

مکانیکال سیل Mechanical Seal چیست؟

انواع کاربردها و نکات انتخاب سیل مناسب برای پمپ‌ها

مکانیکال سیل (Mechanical Seal) یکی از اجزای حیاتی در سیستم‌های صنعتی است که از ترکیب حلقه‌های حلقه‌های هواپوش یا حلقه‌های مرتبط با هم تشکیل می‌شود. این سیل‌ها به منظور جلوگیری از نشت مایعات در شرایط فشار و دمای بالا طراحی شده‌اند. مکانیکال سیل‌ها به عنوان جایگزینی برای سیستم‌های قدیمی آب‌بندی شفت‌ها، به کار می‌روند و از نشتی مایعات جلوگیری می‌کنند.

این سیل‌ها به دلیل ویژگی‌هایی مانند طول عمر بالا، عملکرد عالی و نیاز به کم نگهداری، در صنایع مختلف از جمله نفت، گاز، شیمیایی، پالایشگاهی، تولید برق، آب و ماشین‌آلات صنعتی کاربردهای فراوانی دارند. مکانیکال سیل‌ها در سیستم‌های انتقال انرژی، پمپ‌ها، کمپرسورها، خطوط لوله و سایر تجهیزات برای جلوگیری از نشت مایعات و ورود هوا به داخل سیستم، به کار می‌روند. برای اطمینان از عملکرد بهینه سیستم‌های صنعتی، خرید مکانیکال سیل مناسب از اهمیت زیادی برخوردار است. برای خرید مکانیکال سیل مناسب و اطمینان از عملکرد صحیح پمپ‌های آب، شرکت‌هایی مانند نوین پمپ‌ها، گزینه‌های موجود را برای انتخاب کرده‌اند تا نیاز صنایع مختلف را پوشش دهند.

آب‌بند مکانیکی (مکانیکال سیل) چیست؟

پیش از رواج استفاده از مکانیکال سیل (Mechanical Seal)، برای آب‌بندی شفت از روش‌های سنتی استفاده می‌شد. این روش‌ها به مرور زمان به دلیل اصطکاک و چرخش شفت دچار ساییدگی می‌شوند، که باعث افزایش نشتی و نیاز به تنظیم یا تعویض می‌گردید. همچنین، برای خنک نگه داشتن، آب‌بندی، حجم زیادی آب لازم بود و برای کاهش یافتن، آب‌بند باید با فشار بر شفت تماس می‌داشت. این عامل باعث افزایش مصرف انرژی برای چرخاندن شفت و ایجاد شیارهای سایش روی آن می‌شود که تعمیر یا تعویض آن‌ها پرهزینه بود.

به همین منظور، استفاده از سیل مکانیکی گسترش یافت. در صنعت، اسامی رایج این نوع آب‌بند شامل مکانیکال سیل، آب‌بند مکانیکی، فیبروفنر و نشتی‌گیر است. از پرکاربردترین انواع آن می‌توان به نخ‌های گرافیتی و مکانیکال سیل بورگمن اشاره کرد.

مکانیکال سیل بورگمن در اکثر صنایع کاربرد دارد و هر جایی که یک عامل در حال چرخش باشد و سیال را منتقل کند، این نوع سیل نقش مهمی در آب‌بندی محفظه و جلوگیری از نشت مایعات ایفا می‌کند.

یکی از قطعات اصلی الکتروپمپ‌ها، مکانیکال سیل است که وظیفه اصلی آن جلوگیری از نفوذ آب به داخل موتور و محافظت از اجزای داخلی است.

طول عمر مکانیکال سیل

مکانیکال سیل یکی از آب‌بندی‌های با دوام است که معمولاً طول عمر بالایی دارد، اما عمر آن به عوامل متعددی وابسته است. انتخاب صحیح مکانیکال سیل متناسب با شرایط عملکردی، نصب درست و انجام بازرسی‌های دوره‌ای از مهم‌ترین عواملی هستند که بر طول عمر و زمان تعویض آن تأثیر می‌گذارند.

از آنجایی که مکانیکال سیل شامل قطعات و سطوح حساس است، یکی از اصلی ترین پمپ های خراب به این نوع آبنند می شود. با توجه به کاربرد مکانیکال در تجهیزات دوار، به ویژه پمپ ها، درک دقیق عملکرد و نگهداری آن ویژه ای دارد

انواع سیل مکانیکی

سیل های مکانیکی به دسته بندی های تقسیم می شوند که به طور کلی می توان آنها را به انواع زیر تقسیم کرد:

مکانیکال سیل فشاری

سیل مکانیکی فشاری از یک یا چند فنر و یک سیل ثانویه تشکیل شده است. سیل ثانویه به صورت محوری و در امتداد شفت یا بوشفت حرکت می کند تا فشار روی سطح آب بندی را حفظ کند. این نوع سیل جبران سایش و ناترازی شفت را دارد. از مزایای این نوع می توان به ارزان بودن آن اشاره کرد، اما عیب اصلی آن وجود سیل ثانویه است که در صورت وجود سیال ساینده در پمپ، ممکن است دچار سایش و خرابی شود.

مکانیکال سیل غیر فشاری

سیل مکانیکی غیر فشاری از یک واشر الاستومری یا دم فلزی برای ایجاد نیروی بسته روی شفت استفاده می کند. این نوع سیل به دلیل نداشتن سیل ثانویه، در برابر سایش و خرابی مقاوم تر است و برای سیالات ساینده بسیار مناسب می باشد. همچنین در کاربردهایی که آلاینده گی زیاد یا دماهای بالا وجود دارد، این نوع سیل بیشتر استفاده می شود. عیب این نوع سیل در این است که برای سیالات خورنده نیاز به استفاده از سیل های بزرگتر وجود دارد.

مکانیکال سیل خلیج و نامتعادل

در سیل مکانیکی، نیروهای نیروهای بر روی سطح به صورت یکنواخت توزیع می شود. این طراحی روغن کاری یکنواخت سطح و در نتیجه طول عمر سیل می شود. سیل های کاربرد برای کاربردهایی با فشار بالاتر از ۲۵۰ Psig مناسب هستند. از سوی دیگر، سیل مکانیکی نامتعادل برای فشارهای پایین تر مناسب است و معمولاً کمتری دارد.

مکانیکال سیل کارتریجی

سیل مکانیکی کارتریجی به صورت پیش نصب طراحی و ساخته می شود و تمام قطعات و متعلقات آن بر روی یک بوش قرار دارند. نصب این نوع سیل به راحتی انجام می شود، زیرا کل مجموعه به سادگی بر روی شفت نصب می شود. این نوع سیل مشکل ناصحیح و خرابی ناشی از آن را ندارد و در مقایسه با انواع دیگر، قیمت بالاتری دارد، اما هزینه تعمیر و نگهداری کمتری خواهد داشت.



کیفیت‌های انتخاب آب‌بند مکانیکی

برای انتخاب یک آب‌بند مکانیکی مناسب، از استانداردهای تدوین شده و توجه به نوع و جنس قطعات به بهترین شکل استفاده می‌شود. یکی از سازمان‌های معتبر در این زمینه، موسسه نفت آمریکا (API) است که استاندارد API ۶۸۲ را برای آب‌بند مکانیکی مناسب با کاربردهای خاص ارائه شده انتخاب می‌کند. این استاندارد به‌عنوان یک راهنما عمل می‌کند و الزامات طراحی را شامل نمی‌شود، اما بسیاری از کاربردهای صنعتی و پتروشیمی را پوشش می‌دهد. با این حال، برخی از کاربردهای خاص در آن یافت نمی‌شوند.

در کاربردهایی که سیال نسبتاً بی‌خطر است، می‌توان از آب‌بند تک‌گانه استفاده کرد، زیرا حتی در صورت نشتی، فشار اتمسفری خطر ایجاد نمی‌کند و آن را آسان‌تر کنترل می‌کند. از آب‌بند دوگانه استفاده از امکان کنترل بهتر نشتی با محصور کردن سیال را فراهم می‌کند، مقدار کمی از آن ممکن است باقی بماند. در شرایطی که نشتی مجاز نیست، آب‌بند سه‌گانه به کار می‌رود که با استفاده از مکانیزم سیال پرفشار، از خروج سیال جلوگیری می‌کند. در ویرایش چهارم استاندارد API ۶۸۲، علاوه بر آن بر میزان نشتی، نوع سیال، میزان مصرف و خطرات آن نیز در نظر گرفته شده و قطعات آب‌بند با توجه به مقاوم‌تشان در برابر سیالات مختلف، با کدهای مشخص شده مشخص شده است. قبل از انتخاب نهایی، علاوه بر موارد فوق، باید ملاحظاتمانند ویژگی‌های سیال، امکان کارکرد پمپ بدون سیال، استراتژی‌های تشخیص نشتی، روش تشخیصی و استفاده از قابلیت‌های احتمالی سیال نیز بررسی شوند.

اجزاء مکانیکال سیل طبق استاندارد بین‌المللی

تمام مدل‌های آب‌بند مکانیکی بدون نوع و سازنده سازنده دارای اجزا و قطعات هستند ولی از قطعاتی که به صورت مشترک در تمام آب‌بند ها وجود دارد وجود دارد. به صورت کلی در ساختار آب‌بند مکانیکی یا سیل مکانیکی از سه جز در بخش ها و انواع مختلف استفاده می‌شود که عبارتند از :

کفه ثابت (صندلی)

این قسمت به صورت ثابت بر روی محفظه یا پوسته پمپ می‌نشیند و با اورینگ به قسمت داخلی کاسه پمپ محکم چفت می‌شود. جنس این قطعه به طور معمول از استیل و یا ذغال کربن و یا مواد مقاوم به خوردگی مانند سیلیکن می‌باشد. بنابراین به نوع مصرف استیل آن قابل تغییر است.

کفه متحرک (مهر صورت)

بر روی شفت سوار می‌شود و همراه با شفت دوار در حال چرخش می‌باشد. جنس این قطعه را با توجه به نوع مصرف می‌توان از کربن و یا در مواردی از سیلیکون کاربید که بیشترین نوع مصرف را نیز دارد. یا مواد با جنس محکم تر به نام تنگستن استفاده کرد.

فنر مخروطی

وظیفه تامین نیروی چسبندگی برای اتصال دو کفه ثابت و متحرک را دارد. این فنر باعث می‌شود که کفه متحرک به طور کامل به قسمت ثابت چسبیده و جلوگیری از عبور موادی می‌شود. این فنر در مدل های مختلف با اشکال مختلف و متریال گوناگون ساخته می شود.

کاربرد و عملکرد مکانیکال سیل (Mechanical Seal)

با وجود اینکه پکینگ گلند یک روش قدیمی برای آب‌بندی شفت است، از مکانیکال سیل روزبه‌روز در حال افزایش استفاده می‌شود. منبع اصلی این تغییر عبارت‌اند از:

- سائیتی و افزایش ناشی به مرور زمان در پکینگ گلند
- تولید حرارت زیاد ناشی از اصطکاک شفت و نیاز به خنک کاری است
- افزایش فشار روی گلند برای کاهش ناشی که باعث کاهش بازده سیستم می شود
- مکانیکال سیل برای حل این مشکلات طراحی شده و شامل دو بخش اصلی است:
- اجزای ثابت: متصل به بدنه پمپ یا تجهیزات ثابت
- بخش دوران‌کننده: متصل به شفت و حرکت می‌کند

اجزای اصلی مکانیکال سیل

المان چرخشی اصلی: به شفت وابسته و دوران می‌کند، با المان ثابت در تماس است.
المان ثابت اصلی: به بدنه ثابت متصل است و روی المان چرخشی نیرو وارد می کند.
نیروی جمع کننده: برای اتصال المانها و حفظ آب‌بندی. این نیرو معمولاً توسط فنر یاربا ایجاد می‌شود.
آب‌بندی ثانویه ثابت و متحرک: جلوگیری از ناشی بین اجزای ثابت و متحرک.

نکات مهم طراحی و عملکرد

برخی از المان‌ها از سرامیک، کاربید، کربن یا کامپوزیت ساخته می‌شوند.
برای عملکرد صحیح، یک لایه نازک سیال بین المان‌ها باید تا اصطکاک کاهش یافته و خنک‌کاری انجام شود.
در انواع سیل لبه‌ای، تغییر شکل المان‌ها جابجایی شفت و تلورانس‌های یتاقان را جبران می‌کند و به آب‌بندی کمک می‌کند.
حداقل ناشی با تنظیم تناسب جمع کننده و فاصله بین المانها کنترل می شود.
آب‌بندی‌های مکانیکی به انواع سطوح ثابت، سطوح و لبه‌های تقسیم می‌شوند، که هرکدام بر اساس شرایط کاری و ویژگی‌های سیال انتخاب می‌شوند.

چرا از سیل‌های مکانیکی استفاده می‌کنیم؟

سیل‌های مکانیکی برای جلوگیری از نشت سیالات و حفاظت از تجهیزات در برابر آسیب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سیل‌ها به دلیل ویژگی‌های خاص خود، افراد زیادی دارند:

عدم نمایش قابل مشاهده: سیل‌های مکانیکی به‌طور معمول سیال را به صورت بخار از روی سطح نشان می‌دهند و نشت آن‌ها به طور مستقیم قابل مشاهده نیست.

محافظت از پمپ‌های شفت: طراحی مدرن مانند سیل کارتریجی به گونه‌هایی هستند که به پمپ‌های شفت یا بوش آسیب نمی‌زنند.

کاهش نیاز به نگهداری روزانه: سی‌های مکانیکی دارای فنرهای داخلی هستند که به‌طور خودکار تنظیم می‌شوند، بنابراین نیاز به نگهداری مداوم کمتری دارند.

صرفه‌جویی در انرژی: این سیل‌ها به دلیل داشتن سطوح سبکی که نسبت به گلند پکینگ‌ها، کمتر مصرف می‌کنند، کارایی بهتری دارند.

کاهش مصرف بلبرینگ‌ها: به این دلیل که روان‌کننده‌ها تحت تأثیر قرار نشت سیل قرار نمی‌گیرند و از آن جلوگیری می‌کنند، بلبرینگ‌ها کاهش می‌یابد.

کاهش مصرف تجهیزات: در صورتی که محصول در پمپ موجود باشد، سیل‌های مکانیکی کمک می‌کنند تا کارخانه‌ها کمتر بخورند.

آب خلا: این نوع سیل‌ها را آب‌بندی خلا می‌کنند، بر خلاف پکینگ‌ها که ممکن است هوا را به پمپ جذب کنند.

صرفه جویی در هزینه‌ها: به دلیل کاهش هدررفت محصول و بهینه سازی مصرف سیالات، هزینه‌ها کاهش یافته و حتی در مواردی که آب گران است، هزینه‌ها صرفه جویی می‌شود. همچنین نیاز به تمیز کردن سطح به حداقل می‌رسد.

طراحی مکانیکال سیل

هدف اصلی در طراحی سیل مکانیکی، حفظ تمیزی و خنکی محل تماس المانها است تا عملکرد صحیح آب‌بندی انجام شود و طول عمر آن افزایش یابد. این کار می‌تواند به‌واسطه تنظیم نیرومندی بین المان‌های آب‌بندی و ضخامت لایه سیال بین آن‌ها برای جلوگیری از افزایش دمای محل تماس انجام شود. یکی دیگر از روش‌ها برای تنظیم ضخامت لایه سیال، تغییر طراحی و نوع المان‌ها در تماس با نیروی عمودی بین آن‌ها بهبود می‌یابد.

انتخاب و مواد تأثیر آن بر طول عمر سیستم

انتخاب جنس المان‌های اصلی آب‌بند مکانیکی دارای تعداد زیادی بر طول عمر سیستم است. تطابق شیمیایی مواد یکی از ویژگی‌های مهم انتخاب شده است. مواد سفت‌تر در برابر سیالات خورنده مقاوم‌تر هستند، اما اگر هر دو المان از جنس‌های سفت انتخاب می‌شوند، بین آن‌ها افزایش می‌یابد و برای سیالات بدون خاصیت غذایی مناسب نخواهند بود. استفاده از ابزارهای نرم‌افزار یا مواد مناسب برای روان‌کاری مانند گرافیت می‌تواند کاهش دهد.

همچنین استفاده از مواد کامپوزیتی باعث کاهش اصطکاک می‌شود از طریق ایجاد سوراخ‌های میکروسکوپی در سطح تماس می‌شود.

رسانایی گرمایی مواد نیز یکی از ویژگی‌هایی است که در انتخاب مواد باید مد نظر قرار گیرد، زیرا این ویژگی به انتقال گرما به دور از سطح کمک می‌کند.

در نهایت، سطوح سختی المان‌ها و بافت درونی نیز در طول عمر آب‌بندی نقش اساسی دارند. توجه به این نکات می‌تواند از خرابی‌های ناشی از شرایط نامناسب شیمیایی، فشار و دما جلوگیری کند و از شکستن قطعات فلزی در تماس با سیال جلوگیری کند.

نحوه انتخاب مکانیکال سیل (آبند)

انتخاب مکانیکال سیل مناسب به عوامل مختلفی که در ادامه به مهم ترین آن ها اشاره می کنند: قطر شفت و اندازه های مونتاژی: اندازه قطر شفت و طول مکانیکال سیل باید به طور دقیق مشخص شود تا سیل به درستی در پمپ نصب شود.

تعداد دور بر دقیقه (RPM) پمپ: چرخش پمپ (RPM) در انتخاب جنس و طراحی سیل تأثیر زیادی دارد، زیرا باید با شرایط کاری پمپ هماهنگ باشد.

دمای کاری پمپ: مکانیکال سیل باید دمای کاری پمپ را تحمل کند. به عنوان مثال، برای سیالاتی که آن ها تا ۸۰ درجه سانتیگراد است، جنس الاستومرهای NBR مناسب است. برای دمای بین ۸۰ تا ۱۸۰ درجه، الاستومر وایتون بهترین گزینه هستند و برای دماهای بالاتر از ۱۸۰ درجه سانتیگراد، از تفلون و الاستومرهای خاص می شود.

فشار کاری و حداکثر فشار یکی: فشار سیستم پمپاژ از فاکتورهای مهم در انتخاب سیل است. باید توجه داشت که فشار کاری و حداکثر فشار سیستم باید با ظرفیت سیل انتخابی همخوانی داشته باشد.

نوع سیال: نوع سیال تأثیر زیادی بر انتخاب مواد و سطح سیل دارد. برای سیالاتی که دارای ذرات ریز هستند، سیلیکن کارباید مناسب ترین گزینه است. برای سیالات بدون ذرات ریز و در دور نرمال، کربن گزینه مناسبی است. برای سیالات حساس با ضریب بالا و نیاز به جلوگیری از نشتی، تنگستن کارباید انتخاب بهتری است.

مشکلات گرمایی در پمپ ها: در پمپ هایی که ممکن است گرم شدن سیل وجود نداشته باشد، سرامیک یکی از مواد مناسب برای استفاده است، البته به این شرط که سیل به هیچ عنوان در شرایط خشک شدن کار نکند، زیرا در این صورت احتمال ترک خوردگی و خرابی آن بسیار زیاد است.

نتیجه

در پایان، انتخاب و استفاده از مکانیکال سیل مناسب برای هر پمپ و سیستم پمپاژ از اهمیت بالایی برخوردار است. این قطعه کوچک و حیاتی نقش بسیار مهمی در حفظ عملکرد و جلوگیری از نشت سیالات ایفا می کند. با در نظر گرفتن فاکتورهایی مانند دما، فشار، نوع سیال، جنس مواد و شرایط کاری پمپ، می توان عمر تجهیزات مفید را افزایش داد و از هزینه های اضافی برای حفظ و نگهداری جلوگیری کرد. توجه به جزئیات در انتخاب سیل مکانیکی نه تنها باعث افزایش کارایی سیستم می شود، بلکه از بروز مشکلاتی مانند سایش، خوردگی و خرابی قطعات نیز جلوگیری می کند. بنابراین، درست مکانیکال سیل و توجه به نگهداری صحیح آن، در عملکرد پایدار و سیستم های پمپاژ بسیار تأثیرگذار است.