A-PDF Watermark DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/315666400

Vibration analysis, diagnosis and R.C.A of gearboxes

Conference Paper · March 2017

CITATIONS
0

READS
102

1 author:

Saeed Shirvani
BASAMAD
5 PUBLICATIONS **4** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Size dependency in vibration analysis and buckling of nano plates View project

All content following this page was uploaded by Saeed Shirvani on 28 March 2017.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

http://mohandes-iran.com

آنالیز ارتعاشات، عیب‌یابی و ریشه‌یابی علل خرابی در گیربکس‌های کمپرسورهای فرآیند احیاء فولاد

حمید کریمی[1]، سعید شیروانی شاه‌عنایتی[2]

شرکت بهینه‌سازان ماشین‌های دوار (بسامد)

s_sh665@yahoo.com

چکیده

اگرچه گیربکس‌ها در بین تجهیزات دوار دارای عمری طولانی و با خرابی کمتر می‌باشند ولی گاه ممکن است وجود برخی اشکالات در سیستم منجر به بروز خرابی‌هایی در این تجهیزات کم خرابی شوند. در پژوهش حاضر با توجه به تکرار شکست در نوع خاصی از گیربکس‌ها در کمپرسورهای فرآیند مجتمع فولاد احیاء و وقوع خرابی به صورت یک شکل، تلاش گردیده است مکانیزم ایجاد و گسترش خرابی و شکست، تشریح و روش پیش‌بینی زودهنگام خرابی گیربکس مورد مطالعه بر اساس تکنیک آنالیز ارتعاشات معرفی گردد. همچنین در ادامه به ریشه‌یابی شکست و ارائه راهکارهایی به منظور پیشگیری از وقوع حوادث مشابه در آینده پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: ریشه‌یابی علل خرابی، گیربکس، عیب‌یابی، آنالیز ارتعاشات

مقدمه

گیربکس‌ها جز پرکاربردترین تجهیزات انتقال قدرت بوده و از کاربرد وسیعی در میان تجهیزات دوار برخوردار هستند. چرخ-دنده‌ها عضو کلیدی هر گیربکس بوده و وظیفه‌ی انتقال حرکت دورانی و گشتاور تولیدی از شفت ورودی به شفت خروجی را بر عهده دارند. وقوع شکست در این دسته از ماشین‌ها، هزینه‌های بسیار سنگین بر تولید تحمیل می‌نماید. از این‌رو پایش صحیح و به‌موقع وضعیت گیربکس پیش از شکست از اهمیت بسیار فراوانی برخوردار است. از جمله تکنیک‌های پرکاربرد در پایش وضعیت گیربکس‌ها می‌توان به آنالیز ارتعاشات و آنالیز روغن اشاره نمود. آنالیز روغن براساس اندازه‌گیری ذرات فرسایشی و

1- کارشناس ارشد پایش وضعیت

2- کارشناس پایش وضعیت

http://mohandes-iran.com

آلودگی روغن و یا وجود عناصر نامطلوب در روغن مورد استفاده، سعی در پایش و بهبود وضعیت گیربکس دارد. در آنالیز ارتعاشات نیز بر اساس روش‌های پردازش سیگنال در حوزه زمان و فرکانس وضعیت دقیق گیربکس تعیین می‌گردد. قابلیت روش آنالیز ارتعاشات در مطالعه و آنالیز وضعیت تجهیزات دوار برکسی پوشیده نیست. مرور مراجع نشان می‌دهد تاکنون تجهیزات فراوانی در صنایع مختلف به کمک تکنیک آنالیز ارتعاشات مورد مطالعه و پایش قرار گرفته و قابلیت این روش اثبات‌شده است. یکی از کاربردهای مهم ارتعاش سنجی تشخیص وضعیت عملکرد و سلامت گیربکس‌ها است.

مبانی نظری پژوهش

الکتروموتورها به عنوان پرکاربردترین تجهیزات دوار محرک مورد استفاده در صنایع از کاربرد و اهمیت فراوانی برخوردار بوده و هرگونه خرابی منجر به توقف الکتروموتور در صنایعی که از امتیاز برخورداری از سیستم‌های بخار و محرک‌های بخاری محروم می‌باشند، به معنی توقف کل سیستم و در نتیجه از دست رفتن تولید خواهد بود. بنابراین نگهداری اصولی و تعمیرات پیش‌گیرانه‌ی این تجهیزات نقش بسزائی در کاهش هزینه های تعمیراتی و افزایش بهره وری مراکز صنعتی ایفا می‌کند. از سوی دیگر گیربکس‌ها نیز جز پرکاربردترین تجهیزات انتقال قدرت بوده و از کاربرد وسیعی در میان تجهیزات دوار برخوردار هستند. چرخ‌دنده‌ها عضو کلیدی هر گیربکس بوده و وظیفه انتقال حرکت دورانی و گشتاور تولیدی از شفت ورودی به شفت خروجی را بر عهده دارند. وقوع شکست در این دسته از ماشین‌ها، هزینه‌های بسیار سنگین بر تولید تحمیل می‌نماید. از این رو پایش صحیح و به موقع وضعیت گیربکس پیش از شکست از اهمیت بسیار فراوانی برخوردار است.

از جمله تکنیک‌های پرکاربرد در پایش وضعیت گیربکس‌ها می‌توان به تکنیک آنالیز ارتعاشات و آنالیز روغن اشاره نمود. در روش آنالیز ارتعاشات، ارتعاشات ماشین اندازه‌گیری شده و بر اساس آن وضعیت دستگاه ارزیابی می‌شود و در صورت لزوم به عیب یابی تجهیز پرداخته می‌شود. در آنالیز ارتعاشات بر اساس روش‌های پردازش سیگنال در حوزه زمان و فرکانس وضعیت دقیق گیربکس تعیین می‌شود. اگرچه تکنیک‌های رایج بر مبنای تحلیل طیف فرکانسی بر اساس تبدیل فوریه، ابزار خوبی برای بررسی سیگنال‌های پایا به شمار می‌رود با این‌حال برخی از نقایص روش یاد شده بهره‌گیری از آن را در تحلیل سیگنال‌های گذرا، دشوار می‌سازد. به منظور بررسی وضعیت چرخ‌دنده‌ها از نظر عیوب نقطه‌ای لازم است سیگنال زمانی از نظر مدولاسیون دامنه و فرکانسی مورد بررسی قرار گیرد. به عبارت دیگر هر چند مطالعه‌ی اطلاعات در حوزه فرکانس راهکار ساده و سریع‌تری است اما به منظور تحلیل دقیق وضعیت ارتعاشات گیربکس بررسی اطلاعات در حوزه زمان ضروری است. منظور از مدولاسیون دامنه نوسانات منظم دامنه در سیگنال زمانی است که مطابق رابطه (1) تعریف می‌گردد[1].

$$x(t) = x_0 \times \{\sin(2\pi F_m t)\} \times \{\sin(2\pi F_C t)\} \quad (1)$$

در رابطه‌ی (1) F_m فرکانس مدولاتور و F_C فرکانس حامل است. دامنه سیگنال زمانی نیز بین x_0 و $-x_0$ با فرکانس مدولاتور به صورت متناوب تغییر می‌کند. طیف فرکانسی یک سیگنال با مدولاسیون دامنه شامل فرکانس حامل، فرکانس مدولاتور و مجموع و تفاضل فرکانس حامل و فرکانس مدولاتور است. از سوی دیگر پدیده‌ی نوسانات منظم فرکانس یک سیگنال را مدولاسیون فرکانس گویند که مطابق رابطه (2) تعریف می‌شود[1].

$$x(t) = x_0 \times \{\sin(2\pi F_C t)\} \times \{\sin(2\pi F_m t)\} \quad (2)$$

در رابطه‌ی (2) نیز F_m فرکانس مدولاتور سیگنال زمانی و F_C فرکانس حامل است. طیف فرکانسی یک سیگنال با مدولاسیون فرکانسی نیز شامل فرکانس حامل و فرکانس سایدباند حول فرکانس حامل است. لازم به ذکر است فرکانس سایدباند از مجموع و تفاضل فرکانس حامل و مضرب فرکانس مدولاتور حاصل می‌گردد.

به طور کلی و به بیان ساده، مدولاسیون دامنه را می‌توان به سان یک بردار چرخان با اندازه‌ی متغیر و فرکانس ثابت و مدولاسیون فرکانسی را به سان بردار چرخان با اندازه‌ی ثابت و فرکانس متغیر انگاشت.

در عمل بسیاری از عیوب همانند ناهمراستایی، خارج از مرکزیت و بک لش موجب ایجاد مدولاسیون دامنه با ترکیب فرکانس درگیری چرخ‌دنده به عنوان فرکانس حامل و فرکانس دور چرخ‌دنده به عنوان فرکانس مدولاتور می‌گردد. از سوی دیگر سایش،

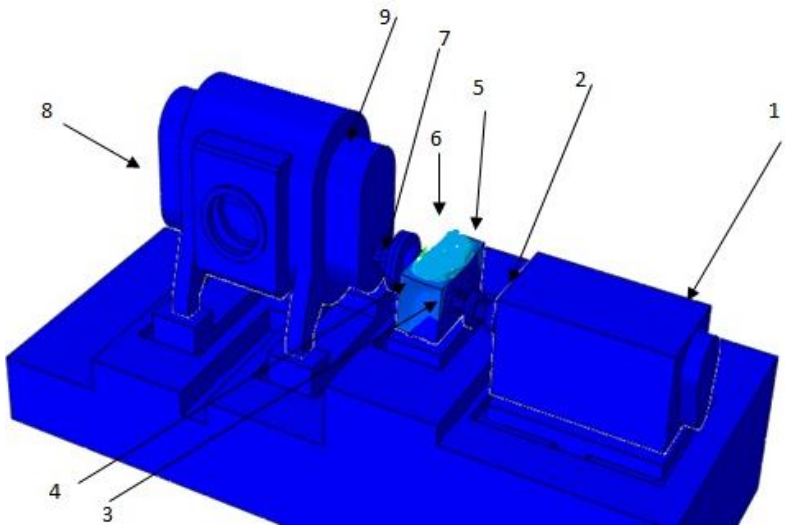
http://mohandes-iran.com

ترک و شکستگی دندانه موجب ایجاد مدولاسیون فرکانس با فرکانس حامل برابر با فرکانس درگیری چرخ‌دنده و فرکانس دور چرخ‌دنده به عنوان فرکانس مدولاتور می‌گردد. بدین ترتیب کلیه‌ی عیوب موضعی از قبیل ناهمواری سطوح، خوردگی، ترک در ریشه، سایش دندانه و شکستگی دندانه در سیگنال زمانی ارتعاشات قابل رصد است.

روش پژوهش

با توجه به پایش وضعیت گیربکس مورد مطالعه در پژوهش حاضر از زمان راه‌اندازی، آنالیز ارتعاشات کامل‌ترین مرجع بررسی تغییر رفتار این تجهیز بوده است. هر چند به صورت مقطعی و موردی نتایج آنالیز جریان، آنالیز روغن و ترموگرافی تجهیز نیز مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور استفاده مؤثر از تکنیک آنالیز ارتعاشات ضمن بررسی اطلاعات تجهیز و عوامل بروز ارتعاشات، 10 نقطه بر روی مجموعه الکتروموتور، گیربکس و کمپرسور تعریف و به صورت دوره‌ای و پیوسته در بازه‌های زمانی مشخص نسبت به ارتعاش سنجی آنها اقدام گردیده است.

در شکل (1) نمایی از گیربکس مورد مطالعه و ارتباط بین الکتروموتور و کمپرسور نمایش داده شده است. این مجموعه عضو حیاتی یک کارخانه‌ی فرآیند احیا بوده و در صورت وقوع هر گونه خرابی، توقف طولانی دستگاه، کاهش تولید و هزینه‌های سنگین تعمیرات را در پی خواهد داشت. از این رو پایش وضعیت ارتعاشات تجهیز به منظور اطلاع مدیریت، واحد تولید و تعمیرات از آخرین وضعیت قسمت‌های مختلف تجهیز به منظور برنامه‌ریزی تولید و یا تعمیرات احتمالی از اهمیت بالایی برخوردار است.

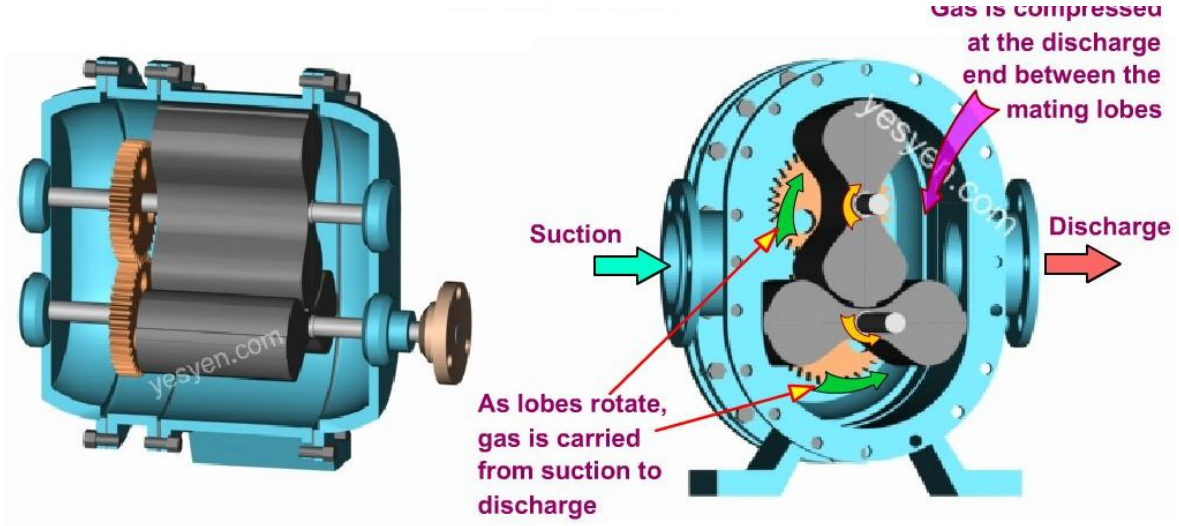


شکل 1- شماتیک چیدمان الکتروموتور، گیربکس و کمپرسور فرآیند و نقاط داده‌برداری

مطابق شکل (2) لوب کمپرسور دارای دو بال است که در هر بار گردش لوب دو ضربه به شفت کمپرسور وارد می‌گردد. این موضوع در سیگنال‌های ارتعاشی و طیف فرکانسی نیز به وضوح قابل مشاهده است. شایان ذکر است که ضربات وارده از سوی کمپرسور در گیربکس، الکتروموتور و حتی سازه‌های پیرامون نیز مشاهده می‌گردد. این نیروها و گشتاورهای تولیدی محصول فرآیند مکش و تخلیه در کمپرسور بوده و روش بهره‌برداری از کمپرسور و تمام پارامترهای فرآیندی و شرایط عملیاتی ماشین تأثیر بسزایی در شدت ضربات و رفتار مکانیکی کمپرسور دارد.

http://mohandes-iran.com

مشخصات فنی الکتروموتور، گیربکس و کمپرسور در جدول (1) ارائه شده‌است. نتایج حاصل از آنالیز ارتعاشات شامل بررسی طیف فرکانسی، طیف پوش و سیگنال زمانی تجهیز به صورت خلاصه در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.
مطابق شکل (3) مربوط به طیف فرکانسی ورودی گیربکس، وضعیت غالب در تمامی نقاط گیربکس نشان‌دهنده وجود هارمونیک‌های دور خروجی گیربکس و تأثیر ارتعاشات تولیدی لوب کمپرسور بر رفتار گیربکس است.



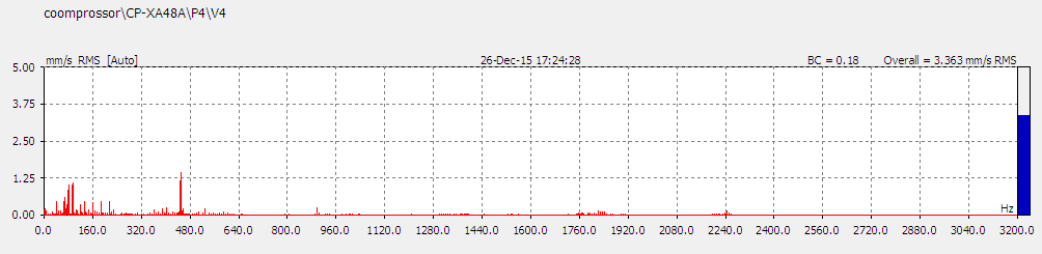
شکل 2- نمایی شما تیک از اجزای داخلی کمپرسور فرآیند

جدول 1: مشخصات فنی الکتروموتور، گیربکس و کمپرسور

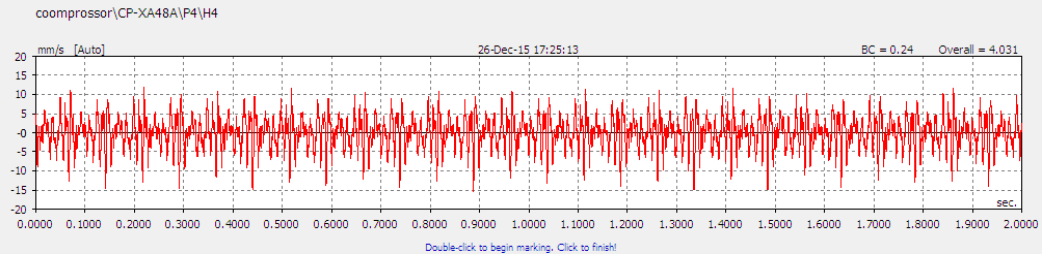
Driver		Driven	
Driver Type	Electromotor	Driven Type	First stage compressor
Manufacturer	SCHORCH	Manufacturer	AERZEN
Type	KV6534B	Type	GQ-22.23
Power	2300 Kw	Inlet Pressure	1.11 bar
Frame Size	-	Outlet Pressure	2.08 bar
Voltage	6600 V	Inlet Temperature	50℃
Current	235 A	Outlet emperature	70℃
Cosϕ	0.89	Speed	399 RPM
No. of Poles	4	Gearbox	
Speed	1492 RPM	Manufacturer	Hansen
IP	55	Type	QHPH1S-RLN
Efficiency	97.2%	Power	2300 Kw
Bearing Type	Antifriction 6230 MC3	Input Bearings	32226 + 23226
		Output Bearings	22240
Lubricant Type	Lithium Saponified Grease	Ratio	1:3.72
Quantity of Grease	80 gr	Lubricant Type and Quantity	Shell Omala F320, 90
W HI	5.5 mm/s	Pinion/Gear(teeth)	18/67
D HI	11 mm/s		

http://mohandes-iran.com

به منظور تحلیل دقیق وضعیت گیربکس ضروری است وضعیت فرکانس گذر دندانه، تغییرات دامنه‌ی فرکانس درگیری، تقارن و رشد دامنه باندهای جانبی در نقاط مختلف گیربکس مورد بررسی قرار گیرد. در برخی نقاط وجود بار اعمالی زیاد از سمت کمپرسور بر روی گیربکس مشاهده می‌شود که می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد. در مورد سیگنال‌های زمانی گیربکس باید گفت که ماهیت ضربه‌ای و تکرار ضربات به همراه یک یا دو مدولاسیون در سیگنال‌ها به خوبی قابل‌مشاهده است. نرخ تکرار ضربات کاملاً منظم بوده و به این دلیل هارمونیک‌های دور خروجی گیربکس در اسپکترام ارتعاشی ماشین دیده می‌شود.
مطابق شکل (4) نکته‌ی قابل‌توجه در سیگنال زمانی نقاط مختلف گیربکس، مدوله شدن فرکانس گذر لوب کمپرسور با فرکانس‌های هارمونیک دور خروجی گیربکس است.



شکل 3- طیف فرکانسی شفت ورودی گیربکس در راستای محوری



شکل 4- پدیده مدولاسیون در سیگنال زمانی شفت ورودی گیربکس در راستای محوری

همچنین نوسان دامنه در هر دور از شفت خروجی دو بار دیده می‌شود. یکی از عوامل بروز چنین مشکلی را می‌توان به ناهمراستایی و نامناسب بودن فاصله‌ی دو هاب بین کمپرسور و گیربکس و القای ارتعاشات گیربکس نسبت داد و علت دیگر می‌تواند وجود دو نقطه‌ی بلند روی چرخ‌دنده باشد که به خطای ساخت برمی‌گردد. در این حالت در زمانی که کلیرنس داخلی چرخ‌دنده‌ها مینیمم باشد درگیری زیاد، لقی کم و دامنه‌ی ارتعاشات افزایش می‌یابد و در نقطه‌ی مقابل یعنی زمانی که کلیرنس به مقدار بیشینه‌ی خود می‌رسد، لقی زیاد، دامنه‌ی ارتعاشات کم و ضربه‌های تکرارپذیر منظم در ماشین دیده می‌شود که مصداق رویداد مدولاسیون دامنه است. بدین ترتیب هر چند مقادیر کلی ارتعاشات ماشین طبق استانداردهای مختلف در محدوده مجاز است ولی وضعیت گیربکس از نظر بررسی سیگنال زمانی مطلوب نبوده و وقوع خرابی سنگین در تجهیز مورد انتظار است.
معمولاً آغاز خرابی دنده در گیربکس با ظهور پدیده مدولاسیون همراه است که مشاهده آن مؤید ظهور یک رویداد در تجهیز است چراکه این پدیده محصول یک رابطه علت و معلولی است (قانون علیت و سیستم‌های علی). همچنین با پیشرفت خرابی و افزایش لقی داخلی، ساید باندهای سمت چپ فرکانس درگیری چرخ‌دنده که نشان از وقوع یک پدیده ناهمفاز دارد؛ رشد می‌کند. نامتقارن شدن ساید باندهای فرکانس درگیری دندانه نشان از رشد سایش، لقی و بک لش در گیربکس داشته و ادامه کارکرد تجهیز منجر به وقوع خرابی سنگین در گیربکس می‌شود.

http://mohandes-iran.com

با توجه به تصمیم مدیریت مجتمع در بهره‌برداری از تجهیز با وجود مشکلات مطرح شده تا لحظه‌ی شکست نسبت به داده-برداری در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر با هدف اطلاع از زمان وقوع شکست و برنامه‌ریزی جهت تعویض گیربکس، اقدام گردید. پس از وقوع شکست و انتقال گیربکس معیوب به کارگاه، بازرسی از قطعات گیربکس به منظور ریشه‌یابی علل وقوع خرابی در دستور کار قرار گرفت.

از جمله اقدامات انجام شده در این زمینه می‌توان به بررسی وضعیت روانکار و سیستم روانکاری، بررسی وضعیت گیربکس، شفت و بیرینگ، بررسی سابقه تجهیز از طراحی، نصب و راه‌اندازی تا بهره‌برداری و سابقه‌ی تعمیر و نگهداری، بررسی نقشه‌های مونتاژ گیربکس و مشکلات جداسازی قطعات در حین دمونتاژ، بررسی فیلتر روغن، بررسی الگوی تماس دندانه و سطح تمام دنده‌های سالم و شکسته، بررسی سطوح عملکردی چرخ‌دنده و بیرینگ، بررسی نشانه‌های خوردگی، آلودگی و گرم شدن بیش‌ازحد پیش از شستشوی قطعات با حلال و بررسی قطعات پس از شستشوی قطعات با حلال و تعیین الگوی شکست و مقایسه با الگوریتم‌های شکست احتمالی اشاره نمود.

هرچند آسیب در چرخ‌دنده‌ها به علل مختلف روی می‌دهد اما الگوریتم شکست چرخ‌دنده در شش دسته طبقه‌بندی می‌شود. متداول‌ترین نوع شکست گیربکس‌ها خستگی سطحی و خمشی است. این نوع شکست در اثر رشد ترک نزدیک ریشه رخ می-دهد. از انواع دیگر شکست می‌توان به پدیده Pitting و Spalling در اثر تنش‌های تماسی تکراری، اشاره نمود.

بازرسی بیرینگ‌ها از نظر سایش بسیار حائز اهمیت است زیرا می‌تواند علت افزایش غیرمجاز لقی شعاعی و خلاصی منجر به نا همراستایی دنده‌ها باشد. از این رو ضروری است بازرسی بیرینگ به عنوان یکی از سرنخ‌های علت شکست چرخ‌دنده مورد بررسی قرار گیرد. آسیب بیرینگ می‌تواند نشان‌دهنده‌ی وجود خوردگی، آلودگی، تخلیه الکتریکی یا مشکل روانکاری در تجهیز باشد. تغییر شکل پلاستیک بین عناصر چرخشی و کنس‌های بیرینگ نیز نشان از وجود اضافه‌بار است. لازم به ذکر است در بررسی‌های انجام‌شده هیچ‌گونه موردی در بیرینگ که منجر به شکست دنده شده باشد مشاهده نشد.

پس از جمع‌آوری نتایج بازرسی و تطبیق شواهد با شکل‌های مختلف شکست در گیربکس، فرضیه‌های اصلی و فرعی شکست احتمالی استخراج گردید. در ادامه نتایج حاصل از بازرسی‌های انجام‌شده و تطبیق رفتار ارتعاشات تجهیز ارائه خواهد شد.

تفسیر نتایج

در بررسی ظاهری قطعات گیربکس مواردی مشاهده گردید که در ادامه تشریح خواهد شد.

شکل 5- تنش لهیدگی و ترک شفت

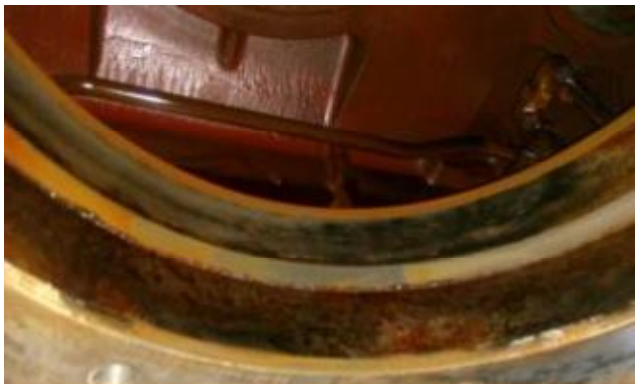
همان گونه که در شکل (5) مشاهده می‌گردد، اگر چه تنش لهیدگی بر روی محل نشیمن کلید روی شفت بسیار وسیع بوده و موجب گسیختگی شفت گردیده است ولی آثاری از خرابی و لهیدگی روی کلید یا خار دیده نمی‌شود. این در حالی است که

http://mohandes-iran.com

معمولاً جنس کلید باید ضعیف‌تر از جنس شفت انتخاب گردد. از این رو بررسی جنس خار و شفت الزامی است. گفتنی است بررسی انجام شده در این زمینه مؤید آن است که جنس انتخابی برای شفت جزو مواد قابل قبول و با استحکام بالا بوده است. با عنایت به ایجاد ترک و گسیختگی در شفت، اثری از تنش لهیدگی در چرخ‌دنده در محل نشیمن روی شفت نیز مشاهده نشد.

نکته‌ی دیگر مشاهده نشانه‌های وجود آب در گیربکس مطابق شکل‌های (6) و (7) است که به‌صورت زنگ‌زدگی بین قطعات دیده می‌شود.

شکل 6- وجود زنگار در محل نشیمن شفت



شکل 7- زنگ‌زدگی در محل نشیمن بیرینگ

آلودگی روانکار دو تأثیر مخرب در پی دارد. نخست این که آثار فرسایشی روانکار افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع آن است که آب خاصیت روانکاری نداشته و از این رو نمی‌تواند نقش روغن را بازی کند. این مشکل به ویژه درجاهایی که نیاز به تحمل بار زیاد وجود دارد (مانند گیربکس‌ها و بیرینگ‌ها) از اهمیت بالایی برخورداراست به گونه‌ای که موجب سایش، فرسایش، خوردگی و شکست می‌شود. از سوی دیگر با افزایش سطح آب در روغن، خاصیت میراکنندگی روغن به شدت کاهش یافته و در نتیجه انتقال ضربات بین قطعات افزایش خواهد یافت. این رویداد مشکل زنگ‌زدگی و عدم روانکاری روغن را در پی خواهد داشت. تأثیر مخرب دیگر آلودگی روانکار را باید در اثرات شیمیایی آب دانست. آب توانایی شستن و از بین بردن برخی از افزودنی‌ها به ویژه افزودنی‌های ضد کف را دارا است.

http://mohandes-iran.com

درنتیجه با نفوذ آب درون روغن، مشکل کف کردن روغن پدیدار می‌شود. این موضوع در شکل (8) به وضوح قابل مشاهده است. بخش دیگری از آثار تخریبی روغن به تشدید کنش و واکنش‌های شیمیایی مربوط است. با نفوذ آب، کنش و واکنش بین روغن، مواد فرسایشی و مواد حاصل از اکسیداسیون روغن موجب تولید مواد جدیدی شده که گرفتگی مجاری روغن در ماشین را در پی خواهد داشت. تأثیر نامطلوب دیگر نفوذ آب در روغن بر روی فیلترهای تجهیز است که موجب گرفتگی منافذ فیلتر، کاهش نفوذپذیری روغن و در نتیجه کاهش میزان روانکار عبوری خواهد شد.

شکل 8- وجود کف در روغن گیربکس

لازم به ذکر است که آب معمولاً به دو روش در روانکار نفوذ می‌کند. اگر آب در اثر شستشوی تجهیز وارد روغن شود به صورت ذرات معلق بوده و در نقاط مرگ و بدون تلاطم تهنشین خواهد شد. در صورتی‌که آب ورودی به ماشین به واسطه‌ی بخار باشد به صورت امولسیون درآمده آثار مخرب خود را برجای خواهد گذاشت. اگر آب در اثر شستشو وارد ماشین‌های با تلاطم روانکار بالا مانند گیربکس‌ها شود، به‌صورت امولسیون درآمده و آثار زیانباری را به دنبال خواهد داشت. گفتنی است وجود آب به صورت امولسیون تأثیرات مخرب به مراتب بیشتری نسبت به حالت معلق در پی دارد.

در خلال بررسی وضعیت شکست در گیربکس، پیشنهاد گردید Face و Round چرخدنده پیش از دمونتاژ اندازه‌گیری شود. تغییر وضعیت Round نشان‌دهنده‌ی کم بودن کلیرنس و در نتیجه کاهش بک‌لش است که این موضوع موجب افزایش شدت درگیری و شکست دندانه‌ها خواهد شد. از سوی دیگر تغییر وضعیت Face به معنی عدم توازی بین خطوط تماسی چرخدنده و پینیون و درگیری ناقص بین دندانه‌ها بوده و در نتیجه ایجاد تمرکز تنش و در نهایت شکست قسمتی از دندانه شده است. همچنین سایه‌ی به وجود آمده ناشی از سایش بین دندانه‌های دو چرخدنده، در مواردی نشان از درگیری دارد که پیرو آن بخشی از دندانه شکسته شده است.

شایان ذکر است که در صورت وجود ناهمراستایی زیاد به هر دلیلی بین کمپرسور و گیربکس و یا افزایش لقی بین حلقه خارجی بیرینگ‌های چرخدنده و بدنه‌ی گیربکس، توازی خط تماس بین دندانه‌ها در پینیون و چرخدنده به هم ریخته و در نتیجه موجب تمرکز تنش روی دندانه‌ها می‌گردد.

همچنین افزایش لقی بین حلقه‌ی خارجی بیرینگ با محل نشیمن به هر دلیلی موجب به هم ریختن توازی محورهای شفت-های ورودی و خروجی گیربکس، درگیری ناقص و در نتیجه شکست دندانه‌ها در یک سمت چرخدنده می‌شود.

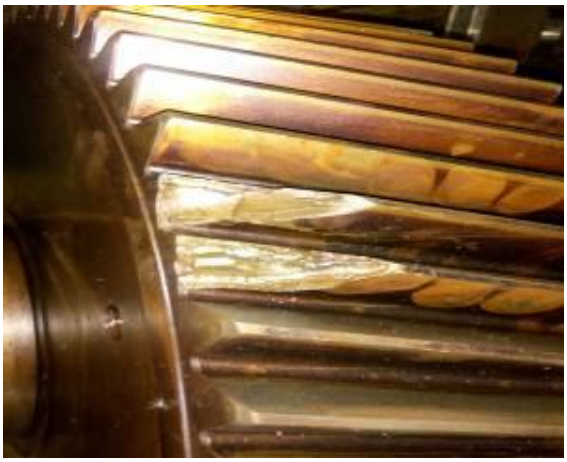
پیشنهاد دیگر کاهش تنش اعمالی بین سطح جانبی درگیری کلید و سطح مقابل آن در محل کلید روی شفت است. به منظور رسیدن به این هدف یعنی کاهش تنش دو راه وجود دارد. نخست افزایش عمق جای خار روی شفت و کلید که دور از ذهن است؛ چراکه ابعاد خار استاندارد است. راه دوم افزایش تعداد کلید از یک به دو کلید است. نکته‌ای که در این میان باید به آن اشاره نمود این است که با افزایش تعداد کلیدها، نیروی ضربه‌ای تولیدی کمپرسور قطعاً تأثیر خود را در جای دیگری خواهد گذارد و از این رو موضوع نیازمند تحلیل نرم‌افزاری است تا مشخص شود آیا اگر شکست احتمالی در جای دیگری اتفاق بیفتد

http://mohandes-iran.com

دارای هزینه‌ی سنگین‌تری نسبت به خرابی شفت دارد یا خیر. گفتنی است که افزایش تعداد کلیدها دارای روش کار خاص برای ماشین‌کاری روی شفت و وایرکات چرخ‌دنده دارد که در مقاله حاضر مجالی برای توضیح بیشتر نیست.

پیشنهاد سوم انتخاب انطباق پرسی (جذب) بین شفت و چرخ‌دنده است. بررسی‌های انجام‌شده حاکی از انتخاب انطباق عبوری داشت که این انطباق برای انتقال گشتاور زیاد غیرمنطقی است. از این رو با انتخاب انطباق پرسی، سطح درگیری اصطکاکی بین چرخ‌دنده و شفت به شدت افزایش یافته و بخش اعظمی از گشتاور پیچشی تولیدی توسط نیروی اصطکاک بین چرخ‌دنده و شفت تحمل خواهد شد. بررسی‌ها نشان داد که انطباق بین چرخ‌دنده و شفت در حدی است که آب موجود در روغن روانکار گیربکس به فضای بین شفت و چرخ‌دنده نفوذ کرده است که در شکل (10) به وضوح قابل مشاهده است.

کم بودن انطباق باعث می‌شود که در اثر لقی موجود نوسانات بار کمپرسور، ضربات مخربی به شفت و دندانه‌ها وارد شود. گفتنی است در برخی موارد در ماشین‌های دوار، انطباق به گونه‌ای انتخاب می‌شود که دیگر نیازی به استفاده از کلید نیست. شایان‌ذکر است که حتی دربارهای سنگین از انطباق r6 استفاده می‌شود درحالی‌که انطباق بین چرخ‌دنده و شفت در گیربکس مذکور k6 است.



شکل 9- شکستگی یک‌طرف از دندانه به دلیل درگیری ناقص

گفتنی است که افزایش دمای چرخ‌دنده به منظور نصب روی شفت به روش حرارت مستقیم و شعله هوابرش بوده و لازم است چرخ‌دنده در حمام روغن و به صورت یکنواخت گرم شود.

پیشنهاد دیگر نصب یک فلایویل بر روی شفت ورودی کمپرسور به منظور میرا نمودن ضربات تولیدی است. با توجه به بالا بودن امپدانس مکانیکی جرم در فرکانس‌های بالا و عدم تمایل به عبور ارتعاشات از خود و اینرسی جرمی زیاد در فلایویل، نصب این قطعه روی شفت ورودی کمپرسور می‌تواند ضربات تولیدی و نوسانات گشتاور در کمپرسور را به شکل مؤثری میرا نموده و از انتقال آن به گیربکس جلوگیری کند.

http://mohandes-iran.com

شکل 10- زنگ‌زدگی در محل نشیمن چرخ‌دنده

نتیجه گیری

در بین روش های نوین نگهداری و تعمیرات، مدیران همیشه در پی انتخاب موثرترین، سازگارترین، کم‌هزینه‌ترین و بروزتـرین روش‌ها برای استفاده در محیط صنعتی تحت نظارت خود هستند.

به کمک ابزار پایش وضعیت هر چه زودتر بتوان خرابی بالقوه‌ای را کشف نمود فاصله مدت زمان بین خرابی بالقوه تا شکسـت کارکردی (فاصله P-F) بلندتر بوده و مدت زمان بیشتری برای انجام اقدامات مقتضی به منظور اجتناب از پیامدهای خرابـی در دست خواهد بود. به همین دلیل همچنان تلاش‌های فراوانی به منظور تعیین شرایط بالقوه، بسط و توسعه تکنیک‌هـای کشـف آنها در جریان است تا بتوان به فواصل P-F بلندتری دست یافت.

در پژوهش جاری با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات در عیب‌یابی گیربکس کمپرسور فرآیند مـورد اسـتفاده در سـایت احیـا فولاد، ضمن تشخیص بهنگام خرابی، به ریشه‌یابی علل خرابی و ارائه راه‌کارهایی به منظور پیشگیری از وقوع خرابـی در آینـده پرداخته شده است.

به منظور تحلیل دقیق وضعیت گیربکس ضروری است وضعیت فرکانس گذر دندانه، تغییرات دامنه فرکانس درگیری، تقـارن و رشد دامنه باندهای جانبی و آنالیز سیگنال زمانی در نقاط مختلف گیربکس به دقت مورد بررسی قرارگیرد. به عبارت دیگر اکتفا به دامنه ارتعاشات کلی نمی‌تواند مشخص‌کننده وضعیت واقعی تجهیز باشد.

مراجع

[1] ح، کریمی، خ، سیاوشی، هندبوک آنالیز ارتعاشات، کنکاش، 1390

http://mohandes-iran.com
View publication stats
mohandes-iran.com