پمپ های پریستالیتک[1]

پمپ های پریستالیتک در رده پمپ های جابجایی مثبت می باشند و می توانند سیالات گوناگونی را پمپاژ نمایند. در این پمپ ها سیال داخل یک لوله انعطاف پذیر[2] محبوس می شود. لوله انعطاف پذیر (تیوب) داخل محفظه دایروی پمپ قرار دارد. روتور پمپ که تعدادی غلطک[3]، کفشک[4] یا جاروبک[5] به محیط خارجی آن متصل است، وظیفه متراکم کردن تیوب را دارد. وقتی روتور می چرخد، قسمتی از تیوب تحت فشار یا بسته شدن[6] قرار می گیرد که این سبب می شود به سیال نیرویی وارد گردد تا داخل تیوب حرکت کند. بعلاوه، وقتی تیوب باز می شود و به حالت اولیه اش بر می گردد سیال به داخل پمپ جریان می یابد. این فرآیند پریستالیتک نام دارد و در بسیاری از سیستم های بیولوژیک مانند حرکت مجاری معده و روده استفاده می شود.

شکل ۱: پمپ پریستالتیک نوع تیوبی

کاربردها

پمپ های پریستالتیک عموماً برای پمپاژ سیالات تمیز و استریل و یا سیالات خورنده استفاده می شود چرا که ورود آلودگی در این پمپ ها اتفاق نمی افتد. بعضی از کاربردهای این پمپ ها در پمپاژ فرآورده های خونی، سیالات شیمیایی خورنده، سیالات حاوی مواد جامد زیاد و همچنین در

---

[1] Peristaltic pumps
[2] Flexible tube
[3] Rollers
[4] Shoes
[5] Wipers
[6] Occlude

جاهایی که سیال می بایست از محیط ایزوله گردد، می باشد. پمپ های پریستالتیک روشی استاندارد در واحدهای ICP-MS[1] و ICP-OES[2] می باشند.

پارامترهای کلیدی طراحی

مطابقت شیمیایی

سیال پمپ شونده تنها با جداره داخلی تیوب در تماس است. در این پمپ ها هیچگونه شیرآلات، اورینگ، آببند و یا پکینگ استفاده نمی گردد و بنابراین نگرانی از بابت خرابی اینگونه تجهیزات وجود ندارد. تنها نگرانی در خصوص مطابقت شیمیایی متریال لوله انعطاف پذیر با سیال پمپ شونده می باشد. در تمام پارامترهای طراحی، ابتداً باید به این مسئله توجه شود.

تیوب باید از مواد الاستومر باشد تا بعد از میلیون ها سیکل فشاری در پمپ، سطح مقطع دایروی خود را حفظ نماید. این الزام رنج وسیعی از پلیمرهای غیر الاستومری را که مطابقت خوبی با محدوده وسیعی از سیالات شیمیایی دارند، حذف می کند. موادی مانند PTFE، پلیولفان، PVDF، و مانند آن اگرچه مطابقت خوبی با سیالات شیمیایی دارند اما در زمره پلیمرهای غیر الاستومر هستند و متریال مناسبی جهت استفاده به عنوان لوله انعطاف پذیر پمپ های پریستالتیک نمی باشند. الاستومرهای متداول برای تیوب این پمپ ها معمولاً سیلیکون، PVC، EPDM + پلی پروپیلن، پلی اورتان و نئوپرن می باشند. از این مواد EPDM+ پلی پروپیلن بهترین مقاومت خستگی و مقاومت شیمیایی را دارد. سیلیکون برای سیالات پایه آب متداول است مانند صنایع دارویی، اما محدوده مطابقت شیمیایی کمی در صنایع دیگر دارد. تیوب های فلوروپلیمر اکسترود شده مانند FKM (وینیل، فلورل و ...) مطابقت خوبی با اسیدها، هیدروکربن ها و سوخت های فسیلی دارند. اما مقاومت خستگی کمی دارند و استفاده از آنها در لوله های انعطاف پذیر به خاطر عمر پایین آن در سیکل های کاری، غیر عملی می باشد.

اخیراً تحقیقات و آزمایشات مختلفی در زمینه فرآیندهای تولید لوله های انعطاف پذیر صورت گرفته است. دیدگاه های جدید عموماً در دو زمینه در حال گسترش می باشد – تیوب های لاینر شده و استفاده از فلوروالاستومرها

با تیوب های لاینر شده، جداره داخلی تیوب با لایه نازکی از مواد مقاوم مانند پلی الفین و PTFE پوشانده می شود. این لایه نازک، سطح تیوب را از تماس با سیال پمپ شونده مصون می دارد. این مواد لاینری خاصیت الاستومتریک ندارند. بنابراین تمام سطح لوله انعطاف پذیر (در پمپ های پریستالتیک) را نمی توان با این مواد پوشش داد. این تیوب ها مقاومت شیمیایی و عمر کافی را دارند

[1] Inductively coupled plasma mass spectrometry
[2] Inductively coupled plasma Atomic Emission Spectroscopy

تا در کاربردهای خوردگی شیمیایی استفاده شوند. در صورتی که ترک یا حفره کوچکی حین ساخت این تیوب در لاینر ایجاد شود باعث می شود خوردگی از آن قسمت گسترش یابد و سریعاً تیوب آسیب ببیند. در حالتی که از پلاستیک های خشک در ساخت لاینر استفاده شود (مانند پلی الفین ها)، ممکن است لاینر بر اثر تنشهای خستگی ترک مویی بردارد و خوردگی در آن ناحیه گسترش یابد. لایه لایه شدن لاینر بر اثر تنش های فشاری تکراری متداولترین اتفاق در تیوب های لاینرشده می باشد که زنگ خطری است برای پایان عمر تیوب. در مواقعی که مطابقت شیمیایی تیوب اهمیت دارد، استفاده از تیوب های لاینرشده راه حل خوبی می باشند.

در تیوب های فلوروالاستومر، خود ماده تیوب مقاومت شیمیایی دارد. پرفلوروالاستومر بیشترین مقاومت شیمیایی را نسبت به سایر الاستومرها دارد. در حال حاضر تیوب های لاینر شده و فلوروالاستومر ها هزینه اولیه بالایی دارند. مصرف کننده می بایستی انتخاب صحیحی بین طول عمر و هزینه اولیه پمپ داشته باشد و گاهی اوقات مجبور می باشد از انواع دیگری از پمپ ها استفاده نماید.

سایت های اینترنتی زیادی برای بررسی مطابقت شیمیایی متریال تیوب با سیال پمپ شونده وجود دارد. در زیر به دو سایت معتبر اشاره می گردد:

http://www.coleparmer.com/techinfo/ChemComp.asp

http://www.dupontelastomers.com/Tech_Info/chemical.asp

ممکن است سازندگان این تیوب ها جداول ویژه ای برای مطابقت شیمیایی تیوب های ساخته شده با سیالات مختلف داشته باشند.

این جداول تمامی سیالات را پوشش نمی دهند. در صورتی که سیال مورد نظر در جداول طراحی شده توسط سازندگان وجود نداشته باشد، می بایست با آنها مشورت کرد و تست های مخصوصی جهت برآورد مقاومت شیمیایی تیوب ها ترتیب داد.

با پیشرفت تکنولوژی تولید لوله های انعطاف پذیر که مقاومت شیمیایی بالایی دارند، این پمپ ها به تدریج جای بسیاری از پمپ های تزریق در صنایع شیمیایی را خواهد گرفت.

انسداد[1]

مینیمم فاصله بین غلطک و جداره داخلی هوزینگ پمپ تعیین کننده ماکزیمم فشردگی[2] وارد شده به تیوب می باشد. مقدار فشردگی بر عملکرد پمپ و طول عمر آن تأثیر می گذارد. فشردگی زیاد سبب کاهش طول عمر تیوب می گردد. در حالی که فشردگی کم عملکرد پمپ را، بخصوص در فشارهای بالا، کاهش می دهد. بنابراین مقدار فشردگی یک پارامتر مهم در طراحی می باشد.

واژه " انسداد" برای اندازه گیری مقدار فشردگی استفاده می شود. انسداد معمولاً یا بر اساس درصدی از دو برابر ضخامت جداره بیان می شود و یا بر اساس مقدار خالص جداره که فشرده شده است، بیان می شود.

به زبان ریاضی داریم:

y= انسداد g = مینیمم فاصله بین غلطک و جداره داخلی هوزینگ t= ضخامت جداره تیوب

وقتی بر اساس مقدار خالص جداره که فشرده می شود بیان شود $y = 2 \times t - g$

وقتی بر اساس درصدی از دو برابر ضخامت جداره بیان شود $y = \frac{(2xt-g)}{2xt} \times 100$

انسداد (y) معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ درصد می باشد که درصد بالاتر برای مواد نرم تر و درصد پایین در برای مواد سخت تر می باشد.

بنابراین برای یک پمپ داده شده، بحرانی ترین ابعاد تیوب، ضخامت دیواره می باشد. نکته جالب این است که قطر داخلی تیوب پارامتر مهمی برای تشخیص مناسب بودن تیوب برای پمپ نمی باشد.

دبی

دبی یکی از خواسته های بسیار مهم مشتری می باشد. دبی پمپ های پریستالتیک تابعی از چندین فاکتور می باشد:

۱) قطر داخلی (ID) : برای rpm داده شده، قطر داخلی تیوب (ID) تابعی از دبی پمپ می باشد. هر چقدر قطر بیشتر باشد، دبی پمپ بیشتر خواهد شد.

[1] Occlusion
[2] Squeeze

۲) طول تیوب از نزدیکی ورودی تا نزدیکی خروجی که درگیر با غلطک می باشد. هر چقدر این طول بیشتر باشد، دبی پمپ بیشتر است.

۳) سرعت دورانی rpm غلطک ها – یا همان سرعت دورانی پمپ. هر چقدر سرعت چرخش بیشتر باشد، دبی پمپ نیز بیشتر است.

افزایش تعداد غلطک ها اگر چه پالس جریان را کاهش می دهد اما سبب افزایش دبی نمی شود. در مواقعی حتی ممکن است با افزایش غلطک ها، دبی کاهش یابد.

از دیدگاه تئوری دبی پمپ برابر است با حاصلضرب مقدار حجمی که در هر بار گردش روتور از پمپ عبور می نماید (V) در سرعت دورانی (RPM) پمپ. مقدار حجم (V) نیز برابر است با حاصلضرب سطح مقطع داخلی تیوب در طول تیوب (L) که بین غلطک ها درگیر است.

$$Q = V \times RPM$$

$$Q = \pi/4 \times ID \times ID \times RPM$$

فشار پمپ

از منظر تئوری، فشار پمپ های پریستالتیک مانند تمامی پمپ های جابجایی مثبت تا بی نهایت افزایش می یابد. اما کیفیت تولید و مقاومت مواد بکار رفته در ساخت تیوب و سایر اجزا و همچنین توان موتور الکتریکی، محدود کننده حداکثر فشار خروجی پمپ می باشد. معمولاً به منظور جلوگیری از ایجاد فشارهای بالا، سیستم پمپاژ مجهز به شیرهای فشار شکن می باشد.

انواع پمپ پریستالتیک

هوز پمپ[1]

هوز پمپ اصطلاحی است برای پمپ های پریستالتیک که فشارهای بالایی تحمل می نمایند. معمولاً فشارهایی تا ۱۶ بار قابل دستیابی می باشد. جهت تحمل فشار بالا، تیوب این پمپ ها مقاوم شده است و معمولاً به جای غلطک از کفشک استفاده می کنند و داخل پوسته پمپ روغن روانکار استفاده می شود. این روغن جهت روانکاری و جلوگیری از فرسایش تیوب و همچنین انتقال گرمای ناشی از سایش کفشک و تیوب بکار می رود.

از آنجا که فشار کاری این پمپ ها بالا می باشد، ضخامت پوسته و ضخامت تیوب نسبت به پمپ های تیوبی بسیار زیاد است. این بدین معنی است که نسبت OD به ID هوز (شلنگ) بالا است. این موضوع باعث می شود لوله انعطاف پذیر (در اینجا هوز) سفت تر باشد و جهت انسداد آن نیروی

[1] Hose pumps

بیشتری مصرف گردد. به طور خلاصه می توان چنین استنباط نمود که برای دبی یکسان، هوز پمپ هم ابعاد بزرگتری دارد و هم توان مصرفی بالاتری دارد.

بزرگترین مزیت هوز پمپ نسبت به پمپ های تیوبی فشار کاری بالای آن (تا ۱۶ بار) است. اگر فشار کاری بالایی مورد نیاز نباشد، پمپ تیوبی گزینه بهتری نسبت به هوز پمپ می باشد. با پیشرفت تکنولوژی ساخت تیوب های مقاوم در برابر فشار و خوردگی شیمیایی و دبی های بالا، مزیت اصلی هوز پمپ ها نسبت به پمپ های غلطکی (تیوبی) روز به روز کمتر می شود.

پمپ های تیوبی[1]

پمپ های تیوبی معمولاً دارای پوسته خشک و غلطک می باشند و از تیوب های مقاوم شده (تیوب مسلح) استفاده نمی کنند. فشار کاری این پمپ ها به مراتب کمتر از هوز پمپ ها می باشد. این پمپ ها دارای حداقل ۲ غلطک با زاویه ۱۸۰ درجه و ممکن است حداکثر ۸ و یا حتی ۱۲ غلطک داشته باشند. افزایش تعداد غلطک ها باعث افزایش فرکانس تخلیه سیال و در نتیجه کاهش پالس (نبض) سیال در خروجی می شود. از طرفی افزایش تعداد غلطک ها سبب کاهش عمر تیوب خواهد شد.

عموماً طراحی غلطک ها به دو گونه می باشد:

۱) انسداد ثابت[2] – غلطک ها مکان هندسی ثابتی در هنگام چرخش دارند. در این حالت انسداد ثابتی تیوب را فشار می دهد. اگرچه این طرح ساده است اما هنوز موثر می باشد. تنها مشکل این طرح آن است که انسداد به عنوان درصدی از ضخامت جداره، با تغییر ضخامت دیواره تیوب، تغییر می کند. عموماً ضخامت دیواره تیوب حین تولید به قدری کافی تغییر می کند که درصد انسداد بتواند با ضخامت دیوار تغییر چشمگیری کند. بنابراین یک تیوب با ماکزیمم ضخامت جداره (در محدوده مجاز تلرانس ساخت)، درصد انسداد بالاتری دارد و در نتیجه سایش آن بیشتر است و عمر تیوب کاهش می یابد. امروزه تلرانس های ساخت دیواره تیوب را خیلی بسته در نظر می گیرند که این مشکل در پمپ های امروزی به ندرت اتفاق می افتد.

۲) غلطک های فنری[3] – همانطوری که از نام آن پیدا است، غلطک ها بر روی فنرهایی نصب شده اند. این طرح نسبت به طرح انسداد ثابت تا اندازه ای استادانه تر می باشد و باعث می شود در محدوده وسیعتری از تغییرات ضخامت دیواره، پمپ بدون مشکل عمل نماید. بدون توجه به تغییرات ضخامت دیواره تیوب، فنر ها فشار برابری به تیوب وارد می کنند که متناسب با ثابت فنر آن می باشد. و سبب می شود عملکرد تنشی یکنواختی ایجاد شود. فنرها هم برای غلبه بر مقاومت حلقوی تیوب انتخاب شده اند و هم برای فشار سیال پمپ شونده.

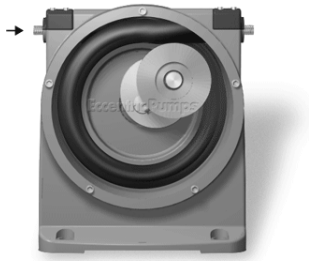
---

[1] Tube pumps
[2] Fixed occlusion
[3] Spring loaded rollers

ماکزیمم فشار کاری این پمپ ها بوسیله نوع تیوب و توانایی موتور جهت غلبه بر مقاومت حلقوی تیوب و فشار سیال پمپ شونده، تعیین می شود.

طرح خارج از مرکز ۳۶۰ درجه ای[1]

در این طرح به جای استفاده از دو یا چند غلطک و یا کفشک از یک غلطک نسبتاً بزرگ که بر روی یک محور خارج از مرکز نصب شده است، استفاده می شود. در این طرح، غلطک و تیوب اصطکاک کمتری در چرخش ۳۶۰ درجه ای دارند. از مزایای دیگر این طرح می توان به دبی بیشتر در هر سیکل کاری و همچنین تنها یک فشار و انبساط در هر سیکل اشاره نمود. در دبی یکسان، این پمپ ها نسبت به طرح های دیگر سرعت دورانی پایینتری دارند و در نتیجه طول عمر بالاتری خواهند داشت.



شکل ۲: پمپ پریستالتیک طرح خارج از مرکز ۳۶۰ درجه ای

تیوب یا هوز (شلنگ) در این پمپ ها ۳۶۰ درجه دور پوسته کشیده شده است. این بدین معنی است که این طرح ۵۵ درصد دبی بیشتری نسبت به طرح های دیگر در همان سرعت کاری ایجاد می کند. به عبارت دیگر، در سرعت مساوی این پمپ ها دبی بیشتری دارند و یا در دبی برابر این پمپ ها سرعت دورانی کمتری خواهند داشت.

مزایای پمپ های پریستالتیک

از آنجا که تنها قسمت داخلی تیوب در تماس با سیال پمپ شونده است، می توان به راحتی سطوح داخلی پمپ را تمیز و استریل نمود. علاوه بر این، از آنجا که هیچ قطعه متحرکی در تماس با سیال وجود ندارد، پمپ های پریستالتیک پمپ های ارزانی برای تولید می باشند چرا که به هیچگونه شیرآلات، آببند و گلند نیازی ندارد. همچنین استفاده از شلنگ و یا تیوب تعمیرات این پمپ را نسبت

[1] 360 degree eccentric design

به پمپ های دیگر ارزان نموده است. همچنین پمپ های پریستالتیک نیروهای برشی خیلی کمی به سیال وارد می کند که این موضوع ممکن است استفاده زیادی در پمپاژ کلوییدها و سیالات اسلاری داشته باشد.

کاربرد پمپ های پریستالتیک

– دستگاه های دیالیز	– کارخانجات غذایی
– پمپ های بای پس قلب باز[1]	– صنایع شیمیایی
– پمپ تزریق	– کارخانجات تولید دارو
– آنالیزورهای اتوماتیک	– کارخانجات خمیر کاغذ
– لجن و تصفیه فاضلاب	– کارخانجات رنگ
– آکواریومها	– صنایع آب و فاضلاب
– آزمایشات شیمیایی	– کشاورزی
– بتن و فوم بتن	– صنایع اتمی و نظامی

[1] Open-heart bypass pump machines