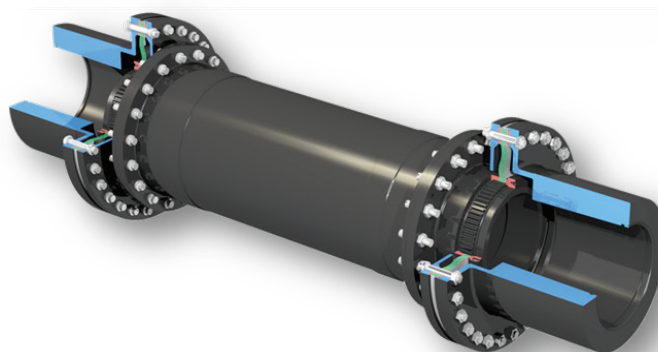




تجزیه و تحلیل خرابی کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر

Flexible Coupling Failure Analysis



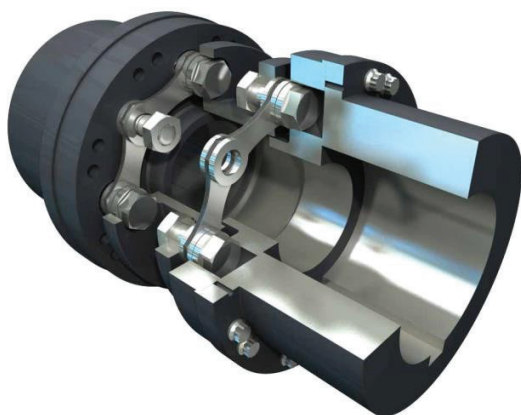
اکبر شفقی

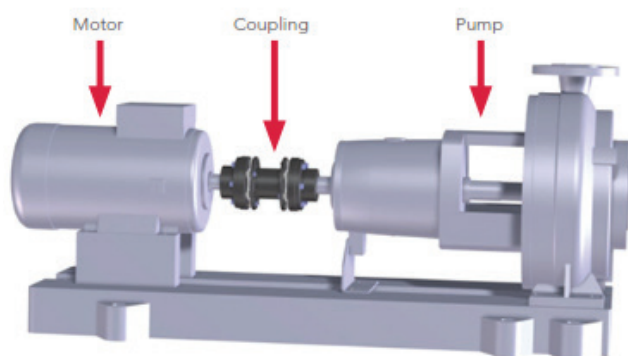
(DBA , Mechanical Engineer)

کلمات کلیدی: Flexible Coupling, Misalignment, Vibration

چکیده:

کوپلینگ وسیله‌ای است که برای دو منظور اصلی در ماشین‌آلات دوار مورد استفاده قرار می‌گیرد: متصل نمودن ماشین گرداننده به ماشین گردنده و سپس انتقال گشتاور از ماشین گرداننده. با توجه به اینکه ماشین‌های دوار معمولاً در دورهای نسبتاً بالا بکار گرفته می‌شوند عوامل بارهای ارتعاشی (Vibration) و بارهای ناشی از عدم هم‌محوری (Misalignment)، در کارکرد کوپلینگ‌های استاندارد صنعتی از پارامترهای تاثیرگذار در طراحی این محصول می‌باشند. کوپلینگ‌ها به طور معمول در زمان بهره‌برداری اجازه جدا شدن شافت‌ها را از هم نمی‌دهند؛ البته (torque limiting couplings) کوپلینگ‌های محدودکننده گشتاور می‌توانند زمانی که میزان گشتاور از حد مشخصی بالاتر رفت دچار لغزش و یا جدایی شوند.





هدف اصلی استفاده از کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر این است که دو تجهیز دوار را به هم متصل کنند در حالی که اجازه درجاتی از جابه‌جایی (misalignment) و یا حرکت و یا هر دو را به آن‌ها می‌دهند. با طراحی، انتخاب، نصب و نگهداری دقیق کوپلینگ‌ها می‌توان صرفه‌جویی زیادی در هزینه نگهداری و زمان خروج از سرویس ماشین‌های دوار به عمل آورد.

مقدمه:

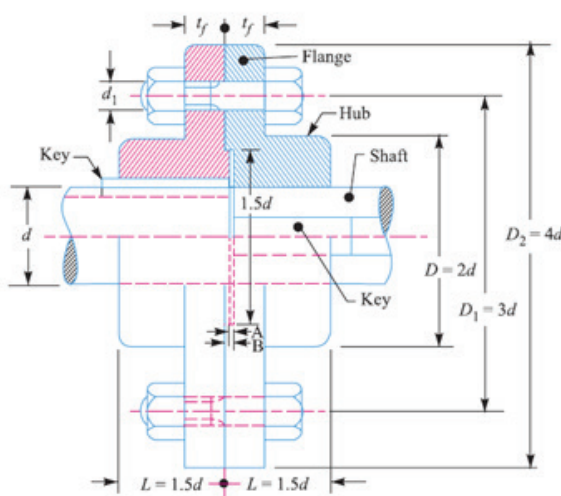
انواع کوپلینگ در صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی بر روی انواع پمپ‌ها، کمپرسورها و میکسرها، فن‌ها و به طور کلی ماشین‌آلات دوار پیشرفته به صورت فراگیری نصب گردیده‌اند. پمپ‌ها، کمپرسورها و میکسرها در ردیف ماشین‌آلات دوار و حساس در صنایع طبقه‌بندی می‌شوند و به طور مستقیم و محسوس بر میزان پایداری عملکرد (Reliability) واحدهای در حال بهره‌برداری تاثیرگذار هستند.

شرح مقاله:

• انواع کوپلینگ

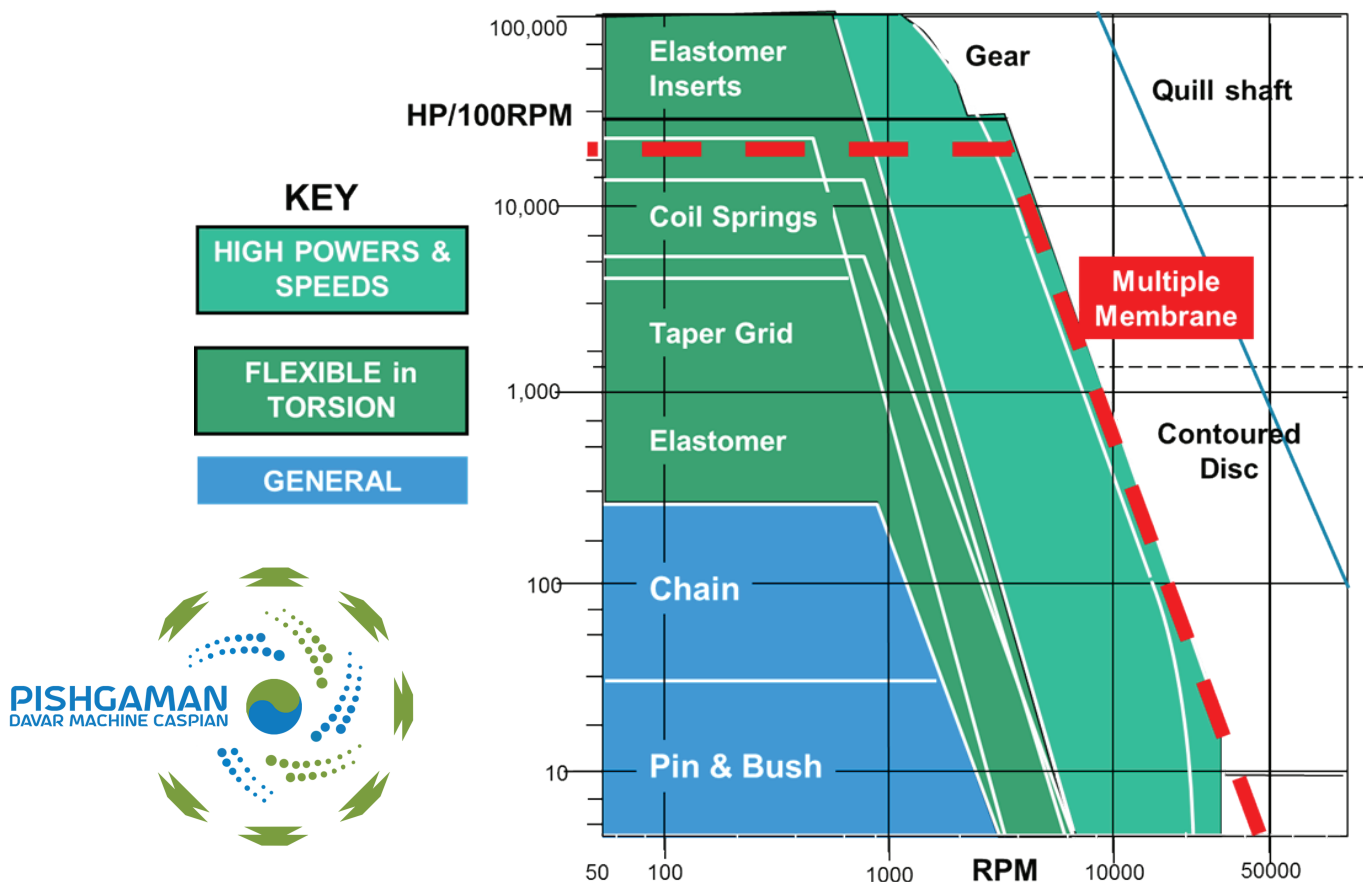
- کوپلینگ صلب (Rigid coupling):

قطعه‌ای است که برای اتصال دو شافت در یک موتور و یا سیستم مکانیکی استفاده می‌شود. کوپلینگ صلب می‌تواند برای اتصال دو سیستم جداگانه، مانند یک موتور و یک ژنراتور و یا برای ایجاد اتصال در یک سیستم واحد مورد استفاده قرار گیرد. همچنین یک کوپلینگ صلب می‌تواند در میان شافت‌ها اضافه شود و برای کاهش شوک و سایش در نقطه اتصال شافت‌ها به کار رود.



کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر (Flexible couplings):

برای انتقال گشتاور از یک شافت به شافت دیگر هنگامی که دو شافت در حالت عدم هم‌محوری محدود باشند، استفاده می‌شوند. کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر می‌توانند میزان عدم هم‌محوری را تا ۳ درجه و اندکی ناهم‌ترازی موازی را در خود خنثی کنند. علاوه بر این می‌توانند برای میرایی ارتعاش یا کاهش نویز استفاده شوند. محدوده کاربرد کوپلینگ‌ها در شکل زیر نشان داده شده است.



نگهداری و تعمیرات و خرابی کوپلینگ‌ها

نگهداری کوپلینگ‌ها نیاز به بازرسی با برنامه منظم برای هر کوپلینگ دارد که شامل موارد زیر می‌شود:

- انجام بازرسی چشمی
- چک کردن نشانه‌های فرسایش یا خستگی
- تمیزکاری منظم کوپلینگ
- بررسی و تعویض منظم روغن برای کوپلینگ‌هایی که روغن‌کاری شوند. این فعالیت برای بیش‌تر کوپلینگ‌ها سالیانه است ولی برای کوپلینگ‌های موجود در محیط‌های با شرایط کاری سخت بیش‌تر انجام می‌شود.
- مستندسازی نگهداری و تعمیرات انجام شده برای هر کوپلینگ همراه با تاریخ

حتی با نگهداری مناسب، کوپلینگ می‌تواند دچار خرابی شود. دلایل اصلی خرابی به غیر از نگهداری و تعمیرات نامناسب، عبارتند از:

- نصب نامناسب
- انتخاب کوپلینگ نامناسب
- کارکرد فراتر از قابلیت‌های طراحی
- اشکال در طراحی

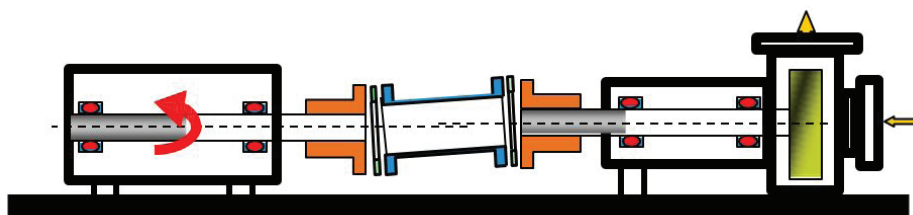
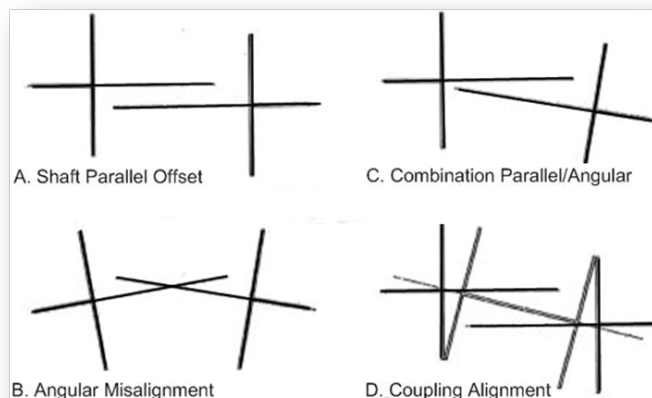
برای بهبود عمر کوپلینگ‌های آسیب‌دیده، درک دلیل خرابی و اصلاح دلیل خرابی قبل از نصب کوپلینگ جدید ضروری است. برخی نشانه‌های احتمال خرابی کوپلینگ عبارتند از:

- سر و صدای غیرطبیعی
- ارتعاشات بیش از حد
- نشت روغن و یا آلودگی برای کوپلینگ‌هایی که روغن‌کاری می‌شوند.
- چنین یک کوپلینگ صلب می‌تواند در میان شافت‌ها اضافه شود و برای کاهش شوک و سایش در نقطه اتصال شافت‌ها به کار رود.
- چک کردن بالانس کوپلینگ

کوپلینگ‌ها معمولاً در کارخانه قبل از حمل بالانس می‌شوند، اما گاهی در زمان کارکرد از بالانس خارج می‌شوند. مقدار عدم بالانس کوپلینگ که می‌تواند توسط هر سیستم پذیرفته شود توسط ویژگی‌های ماشین‌آلات خاص متصل به هم دیکته می‌شود و می‌تواند توسط آنالیز دقیق و یا تجربه تعیین شود. بالانس کوپلینگ‌ها توسط سازنده و استاندارد ساخت کوپلینگ مشخص می‌شوند.

عوامل متعددی بر خرابی کوپلینگ‌ها تاثیرگذار هستند. برخی از آنها عبارتند از:

- عدم هم‌محوری (Mis-alignment)، را شاید بتوان شایع‌ترین دلیل خرابی کوپلینگ‌ها برشمرد. با توجه به سرعت چرخشی معمولاً بالای ماشین‌آلات دوار، هرگونه عدم هم‌محوری غیرمجاز منجر به بروز ارتعاشات بیش از حد مجاز و اعمال نیروهای برشی به اجزای کوپلینگ‌ها من جمله دیسک‌های انعطاف‌پذیر شده و به مرور زمان موجب شکستگی در این دیسک‌ها و خرابی کوپلینگ می‌شود.

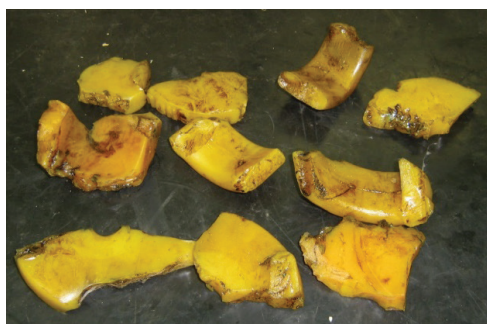




- خرابی بیرینگ‌ها و ایجاد ارتعاشات بیش از حد مجاز در محور ماشین‌آلات دوار

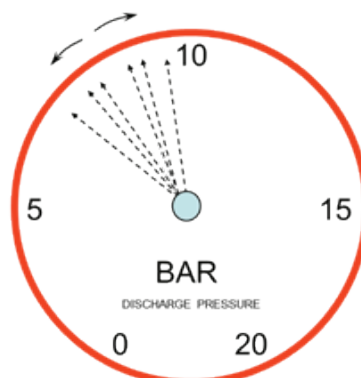


- اشکال در پاپینگ‌های متصل به ماشین‌آلات دوار و عدم هم‌محوری مناسب فلنج‌های پاپینگ نسبت به فلنج دستگاه که موجب ایجاد عدم هم‌محوری مناسب در محل نصب کوپلینگ و سپس بروز ارتعاشات و اعمال نیروهای خارج از حد طراحی بر روی کوپلینگ می‌شود.

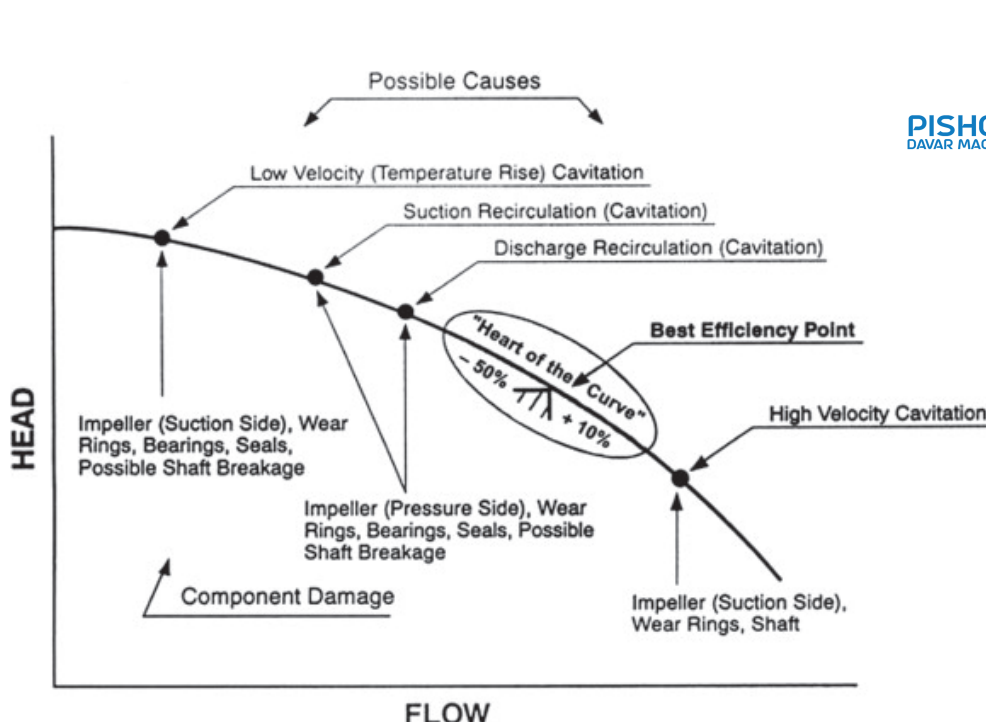


- نفوذ قطعات خارجی و یا رسوبات به داخل محفظه اصلی پمپ یا کمپرسور و ایجاد آنبالانسی در محور ماشین و بروز ارتعاشات غیرمجاز

- بروز پدیده کاویتاسیون در پمپ‌ها و ایجاد آنبالانسی در قطعات گردنده و بدنه پمپ‌ها به دلیل خرابی ناشی از کاویتاسیون و بروز ارتعاشات پیوسته و بیش از حد مجاز در کوپلینگ‌ها



- استفاده از پمپ‌ها در شرایط بهره‌برداری خارج از نقطه بهترین بازدهی (Best Efficiency Point – BEP) تعریف شده برای ماشین آلات دوار. در این موارد علاوه بر اعمال بارهای غیرمجاز اعم از نیروها و گشتاورهای غیرمجاز بر محور و کوپلینگ ماشین آلات دوار، بروز ارتعاشات غیرمجاز نیز اعمال بارهای غیرمجاز بر روی کوپلینگ را دو چندان کرده و موجب خرابی کوپلینگ‌ها می‌شود.

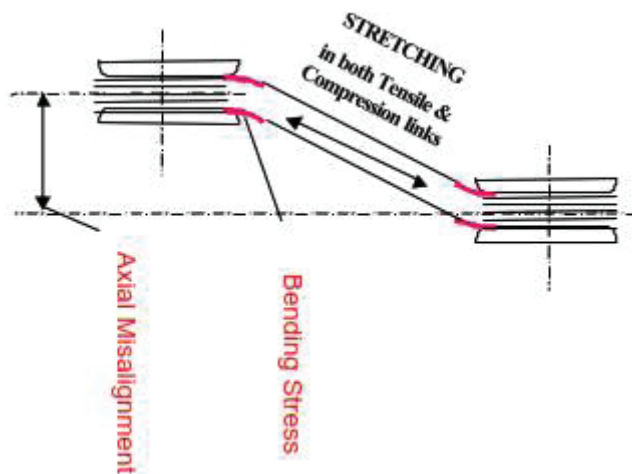
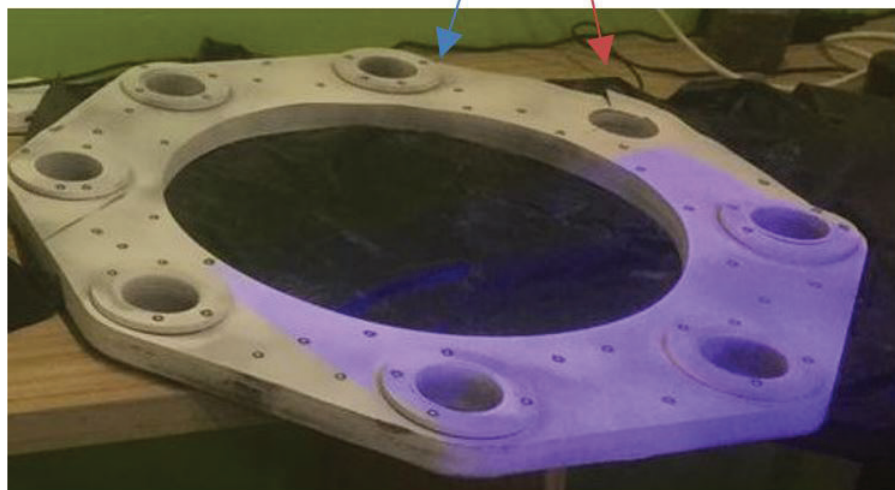
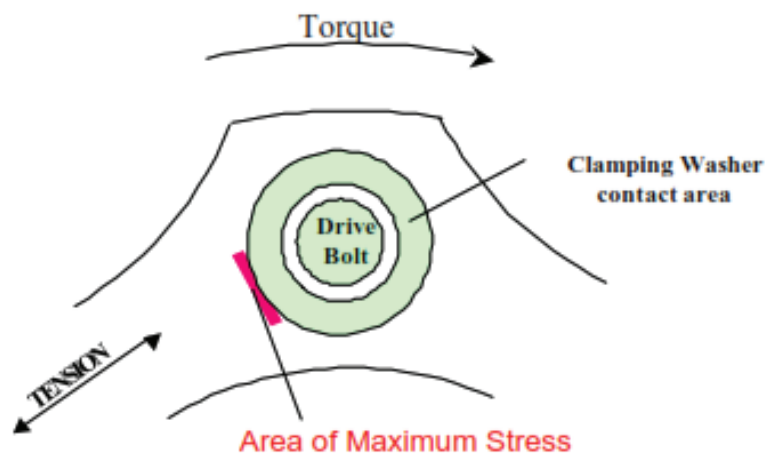


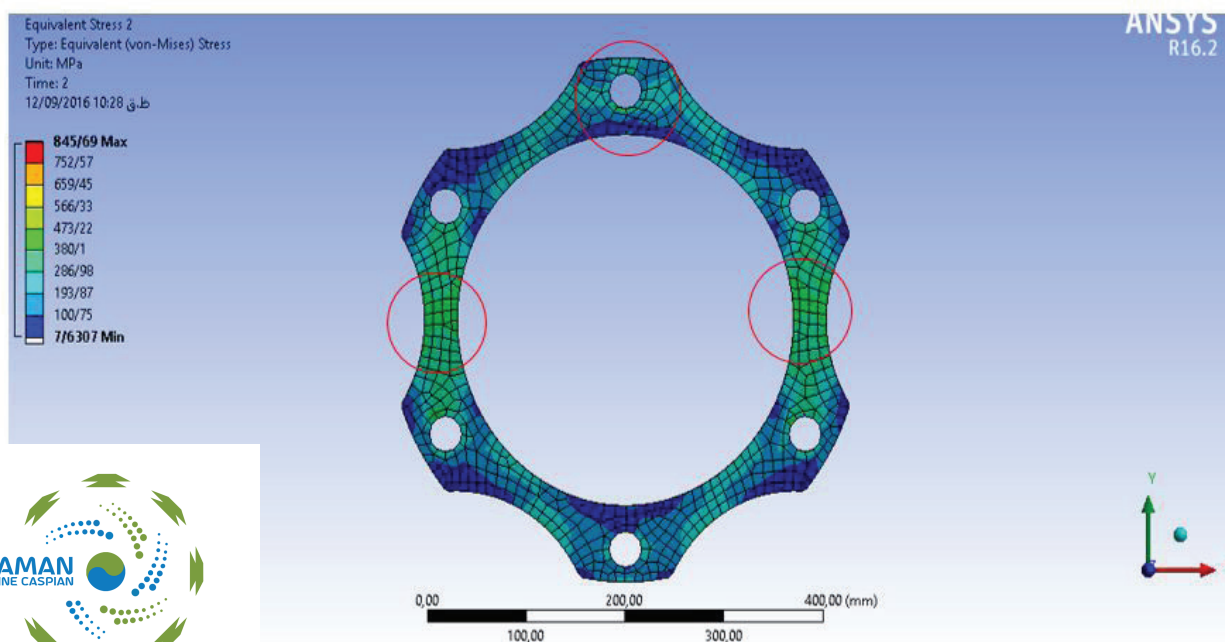
- اشکال در مونتاژ و نصب کوپلینگ‌ها از دیگر عوامل خرابی کوپلینگ‌ها هستند. میزان نیروی لازم برای سفت کردن پیچ‌های کوپلینگ (tightening torques) توسط سازنده مشخص می‌شوند و عدم رعایت این دستورالعمل می‌تواند منجر به خرابی کوپلینگ شود.

- خوردگی دیسک‌های فنری و سایر قطعات کوپلینگ ناشی از قرار گرفتن در محیط‌های عملیاتی با سیالات خورنده یکی دیگر از عوامل خرابی کوپلینگ‌ها می‌باشد.



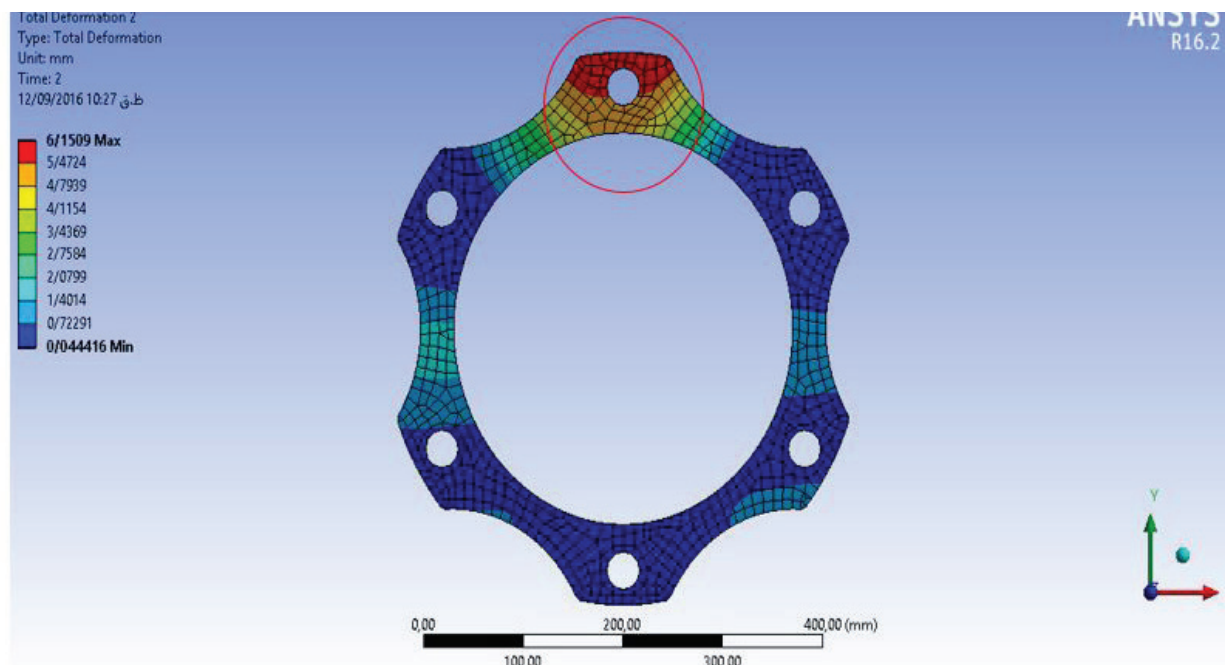
در صورت اعمال گشتاور و نیروهای خارج از حد طراحی و بروز ارتعاشات بالا در ماشین‌آلات و یا توقف ناگهانی گردنده یا گرداننده، گسست دیسک‌های فنری کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر امری ضروری است.





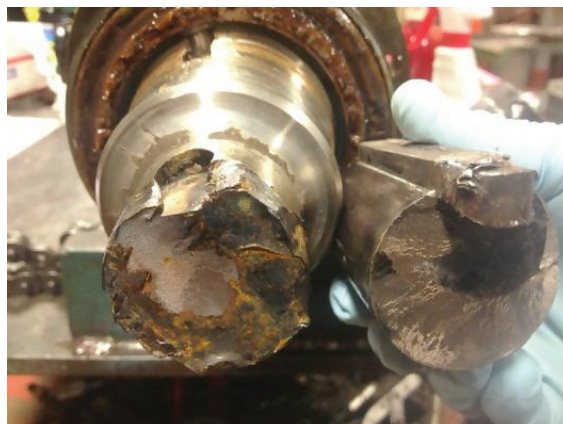
تنش ون میسز ناشی از بارگذاری همزمان حداکثر گشتاور پیچشی، انحراف زاویه‌ای و انحراف محوری

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود مقدار بیشینه تنش در دو بخش جانبی و ناحیه بالایی می‌باشد. علت کشیدگی مشاهده شده در نواحی جانبی ناشی از اعمال گشتاور پیچشی بوده و همچنین افزایش تنش در ناحیه بالایی بیشتر متأثر از جابجایی در راستای محور Y می‌باشد. همچنین در نواحی اطراف سوراخ به دلیل تمرکز تنش مقادیر بیشینه مشاهده می‌شود. باتوجه به جنس قطعه و استحکام تسلیم، مشاهده می‌شود که قطعه وارد محدوده پلاستیک شده است. تنش حادث شده در این حالت نسبت به شرایطی که تنها گشتاور پیچشی بر سیستم اعمال می‌شود بسیار بزرگتر است و از این موضوع می‌توان استنتاج نمود که انحراف زاویه‌ای ناشی از مونتاژ و بارهای شعاعی وارد بر کوپلینگ می‌توانند عوامل بسیار تاثیرگذاری در خرابی زودهنگام این قطعات باشند.



تغییر شکل کلی ناشی از بارگذاری همزمان حداکثر گشتاور پیچشی، انحراف زاویه‌ای و انحراف محوری

در نواحی نشان داده شده در شکل مقدار تغییر شکل بیشینه بوده که بیشتر تحت تاثیر خم شدن مجموعه تحت اعمال انحراف زاویه‌ای می‌باشد. تغییر شکل کلی ناشی از این اعمال بار می‌باشد که با توجه به مقدار تنش بخش بزرگی از این تغییر شکل دائمی بوده و موجب اختلال در عملکرد مجموعه کوپلینگ و سرانجام توقف ماشین دوار می‌شود. چنانچه طراحی و یا انتخاب کوپلینگ مطابق مشخصات عملکردی ماشین آلات دوار انجام نشده باشد و یا بازسازی کوپلینگ توسط افراد ناشی به صورت خارج از استانداردهای سازنده اصلی انجام شود، دیسک‌های فنری کوپلینگ در زمان بروز مشکلات همچنان ارتباط دو تجهیز را حفظ کرده و موجب خرابی‌های جبران‌ناپذیر می‌شوند.



• نتیجه‌گیری:

کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر با دیسک فنری به عنوان کوپلینگ‌های بدون نیاز به تعمیر یا Maintenance Free توسط سازندگان معتبر طراحی و ساخته می‌شوند، ولی مشکلات ناشی از عدم هم‌محوری (Misalignment)، بهره‌برداری در شرایط خارج از پارامترهای طراحی تعریف شده برای ماشین آلات (Best Efficiency Point)، خرابی یاتاقان‌ها، کاویتاسیون در پمپ‌ها، قرار گرفتن در محیط‌های خورنده، بروز سرج در کمپرسورها، اشکال در طراحی و اجرای پایپینگ‌های ورودی و خروجی پمپ‌ها و کمپرسورها، آنبالانسی روتور ماشین آلات دوار و برخی مشکلات دیگر دچار خرابی می‌شوند.

کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر با دیسک‌های فنری به گونه‌ای طراحی شده‌اند تا در شرایط بحرانی مانند یک فیوز عمل کرده و ارتباط دستگاه گرداننده را با پمپ و کمپرسور قطع کنند تا از احتمال صدمه به ماشین آلات اصلی مثل پمپ و کمپرسور پیش‌گیری کنند، لذا هرگونه دخل و تصرف در ساخت و طراحی اولیه بدون در نظر گرفتن پارامترهای مهندسی مورد نظر سازنده اصلی می‌تواند منجر به بروز حوادث جبران‌ناپذیر گردد.

تأثیر انحراف زاویه‌ای که می‌تواند ناشی از خطاهای مونتاژ باشد و همچنین بارهای شعاعی وارد بر کوپلینگ انعطاف‌پذیر در کنار گشتاور پیچشی اعمالی از طرف گرداننده می‌تواند تنش‌های صفحات دیسکی را به نحو فزاینده‌ای افزایش دهد به نحوی که اعمال هر سه نوع بارگذاری اعم از گشتاور پیچشی و انحرافات محوری و زاویه‌ای مجموعه صفحات کوپلینگ را دچار شکستگی و خرابی می‌کند. اعمال انحراف زاویه‌ای تمایل به خم کردن مجموعه کوپلینگ در راستای عمود به سطح صفحات را دارد با توجه به آسیب‌پذیر بودن صفحات (به دلیل ضخامت کم) در این راستا، بیشترین نقش را در تغییر شکل کلی ایفا می‌کند. اعمال انحراف محوری و گشتاور پیچشی به دلیل تمایل به کشیدن و فشردن صفحات در راستای محور موازی با سطح صفحات کمترین اثر را روی جایجایی خواهند داشت. اما این دو بار بیشترین سهم را در بالا بردن میزان تنش دارند. با توجه به اینکه اتصال صفحات کوپلینگ توسط شش پیچ به دو شفت موتور و گیربکس می‌باشد لذا مشاهده مقادیر بیشینه تنش در نواحی اطراف سوراخ‌های روی صفحات دور از انتظار نمی‌باشد زیرا در سایر قسمت‌ها، از محل اعمال بار که همین سوراخ‌ها هستند دورتر شده و این امر سبب میرایی نیرو و کاهش میزان تنش خواهد شد.

• منابع:

- Paolo Pennacchi , Andrea Vania, Diagnostics of a crack in a load coupling of a gas turbine using the machine model and the analysis of the shaft vibrations, Mechanical Systems and Signal Processing 22, 2008
- سعید ربی ، مهرداد قطره نبی ، تحلیل شکست و تغییر شکل کوپلینگ صفحه‌ای انعطاف‌پذیر، ۱۳۹۵
- R. D. A. Ovalle, "An Analysis of the Impact of Flexible Coupling Misalignment on Rotordynamics," A Thesis Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University, Master OF science, 2010
- Sachin R Patil & D. S. Chavan "Investigation of Effect of Different Shim Profiles on Performance of Shim or Disc Coupling" International Journal on Mechanical Engineering and Robotics, Volume-1, Issue-2, 2013
- API 671

