تحلیل خرابی خوردگی استوانه موتور دیزل دریایی در دوره انبارداری؛ ص ۵۹-۶۹

سید وحید حسینی[۱]، علی اکبر ثقفی[۲]، عقیل کاظمی الموتی[۳]

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸

چکیده

بسیاری از موتورهای دریایی، ممکن است قبل و یا بعد از استفاده به‌منظور تعمیرات، شروع فصل سرما و یا به دلایل متعدد دیگری برای مدت زمان مشخصی مورد استفاده قرار نگیرند. از آنجا که بعضی از قسمتهای فلزی موتور و تجهیزات جانبی، در برابر خوردگی مقاوم نیستند و در طول دوره انبارداری، در زمان عدم کارکرد موتور به روغن یا مواد محافظ آغشته نمی‌شوند، نیاز است که حتماً فرآیندهای موردنیاز حفاظت از موتور در دوره انبارداری بدرستی انجام پذیرد. این تحقیق به بررسی علل خرابی ناشی از خوردگی در استوانه (لاینر) موتور دیزل دریایی می پردازد. در این مقاله، ابتدا به فرآیند حفاظت از موتورهای دریایی و روش‌های مختلفی که برای این کار در نظر گرفته می‌شود، پرداخته می شود. سپس با پرداختن به استوانه سیلندر موتور دیزل دریایی تخریب شده به دلیل فرایند خوردگی در دوره انبارداری، تأثیر عدم انجام صحیح فرآیند حفاظت از موتور بر خرابی آن بررسی می‌شود. نتایج نشان می دهد که عدم تخلیه کامل سیال خنک کننده از فضای بین استوانه و سیلندر و همچنین وارد شدن رطوبت محیط به داخل محفظه نگهداری موتور به دلیل پاره کردن فویل محافظ آلومینیومی از دلایل اصلی خوردگی اتمسفری در این استوانه موتور دیزل دریایی به حساب می آیند.

واژگان کلیدی: تحلیل خرابی، حفاظت و انبارداری موتور، خوردگی، استوانه سیلندر، موتور دیزل دریایی

۱ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک، دانشگاه صنعتی شاهرود. (نویسنده مسئول) / v_hosseini@shahroodut.ac.ir

۲ کارشناس ارشد مهندسی مواد، شرکت توسعه قوای محرکه دینا. / a_saghafi@dinamotors.com

۳ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، معاونت آماد و پشتیبانی نیروی دریایی سپاه. / 541354@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه و بیان مسئله

در شرایط کاربری دریایی بسیاری از شناورها در فصول سرد سال مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. از طرف دیگر شناورهای با کاربری‌های نظامی-انتظامی، در بعضی از اوقات برای مدت طولانی بدون استفاده هستند. اگر چه در دوره انبارداری، موتورهای این شناورها مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، ولی عوامل مختلفی از جمله خوردگی، ورود گرد و خاک، رسوب بعضی از محلول‌ها در مدار سوخت یا خنک کاری و ... می‌تواند به موتور آسیب وارد کند. در نتیجه اجرای درست فرایند حفاظت[1] در دوره انبارداری ضروری به نظر می‌رسد. بعضی از طراحان و سازندگان معتبر موتورها، دستورالعمل‌هایی برای نحوه فرایند حفاظت موتورها ارائه کرده‌اند.

رطوبت نسبی یکی از مهم‌ترین دلایل تأثیرگذار بر خوردگی فلزات می‌باشد. میسکویک[2](۲۰۰۵) در تحقیقی که بر روی موتورهای حفظ شده در انبار انجام داد، نشان داد که رطوبت بحرانی برای فولادها ۶۰ درصد است و در صورت وجود SO_2 میزان رطوبت بحرانی به شدت کاهش می‌یابد در حالی‌که در عمل میزان رطوبت نسبی بین ۳۰ تا ۵۰ درصد می‌باشد. سرعت خوردگی نیز به نوع گازهای موجود در هوا از جمله آمونیوم، سولفید هیدروژن و ... بستگی دارد. از طرفی وجود دیگر گازها در محیط نظیر هیدروکلریک بر نرخ خوردگی و دمای محیط بر زمان خوردگی می تواند اثرگذار باشد. هم‌چنین در حین فرآیند انبارداری، موتورهایی که تحت محافظت قرار گرفته‌اند، دما باید کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس باشد. ونگ و همکاران[3](۲۰۱۳) در تحقیقی تأثیر ترکیب شیمیایی مختلف فولاد و شرایط محیطی بر رفتار خوردگی فولاد را بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان خوردگی فولاد به دلیل افزودنی‌های آلیاژی مانند فسفر، نیکل، کروم در مقایسه با ترکیب آن با کربن کمتر بود. یوانتای و همکاران[4](۲۰۱۶) در تحقیقی سینتیک خوردگی فولاد کم کربن را طی یک دوره ۳۶ ماهه در محیط های دریایی و صنعتی با اندازه گیری کاهش وزن مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که فرآیند خوردگی در محیط های دریایی با محتوای یون کلرید بالا و رطوبت نسبی بالا به شدت افزایش می‌یابد در حالی که هیچ تغییری در محیط های صنعتی مشاهده نشده است. سانتانا و همکاران[5](۲۰۰۲) مطالعه ای به منظور شناسایی عناصر مختلف تشکیل دهنده لایه خوردگی که از

1 Preservation Process
2 Miskovic
3 Wang et.all
4 Youantai et.all
5 Santana et.all

www.SID.ir

Archive of SID

جنس فولاد بود انجام دادند. تجزیه و تحلیل XRD و SEM به منظور شناسایی و توصیف محصولات حاصل از خوردگی در شرایط مختلف جوی اعم از روستایی، شهری، دریایی و صنعتی صورت گرفت.

استوانه[1] (لاینر یا بوش سیلندر) موتور دیزل یکی از قطعات حساس موتورهای دیزل بحساب می‌آید. از آنجا که اتاق احتراق در داخل استوانه قرار دارد، تنش‌های حرارتی و مکانیکی زیادی به این قطعه وارد می‌شود. در استوانه‌های بوش‌تر، خستگی کم چرخه با خوردگی همراه است و این امر شرایط را بدتر می‌کند. از این رو احتمال خوردگی تنشی و خوردگی خستگی در نواحی تمرکز تنش مانند شیارها و شکافهای همبندی بیشتر می‌شود. اگرچه در این ا ستوانه‌ها عموما تخریب کامل مشاهده نمی‌شود اما اندازهٔ (وسعت) ایجاد ترک یا خوردگی به گونه‌ای اســـت که با تعمیرات کم هزینه برطرف نمی‌شـــود. از این رو در بسیاری از فرایندهای تعمیرات و نگهداری اســـتوانه‌ها تعویض می‌شوند.

خرابی‌های متنوع و زیادی در استوانه‌های موتورهای دیزل اتفاق می‌افتد. رضایی در سال ۱۳۹۴ تحلیل خرابی ترک خوردگی یک استوانه موتور دیزل دریایی را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که پدیده کاویتاسیون می‌تواند بر رشد ترک در استوانه‌ها تاثیرگذار باشد (رضایی، ۸۱:۹۴). همچنین علی‌اکبری در سال ۱۳۹۷ خرابی بوش سیلندر موتور دیزل را بررسی کرد و نشان داد که پوشش بر مقاومت به خوردگی استوانه تاثیرگذار است (علی‌اکبری؛ ۲۱،۹۷). در مقاله حاضر فرآیند تحلیل خرابی موتورهای دیزل دریایی در فرایند نگهداری در انبار مورد مطالعه قرار می‌گیرد و عوامل مؤثر بر خوردگی استوانه موتورها شناسایی و راه حل هایی برای بهبود و یا برطرف کردن این عوامل ارائه می‌گردد.

مبانی نظری

فرایند حفاظت از موتور

حفاظت، به منظور جلوگیری از تخریب ماده، حین دوره‌ای که موتور کارکردی ندارد، ضروری می‌باشد و تجهیزات موتور به دلیل تأثیر ناخواسته شرایط محیطی واقعی، باید تحت حفاظت قرار بگیرند. روش نگهداری بهینه زمانی حاصل می‌شود که نسبت سرمایه به نتیجه، خوب و معقول باشد. عوامل زیادی در انتخاب روش نگهداری مناسب مؤثر هستند که در این میان می‌توان به زمان نگهداری، شرایط نگهداری، ساختمان تجهیزات، زمان مورد نیاز برای حفاظت/ عدم حفاظت، تعداد نیروی کار مورد نیاز و هزینه کل اشاره نمود (کرامر[2]، ۲۰۰۹).

روش‌های حفاظت به سه دسته اصلی استفاده از پوشش محافظ، رطوبت‌زدایی (استاتیک و

1 Cylinder Liner

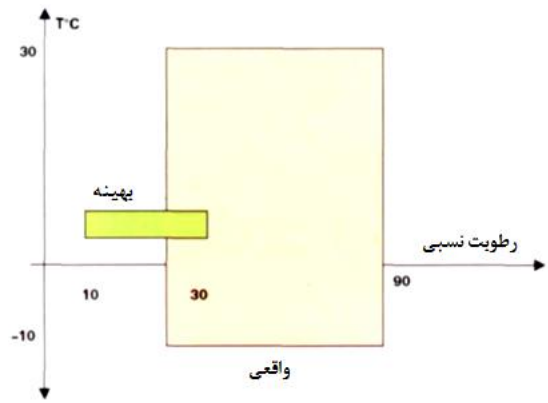
2 Cramer

www.SID.ir

Archive of SID

دینامیک) و استفاده از بازدارنده‌های خوردگی فرار[1] (VCI) تقسیم می‌شود. از دو نوع پوشش محافظ می‌توان برای حفاظت قطعات موتور حین انبارداری استفاده نمود. نوع اول استفاده از روغن‌های محافظ به عنوان پوشش می‌باشد که روشی ساده‌تر و ارزان‌تر است و در حفاظت و نگهداری بعضی از موتورهای دریایی استفاده می‌شود. نوع دوم استفاده از فویل‌های آلومینیومی می‌باشد که این روش نیازمند زمان و هزینه‌ای بالاتر است و در نگهداری موتورهای دیزل دریایی با کیفیت‌تر استفاده می‌شود. این فویل‌ها تحت بسته‌بندی خاصی، کل موتور را دربر می‌گیرند و حجم زیادی از هوای بین فویل‌ها و بدنه‌ی موتور، توسط پمپ مکنده تخلیه می‌شود.

روش‌های رطوبت‌زدایی شامل استفاده از رطوبت‌گیر، اغلب سیلیکاژل (روش استاتیک) یا تجهیزات خاص (روش دینامیک) به منظور نگهداری، رطوبت نسبی[2] در محدوده کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد. در شکل شماره یک، شرایط مناسب ذخیره‌سازی برای حفاظت از موتورهای دیزل نشان داده شده است. بدون بسته‌بندی مناسب، تجهیزات تحت تغییرات RH قرار می‌گیرند و با نوسانات RH احتمال خوردگی افزایش می‌یابد.



شکل ۱- شرایط مناسب ذخیره‌سازی برای حفاظت از موتورهای دیزل

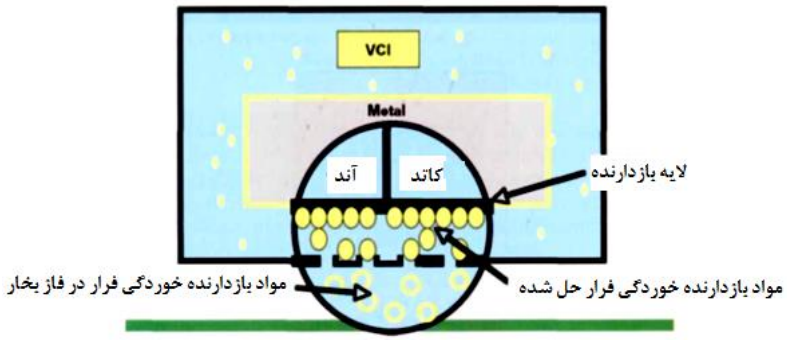
1 Volatile Corrosion Inhibitor

2 Relative Humidity (RH)

www.SID.ir

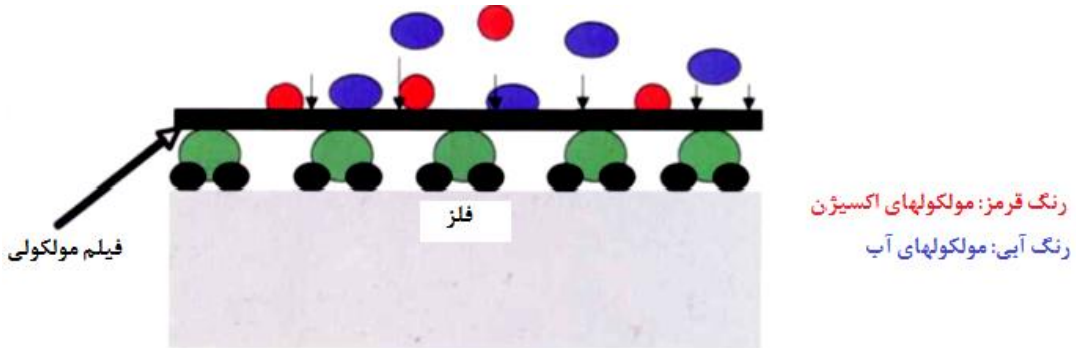
Archive of SID

مواد بازدارنده خوردگی فرار (VCI) ترکیبات شیمیایی هستند که از یک سیال یا جامد تبخیر شده و روی سطح فلز یک لایه نازک پوشش تک مولکولی[1] ایجاد می‌نمایند. این فیلم محافظ، هنگام تماس فلز با آب و هوا، از خوردگی ناشی از وجود مناطق آندی یا کاتدی روی سطح فلز ممانعت می‌کند. شکل شماره دو نحوه تشکیل لایه محافظ مولکولی با استفاده از واکنش‌های یونی مواد بازدارنده خوردگی فرار (VCI) که روی سطح فلز رخ می دهد را نشان می دهد.



شکل ۲ - ایجاد لایه محافظ مولکولی با استفاده از واکنش‌های یونی بازدارنده خوردگی فرار

هم‌چنین نحوه آرایش مولکول‌های آب و اکسیژن روی فیلم مولکولی بازدارنده خوردگی فرار تشکیل شده روی سطح فلز که آرایش نسبتاً منظمی است را می‌توان در شکل شماره سه مشاهده نمود. فناوری VCI ساده و کم هزینه است و به راحتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین صورت که محلول VCI با نسبت ۱ به ۳ درون روغن موتور حل شده و با گردش روغن درون موتور تمام سطوح در برابر خوردگی حفاظت می‌شود.



شکل ۳ - فیلم مولکولی بازدارنده خوردگی فرار روی سطح فلز

1 Monomolecular

www.SID.ir

Archive of SID

خوردگی استوانه موتور دیزل دریایی

در قسمت‌های وسیعی از استوانه‌های سیلندر موتور دیزل دریایی توان بالا که تحت فرآیند انبارداری قرار گرفته بود، بعد از حدود ۱۳ سال، آثار خوردگی مورد بررسی قرار گرفت. بنابر اطلاعات موجود، بعد از گذشت ۱۰ سال از انبارداری، موتور در داخل بسته‌بندی فویل آلومینیومی که هوای داخل آن خارج شده بود، به منظور خواندن شماره سریال موتور، قسمتی از روکش آلومینیومی کنده شده است و هوای زیادی از محیط اطراف به فویل آلومینیومی وارد شد. همچنین بازرسی‌های دوره‌ای که در فرآیند انبارداری این موتور به آن اشاره شد، روی موتور انجام نشده است. در این بازرسی‌ها رطوبت‌سنج درون فویل آلومینیومی مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین سیال موجود در سیستم خنک‌کننده در بازه‌های زمانی مشخص تعویض گردید.

سیال خنک‌کننده در طول زمان حفاظت در انبارداری، مخلوطی از آب، ضد یخ و روغن‌های ضد خوردگی می‌باشد. شواهد حاکی از آن است که در یک تاریخ نامشخص، مایعات موجود در فضای بین استوانه و سیلندر تخلیه شده بودند، ولی جایگزینی آن صورت نگرفته است و با توجه به آنکه تخلیه این مایعات به طور کامل انجام نشده است، قسمت انتهایی استوانه، درون مخلوطی از مایعات ذکر شده قرار گرفته بود. بر اساس دفترچه نگهداری این موتور، در صورتی که امکان باقی ماندن خنک‌کننده در مدار در دوره انبارداری وجود ندارد، باید تمام سیال از داخل مدار خنک‌کاری خارج شود.

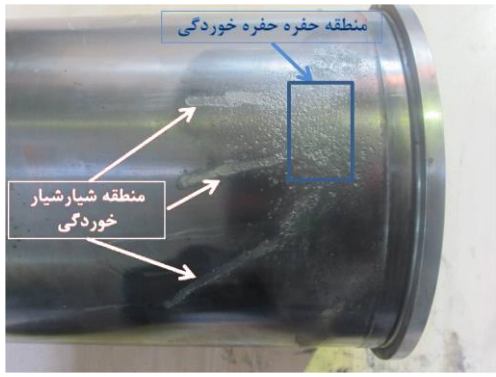
براساس بررسی‌های صورت گرفته سه نوع خوردگی در استوانه های سیلندر این نوع موتورهای دیزل دریایی مشاهده شد. نوع اول خوردگی بر طبق شکل شکاره چهار در قسمت‌های انتهایی استوانه دیده می‌شد و منطقه‌ای هلالی شکل را ایجاد کرده بود.

شکل ۴ - ایجاد منطقه هلالی شکل خورده شده در قسمت انتهای استوانه موتور دیزل دریایی

www.SID.ir

Archive of SID

دو نوع دیگر خوردگی که در شکل شماره ۵ نمایش داده شده عمدتاً در قسمت هایی بالایی استوانه اتفاق افتاده بود که بخشی از این خوردگی حفره‌حفره و بخش دیگر از نوع شیارشیار بود.



شکل ۵ - مناطق خوردگی حفره‌حفره و شیارشیار در قسمت بالایی استوانه موتور دیزل دریایی

قسمت انتهایی استوانه، درون مخلوطی از آب، روغن ضد خوردگی و ضد یخ بوده است. همچنین موتور به مدت سه سال به طور مستقیم در معرض هوا و در نتیجه رطوبت هوا قرار داشت. قرارگیری مستقیم در معرض رطوبت هوا و در پی آن تغییرات دما، موجب آن می‌شود که میعان رطوبت هوا اتفاق بیفتد که این میعان، می‌تواند موجب افزایش آب موجود در مخلوط نگهدارنده در انتهای سیلندر شود. از طرفی میعان رطوبت هوا، موجب وارد شدن آلودگی‌های موجود در هوا به درون مخلوط نگهدارنده نیز می‌شود. وجود مایعات در انتهای استوانه، موجب ایجاد سه منطقه در قسمت انتهایی سیلندر می‌شود که عبارتند از:

- منطقه‌ای که استوانه در مخلوط ایجاد شده بین سیالات ممانعت‌کننده از خوردگی، روغن و آب میعان شده قرار می‌گیرد (شکل شماره پنج- منطقه A).
- منطقه‌ی مرزی که فصل مشترک جایی است که استوانه درون مخلوط گفته شده و هوای بالای آن است (شکل شماره پنج- منطقه B).
- منطقه‌ای که دیگر استوانه در مخلوط ذکر شده وجود ندارد (شکل شماره پنج- منطقه C).

وجود این سه منطقه مهم‌ترین دلیل ایجاد خوردگی هلالی شکل در قسمت پایین استوانه می‌باشد که در شکل شماره پنج نیز این سه منطقه به وضوح قابل تشخیص است. همان‌گونه که در شکل شماره پنج دیده می‌شود، بیشترین میزان خوردگی در منطقه مرزی B مشاهده می‌شود. دلیل این امر تأثیر اکسیژن در خوردگی اتمسفری مربوطه می‌باشد. در منطقه A، اگرچه وجود مخلوط روغن

www.SID.ir

Archive of SID

و آب، می‌تواند موجب ایجاد خوردگی شود، ولی خود این مخلوط، به عنوان لایه محافظتی عمل می‌کند که از تماس مستقیم اکسیژن با سطح استوانه در زیر آن، جلوگیری کرده و این امر از شدت خوردگی اتمسفری می‌کاهد. منطقه B یا هلالی شکل بیشترین میزان خوردگی را نشان می‌دهد. دلیل این امر آن است که علاوه بر این‌که عوامل مورد نیاز برای ایجاد یک سلول خوردگی (شامل الکترولیت: مخلوط آب و روغن، آند و کاتد: قسمت‌های مختلف خود استوانه، رسانش بین آند و کاتد: خود استوانه) فراهم می‌باشد، تماس مستقیم با اکسیژن هوا نیز وجود دارد که این امر می‌تواند موجب تسریع شدت خوردگی اتمسفری شود. در منطقه سوم یا منطقه C شکل شماره پنج که در آن هیچ قسمتی از استوانه درون روغن قرار ندارد، در برخی استوانه‌ها خوردگی مشاهده نشده و در برخی دیگر، خوردگی کمی به شکل حفره‌حفره ایجاد شده است. در استوانه‌هایی که خوردگی در این قسمت مشاهده نشده است، مهم‌ترین دلیل، عدم وجود الکترولیت به عنوان یکی از ارکان سلول خوردگی می‌باشد. در دیگر استوانه‌ها که خوردگی به صورت حفره‌حفره ایجاد شده است، الکترولیت، رطوبت میعان‌یافته در قسمت‌های مختلف سطح می‌باشد.

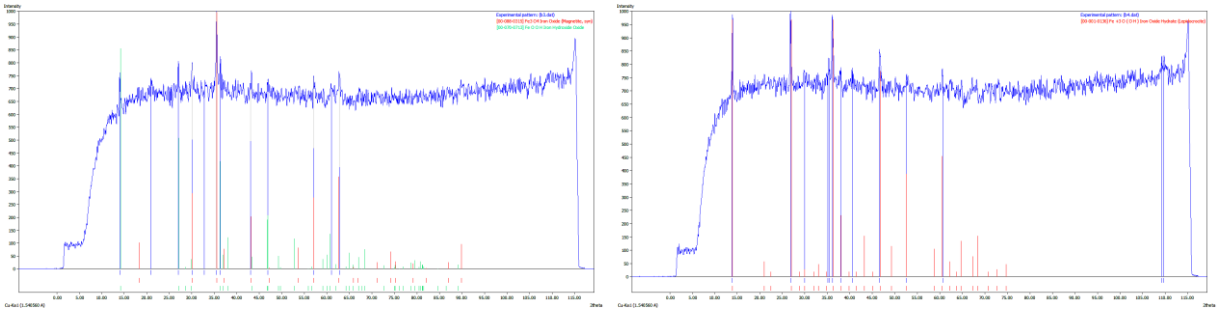
دومین و سومین شکل‌های خوردگی، شیارشیار و حفره‌حفره شدن می‌باشد. دلیل ایجاد این شکل در خوردگی، به فرآیند تبخیر و میعان آب به دلیل تغییرات دمایی محل نگهداری موتور مرتبط می‌باشد. هم‌چنین میعان مستقیم رطوبت هوا نیز یکی دیگر از دلایل ایجاد خوردگی این مناطق می‌باشد. افزایش دمای محیط، موجب تبخیر آب داخل سیلندر شده و در پی آن میعان آب در قسمت‌های بالایی موتور در اثر کاهش دما و همچنین میعان مستقیم رطوبت هوا در قسمت بالایی موتور، موجب ایجاد قطرات آب شده که این قطرات نقش الکترولیت را در سلول خوردگی ایفا می‌کنند. وجود ناخالصی‌های سطحی، اختلاف در ترکیب شیمیایی، ناخالصی، تخلخل، مرزدانه و غیره. باعث آندی شدن برخی قسمت‌ها نسبت به سایر قسمت‌های استوانه شده و رسانش بین آند و کاتد نیز توسط خود استوانه انجام می‌شود. تشکیل این سلول موجب ایجاد خوردگی در زیر این قطرات می‌شود. به دلیل مایل قرار گرفتن استوانه درون موتور، برخی از این قطرات به‌تدریج به‌سمت قسمت پایین استوانه سقوط می‌کنند که این امر موجب ایجاد خوردگی به صورت شیارشیار روی سطح استوانه می‌شود. قطراتی که به‌سمت پایین استوانه سقوط نمی‌کنند، موجب تشدید خوردگی در نقاطی می‌شوند که در آنجا قرار دارند و باعث حفره‌دار شدن سطح می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی محصول خوردگی

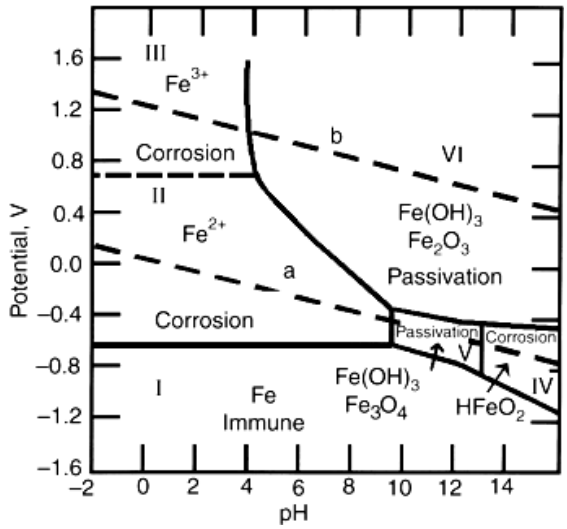
به‌منظور بررسی بیشتر خوردگی، آنالیز XRD بر روی دو محصول خوردگی که از داخل دو سیلندر جمع‌آوری شده بود، انجام شد که نتایج آن در شکل شماره شش مشاهده می‌شود.



(الف)-سیلندر شماره یک (ب)- سیلندر شماره دو

شکل ۶ – نتایج XRD از محصول خوردگی در پشت سیلندر موتور دیزل دریایی

براساس شکل (۶) نتایج XRD نشان می‌دهد که در سیلندر اول که از لحاظ ظاهری بیشترین خوردگی را داشت، اصلی‌ترین محصول تشکیل شده $FeHO_2$ می‌باشد که این محصول، محصول هیدروکسیدی خوردگی اتمسفری آلیاژهای پایه آهن می‌باشد (شکل شماره هفت). همچنین Fe_3O_4 نیز در این محصول خوردگی مشاهده می‌شود که این نیز محصول اکسیدی محصول خوردگی می‌باشد. در سیلندر دوم نیز تنها $FeHO_2$ مشاهده شده است.



شکل ۷ - مناطق خوردگی حفره‌حفره و شیارشیار در قسمت بالایی استوانه موتور دیزل دریایی

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

از آنجا که بعضی از قسمت‌های فلزی موتور و تجهیزات جانبی، در برابر خوردگی مقاوم نیستند و در طول دوره انبارداری، در زمان عدم کارکرد موتور به روغن یا مواد محافظ آغشته نمی‌شوند، نیاز است که حتماً فرآیند صحیح و موردنیاز حفاظت موتور در دوره انبارداری، طبق دستورالعمل شرکت سازنده انجام پذیرد. کوتاهی در انجام درست حفاظت و انبارداری می‌تواند موجب خوردگی و از کار افتادگی موتور شود. سه روش کلی حفاظت موتور عبارتند از: استفاده از پوشش محافظ، رطوبت-زدایی (استاتیک و دینامیک) و استفاده از بازدارنده‌های خوردگی فرار. علاوه بر این، تحلیل خرابی استوانه سیلندر موتور دیزل دریایی نشان از خوردگی اتمسفری می‌دهد. عدم تخلیه کامل سیال خنک‌کننده از فضای بین استوانه و سیلندر و هم‌چنین وارد شدن رطوبت محیط به داخل محفظه نگهداری موتور به دلیل پاره کردن فویل محافظ آلومینیومی دو دلیل اصلی خوردگی اتمسفری در استوانه موتور دیزل دریایی مورد مطالعه بحساب می آیند. در این رابطه پیشنهاد می‌شود:

استوانهٔ موتورهای دیزل سنگین دریایی در معرض خستگی کم‌چرخه حرارتی-مکانیکی است که طی فرایند روشـــن و خاموش کردن موتور ایجاد می‌شـــود. از طرفی با توجه به شرایط دینامیکی کارکرد قطعه، بارهای ارتعاشی زیادی به این قطعه وارد می شود و این قطعه حساسیت زیادی به افزایش یا تمرکز تنش در استوانه دارد. وجود خوردگی زیاد پشت استوانه دو مشکل عمده بوجود می‌آورد. ابتدا اینکه بعلت خوردگی بخشی از ماده بصورت موضعی حذف می‌شود و تمرکز تنش در این ناحیه بشدت افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، خوردگی در ناحیه پایینی استوانه و نزدیک به اورینگ، امکان آب بندی مناسب آب را از روغن سلب می کند و در نتیجه احتمال اختلاط آب و روغن در صورت کارکرد موتور با این استوانه بشدت افزایش می یابد. بوجود آمدن این خرابی در استوانه باعث شد که موتور استفاده نشده بدلیل انبارداری نامناسب، تعمیرات اساسی شود.

جهت جلوگیری از تکرار مجدد این نوع خوردگی در پشت استوانه، نیاز است که حتماً فرآیند صحیح و موردنیاز حفاظت موتور در دوره انبارداری، طبق دستورالعمل شرکت سازنده انجام پذیرد. کوتاهی در انجام درست حفاظت و انبارداری می‌تواند موجب خوردگی و از کار افتادگی موتور شود. دلیل اصلی خوردگی استوانه‌ها، تخلیه ناقص آب موتور و بستن مجاری آب می باشد که امکان تبخیر آب باقیمانده را گرفته بود. دو راهکار کلی برای جلوگیری از این خوردگی وجود دارد:

۱- مدار خنک‌کاری موتور توسط ترکیب آب و ضد یخ یا مواد محافظ خوردگی کاملا پر شود تا فضایی برای تبخیر و تقطیر آب در زمان گرم و سرد شدن بلوک وجود نداشته باشد.

یا اینکه مدار خنک‌کاری موتور کاملا تخلیه شود و سپس ورودی و خروجی مدار خنک‌کاری باز باشد تا اندک آب باقیمانده در موتور هم تبخیر شود و از داخل بلوک خارج شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

رضایی، مهدی. روزبان، مهدی. ***تحلیل خرابی استوانه موتور دیزل دریایی***، مجله تحقیقات موتور، سال۹۴، تابستان، شماره ۱۱.

علی‌اکبری، کریم. قربانی، براتعلی. ***بررسی خرابی بوش سیلندر موتور دیزل کامیون سنگین***، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مواد، مهندسی شیمی و ایمنی صنعتی، ۱۳۹۷.

Branco, C. M., Infantea,V. , Britoa, A.S., Martinsb, R.F., "***A failure analysis study of wet liners in maritime diesel engines***", Engineering Failure Analysis, 9, 2002.

Cramer, S.D., A.I.H. Committee, and J. Bernard S. Covino, "***Corrosion environments and industries***", Asm International, ASM Handbook, 2006.

J. Santana Rodríguez, F. Santana Hernández, and J. González González, "***XRD and SEM studies of the layer of corrosion products for carbon steel in various different environments in the province of Las Palmas (The Canary Islands, Spain)***", Corrosion Science, 2002.

Kharshan, M., A.Y. Furman, and C. Corp., "***Vapor Corrosion Inhibitors in Lubricants***", NACE International: Houston, 2005.

Miskovic, et al., "***Preservation of high-performance military diesel engines using volatile corrosion inhibitors***", National Association of Corrosion Engineers, 2005.

"***MTU_Value Service Technical Documentation***", MTU Friedrichshafen GmbH, 2010.

Schweitzer, P.A., "***Fundamentals of Metallic Corrosion***", Atmospheric and Media Corrosion of Metals, 2006.

"***SEATEK 820 PLUS: Owner's and spare parts manual***", SEATEK ADVANCED MARINE PROPULSION TECNOLOGY S.p.A, 2004.

Y. Ma, Y. Li, and F. Wang, "***The atmospheric corrosion kinetics of low carbon steel in a tropical marine environment***", Corrosion Science, 2010.

Z. Wang, J. Liu, L. Wu, R. Han, and Y. Sun, "***Study of the corrosion behavior of weathering steels in atmospheric environments***", Corrosion Science, 2013.

www.SID.ir