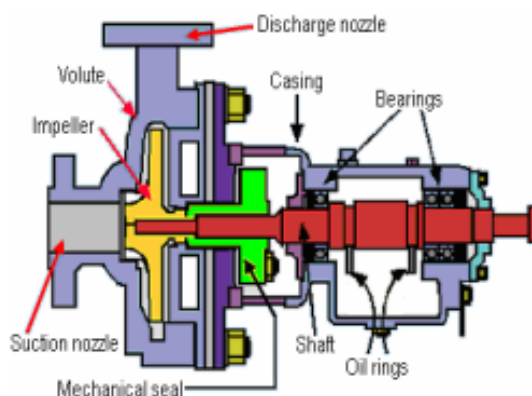


بررسی حرارت تولیدی در آب بند مکانیکی

۱- مقدمه

آب بند مکانیکی^{۳۸} قطعه ای است که برای کنترل نشتی در ادوات دوار مانند پمپ به کار می رود تا سیال از درون محفظه به محیط وارد نشود. در شکل ۱ نمایی از یک پمپ سانتریفیوژ و نحوه قرارگیری آب بند مکانیکی روی شفت آن نشان داده شده است.



شکل ۱- آب بند پمپ سانتریفیوژ

یک آب بند مکانیکی از دو جزء تشکیل شده است، یک جزء ثابت و یک جزء متحرک. یک آب بند مکانیکی در چهار قسمت عملیات آب بندی را انجام می دهد:

- ۱- آب بندی بین اجزای دوار و ثابت (آب بندی اولیه).
 - ۲- آب بندی بین جزء ثابت و محفظه ی آب بندی (مثلا به وسیله ی یک گسکت^{۳۹})
 - ۳- آب بندی بین جزء دوار و شفت (آب بند ثانویه) مثلا یک ا-رینگ^{۴۰}.
 - ۴- آب بندی بین گلند^{۴۱} و محفظه ی آب بندی به وسیله ی گسکت یا ا-رینگ.
- در تمامی این آب بندی ها حرارتی تولید می شود که محاسبه ی مقدار آن در این مقاله شرح داده شده است.

۲- تخمین گرمای تولید شده در آب بند

برخلاف تصور اکثر مهندسين مبنی بر سادگی محاسبات گرمای تولید شده در آب بند مکانیکی، این محاسبات با در نظر گرفتن فرض های متعددی صورت می گیرد که نتیجه ی آن امکان بالای ایجاد انحراف در محاسبات و پاسخ به دست آمده است. دو متغیر که بیشترین درصد خطا را ایجاد می کنند ضریب افت فشار^{۴۲} (K) و ضریب تاثیر اصطکاک^{۴۳} (f) هستند.

K عددی بین ۰ و ۱ است که بیانگر میزان افت فشاری است که سیال هنگام عبور از آب بند با آن مواجه می شود. اگر سطوح آب بند صاف باشند و سیال غیرفلش^{۴۴} باشد K تقریبا برابر با ۰/۵ است. اگر سطوح آب بند محدب باشند و سیال فلش باشد، K بزرگتر از

³⁸ Mechanical Seal

³⁹ Gasket

⁴⁰ O-ring

⁴¹ Gland

⁴² Pressure drop coefficient

⁴³ Effective coefficient of friction

⁴⁴ سیال فلش سیالی است که تحت فشار ذخیره شده و پایین تر از نقطه ی جوش خود تبخیر می شود.

۰/۵ است. برای سطوح آب بند مقعر ضریب افت فشار کمتر از ۰/۵ است. از دیدگاه فیزیکی، ضریب افت فشار برای محاسبه میزان تغییرات فشار در طول سطوح آب بند، که منجر به نیروهای وارد بر دهانه می شود تعریف می گردد. نیروهای وارد بر دهانه از رابطه زیر به دست می آید :

$$F_{opening} = A \times \Delta P \times K$$

که در آن A نشانگر مساحت سطح آب بند است که در واحد میلیمتر مربع گزارش می شود. واحد تغییرات فشار و نیروی وارد بر دهانه به ترتیب مگا پاسکال و نیوتون است.

در عمل، ضریب افت فشار بین ۰/۵ و ۰/۸ است. برای هر مایع غیر فلش این ضریب ۰/۵ در نظر گرفته می شود. این تنها یک فرض است و مهندس طراح باید بر فرض بودن مقدار ضریب واقف باشد.

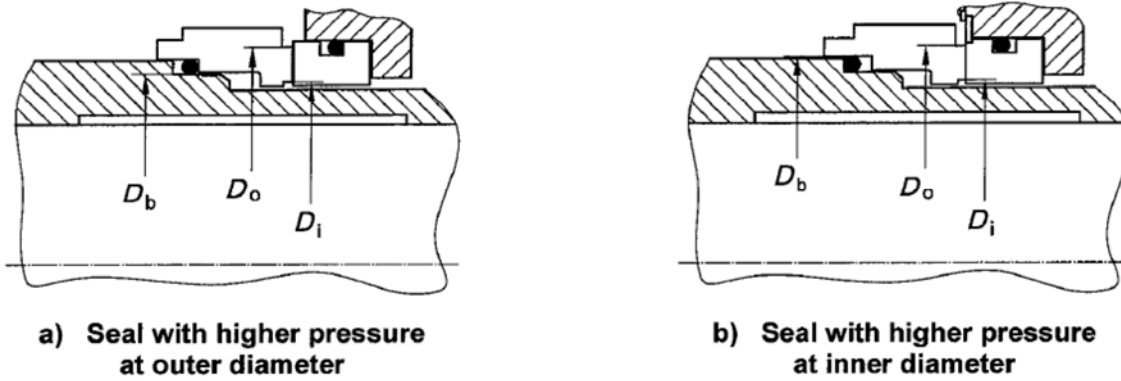
مقدار ضریب تاثیر اصطکاک مشابه ضریب اصطکاک استاندارد است که اکثر مهندسين با آن آشنا هستند. ضریب استاندارد اصطکاک بیانگر نسبت نیروهای موازی بر نیروهای عمود در سطوحی است که نسبت به هم متحرکند. این سطوح می توانند از یک جنس یا غیر هم جنس باشند.

آب بند مکانیکی دارای دو سطح متحرک است. اگر سطوح خشک باشند محاسبه ی ضریب اصطکاک کاری آسان است ولی در آب بندها معمولا سطوح به طرق مختلف روغن کاری می شوند که نتیجه ی آن انواع مختلفی از اصطکاک است. اگر سطح تماس خیلی زبر باشد، ضریب تاثیر اصطکاک به میزان زیادی وابسته به جنس سطح و از ویسکوزیته ی سیال مستقل می شود. اگر لایه ی بسیار نازکی از فیلم سیال بین دو سطح باشد ضریب تاثیر اصطکاک وابسته به سطح تماس بین فیلم سیال و سطح جامد خواهد بود. اگر فیلم کاملی از سیال بین دو سطح قرار گیرد تماسی بین دو سطح به وجود نمی آید و این ضریب تنها وابسته به تنش برشی خواهد بود.

ضریب تاثیر اصطکاک برای بیان تاثیر خالص تماس بین دو سطح لغزنده و فیلم سیال به کار می رود. طبق تست های عملی، آب بندهای معمولی با ضریب تاثیر اصطکاکی بین ۰/۰۱ و ۰/۱۸ کار می کنند. برای عملکرد معمول آب بندها ضریب تاثیر اصطکاک ۰/۰۷ در نظر گرفته می شود. استفاده از این مقدار برای آب و هیدروکربن های متوسط دقت بالایی دارد. سیالات ویسکوز مانند روغن ضریب اصطکاک بالاتری دارند در حالی که سیالات با ویسکوزیته ی پایین مانند هیدروکربن های سبک یا LPG مقادیر کمتری اختیار می کنند.

با در نظر گرفتن K و f به روش فوق، ترکیبی از فرض ها به وجود می آید که نتایج محاسبات را از نتایج عملی دور می کند. این انحراف باعث می شود که محاسبات انجام شده تنها جهت تخمین میزان گرمای تولید شده مورد استفاده قرار گیرد و هیچگونه تضمین عملی نخواهد داشت.

برای محاسبه ی میزان گرمای تولید شده در یک آب بند به اطلاعات اولیه ی جدول ۱ نیازمندیم. شکل ۱ نشان دهنده ی هندسه آب بند است.



شکل ۱- هندسه آب بند ها

جدول ۱- نیازمندی ها

نام پارامتر	نماد پارامتر	واحد	مقدار فرض شده
قطر خارجی آب بند	D_o	mm	-
قطر داخلی آب بند	D_i	mm	-
قطر موثر بالانس آب بند	D_b	mm	-
نیروی فنر در طول کارکردی	F_{sp}	N	-
تغییرات فشار در طول آب بند	ΔP	MPa	-
سرعت دورانی صفحه آب بند	n	rpm	-
ضریب اصطکاک	f	-	۰/۰۷
ضریب افت فشار	K	-	۰/۵

۳- فرآیند گام به گام محاسبه گرمای تولید شده در آب بند

گام اول: محاسبه سطح آب بند

$$A = \frac{\pi (D_o^2 - D_i^2)}{4} \quad (mm^2)$$

گام دوم: محاسبه نسبت بالانس آب بند

$$B = \frac{D_o^2 - D_b^2}{D_o^2 - D_i^2}$$

گام سوم: محاسبه فشار فنر

$$p_{sp} = \frac{F_{sp}}{A} \quad \left(\frac{N}{mm^2}\right)$$

گام چهارم : محاسبه فشار کل

$$p_{tot} = \Delta P (B - K) + p_{sp} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

گام پنجم : محاسبه قطر متوسط سطح آب بند

$$D_m = \frac{D_o + D_i}{2} \quad (mm)$$

گام ششم : محاسبه گشتاور حین عملکرد

$$T_r = p_{tot} \times A \times f \times \left(\frac{D_m}{2000} \right)$$

گام هفتم : محاسبه گشتاور آغاز به کار

$$T_s = 4T_r \quad (N.m)$$

گام هشتم : محاسبه توان

$$P = \frac{T_r \times n}{9550} \quad (KW)$$

۴- محاسبه افزایش دما در محفظه ی آب بند

با استفاده از تعادل ترمودینامیکی، دمای حالت پایای سیال درون محفظه آب بندی مشخص می شود. شار گرمایی وارده به سیال داخل محفظه آب بند منهای شار گرمای خروجی از محفظه، شار گرمایی خالص نام دارد. دما وابسته به مثبت یا منفی بودن شار گرمایی خالص به ترتیب افزایش یا کاهش می یابد. با وجود سادگی آنالیز فوق، آنالیز گرمایی واقعی آب بند بسیار پیچیده است.

منابع زیادی برای انتقال گرما به سیال وجود دارد که عبارتند از :

- ۱- گرمای تولید شده در آب بند به دلیل اصطکاک و تنش برشی
- ۲- گرمای تولید شده به دلیلی آشفته‌گی جریان به وجود آمده توسط اجزای دوار آب بند
- ۳- گرمای رسانشی پمپ از طریق محفظه آب بند و شفت
- ۴- گرمای ناشی از منابع گرمای خارج از محفظه آب بند (گرمای رسانشی از شفت و محفظه به پمپ و اتلافات گرمایی به اتمسفر به طریق جابجایی و تابش)

در بعضی موارد می توان فرض هایی مطرح کرد تا مدل ساده تر نگاشته شود. یک آب بند با پلان ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۳۱ در نظر بگیرید. با این پلان ها، سیال تزریق شده به محفظه ی آب بند در دمای پمپ قرار می گیرد و می توان از گرمای رسوخ کرده^{۴۵} صرف نظر

⁴⁵ Soak heat

کرد. همچنین از گرمای اتلافی به اتمسفر می توان صرف نظر کرد، مگر اینکه پمپ در دمای خیلی بالایی کار کند. برای محاسبه ی افزایش دما باید نیاز مندی های جدول ۲ را داشته باشیم.

جدول ۲- نیازمندی ها

واحد	نماد پارامتر	نام پارامتر
KW	Q	گرمای تولید شده در آب بند
Lit/min	q_{inj}	نرخ جریان تزریق شده
-	d	چگالی نسبی سیال تزریق شده در دمای پمپ
J/Kg.K	c_p	ظرفیت گرمایی ویژه سیال تزریق شده در دمای پمپ

اختلاف دما برابر است با :

$$\Delta T = \frac{60000 \times Q}{d \times q_{inj} \times c_p}$$

در حالتی که از پلان های ۲۱، ۲۲، ۳۲ یا ۴۱ استفاده شود، سیال تزریق شده به محفظه آب بند معمولا در دمای پایین تری از دمای پمپ قرار دارد. در این مواقع مقدار قابل ملاحظه ای گرما از پمپ به سیال منتقل می شود. محاسبه ی میزان گرمای رسوخ کرده بسیار پیچیده است. این محاسبه نیازمند تست های دقیق و اطلاعات جزئی از ساختار پمپ و سیال پمپ شده است. اگر اطلاعات مذکور در دسترس نبود گرمای رسوخ کرده با تقریب برابر است با :

$$Q_{heatsoak} = U \times A \times D_b \times \Delta T$$

که در آن U ضریب خصوصیات ماده اولیه^{۴۶} است. مقدار تخمینی $U \times A$ برای بوش محوری و گلند^{۴۷} از فولاد ضد زنگ و پمپ فولادی مقدار ۰/۰۰۲۵ است. با توجه به سطور فوق محاسبه ی گرمای رسوخ کرده تخمینی است. اگر گرمای رسوخ کرده مشخص باشد، افزایش دما به وسیله ی رابطه ی زیر قابل تعیین است :

$$\Delta T = 60000 \times \frac{Q + Q_{heatsoak}}{d \times q_{inj} \times c_p}$$

افزایش دمای ارائه شده در رابطه فوق، متوسط افزایش دمای سیال داخل محفظه ی آب بند است. در محفظه ی آب بند نواحی خاصی وجود دارد که دمایشان بسیار بیشتر و یا بسیار کمتر از سطح محفظه ی آب بندی است. تزریق باید مستقیما به حد فاصل آب بند و یا به صورت تزریق در چند ناحیه متفاوت باشد تا این اطمینان حاصل شود که ناحیه ی اطراف سطح آب بند کاملا خنک است.

⁴⁶ Material property coefficient

⁴⁷ gland

در بعضی از کاربردها لازم است که مقدار تزریق مشخص شود تا دمای محفظه ی آب بند زیر مقدار مشخصی حفظ شود. در این حالت، ماکزیمم افزایش دمای مجاز از تفریق مقدار دمای ماکزیمم مجاز سطح محفظه آب بند از دمای تزریق به دست می آید. برای عملکرد مطلوب آب بند، ماکزیمم افزایش دما باید حدود ۲/۸ تا ۵/۶ کلوین باشد.

برای پلان های ۱۱، ۱۲، ۱۳ یا ۳۱ رابطه ی زیر بر قرار است :

$$q_{inj} = \frac{60000 \times Q}{d \times \Delta T \times c_p}$$

برای پلان های ۲۱، ۲۲، ۳۲ یا ۴۱ رابطه ی زیر بر قرار است :

$$q_{inj} = \frac{60000 \times (Q + Q_{heatsaok})}{d \times \Delta T \times c_p}$$

برای مقدار دبی تزریق شده حداقل ضریب طراحی ۲ لحاظ شود.

افزایش دمای محاسبه شده در رابطه های ارائه شده، افزایش دمای سطح محفظه ی آب بند است و مقدار افزایش دمای سطوح آب بند مقداری بیشتر از مقادیر ارائه شده است.

۵- محاسبات گرمایی در یک نمونه از آب بند مکانیکی

اطلاعات زیر از یک آب بند مکانیکی که سیال آن آب است و با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه می چرخد، در دسترس است:

$$\Delta P = 20 \text{ bar}$$

$$D_o = 61.6 \text{ mm}$$

$$D_i = 48.9 \text{ mm}$$

$$D_b = 52.4 \text{ mm}$$

$$F_{sp} = 190 \text{ N}$$

$$f = 0.07$$

$$K = 0.5$$

با توجه به این اطلاعات گرمای تولید شده در این آب بند را محاسبه می کنیم:

گام اول : محاسبه سطح آب بند

$$A = \frac{\pi (D_o^2 - D_i^2)}{4} = \frac{\pi (61.6^2 - 48.9^2)}{4} = 1102 \quad (\text{mm}^2)$$

گام دوم : محاسبه نسبت بالانس آب بند

$$B = \frac{D_o^2 - D_b^2}{D_o^2 - D_i^2} = \frac{61.6^2 - 52.4^2}{61.6^2 - 48.9^2} = 0.746$$

گام سوم : محاسبه فشار فنر

$$p_{sp} = \frac{F_{sp}}{A} = \frac{190}{1102} = 0.172 \quad \left(\frac{N}{mm^2}\right)$$

گام چهارم : محاسبه فشار کل

$$p_{tot} = \Delta P (B - K) + p_{sp} = 2(0.746 - 0.5) + 0.172 = 0.664 \quad \left(\frac{N}{mm^2}\right)$$

گام پنجم : محاسبه قطر متوسط سطح آب بند

$$D_m = \frac{D_o + D_i}{2} = \frac{61.6 + 48.9}{2} = 55.25 \quad (mm)$$

گام ششم : محاسبه گشتاور حین عملکرد

$$T_r = p_{tot} \times A \times f \times \left(\frac{D_m}{2000}\right) = 0.664 \times 1102 \times 0.07 \times \left(\frac{55.25}{2000}\right) = 1.42 \text{ N.m}$$

گام هفتم : محاسبه گشتاور آغاز به کار

$$T_s = 4T_r = 5.68 \text{ N.m} \quad (N.m)$$

گام هشتم : محاسبه توان

$$P = \frac{T_r \times n}{9550} = \frac{1.42 \times 3000}{9550} = 0.446 \quad (KW)$$

مراجع و منابع

استاندارد ANSI/API 682، ویرایش سوم، سپتامبر ۲۰۰۴

Pumps- shaft sealing systems for centrifugal and rotary pumps

استاندارد ISO معادل:

ISO: 21049:2004