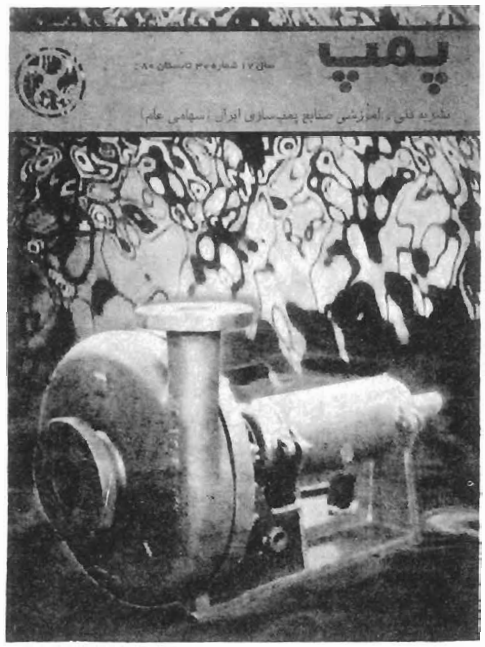
پمپ

سال ۱۷ شماره ۳۰ تابستان ۸۰

نشریه فنی و آموزشی صنایع پمپ‌سازی ایران (سهامی عام)

«به نام خداوند جان و خرد»



پمپ

نشریه فنی و آموزشی صنایع پمپ سازی ایران

(سهامی عام)

سال هفدهم - شماره ۳۰ - بهار ۱۳۸۰

صاحب امتیاز: شرکت صنایع پمپ سازی ایران

پمپیران (سهامی عام)

مدیر مسئول: دکتر میربیوک احقاقی

سردبیر: مهندس اکبر اسماعیلی ترکانپوری

هیئت تحریریه: گروه مهندسین و متخصصین

شرکت صنایع پمپ سازی ایران

مسئول اجرائی: مهندس مسعود حدّاد

مسئول اشتراک و توزیع: سرکار خانم رضایی

حروف نگار: انتشارات گلباد

لیتوگرافی وچاپ: رنگین - طلوع

در این شماره می‌خوانید:

راهنمای کاربرد پمپ‌های فشار قوی (۱)
مهندس سید بهزاد مبین ۱
پمپ‌های دینامیکی
مهندس محمد نبیی..... ۱۵
هواگیری و راه‌اندازی پمپ‌ها
مهندس مسعود حدّاد..... ۲۶
خانکشی
مهندس بهرام فردعباس‌نیا ۴۴
مواد و سازگاری در ساختمان پمپ‌های گریز از مرکز
مجتبی جباری مقدم ۵۷
انتخاب و آرایش پمپ‌ها (۲)
مهندس رامین رحمانی مقدم ۶۴
فهرست مقالات در شماره‌های قبلی نشریه پمپ ۷۷

* «نشریه پمپ» از عموم پژوهشگران، صاحبنظران و استادان، مقاله ترجمه و گزارش می‌پذیرد * نقل و اقتباس مطالب و استفاده از «نشریه پمپ» با ذکر کامل منبع آزاد است * «نشریه پمپ» در رد، قبول، حذف، ویرایش و اصلاح مطالب آزاد است.

خواننده گرامی:

نشریه پمپ به همکاری و همیاری شما ارج نهاده و از مقاله‌های مفید شما استقبال خواهد نمود. لطفاً با ارسال نظرات و پیشنهادات سازنده و همچنین همکاری خود در تهیه مقالات علمی و فنی، ما را در ارایه هر چه بهتر مطالب و بالا بردن کیفیت نشریه یاری نمایید.

با تشکر - سردبیر

شرایط درج مقاله در نشریه پمپ

۱ - محتوای مقاله باید فنی، صنعتی و علمی بوده و به طریقی با طراحی، تولید و یا کاربرد پمپ مربوط باشد.

۲ - نام و نام خانوادگی و درجه تحصیلی، شغل و آدرس کامل مؤلف یا مترجم در صفحه اول مقاله قید شود همچنین شمارهٔ تلفنی که بتوان در موقع لزوم تماس حاصل نمود.

۳ - عنوان مقاله با در نظر گرفتن فواصل بین کلمات از دو سطر تجاوز ننماید.

۴ - مطالب ارسالی بایستی تایپ شود، در غیر اینصورت با خط خوانا در یک طرف کاغذ A4 نوشته و ارسال گردد.

۵ - تصویرها، شکلها و نمودارهای پیوست مقالات بر روی یک طرف کاغذ باشد.

۷ - توضیحات و زیر نویسها به صورت مسلسل شماره گذاری و در پایان مقاله ذکر شوند.

۸ - مراجع و مأخذ اصلی در تالیف و تدوین مطالب ارسالی باید دقیقاً مشخص و در پایان مقاله معرفی گردند.

۹ - مقالات ترجمه شده منظم به فتوکپی متون اصلی باشند.

۱۰ - مقاله ارسالی بایستی قبلاً در هیچ یک از نشریات داخلی چاپ نشده باشد.

۱۱ - مقالهٔ ارسالی برگشت‌داده نخواهد شد.

ضمناً چون صحت مطالب مقاله بعهده نویسندهٔ آن است لذا هرگونه تغییر و ویرایش در متن مقاله، جهت تایید نهایی نویسنده، قبل از چاپ ارسال خواهد شد.

نشانی نشریه: تبریز - قراملک - مجتمع ماشین سازی تبریز - صندوق پستی ۱۳۵-۵۱۸
شرکت صنایع پمپ سازی ایران - امور مهندسی - نشریه پمپ

دفتر مسئول اشتراک و توزیع - تلفن: ۹-۲۸۹۰۶۴۴ داخلی ۲۴۵

راهنمای کاربرد پمپهای فشار قوی

مهندس سیّد بهزاد مبیّن
سرپرست طراحی امور مهندسی شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران

«قسمت اول»

مقدمه

پمپ‌های فشار قوی به صورت افقی و چند طبقه در طرحهای مختلف وتوسط اغلب تولیدکنندگان پمپ ساخته می‌شوند. محصولات کارخانه KSB که باعنوان WKL شناخته شده‌اند طی سالهای گذشته توسط کارخانه پمپیران تولید شده و در سراسر کشور مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال ۱۳۷۸ پمپ جدیدی در خط تولید قرار گرفته است که طرح اصلی آن از شرکت SULZER سویس بوده وباعنوان سری MC شناخته می‌شوند با توجه به مشابهت این نوع محصولات و با توجه به لزوم آشنایی مصرف‌کنندگان با این طرح جدید، در این مقاله راهنمای نصب، راه اندازی ونگهداری این نوع پمپ ارائه می‌شود. بسیاری از مباحث طرح شده جنبه عمومی داشته ودر مورد انواع دیگر پمپ‌های فشار قوی نیز مصداق دارد.

۱ - موارد عمومی

۱ - ۱ - راهنمای کاربرد شامل موارد مهمی است که باید در هنگام نصب، راه اندازی، بهره برداری و

تعمیرات مورد توجه قرار گیرد. توصیه می‌شود این کتابچه‌ها حتماً قبل از نصب وراه اندازی پمپ توسط عوامل نصب وبهره برداری مطالعه شود ودر مراحل بعدی نیز در دسترس این افراد باشد.

۱ - ۲ - ایمنی عملکرد پمپ در صورت استفاده از آن در شرایط تعیین شده تضمین شده است این شرایط به طور کلی به عنوان آب تمیز در حدود ۲۰ درجه سانتیگراد تعریف می‌شود، درصورتی که از این پمپ‌ها در پمپاژ سیالات دیگر یا دمای بسیار بالاتر یابسیار پایین استفاده شود، موارد ایمنی باید بادقت بیشتری رعایت شود.

در سیستم هایی که تجهیزات جانبی مانند خنک کننده ویاتجهیزات کنترل حداقل دبی نصب شود، بروز اشکال در آنها ممکن است منجر به افزایش غیر مجاز فشار شود.

همچنین تماس باقطعات داغ یابسیار سرد پمپ می‌تواند باعث صدمه دیدن افراد شود دراین موارد لازم است پوشش‌های ایمنی مناسب در نظر گرفته شود.

اگر امکان نشت یابرگشت خطرآفرین پس از خاموش کردن پمپ وجود داشته باشد باید تجهیزات جلوگیری از برگشت نصب شود ومقدار نشتی سیال که وارد محیط می‌شود در سطح معینی محدود شود. سایش در محفظه، رینگ‌های سایشی وپروانه در فواصل زمانی مشخص، کنترل شده وقطعات ساییده شده تعویض شود. در مراحل مونتاژ ودمونتاژ دقت کافی برای جلوگیری از صدمه دیدن به عمل آید. از افتادن قطعات جلوگیری شده وقطعات لق شده محکم شود.

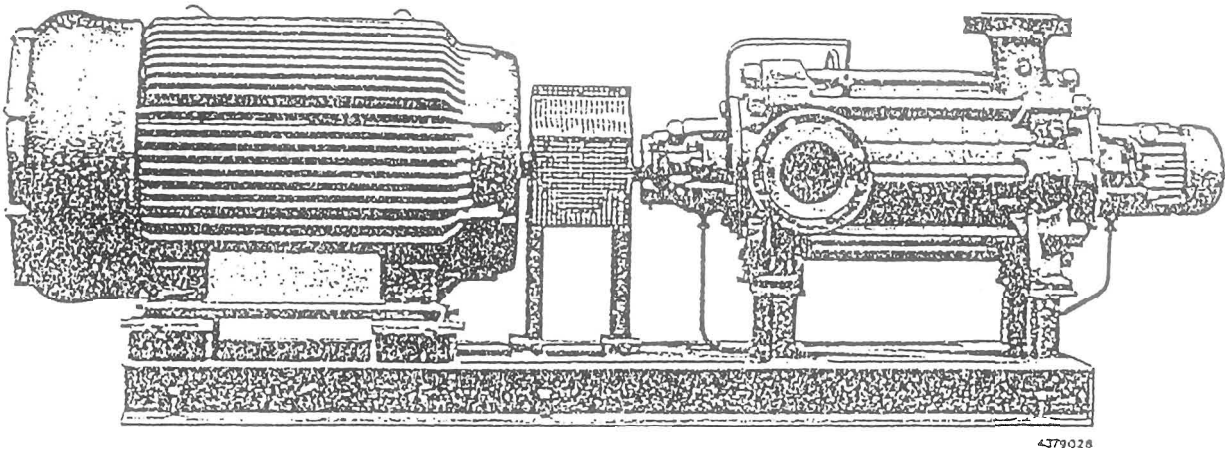
هنگام حمل ونقل فلنج‌های مکش ورانش وسوراخهای رزوه شده ودیگر منافذ با در پوش‌های مناسب مسدود شود.

هرگز قلاب‌ها یاپیچ قلاب‌های قطعات نباید برای جابجایی مجموعه مونتاژ شده پمپ استفاده شود. این قلابها فقط برای جابجایی قطعات هنگام مونتاژ ودمونتاژ است. برای جابجایی مجموعهٔ کوپل شده لازم است قلابهایی روی شاسی نصب شود ویاکمربندها یی به اطراف بدنه مانند گلویی فلنج‌ها وبدنه محفظه یاتاقان انداخته شود.

پمپ‌های سری MC پمپ‌های چند طبقه، افقی بوده وبرای ایستگاههای پمپاژ ومصارف صنعتی مانند تغذیه دیگ بخار مناسب است.

این پمپ‌ها برای سیالات تمیز در دمای $-80^{\circ}C$ تا $+180^{\circ}C$ و فشار کار تا 80 bar مناسب است در صورت ساخت پمپ باآلیاژهای فولادی کروم دار می‌توان محدوده کاربرد راگسترش داد.

تغییر مواد بخصوص در مورد قطعات در تماس باسیال مورد پمپاژ بر حسب نیاز انجام می‌گیرد.



آببندی اجزا پمپ توسط اورینگ انجام می‌گیرد ومحفظه‌ها توسط بست طبقات کنار هم نگه داشته می‌شود.

یاتاقان‌های غلتشی محور، توسط گریس یاروغن روانکاری می‌شود.

پروانه‌ها از نوع بسته بوده وتوسط رینگ سایشی در مقابل محفظه، آببندی می‌شود. هدایت سیال به طبقات بعدی از طریق دیفیوزرهای ثابت انجام می‌گیرد.

در محفظه آببندی قطعات آببندی محور نصب می‌شود که بسته به شرایط کار می‌تواند به صورت نواری یا آببند مکانیکی باشد. در شرایط معمولی قسمت خنک کاری برای محفظه آببندی بکار برده نمی‌شود.

اما برای کاربردهای خاص فضای لازم برای گرم کردن یا سردکردن محفظه آببندی پیش بینی شده است.

برای اتصال پمپ به محرک از کوپلینگ قابل انعطاف مطابق DIN 740 استفاده می‌شود. این کوپلینگ باید قادر باشد، حرکتهای کوچک محور در جهت محوری، شعاعی وزاویه‌ای راتحمل نماید.

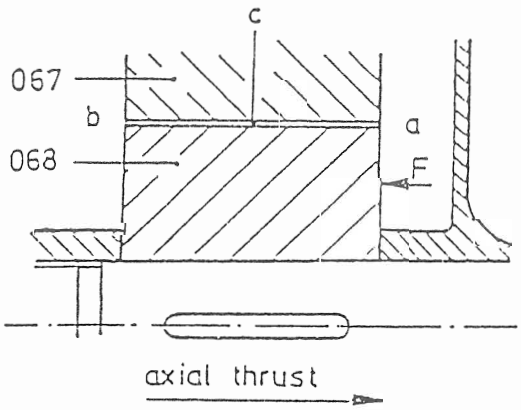
مقابله بانیروی محوری - پیستون موازنه

هنگام کار پمپ نیروی محوری در جهت مکش بر روتور اعمال می‌شود. زیرا سطح صفحه پشتی پروانه که تحت اثر فشار سیال قرار می‌گیرد بزرگتر از سطح صفحه جلویی پروانه است که قسمت میانی آن به چشم پروانه اختصاص دارد.

در پمپ چند طبقه، نیرو در تعداد طبقات ضرب می‌شود ونیروی محوری قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌شود این نیرو باید باتسهیلات وتجهیزات تعادل هیدورلیکی خنثی شود.

۲ - اصول کارکرد

در پمپ‌های مورد بحث برای موازنه[1] نیروی محوری از تجهیزاتی استفاده شده است که شامل یک پیستون موازنه است که روی محور سوار شده وباآن دوران می‌کند وقطعه ثابت مقابل آن بوش موازنه است که در محفظه رانش نصب می‌شود. اختلاف فشار بین داخل پمپ a (فشار پمپ) ومحفظه موازنه b (فشار ورودی + افت درلوله موازنه) منجر به نیروی محوری F روی پیستون موازنه می‌شود. این نیرودرجهت مخالف نیروی محوری پمپ است. مقدار نیروی F باسطح حلقه‌ای پیستون متناسب است لذا ابعاد پیستون به نحوی تعیین می‌شود که نیروی حاصل تقریباً معادل نیروی محوری پمپ در نقطه کار باشد. یاتاقان‌های محور، باقی ماندهٔ نیروی محوری راتحمل می‌کند. به علت وجود اختلاف فشار بین محفظه a,b سیال از لقی C به طرف محفظه موازنه جریان می‌یابد. موازنه وقتی موثر خواهد بود که در اثر وارد شدن سیال به محفظه موازنه افزایش فشار درآن روی ندهد به این دلیل در سطح داخلی حلقه موازنه شیارهای متعدد وکوچکی در نظر گرفته می‌شود که نقش فشار شکن برای سال عبوری از لقی C راایفا می‌کند.



۳ - لوله موازنه

برای جلوگیری از افزایش فشار در محفظه موازنه، سیال باید از آن خارج شود. روی محفظه محلی برای اتصال لوله وجود دارد که موقعیت آن در نقشه‌ها مشخص است. امتداد لوله به شرایط کار

1 - balance

بستگی دارد و می‌تواند یکی از مسیرهای زیرباشد:

- به محفظه مکش یالوله مکش تخلیه شود.
- به مخزن برگشت داده شود.
- به مسیر رانش در فشار اتمسفر متصل شود.
- اگر در شرایطی طول لوله موازنه زیاد شود باید با انتخاب لوله به قطر مناسب اطمینان حاصل شود که افت در مسیر از ۰/۸ بار تجاوز نخواهد کرد.
- اگر در مسیر لوله کشی از تجهیزات قطع و وصل استفاده شود که بعنوان مثال درهنگام تعمیرات از برگشت سیال جلوگیری نماید. باید هنگام کار پمپ این شیرباز شده وبه نحو مطمئن در مقابل بسته شدن ناخواسته حفاظت شود.

توجه: اگر نصب لوله موازنه به نحو صحیح انجام نگیرد، پمپ به سرعت صدمه خواهد دید.

۴ - نصب پمپ

۴ - ۱ - عملیات ساختمانی بخصوص ساخت شالوده [1] پمپ باید مطابق نقشه‌های مربوطه انجام شود.

۴ - ۱ - ۱ - ابعاد اصلی، اندازه اتصالات و موقعیت پیچ‌های فونداسیون و... را می‌توان از نقشه‌های شماتیک وکاتالوگ بدست آورد.

۴ - ۱ - ۲ - درهنگام نصب وتعمیرات بعدی باید تجهیزات حمل و جراثقال مناسب استفاده شود. انتخاب قلابها وکمربندهای مناسب اهمیت دارد ودر صورت بی توجهی ممکن است به صدمه دیدن مجموعه منجر شود. پمپ باید از هر طرف قابل دسترسی باشد.

۴ - ۱ - ۳ - درهنگام طراحی ایستگاه نوع پمپ چنان انتخاب شود که دفعات روشن وخاموش شدن که عمر پمپ راکم می‌کند به حداقل برسد.

۴ - ۱ - ۴ - لازم است روی شاسی وشالوده محلی برای تخلیه نشتی آببندی محور درنظر گرفته شود به نحوی که سیال از اطراف پمپ به مسیر مشخصی هدایت شود.

۴ - ۱ - ۵ - برای حفاظت پمپ قبل از نصب آن سرپوش فلنج‌ها ودر پوش‌های محل اتصالات باز

---

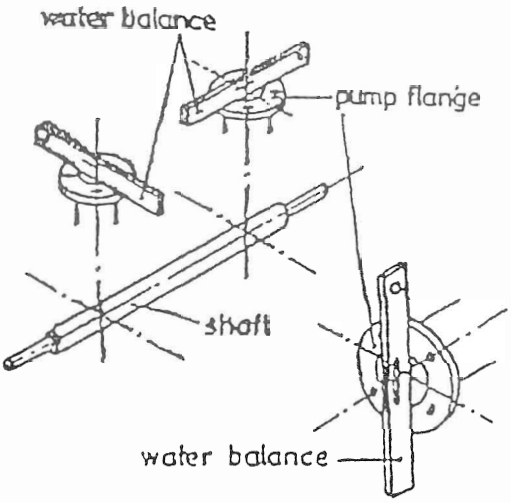
1 - Fundation

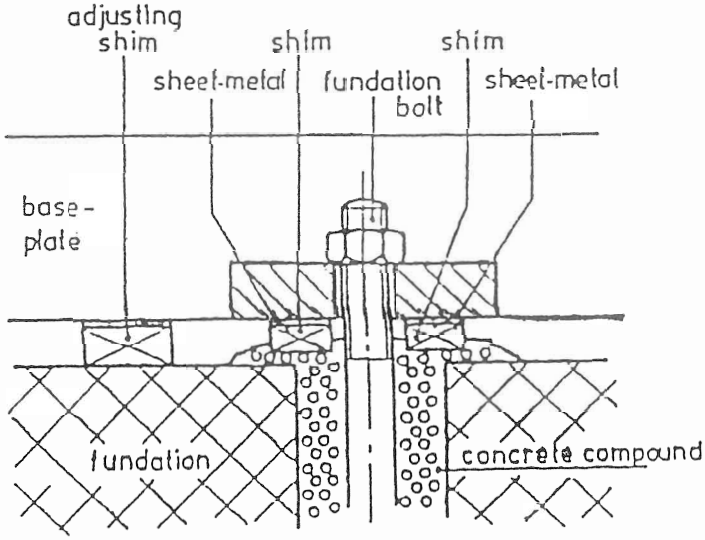
نشود اگر در محل، عملیات ساختمانی در جریان باشد بهتر است پمپ پوشانده شود.

۴ - ۱ - ۶ - هنگام نصب باید ساخت شالوده ودیگر عملیات بنایی به اتمام رسیده وکاملاً خشک ومحکم شده باشد. سطح شالوده باید صاف وتمیز باشد. کارهای مقدماتی که جهت نصب لازم است به پایان رسیده باشد. برای دستگاههای بزرگ باید درهای بزرگ وتجهیزات حمل ونقل مناسب فراهم شده ودرمحل نصب شده باشد.

۴ - ۱ - ۷ - نصب پمپ و محرکه

۴ - ۱ - ۷ - ۱ - پیچ‌های شالوده در سوراخهای شاسی وارد شده و مهره‌ها تاحدی که چند دور تامحکم شدن مانده‌است بسته شود. پمپ باید درجهت افق با استفاده از ورقهای نازک [1] فولادی با ضخامتهای مختلف تراز شود. در مورد شاسی هایی تا طول ۱۶۰۰ میلیمتر، ورق گذاری در سه نقطه مناسب است. دو نقطه در طرفین شاسی در ناحیه‌ای که محرکه نصب می‌شود ویک نقطه در مرکز طرفی که پمپ نصب می‌شود. تراز بودن پمپ رامی توان باوسایل مکانیکی کنترل نمود (شکل ۴ و ۵) انحراف مجاز حداکثر ۰/۵ میلیمتر در یک متر است.





۴ - ۱ - ۷ - ۲ - پیچ‌های داخل بتن باید طوری نصب شود که سرپیچ‌ها به حد کافی بالاتر از سطح بتن باشد. معمولاً در محل نصب پیچ، قوطی فولادی گذاشته می‌شود ولی بتن ریزی نمی‌شود.

پایه‌ها باید حداکثر چنان اختلاف سطحی داشته باشد که تلرانس کمی بین شاسی وپایه‌ها باقی بماند فاصله باقی مانده راتوسط یک یادو ورق فلزی صاف پرکنید. این صفحات باید در ضخامت‌های

1 - Shims

مختلف در دسترس باشند (به بند ۴ - ۱ - ۴ مراجعه کنید). سپس اطراف پیچ‌ها بتن ریزی می‌شود.

۴ - ۱ - ۷ - ۳ - پس از محکم شدن بتن پیچ‌های فونداسیون محکم شده وتراز بودن مجموعه کنترل می‌شود اگر اختلافی مشاهده شود باید دوباره تراز شود.

۴ - ۱ - ۷ - ۴ - پس از تراز کردن شاسی باید اطراف آن و درزهای بین شالوده وشاسی را توسط دوغاب سیمان محکم نمود. پس از سفت شدن بتن ودوغاب بازهم ممکن است تراز کوپلینگ به هم خورده باشد. لازم است پس از نصب پمپ ولوله کشی ومحرکه، مجدداً تراز مجموعه را برقرار نمود.

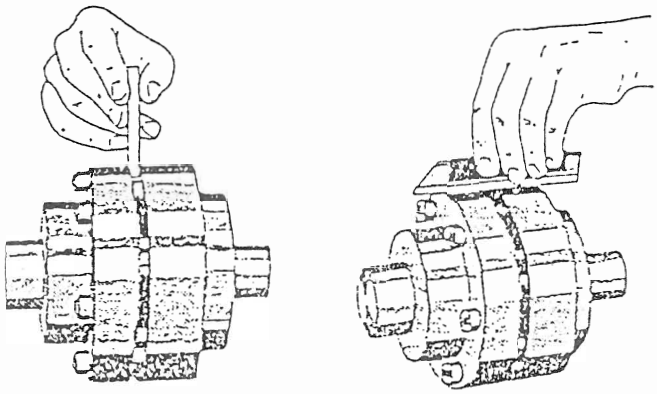
۴ - ۲ - تراز نمودن کوپلینگ

۴ - ۲ - ۱ - قبل از انجام کوپله وتراز کردن آن جهت چرخش محرکه را نسبت به جهت چرخش پمپ کنترل کنید.

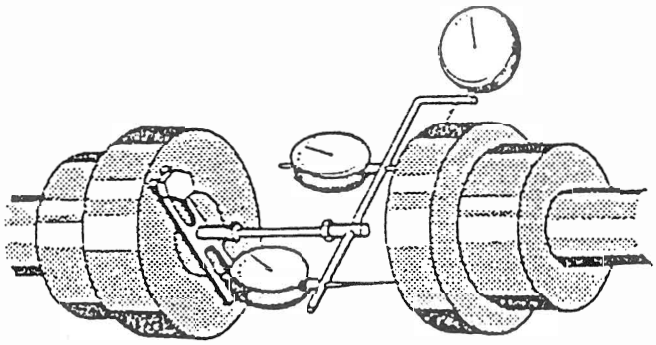
۴ - ۲ - ۲ - در کوپلینگ‌های قابل انعطاف لازم است که عملیات تراز بادقت انجام گیرد. روش کار معمول، قرار دادن ورقهای نازک فلزی زیر پایه‌های محرکه می‌باشد .کم دقتی در تراز کردن منجر به تخریب کوپلینگ وصدمه دیدن پمپ ومحرکه می‌شود.

۴ - ۲ - ۳ - در شرایط خاص، مونتاژ وتراز کردن باید مطابق دستورالعمل سازنده کوپلینگ انجام شود. به عنوان مثال فاصله بین دونیمه کوپلینگ باید در مقدار مشخصی تنظیم شود. لذا هنگام نصب باید به موارد مربوط به کوپلینگ در راهنمای نصب وبهره برداری توجه شود

۴ - ۲ - ۴ - برای تراز کردن کوپلینگ‌های بدون قطعات واسطه کافیست که از یک خط کش استفاده شود. بااین وسیله می‌توان هم سطح بودن قطر خارجی دونیمه کوپلینگ را در نقاط مختلف پیرامون آن در طول دوقطعه کنترل نمود. فاصله بین دولبهٔ قطعات فوق نیز باید توسط یک قطعه ضخامت سنج در چندین نقطه کنترل شود.



۴ - ۲ - ۵ - اگر دقت تراز نمودن زیاد باشد (درمورد سرعت‌های بیش از ۳۶۰۰ دور در دقیقه و کوپلینگ‌هایی باقطعه واسطه صلب) باید از ساعت‌های اندازه‌گیری برای کنترل انحرافات شعاعی ومحوری دونیمه کوپلینگ استفاده نمود (مطابق شکل ۵). روا داری محوری مجاز در قطر حداکثر ۰/۰۵ mm ودر صورت امکان کوچکتر یامساوی ۰/۰۳ mm (تا حد امکان روی قطر خارجی که فاصله بیشتری از محل اتصال دارد اندازه‌گیری شود)، رواداری[1] مجاز محوری روی قطر حداکثر ۰/۱ mm ودر صورت امکان کوچکتر یامساوی ۰/۰۵ mm انتخاب شود.



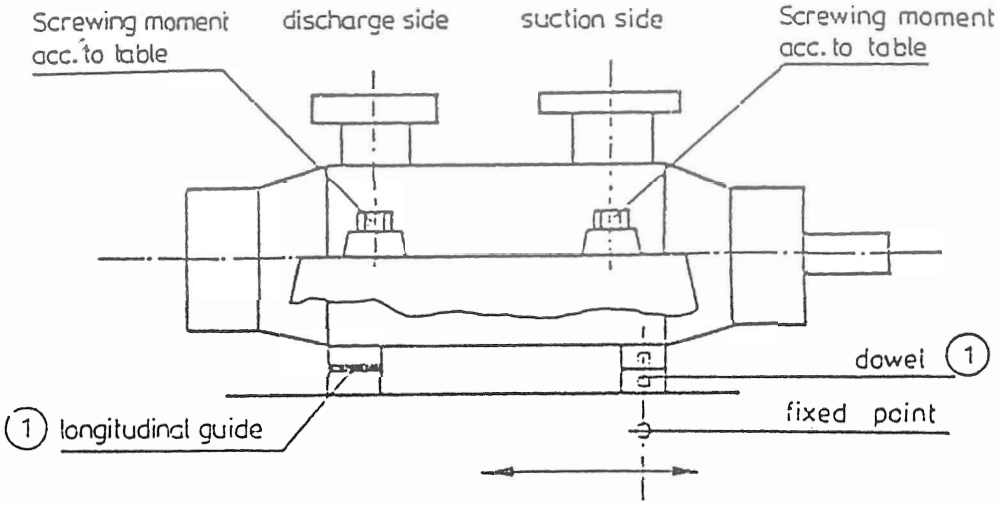
۴ - ۲ - ۶ - در کارکرد بادمای زیاد (از ۱۳۰°C به بالا) دقت تراز بودن کوپلینگ باید در شرایط عملیاتی کنترل شود .اگر اختلاف زیادی نسبت به تراز اولیه مشاهده شود باید دلایل آن بررسی شده واشکال رفع شود. در اکثر موارد مسئله مربوط به اعمال نیرو یاگشتاور اضافی روی فلنج‌های ورودی وخروجی پمپ است که با مهارکردن لوله‌های متصل به پمپ اشکال رفع می‌شود.

۴ - ۲ - ۷ - موقیعت پمپ روی شاسی با زدن پین در طرف مکش مشخص می‌شود. اگر شاسی در اثر حرارت زیاد درجهت محوری منبسط شود می‌توان شیاری را درطرف رانش پیش بینی نمودتاپمپ از طرف رانش در داخل این شیار راهنما حرکت کند به این طریق می‌توان از تغییرشکل ناخواسته وایجاد تنش در پمپ جلوگیری نمود.

هنگام حمل ونقل، پیچ‌های اتصال پمپ به شاسی محکم شود. برای جلوگیری از ایجاد تنش درهنگام انبساط باید درحین راه‌اندازی، پیچ‌ها شل شده وپس از تراز نمودن کوپلینگ پیچ‌های طرف مکش محکم شده وپس از بالا رفتن حرارت مجموعه پیچ‌های طرف رانش محکم می‌شود که ممکن

1-Tolerance

است به اندازه طرف مکش محکم نشود مقادیر پیشنهادی برای گشتاور محکم کردن پیچ‌ها درجدول زیر آمده است.



(1) Not present at MC 40 - MC 100

	گشتاور بستن پیچ M_A[Nm]	
اندازه اسمی پیچ	طرف مکش	طرف رانش
M 16	60	40
M 20	120	80
M 24	220	140
M 27	350	220
M 30	480	320
M 33	680	450
M 36	900	600
M 42	1500	1000

۵ - لوله کشی و تجهیزات جانبی

۵ - ۱ - لوله کشی مکش و رانش

تعیین قطر لوله‌ها در زمان طراحی ایستگاه انجام می‌گیرد. عوامل بسیاری دراین محاسبات دخیل است که برای سازنده پمپ نامشخص است. بطور کلی توصیه می‌شود سرعت سیال درمکش حدود

۲ m/s ودرلوله رانش در حدود ۳ m/s باشد. در اکثر موارد بادرنظر گرفتن مقادیر مذکور قطر لوله‌های مکش ورانش بزرگتر از فلنج پمپ خواهد بود. بنابراین راهنمایی‌های ارائه شده دراین بخش فقط مربوط به جنبه‌های اجرایی لوله کشی می‌باشد.

۵ - ۱ - ۲ - نصب

۵ - ۱ - ۲ - ۱ - لوله‌ها باید به نحوی نصب شود که فلنج‌های پمپ تحت تاثیر نیروی گشتاور حاصل از وزن لوله‌ها یاتنش حرارتی قرار نگیرد. نصب قطعات لرزه گیر واتصالات انبساطی توصیه می‌شود. فلنج اتصالات باید موازی بافلنج پمپ باشد.

۵ - ۱ - ۲ - ۲ - لوله‌های افقی را با شیب منفی در رانش و با شیب مثبت در مکش نصب کنید و از ایجاد نقاطی که امکان حبس هوا وجود داشته باشد اجتناب کنید.

۵ - ۱ - ۲ - ۳ - انشعابات رانسبت به مسیر جریان در جهت مناسب انتخاب کنید. تغییر مقطع لوله از قطر کوچک به قطر بزرگ باید به تدریج انجام گیرد. توصیه می‌شود طول کلی تبدیل ۵ تا ۷ برابر اختلاف قطرها باشد.

۵ - ۱ - ۲ - ۴ - توجه شود که هنگام اتصال فلنجها واشر در مرکز قرار گیرد به نحوی که لبه‌های آن تداخلی با مقطع لوله نداشته باشد.

۵ - ۱ - ۲ - ۵ - توجه شودکه بخصوص در لوله مکش وجود تبدیل‌های غیر عادی وزانوهای کوتاه مقاومت مسیر راافزایش می‌دهد. افزایش مقاومت به معنای کاهش فشار ورودی در فلنج مکش است واگر فشار بیش از حد پایین باشد منجر به کاویتاسیون در ورودی پروانه خواهد شد.

۵ - ۱ - ۲ - ۶ - در شرایط نصب موازی چندپمپ باید برای هر پمپ لوله مکش جداگانه نصب شود، به غیر از پمپ‌های یدک (رزور) با اتصالات موازی که می‌توانند از لوله مکش مشترک استفاده نمایند. زیرا در هرلحظه یکی از پمپها در حال کار خواهد بود.

۵ - ۱ - ۳ - تمیز کردن لوله‌ها

۵ - ۱ - ۳ - ۱ - قبل از راه اندازی باید لوله‌ها ومخازن به دقت از هر نوع آلودگی واجسام خارجی پاک شود. اگر جوشکاری انجام شده باشد، گدازه‌های فلزی و سرباره‌های جوش باید تمیز شود.

۵ - ۱ - ۳ - ۲ - به منظور جلوگیری از نفوذ اجسام خارجی (مانند رنگ، سرباره وغیره) از لوله به پمپ، که معمولاً به فاصله کوتاهی از زمان تحویل و راه‌اندازی اتفاق می‌افتد، نصب یک صافی مخروطی از فولاد زنگ نزن د رمسیر لوله کشی مفید خواهد بود. سطح موثر روزنه‌های این صافی

باید حداقل ۱/۵ تا ۲ برابر قطر لوله باشد. اگر فشار رانش کاهش یابد صافی باید باز شده وتمیز شود. پس از مدتی کار هنگامی که دیگر کثافات در سیستم باقی نمانده باشد می‌توان صافی راحذف کرد. صافی‌های مخروطی از یک صفحه پایه باسوراخهای گرد به قطر ۶/۳ میلیمتر مطابق DIN 24041 ویک توری با چشمه‌های باریک (بافت سیمی ۲ × ۰/۳۱۵ مطابق DIN 4189) که به صفحه، نقطه جوش می‌شود تشکیل شده است.

۵ - ۱ - ۴ - تست فشار

۵ - ۱ - ۴ - ۱ - لوله کشی باید از نظر وجود نشتی کنترل شود .تست فشار باید درهر مورد مطابق استانداردهای رسمی ومعتبر انجام گیرد.

۵ - ۱ - ۵ - اتصالات

۵ - ۱ - ۵ - ۱ - اتصالات باید از نظر فشار وقطر نامی مطابق لوله‌ها باشد. اگر اندازه فلنج پمپ کوچکتر باشد باید تبدیل مخروطی بین اتصالات وپمپ نصب شود .نصب شیر قطع و وصل بلافاصله بعد از فلنج ورودی پمپ مجاز نیست زیرا باعث انتقال آشفتگی [1] به محفظه مکش پمپ می‌شود. برای جلوگیری از حبس هوا باید شیر فلکه طوری نصب شود که دسته آن در کنار و یا رو به پایین باشد.

۵ - ۲ - تجهیزات جانبی شامل وسایل کنترل مانند اندازه‌گیری فشار، دما وغیره وابزارهای تعمیراتی وسرویس‌های جانبی (سرمایش، گرمایش، حفاظت، آببندی و...) می‌باشد وجود انواع تجهیزات جانبی به محل نصب ونحوه عملکرد پمپ بستگی دارد. نقشه‌های جانمایی موقعیت این تجهیزات را مشخص می‌کند. در صورتی که از نظر عملی امکانپذیر باشد رعایت دستورالعمل‌های ذیل در نصب تجهیزات جانبی توصیه می‌شود:

- فشارسنج‌ها روی پایه جداگانه‌ای نصب شده وتوسط لوله‌های قابل ارتجاع باقطر ۸ میلیمتر به نقاط مربوطه روی پمپ یا لوله‌کشی وصل شود. در صورت استفاده از لوله‌های صلب، اتصالات انبساطی در مسیر نصب شود. درهر مسیر شیر قطع و وصل و شیر هواگیری نصب شود.
- دماسنج‌ها باید مستقیماً در محل اندازه‌گیری وصل شود. عمق ورود جزء حساس در سیال باید حداقل ۴۰ میلیمتر باشد. درفشارهای کار بیش از ۱۶ بار باید از لوله محافظ مطابق DIN 43763 استفاده شود.

1 - Turbulance

– سوراخهای تخلیه پمپ می‌تواند ا زطریق لوله کشی مناسب به مخزن جمع آوری متصل شده و یا به لوله فاضلاب راه پیدا کند. اگر در مسیر تخلیه شیر قطع و وصل نصب شده باشد باید بافشار نامی پمپ متناسب باشد.

– سیال نشتی از آببندی رانیز می‌توان از طریق مسیر لوله کشی، به مخزن جمع آوری یافاضلاب هدایت نمود.

– مسیر خنک کننده باید مطابق دستور العمل یانقشه جانمایی نصب شود. گاهی در این مورد نقشه جداگانه‌ای ارائه می‌شود. لوله کشی مدار خنک کن باید به نحوی انجام شود که ورودی آب سرد به پایین‌ترین نقطه وخروجی به بالاترین نقطه محفظه خنک کننده وصل شود. در مدارهای بسته لازم است شیر تنظیم جریان، و در مسیر خروجی، تجهیزات نمایش دهندهٔ جریان، نصب شود. درمدارهای باز، لوله خروجی باید به مسیر تخلیه هدایت شود.

– مسیر گرمایش باید مطابق دستورالعمل یانقشه جانمایی نصب شود. ممکن است در این مورد نقشه جداگانه‌ای ارائه شده باشد. لوله کشی مدار گرمایش باید به نحوی انجام شود که تغذیه از بالاترین نقطه انجام شود. در مسیر ورودی شیر تنظیم نصب شود. خروجی به لوله جمع آوری یا یک تله بخار متصل می‌شود.

– مسیر حفاظت یا آببندی د رمورد آببندهای مکانیکی باید مطابق اطلاعات راهنمای نصب یانقشه اختصاصی آن نصب شود اگر لوله‌کشی به مبدل حرارتی یا فشارشکن یامخزن آرامش وصل شود باید در بالاترین نقطه مسیر شیرهواگیری نصب شود. در شرایط گردش سیال در اثر ترموسیفون حداقل قطر لوله باید "$\frac{۳}{۴}$ یا "۱ انتخاب شود. مسیر جریان باید به صورت صعودی نصب شده واز ایجاد گوشه‌های تیز اجتناب شود.

– مسیر شستشو به طراحی آببند مکانیکی بستگی دارد ودر صورتی که خنک کاری وحفاظت کافی نباشد، نصب می‌شود (به بندهای ۷ – ۲ و ۲ – ۷ مراجعه کنید)

توجه: مطابق DIN 24295 این مطالب باید در هر راهنمای نصب وبهره برداری ذکر شود.

– توصیه‌هایی در مورد کارکرد مطمئن پمپ د رمحدوده بارهای جزئی ومتناوب

این راهنمایی‌ها د رمورد پمپ هایی که هرگز در محدوده بارهای جزئی کار نخواهد کرد کاربرد ندارد.

– تجهیزات کار در حداقل آبدهی

در محدوده بارهای جزئی در پمپاژ نزدیک به آبدهی صفر (Q=0) تقریباً تمام توان پمپ به صورت انرژی حرارتی به گذر کمی از سیال تحویل می‌شود. اگر این آبدهی کمتر از مقدار حداقل گذر باشد (رجوع به بخش ۱ – ۲) افزایش دمای سیال تا تبخیر آن ادامه می‌یابد ودر نتیجه صدمات متعددی به تجهیزات توازن محوری، پروانه‌ها ورینگ‌های سایشی وارد می‌شود که ممکن است منجر به گریپاژ و از کار افتادن پمپ شود. برای جلوگیری از این پدیده لازم است که همواره مقدار معینی از گذر سیال برقرار باشد. در پمپ‌های چند طبقه باتوازن هیدورلیکی نیروی محوری، دو حالت پیش می‌آید.

۱ – مقدار توازن کافی است . دراین شرایط هنگام کار پمپ باگذر نسبتاً کم وشرایط مکش مناسب تاهنگامی که حداقل جریان در خروجی برقرار باشد مقدرا توازن نیروها کافی است. اگر پمپ برای چنین شرایط کاری درخواست شده باشد باید این مورد در برگ داده‌ها ذکر شود. دراین صورت لوله توازن نباید به محفظه مکش متصل شود بلکه باید به مخزن تغذیه برگشت داده شود.

۲ – مقدار توازن کافی نیست. دراین صورت باید حداقل جریان لازم برای برقراری توازن مشخص شده وبلافاصله بعد از فلنج خروجی پمپ تجهیزاتی نصب شود که عبور حداقل جریان از پمپ را حتی در شرایط فلکه بسته تضمین نماید. کارآیی تجهیزات ذیل در عمل ثابت شده است:

الف) شیر یک طرفه باز بانه آزاد (بدون فنر) که باعث باز شدن خودکار مسیر حداقل جریان در هنگام خفگی جریان می‌شود، درعین حال شیر خفگی نصب شده نیز حداقل گذری را که باید تخلیه شود محدود می‌کند عکس آن هنگام افزایش گذر جریان اتفاق می‌افتد. لوله حداقل جریان مستقیماً به فلنج شیر یکطرفه با زبانه آزاد متصل می‌شود.

ب)بین پمپ و تجهیزات قطع و وصل آبدهی در لوله رانش یک لوله کنارگذر متصل می‌شود که به مخزن تغذیه هدایت می‌شود در مسیر، یک وسیله خفگی نصب می‌شود که مقدار گذر از لوله را تعیین می‌کند. در این شرایط باید توجه نمود که جریان از لوله کنار گذر حتی پس از باز شدن مسیر رانش ادامه خواهد داشت که باعث کاهش راندمان پمپ می‌شود.

دو حالت فوق را باید از نظر ارزش اقتصادی وکیفیت بهره‌برداری مقایسه نمود حالت «الف» در صورتی توجیه دارد که هزینه حاصل از کاهش راندمان بیش از ارزش تجهیزات لازم باشد.

۳ - مسیر حداقل جریان یاکنار گذر

لوله کشی برای مسیر حداقل جریان درحوزه مسئولیت سازنده پمپ نیست وباید توسط مشتری اجرا شود. لوله باید همواره به مخزن تغذیه برگشت داده شود. لازم است شیر فلکه قطع و وصل در این مسیر نصب شود تاهنگام ایزوله کردن پمپ یا در زمان تعمیرات بتوان مسیر را بست ولی قبل از راه اندازی باید شیر فلکه درحالت باز قفل شود. اگر برای چند پمپ که به صورت موازی کار می‌کند ازیک لوله حداقل جریان مشترک استفاده شود ضروری است که شیریکطرفه در لوله تغذیه هر پمپ نصب شود. اگر از این مسیر علاوه بر حداقل جریان به منظور تامین جریان توازن نیز استفاده شود لازم است لوله کشی جداگانه‌ای برای هر پمپ انجام گیرد.

ادامه دارد...

پمپهای دینامیکی

Rotodynamic Pumps

مهندس محمد نبیی
سرپرست طراحی مکانیکی امور مهندسی شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران

اصطلاح پمپهای دینامیکی به دستگاههایی اتلاق می‌شود که توسط پره‌های گردان ارتفاع (هد) مایع مورد پمپاژ را افزایش می‌دهند و انتقال انرژی از آنها به سیال بطور دائمی وپیوسته انجام می‌گیرد.

این پمپها بشرح زیر دسته بندی می‌شوند:

۱ - جریان محوری

۲ - جریان گریز از مرکز و جریان مختلط

۳ - جریان مختلط

۴ - پمپهای ذخیره کننده[۱]

در این مقاله فرمولها و روابط اولیه مربوط به گروه دوم بررسی می‌گردد که البته اکثراً در پمپهای جریان محوری هم کار برد دارند.

انرژی (قدرت) منتقل شده توسط حرکت پره:

در نظر بگیرید که یک پره، کاملاً درداخل مایع غوطه ور می‌باشد، ومایع وپره ساکن می‌باشند.

1-Regenerative Pumps

هیچ انتقال قدرتی (انرژی) از پره به مایع اتفاق نمی‌افتد.

حال درنظر بگیرید شخصی با سرعت یکنواخت (-u) در حال حرکت می‌باشد واطراف مایع و پره رامشاهده می‌کند. بصورت نسبی بنظر می‌رسد که مایع وپره باهمان سرعت (+u) حرکت می‌کنند. این سرعت نمی‌تواند باعث تبادل قدرت (انرژی) مابین پره ومایع گردد. این حالت تبادل انرژی فقط وقتی می‌تواند اتفاق بیافتد که پره باسرعت U حرکت کند ومایع در همان جهت باسرعت C_u که متفاوت از سرعت U می‌باشد حرکت کند.

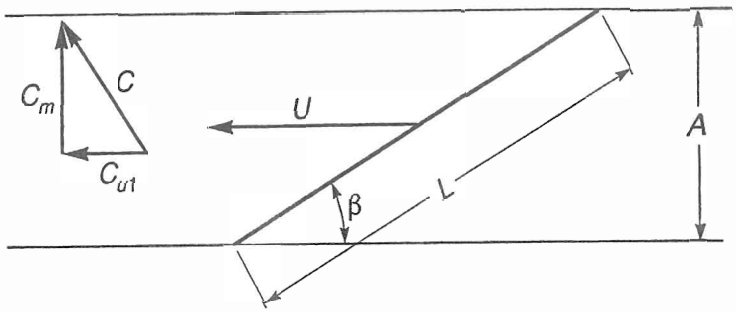


Figure 1-1 Symbols used in explaining the interaction between a moving blade and the surrounding liquid. The distance *A* is the axial distance from the inlet tips of the blades.

حال در نظر می‌گیریم که یک پره با طول L و با سرعت U در داخل مایع در جهت نشان داده شده بردار سرعت C مطابق شکل (۱-۱) حرکت می‌کند پره تحت زاویه β قرار گرفته وسرعت C تحت دو مولفه C_{u1} که به موازات U و C_m عمود بر U می‌باشد.

اگر C_{u1} کوچکتر از U باشد (که د رعمل در پمپها همینطور می‌باشد) پره L در هر واحد زمانی حجم مشخصی از مایع رامطابق فرمول زیر جابجا می‌کند.

$$Q_b=(U-C_{u1})\times B\times L\times \sin\beta \qquad (۱-۱)$$

که در فرمول B عرض پره درجهت عمود بر صفحه شکل می‌باشد

وقتی مایع در تماس مستقیم باپره وارد می‌شود باید در امتداد سطح پره حرکت کند که تغییر جهت باعث تغییر C_u از مولفه C_{u1} به C_{u2} می‌شود.

مقدار C_{u2} برابر است با:

$$C_{u2}=U-C_m.\cot\beta \qquad (۱-۲)$$

جهت بدست آوردن تغییر در مقدار C_u پره باید نیرویی رادر جهت U اعمال نماید. این نیرو ضمن اینکه پره درهمان جهت حرکت می‌کند عمل می‌کند به عبارت دیگر، در فاصله ای که عمل می‌کند همزمان تولید کار می‌کند.

کار انجام یافته برروی مایع،توسط پره در واحد زمان از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$W_b=\frac{\gamma Q_b U(C_{u2}-C_{u1})}{g} \qquad (۱-۳)$$

در فرمول فوق عبارت $\frac{\gamma Q_b}{g}$ جرم مایع در واحد زمان می‌باشد بعبارت دیگر :

$$\frac{\delta Q_b}{g}=\frac{m}{time}$$

بااعمال رابطه فوق در فرمول (۳-۱) ومقدار U برحسب فاصله زمانی،خواهیم داشت:

$$W_b=[m\times\frac{C_{u2}-C_{u1}}{time}]\times\frac{distance}{time} \qquad (۱-۴)$$

در رابطه فوق مقدار $[\frac{(C_{u2}-C_{u1})}{time}]$ نشان دهنده شتاب می‌باشد.

ودر نتیجه مقدار $[m\frac{(C_{u2}-C_{u1})}{time}]$ نشانگر نیرو خواهد بود.

بنا به تعریف، U و C_u دریک جهت عمل می‌کنند. لذا فرمول ۴-۱ حاصلضرب نیرو در فاصله به ازای واحد زمان می‌باشد.

به عبارت دیگر فرمول ۴-۱ نشاندهنده مقدار قدرت (انرژی) انتقال یافته از طرف پره به مایع می‌باشد.

حال اگر مقدار Q_b رادرفرمول ۳-۱ اعمال نمائیم مقدار کار بشرح زیر می‌شود..

$$W_b=\gamma(U-C_{u1})\times B\times L\times Sin\beta\times U(\frac{C_{u2}-C_{u1}}{g}) \qquad (۱-۵)$$

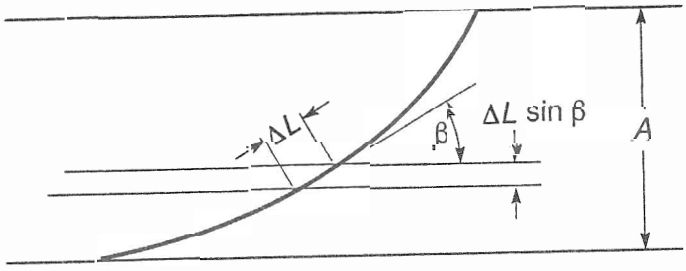


Figure 1-2 Symbols used in the study of power transfer from a curved blade to the surrounding liquid. The distance *A* is the axial distance from the inlet tips of the blades.

فرمول فوق زمانی کاملاً مفید خواهد بود که پره بصورت شکل شماره ۲-۱ باشد. دراین حالت، می‌توان پره را به المان‌های (قطعات) کوچک ΔL تقسیم نمود. با این تقسیم بندی می‌توانیم مقادیر ΔQ_b مایع را که بوسیله هر یک از المان‌های ΔL جابجا می‌شود از فرمول ۱-۱ محاسبه نمائیم.

سپس مقدار قدرت (انرژی) ΔW_b انتقالی هر المان پره بدست می‌آید.

نهایتاً باجمع بندی مقادیر تمامی المانها مقدار کل انرژی انتقال یافته از پره به مایع محاسبه می‌گردد. بااین حال در محاسبات فوق جهت تحلیل ساده‌تر در تمامی نقاط پره مقدار سرعت U راثابت درنظر گرفتیم حال اگر در نقاط مختلف سرعت فرق کند (که درعمل همینطور می‌باشد) چه اتفاق خواهد افتاد.

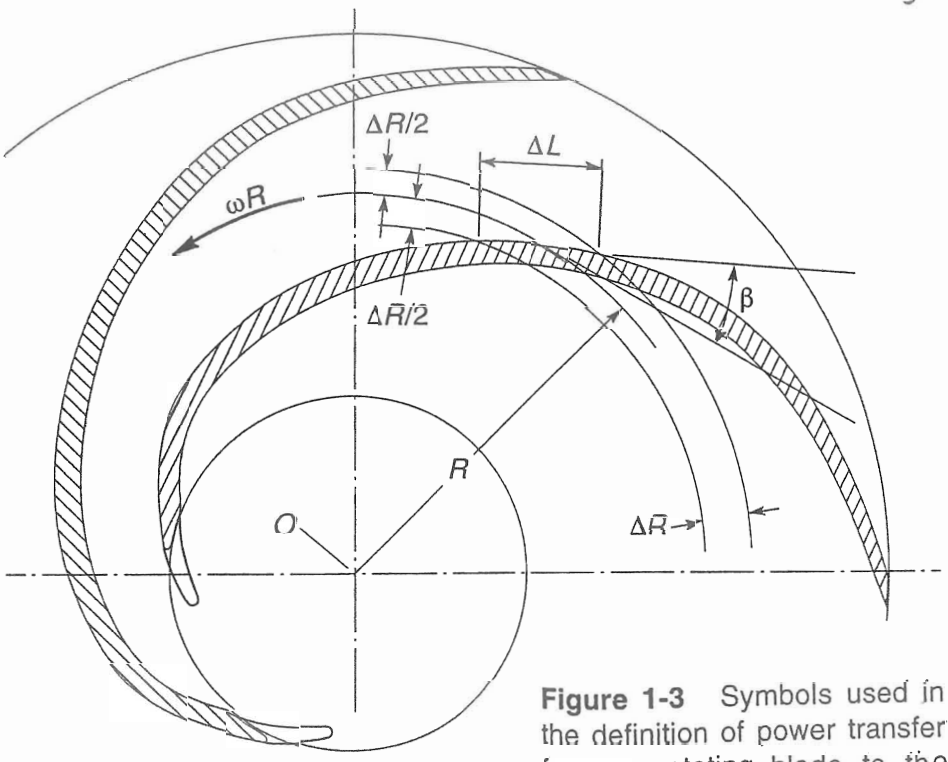


Figure 1-3 Symbols used in the definition of power transfer from a rotating blade to the surrounding liquid

مطابق شکل ۳-۱ فرض می‌کنیم پره حول مرکز O باسرعت ω دوران می‌کند دراین حالت سرعتهای محیطی در هر نقطه از پره بستگی به فاصله R از مرکز O خواهد داشت ومعادل ωR خواهد بود.

حال تأثیر المان ΔL پره رابر مایع دراین حالت در نظر می‌گیریم.

دراین حالت برای محاسبه مقدار مایع جابجا شده توسط المان ΔL خواهیم داشت:

$$\Delta Q_b = B(\omega R - C_u) \times \Delta L \sin\beta = B(\omega \bar{R} - C_u)\Delta \bar{R} \qquad (۱-۶)$$

که در فرمول فوق B عرض المان ΔL پره می‌باشد.

مقدار توان منتقل شده توسط المان ΔL پره برابر خواهد بود با:

$$\Delta W_b = (\gamma \times \Delta Q_b(\frac{U_2 Cu_2 - U_1 Cu_1}{g}) \qquad (۱-۷)$$

که درآن

$U_2=\omega(R+0.5\Delta R)$

C_{u2}=magnitude of C_u at $(R+0.5\Delta R)$

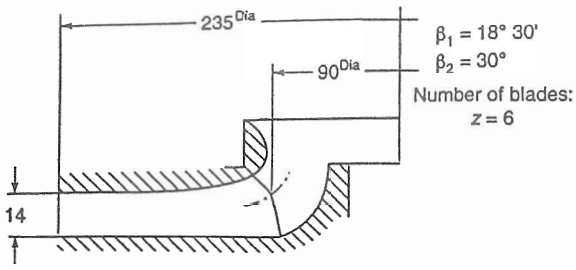
C_{u1}=magnitude of C_u at $(R-0.5\Delta R)$

دراین مقاله به جزئیات کامل محاسبه هد(ارتفاع) که درعمل بدست می‌آید پرداخته نخواهد شد و فقط به مسائل اولیه طراحی پمپ اشاره شده است.

جهت استفاده‌کنندگان پمپ، مقصود از این مقاله درحقیقت باتوجه به رابطه فوق (۷-۱) مقدار انرژی انتقالی از یک پره به مایع نه تنها به سرعت U پره بستگی دارد بلکه بستگی به زاویه پره (جهت زاویه U) وسطح پره هم دارد.

ثابت می‌شود که مقدار کلی انرژی (قدرت) انتقالی از پره به مایع معادل حاصل جمع انرژی انتقالی از تک تک المانهای پره می‌باشد وانرژی کلی انتقالی دقیقاً بستگی به شکل کلی پره داشته وفقط به شکل ورودی و خروجی نوک پره بستگی ندارد. این نتیجه کاملاًمتضاد با نظریه‌های قبلی است که درنظر گرفته می‌شد انرژی انتقالی فقط بستگی به زاویه نوک ورودی و خروجی پره دارد وشکل (پروفیل) خود پره در سایر نقاط تاثیر چندانی ندارد.

نتایجی که از تست ثبت شده در شکل ۴ -۱ بدست می‌آید ثابت می‌کند که این تئوری همیشه منجر به نتیجه‌گیری اشتباه می‌شد.



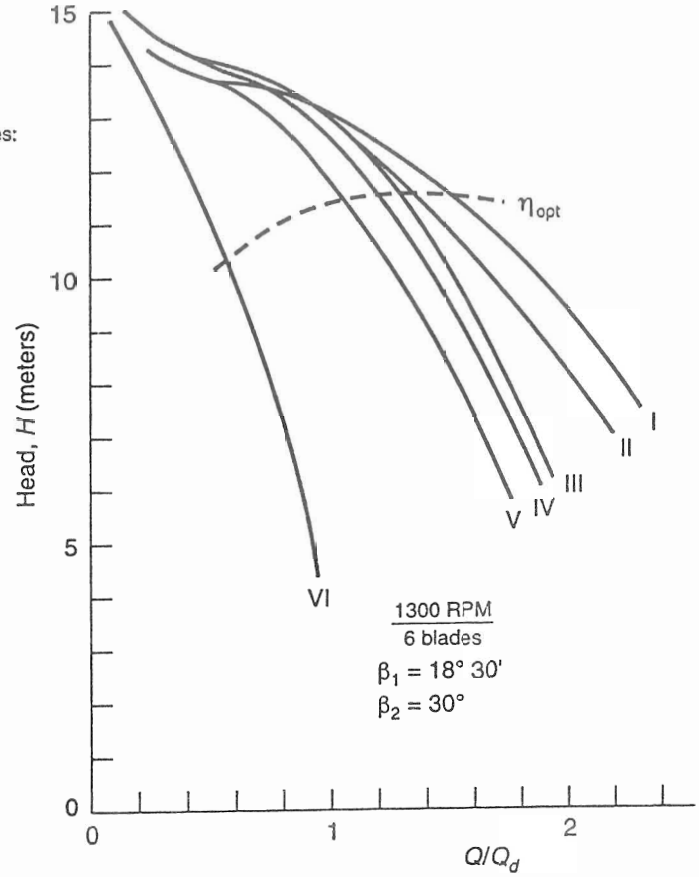


Figure 1-4 Performances of six different impellers of the same inlet and outlet angles, same number of blades, and identical axial section, but differing in blade shape.
RPM=Revolutions per minute.

شکل فوق منحنی‌های مشخصه پروانه‌هایی را نشان میدهد که دارای ۶ پره بوده و زوایای ورودی وخروجی نوک پره‌ها درتمامی پروانه‌ها یکسان بوده وشکل پره (پروفیل پره) در پروانه‌ها متفاوت می‌باشد.

عملکرد پمپ گریز از مرکز

یک پمپ گریز از مرکز همانطور که بطور شماتیک در شکل ۵-۱ نشان داده شده است اساساً شامل یک پروانه گردان (I) است که درداخل یک محفظه ثابت C می‌باشد.

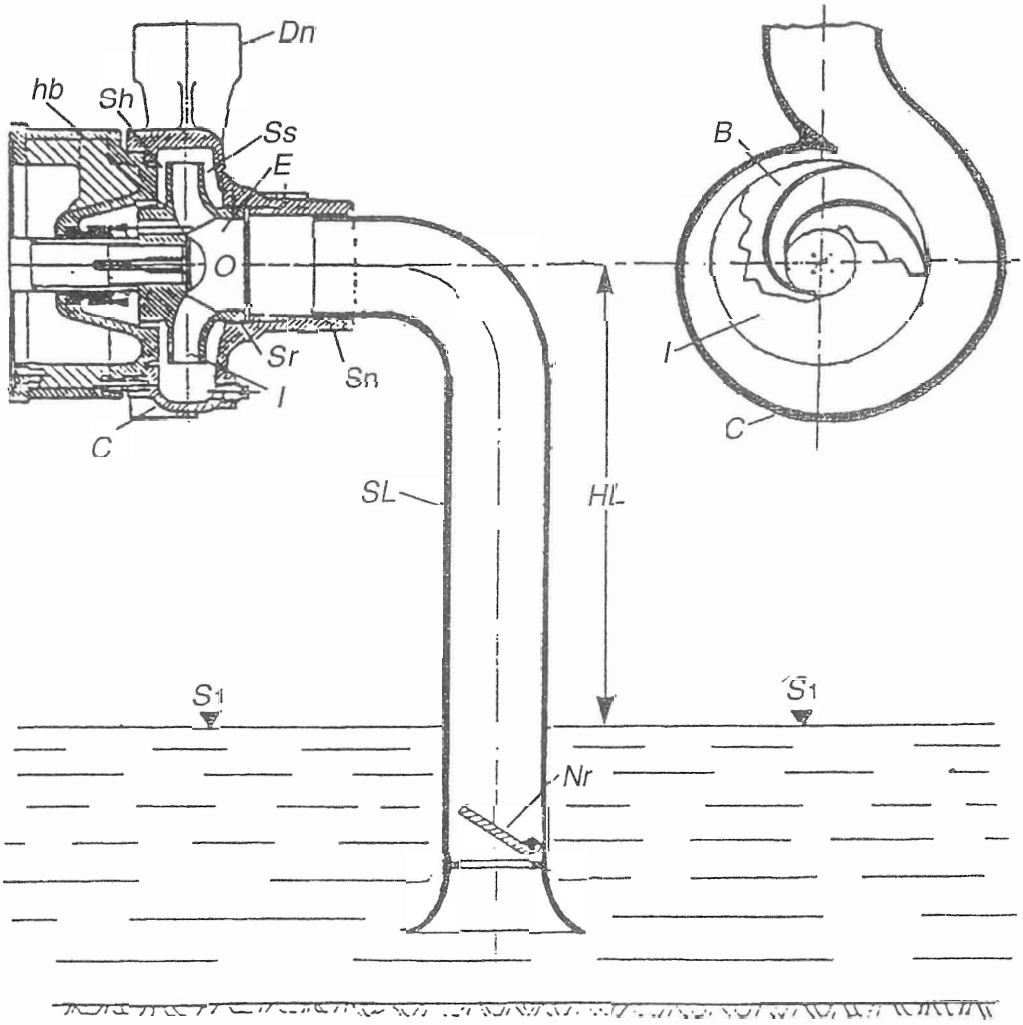


Figure 1-5 Symbols used in the description of the pumping action of a centrifugal pump

پروانه شامل پره‌هایی[۱] می‌باشد که بطور یکپارچه با صفحات جانبی[۲] Sh و توپی[۳] hb ریخته گری می‌شود قسمت دیگر پره‌ها هم معمولاً با صفحات جانبی Ss دیگری هم پوشش داده می‌شود.
که دارای چشمی باز[۴] E در مرکز می‌باشد و توسط رینگ آببندی[۵] Sr احاطه شده است محفظه C شامل یک محفظه اصلی با شیپوره‌های خروجی Dn و ورودی Sn است که متصل به لوله مکش SL می‌باشد. اگر پمپ بالاتر از سطح مایع در داخل مخزن ذخیره نصب شده باشد. خط مکش SL معمولاً مجهز به یک شیر یکطرفه Nr می‌باشد.

حال پمپ و خط مکش را پر از آب میکنیم .وقتی پمپ شروع بکار می‌کند نیروهای گریز از مرکز توسط پره‌های گردان به مایع اعمال شده و آنرا به بیرون هدایت می‌کنند و در عین حال فشار در ورودی پمپ کاهش می‌یابد. ارتفاع کلی[۶] بوجود آمده توسط پروانه معادل انرژی انتقال یافته توسط پره که از رابطه ۷-۱ محاسبه می‌شود ضربدر تعداد پره‌ها تقسیم بر جرم مایع مورد پمپاژ میباشد.

جهت عمل پمپاژ باید ارتفاع تامین شده توسط پروانه بتواند براختلاف فشارهای پایین شیپوره ورودی وخروجی[۷] بشرح زیر غلبه کند:

۱ - غلبه بر فشار، اختلاف ارتفاع، سرعت ارتفاع، وتلفات اصطکاکی و ویسکوزیته در خط رانش

۲ - افت فشار از سطح آب مخزن S1-S1 تا شیپوره ورودی Sn پمپ که میزان این افت فشار بستگی به اختلاف ارتفاع HL وتلفات ناشی از اصطکاک ویسکوزیته مایع درداخل لوله مکش دارد. درعین حال باید هد (ارتفاع) اضافی H_2 راهم بوجود آورد. که جهت شتاب دادن به مایع در خط مکش لازم می‌باشد.

ارتفاع مکش و کاویتاسیون

دریک مخزن روباز مطابق شکل ۵-۱ فشار در سطح S1-S1 آب برابر فشاراتمسفریک P_a می‌باشد.

---

1 - blade

2 - Shraud

3 - hub

4 - Opening eye

5 - Sealing ring

6 - Total head

7- Suction and discharge nozzle

برای رسیدن آب به سطح O-O در مرکز پمپ، فشار در O-O باید کمتر از γHL باشد. که در آن γ وزن مخصوص مایع مورد پمپاژ می‌باشد. بنابراین هد (ارتفاع) H_s برابر خواهد بود :

$$H_s=\frac{P_a}{\gamma} - HL = H_a - HL \qquad (1-8)$$

در عمل، تمامی مایعات از نیروهای فشاری تبعیت می‌کنند. نتیجتاً کمترین فشار که در هر نقطه مایع می‌تواند وجود داشته باشد نمی‌تواند کمتر از صفر باشد (کمتر از فشار اتمسفر) این به مفهوم آن است که اگر مخزن مکش باز باشد، ماکزیمم سطح ارتفاع آب درخط مکش نمی‌تواند بزرگتر از $P_a/\gamma = H_a$ باشد.

یعنی ارتفاع خط مکش HL باید به اندازه کافی کمتر از ارتفاع H_a باشد که نشانگر فشار اتمسفریک تقسیم بر وزن مخصوص مایع می‌باشد. در اولین مرحله بخشی از هد (ارتفاع) موجود H_a می‌بایست برای شتاب دادن مایعی بکار رود که وارد خط مکش SL می‌شود. در مرحله بعدی باید بر مقاومت جریان در خط مکش غلبه کند. ونهایتاً اگر فشار مطلق در O-O به کمتر از فشار بخار مایع افت کند، مایع مورد پمپاژ بصورت بخار درمی‌آید این پدیده کاویتاسیون [1] نامیده می‌شود که در ادامه توضیح بیشتری داده خواهد شد.

هواگیری[2]

براساس یک قاعده کلی یک پمپ گریز از مرکز نمی‌تواند عمل پمپاژ را انجام دهد مگر اینکه قبلاً هواگیری شده باشد قبل از راه اندازی، پمپ ولوله مکش باید کاملاً از مایع مورد پمپاژ پر شوند. هواگیری باکارکرد پمپ گریز از مرکز ارتباط دارد.

ارتفاع (هد) بدست آمده، در پمپ گریز از مرکز از تقسیم مقدار انرژی منتقل شده از پره‌ها به مایع دبی جرمی γOb مطابق روابط ۳-۱ و۷-۱ که قبلاً اشاره شده‌اند، مشخص می‌گردد. بنابراین برای پره‌ای با شکل (پروفیل) وسرعت مشخص، یک پروانه هد وگذر حجمی مشخصی را تامین خواهدنمود که بستگی به وزن مخصوص مایع ندارد.

برای مثال، یک پمپ رادرنظر بگیریم که آب را باهد 231 ft پمپاژ می‌کند فشار سنج نصب شده فشار

1 - Cavitation

2 - Priming

نسبی 100 Psi رانشان خواهد داد. حال اگر پمپ فوق روغنی با وزن مخصوص ۰/۷۵ راپمپاژ نماید، هد بدست آمده با همان گذر حجمی قبلی معادل 231 ft خواهد بود . درحالیکه به لحاظ اینکه جرم مخصوص ۰/۷۵ شده است وجرم مخصوص آب را اگر در نظر بگیریم فشارسنج عدد 75 Psi را نشان خواهد داد.

حال به شکل ۵-۱ بر می‌گردیم ونحوه پمپاژ راتوضیح می‌دهیم. در اولین مرحله در نظر می‌گیریم که سیستم هواگیری شده است. پمپ ارتفاع کلی $H_t=H_d+H_s$ راتامین خواهدنمود. H_d مقدار هد (ارتفاع) مورد نیاز جهت غلبه بر افتهای ناشی از خط رانش می‌باشد واز طرفی H_s مقدار هدی است که جهت کم نمودن فشار درنقطه مرکز O-O پمپ مورد نیاز می‌باشد ومعادل $\gamma_1 H_s$ می‌باشد. این کاهش فشار باید به اندازه کافی زیاد باشد تابرفشار $\gamma_1 HL$ مورد نیاز که آب راتاارتفاع HL می‌رساند غلبه کند ونیز فشار بحدی باشد که برتلفات ناشی از حرکت سیال در لوله مکش فائق آمده وشتاب مناسبی راهم در خط مکش SL ایجاد نماید.

وقتی پمپ هواگیری گردید، افت فشار ار خط O-O معادل γH_s می‌باشد که در آن γ_1 وزن مخصوص مایع مورد پمپاژ می‌باشد.

حال فرض می‌کنیم پمپ قبل از راه اندازی هواگیری نشده باشد وپر از هوا باشد. وقتی پمپ روشن می‌شود، هنوز هد کلی مقدار $H_t=H_d+H_s$ می‌باشد. دراین لحظه، افت فشار که در خط O-O قبلاً برابر H_s بودمقدارش به وزن مخصوص هوا هم ضرب شده و زیادتر می‌گردد.

بستگی به مقدار درجه حرارت، فشار وذرات رطوبت در هوا وزن مخصوص هوابه اندازه ۶۰۰ الی ۶۵۰ مرتبه کمتر از آب می‌باشد. درنتیجه مقدار افت فشار به اندازه ۶۰۰ الی ۶۵۰ برابر کمتر از وقتی که پمپ هواگیری شده باشد، خواهد بود. درعرض یک دقیقه افت درفشار باعث خواهد شد تامایع به اندازه کافی تا سطح HL بیاید به این دلیل هواگیری حتماً لازم می‌باشد.

اختلاف فشار در طرفین یک پره

فرمول ۷-۱-۳-۱ مقدار انرژی انتقالی از پره‌ها به مایع رامشخص می‌کند. این قدرت باید از شفت به پره‌ها منتقل گردد. این بدین معنی است که پره‌ها به مقاومتهای (اصطکاکهای) دوران خود غلبه کنند.

به عبارت دیگر، فشار درلبه‌هادی [۱] پره‌ها بایستی بیشتر از لبه پس‌رو[۲] پره‌ها باشد.

در فرمول 1-7 داریم

$$\Delta Q_b=(U-C_u)\times B\times \Delta L\ \sin\beta$$

مقایسه می‌کنیم بافرمول ۱ - ۱

مقدار نیروی ΔF المان ΔL پره برای انتقال قدرت از شفت به مایع برابر بود با:

$$\Delta F=\frac{\Delta W_b}{U}=\frac{\Delta W_b}{\omega R}$$

که در آن ωR سرعت شعاعی المان ΔL پره می‌باشد .این نیروی ΔF در سطح ΔA عمل می‌کند معادل $B(\Delta L\ \sin\beta)$ می‌باشد.

بعبارت دیگر، اختلاف فشار مابین لبه هادی و لبه پس‌رو المان ΔL پره را می‌توان بصورت زیر نشان داد.

$$P_d=\frac{\Delta F}{B\times \Delta L\ \sin\beta}=\frac{\gamma(\omega R-C_u)\times(U_2\ C_{u2}-U_1\ C_{u1})}{g\omega R}$$

رابطه برنولی دریک سیستم

وقتی مایع توسط پروانه به جریان بیافتد هد (ارتفاع) [۳] کل مایع از H_1 به H_2 افزایش می‌یابد. که اگر بصورت فرمول ریاضی بخواهیم نشان دهیم بترتیب زیر خواهد بود.

$$H_2-H_1=\frac{U_2-C_{u2}-U_1C_{u1}}{2g}$$

رابطه فوق را به صورت زیر هم می‌توان نشان داد.

$$H_2-H_1=\frac{(U_2^2-U_1^2+W_1^2-W_2^2)+(C_2^2-C_1^2)}{2g}$$

که در آن C و W بترتیب سرعت مطلق ونسبی مایع می‌باشند وبه همان ترتیب اندیس ۱ مربوط به سرعت در ورودی پره واندیس ۲ مربوط سرعت در خروجی پره پروانه پمپ می‌باشد.

این افزایش در ارتفاع کلی (هد کلی) شامل افزایش در هد (ارتفاع) جنبشی [۴]

$$H_{K2}-H_{K1}=\frac{C_2^2-C_1^2}{2g}$$

---

1 - Leading face

2- trailing face

3 - total head

4 - kinetic head

وافزایش در ارتفاع فشار $[H_{p1}-H_{p1}]$ می‌شود که معادل اختلاف فشار بین ارتفاع کل و ارتفاع جنبشی می‌باشد و یا

$$H_{p2}-H_{p1}=(H_2-H_1)-(H_{K2}-H_{K1})$$

بنابراین افزایش در ارتفاع فشار هم بصورت زیر خواهد بود:

$$H_{p2}-H_{p1}=\frac{W_1^2-W_2^2}{2g}+\frac{U_2^2-U_1^2}{2g}$$

یا

$$H_{p2}+\frac{W_2^2-U_2^2}{2g}=\frac{W_1^2-U_1^2}{2g}+H_{p1}$$

رابطه فوق، معادله یافرمول برنولی دریک سیستم دوار یاچرخشی می‌باشد. حال اگر فرض کنیم که مشاهده کننده باپروانه می‌چرخد نسبت به مشاهده‌کننده U_2,U_1 معادل صفر می‌باشد درآنصورت فرمول بصورت زیر در می‌آید :

$$H_{p2}+\frac{W_2^2}{2g}=H_{p1}+\frac{W_1^2}{2g}$$

رابطه فوق فرمول برنولی برای سیستمهای ساکن می‌باشد این آنالیز نشان میدهد که این جریان نسبت به مشاهده کننده‌ای که دوران می‌کند تحت تأثیر همان قوانین است که در سیستم موجود است.

Reference:

Yedidiah , S: Centrifugal Pump User's Cuidebook

GHAPMAN & HALL,PP. 3-11, 1996

هواگیری و راه‌اندازی پمپها

مهندس مسعود حداد
کارشناس طراحی مکانیکی صنایع پمپ‌سازی ایران

وقتی مخلوطی از گاز ومایع بوسیله چرخش پروانه به حرکت در می‌آید، مایع بعلت سنگینی توسط نیروی گریز از مرکز به سمت بیرون پرتاب شده و گاز نیز در حرکتی به سمت مرکز، جایگزین مایع می‌شود. بسته به میزان گازی که مایع حاوی آن است، این جایگزینی می‌تواند بطور کامل و یا جزئی، ورودی پره‌های پروانه را مسدود کند. درمورد اول، پمپ قادر به پمپاژ نمی‌باشد. درمورد دوم، پمپ ممکن است میزان کمتری از مایع را پمپاژ کند.

در عین حال پمپ می‌تواند ارتفاع مورد نیاز را برای غلبه بر افتهای سیستم تامین کند. در چنین وضعیتی یکی از موارد ذیل اتفاق می‌افتد:

الف -میزان جریان تا زمانی که به مقدار مورد نظر برسد، به تدریج افزایش می‌یابد.

ب - میزان جریان به تدریج کاهش می‌یابد بطوری که پمپاژ سیال متوقف شده یا پمپ تحت آبدهی کمتری عمل می‌کند.

این ناهمگونی در رفتار پمپ ارتباط بسیار نزدیکی بانحوه پمپاژ وطبیعت کنشهای داخلی مایع وگاز دارد.

وقتی پروانه پمپ می‌چرخد مایع درون خود را به سمت بیرون پرتاب می‌کند وموجب ایجاد خلاء در ورودی پروانه می‌شود. این خلا نیز درعمل بوجود نمی‌آید (به غیر از وضعیت کاویتاسیون) چرا

که مایع جابجا شده بطور مداوم توسط مایع جدیدی که از طریق گلویی مکش[۱] وارد پمپ می‌شود، جایگزین می‌گردد. نیرویی که مایع جدید را جایگزین محتوی موجود در پروانه می‌سازد ناشی از اختلاف فشار بین ورودی در خط مکش وفشار موجود در چشم پروانه می‌باشد. مایع فقط وقتی وارد پروانه می‌شود که فشار در چشم پروانه کمتر از فشار در بالا دست جریان باشد.

تقریباً همه گازها تحت اعمال فشار در مایع حل می‌شود وچنانچه فشار افزایش یابد گاز بیشتری در حجم معینی از مایع حل می‌شود وبرعکس. درنتیجه وقتی مایع وارد چشم پروانه می‌شود، مقداری از گاز محلول ، بعلت کاهش فشار آزاد می‌شود این پدیده حجم گاز مسدود شده را افزایش می‌دهد وموجب رشد تدریجی انسداد گازی می‌شود تا اینکه جریان مایع کاملاً قطع می‌شود. متقابلاً مایع جاری، می‌تواند قسمتی از گاز را بعلت عمل نیروی چسبندگی ودر اثر برخورد، تصرف نموده وبا خود ببرد.

این پدیده، کاهش میزان گاز مسدود شده در چشم پروانه را، تادفع کامل آن ادامه میدهد.در چنین موردی پمپ آبدهی نامی خود رابطور کامل از سر می‌گیرد.

در پمپی که بخشی از پروانه آن توسط گاز مسدود شده، هر دو پدیده بطور همزمان اتفاق می‌افتد. بسته به نسبت میزان گاز آزاد شده بعلت کاهش فشار، ومیزان گاز حمل شده، توسط مایع در اثر نیروی چسبندگی یکی از پدیده‌های مذکور اتفاق می‌افتد.

بنابراین کاهش اندازه گاز مسدود شده می‌تواند اغلب توسط باز کردن کنار گذری نزدیک، انجام گیرد. ولی ارتفاع پمپاژ کاهش پیدا می‌کند. این پدیده میزان جریان را افزایش می‌دهد ومتعاقب آن مقدار گاز حمل شده توسط پدیده چسبندگی افزایش می‌یابد. برای احتیاط توصیه می‌شود که از انسداد گاز جلوگیری شود. مطابق ملاحظات مذکور واژه «انسداد هوا»[۲] برای هر دومورد انسداد هوا وسایر گازها بکار می‌رود.

اساساً دومنبع ورود هوا به پمپ گریز از مرکز وجوددارد. حبابهای هوا ونفوذ هوا. حبابهای هوا ممکن است بر کارآیی پمپ تاثیر بگذارد وممکن است در خط مکش، محفظه پمپ، یا خط رانش بروز کند.

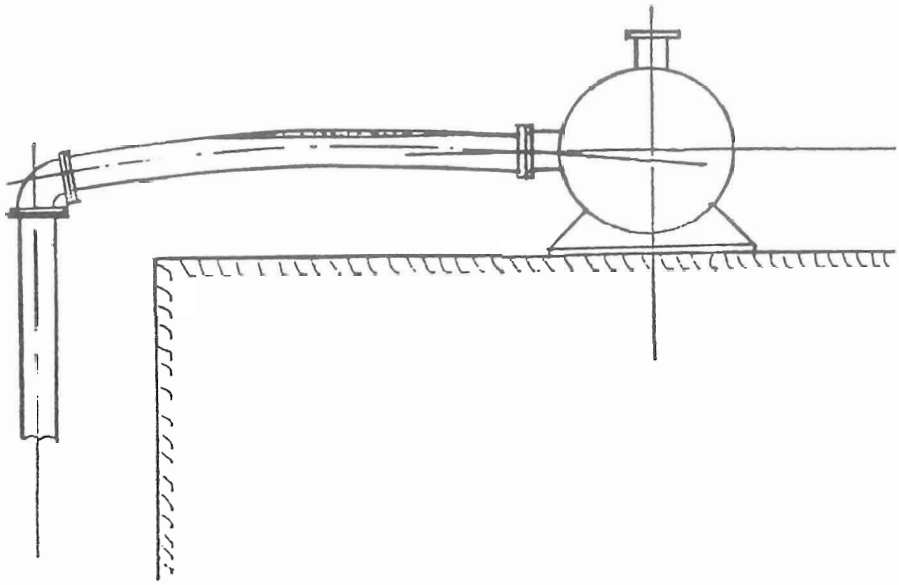
---

1 - Suction nozzle

2- Air blockage

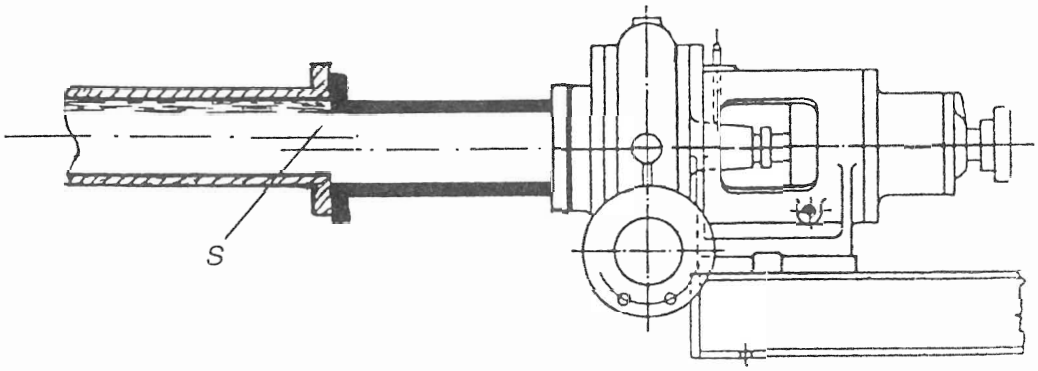
حبابهای هوا در خط مکش

وقتی قسمتی از خط مکش دارای شیب منفی است ممکن است حبابهای هوا پدید آیند. شکل (۱).



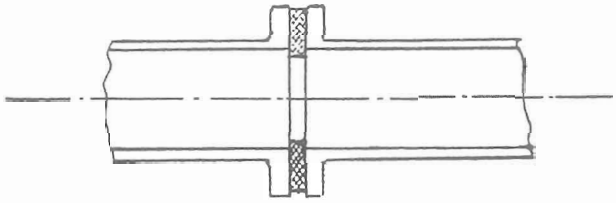
شکل (۱) خط مکش باشیب منفی

همچنین حبابها ممکن است زمانی بوجود آیند که موانعی د رقسمت بالائی خط لوله وجود داشته باشد برای مثال چنین مواردی زمانی اتفاق می‌افتد که قسمت بالا دست جریان در لوله نسبت به قسمت پایین دست بصورت خارج از مرکز قرار گرفته باشد. بدین ترتیب که پله S در قسمت داخل وبالای خط مکش بوجود آمده باشد شکل (۲).



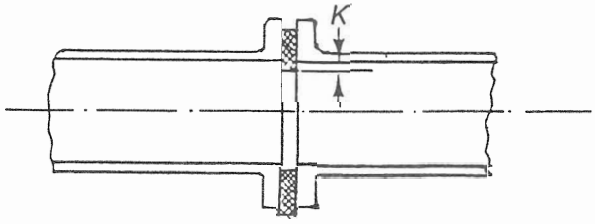
شکل (۲)حباب هوای بوجود آمده در اثر پله فلنجها

همچنین واشر کاغذی که قطر نامناسبی دارد شکل (۳)



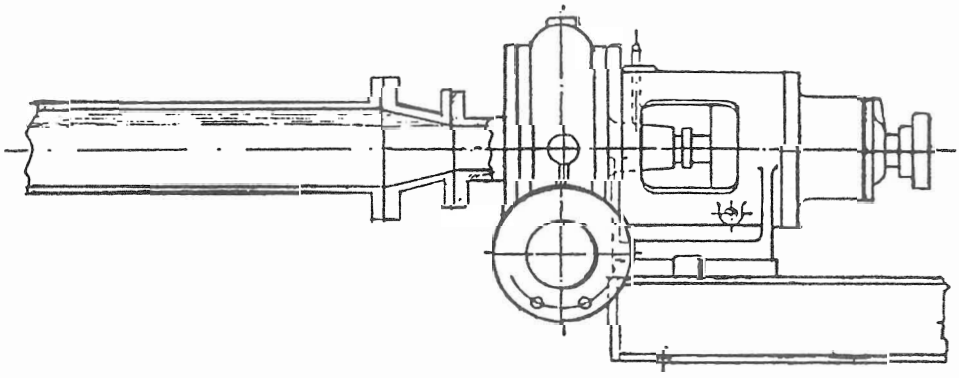
شکل (۳) واشر کاغذی با قطر کم در خط مکش

و یا واشر کاغذی که از طرف بالا د راتصال لوله‌ها [فلنجها] دارای پیش آمدگی به سمت داخل لوله است شکل (۴) دارای تاثیرات مشابهی است.



شکل (۴) واشر کاغذی غیرهم مرکز با لوله

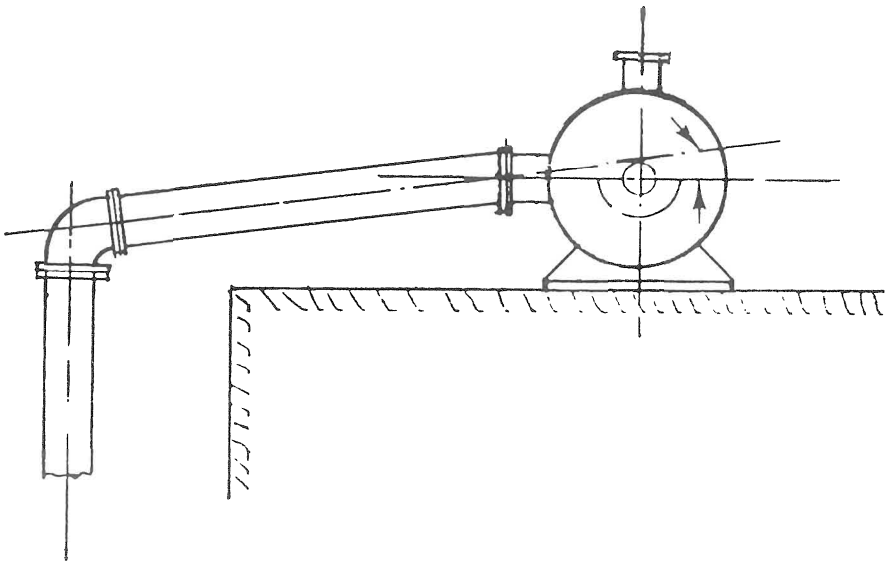
همچنین حبس هوا وقتی بوجود می‌آید که قطر خط مکش بزرگتر ازورودی پمپ باشد شکل (۵)



شکل (۵) لوله مکش بزرگ موجب تشکیل حباب هوا می‌شود.

چنین وضعیتی در سیستمهایی با خطوط مکش بلند متداول بوده و در دسترس بودن NPSH را محدود می‌سازد. درچنین مواردی قطر لوله مکش می‌بایست تا حد امکان بزرگ انتخاب شود تاباعث

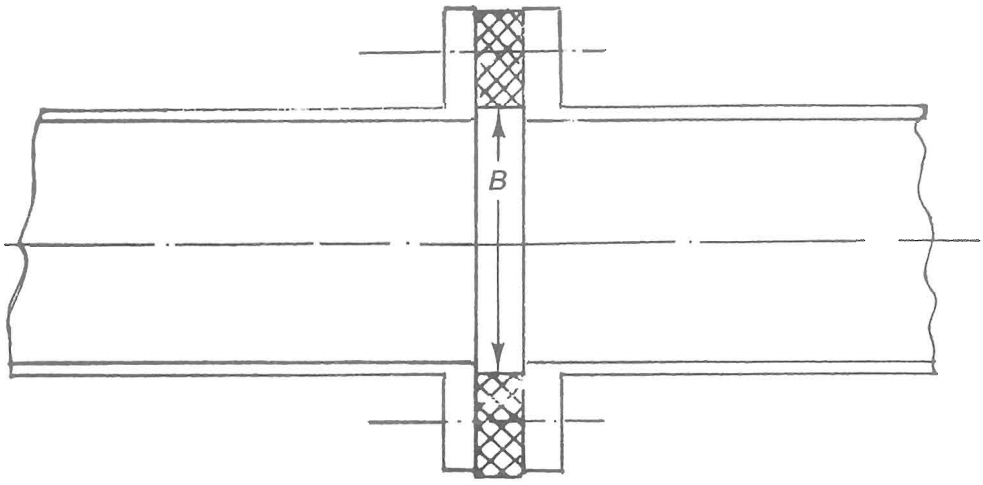
کاهش افتهای هیدرولیکی شود. حبس هوا وقتی که قسمتی از لوله مکش دارای شیب منفی است، بوجود می‌آید برای جلوگیری از این پدیده می‌بایست لوله مکش را بطور دقیق طراحی ونصب نمود. خط می‌بایست همیشه طوری نصب شود که هیچ یک از قسمتها دارای شیب منفی نباشد. بطور تئوری، خطوط لوله‌ای که بطور کامل تراز شده باشد این شرایط را داراست. درعمل برخی از مسیرها باید با شیب مثبت اجرا شود شکل (۶) بطور کلی خط مکش می‌بایست شیب یکنواخت و مثبتی داشته واین شیب کمتر از یک درصد نباشد .



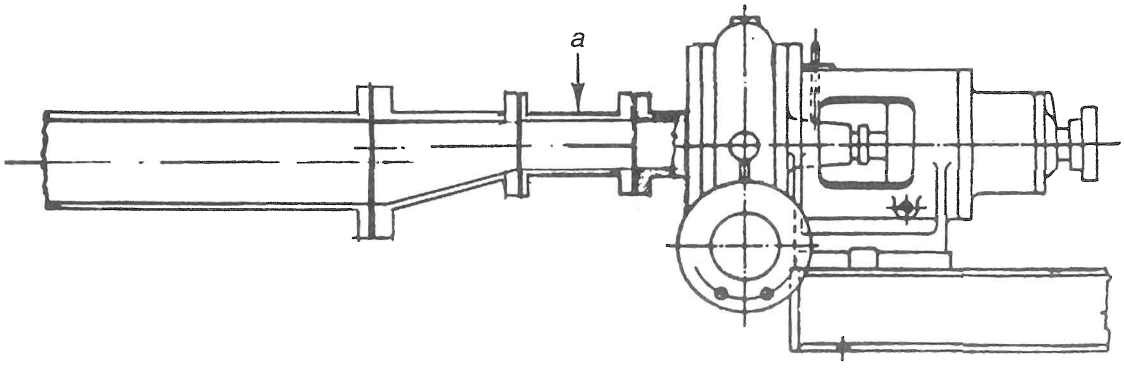
شکل (٦) شیب مثبت وملایم خط مکش با قطر یکسان لوله، از بروز حباب هوا جلوگیری میکند.

می‌توان صرفاً با نصب دقیق از حبس هوا که دراثر هم مرکز نبودن واتصال نادرست لوله‌ها، پدید می‌آید جلوگیری نمود. همچنین برای جلوگیری از حبس هوا که در اثر برآمدگی واشر کاغذی به داخل لوله پدید می‌آید، می‌توان قطر داخلی واشر کاغذی را نسبت به قطر لوله بزرگتر نمود شکل (۷) بالاخره، برای جلوگیری از حبس هوا که ممکن است، دراثر بزرگتر بودن قطر لوله مکش نسبت به ورودی پمپ، پدید آید، می‌توان در خط مکش از تبدیل خارج از مرکز[1] که سطح صاف آن در بالا قرار گرفته استفاده نمود. شکل (۸)

1- Eccentric reducer



شکل (۷) قطر داخلی واشر کاغذی باید از قطر لوله بزرگتر باشد.



(شکل ۸) تبدیل خارج از مرکز از بروز حباب هوا جلوگیری می‌کند.

ولی وقتی قطر خط مکش بیشتر از اندازهٔ قطر نازل مکش یا دوبرابر قطر آن باشد، قطعه‌ای لوله مستقیم را که قطر آن به اندازه نازل مکش پمپ است می‌بایست بین تبدیل خارج از مرکز وپمپ، نصب نمود. این کار ضروری است، چراکه تبدیل خارج از مرکز ممکن است جریان سیال را بیشتر به یک طرف چشم پروانه منحرف کند وموجب کاهش آبدهی وراندمان پمپ گردد.

وقتی که عملاً امکان اجرای هیچ یک از مراحل برای جلوگیری از حبس هوا نباشد، دومین وبهترین چاره نصب در پوش هواگیری در تمام نقاطی است که تحت تاثیر حباب هوا می‌باشند. این در پوشها می‌بایست در طی هواگیری باز باشند تا به هوا اجازه خروج دهند .

ولی این عمل می‌بایست فقط در موارد کاملاً ضروری که چاره دیگری نیست به کارگرفته شود. زیرا قابلیت انحلال گازها در مایعات با فشار کاهش می‌یابد. درنتیجه، هنگام کاهش فشار که

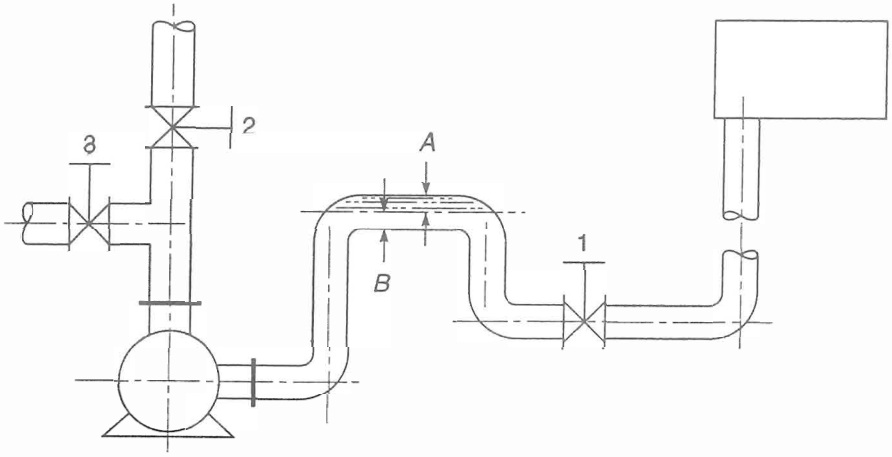
معمولاً در خطوط مکش وجود دارد، ممکن است گاز از مایع پمپاژ شده آزاد شود و در مکانهایی که حبس هوا بوجود می‌آید تجمع کند.

در عمل حتی وقتی حبس هوا در خط مکش وجود دارد، گاهی پمپها، بطور رضایت بخشی کار می‌کنند. این پدیده موجب تصورات اشتباهی میان کاربران پمپ می‌گردد واغلب موجب می‌شود که از پیشگیری‌های لازم برای جلوگیری از حبس هوا غافل شوند. آنها باخوش بینی تمام، باور دارند که حبس هوا مضرنمی باشد .

یادآوری این نکته مهم است که حبس هوا در خط مکش به اندازه هواگیری نشدن سیستم مضر است. مشکل زمانی شروع می‌شود که هوا حرکت کرده و وارد پمپ شود. پروانه سیال سنگینتر را به طرف بیرون پرت نموده ودر نتیجه هوا را درچشم پروانه حبس می‌کند. این پدیده گاهی جریان سیال را در پمپ مسدود می‌کند و موجب قطع کامل جریان می‌شود. درسایر موارد، انسداد ممکن است صرفاً شامل بخشی از جریان بوده وجریان سیال از پمپ ادامه داشته وفقط میزان آن کاسته شود .این کاهش جریان دارای تاثیر دوگانه‌ای است. اولاً فشار مطلق در عبور مایع از هوای حبس شده کمتر از ورودی لولهٔ مکش است زیرا در سطوحی که بخشی از جریان متوقف شده، سرعتهای بیشتری وجود دارد و ازسویی حاصل افتهای لوله مکش می‌باشد. این پدیده موجب آزاد شدن مقداری هوای نامحلول در مایع شده وحجم هوای حبس شده را افزایش می‌دهد. ثانیاً سیال عبوری از هوای حبس شده، بخشی از هوا را باخود برده وحجم آنرا کاهش میدهد.

بسته به نسبت بین حجم هوای افزوده و حجم منتقل شده از هوای محبوس، این انسداد ممکن است افزایش یافته یا بدون تغییر بماند. کاهگاهی نیز آنقدر کاهش می‌یابد تا ناپدید شود در دو مورد اول حبس هوا بطور مشخصی به کار آیی پمپ لطمه زده وغالباً جریان را به طور کامل متوقف می‌کند. ولی در مورد سوم، درمدت زمان نسبتاًکمی کارآیی پمپ بازیابی می‌شود واین تصور را بوجود می‌آورد که انسداد هوا پدیده‌ای قابل چشم پوشی است. پس غیرممکن است پیش گویی نمود که کدامیک از پدیده‌های مذکور اتفاق خواهد افتاد. بنابراین برای احتیاط حتماً توصیه می‌شود که هرگونه حبس هوا را از پمپ رفع کنید.

حالتی که در آن حبس هوا می‌تواند برکارآیی پمپ تاثیر بگذارد توسط مثال زیر ترسیم شده است.



شکل (۹) نمایی از لوله به شکل U معکوس

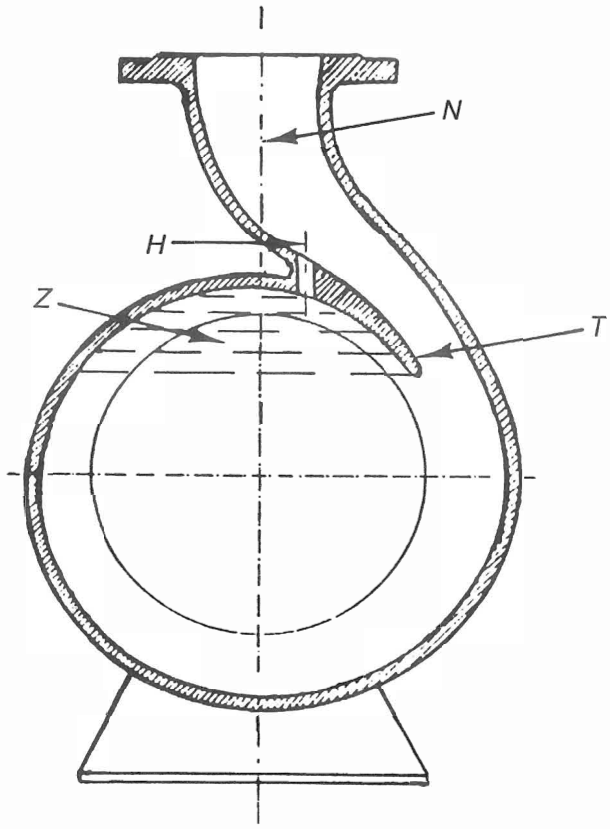
درشکل (۹) مخزنی که درارتفاع بالایی قرار گرفته سیال لازم را برای پمپ مهیا می‌سازد. لوله‌های بین مخزن وپمپ فضایی را برای حبس هوا در نقطه A بوجود می‌آورد. برای راه اندازی پمپ شیرهای ۱ و ۳ تاوقتی که هوا از پمپ ولولهٔ مکش خارج شود باز می‌مانند ولی حبس هوا در نقطه A باقی می‌ماند. بعداز اینکه تخلیه هوا کامل شد شیر ۳ بسته شده وشیر ۲ باز می‌شود وپمپ شروع به کار می‌کند.

در طی هواگیری موارد ذیل ممکن است اتفاق بیافتند. اولاً لوله مکش دارای قطر بزرگی بوده ومیزان جریان مورد پمپاژ نسبتاً کم می‌باشد، در نتیجه سرعت کمی درفضای B بوجود می‌آید. درنتیجه جریان مایع قادر نخواهد بود هیچ مقداری از هوای حبس شده را به پمپ منتقل کند. بنابراین پمپ بطور رضایت بخشی کار خواهد کرد. ثانیاً وقتی قطر لوله مکش نسبتاً کوچک است ومیزان جریان زیاد است، سیال جاری، هوای حبس شده A رابه داخل پمپ حمل می‌کند. ولی وقتی سرعت سیال درداخل پمپ همچنان زیاد است، تازمانی که پمپ در حالت کار کرد قرار نگرفته بخشی از هوا از طریق شیر ۳ خارج می‌شود. اگر زمان کافی داده شود، کل هوا ممکن است از سیستم پمپاژ تخلیه شود وپمپ دوباره بدون اشکال کار کند. تنها زمانی که حبس هوا تاثیر بدی برکارآیی دارد وقتی است که سرعت مایع در حین راه اندازی یا کار نسبتاً زیاد بوده و قبل از اینکه هوا کاملاً از نقطه A خارج گردد، پمپ راه اندازی شود. در چنین حالتی هوایی که از نقطه A به درون پمپ آورده می‌شود، بعداز اینکه پروانه به کار افتاد، در چشم پروانه حبس می‌شود. حبس هوا در اثر طرح نادرست لوله کشی (شکلهای (۱)(۲)(۵)) ویا توسط برآمدگی واشر به سمت داخل خط مکش شکل (۳) بوجود آمده و

می‌تواند تاثیرات مشابهی داشته باشد. هر موقع که حبس هوا در بالای سطح مایع چاهک مکش قرار گیرد شکل (۱) یادر فاصله زیادی از لوله مکش باشد، اثر حبابها به نوبهٔ خود تحت تاثیر کاهش فشاری است که دراثر تغییر مقطع ویادراثر افتهای هیدرولیکی در خط مکش یا هر دوآنها پدید می‌آید. کاهش در فشار باعث می‌شود مقدار هوایی که درمایع حل شده است به هوای حبس شده تبدیل شود ودر نتیجه اندازه آن افزایش یابد در چنین مواردی خطر اشکال در پمپاژ خیلی بیشتر از وضعیتی است که در شکل (۹) ترسیم گردیده است.

حبس هوا در درون پمپ

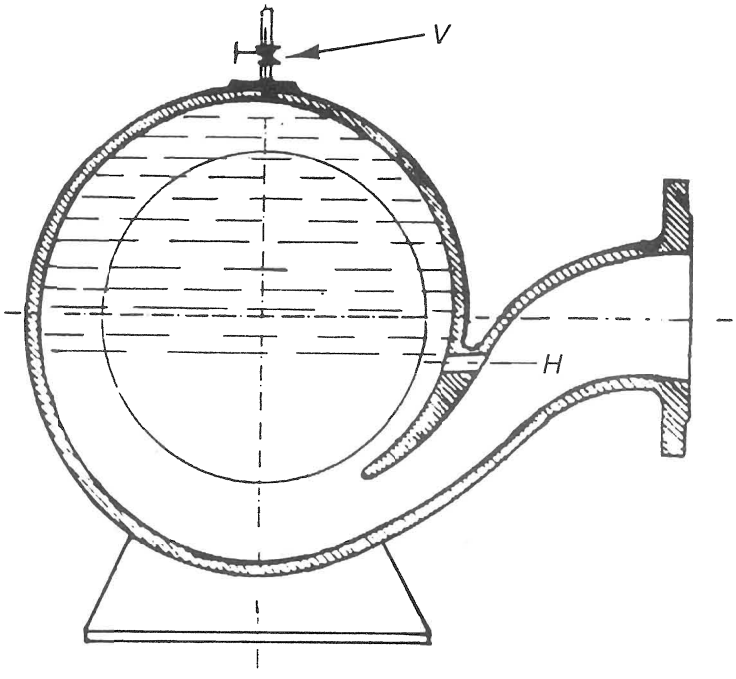
در پمپهای یک طبقه حبس هوا معمولاً در بالاترین ناحیه Z محفظه پدید می‌آید شکل (۱۰)



شکل (۱۰) سوراخی برای هواگیری محفظه حلزونی

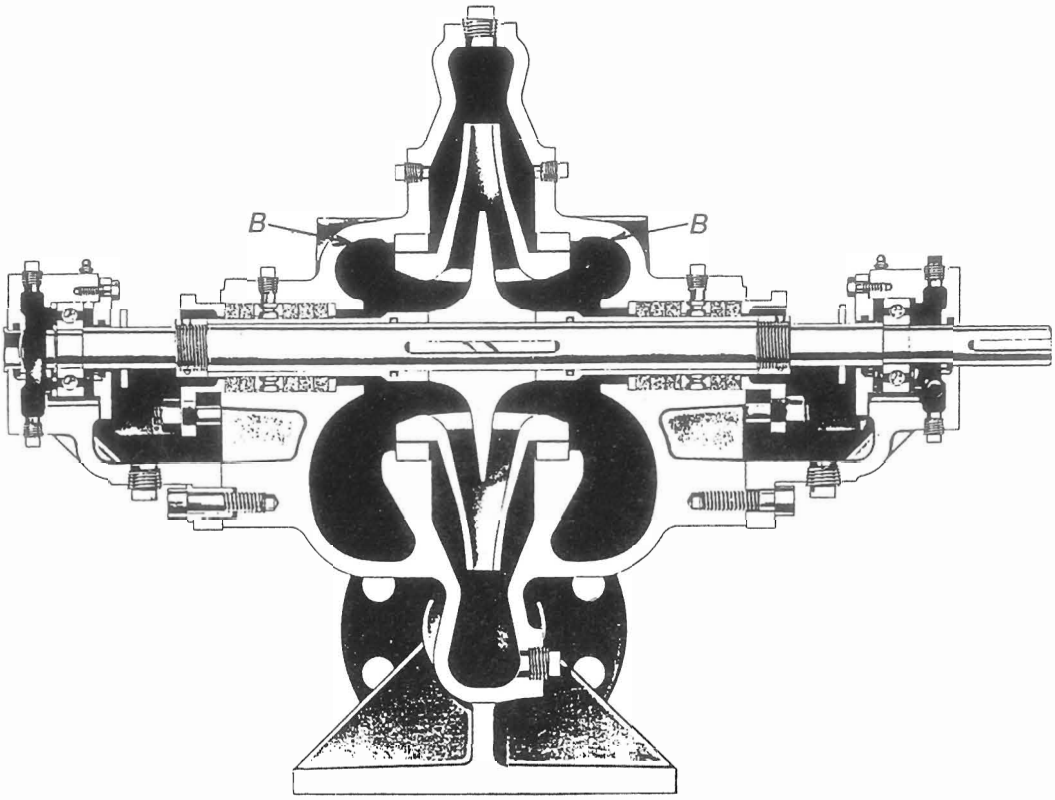
در طی راه اندازی پمپ مایعی که وارد می‌شود به تدریج محفظه را پر می‌کند وبه هوا اجازه می‌دهد که از گلویی تخلیه N خارج شود ولی وقتی سطح سیال به لبه T محفظه رسید، مسیر تخلیه هوا مسدود

شده و حبس هوا بوجود می‌آید. حبس هوا در محفظه پمپ در مقایسه با حبس هوا در خط مکش، همیشه مضر نمی‌باشد نتیجه حاصل از حبس هوا بستگی به اندازه آن دارد. حبس هوا در محفظه، تحت تأثیر دو نوع نیرو قرار می‌گیرد. مایعی که از درون محفظه عبور می‌کند منجر به انتقال هوا به گلویی تخلیه شده و پمپ کاملاً از هوا تخلیه می‌شود. از سوی دیگر نیروهای گریز از مرکز که دراثر چرخش پروانه بوجود می‌آیند منجر به پرتاب مایع به سمت خارج وجایگزینی هوا در چشم پروانه می‌شوند. بسته به اندازه حبس هوا و ابعاد پمپ یکی یا برخی از آثار حاکم می‌شوند و در نهایت مضر بودن یا نبودن حبس هوا را، تعیین می‌کنند .برای جلوگیری از چنین پدیده‌ای، اگر شیر هوای V در بالاترین نقطه محفظه نصب شده باشد می‌بایست تاوقتی که هواگیری کامل نشده، باز بماند شکل (۱۱)



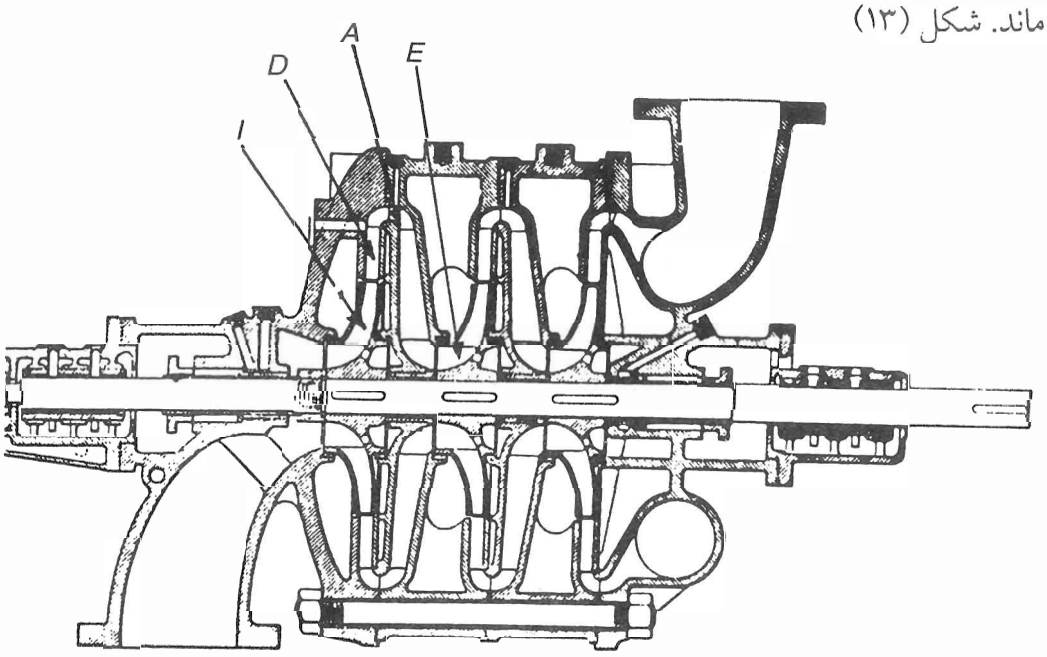
(شکل ۱۱) شیرهواگیری محفظه حلزونی

در برخی حالتها بامتصل نمودن ناحیه تشکیل حبس هوا از طریق گلویی تخلیه، که توسط سوراخ H بوجود می‌آید، می‌توان از تشکیل حبس هوا جلوگیری کرد. ولی این عمل زمانی موثر است که گلویی تخلیه، عمودی وبه سمت بالاباشد، شکل (۱۰). وقتی که گلویی تخلیه به صورت افقی باشد ایجاد سوراخ Hکاملاً بی فایده است. شکل (۱۱). در پمپی با مکش کناری شکل (۱۲) حبس هوا



شکل (۱۲) حباب هوا دربالای نازل مکش

ممکن است در نازل مکش وبالای چشم پروانه پدید آید. (در شکل ۱۲ به B نگاه کنید) در پمپهای چند طبقه حبس هوا در بالاترین نقطه محفظه A، غالباً توسط دیفیوزر ثابت D از پروانه دوار I جدا می‌ماند. شکل (۱۳)



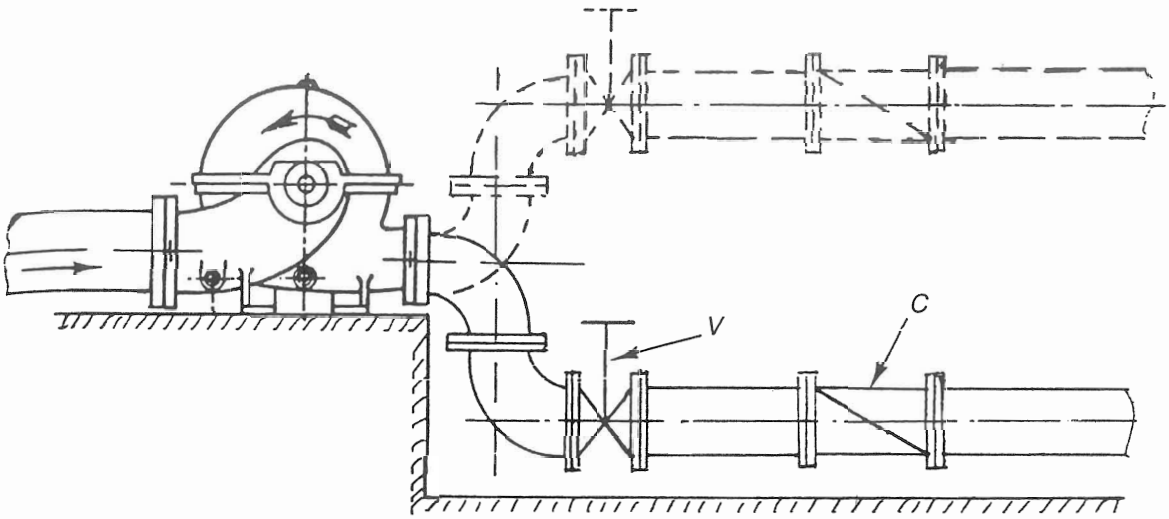
شکل (۱۳) حبابهای هوا در یک پمپ چند طبقه.

بنابراین مایعی که توسط چنین دیفیوزری منتقل می‌شود تحت تاثیر نیروهای گریز از مرکزی که بوسیله پروانه دوار بوجود می‌آیند قرار نمی‌گیرد. در نتیجه مایع هوا را از حباب به چشم پروانه بر نمی‌گرداند ولی آنرا به چشم پروانه بعدی منتقل می‌کند، که نتیجه آن ایجاد صدمه است.

پس از هر طبقه فشار مایع به میزان زیادی افزوده شده ومقدار حلالیت هوا را در مایع بیشتر می‌کند. در فشار بیشتر، مایع جاری به تدریج همهٔ هوای حبس شده را جذب می‌کند در بسیاری موارد فشار بعداز طبقه دوم توانایی انجام این کار رادارد. بنابراین واقعاً ضروری است که دریک پمپ چند طبقه، طبقات دیگری را نیز علاوه برطبقه اول ودوم هواگیری نمود. موارد فوق متداولترین حبسهای هوا در محفظه پمپ می‌باشند. گاهی ممکن است بعلت پدید آمدن برآمدگی ناشی از ریخته گری حبس هوا در ناحیه‌ای که مورد انتظار نیست رخ دهد. همچنین حبس هوا می‌تواند در پشت یک جسم که گیرکرده، بوجودآید.

حبس هوا در خط تخلیه

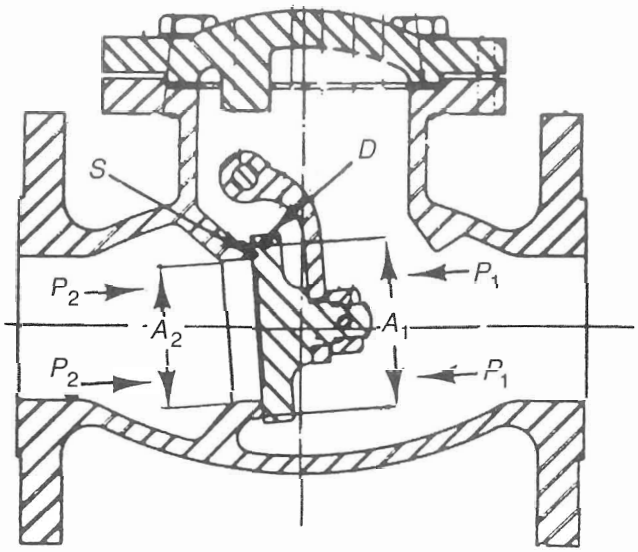
در دو حالت ممکن است حبس هوا در خط تخلیه، در راندمان پمپ گریز از مرکز تاثیر کند. حالت اول وقتی است که خط رانش پایین‌تر از خط مرکزی پمپ باشد. شکل (۱۴)



شکل (۱۴) حباب هوا در خط تخلیه

و در طی هواگیری پمپ، شیر تخلیه V بسته باشد. در چنین حالتی ممکن است هوا بصورت محبوس بین شیر تخلیه V و شیر یکطرفه C باقی بماند. وقتی که شیر V قبل از استارت پمپ باز باشد هوای محبوس بین V و C وارد محفظه پمپ می‌شود. این پدیده به نوبه خود بر کارایی پمپ تاثیر می‌گذارد.

همچنین حبس هوا زمانی بوجود می‌آید که خط تخلیه بالاتر از پمپ باشد. شکل (۱۴) در چنین حالتی هوای محبوس درخط تخلیه ممکن است مشکل متفاوت دیگری راباعث گردد. وقتی که پمپ استارت شود، ممکن است صدای ضربه ناگهانی شنیده شود .مانند اینکه کل سیستم پمپاژ در اثر ضربهٔ چکشی سنگین صداکند. اگر فشار پشت دیسک شیر یکطرفه قابل ملاحظه باشد صدای ضربه نیز شدید خواهد بود.



شکل (۱۵) برش یک شیر یکطرفه متداول

در شکل (۱۵) D دیسک شیریکطرفه است، S نشیمنگاه دیسک بوده، A_1 سطح بیرونی نشیمنگاه، P_1 فشار پایین دست دیسک D بوده و A_2 مساحت سطح بازی است که توسط دیسک D آببندی می‌شود. وقتی شیر یکطرفه در حالت بسته می‌باشد، دیسک D تحت نیروئی قرار می‌گیرد که تماماً صرف بستن آن شده وتقریباً برابر $F_1=A_1 \times P_1$ است، برای بازکردن این دیسک لازم است نیروی $F_2=A_2 \times P_2$ از طرف جریان بالا دست، بوجود آید وبزرگتر از نیروی F_1 باشد. ولی سطح A_1 بزرگتر از سطح A_2 است. در نتیجه فشار P_2 باید بزرگتر از فشار P_1 باشد تانیرویی معادل F_2 حاصل شود که بزرگتر از F_1 باشد. وقتی پمپ استارت شد، مایع مورد پمپاژ شروع به فشرده نمودن هوای بالادست دیسک D خواهد نمود این پدیده ادامه می‌یابد تااینکه فشار P_2 بحد کافی بزرگ می‌شود تا برنیروی F_1 غلبه کند. بزودی D شروع به باز شدن می‌کند، P_2 بر روی سطح A_1 اعمال شده وباعث می‌شود دیسک شیر تحت اثر انبساط هوا به سرعت بازشود. در همان لحظه انرژی فشاری اضافی ذخیره شده در هوای فشرده به انرژی جنبشی تبدیل شده، موجب می‌شود دیسک D باسرعت زیاد به محل نشیمن خود ضربه بزند.

برای رفع این پدیده در بالا دست جریان D باید هواگیر اتوماتیک با محرک شناور [1] نصب نمود. این شیر تا وقتی که هوادر لوله است باز می‌ماند واجازه می‌دهد تاهوای محبوس براحتی آزاد شود. به محض اینکه مجرا از مایع پرشد شناور مجرا را بسته واز هرگونه نشت مایع مورد پمپاژ، جلوگیری می‌کند.

نفوذ هوا

هوا ممکن است از چندین منبع به درون پمپ نفوذ کند. اگر سطح آب منبعی که از آن مایع برداشت می‌شود، پایین بیاید، پس از اینکه پمپ شروع به کار کرد هوا از طریق ورودی لوله مکش می‌تواند وارد سوراخهای صافی شده، ودر نهایت وارد پمپ شود. همچنین هوا می‌تواند از طریق اتصالات شل یا از سوراخی در خط مکش یا محفظه پمپ نفوذ نماید. برای شناسایی دومین نوع نفوذ یکی از روشهای زیر ممکن است بکار رود:

۱ - اگر خط مکش دارای سوپاپ باشد وقتی پمپ در حال کار نمی‌باشد خط مکش و پمپ را از آب پر کنید وکمی فشار اعمال کنید. برای مثال لولهٔ برداشت [2] رابه خط مکش نصب نموده و خط مکش را از آب پر نمایید ویا از خط رانش به عنوان لوله برداشت استفاده کنید. محل نفوذ هوا به لوله مکش بوسیله نشت آب آشکار خواهد شد.

۲ - اگر پمپ در محیط مستعد آتش‌سوزی، نباشد ومایع مورد پمپاژ قابل اشتعال نباشد، یک شعله باز (برای مثال شمع روشن) را می‌توان به نزدیکی تمام نقاطی که احتمال نفوذ هوا می‌رود نزدیک نمود. سوسو زدن شعله نشان‌دهنده محل نفوذ می‌باشد.

۳ - در حالی که پمپ کار می‌کند آب خالص (ویا سایر مایعات) رابرروی نقاطی که مشکوک بوده و بر روی خط مکش هستند بریزند ومقادیر فشار سنج وخلا سنج را ملاحظه نمایید. وقتی که آب بر روی نقاط مشکوک ریخته شد، با مشاهده تغییرات در مقادیر فشار وخلاء محل نفوذ هوا مشخص می‌شود.

1- Float- actuated air vent

2- Standpipe

نفوذ هوا احتمال دارد که درسه محل اتفاق بیافتد:

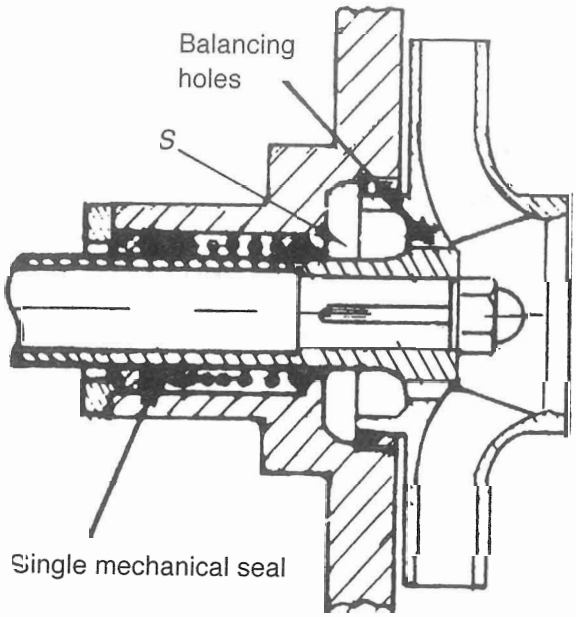
۱ - فلنجها، بوشها، نازلها، دریچه‌های بازدید، در پوشهای تخلیه وغیره، درخط مکش (برای مثال در هر یک از اتصالات)

۲ - سمت مکش محفظه پمپ (از سوراخها)

۳ - از طریق محفظه‌آببندی، هنگامی که درسمت مکش پمپ یا درسمت فشار پروانه قرار دارد ولی توسط سوراخهای تعادل با چشم پروانه مرتبط می‌باشد شکل (۱۶)

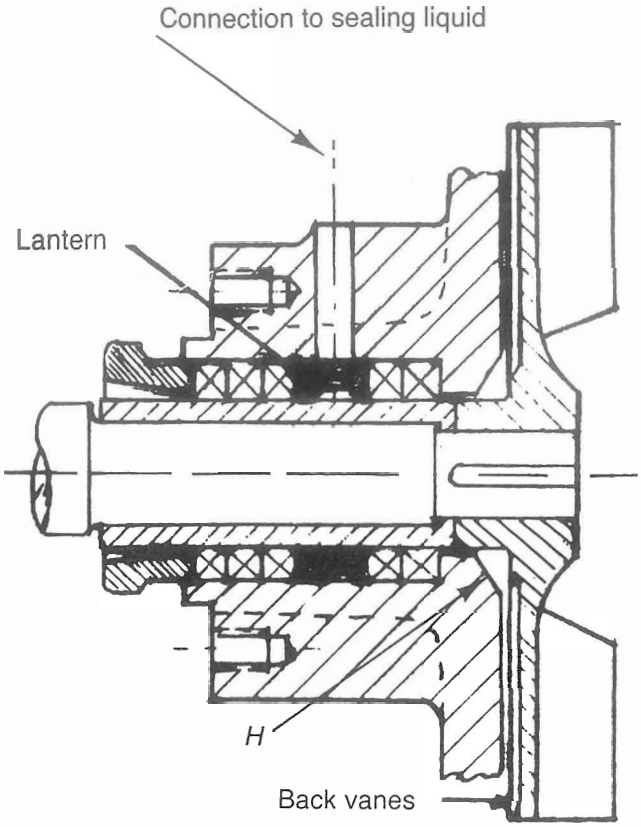
برای جلوگیری از این مشکل در محفظه آببندی معمولاً از نوار آببندی استفاده می‌شود.

ولی چنین ترتیبی از آببندی، آسیب‌پذیر می‌باشد. برای نمونه مسیری که آب را جهت خنک کاری آببندی منتقل می‌کند می‌تواند مسدود شود و یا رینگ خنک کاری ممکن است در محلی که آب خنک کاری وارد محفظه آببندی می‌شود، نباشد، برای مطمئن شدن از اینکه محفظه آببندی کاملاً آببندی شده قطعه عینکی را نباید زیاد سفت نمود. نشت آب [بصورت چکه] از آببندی نشان میدهد که اجزای آببندی بطرز صحیحی عمل می‌کنند. در پمپهای کوچک، آببند نصب نمی‌شود وقطعه عینکی می‌بایست بطور مناسبی محکم بشوند.

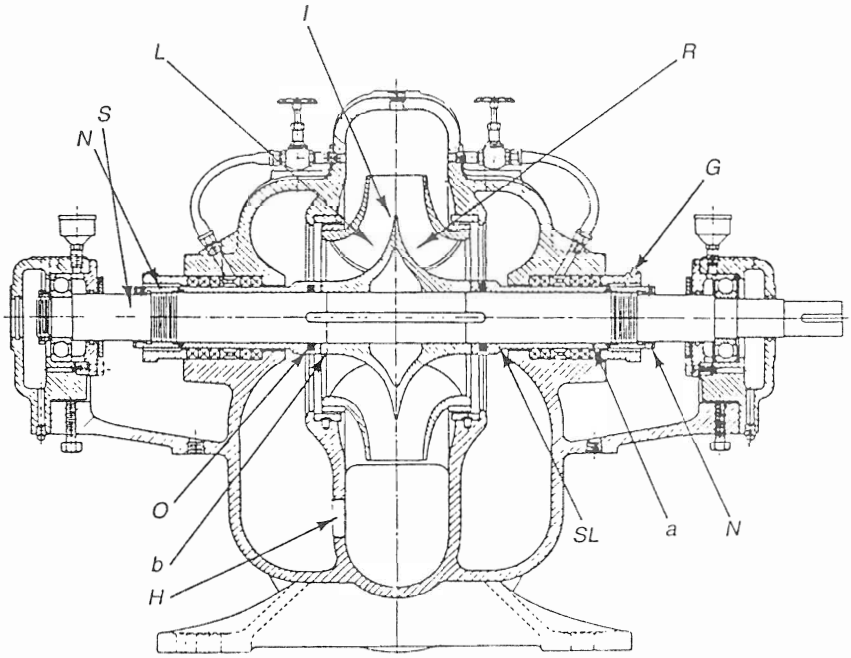


شکل (۱۶) تاثیر سوراخهای تعادل بر آببند مکانیکی منفرد

علت دیگری که موجب ورود هوا از طریق محفظه آبندی به پمپ می‌شود ممکن است مربوط به بوش روی محور در ناحیه آببندی باشد که نسبت به محور هم‌مرکز نبوده ویابشدت خورده شده اشت. علت دیگر می‌تواند مربوط به خود محور پمپ باشد ودر اثر خم شدن یا دوران خارج از مرکز بعلت نیروهای خارجی زیاد و یا ارتعاشهای بیش از اندازه درنتیجه سرعت بحرانی یا تنشهای زیاد در محفظه یاتاقان، بوجود می‌آید. نفوذ هوااز محفظه آببندی بیشتر درسمت مکش اتفاق می‌افتد. ولی وقتی پروانه باسوراخهای تعادل و رینگ سایشی شکل (۱۶) ویا با پره‌های پشتی شکل (۱۷) ساخته شود ممکن است خلائی در نزدیکی آببندی ودرسمت فشار وجود داشته باشد. این مورد نیز همان پیش بینی‌هایی را می‌طلبد که محفظه آببندی درسمت مکش لازم دارد.



شکل (۱۷) آببندی محفظه آببندی



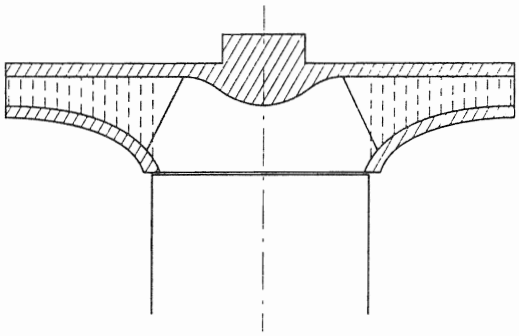
شکل (۱۸) نشت هوا از طریق بوشهای شفت

وقتی که محور پمپ جهت محافظت توسط بوش پوشانده شده باشد، مورد خاصی از نفوذ هوا بوجود می‌آید. شکل (۱۸)

در این شکل S محور پمپ بوده، I پروانه، SL بوش و N مهره می‌باشد که بوش رابه پروانه می‌فشارد وبالاخره G قطعه عینکی است. دراین مورد هوا ممکن است وارد میان S و N در a شود. واز میان بوش و محور عبور کرده و وارد چشم پروانه در b شود. برای جلوگیری از این پدیده در ساختمان چنین بوشهایی اورینگ O به کار می‌برند. درعمل اگر اپراتور پمپ مونتاژ اورینگ را فراموش کند. نفوذ هوا اتفاق می‌افتد. هوا توسط گردابهایی که در مکش پمپ بوجود می‌آید، می‌تواند به داخل پمپ نفوذ کند.

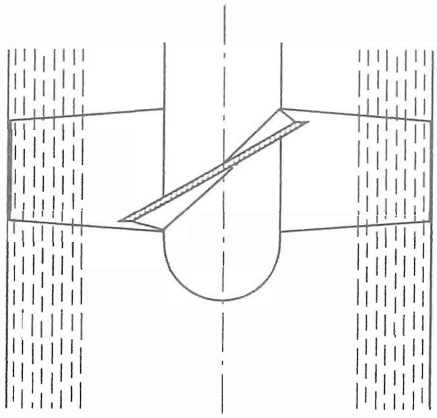
توانایی انتقال هوا توسط پروانه‌هایی با طرحهای مختلف

تجربیات آشکار نشان میدهد که پروانه‌هایی باجریان محوری نسبت به پروانه‌ای با سرعت ویژه کمتر، درصد بیشتری از هوا را در مایع تحمل می‌کنند. هر چند موارد بسیار کمی این نتیجه‌گیری را تایید می‌کند ولی به نظر می‌آید این ادعا دارای دلیلی منطقی باشد.در پروانه‌ای باسرعت ویژه کم مسدودشدن قسمتی از مجرای پره اغلب جریان رابطور کامل متوقف می‌کند. شکل (۱۹)



شکل (۱۹) حباب هوا در پروانه شعاعی

ولی انسداد مشابه در پروانه جریان محوری همواره مسیری باز را برای پمپاژ سیال باقی می‌گذارد، شکل (۲۰).



شکل (۲۰) حباب هوا در پروانه محوری

Reference:

Yedidiah , S.:Centrifugal Pump Users Guidebook ,CHAPMAN & HALL ,PP.193-204 ,1996

خان‌کشی

مهندس بهرام فرد عباس‌نیا
کارشناس تکنولوژی شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران

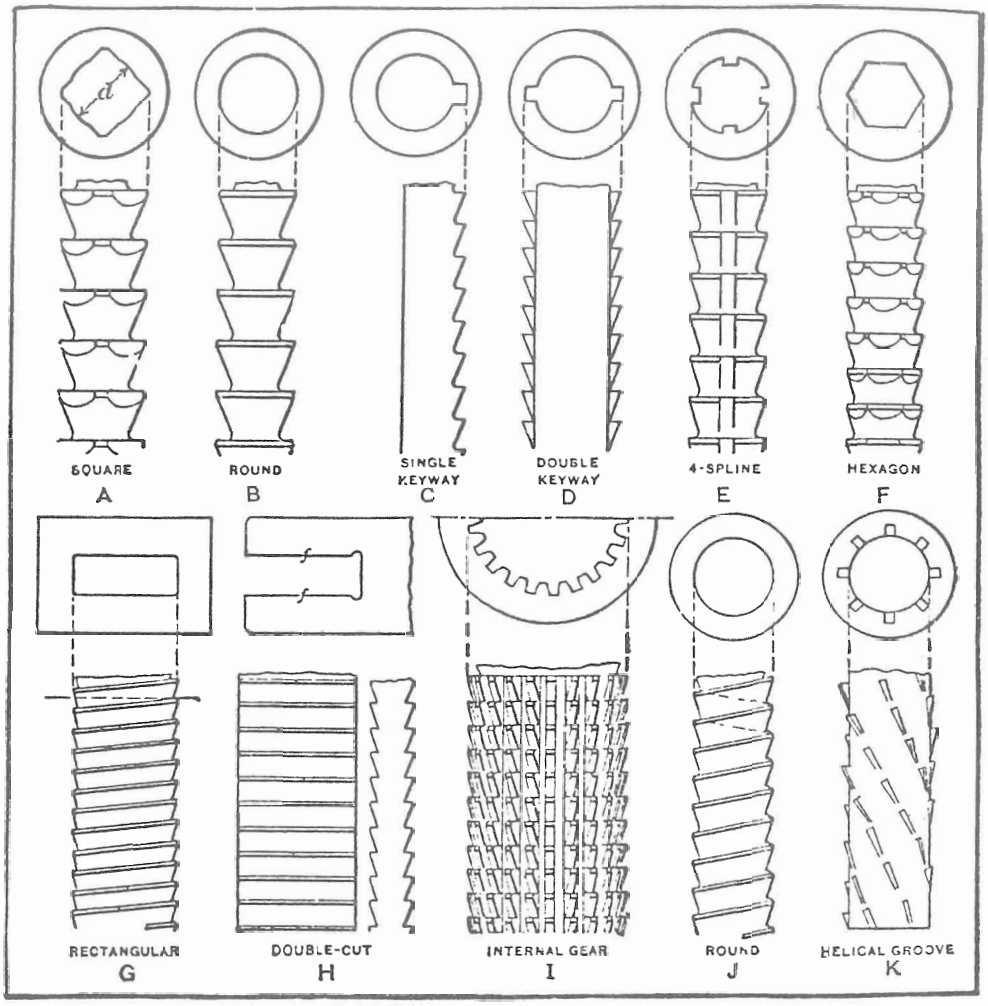
خان‌کشی فرآیندی است منحصر به فرد با کارآئی بسیار بالا و یک روش سریع و ساده ماشین کاری برای تولید انبوه قطعاتی است که دارای سوراخهای سرتاسری، شکافهای مستقیم، مارپیچ و شکلهای مختلف در سطوح داخلی هستند.

از جمله کاربردهای ماشینهای خان‌کشی در صنعت پمپ‌سازی، شیارزنی پروانهٔ پمپ، کوپلینگها و پیستون بالانس و ... می‌باشد بدیهی است که استفاده صحیح و علمی از این ماشین نه‌تنها موجب صرفه‌جوئی در زمان و هزینه‌ها می‌شود بلکه کیفیت و دقت ماشین کاری قطعات را تضمین می‌نماید.

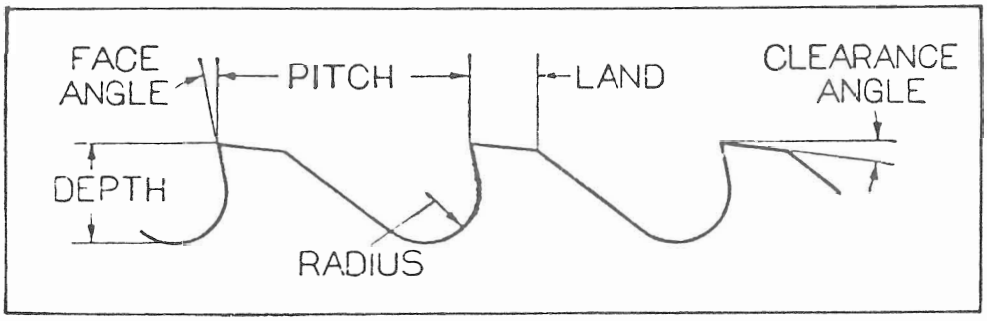
در خان‌کشی مجموعه‌ای از ابزارهای تک‌لبه‌ای برروی یک میله مخروطی صلب مرکزی، ایجاد شده و هر لبه برش بیش از لبه برش قبلی از محور میله مرکزی فاصله دارد. این افزایش فاصله، عمق تراش هر دَنده می‌باشد. عمق بار بوسیله دندانه‌های متوالی که پشت سرهم قرار گرفته‌اند تعیین می‌گردد و هر دندانه مقداری از بار را برداشته و نهایتاً اندازهٔ سوراخ کامل می‌شود. معمولاً سطح موردنظر با حرکت خطی ابزار برروی قطعه کار که در جهت محور ابزار است ایجاد می‌گردد. در بعضی مواقع نیز ترکیبی از حرکت خطی و دورانی خواهد بود. عملیات خان‌کشی کلاً به دو صورت افقی و عمودی صورت می‌گیرد در حالت افقی نیرو بر سر میلهٔ‌خان کشی وارد شده. و میله تحت کشش قرار می‌گیرد ولی در حالت عمودی نیرو به انتهای میله خان کشی وارد شده و میله تحت فشار قرار می‌گیرد. در خان‌کشی بایستی برای هر عمل براده‌برداری تیغهٔ خان‌کشی[1] ویژه‌ای طراحی و

1 - Broach

ساخته شود. و یا قطعه را بایستی طوری طراحی کرد که با تیغه‌های خان کشی استاندارد، قابل تولید باشد نمونه‌هایی از فرایند خان‌کشی در ماشین کاری قطعات در شکل زیر نشان داده شده است.

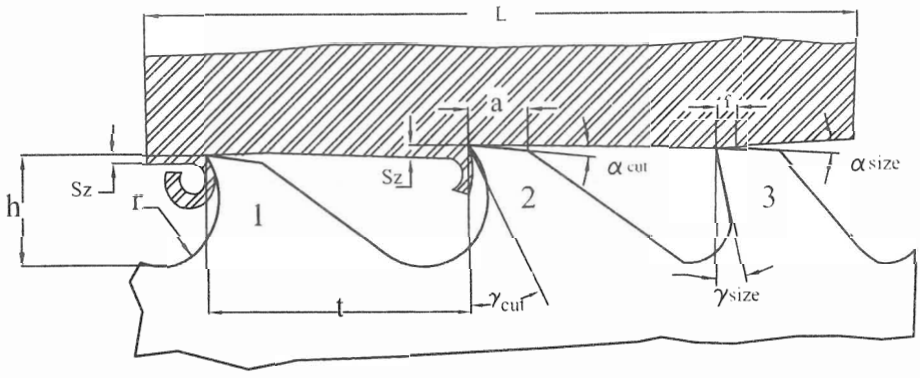


همچنین زوایا، عمق برش و شعاع‌هایی که در طراحی یک تیغهٔ خان‌کشی مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل زیر نشان داده شده است.



عمق برش هر دندانه: (S_z)

مقدار اندازه‌ایست که از سطح خان‌کشی تا ارتفاعات مختلف دندانهٔ موثر می‌باشد. (شکل ۳) این عمق برش در خان‌کشی حالتهای گرد،شش گوش، مربعی و همچنین داخل سوراخها اعمال می‌شود که با افزایش در قطر موثر دندانه ممکن است که نمایان گردد بنابراین جهت دوری از هر گونه اشتباه کاربردی در تمامی حالتها با توجه به تیپ تیغه خان‌کشی، عمق برش از یک مبداء، اندازه‌گیری می‌شود. در خان‌کشی با فولادهای ابزارسازی توصیه می‌شود مقدار عمق برش برای هزار خارها و جای خارها از 0.002 تا 0.003 اینچ در نظر گرفته شود و برای خان‌کشی سوراخهای گرد این مقدار از 0.0015 تا 0.007 اینچ در نظر گرفته شود و همچنین عمق برش در مورد دندانه‌های خشن تراش برای فولاد خوش تراش حدود 0.006 اینچ در نظر گرفته شده و برای دندانه‌های پرداخت حداکثر تا 0.001 اینچ می‌باشد. هنگام عملیات خان کشی در پروانه‌ها یا کوپلینگها، اگر عمق برش بیش از اندازه زیاد باشد موجب ایجاد تنش‌های ناهنجار در دندانه‌های ابزار و همچنین قطعه کار خواهد شد عمق برش خیلی کم نیز باعث عمل مالش به جای تراش خواهد شد. استحکام و شکل‌پذیری قطعه نیز از عوامل اصلی در تعیین مقدار بار برای هر لبه برش می‌باشد.



شکل (۳) دندانه های برشی 1 و 2 و پرداخت 3 تیغه خان‌کشی

زاویهٔ لقی: (α) (شکل ۳) زاویه لقی برای فولادهای خشن از $1.5\text{-}3^\circ$ تغییر می‌کند و برای فولادهای پرداخت این زاویه از $0.5\text{-}1^\circ$ تغییر پیدا خواهد کرد توصیه می‌شود برای چدنها زوایای لقی کوچکتری در نظر گرفته شود.

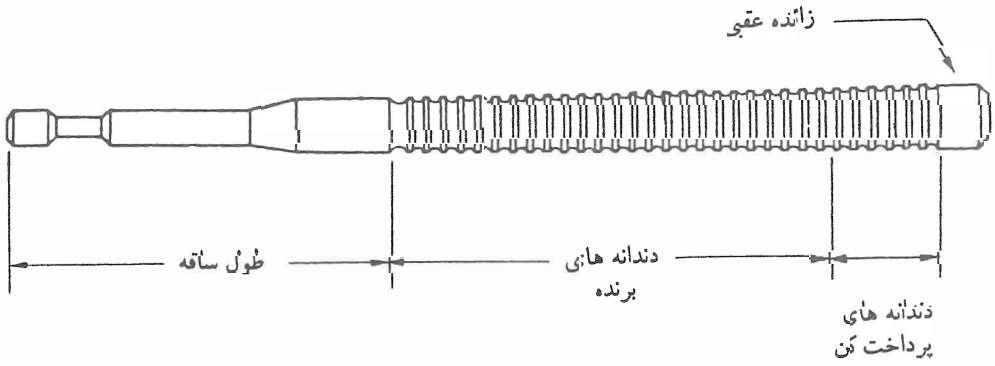
عرض لبهٔ برنده:(a) (شکل ۳) عرض لبه برنده معمولاً در حدود یک چهارم گام می‌باشد که این اندازه از یک چهارم تا یک سوم گام تغییر می‌کند.

عمق دندانه خان کشی: (h)(شکل ۳) عمق دندانه‌های برشی در تیغه‌های خان کشی از راه آزمایش و براساس تجربه محقق می‌شود و معمولاً از 0.4 الی 0.37 گام تغییر می‌کند این عمق از لبه برشی تا ته دندانه اندازه گرفته می‌شود.

زاویه براده شکن: (γ) (شکل ۳) زاویه براده شکن در تیغه‌های خان‌کشی جهت هدایت جریان براده می‌باشد و برای فلزات مختلف به طورقابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. ولی با همه اینها متغییرهایی در عمل وجود دارند.

در جداول پیوست مقادیر متداولی از زاویه‌ها داده شده است که برای مواد یکسان مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شعاع دندانه برشی: (r) گلوگاهی است که هدایت براده را برعهده دارد در این زمینه قاعده‌ای وجود دارد که شعاع برابر $\frac{t}{4}$ است. همچنین شعاع برابر 0.6 الی 0.4 عمق دندانه نیز در نظر گرفته می‌شود.



طول کلی تیغه خان کشی (L):

بعد از اینکه عمق برش هر دندانه معلوم شد مقدار کل موادی که بایستی توسط تیغه برداشته شود به مقدار بار مذکور تقسیم می‌شود و تعداد دندانه‌های موردنیاز را مشخص می‌کند و این تعداد دندانه‌ها به گامی که از طول قسمت موثر تیغه (دندانه‌های پرداخت‌کن Lsize و دندانه‌های برنده Lcut)به دست آمده ضرب می‌شود و همچنین سه یا چهار دندانه مستقیم در امتداد دندانه‌های موثر به این بعد افزوده می‌شود با اضافه نمودن این طول به طول زائده عقبی که در انتهای تیغهٔ خان‌کشی جهت خروج صحیح ابزار از داخل سوراخ طراحی شده (L_2) و نیز طول ساقه که در میان

قطعه کار و راهنمای نگهدارنده ماشین قرار می‌گیرد (L_1) و همچنین طول مسیر خان‌کشی (L_0) طول کلی تیغه خان‌کشی به دست خواهد آمد بنابراین:

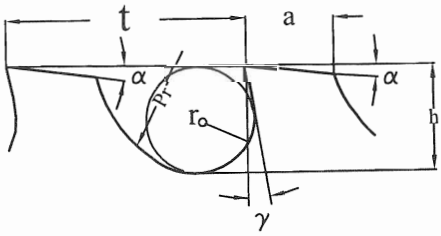
$$L = L_{cut} + L_{size} + L_1 + L_2 + L_0$$

معمولاً L_2 را مساوی L_0 در نظر می‌گیرند.

روغن‌های برشکاری در خان‌کشی: براساس یک قانون کلی برای خان کشی فولادها از روغنی با گرید خوب و با پایه سولفور استفاده می‌شود. قطعات چدنی می‌توانند به صورت خشک خان کشی شوند و همچنین مخلوطی از نفت سفید با روغن قابل حل نیز نتیجه خوبی را به دست خواهد داد و نیز مخلوط دیگری درچدن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که شامل یک قسمت روغن قابل حل و دو قسمت آب می‌باشد.

فولادهای مورد استفاده برای خان کشی: در حال حاضر فولادهای تندبر عموماً کاربرد زیادی در عملیات خان کشی دارند. تیغه لبه فولادی، مقاومت خیلی بالائی در مقابل سایش دارد و برای خان‌کشی فولادهای سخت با استحکام تنشی در حدود $130000\frac{lb}{in^2}$ مفید می‌باشد این تیغه شامل ۱۰٪ تنگستن، ۴۱٪ کرومیوم، ۱/۷٪ وانادیم و ۰/۸ درصد کربن می‌باشد دمای مورد توصیه برای سخت کردن ۲۳۰۰-۲۲۵۰ درجه فارنهایت و دمای برگشت دادن ۱۰۴۰-۱۰۰۰ درجه فارنهایت می‌باشد. برای فولادی که حاوی تنگستن کم و همچنین ۲/۵ درصد مولیبدن و ۱/۳-۱/۲ درصد کربن است دمای سخت کردن ۲۰۵۰-۱۹۷۵ درجهٔ فارنهایت و دمای برگشت دادن ۱۰۷۵-۱۰۶۰ درجه فارنهایت توصیه می‌گردد.

محاسبات لازم برای طراحی یک ابزار خان کشی



شکل (۴)

الف) تعیین گام t برای تیغه خان کشی:

گام دندانه‌های ابزار بستگی به طول L_0 قطعه کار خواهد داشت که بایستی توسط ابزار خان‌کشی شود.

برای تیغه‌های خان‌کشی صفحه‌ای $t=(1.25\text{-}1.5)\sqrt{L_0}$

برای تیغه‌های خان‌کشی مدّور $t=(1.45\text{-}1.9)\sqrt{L_0}$

تعیین گام، فاکتور مهمی است که بایستی در طراحی ابزار در نظر گرفته شود و معمولاً گام باید طوری انتخاب شود که سه دندانه به طور همزمان با قطعه کاردرگیر بوده و برای قطعاتی با طول کم حداقل دو دندانه بایستی درگیر باشند. برای دندانه‌های پرداخت کاری[1] مقدار گام مساوی 0.6 الی 0.7 گام دندانه‌های برش در نظر گرفته می‌شود بنابراین :

$t_{size}=(0.6\text{-}0.7)t_{cut}$

ب) برای تعیین اندازه‌های r,h,f,a از فرمولهای زیر استفاده می‌شود:

$f=(0.2-1)$ mm $\qquad t=(2.5-5)h$

$r=(0.5-0.6)h \qquad a=(0.3-0.4)t \qquad h=(0.2-0.4)t$

ج) شکل و اندازه دندانه و فضای براده و مقدار بار هر لبه برش، بستگی به فرم براده تولید شده و جنس قطعه کار و نوع ابزار خان کشی خواهد داشت که مقادیر داده شده در جدول ۱ و ۲ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

در جدول (۱)اندازه مقدار بار برای تیغه‌های معمولی براساس نوع تیغه و جنس قطعه کار و برحسب mm (میلیمتر) داده شده است.

جدول (۱)

Type of broach	Cut per tooth ,mm,in broaching			
	Steel	Cast iron	Aluminium	Bronze and brass
Round	0.015–0.03	0.03–0.1	0.02–0.05	0.05–0.12
Straight Spline	0.025–0.03	0.04–0.1	0.02–0.1	0.05–0.12
Serration Spline	0.03–0.15	0.04–0.03	–	–
Square and hexagon	0.015–0.08	0.08–0.15	0.02–0.1	0.05–0.20
Key way	0.05–0.20	0.06–0.20	0.05–0.08	0.08–0.20

در جدول ۲ اندازه مقادیر t,h,f,r برحسب سطح مقطع فضای براده A داده شده است.

1 - Sizing

جدول (۲)

Cross-sectional area A of chip space mm^2	Broach pitch t mm	Depth of chep Space h.mm	Land width f, mm	Radius r,mm
3.0	6	2.0	2.5	1.0
5.8	7	2.3	3.0	1.25
7.0	8	2.7	3.5	1.5
12.5	10	3.6	4.0	2.0
19.3	12	4.5	4.5	2.5
27.9	14	5.4	5.0	3.0
38.0	16	6.3	5.5	3.5
49.6	18	7.2	6.0	4.0
62.7	20	8.1	6.5	4.5

در فرمول زیر ارتباط بین سطح مقطع A از فضای براده و سطح A_1 از یک مقطع طولی که سرتاسر آن در یک پاس براده برداری شده، نشان داده شده است $\frac{A}{A_1}=k_0$

مقدار k_0 مابین دو عدد 3 تا 9 متغیر بوده و برای خان کشی مواد شکننده با براده منقطع مقادیر کمتری خواهد داشت و A_1 مقطعی طولی است که سرتاسر آن به وسیله یک دندانه از تیغه براده برداری شده است و برابر $A_1=L\times S_z$ می‌باشد که در آن L طول سطح تیغه و S_z ضخامت براده است.

سطح مقطع براده از فضای براده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$A=k_0\times L\times S_z$$

پس از تعیین مقدار A از جدول (۲) می‌توان مقادیر دیگر را نیز بدست آورد.

زوایای ابزار برش:

زوایای ابزارهای خان کشی برحسب نوع و فرم ابزار و جنس قطعه کار مطابق جداول (۳) و (۴) تعیین می‌گردد.

متغیرهای برش در عمل خان کشی:

این متغیرها عبارتند از سرعت برشی، مقدار بار هر دنده S_z و عرض از براده که براساس ساختمان تیغه و بار هر دنده (S_z) با توجه به جدول (۱) تعیین می‌گردد که برابر است با اختلاف ارتفاع مابین دو دندانه برش متوالی و عرض b که همان عرض جای خار است.

جدول ۳ – مقادیر زاویهٔ α برحسب نوع تیغه خان‌کشی و نوع دندانه برش

جدول (۳)

Type of broach	Backoff angle deg.		Back off angle tolerance mlu		
	Kind of teeth				
	Raoughing	Semifini-shing	Sizing	Raoughing	Semifinishing and sizing
Round and spline broaches	3	2	1	3	+15
Keyway broaches	3	2	2	3	+30
External surface broaches:					
Adjustable	3 to 4	3 to 4	3 to 4	3 to 4	+30
Nonadjustable	3 to 4	2	1 to 2	3 to 4	+15

جدول ۴ – مقادیر زاویه α برحسب جنس قطعه و نوع دندانه برش

جدول (۴)

Work material	Hardness BH	Face angle deg.	
		Roughing and semifinishing teeth	Finishing or sizing .teeth
Steel	< 197	16 to 18	
	198 to 229	15	5
	> 229	10	
Grey cast iron	–	10	-5
Malleeble iron	–	10	5
Aluminium and its alloy copper and bobbitt	–	20	20
Bronze,brass	–	5	–10

سطح مقطع براده برای تیغه‌های یک لبه برابر است با $F=S_z \times b$ و برای تیغه‌های چند لبه برابر $F=S_z \times b \times ni$ و همچنین برای یک تیغه خان‌کشی دوار $F=S_z \times \pi D$ خواهد بود که در این روابط S_z عمق بار برحسب میلی‌متر و b عرض لبهٔ برش برحسب میلی‌متر، ni تعداد لبه برش و D قطر ابزار

تیغه خان‌کشی برحسب میلی‌متر می‌باشد.

مجموع سطح مقطع براده‌ها از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$F_t=F\times Z$$

که در آن Z تعداد دندانه‌های درگیر در عملیات ماشین کاری می‌باشد.

زمان ماشین‌کاری:

زمان ماشین کاری برای یک مرحله از عملیات خان‌کشی با فرمول زیر محاسبه می‌شود

$$T_m=\frac{L+1.5L_0}{1000Vq}$$

L_0 طول قطعه‌کاری که بایستی خان کشی شود و برحسب میلی‌متر می‌باشد.

L طول کلی تیغه خان‌کشی برحسب میلی‌متر

V سرعت برشی برحسب $\frac{m}{min}$

q تعداد قطعه کارهائی که همزمان خان کشی می‌شود.

محاسبه نیرو وتوان برشی در عملیات خان کشی

نیرو و توان برشی در عملیات خان کشی نسبت به نوع عملیات خان‌کشی به مقدار بار هرلبه، تعداد لبه‌های برش درگیر، عرض محل برش‌کاری، قطر ابزار برشی و همچنین به جنس قطعه کار بستگی دارد.

حالت اول:

محاسبه نیروهای برشی برحسب kgf برای حالتی که از تیغه خان‌کشی نوع هزار خار و جای خار استفاده می‌شود.

برحسب kgf

$$F_H=C_p(S_z)^y.b.z.ni$$

در این رابطه C_p و y مقادیری هستند که بستگی به جنس و سختی موادی دارند که مورد خان کشی قرار می گیرند ازجدول (۵) می‌توان مقادیر C_p و Y را به دست آورد .

S_z مقدار بار هر لبهٔ برش برحسب میلی متر و ni تعداد شیارهای تیغه خان کشی و z تعداد لبهٔ هایی است که بطور همزمان در عملیات خان کشی درگیر هستند .

حالت دوم : محاسبهٔ نیروهای برش در عملیات خان کشی باابزار استوانه ای .

دراین حالت نیروهای برش F_H را برحسب kgf می توان از رابطه پیشنهادی زیر محاسبه نمود .

$F_H=C_p(S_z)^y.D.z$ (D قطر ابزار بر حسب میلی‌متر)

به طول کلی توان برشی برحسب HP متوسط برابر خواهد بود با:

$$P_m=\frac{F_H\times V}{60\times 75}$$

و توان مصرفی برابر خواهد بود با $P_e=\frac{P_m}{\eta}$ که η راندمان سیستم می‌باشد.

جدول (۵)

Brinell hardness No.	Key		Spline		Cylindrical	
	Cp	y	Cp	y	Cp	y
Steel up to 200	177	0.85	212	0.85	700	0.85
above 230	202	.085	230	0.85	762	0.85
			284		842	
G.I.up to 200	115	0.73	152	0.73	300	0.73
above 200	137	0.73	215	0.73	354	0.73

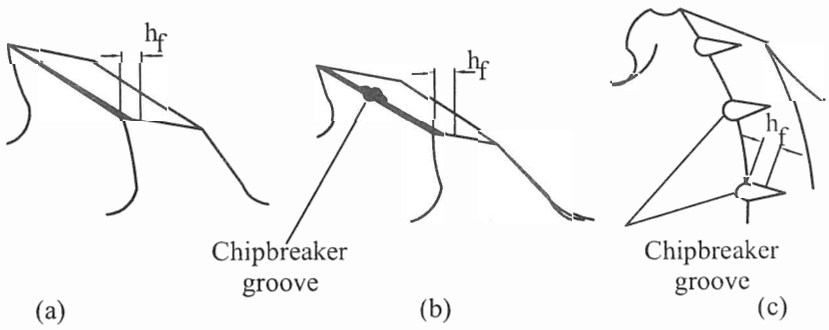
محاسبه طول عمر ابزارهای خان‌کشی

در حالت عمومی دندانه‌های تیغه خان‌کشی در روی سطح خارجی به علت برجسته بودن در معرض سایش قرار می‌گیرند مطابق شکل زیر در بیشتر حالتها محدودهٔ سایش همان منطقه hf می‌باشد و ماکزیمم سایش مجاز روی سطح خارجی و در اطراف شیار براده شکن می‌باشد. محدوده سایش مجاز تا 0.2 میلی‌متر برای تیغه‌های خان‌کشی دوار و تا 0.5 میلی‌متر برای تیغه‌های خان‌کشی جای خار و هزار خارها می‌باشد.

a – برای تیغه‌های خان‌کشی جای خار بدون براده شکن

b – برای تیغه‌های خان‌کشی جای خار با براده شکن

C – برای تیغه‌های خان‌کشی استوانه‌ای با براده شکن



برای محاسبه عمر ابزار تیغه خان‌کشی می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد.

$$T=\sqrt[m]{\frac{C_v}{V.S_2^y}}$$

در این رابطه T عمر ابزار برش برحسب دقیقه، Cv,m,y ضرایبی است که به شرایط ماشینکاری بستگی دارد (جدول ۶) S_z مقدار بار هر لبه برنده برحسب میلی‌متر و V سرعت برش برحسب متر بر دقیقه می‌باشند.

جدول (٦)

Work material	Keying			Spline broaching			Cylindrical broaching		
	Cv	m	y	Cv	m	y	Cv	m	y
Steel (Sz < 0.007mm)	8.5	0.87	1.4	13	0.60	0.75	15	0.62	0.62
Steel (Sz > 0.007mm)	7.0	0.87	1.4						
C.I.for any feed	6.0	0.6	0.95	16	0.5	0.6	13	0.5	0.6

مثال: مطلوبست طراحی یک تیغه خان‌کشی برای ایجاد جای خار در یک کوپلینگ فولادی به ابعاد 10×6×50 با سختی 200 BH و سرعت برشی V=5 m/min برای تولید هزار قطعه با سایش مجاز 0.001 میلی‌متر (کلیه اندازه‌ها برحسب mm می‌باشند) L_0=50mm

۱) تعیین گام مرحله برش و پرداخت:

$t_{cut}=(1.25\text{-}1.5)\sqrt{L_0}$

$t_{cut}=1.4\times\sqrt{50}=10mm$

$t_{size}=(0.6\text{-}0.7)t_{cut} \Rightarrow t_{size}=0.65\times10=6.5mm$

۲) محاسبه مقادیر a,h,r

$a=(0.3\text{-}0.4)t \Rightarrow a=0.3\times10=3.5$

$h=(0.2\text{-}0.4)t \Rightarrow h=0.4\times10=4$ منطقه برش

$r=(0.5\text{ -}0.6)h \Rightarrow r=0.6\times4=2.4$

$a=0.35\times 6.5=2.275$

$h=0.4 \times 6.5 = 2.6$ منطقه پرداخت

$r=0.6\times 2.6 = 1.56$

۳) تعیین مقدار بار مسیرهای برش و پرداخت و تعداد لبه‌ها در هر مرحله:

از جدول شماره (۱) داریم: $Sz_{cut}=0.1$, $Sz_{size}=0.05$

کل عمق بار ۹ میلی‌متر است پس ۹۰٪ بار برای خشن و ۱۰٪ بار برای پرداخت خواهد بود

$\frac{0.6}{0.05}=12$ تعداد لبه‌های پرداخت $\frac{5.4}{0.1}=5.4$ تعداد لبه‌های برش

۴) تعیین زاویه‌های α,η,γ از جدول شماره (۳) و (۴):

$\alpha_{cut}=(3^\circ)\ {}^{+33'}_{+0}$ $\gamma_{cut}=15^\circ$

$\eta=45\text{-}50^\circ$

$\alpha_{size}=(Z^\circ)\ {}^{+30'}_{+0}$ $\gamma_{size}=5^\circ$

۵) تعیین طول منطقه برشی و پرداخت:

$L_{cut}=54\times10=540$ mm

$L_{size}=12\times6.5=78$ mm

۶) تعیین طول کلی ابزار

با توجه به وضعیت سرکشنده بافرض $L_1=100$ (طول ساقه)

طول کلی تیغه خان‌کشی $L=100+50+540+78+50=818$

۷) تعیین نیروی برشی و توان برشی

$F_H=C_p.(S_z)^y.b.z.ni$

از جدول ۵ مقادیر C_p و y بدست می‌آید. $C_p=177$, $y=0.85$

$ni=1$ برای جای خار ساده $F_H=177(0.1)^{0.85}\times10\times5\times1=1250$ kgf

$$\text{توان مصرفی}=P_e=\frac{F_H.V}{75\times60\times\eta}=\frac{1250\times5}{75\times60\times0.6}=2.31$$

۸) محاسبه فشار سیستم هیدرولیک:

$$P=\frac{FH}{A}=\frac{FH}{\pi D^2/4}=\frac{1250}{\pi.8^2/4}=24.86\ kg/cm^2$$

۹) محاسبه زاویه شیب

$$tg\theta=\frac{6}{540+78}\Rightarrow\theta=0.55^\circ$$

۱۰) محاسبه طول عمر ابزار

$$T=\sqrt[m]{\frac{C_v}{V.S_2^y}}$$

از جدول ۶ داریم: $m=0.87 \quad Cv=7 , y=1.4$

$$T=\sqrt[0.87]{\frac{7}{5\times0.1^{1.4}}}=59.5$$

۱۱ - زمان تولید یک قطعه

$$Tm=\frac{L+1.5L_\circ}{1000\times V} = \frac{818+1.5\times50}{1000\times5} = 0.178 \text{ min}$$

منابع:

1. MACHINRYS HANDBOOK REVISED EDITION 22

۲ - مواد و فرآیندهای تولید ترجمه: علی حائریان

۳ - دانشنامه ماشین کاری ۲ ترجمه: احمد حجتی

مواد و سازگاری در ساختمان پمپ‌های گریز از مرکز

مجتبی جباری مقدم
کارشناس متالورژی صنایع پمپ سازی ایران

به طور کلی در پمپ‌های گریز از مرکز برای انتقال آب، حلال‌ها و ترکیبات قلیائی از محفظه و پروانه‌های چدنی یا محفظهٔ چدنی باپروانه برنزی استفاده می‌شود. برای انتقال ترکیبات اسیدهای ضعیف، برنز یا فولاد ضد زنگ انتخاب مناسبی محسوب می‌گردد هنگام پمپاژ اسیدهای خورنده، فولادهای ضد زنگ وضد اسید، فولادهای آلیاژی، چدنهای پر سیلیس، یاحتی تیتانیوم خالص می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

از پمپ‌های آستر کاری شده یا پمپ‌های غیر فلزی نیز می‌توان بعنوان جانشین مواد فوق استفاده نمود.

استفاده از موادی بامقاومت وسازگاری زیاد در مقابل مایعات خورنده و ساینده در پمپها، مسئله‌ای عادی شده است واین چنین موادی بامقاومت گسترده در مقابل خوردگی، گرانبها بوده ومشکلات تولیدی دارند. در پاره‌ای از موارد احتمال جایگزینی مواد ارزانتر وجود دارد. مثلاً جائیکه دمای کارکرد کم باشد از پلاستیکها والاستومرها می‌توان استفاده نمود. باپیشرفت در ساخت مواد مصنوعی که خواص فیزیکی و شیمیایی بهتری داشته وقیمتهای ارزانتری نیز دارند سازندگان پمپ به استفاده از این مواد تشویق می‌شوند.

راهنمای انتخاب مواد در جدول (۱) برای PHهای مختلف آمده است اصطلاح فولاد

ضدزنگ شامل کلیه فولادهای نیکل وکرم دار می‌باشد مقاومت شیمیائی وبه پیروی از آن هزینه مواد زیاد می‌شوند. بااضافه کردن مقدار بسیار کمی، مولیبدن، تنگستن یا کبالت به فولادهای ضد زنگ خواص آنها بهبود می‌یابند. اصلاح خواص فولادهای ضد زنگ آستنیتی با انجام عملیات حرارتی یا با کارگرم نیز قابل حصول می‌باشد

جدول (۱) – مواد مناسب پمپ برای PHهای مختلف

Acidic		pH Neutral	Basic	
0–4	4–6	7	8–9	9–14
Stainless steels **Acid-resisting steels** Alloy steels Silicon cast iron Titanium Carbon Ebonite Ceramic (lined) Rubber (lined) Plastic (lined) Non-metals*	**Bronzes** Non-metals*	**Cast iron** **Cast iron (bronze fitted)** Cast steel Aluminium Non-metals*	**Cast iron** Non-metals*	**Cast iron** Nickel Nickel alloys Non-metals*

Metals in **bold** are 'traditional' or standard choices, but note the term 'standard construction' normally applies to cast iron construction for series with pH 6–9.
*Non-metals is descriptive of modern engineering plastics.

*غیرفلزات: پلاستکیهای مهندسی مدرن منظور نظر می‌باشند.

فلزاتی که باحروف درشت در جدول می‌باشند تجارتی بوده یاانتخاب استاندارد هستند اما ساختمان استاندارد پمپ به چدن اتلاق می‌گردد که برای PH 6-9 کاربرد دارد.

در جوشکاری فولادهای ضد زنگ آستنیتی مسئله رسوب کربن دربین دانه‌ها ودر نتیجه کاهش مقاومت خوردگی مطرح می‌شود که این مشکل باافزایش عناصری مانند کلسیم ویاتیتانیم قابل حل است.

عدد PH مقیاس خوب وقابل اعتمادی برای اندازه‌گیری میزان خوردگی نمی‌باشد زیرا فعالیت شیمیائی، خورندگی تهاجمی مایع، دمای پمپاژ وشرایطی که مایع درآن وضعیت انتقال خواهد یافت عوامل موثرروی خوردگی فلزات می‌باشند مسئولیت تهیه وانتخاب مواد مناسب براساس شرایط کاری پمپ به عهدهٔ سازندگان آن می‌باشد.

تیتانیم فلزی مناسب برای پمپهای شیمیائی است که تحت شرایط سخت کاری می‌باشند. ولی از قیمت فوق العاده بالائی برخوردار بوده وفقط عمر مفید طولانی پمپ می‌تواند توجیه کنندهٔ اقتصادی آن باشد.

امروزه استفاده از غیر فلزات بصورت گسترده‌ای در صنعت پمپ‌های شیمیائی گسترش یافته است اگر چه خواص مکانیکی این مواد از فلزات کمتر است ولی مشکل انبساط وانقباض در درجه حرارتهای مختلف را نداشته و PHهای صفر الی ۱۴ را براحتی تحمل می‌کنند.

انتخاب مواد

مشکل انتخاب مواد باتقسیم بندی زیر قابل حل می‌باشد.

۱ - برای موقعیت‌های عادی یا PHهای 6-9 ، بهتر است از مواد استاندارد که هزینه کمتری دارند استفاده شود.

۲ - برای مایعات اسیدی زیر PH6 یابازی بالای PH9 از مواد استاندارد نمی‌توانیم استفاده کنیم و نیاز به جزئیات بیشتری از موقعیت وآنالیز شرایط داریم.

سازگاری در ساختمان پمپ

تستهای آزمایشگاهی برای مقاومت به خوردگی وسازگاری مواد کافی نیست. زیرا عملکرد واقعی فلزات درتماس با مایعات خاص وخورنده تحت شرایط کاری ممکن است نتایج متفاوتی باشرایط استاتیک آزمایشگاهی داشته باشد.

شرایط متفاوت به قرار زیر می‌توانند باشند.

۱ - تأثیرات کاتالیزوری - حضور ناخالصی‌ها در مایعات می‌تواند باعث تسریع خوردگی شود.

۲ - فرسایش، خوردگی - فلزاتی که در برابر حملات شیمیائی مقاوم هستند، یک لایه خنثی روی آنها تشکیل می‌شود تااز خوردگی بعدی محافظت نماید واگر در معرض فرسایش قرار گیرند لایه مذکور از بین رفته ومجدداً در مقابل خوردگی قرار می‌گیرند.

این پدیده به صورت موضعی در بعضی از نقاط اتفاق می‌افتد همچنین در مایعاتی که دارای ذرات ساینده می‌باشند بسیار زیاد دیده می‌شود.

۳ - خوردگی الکترولیتی - این اتفاق در نقاط تماس فلزات غیر یکسان می‌تواند روی دهد.

خوردگی الکترولیتی باحضور هوا در مایعات تشدید می‌گردد.

۴ - خوردگی تنشی - این نوع از خوردگی زمانیکه فلزات از نظر ترکیب شیمیائی یکسان می‌باشند ولی از نظر میزان کارمکانیکی انجام شده روی آنها متفاوت بوده، همچنین دارای ترکهای بین دانه‌ای هستند، اتفاق می‌افتد در بعضی مواقع بروز ترک می‌تواند ناشی از کار مکانیکی انجام شده روی آنها باشد. توضیحات فوق ساده بنظر می‌آید اما اغلب برای نمایش سازگاری کامل می‌تواند بسیار پیچیده وبحث‌انگیز باشد وپیچیدگی موضوع باشرایط غیر مساوی کارکرد مثلاً دمای بالا، می‌تواند پیچیده‌تر نیز گردد.

همکاری نزدیک مابین سازندگان پمپ ومصرف کنندگان آن ضروری بنظر می‌رسد تا از آخرین تجربیات طرفین استفاده کامل صورت گیرد.

پمپهای گریز از مرکز:

چدن خاکستری بصورت استاندارد در اغلب قطعات ریخته گری پمپهای گریز از مرکز کاربرد دارد در بعضی از پمپهای مدرن از چدن SG (داکتیل) نیز استفاده می‌شود. فولاد ریخته در فشار یادمای بالاتر بکار برده می‌شود خصوصاً زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که قطعات ریخته گری کوچک بوده و یا پروانه‌ها در دور بالا کار می‌کنند.

قطعات ریخته معمولاً به روش ذوب ریزی در قالب تهیه می‌شونداگر چه در موارد خاص می‌توانیم قطعات را توسط ماشینکاری از بلوکهای توپر تهیه نمائیم.

برای ساخت پروانه‌ها از تکنیک ریخته گری و گاهاً جوشکاری ورقها استفاده می‌گردد در پروانه پلاستیکی از قالبهای فلزی برای تزریق وساخت آنها استفاده می‌شود کاربرد چدن برای مواد پروانه‌ها باافزایش سرعت گردش پروانه واندازه آن محدود می‌شود در پروانه‌های کوچک از جنس برنز نیز استفاده می‌شود ولی برای پروانه‌های بزرگ در پمپهای برنزی فقط از برنز استفاده می‌شود. برای محورها، از فولادهایی با استحکام کششی بالا استفاده می‌شود (فولاد ضد زنگ نیز در موارد خاص کاربرد دارد) برای سیستم آببندی نیز از نوع نخ گرافیتی یا آببند مکانیکی استفاده خواهد شد. چدن برای انتقال مواد معمولی مثل آب تا PH14 براحتی قابل استفاده می‌باشد هر چند که برای حمل مواد قلیائی قوی ترجیحاً استفاده از مونل پیشنهاد می‌شود.

گاهاً برای کاهش هزینه‌ها از پلاستیک نیز استفاده می‌کنند برای پمپاژ مایعات اسیدی رقیق، تااسیدی

متوسط برنزهایی باترکیبات مختلف یا آلومینیوم ترجیح داده می‌شود.

غیرفلزات (به غیر ازپلاستیکها) شامل کربن، ابونیت (لاستیک سخت) به عنوان آستر کاری مورد استفاده قرار می‌گیرند وکمتر به عنوان قطعه پمپ ساخته می‌شوند به جدول (۲) نگاه کنید. گروه دیگری از غیرفلزات، مواد سرامیکی می‌باشند که بدلیل شکنندگی و دشواری کار روی این مواد کمتر به عنوان قطعه مورد استفاده هستند واغلب به عنوان آسترهای سرامیکی داخل محفظه‌های چدنی پاشیده می‌شوند.

جدول (۲) راهنمایی کلی مقاومت به خوردگی فولادهای ضد زنگ

LIQUID	Stainless Steel Type			
	Austenitic AISI 302 (18/8)	Austenitic AISI 316 (18/8 med)	Ferritic AISI 430	Martensitic AISI 410
Acids: generally suitable except for the following:				
Acetic acid	L	L	L	L
Arsenic	L			
Boric	L	S	L	
Carbolic	L	L	X	X
Chromic	X	X	X	X
Formic	X	L		X
Oxalic	L	L	X	X
Sulphuric	L	L	X	X
Tartaric	L	L	L	L
Aqueous solutions: generally suitable except for the following:				
Alum	L	L		
Ammonium Chloride	L	L	L	L
Bleaching Powder	L	L	X	X
Calcium Chloride	L	L	X	X
Calcium Hypochlorite	X	L	X	X
Copper Chloride	X			S
Copper Sulphate	S	S	S	L
Hydrogen Peroxide	L	L	L	
Magnesium Chloride	L	L	X	X
Potassium Chloride	X	L	X	X
Sodium Chloride	L	L		
Sodium Hypochlotite	L to S	L to S	X	L
Sodium Thiosulphate	L	L	L	X
Stannic Chloride	X	X		X
Stannous Chloride	L		X	X
Zinc Chloride	X	L		X
Solvents: generally suitable except for:				
Carbon Tetrachloride	L	L	L	L
Trichlorethylene	L	L	L	L
Organic Chemicals: generally suitable except for:				
Formaldehyde	L	L	L	L
Misc. fluids: generally suitable except for:				
Glues	L	L	L	L
Inks	L	L	L	L
Bromine (& Bromine Water)	X	X	X	X
Chlorine (wet or dry)	X	X	X	X
Hydrogen Sulphide	L	L		
Lysol	L	L	X	X
Sulphur Dioxide	L	L		
Foodstuffs: generally suitable except for:				
Tomato Juice	L	L	L	L
Vinegar	L	L	L	L
Waters: generally suitable except for:				
Mine Water	L	L	L	L
Sea Water	L	L		X

(نامناسب – X) (مناسب بامحدودیت – L) (مناسب – S)

طیف گسترده‌ای از مواد برای حمل مایعات اسیدی باقدرت زیاد بکار گرفته می‌شوند که شامل مواد برای ساخت قطعات، آستر کاری و پوشش، می‌شوند

مواد بکار رفته به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱ - فلزات
۲ - غیرفلزات
۳ - سرامیکها
۴ - پلاستیکها

هر کدام از گروهای فوق دارای معایب و مزایای خاص خودشان هستند وفلزات مورد استفاده در صنعت پمپ سازی صنایع شیمیایی شامل فولادهای ضد زنگ، آلیاژهای غیرآهنی با پایه نیکل، کروم، مولیبدن با مقدار آهن کمتر از ۲۰٪ وچدن پرسیلیس با حداقل ۱۴/۲۵٪ سیلیس، چدن آستنیتی با حداقل ۲۲٪ نیکل، مس، کروم، آلومینیم و آلیاژهای سرب، آنتیموان وطیف گسترده‌ای از آلیاژهای مفید صنعتی است. مزیت ویژه یک ماده خواص فیزیکی ومقاومت شیمیائی آن می‌تواند باشد. بزرگترین عیب این مواد هزینه بسیار بالای آنها وتکنیکهای پیچیده تولید می‌باشند.
سرب، لاستیک وشیشه بعنوان آسترها وپوشش‌های اصلی استفاده می‌شوند.
لاستیک نیز هنوز بامحدودهٔ گسترده‌ای از الاستومرهای مصنوعی برای استفاده در دسترس قرار دارد. شیشه نیز برای مصارف بهداشتی (خصوصاً استیریلیزاسیون) کاربرد دارد. مواد پلاستیکی، مقاومت بالاتری از پوشش‌های لاستیکی و سایر فلزات در مقابل کلیهٔ مایعات دارند.

جدول ۳ -مقایسه تعدادی از غیرفلزات مدرن

پلاستیکها P	خواص
PE	این ماده با پمپ‌های آسترلاستیکی شده و همچنین پمپ‌هائیکه با فلزات سخت پوشش داده شده‌اند قابل مقایسه می‌باشد در مقابل اغلب اسیدها و بازها تا درجه حرارت ۹۰ درجه مقاوم می‌باشد (اسید نیتریک غلیظ مستثنی می‌باشد) مقاوم در مقابل اغلب حلالها (البته نه همهٔ آنها)
PP	مشابه مقاومت شیمیائی PE ، اما در مقابل خوردگی تهاجمی به قدر کافی خوب نمی‌باشد
PDF	مقاومت استثنائی در مقابل اغلب محیط‌ها، خصوصاً مایعات کلردار دمای کارکرد بسیار بالا حتی در ۱۳۰-۱۲۰ درجه
PTFE	مقاومت کامل برای محدودهٔ PH‌های صفر تا ۱۴ با حداکثر درجه حرارت یعنی تا ۱۵۰ درجه در صنایع پمپ کاربرد دارد. استحکام مکانیکی نسبتاً پائین و مقاومت به سایش و فرسایش نسبتاً ضعیف

شکل ۱۴ محدودهٔ کلی راندمانها را برای محرکهای با سرعت متغیر که امروزه وجود دارند توصیف می‌کند. بطوریکه مشاهده می‌شود، محدودهٔ راندمان چنان وسیع است که همواره بایستی دقت شود که منحنی راندمان برای محرک انتخاب شده بخوبی شناخته شده می‌باشد.

«کاربردهای آبرسانی»

سیستمهای آبرسانی که عمدتاً در آنها از پمپ سانتریفوژ استفاده می‌شود عبارتند از سیستمهای، آب سرد شده [۱] سیستمهای آب داغ [۲] سیستمهای آب کندانسور[۳] و سیستمهای تغذیهٔ آب به بویلر یا کندانسور[۴]. در زیر تعریف مختصری از منحنی‌های هد سیستم که در انتخاب پمپ تاثیر گذار می‌باشند آورده شده است؛ اطلاعات بیشتر در فصل ۱۵ جلد سیستمها ۱۹۸۰[۵] هندبوک ASHRAE آورده شده است.

پمپهای آبی سرد و آب داغ، دارای مشخصات طرح و کاربرد مشترک بسیاری می‌باشند. هر دو در سیستمهای گردشی بسته[۶] بکار برده می‌شوند. پمپهای آب داغ، بویژه در دستگاههایی که با آب داغ در درجه حرارت بالا کار می‌کنند، نیازمند طراحی‌های خاصی می‌باشند که اجزای ویژه پمپ نظیر آببندیهای دمای بالا و وسیال انبساط حرارتی از آن جمله می‌باشند. کاربرد آبرسانی برای پمپهای آب داغ و آب سرد شبیه هم می‌باشد.

شکل ۱۵ یک نمونه منحنی هد سیستم را برای یک سیستم آب داغ یا آبی سرد با حجم متغیر نشان می‌دهد. تنظیم مقدار جریان عبوری از کویلهای سرمایشی یا گرمایشی توسط شیرهای دو راهه انجام می‌پذیرد. همانطوریکه نشان داده شده است، هد مستقل، افت فشار کویلهای سرمایشی و گرمایشی و شیرهای کنترل آنهاست. هد اصطکاکی سیستم خیلی بیشتر از اتلافات شیر و کویلها می‌باشد و در نتیجه یک منحنی سیستم با شیب زیاد[۷] را بدست می‌دهد. در نتیجه چنین سیستمی برای اجتناب از ازدیاد فشار در سیستم بر روی پمپها از تاسیسات ترکیبی پمپاژ بصورت سری، موتورهای دو سرعته، یا محرکهایی با سرعت متغیر کمک می‌گیرد.

---

1 - chilled water

2 - hot water

3 - condenser water

4 - condensate or boiler feedwater

5 - 1980 SYSTEMS VOLUME

6 - closed recirculating

7 - stepp

شیرهای سه راهه روی کویلهای سرمایشی و گرمایشی نیز ازدیاد فشار را حذف می‌کند، امّا پمپها بایستی تمام وقت، آبدهی سیستم طراحی شده را تأمین کنند، حتی اگر مقدار بسیار کمی بار گرمایشی یا سرمایشی در سیستم وجود داشته باشد. انتخاب و نصب صحیح پمپها و کنترلها برای این سیستمها بایستی به گونه‌ای باشد که هد و جریان پمپ با یکدیگر مطابقت داشته باشند و تا جایی که از لحاظ اقتصادی عملی می‌باشد، هد و دبی مورد نیاز سیستم از کمترین تا بیشترین بار را تأمین کند.

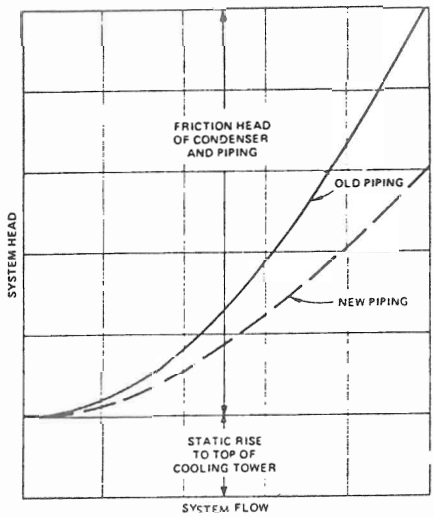


Fig. 16 System Head Curve for Condenser Water System

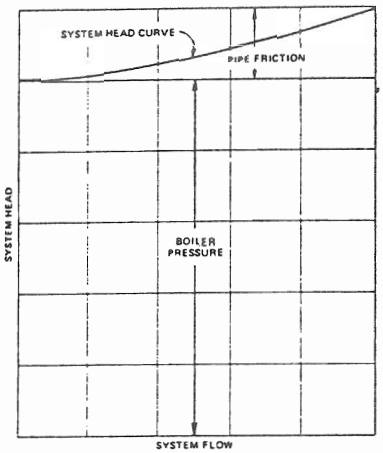


Fig. 17 System Head Curve for Condensate or Boiler Feed System

سیستمهای آب کندانسور هنگامی که شامل برجهای خنک کن می‌باشند، دارای سیستم گردشی باز هستند. هد مستقل، ارتفاع استاتیک تا بالای برج خنک کن، مطابق شکل ۱۶ می باشد. در چنین مواردی بایستی به شرایط مکش پمپهای آب کندانسور به منظور مطمئن بودن از اینکه NPSHA سیستم همیشه بیشتر از NPSHR پمپ باشد، توجه خاصی نمود. برای اجتناب از اثرات منفی مکش، اغتشاش جریان و اصطکاک پیشنهاد شده است که صافی محافظ

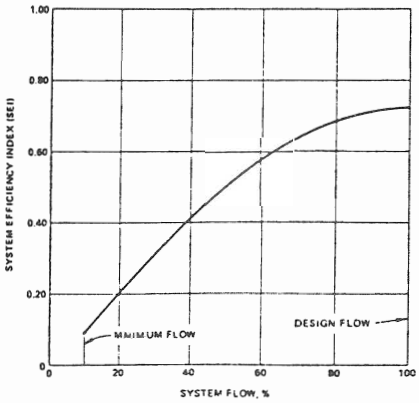


Fig. 18 Curve for System Efficiency Index (SEI)

Table 5—Pumping System Trouble Analysis Guide

Complaint	Possible Cause	Recommended Action
	Shaft misalignment	• Check and realign.
	Worn coupling	• Replace and realign.
	Worn pump/motor bearings	• Replace, check manufacturer's lubrication recommendations. • Check and realign shafts.
	Improper foundation or installation	• Check foundation bolting or proper grouting. • Check possible shifting because of piping expansion/contraction. • Realign shafts.
	Pipe vibration and/or strain caused by pipe expansion/contraction	• Inspect, alter or add hangers and expansion provision to eliminate strain on pump(s).
Pump or system noise	Water velocity	• Check actual pump performance against specified and reduce impeller diameter as required. • Check for excessive throttling by balance valves or control valves.
	Pump operating close to or beyond end point of performance curve	• Check actual pump performance against specified and reduce impeller diameter as required.
	Entrained air or low suction pressure	• Check expansion tank connection to system relative to pump suction. • If pumping from cooling tower sump or reservoir check line size • Check actual ability of pump against installation requirements • Check for vortex entraining air into suction line
	Pump running backward (3-phase)	• Reverse any two-motor leads.
	Broken pump coupling	• Replace and realign
	Improper motor speed	• Check motor nameplate wiring and voltage
	Pump (or impeller diameter) too small	• Check pump selection (impeller diameter) against specified system requirements
	Clogged strainer(s)	• Inspect and clean screen
	System not completely filled	• Check setting of PRV fill valve. • Vent terminal units and piping high points.
Inadequate or no circulation	Balance valves or isolating valves improperly set	• Check settings and adjust as required.
	Air-bound system	• Vent piping and terminal units. • Check location of expansion tank connection line relative to pump suction. • Review provision for air elimination
	Air entrainment	• Check pump suction inlet conditions to determine if air is being entrained from suction tanks or sumps.
	Low available NPSH	• Check NPSH required by pump. • Inspect strainers and check pipe sizing and water temperature.

کندانسور [1] در مکش پمپ قرار داده نشود و بجای آن در طرف تخلیه پمپ قرار گیرد. همچنین لوله‌های آب کندانسور ممکن است زنگ بزند و با ماده‌ای پوشیده شود که در اینصورت بایستی اصطکاک در لوله‌ها هم براساس لولهٔ نو و هم براساس لوله کهنه تخمین زده شود. شکل ۱۷ منحنی هد سیستم را برای هر دو سیستم لوله‌کشی قدیم و جدید نشان می‌دهد و گویای این مطلب می‌باشد که بایستی به تغییرات ممکن در منحنی هد سیستم با توجه به عمر آن توجه ویژه‌ای صورت گیرد. سیستمهای تغذیهٔ بویلر و کندانسور، بر خلاف سیستمهای آب کندانسور، آب گرم یا آب سرد، دارای منحنی‌های هد سیستم با شیب کم می‌باشند (شکل ۱۷). فشار بویلر هد مستقل بوده و در بیشتر موارد، خیلی زیادتر از هد اصطکاکی سیستم می‌باشد. این سیستمها از پمپاژ موازی کمک می‌گیرند و به ندرت نیازمند پمپهایی با سرعت متغیر یا دو سرعته می‌باشند. از

1 - condenser protection strainer

آنجایی که این دستگاهها آب گرم را از تانکهای باز پمپاژ می‌کنند، باید از اینکه NPSHA سیستم بزرگتر از NPSHR پمپ باشد، اطمینان حاصل نمود.

«ذخیرهٔ انرژی در پمپاژ»[۱]

مباحث قبلی در مورد پمپها و سیستمهای آبرسانی نه تنها برای پمپاژ مناسب در کاربردهای عملی بود، بلکه نحوهٔ انتخاب و کاربرد پمپهای مناسب ، محرکها، و کنترلها نیز در آن قسمتها بیان گردید. کارکرد مداوم بسیاری از پمپها در گرمایش و تهویه مطبوع حتی برای پمپهای کوچک نیز باعث مصرف محسوس انرژی خواهد بود. بنابراین هنگامی که پمپها برای یک عملکرد بخصوصی انتخاب شدند، راندمان پمپها نیز باید مطالعه شود. طراح سیستم که اقدام به انتخاب پمپهایی برای سیستم خود می‌کند بایستی دارای دانش کافی دربارهٔ سطوح راندمان در انواع و اندازه‌هایی از پمپ باشد که برای کاربرد خاص انتخاب نموده است.

استفادهٔ اقتصادی از انرژی بستگی به راندمان وسیله پمپاژ و محرکهایی دارد که در سیستمهای پمپاژ برای انتقال انرژی به آب از طریق پمپ عمل می‌کنند (نظیر موتورهای الکتریکی)، برای مشخص کردن این دو فاز مصرف انرژی، دو راندمان مختلف در صنعت پمپ بکار می‌رود. یکی راندمان کلی وسیله پمپاژ است که اغلب راندمان تجهیزات[۲] یا راندمان کابل به آب [۳] نامیده می‌شود. برای پمپهایی با سرعت ثابت که موتور الکتریکی بعنوان محرک آنها بکار می‌رود راندمان تجهیزات حاصلضرب راندمان پمپ E_P در راندمان موتور E_m می‌باشد. معادله برای راندمان تجهیزات بر حسب درصد عبارتست از: $E_e=E_p\times E_m\times 10^{-2}$

اگر پمپها دارای سرعت متغیر باشند، راندمان محرک با سرعت متغیر E_v بایستی در معادلهٔ راندمان تجهیزات بکار برده شود:

$$E_e=E_P\times E_m\times E_V\times 10^{-4}$$

راندمان تجهیزات به صورت قابل فهمی مشخص می‌کند که چه مقدار از انرژی بکار گرفته شده به صورت مفید به آب منتقل می‌شود. یک نکتهٔ بسیار ظریف و در عین حال مشکل در تعریف راندمان آنست که چه مقدار انرژی توسط پمپ به آب منتقل می‌شود. برای دانستن چگونگی کاربرد راندمان استفاده [۴] E_U برای یک سیستم آبرسانی، لازم است که تعریفی از پمپ و سیستم کنترل کامل، ارائه

1 - energy conservation in pumping

2 - equipment efficiency

3 - wire- to - water efficiency

4 - efficiency of utilization

گردد. یک چنین سیستمی به این صورت تعریف می‌شود که قادر باشد مقدار آب دقیق مورد نیاز یک سیستم آبرسانی را با فشار مناسب به تمام قسمتهای آن سیستم و در هر زمان برساند منحنی هد سیستم، رابطهٔ بین فشار و جریان را برای یک سیستم آبرسانی به ازای تمام مقادیر جریان که در سیستم وجود خواهد داشت، توصیف می‌کند.

اگر شیرهای کنترل برای تمام کویلهای سرمایشی و گرمایشی موجود در سیستم بکار رود به گونه‌ای که جریان آب در سیستم با جریان آب طراحی شده برای سیستم یکسان باشد و نیز اگر پمپ بتواند فشار لازم برای سیستم آبرسانی را به ازای هر دبی مورد نیاز تأمین کند، بنابراین منحنی هد سیستم نشانگر یک سیستم آبرسانی کامل بوده و راندمان استفاده ۱۰۰٪ خواهد بود. متاسفانه، منحنی‌های هد محاسبهٔ شدهٔ یک سیستم، که از: ۱ - جداول اصطکاک برای لوله کشی‌ها و اتصالات و ۲ - اطلاعات کارخانه‌جات سازنده برای اتلافات ناشی از اصطکاک برای شیرهای کنترل و سایر تجهیزات استفاده می‌کنند، اغلب حاوی ضرایبی می‌باشند که به طور تصادفی و حدسی [1] انتخاب شده‌اند. بنابراین، هد اصطکاکی محاسبه شده بیشتر از هد اصطکاکی واقعی سیستم خواهد بود. بنابراین، منحنی هد واقعی سیستم تنها با آزمایش سیستم بعد از نصب آن می‌تواند تعیین شود. برای مقاصد عملی، طراح یک سیستم آبرسانی می‌تواند محاسبات اتلافات اصطکاکی‌اش را که برای یک سیتسم کامل انجام داده است قابل قبول فرض کرده و از معادلهٔ زیر جهت محاسبهٔ راندمان استفاده بر حسب درصد استفاده نماید:

$$E_u = Q_s \times H_s / (Q_a \times H_a) \times 100$$

که در آن Q_s و H_s، جریان و هد لازم برای سیستم به ازای یک بار سرمایشی یا گرمایشی خاص بوده و Q_a و H_a جریان و هد واقعی پمپ به ازای آن بار سرمایشی یا گرمایشی می‌باشد.

این معادله بیان می‌کند که شیرهای سه راهه یا بای پس که انرژی را با افزایش مقدار جریان در سیستم به هدر می‌دهند، سبب کاهش راندمان استفاده خواهند شد. پمپها اگر مجبور به تأمین هد سیستم بیشتر از آنچه که برای ان طراحی شده‌اند، باشند؛ سبب کاهش راندمان استفاده خواهند شد. بنابراین یک طراح می‌بایستی از شرایط جریان یا فشار بیش از حد اجتناب کند تا اینکه راندمان استفاده افزایش یابد. ضریب راندمان یک سیستم آبرسانی [2] SEI، بصورت نسبت انرژی مفید یا بار سیستم به توان ورودی تعریف می شود که اغلب از آن بعنوان راندمان سیستم به سیستم [3] نامبرده می ود،

1 - contingency factors

2 - system efficiency index

3 - wire - to - system

که نشانگر نسبت انرژی مفید به توان ورودی یک موتور الکتریکی می‌باشد. با توجه به مطالب گذشته می‌دانیم که معادلهٔ زیر برای سیستمهای پمپاژ بکار می‌رود:

که SEI بصورت دسی مال [1] بیان می‌شود و $SEI=E_q \times E_u \times 10^{-4}$ این معادله می‌تواند بعنوان راهنمایی برای رسیدن به ذخیرهٔ انرژی در سیستمهای پمپاژ و کنترل باشد. برای ارزیابی صحیح یک سیستم آبرسان، SEI بایستی از کمترین تا بیشترین مقدار جریان که در یک سیستم وجود خواهد داشت محاسبه شود و نبایستی تنها به محاسبهٔ آن برای شرایط طراح اکتفا نمود. شکل ۱۸ یکنمونه منحنی SEI را برای یک سیستم آبرسانی برای از کمترین تا بیشترین مقدار جریان نشان می‌دهد. منحنی SEI ممکن است به صافی آنچه که در شکل ۱۸ نشان داده شده است باشد یا بصورت ناهموار و دندانه دندانه که نشانگر تغییرات در کار پمپ می‌باشد.

برای سیستمهای پمپاژ در گرمایش و تهویه مطبوع، SEI می‌تواند از کمترین مقدار حدود ۰/۱۰ تا بیشترین مقدار موجود ۰/۷۵ تا ۰/۷۸ تغییر کند. این نشان می‌دهد که برای سیستمهای پمپاژ حتماً بایستی ارزیابی انرژی صورت گیرد تا بیشترین مقدار SEI برای تمام بار آنها ممکنهٔ وارد بر سیستم آبرسانی، و نه فقط برای بار طراحی شده سیستم، در بیشترین مقدار باشد.

نصب و کارکرد

نصب یک پمپ گریز از مرکز باید با در نظر گرفتن شرایط محیطی، هیدرولیکی، الکتریکی، شیمایی، متالورژی، و سر و صدا انجام پذیرد دستورات لازم برای نصب، کارکرد، و نگهداری و تعمیرات پمپهای سانتریفوژ در صفحات ۱۱۶ الی ۱۲۹، ویرایش سیزدهم، کتاب انستیتوی استاندرهای هیدرولیکی[2] با تمام جزئیات آورده شده است که می‌تواند کمک مهمی برای طراح سیستمهای آبرسانی باشد. جدول ۵ نیز اطلاعات لازم برای عملکرد پمپ در سیتمهای آبرسانی و مشکلات عمدهٔ موجود و راه حل آنها را به اختصار بیان می‌کند.

مرجع:

ADHRAE - HANDBOOK

1983 EQUIPMENT VOLUME, second printing 1983

American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineering Inc.

1 - decimal

2 - Hydraulic Institute standards

«فهرست مقالات در شماره‌های قبلی نشریه پمپ»

نشریه شماره ۱: نیروی محوری و تعادل آن در پمپهای سانتریفوژ یک طبقه - آشنایی با تکنولوژی NC - ضربهٔ قوچی آب در خطوط انتقال مایعات و ایستگاههای پمپاژ - روش انتخاب پمپهای سانتریفوژ برای مصارف آبرسانی (۱) - الکتروموتورهای شناور و کاربرد آنها

نشریه شمارهٔ ۲: نیروی شعاعی در پمپهای سانتریفوژ - محاسبه ایستگاه پمپ - روشهای جلوگیری از خوردگی در پمپها - روش انتخاب پمپهای سانتریفوژ برای مصارف آبرسانی (۲) - افتهای موضعی در خطوط انتقال آب - تاثیر شرایط کار بر مشخصات پمپهای سانتریفوژ

نشریه شمارهٔ ۳: روشهای نوین ماشینکاری - کنترل خودکار ایستگاههای پمپاژ (۱) - روش انتخاب تجهیزات الکتریکی پمپهای شناور - کابل و کابل کشی (۱) - محدودیتهای کاربردی انواع پمپهای آب در رابطه کاویتاسیون، خوردگی، ساییدگی و موقعیت نصب - تاریخ تکامل پمپ (۱)

نشریه شمارهٔ ۴: کاویتاسیون - قنات - پمپهای صنایع اتمی - علل از کار افتادگی مته‌ها

نشریه شمارهٔ ۵: کاربرد عددی طراحی پروانه یک پمپ گریز از مرکز - پمپهای دنده‌ای (۱) - محاسبه ظرفیت تولید و موجودی انبار - مواد ابزارهای برشی - محاسبه ارتفاع مکشی در تلمبه‌های سانتریفوژ

نشریه شمارهٔ ۶: کاربرد مدلهای هیدرولیک در طراحی و آزمایش پمپها - پمپ‌های دنده‌ای (۲) - تلمبه‌های باد (۱) - مینیمم کردن ارتعاش مکانیکی در کوپلینگ - ارتعاشات لوله ها

نشریه شمارهٔ ۷: نصب و نگهداری پمپها - پمپهای دوار - استفاده از محرک تسمه‌ای در پمپها - تلمبه‌های باد (۲) - براده برداری با سرعت برش زیاد در آلیاژ آلومینیم - راهنمای عیب یابی و تعمیر پمپهای گریز از مرکز

نشریه شمارهٔ ۸: آبدهی پمپ - مفاهیم تلرانس و انطباقات در صنعت - ضوابط تعیین ابعاد صحیح چاهک مکشی الکتروپمپها ملخی شناور نحوه انتخاب تلمبه‌های سانتریفوژ - راهنمای الکتروپمپهای سیرکولاتور

نشریه شمارهٔ ۹: بحثی پیرامون پمپهای ملخی و مقایسه عملکرد و منحنی مشخصه آنها با پمپهای گریز از مرکز - سرو صدا در توربوپمپها و ایستگاههای پمپاژ - کاربرد محرکهای سرعت متغییر در پمپهای سانتریفوژ - پمپاژ با جریان دوفاز (۱) - انتخاب جنس قطعات پمپ برای پمپاژ سیالات مختلف

نشریه شمارهٔ ۱۰: سایش فلزات و روشهای جلوگیری آن (۱) - پمپاژ جریان دو فاز (۱) - پمپ مکش‌زا و کاربرد آن در آبرسانی - پمپ توربین - تکنیکهای اندازه‌گیری در پمپهای سانتریفوژ

نشریه شمارهٔ ۱۱: مختصری پیرامون آببندی‌های مکانیکی - انواع برنزها و مواد یاتاقانی برنزی - پمپهای صنایع نفت متالوژی پودر - جدول عیب و روش رفع آن

نشریه شمارهٔ ۱۲: اصول فیزیکی پمپهای سانتریفوژ - چدنها - متالورژی پودر - نقش کامپیوتر در ...

نشریه شمارهٔ ۱۳: کوپلینگ - آببندی پروانه - پلاستیکهای صنعتی و کاربرد آنها در صنعت پمپ‌سازی - کاربرد مواد کربنی گرافیتی بعنوان یاتاقان

نشریه شمارهٔ ۱۴: و NPSH و طراحی ورودی پمپ‌ها - خوردگی و نیروگاهها و ایستگاههای پمپاژ - انتقال فرآوری مواد غذایی - کاربرد مواد کربنی گرافیتی بعنوان یاتاقان - گزارش پیرامون امکان تولید چدنهای مقاوم به سایش

نشریه شمارهٔ ۱۵: سیستمهای پمپاژ با لوله‌های فرعی - انتخاب پمپ - محافظه‌های آببندی پمپها - مطالعه عملکرد سیستمهای پیچیده پمپاژ در آبرسانی - بررسی امکان ساخت پمپهای مناسب کار در آب دریا

نشریه شمارهٔ ۱۶: سیستمهای اندازه‌گیری و انتقال اطلاعات مربوط به سطح مایعات - روش بهینه نمودن تعمیرات اتفاقی ماشین‌آلات - فرآیند راه‌اندازی الکتروپمپ‌ها - کاربرد موادگرافیتی به عنوان یاتاقان و آببند - بررسی و تجزیه و تحلیل کارایی یک موتور القایی تکفاز با گشتاور راه‌اندازی زیاد.

نشریه شمارهٔ ۱۷: عملکرد پمپ‌های دور متغییر - گشتاور راه‌اندازی در پمپهای سانتریفوژ - مهندسی برینگها - کاربرد پمپ در صنایع شیمیایی

نشریه شمارهٔ ۱۸: صرفه جوئی در هزینه‌های احداث ایستگاه پمپاژ - آنالیز رفتار پمپهای سانتریفوژ در عمل - مواد خنک کننده در عملیات براده برداری - نقش پاشش پلاسمایی در صنعت پمپ سازی - مواد مورد مصرف در آببندی مکانیکی

نشریه شمارهٔ ۱۹: پمپاژ سیالات ویژه - کیفیت سطوح - موارد مصرف در آببندی مکانیکی - شیرهای کنترل راه دهنده

ویژه نامه: آزمایشات «تأیید پمپ» در پمپهای گریز از مرکز - نوارهای آببندی - پمپهای موتور بسته - بهینه سازی و کاربردهای آن در طراحی موتورهای القائی - کاویتاسیون و عوامل موثر آن - عناوین مقالات چاپ شده در نشریات پمپ - منحنی‌های مشخصه کلی پمپهای تولیدی شرکت پمپ سازی ایران

نشریه شمارهٔ ۲۰: اندازه‌گیری و دبی‌آب در کانالهای روباز با استفاده از سرریز - بارهای هیدرولیک در پمپهای گریز از مرکز (۱) - کارکرد پمپها در شرایط سخت - پمپهای عمودی (۱) - ارتباط کاویتاسیون و سرعت ویژه پمپ

نشریه شمارهٔ ۲۱: بارهای هیدرولیک در پمپهای گریز از مرکز (۲) - خستگی در محورها - آببندی محور - پمپهای عمودی (۲) - اورینگ‌های الاستومری در آببندهای مکانیکی

نشریه شمارهٔ ۲۲: مواد کربنی - گرافیتی تهیه شده از منابع رزینی (۱) - اورینگهای الاستومری در آببندهای مکانیکی (۲) - کوپلاژ (۱) - یاتاقانهای سرامیک (sic) - مسائل مکانیکی در طراحی پمپ (۱)

نشریه شمارهٔ ۲۳: پمپهای گریز از مرکز را بشناسیم (۱) - مسائل مکانیکی در طراحی پمپ (۲) - کوپلاژ (۲) - اثر ویسکوزیته و گازهای محلول روی انتخاب نوع پمپ - استاندارد مربوط به چدنهای خاکستری - راه اندازی و بررسی مشکلات پمپ های جابجائی معین در هنگام کار

نشریه شمارهٔ ۲۴: پمپهای گریز از مرکز را بشناسیم (۲) - یاتاقانهای هیدرودینامیک - نصب پمپ - یاتاقانهای غلتشی

نشریه شمارهٔ ۲۵: مشخصات مکش پمپ‌های گریز از مرکز (۱) - منحنی‌های مشخصه پمپ و شبکه (۱) - ملاحظات اقتصادی در فرآیند تراش فلزات - بررسی عملکرد موتورهای القایی سه فاز تغذیه شده از شبکه تکفاز - عیب یابی سیستمهای پمپاژ و پمپ (۱)

نشریه شمارهٔ ۲۶: مشخصات مکش پمپ‌های گریز از مرکز (۲) - منحنیهای مشخصه پمپ و شبکه (۲) - عیب‌یابی سیستم پمپاژ پمپ (۲) - بررسی نیروهای برشی در تراش فلزات - بررسی عملکرد موتورهای القائی سه فاز تغذیه شده از شبکه تکفاز

نشریه شمارهٔ ۲۷: راهنمای کاربرد پمپهای گریز از مرکز فشار پائین (۱) - بوستر پمپها (۱) - تستهای غیر مخرب NDT - پمپهای غیر فلزی - رونکاری و اصول آن در یاتاقانهای هیدرودینامیکی (کفگرد و ژورنال) اندازه‌گیری تجربی کاویتاسیون در پمپها

نشریه شمارهٔ ۲۸: راهنمای کاربرد پمپهای گریز از مرکز فشار پائین (۲) - بوستر پمپها (۲) - روانکاری و اصول آن در یاتاقانهای هیدرودینامیکی کفگرد و ژورنال (۲) - تجزیه و تحلیل اشکالات آببندهای مکانیکی

نشریه شمارهٔ ۲۹: روانکاری و اصول آن در یاتاقانهای هیدرودینامیکی و کفگرد و ژورنال(۳) - مسائلی با یاتاقانها - میزانکاری ماشینهای دوار - پمپهای گریز از مرکز -