بسمه تعالی

کد مقاله: SBI-FAI-0008

تاریخ انتشار: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱

شبکه بلبرینگ ایران

دپارتمان تحقیق و توسعه

خوردگی در بیرینگ‌های غلتشی؛ عوامل و راهکارها

چکیده:

پدیده خوردگی، یکی از آسیب‌هایی است که موجب خرابی زودهنگام بیرینگ‌های غلتشی می‌گردد. این پدیده ممکن است در بازه‌های زمانی مختلف از قبیل حمل، انبارداری و یا در حین استفاده از بیرینگ رخ دهد. اگر چه خوردگی بیرینگ‌ها در اغلب موارد ناشی از تماس آن‌ها با آب و اکسیژن هواست، ولی در برخی از کاربردها امکان بروز خوردگی در اثر تماس با ترکیبات شیمیایی خوردنده‌تر هم وجود دارد. مقاله حاضر به بررسی عوامل ایجاد خوردگی در بیرینگ‌های غلتشی و راهکارهای مقابله با آن‌ها می‌پردازد. در این مقاله انواع بیرینگ‌های ضدزنگ بررسی و عملکرد آن‌ها در شرایط کاری مختلف، مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بیرینگ‌های ساخته شده از فولاد روکش شده توسط کروم دماپایین و فلروپلاستیک، در اغلب موارد در مقایسه با سایر انواع بیرینگ‌های ضدزنگ، مقاومت بهتری نسبت به خوردگی دارند.

کلمات کلیدی:

بیرینگ‌های ضدزنگ، بیرینگ‌های غلتشی، خوردگی، واکنش‌های اکسایش- کاهش.

۱- مقدمه:

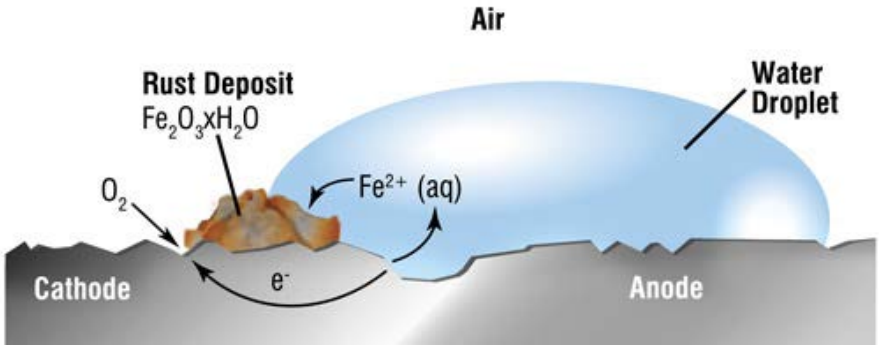
در یک تعریف ساده از پدیده خوردگی، می‌توان آن را نوعی واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین یک ماده و محیط اطراف آن دانست که به تغییر خواص ماده منجر می‌گردد. خوردگی در تمامی دسته‌های اصلی مواد، شامل فلزات، سرامیک‌ها، پلیمرها و کامپوزیت‌ها اتفاق می افتد، اما وقوع آن در فلزات به حدی شایع و فراگیر است که هرگاه صحبت از خوردگی به میان می‌آید، ناخودآگاه خوردگی یک فلز به ذهن متبادر می‌شود [۱].

پدیده خوردگی، یکی از عوامل رایج خرابی قطعات صنعتی و از جمله بیرینگ‌های غلتشی است. این پدیده به تنهایی و یا در ترکیب با عوامل دیگری از قبیل خستگی، موجب کاهش عمر بیرینگ‌ها می‌گردد. حتی در برخی از موارد، به دلیل انبارداری اشتباه، بیرینگ‌ها قبل از این که مورد استفاده قرار بگیرند، دچار آسیب خوردگی می‌گردند که در صورتی که میزان آسیب زیاد باشد، امکان استفاده از بیرینگ مورد نظر وجود نخواهد داشت.

با وجود نقش پررنگ پدیده خوردگی در خرابی بیرینگ‌های غلتشی، متأسفانه کاربران بیرینگ در کشور، به این پدیده توجه کافی نشان نمی‌دهند. بخشی از این عدم توجه به دلیل کمبود اطلاعات فنی کاربران در مورد خوردگی بیرینگ‌های غلشی است. لذا مقاله حاضر به منظور بررسی علل بروز پدیده خوردگی در بیرینگ‌های غلتشی و راهکارهای مقابله با آن به نگارش درآمده است.

۲- نگاهی به پدیده خوردگی آهن در تماس با اکسیژن و آب:

خوردگی آهن، یک فرایند الکتروشیمیایی است که می توان آن را به نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش تقسیم‌بندی نمود. روند واکنش‌های شیمیایی که در هنگام زنگ زدن آهن رخ می‌دهند، مشابه سلول‌های الکتروشیمیایی گالوانی است. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که در هنگام زنگ زدن آهن، تعداد زیادی سلول الکتروشیمیایی گالوانی در مقیاس میکروسکوپی ایجاد می‌گردد که در پایگاه آند آن‌ها عمل اکسایش و در پایگاه کاتد آن‌ها، عمل کاهش رخ می‌دهد. شکل شماره۱، این پایگاه‌های آندی و کاتدی را نشان می‌دهد. البته در عمل، معمولاً فاصله پایگاه‌های آندی و کاتدی از هم بسیار کم بوده و با چشم قابل تفکیک نمی‌باشند.



شکل ۱: پایگاه‌های آندی و کاتدی در هنگام زنگ زدن آهن [۲].

در این‌جا ابتدا به بررسی نیم‌واکنش اکسایش می‌پردازیم. این نیم‌واکنش در بخشی‌هایی انجام می‌گیرد که میزان حضور آب بیشتر است و به صورت زیر می‌باشد:

$$Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}{}_{(aq)} + 2\,e^-$$ **(رابطه شماره ۱)**

سپس الکترون‌های آزاد شده از طریق فلز و یون‌های آهن از طریق آب به سمت کاتد حرکت می‌کنند. در کاتد که محلی با غلظت اکسیژن بالاتر است، واکنش‌های زیر رخ می‌دهد:

$$O_{2\,(g)} + 2\,H_2O_{(l)} + 4\,e^- \rightarrow 4\,OH^-{}_{(aq)}$$ **(رابطه شماره ۲)**

$$Fe^{2+}{}_{(aq)} + 2\,OH^-{}_{(aq)} \rightarrow Fe(OH)_{2\,(s)}$$ **(رابطه شماره ۳)**

$$4\,Fe(OH)_{2\,(s)} + O_{2\,(g)} + 2\,H_2O_{(l)} \rightarrow 4\,Fe(OH)_{3\,(s)}$$ **(رابطه شماره ۴)**

سپس رسوب ایجاد شده با از دست دادن آب، تبدیل به زنگ آهن می‌شود.

$$4\,Fe(OH)_{3\,(s)} \rightarrow 2\,Fe_2O_3.3H_2O_{(s)}$$ **(رابطه شماره ۵)**

البته به دلیل تفاوت در تعداد مولکول آب موجود در ساختار زنگ آهن که تابعی از میزان رطوبت موجود در محیط است، مرسوم‌تر است که فرمول زنگ آهن را به صورت $Fe_2O_3.xH_2O$ نشان دهند.

۳- خوردگی در بیرینگ‌های غلتشی:

فولاد رایج‌ترین ماده مورد استفاده در اغلب بیرینگ‌های غلتشی است. معمولاً انواعی از فولاد که نه تنها فقط از نظر سطحی، بلکه حتی از نظر عمقی هم قابل سختی‌کاری از طریق روش موسوم به «روش سختی کاری

سرتاسری»[1] هستند، برای مسیرهای ساچمه‌رو و المان‌های غلتشی بیرینگ‌ها به کار می‌روند. در این میان، برای بیرینگ‌های عادی اغلب از فولاد بیرینگ کرومی دارای کربن زیاد استفاده می‌گردد و برای بیرینگ‌های دارای سایز بزرگ، فولاد بیرینگ سخت شده به روش القائی حاوی منگنز یا مولیبدن به کار می‌رود.

جدول شماره ۱ آنایز شیمیایی فولادهای کرومی دارای کربن زیاد را نشان می‌دهد که در میان آن‌ها رایج‌ترین نوع فولاد مورد استفاده در بیرینگ‌های غلتشی فولاد SUJ2 (مطابق استاندارد JIS ژاپن) است که معادل AISI 52100 در استاندارد ASTM آمریکا و DIN 100Cr6 آلمان می‌باشد. SUJ3 با ویژگی‌های سختی‌پذیری ارتقاء یافته و حاوی مقادیر بالای منگنز (Mn) برای بیرینگ های بزرگ استفاده می‌شود. SUJ5 نیز در واقع همان SUJ3 است که به منظور دستیابی به ویژگی‌های سختی‌پذیری بهتر، به آن مولیبدن (Mo) اضافه شده است و برای تولید بیرینگ‌های بسیار بزرگ یا بیرینگ‌های دارای دیواره‌های ضخیم، استفاده می‌گردد [۳].

جدول ۱: آنالیز شیمیایی برخی از فولادهای رایج در تولید بیرینگ‌های غلتشی [۳]

Standard	Symbol	Chemical composition (%)						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
JIS G 4805	SUJ2	0.95~1.10	0.15~0.35	Max. 0.50	Max. 0.025	Max. 0.025	1.30~1.60	Max. 0.08
	SUJ3	0.95~1.10	0.40~0.70	0.90~1.15	Max. 0.025	Max. 0.025	0.90~1.20	Max. 0.08
	SUJ5	0.95~1.10	0.40~0.70	0.90~1.15	Max. 0.025	Max. 0.025	0.90~1.20	0.10~0.25
ASTM A295	52100	0.98~1.10	0.15~0.35	0.25~0.45	Max. 0.025	Max. 0.025	1.30~1.60	Max. 0.10
ASTM A485	Grade 1	0.90~1.05	0.45~0.75	0.95~1.25	Max. 0.025	Max. 0.025	0.90~1.20	Max. 0.10
	Grade 3	0.95~1.10	0.15~0.35	0.65~0.90	Max. 0.025	Max. 0.025	1.10~1.50	0.20~0.30

با توجه به این که اغلب اجزای بیرینگ‌های غلتشی عادی از فولاد ساخته شده‌اند، فرآیند خوردگی در آن‌ها مشابه با موارد مطرح شده در بخش قبل است. خوردگی ممکن است یک ناحیه کوچک یا بزرگ را در بر گیرد و یا در محل خطوط تماس بین غلتک ها و مسیر در یک بیرینگ ثابت، محدود شود. ایجاد نواحی به رنگ قرمز- قهوه‌ای روی ساچمه‌ها، مسیر ساچمه‌رو و قفسه‌ها از علائم این نوع آسیب می‌باشد. شکل شماره ۲، دو نمونه از بیرینگ‌های غتشی را که دچار آسیب خوردگی شده‌اند، نشان می‌دهد.

1. Through hardening method

شکل ۲: یک نمونه بیرینگ با آسیب ناشی از خوردگی

برخی از عوامل خوردگی بیرینگ ها عبارتند از:

* نفوذ آب به داخل بیرینگ:

این حالت معمولاً در مواردی رخ می‌دهد که بیرینگ در معرض آب و یا هوای دارای رطوبت بالا قرار بگیرد و شرایط نشت‌بندی بیرینگ نیز مناسب نباشد. امکان نفوذ آب به داخل بیرینگ در صورت انبارداری و حمل نامناسب هم وجود دارد. شکل شماره ۳، رینگ خارجی یک رولربیرینگ استوانه‌ای را نشان می‌دهد که در اثر ورود آب دچار خوردگی شده است.

شکل ۳: رینگ خارجی یک رولربیرینگ استوانه‌ای که در اثر ورود آب دچار خوردگی شده است [۴].

* رسیدن شرایط هوای اطراف بیرینگ به نقطه شبنم

نقطه شبنم دمایی است که هوا باید تا آن نقطه سرد شود تا توسط بخار آب اشباع گردد. در دمای پایین‌تر از این دما، بخشی از آب موجود در هوا دچار میعان خواهد شد. معمولاً رسیدن هوای اطراف بیرینگ به نقطه شبنم در شرایط انبارداری و یا در هنگامی که دستگاه حاوی بیرینگ مشغول به کار نمی‌باشد، محتمل‌تر است. شکل شماره ۴، المان‌های غلتشی یک رولربیرینگ کروی را که در اثر میعان بخار آب به دلیل رسیدن به نقطه شبنم در هنگام انبارداری نامناسب، دچار آسیب خوردگی شده است، نشان می‌دهد.

شکل ۴: المان‌های غلتشی یک رولربیرینگ کروی که در اثر میعان بخار آب به دلیل رسیدن به نقطه شبنم در هنگام انبارداری نامناسب، دچار آسیب خوردگی شده است [۴].

* تماس با مواد شیمیایی خورنده

همان طور که اشاره شد، تماس با مواد شیمیایی خورنده ممکن است موجب ایجاد یا تشدید پدیده خوردگی گردد. این مواد اغلب، ترکیبات اسیدی هستند، هر چند که بروز پدیده خوردگی تحت تأثیر سایر ترکیبات شیمیایی نیز ممکن است. شکل شماره ۵، یک بیرینگ غلتشی را که در اثر تماس با نیتریک اسید دچار خوردگی شده است، نشان می‌دهد.

شکل ۵: یک بیرینگ غلتشی که در اثر تماس با نیتریک اسید دچار خوردگی شده است [۵].

* تجزیه ترکیبات دارای کلر و سولفور موجود در روانکارها و ایجاد ترکیبات جدید

در برخی از موارد، به دلیل عواملی از قبیل تنش‌های بیش از حد، ناترازی زیاد، روانکاری نامناسب، سرعت‌های چرخش بیش از حد و ... ممکن است که دمای قسمت‌های داخلی بیرینگ بیش از حد بالا برود که این امر ممکن است موجب تجزیه روانکار گردد. در این صورت، امکان ایجاد واکنش بین فولاد بیرینگ و ترکیبات ایجاد شده وجود دارد.

* خوردگی ناشی از عبور جریان الکتریکی

یکی دیگر از عوامل خوردگی بیرینگ‌های غلتشی، عبور جریان الکتریکی از داخل این بیرینگ‌ها است. شکل شماره ۶، رینگ داخلی یک رولربیرینگ استوانه‌ای را که در اثر عبور جریان بیرینگ، دچار خوردگی شده است، نشان می‌دهد. این نوع از خوردگی، خارج از بحث مقاله حاضر می‌باشد.

شکل ۶: رینگ داخلی یک رولربیرینگ استوانه‌ای که در اثر عبور جریان بیرینگ، دچار خوردگی شده است.

۴- بیرینگ‌های مقاوم به خوردگی

راهکارهای مختلفی برای تولید بیرینگ‌های مقاوم به خوردگی وجود دارد که یکی از آن‌ها استفاده از فولادهای دارای مقاومت زیاد نسبت به خوردگی است. به عنوان مثال، برای دستیابی به مقاومت در برابر خوردگی، اغلب مقدار زیادی کروم (chrome) به فولاد ضد زنگ مارتنزیتی اضافه می‌گردد.

البته معمولاً بین بیرینگ‌هایی که تنها نسبت به زنگ‌زدن در اثر تماس با آب مقاوم هستند با بیرینگ‌هایی که نسبت به سایر مواد خورنده شیمیایی مقاوم هستند، تمایز قائل می‌شوند. در شرایطی که بیرینگ در تماس با مواد شیمیایی خورنده قرار دارد، ممکن است از فولادهای آبکاری یا روکش‌کاری‌شده، استفاده شود. لایه محافظی موجود بر روی فولاد این بیرینگ‌ها که ممکن است از جنس کروم، نیکل و ... باشد، مانع از زنگ‌زدن آن‌ها در صورت تماس با طیف قابل توجهی از مواد خورنده می‌گردد.

یکی دیگر از روش‌های تولید بیرینگ‌های ضدزنگ، استفاده از موادی به جز فولاد در تولید این بیرینگ‌ها است که به عنوان نمونه می‌توان به بیرینگ‌های سرامیکی و بیرینگ‌های پلیمری با ساچمه‌های شیشه‌ای اشاره کرد که به ترتیب در شکل‌های شماره ۷ و ۸ نشان داده شده‌اند. این بیرینگ‌ها در برابر بسیاری از مواد خورنده، مقاومت مناسبی از خود نشان می‌دهند. ولی توانایی آن‌ها در تحمل بارهای مکانیکی کمتر از نمونه‌های فولادی است.

شکل ۷: نمونه بیرینگ‌های سرامیکی [۷].

شکل ۸: نمونه بیرینگ‌های پلیمری با ساچمه‌های شیشه‌ای [۸].

۵- بحث و نتیجه‌گیری:

در این مقاله پدیده خوردگی بیرینگ‌های غلتشی به اجمال مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی می‌توان گفت که قدم اول در مقابله با آسیب خوردگی در یک بیرینگ، یافتن علت وقوع این پدیده است. در همین راستا باید توجه نمود که خوردگی ممکن است در اثر حمل‌ونقل و نگه‌داری اشتباه نیز رخ دهد که در این صورت، تغییر شیوه‌های حمل و انبارداری ضروری است.

همچنین ضروری است که نوع ماده شیمیایی که موجب بروز خوردگی در بیرینگ شده را شناسایی نمود. اگر چه در اغلب موارد، خوردگی بیرینگ از نوع زنگ‌زدن عادی در مجاورت هوا و رطوبت است، ولی در برخی از کاربردها از قبیل تصفیه فاضلاب، صنایع غذایی و ... امکان تماس بیرینگ با مواد شیمیایی خوردنده‌تر وجود دارد. شناسایی عامل خوردگی بیرینگ از این جهت حائز اهمیت می‌باشد که عملکرد انواع مختلف بیرینگ‌های ضدزنگ در برابر مواد خوردنده مختلف، متفاوت است. به عنوان مثال، جدول شماره ۲، به مقایسه مقاومت برخی از بیرینگ‌های ضدزنگ برند NSK در مواجهه با آب و مواد خورنده مختلف می‌پردازد.

جدول ۲: مقایسه مقاومت برخی از بیرینگ‌های ضدزنگ برند NSK در مواجهه با آب و مواد خورنده مختلف [۹].

		نوع ماده به کار رفته در بیرینگ ضدزنگ			
		فولاد AISI 440C	فولاد آبکاری شده توسط نیکل	فولاد آبکاری شده توسط کروم سخت	فولاد روکش شده توسط کروم دماپایین و فلروپلاستیک
نوع ماده شیمیایی در تماس با بیرینگ	آب	✕	△	△	✔
	هیدروکلریک اسید، 1N	✕	△	✔	✔
	هیدروکلریک اسید، 5N	✕	✕	✔	△
	سولفوریک اسید، 1N	✕	✕	✕	✔
	سولفوریک اسید، 10N	✔	✔	✔	✔
	فلوئوریک اسید، 1N	✕	✕	△	△
	هیدروژن پراکسید، 1N	✔	✔	✔	✔

✔: مقاومت مناسب در مقابل خوردگی، △: مقاومت نسبی در مقابل خوردگی، ✕: عدم مقاومت مناسب در برابر خوردگی

همان طور که در جدول شماره ۲، مشاهده می‌گردد، بیرینگ‌های ساخته شده از فولاد روکش شده توسط کروم دماپایین و فلروپلاستیک، در اغلب موارد در مقایس با به سایر انواع بیرینگ‌های ضدزنگ، مقاومت بهتری نسبت به خوردگی دارند.

در بسیاری از موارد استفاده از نشت‌بندهای داخلی یا خارجی مختلف، می‌تواند مانع از خوردگی بیرینگ گردد. همچنین استفاده از روانکار مناسب، تا حد زیادی از خوردگی بخش‌های داخلی بیرینگ که نسبت به خوردگی بخش‌های خارجی آن مخرب‌تر است، ممانعت به عمل می‌آورد. در نهایت این که در برخی موارد، نیاز است که از روش‌های ذکر شده به صورت ترکیبی استفاده گردد.

منابع:

[1] http://www.ica.ir/corrosion.aspx, Date of access: 2019.08.26

[2] https://www.machinerylubrication.com/Read/29116/inhibiting-rust-corrosion, Date of access: 2019.08.26

[3] NTN corporation (2009), “Ball and Roller Bearings”, CAT.NO. 2202-IX/E

[4] https://www.nskamericas.com/en/services/troubleshooting/damage-by-type/rust-and-corrosion.html , Date of access: 2019.08.26

[5] https://www.astbearings.com/blog/2013/03/corrosion-resistant-precision-ball-bearings/, Date of access: 2019.08.26

[6] https://www.nskeurope.com/en/services/troubleshooting/damage-by-type/electrical-corrosion.html, Date of access: 2019.08.26

[7] https://www.bocabearings.com/general/full-ceramic-and-ceramic-hybrid-bearings, Date of access: 2019.08.26

[8] https://www.kmsbearings.com/pkr10b-5-8b-g-single-row-inch-size-peek-trade-plastic-radial-ball-bearing-fitted-with-glass-balls.html, Date of access: 2019.08.26

[9] NSK MOTIN & CONTROL, “Corrosion-Resistant Bearings”.