انتقال حرارت را محاسبه کردند [۱]. سونادا و همکاران، استفاده از روش لوله گرمایی را برای خنک کاری دریچه دود موتورهای دیزل ارائه کردند [۲]. اورلاندا و اوزیسک آروش گردایان مزدوج را به همراه معادله الحاقی برای حل مسئله معکوس هدایت تماسی میان دو جسم با تماس متناوب مطرح کردند. دیگر پژوهشگران نیز از این روش جهت تخمین شار حرارتی عبوری از دیواره در جریان لایه‌ای داخل لوله و همچنین هدایت تماسی میان قالب و فلز مذاب در خلال شکل‌گیری استفاده کرده‌اند [۳]. هوانگ و جو روش مسئله معکوس را برای تعیین ظرفیت تماس حرارتی پرپودیک بین دریچه دود و نشیمنگاه در یک موتور احتراق داخلی ارائه کردند [۴]. چن و توان در یک کار عددی، مقدار هدایت گرمایی میان سطوح در حال تماس تناوبی را با استفاده از حل مسأله معکوس تخمین زدند. نتایج نشان داد که روش حل معکوس سریع‌تر همگرا می‌شود و دقت بالایی دارد [۵]. پارادیس^۱ و همکاران انتقال حرارت بین دریچه خروجی و نشیمنگاه را در موتور تک سیلندر آلومینیومی بررسی کردند. آنها یک مدل غیرخطی دینامیکی حرارتی را برای توصیف جریان گازها و انتقال حرارت، در حالت گذرا و پایا معرفی کردند [۶].

شجاعی فرد و نورپور روی انتقال حرارت یک بعدی در محل تماس انتهایی دو میله که محور آنها در یک امتداد بوده، مطالعه تئوری- تجربی انجام داده و در این تحقیق جهت کنترل دمای دریچه، روش شناسایی سیستم پیشنهاد شد. در این روش با داشتن درجه حرارت دو طرف محل تماس می‌توان دمای محل تماس را به روش تحلیلی تخمین زد. به همین منظور از دستگاه شبیه‌ساز تماس حرارتی دریچه استفاده شده است. فرضیات ساده‌کننده‌ای که برای این تحلیل در نظر گرفته شده، هدایت حرارتی یک بعدی، معلوم بودن درجه حرارت طرفین و صرف‌نظر از تشعشع حرارتی می‌باشد [۷].

شجاعی فرد و همکاران یک مطالعه تجربی را به منظور تعیین ضریب تماس حرارتی میان دو سیلندر هم محور همچون دریچه دود و نشیمنگاه انجام دادند. به علاوه اثر فشار تماس و فرکانس تماس بر ضریب هدایت حرارتی تماسی مورد بررسی قرار گرفت [۹]. میخایلیک^۲ و همکارانش هدایت حرارتی تماسی را در محل تماس مس-مس بدون روکش و در محیط خلأ بررسی کردند. نتیجه حاصل شده این بود که با افزایش دما هدایت تماس حرارتی در ابتدا افزایش می‌یابد، سپس بعد از رسیدن به مقداری مشخص کاهش می‌یابد [۱۰]. دانگ می و همکارانش از روش فتو ترمال لیزری که یک روش گذرا و غیر تماسی است برای اندازه‌گیری مقاومت حرارتی تماسی بین جامد و جامد استفاده کردند. از این کار نتیجه شد که مقاومت حرارتی تماسی با افزایش دما افزایش می‌یابد [۱۱]. شجاعی فرد و همکاران ضریب تماس حرارتی بین دو سطح در تماس تناوبی و ثابت با یکدیگر را بروش معکوس و برون یابی خطی محاسبه کردند. آنها نتایج بدست آمده از حل معکوس را با نتایج حاصل از روش شناخته شده برون‌یابی خطی مقایسه کردند و مطابقت خوبی بین نتایج مشاهده شد [۱۲].

در اکثر تحقیقات انجام گرفته در زمینه تماس حرارتی بین دریچه دود و نشیمنگاه آن، از دو میله استوانه‌ای به عنوان دریچه و نشیمنگاه برای مطالعه استفاده شده است. در این تحقیق از یک موتور احتراق داخلی جهت بررسی انتقال حرارت تماسی بین دریچه دود و نشیمنگاه استفاده شده و بررسی‌ها بر روی هندسه واقعی یک موتور احتراق داخلی هواخنک انجام گرفته است که کمتر تحقیقاتی بر روی مقاومت حرارت تماسی در موتورهای هواخنک گزارش شده است و اثر فرکانس تماسی و فشار تماسی بر مقاومت حرارتی تماسی مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- روش آزمون

روش تحقیق حاضر مبتنی بر مطالعه تجربی است. موتور مورد مطالعه، مربوط به موتورسیکلت طرح Wave 125 است. در این مطالعه، موتور

6 Chen

7 Tuan

8 Paradis

9 Mykhaylyk

1 Sonoda

2 Orlande

3 Ozisik

4 Huang

5 Ju



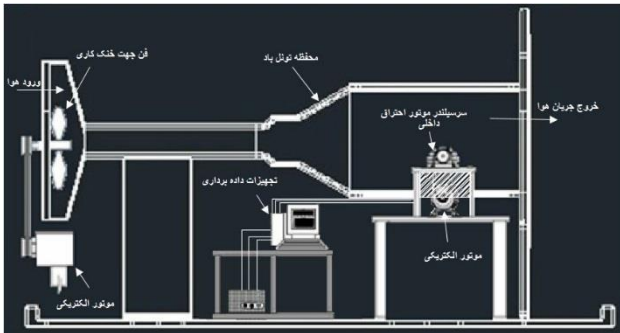
شکل ۳: بستار موتور احتراق داخلی استفاده شده

بدون احتراق بررسی گردیده و برای گرمایش دریچه دود از المنت استفاده شده است. در ادامه اجزای سخت‌افزاری دستگاه آزمایش تماس حرارتی دریچه و نشیمنگاه و روش انجام آزمایش و داده برداری به طور کامل شرح داده می‌شود. در انتها، روش برون‌یابی خطی جهت تخمین مقاومت حرارتی تماسی ارائه می‌شود.

۱-۲- شرح دستگاه تست تماس حرارتی دریچه و نشیمنگاه
با توجه به هواخنک بودن موتور احتراق داخلی مورد استفاده، جهت انجام آزمایش از اتاق آزمایش یک تونل باد استفاده شده است (شکل ۱). یک سیستم آزمایشگاهی که شامل بستار یک موتور احتراق داخلی هواخنک است، طراحی و ساخته شده است که در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده می‌شود. این سیستم به طور کلی از دو بخش مکانیکی و الکترونیکی تشکیل شده است. در ادامه جزئیات دستگاه آزمایش، شرح داده می‌شوند.

۲-۲- بخش مکانیکی

اجزاء مختلف بخش مکانیکی سیستم آزمایشگاهی تماس حرارتی در شکل (۴) نشان داده شده است.



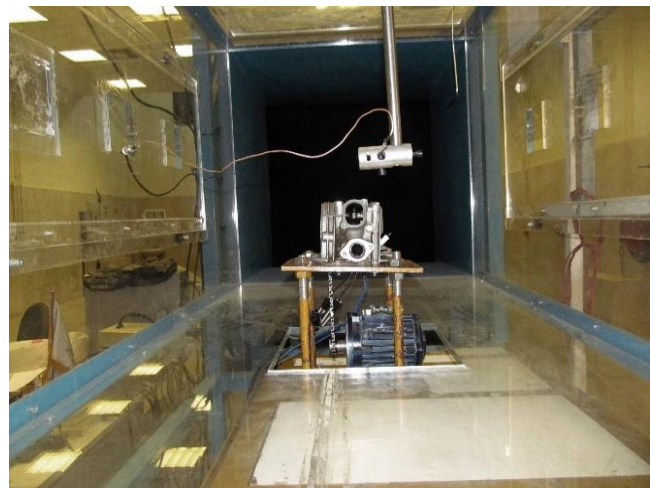
شکل ۴: شماتیک کلی سیستم آزمایشگاهی تماس حرارتی



شکل ۱: نمایش اتاق آزمایش تونل باد

دستگاه دارای یک میز کار اصلی می‌باشد. پایه‌های صفحه نگهدارنده بستار و الکتروموتور جهت گرداندن میل دریچه موتور بر روی این صفحه نصب شده است. الکتروموتور توسط یک چرخدنده و زنجیر با بستار موتور احتراق داخلی هواخنک در ارتباط است. صفحه بالایی نگهداری بستار موتور توسط چهار میله به عنوان پایه به میز کار اصلی متصل شده است. دو سر هر کدام از این پایه‌ها رزوه شده و توسط مهره بر روی صفحات نصب می‌شوند به طوری که می‌توان ارتفاع دلخواه صفحات را به کمک این مهره‌ها تنظیم کرد. جهت تراز کردن این صفحات، از تجهیزات اندازه‌گیری دقیق استفاده شده است.

در مرکز صفحه نگهدارنده بالایی سوراخی که قطر آن بیشتر از قطر محافظه احتراق موتور است، تعبیه شده است تا امکان حرکت دریچه‌ها و نصب ترموکوپل‌ها و المنت به هنگام حرکت پر بودیک وجود داشته باشد. بستار موتور احتراق داخلی به کمک چهار عدد پیچ و مهره بر روی صفحه بالا نگه داشته شده است. همچنین جهت جلوگیری از لرزش بستار از قرار دادن واشر در زیر آن استفاده شده است. صفحات میله‌های نگهدارنده از جنس فولاد می‌باشند.



شکل ۲: نمای کلی دستگاه تست تماس حرارتی دریچه و نشیمنگاه قبل از عایق کاری

دریافت و جمع‌آوری داده‌ها (دیتالاگر)، منبع تغذیه، الکتروموتور، درایو فرکانس متغیر و رایانه جهت نمایش و ذخیره‌سازی داده‌ها می‌باشند. ترموکوپل‌های استفاده شده از نوع k از جنس کرم-نیکل و با قطر ۱ میلی‌متر است. زمان پاسخ این ترموکوپل برابر با (S) ۰,۱۵ است. این ترموکوپل قابلیت اندازه‌گیری دما در محدوده دمایی ۲۰۰- تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد را دارد. این ترموکوپل دارای دقت $\pm 0,004 \times T(^{\circ}C)$ در محدوده دمایی ۴۰- تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد است. دو عدد ترموکوپل بر روی دریاچه و دو عدد دیگر بر روی نشیمنگاه تعبیه شده اند. ترموکوپل‌ها در سوراخ‌هایی به قطر ۱ میلی‌متر بر روی هر دو قسمت و به کمک چسب پلاستیک متال اچ.بی. ۳۰۰ شرکت آلمانی ویکن که تا دمای ۲۸۰ درجه سانتی گراد مقاومت حرارتی دارند، چسبانده شده‌اند. محل قرارگیری ترموکوپل‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است. سیستم داده برداری دیتالاگر TMR 7200 می‌باشد.

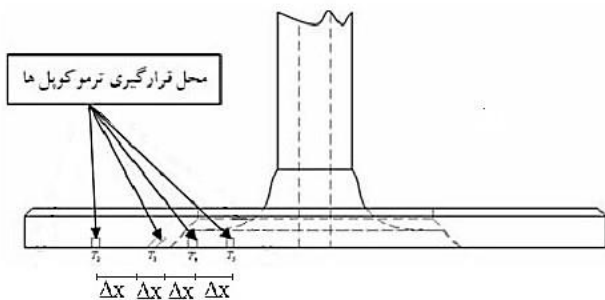
جدول ۲: خواص مکانیکی و حرارتی سردریچه دود و نشیمنگاه

[۱۳،۱۴]

ردیف	مشخصه	واحد	دریاچه	نشیمنگاه
۱	زبری سطح	μm	۴-۷	۵-۸
۲	چگالی	g/cm^3	۷۷۰۰	۷۲۰۰
۳	هدایت حرارتی	$W/m.k$	۱۴,۵	۲۵
۴	ظرفیت حرارتی	$J/g.K$	۰,۴۵	۰,۵۰
۵	قطر کلگی دریاچه	mm	۲۱	-
۶	قطر ساق دریاچه	mm	۵	-
۷	طول دریاچه	mm	۷۱,۸	-
۸	سطح تقریبی تماس دریاچه و نشیمنگاه	mm^2	۴۵,۲	-

۳- آماده سازی

راهکار استفاده شده برای تعبیه المنت، ترموکوپل‌ها و خروج سیم‌های ترموکوپل‌ها در شکل ۵ و ۶ نشان داده شده است. همچنین به جهت سوراخ‌کاری دریاچه و نشیمنگاه، از روش سوراخ‌کاری سوپر دریل استفاده شده است.



شکل ۵: محل قرارگیری ترموکوپل‌ها

به منظور ایجاد حرکت تناوبی و بررسی اثر فرکانس تماسی روی انتقال حرارت تماسی از یک موتور الکتریکی جریان متناوب سه فاز مدل TameS.R با حداقل دور ۱rpm و حداکثر دور ۱۴۰۰rpm و توان بیشینه ۰,۰۶ kW استفاده شده است. میل بادامک موتور احتراق داخلی توسط یک چرخنده و زنجیر از چرخنده تعبیه شده روی میل محرک موتور الکتریکی توان می‌گیرد. همچنین به منظور کنترل دور موتور از یک درایو فرکانس متغیر مدل VFD022B21A استفاده شده است. جهت گرم کردن دریاچه، از یک المنت الکتریکی فشنگی به طول ۶۰mm و قطر ۴mm و با توان بیشینه ۲۸۰W و ولتاژ ۲۳۰V استفاده شده است. این گرمکن در قسمت سر و داخل دریاچه نصب شده است. در این حالت، کل توان گرمکن صرف گرم کردن سردریچه می‌شود. به دلیل قرار گرفتن گرمکن در وسط دریاچه، شار حرارتی به صورت متقارن در کلگی دریاچه پخش می‌شود. جهت خنک کاری نشیمنگاه، با توجه به هواخنک بودن موتور از جریان هوا روی بستار استفاده شده است. همچنین به جهت اندازه‌گیری سرعت جریان هوا از جریان سنج سیم داغ استفاده شده است. موتور استفاده شده در این مطالعه یک موتور هواخنک موتورسیکلت طرح Wave 125 است. مشخصات فنی این موتور در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات موتور احتراق داخلی [۱۳،۱۴]

ردیف	مشخصه	مقدار	واحد
۱	تعداد سیلندرها	۱	-
۲	قطر داخلی سیلندر	۵۲,۴	mm
۳	مرحله	۵۷,۹	mm
۴	حجم جابجایی	۱۲۴,۸	cm ³
۵	نسبت تراکم	۹,۳	-
۶	بیشینه توان	۹,۴	kW
۷	دور در توان حداکثری	۷۵۰۰	rpm
۸	بیشینه گشتاور	۱۰,۴	Nm
۹	دور در گشتاور حداکثری	۵۰۰۰	rpm
۱۰	تعداد دریاچه در سیلندر	۲	-
۱۱	نوع سوخت	بنزین	-
۱۲	سامانه سوخت‌رسانی	افشانه‌ای	-

جنس نشیمنگاه و دریاچه، فولاد می‌باشد و خواص مکانیکی و ترموفیزیکی آن‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است.

۳-۲- بخش الکترونیکی

اجزاء به کار رفته در این قسمت عبارت از ترموکوپل (به عنوان مبدل حرارت به سیگنال الکتریکی)، المنت (جهت گرمایش دریاچه)، دستگاه

ومحل ریزتماسها. همچنین شرایط مرزی ریزتماسها یعنی دما ثابت یا شار ثابت نیز شناخته شده نیست. بنابراین علاوه بر فرضیات مکانیکی و هندسی باید براساس اصول و فرضیات زیر بنا شوند:

- نمونه‌های تماسی در محل تماس همگن بوده و پارامترهای ترموفیزیکی ثابت فرض می‌شود.
- سطوح تماسی نسبت به زبری ضخیم می‌باشند.
- سطوح تماس تمیز هستند.
- انتقال حرارت تابشی ناچیز است.
- انتقال حرارت پایدار در سطوح تماس برقرار است.
- سطوح تماس تخت بوده و این موضوع توجیه‌پذیر است چون سطوح شیب بسیار کمی دارند.

- انتقال حرارت در نعلبکی دریاچه و نشیمنگاه آن تنها در جهت شعاعی (تک بعدی) فرض می‌شود. بدلیل تقارن، در جهت θ نیز انتقال حرارت نخواهیم داشت.

- گرمایش دریاچه از طریق گرمکن فشنگی که داخل آن تعبیه میشود، صورت می‌پذیرد.
- آزمایش در دورها و دماهای پایین تر نسبت به شرایط واقعی صورت می‌گیرد.

۶- روش برون‌یابی خطی

دلیل اصلی برای مقاومت تماسی این است که سطح تماس واقعی بین دو ماده در تماس تنها بخش کوچکی از سطح تماس ظاهری است. در حالت کلی، مقاومت حرارتی تماسی تابعی پیچیده از یک سری پارامترهاست که برخی از آن‌ها شامل ویژگی‌های دو ماده در حال تماس و برخی پارامترهای متغیر خارجی شامل هندسه مواد جامد در حال تماس، ضخامت شکاف تهی بین دو سطح، هدایت حرارتی مواد در حال تماس، سختی سطحی یا مقاومت تسلیم مواد تماسی، مدول الاستیسیته مواد تماسی، دمای متوسط تداخل، ضریب خطی بسط گرمایی، ماده در محل تداخل گرمایی، فشار تماس، فشار گاز، شار حرارتی، تفاوت سطوح و خواص مواد می‌باشد. مقاومت حرارتی تماسی به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۶].

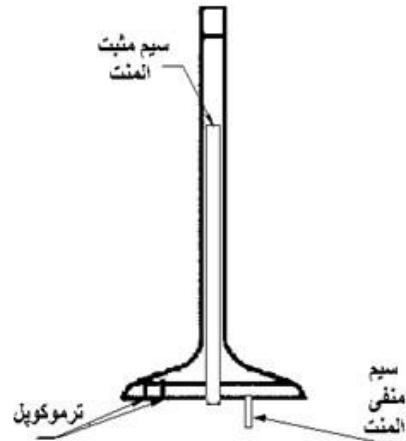
$$R_{t,c}'' = \frac{T_1 - T_2}{q_x''} \quad (1)$$

که در آن، q_x'' شار حرارتی عبوری از سطح تماس، T_1 و T_2 دماهای سطوح تماسی و $R_{t,c}''$ مقاومت حرارتی تماسی، می‌باشند.

مقدار شار عبوری از سطح تماس عبارتست از

$$q_x'' = \frac{(k \frac{dT}{dx})_{Seat} + (k \frac{dT}{dx})_{Valve}}{2} \quad (2)$$

که در آن $\frac{dT}{dx}$ توزیع دما، k ضریب هدایت حرارتی و q_x'' شار عبوری از محل تماس را نشان می‌دهد. برای بدست آوردن دمای سطوح تماسی در هر لحظه، با استفاده از روش برون‌یابی خطی، دماهای خوانده‌شده



شکل ۶: راهکار تعبیه ترموکوپل‌ها و المنت روی دریاچه دود

۴- روش انجام آزمایش

آزمایش‌ها برای حالت پریرودیک (تماس تناوبی) انجام شده است. در هر حالت آزمایش از دمای محیط شروع شده و تا رسیدن به حالت شبه پایا ادامه پیدا می‌کند. ذکر این نکته ضروری است که چون در طول هر سیکل دما همیشه تابعی از زمان است، هیچ‌گاه یک حالت پایدار واقعی حاصل نمی‌گردد. در اینجا یک حالت شبه پایدار چنان تعریف می‌شود که $T(x,t)$ برای سیکل n ، مشابه $T(x,t)$ برای سیکل $n+1$ (و سیکل‌های بعدی) باشد، در جایی که t از لحظه شروع سیکل اندازه‌گیری می‌شود.

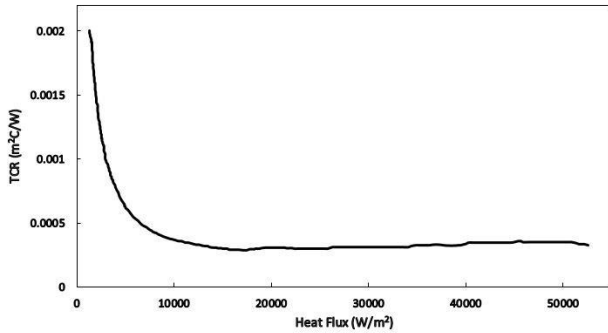
انجام تست‌ها به این‌گونه می‌باشد که با راه‌اندازی فن جهت خنک کاری، هیتر روشن شده و بلافاصله استارت داده‌برداری زده می‌شود. در هر مورد، شار حرارتی یکسان q'' ، به دریاچه اعمال می‌شود. پس از رسیدن به حالت پایا، داده‌برداری متوقف می‌شود. از آنجا که دماهای ترموکوپل‌ها قابل مشاهده می‌باشد، زمانیکه تغییرات دما ناچیز باشد، داده برداری متوقف می‌شود.

۴-۱- کالیبراسیون

در این مطالعه ترموکوپل‌های تعبیه‌شده در دریاچه و نشیمنگاه از جمله ابزارهای اندازه‌گیری هستند که باید از دقت اندازه‌گیری آن‌ها حصول اطمینان شود. با توجه به کارکرد ترموکوپل‌ها براساس پدیده سی‌بک، صحیح‌ترین شیوه کالیبره کردن آن‌ها بیان مقادیر قابل نمایش آن‌ها بر حسب میلی‌ولت یا میکروولت و سپس تبدیل آن‌ها به مقادیر دما بر حسب سیلیسیوس از روی نمودارها و جداول استاندارد ترموکوپل مورد نظر است [۱۵].

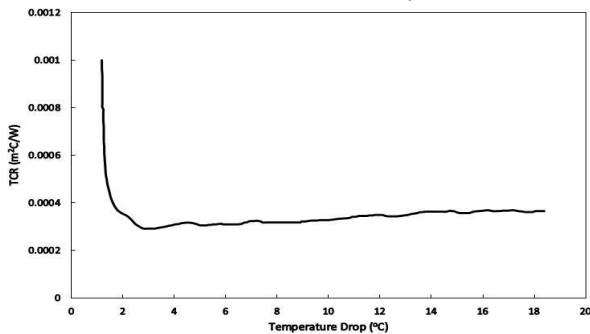
۵- فرضیات ساده‌کننده

به دلیل پیچیدگی ذاتی مسائل انتقال حرارت تماسی استفاده از فرضیات به منظور ساده‌سازی و توسعه مدل‌های ترموفیزیکی ضروری است. این پیچیدگی‌ها عبارتند از مقاومت‌های تماسی، توزیع تصادفی اندازه، شکل



شکل ۱۰: نمودار تغییرات مقاومت حرارتی تماس بر حسب شار

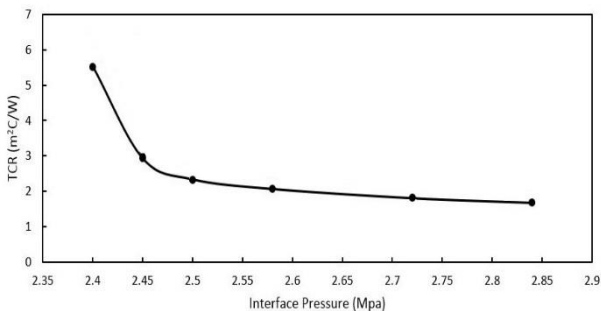
حرارتی بین سطوح در حالت تماس پریودیک با فرکانس ۲۱۰ rpm (شار حرارتی $190 \text{ Kw}/\text{m}^2$ و سرعت باد 10 km/h)



شکل ۱۱: نمودار تغییرات مقاومت حرارتی تماس بر حسب تغییرات

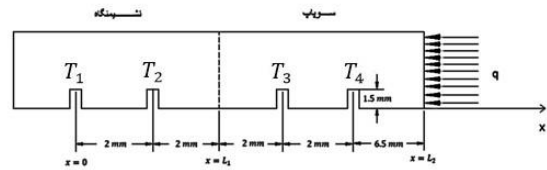
افت دمای بین سطوح در حالت تماس پریودیک با فرکانس ۲۱۰ rpm (شار حرارتی $190 \text{ Kw}/\text{m}^2$ و سرعت باد 10 km/h)

فشار تماسی یک پارامتر مهم و تأثیرگذار روی مقاومت حرارتی تماس است. به منظور مشاهده تأثیر فشار تماسی بر روی مقاومت حرارتی تماسی، ۶ آزمایش با فشار تماسی مختلف طراحی شد. نمودار تغییرات مقاومت حرارتی تماسی در حالت شبه پایدار با فشارهای مختلف تماسی در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد با افزایش فشار تماسی مقاومت حرارتی تماسی کاهش می‌یابد. دلیل این است که با افزایش فشار تماسی، تعداد نقاط تماسی بین دو سطح در حال تماس افزایش و در نتیجه اختلاف دمای بین دو سطح کاهش و مطابق با تعریف مقاومت حرارتی تماسی کاهش می‌یابد.



شکل ۱۲: تغییرات مقاومت حرارتی تماسی بر حسب فشار تماسی در حالت شبه-پایدار (تماس ثابت، شار حرارتی $140 \text{ Kw}/\text{m}^2$ و سرعت باد 10 km/h)

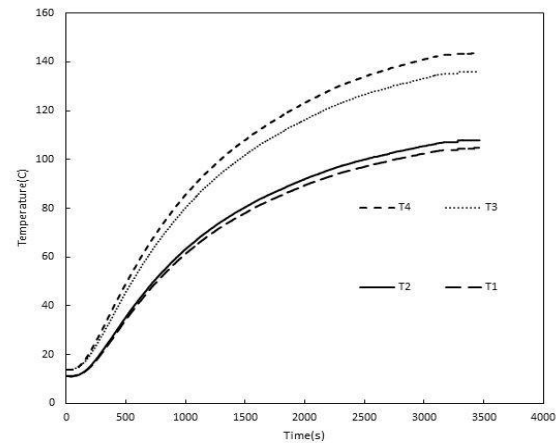
توسط ترموکوپل‌ها را به صورت تابعی از مکان تقریب می‌زنیم و تابع توزیع دما درون هر یک از دریچه و نشیمنگاه را بدست می‌آوریم. هندسه و مختصات مسئله در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷: هندسه و مختصات مسئله

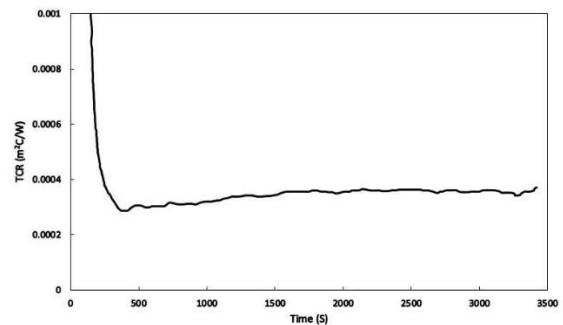
۷- بحث بر روی نتایج

در شکل (۸) یک مورد از داده‌های ثبت‌شده از زمان شروع آزمایش تا رسیدن به حالت شبه-پایدار برای تماس پریودیک با سرعت دورانی ۲۱۰ rpm با توجه به هندسه مسئله در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۸: توزیع دما در دریچه و نشیمنگاه برای تماس پریودیک با فرکانس ۲۱۰ rpm

منحنی تغییرات مقاومت حرارتی تماسی بر حسب زمان، شار حرارتی عبوری از سطوح تماسی و افت دمای بین سطوح به ترتیب در شکل‌های (۹)، (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقاومت حرارتی در محل تماس در ابتدا زیاد بوده و به تدریج کاهش می‌یابد تا به حالت شبه پایدار برسد.



شکل ۹: تغییرات مقاومت حرارتی تماس بر حسب زمان در حالت تماس نوسانی با فرکانس ۲۱۰ rpm (شار حرارتی $190 \text{ Kw}/\text{m}^2$ و سرعت باد 10 km/h)

حداکثر خطای محاسبه ضریب هدایت حرارتی تماسی برابر ۲۱،۱۹٪ و حداقل آن برابر ۴،۷۳٪ است و میانگین خطای محاسبه شده برابر با ۱۲،۹۶٪ است.

نتیجه گیری

در تحقیق انجام آزمایش‌ها با هدف تحلیل حرارتی دریچه دود در یک نمونه موتور احتراق داخلی هوا خنک نوع Wave 125 و مشاهده اثرات تغییر برخی پارامترها مانند فرکانس تماسی و فشار تماسی بر نرخ انتقال حرارت تماسی و مقاومت حرارتی تماسی در حالت تماس پریودیک انجام گرفته است. برای بررسی اثر تغییر پارامترهای مختلف، داده برداری‌ها تا رسیدن به حالت شبه پایا برای تماس پریودیک انجام گرفته است. نتایج حاصله را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود.

۱. با توجه به ماهیت موتورهای احتراق داخلی، مدت زمان تماس میان دریچه و نشیمنگاه بسیار کوتاه بوده و زمان زیادی لازم است تا در حالت تماس پریودیک دریچه و نشیمنگاه شرایط شبه-پایدار حاصل گردد.
 ۲. در بررسی اثر فرکانس تماسی روی مقاومت حرارتی تماسی مشاهده می‌شود که با افزایش فرکانس یا کاهش زمان تماس، مقدار مقاومت حرارتی تماسی افزایش می‌یابد که دلیل آن این است که با افزایش فرکانس، زمان تماس بین دریچه و نشیمنگاه کاهش یافته و در نتیجه اختلاف دمای بین سطوح زیاد شده و چون مقاومت حرارتی تماسی با اختلاف دمای بین سطوح رابطه مستقیم دارد، مقدار مقاومت حرارتی تماسی افزایش می‌یابد.

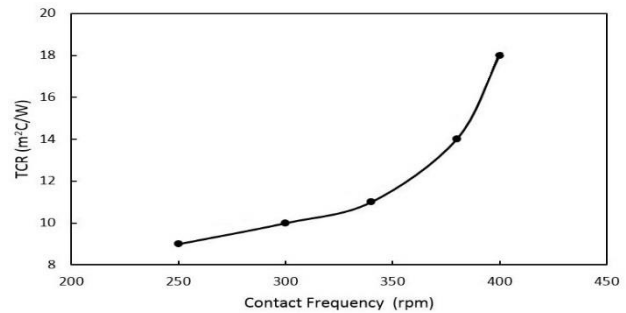
۳. مقاومت حرارتی تماسی مقاومت حرارتی در محل تماس در ابتدا زیاد بوده و به تدریج با گذشت افزایش زمان کاهش می‌یابد تا به حالت شبه پایا برسد.

۴. میزان مقاومت حرارتی تماسی نباید برای تماس‌های کوتاه مدت ثابت در نظر گرفته شود. بلکه نسبتاً سیکل‌های زیادی برای توزیع دما مورد نیاز است تا مقدار آن به حالت شبه پایا نزدیک شود.

فهرست علائم

k	ضریب هدایت حرارتی، $W/m^{\circ}C$
L	طول، m
q''_x	شار حرارتی، W/m^2
R_C	مقاومت حرارتی تماسی، m^2C/W
T	دما، $^{\circ}C$
x	متغیر مستقل
W_R	میزان عدم قطعیت
W_{R_C}	خطای محاسبه مقاومت حرارتی تماسی
$W_{q''_C}$	خطای ناشی از محاسبه شار حرارتی
$W_{T_{C2}}$ و $W_{T_{C1}}$	خطاهای محاسبه افت دما در محل تماس

منحنی تغییرات مقاومت حرارتی تماسی برای حالت شبه پایدار برای فرکانس‌های تماسی مختلف در شکل (۱۳) نشان داده شده است. دیده می‌شود که با افزایش فرکانس یا کاهش زمان تماس، مقدار مقاومت حرارتی تماسی افزایش می‌یابد که دلیل آن این است که با افزایش فرکانس، زمان تماس بین دریچه و نشیمنگاه کاهش یافته و در نتیجه اختلاف دمای بین دو سطح زیاد می‌شود و در نتیجه طبق رابطه (۱) مقدار آن افزایش می‌یابد.



شکل ۱۳: تغییرات مقاومت حرارتی تماسی بر حسب فرکانس تماسی در حالت شبه-پایدار

(شار حرارتی $140 \text{ Kw}/m^2$ و سرعت باد 10 km/h)

۸- تحلیل خطا

در این بخش خطای موجود در اندازه‌گیری آزمایشگاهی مقاومت حرارتی تماسی محاسبه شده است. فرض کنید R تابعی از متغیرهای مستقل X_1, X_2, \dots, X_n باشد [۱۷]، بنابراین

$$R = R(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (3)$$

همچنین W_R میزان عدم قطعیت در نتیجه و W_1, W_2, \dots, W_n خطای متغیرهای مستقل باشند، بر طبق روش تحلیل خطای دیفرانسیلی داریم

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

خطای مربوط به محاسبه دمای محل تماس، نتیجه خطاهای مربوط به ترموکوپل و دماهای برونمایی شده می‌باشد. با استفاده از روش تحلیل خطای دیفرانسیلی خطای محاسبه مقاومت حرارتی تماسی با رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$W_{R_C} = \left[\left(\frac{\partial R_C}{\partial q''_C} W_{q''_C} \right)^2 + \left(\frac{\partial R_C}{\partial T_{C1}} W_{T_{C1}} \right)^2 + \left(\frac{\partial R_C}{\partial T_{C2}} W_{T_{C2}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

که در این رابطه W_{R_C} خطای محاسبه مقاومت حرارتی تماسی، $W_{q''_C}$ خطای ناشی از محاسبه شار حرارتی، $W_{T_{C1}}$ و $W_{T_{C2}}$ خطای مربوط به محاسبه افت دما در محل تماس می‌باشند. خطاهای بدست آمده از داده‌های آزمایشگاهی برای شرایط مختلف آزمایش نشان می‌دهند که

مراجع

- [8] M. H. Shojaefard, M. Ghaffarpour and A. R. Noorpoor, Thermal Contact Analysis Using Identification Method, Heat Transfer Engineering, Vol. 29, No. 1, pp. 85-96, 2008
- [9] K. Goudarzi, M. H. Shojaefard and M. Fazelpour, Effect of Contact Pressure and Frequency on Contact Heat Transfer between Exhaust Valve and Its Seat, International Journal of Engineering Transactions B: Applications, Vol. 21, No. 4, pp. 401-408, 2008
- [10] V. B. Mykhaylyk, M. Burt, C. Ursachi and A. Wagner, Thermal Contact Conductance of Demountable in Vacuum Copper-copper Joint between 14 and 100 K, Review of Scientific Instruments, Vol. 83, No. 3, pp. 034902:1-6, 2012
- [11] B. Dongmei, C. Huanxin and Y. Tian, Influences of Temperature and Contact Pressure on Thermal Contact Resistance at Interfaces at Cryogenic Temperatures, Cryogenics, Vol. 52, No. 7-9, pp. 403-409, 2012
- [12] M. H. Shojaefard, M. Sh. Mazidi and V. Kh. Mousapour, The Estimation of Time-varying Thermal Contact Conductance between Two Fix Contacting Surfaces, Mechanika, Vol. 19, No. 2, pp. 167-171, 2013
- [13] Honda Wave 125X Ultimate Specifications, <http://www.motorcycle.in.th>
- [14] Stahlschlüssel, Key to steel, The worldwide competent cross reference work 23, Edition 2013
- [15] G. W. Burns and M. G. Scroger, The calibration of thermocouples and thermocouple materials, National Institute of Standard and Technology (NIST) Special Publication 250-35, Washington, 1989
- [16] Y. A. Cengel and R. H. Turner, Fundamentals of thermal-fluid sciences, International Edition, McGraw-Hill, Singapore, 2001
- [17] J. P. Holman, Experimental methods for engineers, 7th Edition, McGraw-Hill, London, 2001
- [1] W. J. D. Annand and R. S. Lanary, Heat Transfer Measurements on a Simple Model Representing a Poppet Exhaust Valve in an Outflowing Stream, Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 12, No.3, pp. 223-229, 1970
- [2] K. Sonoda, I. Iwasita, K. Kobayasi, H. Nakasi and N. Yao, Heat Pipe Cooling of Exhaust Valve for Improvement in Hot Corrosion Resistibility, Journal of the Marine Engineering Society in Japan, Vol. 24, No. 9, pp. 404-410, 1989
- [3] H. R. B. Orlande and M. N. Ozisik, Inverse Problem of Estimating Interface Conductance between Periodically Contacting Surfaces, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 7, No. 2, pp. 319-325, 1993
- [4] C. H. Huang and T. M. Ju, An Inverse Problem of Simultaneously Estimating Contact Conductance and Heat Transfer Coefficient of Exhaust Gases between Engine's Exhaust Valve and Seat, International Journal for Numerical Method in Engineering, Vol. 38, No. 5, pp. 735-754, 1995
- [5] T. C. Chen and P. C. Tuan, Inverse Problem of Estimating Interface Conductance between Periodically Contacting Surfaces Using the Weighting Input Estimation Method, Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals, Vol. 41, No. 5, pp. 477-492, 2002
- [6] W. Paradis, J. R. Wagner and E. E. Marotta, Thermal Periodic Contact of Exhaust Valves in Spark Ignition Air-Cooled Engines, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 16, No. 3, pp. 356-365, 2002
- [7] A. R. Noorpoor, Theoretical and Experimental Analysis on Thermal Contact (Exhaust Valve), Ph.D. Thesis, School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, 2006



Estimation of Thermal Contact Resistance between Exhaust Valve and Its Seat of an Air-Cooled Internal Combustion Engine

M. H. Shojaeefard¹, M. Motahari Nezhad^{2*}, M. Mazidi Sharafabadi³

¹Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, mhshf@iust.ac.ir

²Young Researchers and Elite Club, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mmotaharinezhad@gmail.com

³Development and Optimization of Energy Technologies Division, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Tehran, Iran, mazidim@ripi.ir

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 18 March 2016

Accepted: 30 November 2017

Keywords:

Contact heat transfer

Experimental setup

Exhaust valve

Internal combustion engine

ABSTRACT

In internal combustion engines, exhaust valve and its seat gain considerable temperature as the hot gases exit through the exhaust valves. To avoid damage to the valve, the rate of heat transfer should be under control. Because the main part of heat during the contact of the valve and seat transfers through conduction, study on thermal contact conductance and the effect of important parameters on TCR is necessary. In this study, the thermal contact resistance between exhaust valve and seat has been estimated. To accomplish this, a test device including an Air-Cooled internal combustion engine cylinder head was designed and built. This analysis is based on the measured temperatures of sensors located in specific locations of the exhaust valve and the seat. Using the measured temperatures and the method of linear extrapolation, the surface contact temperatures and periodic thermal contact resistance were calculated and the effects of some parameters such as contact frequency and contact pressure on TCR were examined. According to the results, increasing the contact pressure decreases TCR. Also, increasing the contact frequency, TCR increases. The average calculated error is 12.96%.

