آنبالانسی

سعید کردی زاده
شرکت مدیریت تولید برق منتظر قائم
kordizade.s@gmail.com

شرکت مدیریت تولید برق منتظر قائم (سهامی خاص)

شایع‌ترین و متداول‌ترین دلیل ارتعاشات ماشین، عیب آنبالانسی جرمی[1] است. در شرایطی که محور چرخش و خط مرکز جرم یک جسم دوار منطبق نباشند، توزیع جرم در محور دوار، نامیزان است و این نامیزانی جرمی، نیروی گریز از مرکز را تولید می‌کند. این نیرو آنبالانسی جرمی نامیده می‌شود و چون تکرارشونده است، ارتعاش ماشین را به همراه دارد. افزایش بار دینامیکی بیرینگ‌ها، کاهش عمر آنها و ایجاد سایش در آب‌بندها، از پیامدهایی آنبالانسی است. از دیگر انواع آنبالانسی، می‌توان به آنبالانسی هیدرولیکی، آنبالانسی آیرودینامیک و آنبالانسی الکتریکی اشاره کرد.

1 Mass Unbalance

گروه خبری نتسا را به نشانی NetsaNews در صفحات مجازی دنبال کنید.

علت آنبالانسی

از دلایل عمده آنبالانسی در ماشین، می‌توان به این موارد اشاره کرد:

۱- وجود حفره یا شن و ماسه، به دلیل ناهمگونی و اشکالات ریخته‌گری.

۲- چگالی غیریکنواخت مواد.

۳- خارج از مرکزبودن شفت[1].

۴- لحاظ نشدن وزن خار[2] متصل‌کننده کوپلینگ‌ها[3] به شفت، در زمان بالانس‌کردن کوپلینگ در کارخانه سازنده.

۵- تغییر شکل قطعه به دلیل اعوجاج حرارتی[4].

اگر قطعاتی که با پرس‌کردن، خم‌شدن، فشردن و اکسترودکردن[5] تولید می‌شوند، تنش‌زدایی[6] نشوند، ممکن است در هنگام کار، تنش خود را آزاد کنند، تغییر شکل دهند و نامیزانی جرمی ایجاد کنند.

۶- جمع شدن رواداری‌ها[7] و لقی‌ها[8] در یک سمت، مثلاً پولی و خار.

۷- شیب شفت.

۸- خوردگی و سایش غیریکنواخت شفت.

۹- رسوباتی که به صوت غیریکنواخت روی پروانه توزیع شده‌اند.

۱۰- کنده‌شدن تکه‌ای از رسوب‌های یکنواختی که قبلاً و به مرور زمان، روی تجهیزات دواری مانند پروانه فن‌ها تشکیل شده است.

۱۱- افتادن وزنه‌های بالانس.

۱۲- افتادن پیچ‌های اتصال.

۱۳- شکستگی قسمتی از پولی یا پره فن.

۱۴- شکاف یا کنده‌شدن جرم، هنگام کار ماشین.

۱۵- مارک نکردن قطعات بالانس و ایجاد خطا هنگام باز و بسته‌کردن دستگاه.

۱۶- وجود جرم سرگردان در ماشین. مثلاً آب یا روغن درون ماشین راه میابد و هر بار که ماشین روشن می‌شود، این جسم سرگردان در یک نقطه قرار می‌گیرد. بالانسکردن این ماشین، امکان‌پذیر نیست و باید قبل از انجام بالانس، جسم سرگردان را خارج کنیم.

1 Eccentricity
2 Key
3 Coupling
4 Thermal Distortion
5 Extruding
6 Stress Relief
7 Tolerance
8 Clearance

۱۷- یخ‌زدن آب در حفره‌ها.
۱۸- آنبالانسی آیرودینامیکی[1]، به دلیل تغییر در زاویه بلید[2] فن‌های محوری.
۱۹- نابرابری نیروهای الکترومغناطیسی در الکتروموتورها، به دلیل دایره نبودن شفت و فاصله هوایی نابرابر بین روتور و استاتور.

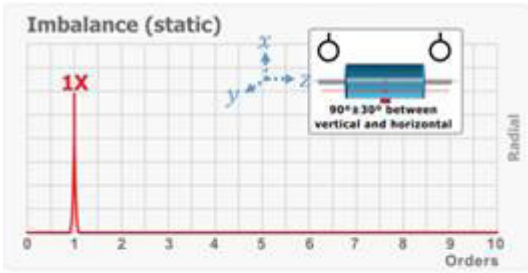
آنبالانسی جرمی، آنبالانسی هیدرولیکی، آنبالانسی آیرودینامیک و آنبالانسی الکتریکی، انواع شایع آنبالانسی هستند.

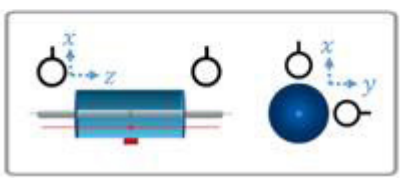
در این فیلم آموزشی، درمورد آنبالانسی و عوامل ایجاد آن، مطالب سودمندی بیان شده است. شما می‌توانید از طریق لینک زیر، فیلم را دانلود و مشاهده کنید.
www.kordizade.com/unbalance

انواع آنبالانسی جرمی و روش‌های تشخیص آن

آنبالانسی استاتیکی

آنبالانسی استاتیکی[3] ، ساده‌ترین شکل آنبالانسی است و به آنبالانسی تک‌صفحه‌ای معروف است؛ زیرا جرم سنگین، فقط در یک نقطه از شفت دوار قرار گرفته است و چون در زمان ساکن‌بودن شفت نیز وجود دارد، به آن آنبالانسی استاتیکی نیز می‌گویند. معمولاً در نمودار طیف فرکانسی، فرکانس 1X یا یک برابر دور شفت همیشه وجود دارد و شاخص است.
اگر دامنه سیگنال در جهت y دو برابر دامنه سیگنال در جهت x باشد، احتمالاً ارتعاشات ماشین به خاطر عیوب دیگری مانند رزونانس و لقی فونداسیون ماشین است و به آنبالانسی ارتباط ندارد. اگر عیوب دیگر مانند لقی و ناهم‌محوری در ماشین وجود نداشته باشد، شکل موج زمانی آنبالانسی استاتیکی در واحد سرعت، سینوسی است.





شکل ۱- آنبالانسی استاتیکی

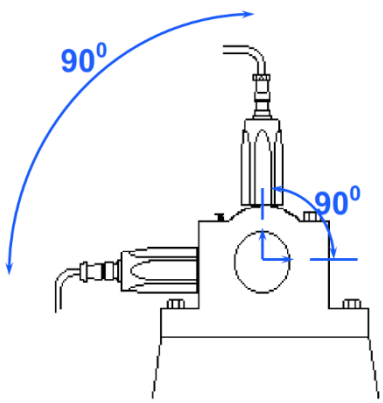
1 Aerodynamic Unbalance
2 Blade
3 Static Imbalance

گروه خبری نتسا را به نشانی NetsaNews در صفحات مجازی دنبال کنید.

تصور کنید عیب ماشین، آنبالانسی استاتیکی باشد. اگر یکی از سنسورهای شتاب‌سنج دستگاه آنالایزر ارتعاشات دوکاناله را در راستای محور y روی بیرینگ سمت راست بگذارید، سپس سنسور دیگر را در همان راستای y و روی بیرینگ سمت چپ قرار دهید و از ماشین داده‌برداری کنید، بین این دو سیگنال، اختلاف فاز دیده نمی‌شود. راستای محور x روی دو بیرینگ نیز، همین گونه است و زاویه فاز تغییر نمی‌کند؛ زیرا در آنبالانسی استاتیکی، نیروهایی که به یاتاقان‌ها وارد می‌شوند، هم‌جهت هستند و در نتیجه، تمام نقاط قسمت چرخان، به صورت هم‌فاز ارتعاش می‌کنند.

شکل ۲ – اندازه‌گیری زاویه فاز در روی دو یاتاقان

همان‌گونه که در شکل ۳ می‌بینید، اختلاف فاز راستای y و x روی یک بیرینگ، تقریباً ۹۰ درجه است. شاید بپرسید چرا اختلاف فاز «تقریباً» ۹۰ درجه است و «دقیقاً» ۹۰ درجه نیست؟ مگر نه اینکه سنسورها دقیقاً با زاویه ۹۰ درجه نسبت به هم نصب شده‌اند، پس چرا زاویه فازی که سنسور اول اندازه گرفته، با زاویه فازی که سنسور دوم برداشت کرده است، دقیقاً ۹۰ درجه اختلاف ندارد؟



شکل ۳ – اندازه‌گیری اختلاف فاز راستای y و x روی یک بیرینگ

همان‌گونه که در فصل سوم گفته شد، همواره معادله پاسخ سیستم، یعنی $x(t)=X\sin(2\pi ft-\phi)$ نسبت به معادله نیروی تحریک واردشده به سیستم (در اینجا نیروی آنبالانسی با معادله $F(t)=F_0 \sin(2\pi ft)$)، به اندازه زاویه فاز (ϕ)، عقب‌تر است. اندازه زاویه فاز به سرعت دورانی ($\omega=2\pi f$)، فنریت (k)، ضریب میرایی (c) و جرم شفت (m) وابسته است. بنابراین با تغییر جهت اندازه‌گیری و محل قرارگیری سنسور، اگرچه جرم و سرعت دورانی شفت ثابت است، ولی فنریت و ضریب میرایی آن ممکن است با تغییر جهت اندازه‌گیری، تغییر کند. بنابراین عقب‌افتادگی پاسخ از تحریک، در جهت‌های مختلف اندازه‌گیری، متفاوت است. برای مثال، اگر در جهت y، پاسخ از تحریک به اندازه ۱۰ درجه عقب باشد و در جهت x، پاسخ از تحریک ۲۰ درجه عقب بیفتد، اختلاف فاز اندازه‌گیری‌شده در جهت‌های x و y، ۸۰ درجه است و دقیقاً ۹۰ درجه نیست.

بنابراین اختلاف فاز ۹۰ درجه راستای x و y، در ماشین‌هایی صدق می‌کند که زاویه عقب‌افتادگی پاسخ از تحریک، در جهت‌های مختلف یکسان باشد. برای مثال، در یاتاقان‌های سیمتریک[1] معمولاً با چرخش ۹۰ درجه‌ای سنسور در راستای x وy، زاویه فاز نیز ۹۰ درجه تغییر می‌کند. در غیر این صورت و در صورت غالب بودن عیب آنبالانسی، اختلاف فاز در جهت‌های مختلف عمود بر شفت، معمولاً کمتر از ۳۰ ± درجه است.

در این فیلم آموزشی، درمورد دلایل عقب‌افتادگی پاسخ از تحریک، مطالب سودمندی بیان شده است. می‌توانید از طریق لینک زیر، فیلم را دانلود و مشاهده کنید:

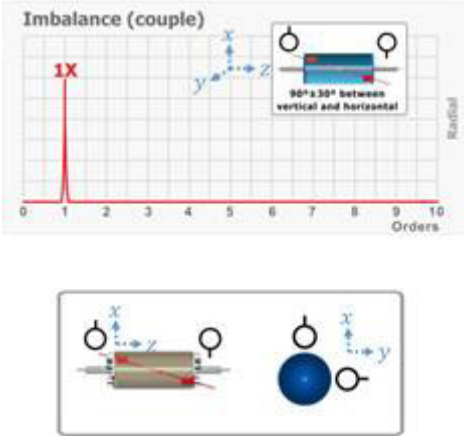
www.aparat.com/v/2K8QL

آنبالانسی کوپل

در آنبالانسی کوپل[2]، نقاط سنگین به گونه‌ای در ماشین دوار پراکنده شده‌اند که در دو صفحه کاملاً مخالف، اما در شعاع‌های یکسان قرار دارند. بنابراین شفتی که دچار آنبالانسی کوپل شده باشد، ممکن است در حالت ساکن، بالانس به نظر برسد؛ زیرا محور دوران، محور مرکز جرم شفت را در مرکز آن قطع می‌کند. اما هنگامی که چرخش شفت شروع شود، نیروی گریز از مرکز وابسته به نقاط سنگین مخالف هم، به‌صورت کوپلی به شفت اعمال می‌شود. این نیرو با سرعت چرخش شفت، رابطه مستقیم دارد و به همین دلیل، همیشه در طیف فرکانسی، 1X مشاهده می‌شود و معمولاً شاخص است.

همچنین چرخش کوپل باعث می‌شود نیروهای متناوب خارج از فازی ایجاد شوند که روی یاتاقان‌های تکیه‌گاه عمل می‌کنند. یعنی نیرویی که به یک یاتاقان وارد می‌شود، همیشه در خلاف جهت یاتاقان دیگر است. در نتیجه، شفت از یک سمت به سمت دیگر نوسان می‌کند. از این رو، در اندازه‌گیری‌های انجام‌شده از بیرینگ‌های دو طرف شفت، چه در جهت افقی (y) و چه در جهت عمودی(x)، باید اختلاف فاز ۱۸۰ درجه دیده شود. همچنین اختلاف فاز تقریبی بین خوانش‌های جهت افقی (y) و عمودی (x) در هرکدام از بیرینگ‌ها، ۹۰ درجه است. اگر فرکانسی که ماشین در آن بهره‌برداری می‌شود، از اولین فرکانس بحرانی ماشین کمتر باشد، دامنه ارتعاشات اندازه‌گیری‌شده در جهت‌های محوری و شعاعی، متناسب با مربع سرعت دورانی شفت رشد می‌کند. در صورت انجام عملیات بالانس، جرم اصلاحی برای رفع عیب آنبالانسی کوپل، حداقل باید در دو صفحه اعمال شود.

سیگنال حوزه زمان این عیب در واحد سرعت، به شکل سینوسی است؛ البته به شرطی که عیوب دیگر مانند لقی و ناهم‌محوری، در ماشین وجود نداشته باشد.



شکل ۴ – آنبالانسی کوپل

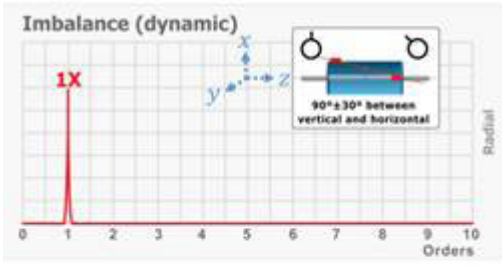
1 Symmetrical rigid bearing

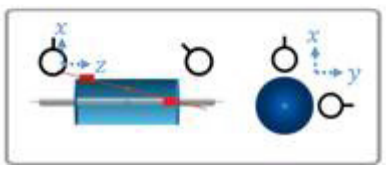
2 Couple Unbalance

گروه خبری نتسا را به نشانی NetsaNews در صفحات مجازی دنبال کنید.

آنبالانسی دینامیکی

آنبالانسی دینامیکی[1]، شایع‌ترین نوع آنبالانسی و ترکیبی از آنبالانسی کوپل و استاتیکی است. این مشکل معمولاً در شفت‌هایی اتفاق می‌افتد که طولشان نسبت به قطرشان زیاد باشد. در این حالت، مرکز جرم نه تنها نسبت به محور دوران ناموازی است، بلکه محور دوران از مرکز جرم شفت، عبور نمی‌کند. X1 در طیف فرکانسی شاخص است و اصلاح این عیب، به جرم‌گذاری در دو صفحه نیاز دارد. اختلاف فاز شعاعی بین بیرینگ‌های دو طرف شفت، می‌تواند از صفر تا ۱۸۰ درجه تغییر کند و عدد ثابتی ندارد؛ با این‌حال، هنگامی که اختلاف فاز بیرینگ‌های دو طرف شفت اندازه‌گیری می‌شوند، اختلاف فاز افقی (y) نزدیک به اختلاف فاز عمودی (x) است و حدود ۳۰ ± درجه تفاوت دارد. در صورتی که آنبالانسی دینامیکی زیاد باشد، اختلاف فاز بین خوانش‌های افقی و عمودی هر بیرینگ، می‌تواند تا ۴۰ ± درجه تغییر کند.





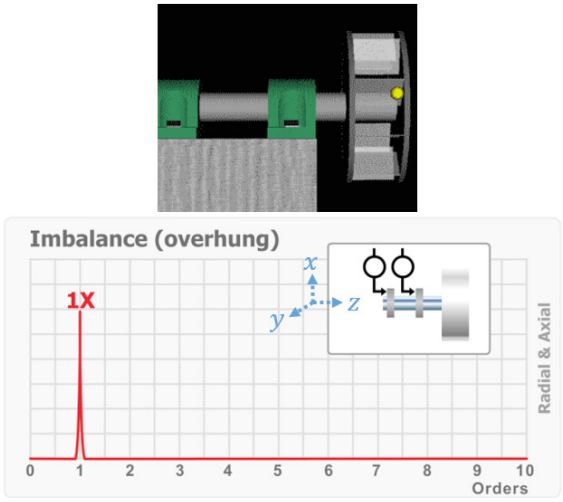
شکل ۵ - آنبالانسی دینامیکی

در این آنبالانسی مانند دو نوع قبلی، اگر عیوب دیگری مانند لقی و ناهم‌راستایی در ماشین وجود نداشته باشد، شکل موج زمانی این عیب در واحد سرعت، سینوسی است.

آنبالانسی شفت یک‌سر آزاد

آنبالانسی شفت یک‌سر آزاد[2]، دامنه 1X را در جهت شعاعی (x و y) و همچنین جهت محوری (z) را افزایش می‌دهد و به دلیل گشتاور خمشی[3] ایجادشده در شفت، ارتعاشات در جهت محوری (z)، بیشترین دامنه را دارد. خوانش‌های فاز در جهت محوری، تمایل دارند هم‌فاز باشند؛ در حالی که خوانش‌های فاز شعاعی (x و y)، ممکن است ناپایدار باشند. با این‌حال، اختلاف فازهای افقی (y) معمولاً به اختلاف فازهای عمودی (x) شفت نابالانس، نزدیک هستند و ممکن است تا ۳۰ ± درجه متفاوت باشند. توجه داشته باشید زمانی که مرکز جرم شفت یک‌سر آزاد در حد فاصل بین دو بیرینگ باشد (شکل ۶)، نیروی واکنشی حاصل از آنبالانسی، به‌صورت هم‌فاز در دو بیرینگ ظاهر می‌شود؛ اما زمانی که مرکز جرم شفت در خارج از حد فاصل بین دو بیرینگ باشد، نیروی واکنشی حاصل از آنبالانسی، به صورت غیر هم‌فاز در دو بیرینگ ظاهر و به صورت گشتاور کوپل، به شفت اعمال می‌شوند. از آنجایی که این آنبالانسی، ناشی از آنبالانسی کوپل واقعی نیست، به آن کوپل کاذب نیز می‌گویند. حتی میزان کم آنبالانسی، می‌تواند مقادیر زیادی کوپل کاذب را در شفت ایجاد کند.

1 Dynamic Unbalance
2 Overhung Rotor Unbalance
3 Bending Moment



شکل ۶ – آنبالانسی شفت یک‌سر گیردار

این کوپل کاذب با کوپل واقعی جمع‌برداری می‌شود و هنگام عملیات بالانس، نتایج غیرمنطقی را به دنبال دارد. اگر اختلاف فاز محوری بیرینگ‌ها در محدوده ۳۰ ± باشد، می‌توان به وجود کوپل کاذب پی برد.

برای تماشای فیلم «چهار نوع شایع آنبالانسی و روش‌های شناسایی و تفکیک آنها» به آدرس www.kordizade.com/types-of-rotor-unbalance مراجعه یا بارکد را اسکن کنید. امیدواریم با دیدن این فیلم، شناخت دقیق‌تری از انواع آنبالانسی به دست بیاورید.

با توجه به مطالبی که تاکنون بیان شد، می‌توان گفت که بیشتر آنبالانسی‌ها، این رفتارها را دارند:

۱- با افزایش دور ماشین، ارتعاش ماشین زیاد می‌شود.

۲- 1X در طیف فرکانسی همه آنبالانسی‌ها، دیده می‌شود.

۳- دامنه ارتعاشات در جهت شعاعی، بیشتر از دامنه ارتعاشات محوری است.

۴- آنبالانسی به شرایط کاری ماشین مانند بار، چندان بستگی ندارد. برای مثال، اگر ارتعاش توربین به دلیل آنبالانسی باشد، مقدار ارتعاش در همه بارها ثابت است. حال اگر توان تولیدی این توربین را از ۵۰ مگاوات به ۱۰۰ مگاوات افزایش دهیم و ارتعاش سه برابر شود، باید بدانیم که دلیل ارتعاش توربین، آنبالانسی نیست. همچنین اگر دمپر هوای ورودی یک فن سانتریفیوژ را ببندیم و ارتعاش دو برابر شود، می‌توان نتیجه گرفت که ارتعاشات فن، به بالانس ربطی ندارد.

گروه خبری نتسا را به نشانی NetsaNews در صفحات مجازی دنبال کنید.

بر اساس تجربه‌های میدانی، این سه مورد در آنبالانسی محض وجود ندارد:

۱- نویز زیاد در طیف فرکانسی.

۲- ارتعاشات در فرکانسی کمتر از دورکاری ماشین.

۳- افزایش دامنه ارتعاشات در هارمونیک‌ها یا مضارب صحیح 1X.

برای توضیح دقیق‌تر «سه شاهد اصلی در تشخیص عیب آنبالانسی» می‌توانید این فیلم آموزشی را ببینید. برای دانلود و تماشای فیلم، به آدرس زیر مراجعه یا بارکد را اسکن کنید. www.kordizade.com/unbalance-symptoms

برنامه پر بارسازی آنالیز ارتعاشات، که در این کتاب بدان پرداخته‌شده است، هفت فصل دارد. براساس تجربیات بسیار در برگزاری کارگاه‌های متعدد آنالیز ارتعاشات، مطالب کتاب حتماً برای شما کاربردی و جالب توجه خواهد بود؛ زیرا علاوه بر استفاده از جدیدترین و روزآمدترین منابع و اطلاعات در نگارش این کتاب و طراحی صفحه آنلاین کتاب، با ارائه نمونه‌های عینی از مشکلات تجهیزات دوار در صنایع مختلف، به آموزش عملی آنالیز ارتعاشات در تحلیل خرابی این تجهیزات پرداخته شده است.

شانس با شماست؛ زیرا در خلال مطالب کاربردی این کتاب، این اصول و تجربیات گران‌بها را با شما خواننده گرامی، سهیم شده‌ایم. به عنوان نمونه، برخی از مثال‌های واقعی این کتاب که به صورت کاملاً عملی و کاربردی تحلیل ارتعاشی شده‌اند به شرح زیر می‌باشند:

- ارتعاشات توربین ۲۰۰۱ واحد متانول پتروشیمی به علت خمیدگی دیسک انتهای توربین
- تعیین Alarm و Trip ویبره مطلق توربین گازی V۹۴,۲ و Condensate Extraction Pump نیروگاه سیکل ترکیبی
- تشخیص ناهم‌راستایی ژنراتور MGS ۵۸ به علت گرفتگی مسیر خنک‌کاری
- پدیده رزونانس در فن فیلتر کیسه‌ای (Bag Filter) کارخانه سیمان
- خرابی بیرینگ غلتک بخش خشک کن در ماشین کاغذ
- عیب‌یابی بوستر پمپ دگازور تصفیه‌خانه آب نیروگاه بخار به کمک تحلیل زاویه فـاز
- تشخیص سایش پره‌های ردیف چهارم توربین گازی V۹۴,۲
- ارتعاشات یاتاقان شماره یک توربین بخار ۳۲۵ MW به علت سایش و ناهم‌محوری شفت
- عیب‌یابی بیرینگ ۲۲۳۳۲CC/W۳۳ فلکه اصلی تله کابین
- ارتعاشات فن خنک‌کننده موتورهای DC قسمت پرس ماشین کاغذ فلوتینـگ به علت خرابی بیرینگ۲۲۲۱۱EK
- خرابی رینگ داخلی بیرینگ و افزایش ارتعاشات پمپ آب خنک کاری واحد تولید متانول
- عیب‌یابی پمپ کولینگ مدل SMN ۶۲۰-۶۴ساخت SULZER واحد اسید سولفوریک پتروشیمی
- شناسایی منشاء ارتعاشات گیربکس فن برج خنک‌کننده (Cooling Tower) واحـد CF پتروشیمی
- ارتعاشات پمپ آب تغذیه بویلر (Boiler Feed Water Pump) نیروگاه بخار
- عیب‌یابی فن دمنده مدل CNM - BTSB ساخت DMW ژاپن واحد بازیافت گوگرد پالایشگاه
- بررسی علت شکست شفت پمپ سانتریفیوژ واحد EG/EO پتروشیمی