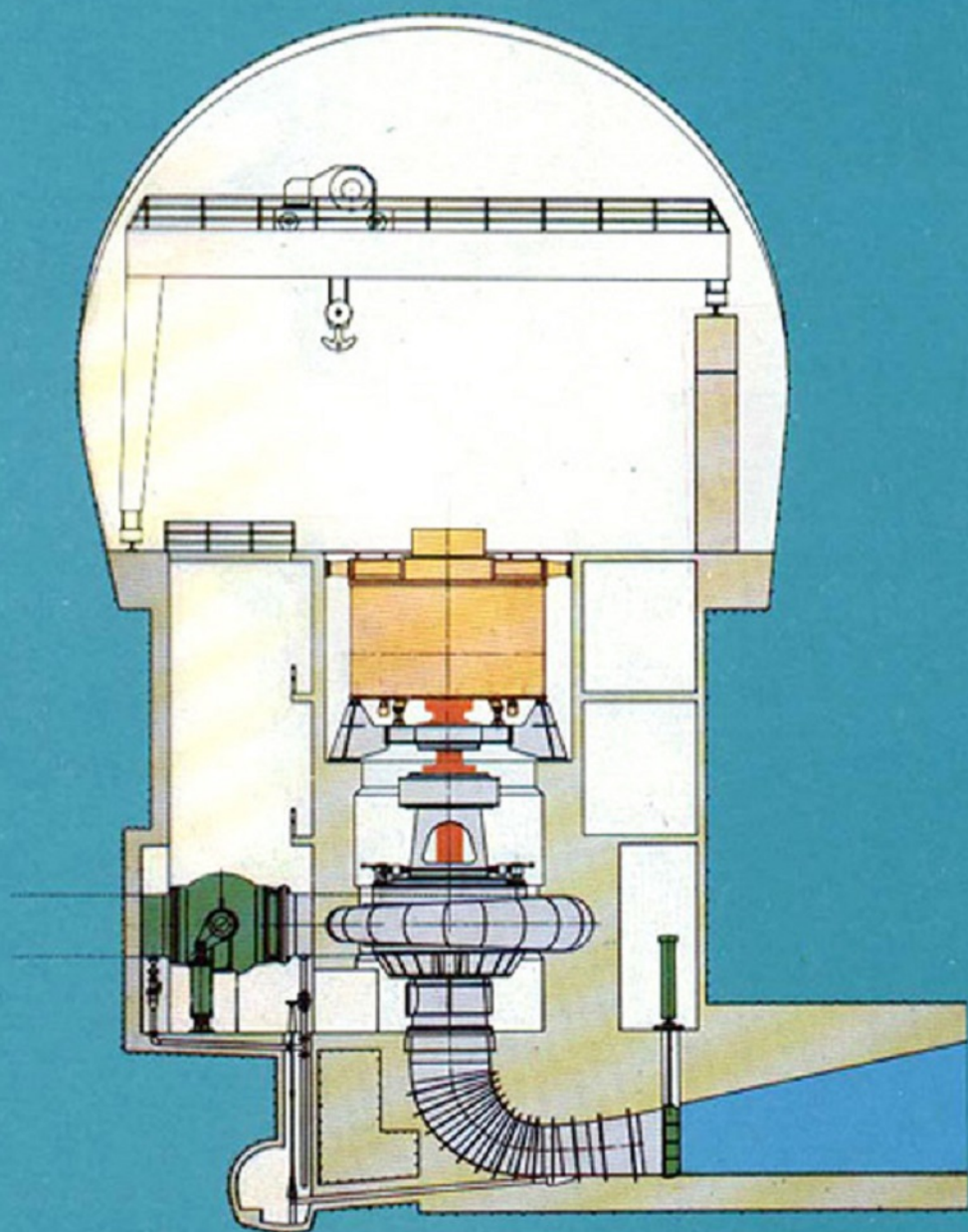


# پمپ ۱۰



میسران مجله

نشریه فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپ سازی ایران

خرداد ۶۸ ۱۰

پمپ

۱۰

نشریه فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپ سازی ایران



نشریه پمپ

نشریه فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپ سازی ایران

هیئت تحریریه: گروه مهندسين و متخصصين شرکت صنایع پمپ سازی ایران

مدیر مسئول: مهندس میر بیوک احقاقی

حروفچینی و لیتوگرافی: سازمان چاپ هادی تبریز، تلفن ۶۸۶۲۱

نشانی نشریه: تبریز، قراملک، مجتمع ماشین سازی تبریز، صندوق پستی ۳۵-۱۸۱ شرکت صنایع پمپ سازی ایران

دفتر فنی، تلفن ۴۲۹۵۴

تهران، خیابان ولیعصر، نبش میرداماد، برج های اسکان، برج ب، طبقه ۳، تلفن ۴۲۷۸۹۴۳

عکس روی جلد: شرکت صنایع پمپ سازی ایران در مورد ساخت توربین آبی با همکاری وزارت جهاد سازندگی

پروژه ای را هم اکنون در دست مطالعه و اجرا دارد که توضیحات اضافی در شماره های آینده

داده خواهد شد.

بسمه تعالی

شرایط درج مقاله در نشریه پمپ

.....

- ۱- مطالب مقاله باید فنی ، صنعتی و علمی بوده و به طریقی با طراحی ، تولید و یا کاربرد پمپ مربوط باشد .
  - ۲- مقاله ارسالی قبلاً "در هیچ نشریه داخلی چاپ نشده باشد .
  - ۳- مطالب ارسالی حتی المقدور بایستی ماشین شده باشند .
  - ۴- عنوان مقاله با در نظر گرفتن فواصل بین کلمات از دو سطر تجاوز ننماید . نام نویسنده مقاله و عنوان شغلی و علمی آن در زیر عنوان مقاله ذکر گردد .
  - ۵- چکیده مقاله نباید از حدود یک صفحه ۸۴ تجاوز نماید و بایستی حاوی نکات اصلی و نتایج مقاله باشد بطوری که بتوان آن را جداگانه چاپ نمود .
  - ۶- در پایان مقاله لازم است که نتایج و فهرست منابع مورد استفاده ذکر گردد .
- ضمناً چون مسئولیت صحت مطالب مقاله بعهدہ نویسنده آن است ، لذا هر گونه تغییر و ویرایش در متن مقاله جهت تأیید نویسنده قبل از چاپ ارسال خواهد شد .



بتعمیلی

## فرم اشتراک نشریه پمپ

اینجانب..... شغل و ذوع فعالیت اداری و علمی.....  
بنشانی (لطفاً آدرس کامل و دقیق قید شود).....  
مایل به اشتراک نشریه پمپ می باشم و رسید بانگی پرداخت مبلغ ۱۰۰۰ ریال حق اشتراک یکساله را در:  
تبریز بحساب شماره ۵۰۰۵ بانک ملت شعبه مرکزی □ / تهران و شهرستانها بحساب شماره ۳۲۵۲۰۰۱۴ ،  
بانک تجارت شعبه قاطمی □ بضمیمه ارسال می نمایم ، تقاضا دارم از شماره..... نشریه پمپ ، به  
نشانی فوق ارسال گردد .

امضاء

برای دریافت مستمر نشریه پمپ ، علاقمندان می توانند با پر کردن فرم فوق  
و ارسال آن به نشانی نشریه جزء مشترکین درآمده و آن را دریافت دارند .

## فهرست مندرجات

صفحه	نویسنده	عنوان
۵۰.....	دکتر عباس کیانوش	سایش فلزات و روشهای جلوگیری آن (۱)
۲۵.....	دکتر حبیباله تدین	پمپاژ جریان دوفاز (۲)
۳۳.....	مهندس کیوان صادقی	پمپمکشزا و کاربرد آن در آبرسانی
۴۵.....	مهندس مهدی مطیعی	پمپ توربین
۵۱.....	مهندس ابوالفضل جعفرپور	تکنیکهای اندازهگیری در پمپهای سانتریفوژ

# سایش فلزات و روش های جلوگیری آن

از: دکتر عباس کیانوش  
استادیار دانشکده فنی دانشگاه تبریز

مقدمه:

کیفیت اغلب قطعات فلزی بستگی به شرایط سطحی آنها و فساد سطح ناشی از مصرف آنها دارد. معیوب شدن سطح در عملیات مهندسی نیز حائز اهمیت است، این پارامتر غالباً "مهمترین فاکتور در محدود کردن عمر و کارایی اجزاء ماشین تلقی می شود. سایش را می توان بصورت فساد سطحی غیر عمدی قطعه کار، ناشی از مصرف یا شرایط محیطی نامطلوب تعریف نمود. بنابراین بایستی آن را بصورت یک پدیده سطحی تحت مطالعه قرار داد. سایش یکی از مهمترین فاکتورهای نابود کننده ای است که اکثر فلزات در معرض آن قرار دارند، نتیجتاً اهمیت سختسایبی یا مقاومت در مقابل سایش در صنعت نیازی به تاکید ندارد.

جابجائی و کنده شدن اجزاء فلزی از روی سطح یک فلز، ممکن است ناشی از عوامل زیر باشد.

۱- تماس فلز با یک فلز دیگر که به آن سایش چسبنده یا سایش فلزی می گویند.

(Adhesive or Metallic Wear)

۲- تماس فلز با اجزاء ساینده فلزی یا غیرفلزی که به آن ساییدگی یا خراشیدگی گفته می شود.

(Abrasion)

۳- تماس فلز با جریان مایعات یا گازها، که این نوع سایش تحت عنوان روفتگی یا فرسودگی (Erosion)

بیان می شود. روفتگی معمولاً "با نوعی خوردگی (Corrosion) نیز همراه است.

هر کدام از سه نوع سایش ذکر شده در بالا می تواند تحت شرایط اصطکاک غلطشی و اصطکاک لغزشی عمل

نموده و بعلاوه مطابق امکان استفاده یا عدم امکان استفاده از روانکار مورد بررسی قرار گیرد.

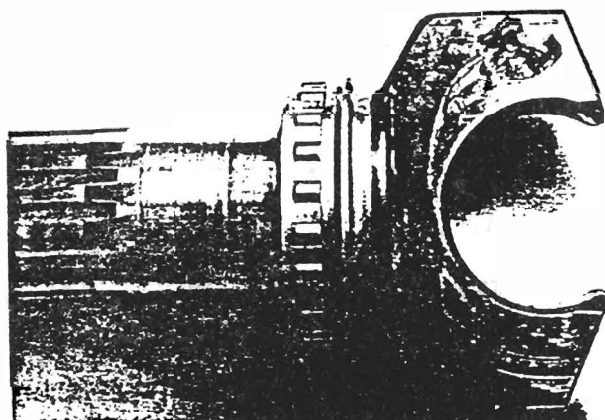
سایش ناشی از یک نوع واحد سایش ندرتاً "اتفاق می افتد و در اکثر موارد سایش فلزی و ساییدگی توأم عمل

می کنند. هر نوع مشخص سایش به پارامترهای مختلفی از قبیل شرایط محیطی، نحوه اعمال بار، سرعت نسبی

قطعات کار در حال تماسی، روانکار، درجه حرارت، سختی، صافی سطح، وجود اجزاء خارجی، و ترکیب شیمیایی و سازگاری قطعات کار در حال تماس بستگی دارد. از آنجائیکه در غالب کاربردهای مربوط به ماشین‌آلات، حتی با بکارگیری بهترین روانکار بندرت می‌توان بطور کامل از سایش جلوگیری نمود، لذا در صنعت بطور معمول هر فلز سختی به‌مراه یک فلز نسبتاً نرم مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماده نرم مزبور بعنوان قطعهای بکار می‌رود که جایگزینی آن اقتصادی‌تر است، مثلاً "دریا تا قانها از یک آستری نرم آلیاژی بعنوان ماده نرم فوق‌الذکر استفاده می‌شود."

#### مکانیزم سایش

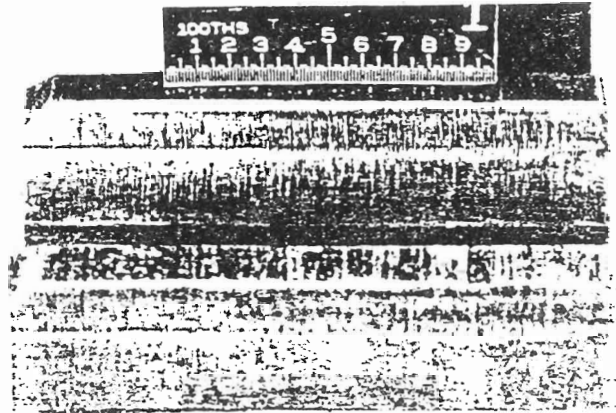
در سایش چسبنده که تحت عناوین مختلف دیگری مانند خوردگی سایشی (galling)، خراشیدگی (Scoring) و گریپاژ کردن (Seizing) نیز نامیده می‌شود برآمدگیهای سطحی خیلی کوچک، با تداخل مکانیکی خود ایجاد اصطکاک کرده و با حرکت نسبی قطعات در حال تماس، مقاومت در مقابل حرکت بیشتر می‌شود. اگر نیروی محرکه لازم جهت حفظ حرکت وجود داشته باشد، در این صورت اجزاء متصل شده بهم تغییر شکل پیدا می‌کنند. اگر قطعات در حال تماس، از مواد شکنندگی ساخته شده باشند در این صورت ممکن است اجزاء قفل شده بهم از سطوح قطعات کار کننده شوند. نتیجتاً مقاومت در مقابل سایش را می‌توان از طریق اجتناب از تماس فلز به فلز، و بوسیله افزایش سختی جهت جلوگیری از بوجود آمدن جاهای اثر اولیه، و با افزایش چقرمگی بخاطر جلوگیری از کنده شدن اجزاء فلزی از سطح قطعه، و با افزایش صافی سطوح در حال تماس بخاطر حذف برآمدگیهای سطحی، بطور قابل ملاحظه‌ای اصلاح کرد. در شکل (۱) خوردگی سایشی یا رویه - برداری از سطح واحد محرکه یک کامیون نشان داده شده است. بررسیهای انجام شده نشان دادند که خوردگی سایشی مزبور بعلت روانکاری ناقص ناشی از نشست روغن بوده است.



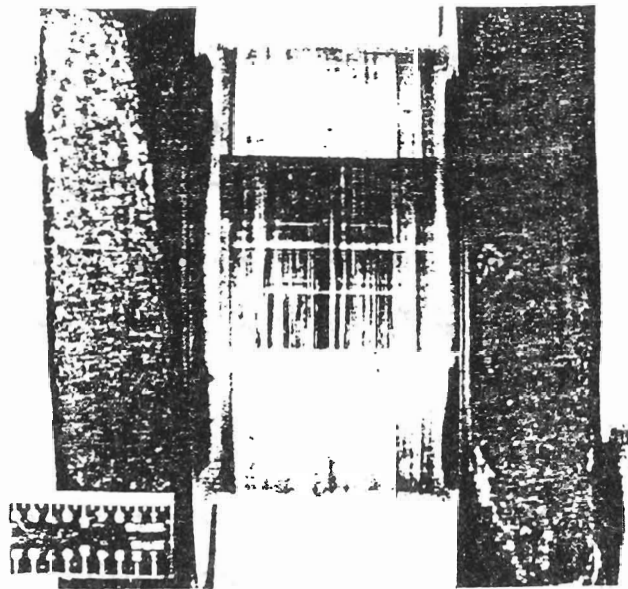
شکل ۱ سطح واحد محرکه یک کامیون که نشان دهنده خوردگی سایشی ناشی از روانکاری ناقص است.

شکل (۲) سایش فلزی روی سطح دندان‌ه یک چرخنده سخت شده سطحی القائی را نشان می‌دهد که تحت یک بار سنگین عمل کرده است. روانکاری این چرخنده با یک روغن موتور رقیق کافی نبوده و نتیجتاً سایش فلز با فلز اتفاق افتاده است.

ساییدگی در سطح قطعات موقعی بوجود می‌آید که اجزاء سخت تحت فشار، بطور غلطی یا لغزشی روی سطح مزبور عمل کنند و یا موقعی که سطح سختی روی آن مالیده شود.



شکل ۲ سایش چسبنده روی چرخنده بینیون یک تراکتور که از روغنکاری ناقص ناشی شده است



شکل ۳ یا تا قان اصلی یک میل‌لنگ که توسط اجزاء آشفال موجود در روغن بطور بدی خراش برداشته است



در اینصورت اجزاء تراشیده شده از روی سطح قطعه سخت تر، سطح ماده نرم تر را خراش داده و روی آن شیار ایجاد می نمایند. این اجزاء سخت، همچنین امکان دارد در فلز نرم تر فرورفته و باعث کندن اجزاء فلزی از روی سطح آن گردند. در شکل (۳) یاتاقان اصلی یک میل لنگ نشان داده شده است که بوسیله روغن روانکار کثیف صدمه دیده است. اجزاء آشفال سخت با برآمدگیهای نوک تیز، فیلم مداوم روانکار را شکسته و سطح نسبتاً نرم یاتاقان را بریده و آن را خراش داده اند. جهت رفع این اشکال، کارآیی فیلتر روغن بایستی اصلاح شود. سهولت خراشیدگی سطح فلز تغییر فرم یافته بستگی به چقرمگی (toughness) آن دارد. بنابراین سختی و چقرمگی، یعنی دو پارامتر مؤثر در سایش فلزی، در ساییدگی نیز مؤثر هستند. از دو پارامتر فوق الذکر، احتمالاً "سختی از درجه اهمیت بیشتری برخوردار است.

#### فاکتورهای مؤثر در سایش

یکی از فاکتورهای مؤثر مهم در سایش، مخصوصاً در سایش نوع چسبنده یا سایش فلزی روانکاری است. در روانکاری با فیلم ضخیم فیلمی از روانکار به ضخامت کافی تماس فلز به فلز را بطور کامل حذف کرده و سایش فلزی به مقدار قابل صرف نظر کردنی کاهش می یابد. این نوع روانکاری با اینکه شرایط ایده آل روانکاری را بوجود می آورد، معدالک در این حالت غالباً "روانکاری مرزی (boundary lubrication) اتفاق می افتد. تحت این شرایط موقعیکه فیلم روغن قادر به حفظ تداوم خود نباشد، تماس بین فلزی منقطع رخ خواهد داد. تحت شرایط روانکاری مرزی، میزان سایش به سرعت، فشار، ماهیت سطوح در حال تماس، و کارآیی فیلم روغن پس مانده بستگی دارد. معدالک در خیلی حالات مثلاً "در سیستم ترمز عملاً استفاده از روانکار میسر نیست. اگرچه در اثر سایش، ذوب شدن واقعی فلزات فقط در حالات استثنائی اتفاق می افتد اما تاثیر گرمای ایجاد شده توسط سایش خشک می تواند به روشهای مختلف باعث کاهش مقاومت بد سایش قطع گردد. این امر ممکن است موجب سخت شدن برگشتی ساختمان فلز و نتیجتاً تغییرات فازی در آن شده و باعث افزایش سختی و شکنندگی آن شود. تحت این شرایط خواص مکانیکی فلز کاهش یافته و سرعت واکنشهای خوردگی تسریع می یابد.

چنین تصور می شود که فاکتور اصطکاکی عمده در مواد فلزی، جوش خوردن آنها به همدیگر باشد. اتمهای فلزی یکسان یا اتمهایی با ساختمانهای کریستالی مشابه، دارای نیروهای جاذبه بین هم بسیار قوی هستند. موقعی که سطوح تمیز دو فلز یکسان در حال تماس واقعی با همدیگر هستند، این دو فلز در سطح مشترک بدلیل نیروی جاذبه بین اتمی به همدیگر جوش خواهند خورد. اگر به همراه اصطکاک، یک فشار کافی جهت شکستن پس مانده مواد جدا کننده ای مانند روغن، کثافات، یا رطوبت جذب شده سطحی نیز اعمال شود، و سطوح در تماسی با همدیگر باشند که امکان اتفاق افتادن تغییر شکل های الاستیکی و پلاستیکی موجود باشد، در اینصورت گریباز کردن

یا جوش خوردن قطعات بهمدیگر رخ خواهد داد. نرم شدن فلزات در دماهای بالا، سهولت تغییر فرم پلاستیکی فلز را افزایش داده و جوش خوردن قطعات بهمدیگر را تسهیل می‌بخشد.

گریپاژ کردن ممکن است موجب توقف کامل قطعات در حال حرکت نسبت بهمدیگر گردد و اگر حرکت نسبی قطعات بطور کامل متوقف نگردد در اینصورت تکه‌هایی از سطوح مقابل کنده شده و برآمدگیهای حاصله موجب خراشیدن، خوردگی سایشی و سایش موضعی شدید خواهد شد. مندهای متعددی را جهت کاهش خطرگریپاژ کردن می‌توان بکار برد. یکی از این مندها استفاده از لایه نازکی از یک ماده رویه‌سخت (hard surfacing - material) است، متد دیگر استفاده از اقلای "یک فلزی است که تشکیل نوعی فیلم روانکار را بدهد و یا استفاده از یک لایه نازک و کاملاً "چسبنده پوشش اکسیدی، سلفیدی، و یا فسفیدی است. اکسید آلومینیم در جلوگیری از جوش خوردن قطعات بهمدیگر بسیار مؤثر می‌باشد. در قطعاتی که تحت آنچنان فشارهای بالائی کار می‌کنند که تغییر فرم الاستیکی امکان تماس نزدیک قطعات با همدیگر را فراهم می‌نماید، بهترین متد جلوگیری کننده، استفاده از روانکاری است که با سطح فلز ترکیب شده و تشکیل محصولی را بدهد که دارای استحکام کافی جهت جدایش سطوح از همدیگر باشد. استفاده از مواد با حدالاستیک بالا مساله گریپاژ کردن را کاهش می‌دهد، که این امر ناشی از جلوگیری از تماس نزدیک قطعات با همدیگر در تغییر فرمهای الاستیکی می‌باشد.

ضربه فاکتور مهمی در سایش تلفی می‌گردد زیرا بارهای اعمال شده ناگهانی، امکان دارد باعث سیلان پلاستیکی و تغییر شکل قطعه گردند. با طراحی صحیح، بایستی سطحی فراهم نمود که استحکام تسلیم فشاری آن بیشتر از تنش فشاری حاصل از ضربه بوده و تکیه‌گاهی به اندازه کافی جهت جلوگیری از سیلان زیر سطح داشته باشد.

شکست ناشی از خستگی نیز گاه "جزو بحث سایش مورد مطالعه قرار می‌گیرد زیرا این شکست نیز از یک فساد تدریجی ناشی از مصرف بوجود می‌آید. با طراحی صحیح و با حذف نقاط تمرکز تنش در شیارها و زوایای نیز، استحکام خستگی افزایش خواهد یافت. از آنجائیکه شکست خستگی همواره از تنش کششی ناشی می‌شود، تنش فشاری پس مانده در سطح قطعه یک حفاظت اضافی را نیز فراهم خواهد آورد. این امر را می‌توان با فرآیندهای سخت کردن سطحی از قبیل کربوریزه کردن و یا با ساچمه پاش کردن قطعه (Shot Peening) تکمیل نمود.

مندهای آزمایش کردن مقاومت به سایش

از آنجائیکه سایش یک پدیده ساده‌ای نیست، لذا در مورد مقاومت به سایش تستهای استاندارد معدودتری در مقایسه با تستهای استاندارد مربوط به سایر خواص مکانیکی، ارائه شده است. بطور کلی عدم امکان اجرای یک تست عمومی سایش در ارزیابی مقاومت به سایش مواد مورد قبول صاحب نظران قرار گرفته است. بنابراین،

تجهیزات لازم جهت اجرای تست مقاومت به سایش، بایستی طوری طراحی گردند تا شرایط سرویس واقعی را فراهم نمایند. این آزمایشها بایستی دارای قابلیت بازآزمایی بوده، توانائی طبقه‌بندی مواد مختلف مورد مطالعه را داشته، و از همه مهمتر بایستی توسط روابطی با داده‌های سرویس هماهنگی داشته باشند.

### حفاظت در مقابل سایش

مواد و متدهای مختلفی جهت حفاظت در مقابل سایش وجود دارند. انتخاب یک ماده و یا یک فرآیند بخصوص، مستلزم بررسی و تجزیه و تحلیل شرایط واقعی سرویس، دارا بودن دانش مربوط به قابلیت کاربرد و محدودیتهای ماده یا فرآیند مخصوص مزبور و داشتن اطلاعات مربوط به قیمت است. عدم وجود داده‌های مهندسی قابل دسترس جهت مقایسه، نیاز حاد به یک تصمیم‌گیری صحیح از طرف مهندسين یا تکنسین‌ها را نشان می‌دهد که این افراد، انتخاب مواد مناسب جهت مقاومت در مقابل سایش را بعهدہ دارد

تکنیکهای مختلف ایجاد حفاظتهای سطحی جهت مقاومت در مقابل سایش به قرار زیر هستند:

۱- آب فلز کاری	(Electro - Plating)
۲- آن‌دیزه کردن	(Anodizing)
۳- فرآیندهای نفوذ	(Diffusion Processes)
۴- فلز پاشی	(Metal Spraying)
۵- سخت رویه کاری	(Hard Facing)
۶- عملیات حرارتی موضعی	(Selective Heat Treatment)

### آب فلز کاری

مقاومت به سایش یک قطعه فلزی را می‌توان با آب کاری آن توسط یک فلز سخت‌تر بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. معمولترین فلزات مورد استفاده در آب کاری، فلزات با پایه کرم، نیکل، رودیوم هستند. آب اینیدیم کاری نیز جهت کاهش سایش در یاتاقانهای سربی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دو نوع آب کرم کاری مورد استفاده در صنعت به آب کرم سخت و آب کرم متخلخل معروف هستند آب کرم سخت، همان آب کرم تزئینی ولی با ضخامت خیلی بیشتر است و ضخامت آن از ۰/۰۰۲۵ الی ۰/۲۵ میلیمتر تغییر می‌کند. آب کرم متخلخل دارای حفره‌ها و کانالهای دقیقاً کنترل شده‌ای در روی سطح خود جهت نگهداری روانکار است. البته واژه کرم متخلخل شاید تا حدودی منحرف کننده باشد و لازم بتذکر است که زیر سطح آماده شده کرم متخلخل دیگر تخلخلی بیشتر از تخلخل موجود در کرم سخت وجود ندارد. سختی روکش کرمی معادل ۹۵۰ الی ۱۰۵۰ ویکرز می‌باشد، فلکنتور دیگر مربوط به کاهش سایش، ضریب اصطکاک پائین روکش کرمی است.

آب گرم کاری در روکش دادن رینگهای سیلندرها و پیستونهای موتورهای احتراق داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت در مقابل خوردگی سایشی یکی دیگر از خواص مهم روکش گرمی است - قطعات فولادی آب گرم کاری شده قابل نصب تحت فشار را می‌توان بدون ساییدگی و گریپاژ کردن به دفعات متعدد مونتاژ و دیمونتاژ نمود. مقاومت به خوردگی زیاد گرم نیز باعث کاهش سایش در شرایط خورنده می‌شود.

سختی روکش نیکلی بین ۱۴۰ الی ۴۲۵ ویکرز است که بستگی به نوع محلول آب نیکل کاری مورد استفاده دارد. با اینکه روکش نیکلی به مراتب نرمتر از روکش گرمی است ولی در خیلی موارد سختی لازم برای کاربردهای مختلف را دارا بوده و بسیار اقتصادی‌تر نیز است. پرداخت سطح روکش نیکلی را می‌توان با ماشینکاری نیز انجام داد در حالیکه پرداخت سطح روکش گرمی فقط از طریق سنگ زنی میسر است.

سختی روکش رودیومی بین ۵۴۰ الی ۶۴۰ ویکرز است و مقاومت به سایش آن بین روکش نیکلی و روکش گرمی است. روکش رودیومی دارای ضریب انعکاس نور بالا، مقاومت به حرارت زیاد و خاصیت برآقی به‌مراه سختی و مقاومت به سایش خوب است. استفاده از روکش رودیومی در بازتاباننده نورهای با شدت زیاد، در کنتاکتهای الکتریکی و در آرمیچرها و کموتورها معمول است.

#### آندیزه کردن

تشکیل یک لایه اکسیدی توسط آندیزه کردن، می‌تواند در افزایش مقاومت به سایش بعضی از فلزات مؤثر باشد. فرآیند آندیزه کردن معمولاً "روی آلومینیم، منیزیم، روی و آلیاژهای آنها اعمال می‌شود. در آندیزه کردن، قطعه کار، آند یک مدار الکترولیتی را تشکیل داده و لایه‌های اکسید روی فلز پایه تشکیل می‌شوند. از آنجائیکه در این فرآیند لایه اکسید جدید در مجاورت فلز پایه تشکیل می‌شود، بنابراین جهت تداوم پروسه، لایه‌های اکسید تشکیل شده قبلی بایستی به اندازه کافی متخلخل باشند تا یونهای اکسیژن بتوانند از طریق آنها عبور کنند.

آندیزه کردن آلومینیم در واقع متد تشکیل یک لایه اکسیدی خیلی ضخیم تر روی قطعه کار آلومینیمی، در مقایسه با اکسید شدن آن در هوا می‌باشد. در یکی از ساده‌ترین عملیات آندیزه کردن آلومینیم، از محلول اسید کرومیک ۳٪ بعنوان الکترولیت در دمای حدود ۳۸°C استفاده می‌شود. در این حالت ولتاژ از صفر تا ۴۰ ولت با میزان ۸ ولت در دقیقه افزایش داده شده و بمدت زمان ۳۰ الی ۶۰ دقیقه در ولتاژ کامل، با چگالی جریان حدود ۱ الی ۳ آمپر در فوت مربع نگهداشته می‌شود. این عملیات پوششی به ضخامت ۰/۰۰۱۲۵ الی ۰/۰۰۲۵ میلیمتر را تشکیل می‌دهد. از آنجائیکه پوشش اکسیدی حاصل از آندیزه کردن جزو قسمتی از قطعه است، لذا قطعات آندیزه شده را می‌توان بدون صدمه، زدن به پوشش و یا پائین آمدن کیفیت حفاظتی آن، تحت عملیات فرم دادن و کشیدن شدید قرار داد. قطعات آلومینیمی آندیزه شده در محلول اسید کرومیک، ناشی از وجود

کرم احیا شده در پوشش، دارای رنگ سبز متمایل به خاکستری هستند. رنگهای دیگری را نیز می توان با استفاده از مواد رنگی مناسب در پوشش آندیزه شده بوجود آورد. همچنین سطح آندیزه شده پایه خوبی برای رنگ کردن را تشکیل می دهد.

در فرآیند آندیزه کردن به روش آلومیلیت (Alumilite) که توسط کمپانی آلومینیم آمریکا ابداع گردیده است از یک محلول اسید سلفوریک ۱۵ الی ۲۵ درصد بعنوان الکترولیت استفاده می شود، فیلم اکسید تولید شده به این روش، شفاف بوده و ضخیم تر و متخلخل تر از پوششهای تولید شده با الکترولیت های دیگر می باشد. مطالعات بیشتر در این مورد، منجر به شناخت پوششهای آلومیلیت سخت گردیده است که ضخیم تر و سخت تر از پوششهای آندی معمولی هستند. قطعاتی از هواپیما مانند پیستون هیدرولیک، چرخنده ها، بادامک ها، پیچها، اتصالات مفصلی و غیره از آلیاژهای آلومینیومی با پوشش اکسیدی سخت تهیه می شوند.

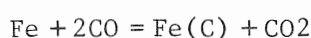
از آنجائیکه آندیزه کردن باعث افزایش ابعاد قطعه کار نمی شود، بنابراین نیازی به در نظر گرفتن مجازهای ابعادی در تولید آن وجود ندارد. معذالک در آب فلز کاری بایستی مجازهای ابعادی مناسبی را در ابعاد قطعه کار با توجه به ضخامت روکش در نظر گرفت.

#### فرآیندهای نفوذ

چندین فرآیند مختلف، از طریق نفوذ بعضی از عناصر در داخل لایه های سطحی مقاومت به سایش را بطور قابل ملاحظه ای افزایش می دهند. این فرآیندها عبارتند از:

- a) کربوریزه کردن
- b) سیانوره کردن
- c) کربونیترووره کردن
- d) نیترووره کردن
- e) کرومیزه کردن
- f) سیلیکونیزه کردن

کربوریزه کردن یکی از قدیمیترین و ارزانهترین متدهای سخت کردن سطحی است. در این فرآیند فولادهای کم کربنی حدود ۰/۲ درصد کربن یا کمتر از آن را در اتمسفری شامل مقادیر زیادی از گاز کربن مونوکسید قرار می دهند. دمای معمول کربوریزه کردن حدود  $930^{\circ}\text{C}$  است. در این دما واکنش زیر به وقوع پیوسته و موجب نفوذ کربن در فاز آستنیت می گردد.



که  $\text{Fe}(\text{C})$  نشان دهنده کربن محلول در آستنیت است.

پوسته‌هایی که دارای کربن و نیتروژن هستند یا در حمامهای نمک مذاب (فرآیند سیانوره کردن) و یا در اتمسفرهای گازی (فرآیند کربونیترووره کردن) تولید می‌شوند. دمای مورد استفاده در این فرآیندها، عموماً "پائینتر از دمای کربوریزه کردن بوده و بین ۷۶۰ الی ۸۷۰ °C می‌باشد. مدت زمان این فرآیندها در مقایسه با کربوریزه کردن کوتاهتر بوده و پوسته‌های نازکی با ماکزیم ضخامت ۰/۲۵ میلی‌متر در سیانوره کردن و ۰/۷۵ میلی‌متر در کربونیترووره کردن حاصل می‌شوند. سیانوره کردن معمولاً "در حمامهای مذاب یکی از نمکهای مناسب سیانور (مانند NaCN) و کربونیترووره کردن عموماً" در اتمسفرهایی شامل مخلوطی از گازهای مناسب مانند نیتروژن، هیدروژن، کربن مونوکسید، پروپان یا گاز طبیعی، و گاز آمونیاک انجام می‌شوند.

در نیترووره کردن، پوسته فولادهای آلیاژی در یک اتمسفر گازی با نسبتهای مناسبی از گاز آمونیاک و آمونیاک تجزیه شده سخت می‌گردند. کارایی این فرآیند بستگی به تشکیل نیتريد‌هایی در فولاد دارد که از طریق واکنش دادن نیتروژن با برخی از عناصر آلیاژی مخصوص موجود در فولاد مانند آلومینیم، کرم و مولیبدن حاصل می‌شوند. دمای نیترووره کردن معمولاً "بین ۵۰۰ الی ۵۷۰ °C بوده و سیکل عملیات آن بسیار طولانی است. مثلاً "یک سیکل ۶ ساعته نیترووره کردن در دمای ۵۲۵ °C، پوستهای به ضخامت تقریبی ۰/۶ میلی‌متر ایجاد خواهد نمود.

در فرآیند کرومیزه کردن، کرم به لایه سطحی فلز پایه نفوذ داده می‌شود. کاربرد این فرآیند محدود به آلیاژهای آهنی نشده و می‌توان آن را جهت بالا بردن مقاومت به خوردگی و مقاومت به حرارت روی فلزاتی از قبیل نیکل، کبالت، مولیبدن و تنگستن نیز اعمال نمود. موقعیکه این فرآیند روی آهن یا فولاد اعمال می‌شود موجب تبدیل لایه سطحی به فولاد زنگ‌نزن می‌گردد. اما اگر فولاد دارای درصد کربن قابل ملاحظه‌ای باشد (بالای ۰/۶٪)، کاربیدهای کرم رسوب یافته سبب افزایش مقاومت به سایش فولاد می‌گردند. محدوده دمائی این فرآیند بین ۱۰۰۰ الی ۱۱۰۰ °C است. فولادهای پر کربن کرومیزه شده دارای سختی و یکریزی بین ۸۰۰ الی ۱۰۰۰ بوده و دارای ضریب اصطکاک پائینی هستند، این فرآیند در تولید قالبهای آهنگری، ابزارها، تلمبه‌ها (پیستونهای شناور)، پیستونها و شفت پمپها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سیلیکونیزه کردن عبارت از تلقیح آلیاژهای آهنی با سیلیسیم است، این فرآیند در دمای بین ۹۳۰ الی ۱۰۱۰ °C انجام می‌شود. در این پروسه، قطعه کار فولادی در محیطی محتوی مواد سیلیسیم دار مانند کاربید سیلیسیم حرارت داده شده و در آن از گاز کلر بعنوان کاتالیزور استفاده می‌شود. ضخامت پوسته سیلیکونیزه شده، بستگی به مقدار کربن فلز پایه داشته و بین ۰/۱۲۵ الی ۲/۵ میلی‌متر است، پوسته تولید شده دارای تقریباً "۱۴٪ سیلیسیم بوده و اساساً" محلول جامدی از آهن و سیلیسیم می‌باشد. با اینک سختی پوسته‌های سیلیکونیزه شده معمولاً "بین ۸۰ الی ۸۵ را کول B است ولی ماشینکاری آن بسیار مشکل می‌باشد، افزایش مقاومت به سایش توسط فرآیند سیلیکونیزه کردن ناشی از پائین بودن ضریب اصطکاک و مقاوم بودن آن در مقابل خوردگی

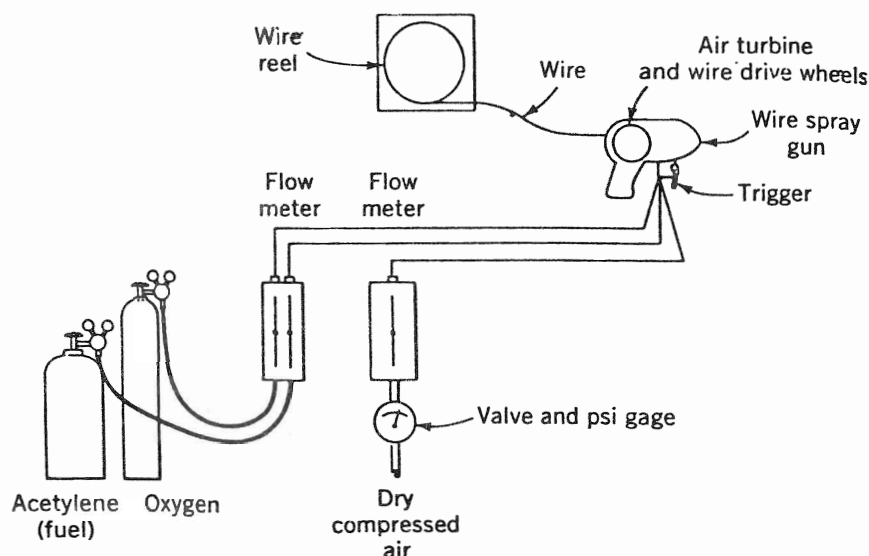
سایشی است. پوسته‌های سیلیکونیزه شده در تولید شفت پمپها، اتصالات زنجیر نقاله‌ها، بوش‌سیلندرها، راهنمای سوپاپها و اتصالات صنایع شیمیائی و نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### فلزپاشی

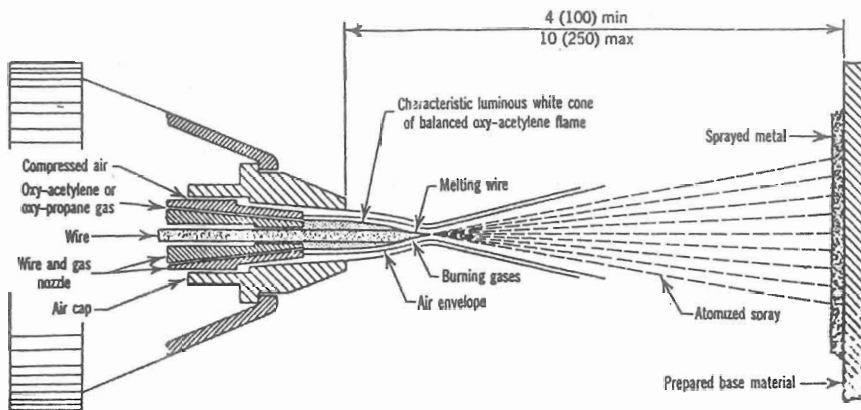
فلزپاشی یا شعله‌پاشی اولین بار توسط یک مهندس سوییسی بنام M. U. Schoop بکار گرفته شد و برای اولین بار توسط همین شخص در سال ۱۹۰۲ میلادی به ثبت رسید. فرآیند مزبور چند سال بعد از آن بصورت تجارتي درآمد. در اوایل، فلزپاشی عمدتاً در بالا بردن، اندازه‌ابعاد مناطق لاغر شده و یا در تعمیر سطوح ساییده شده مورد استفاده قرار می‌گرفت اخیراً این فرآیند کاربرد وسیعی در تولید سطوح مقاوم به سایش نیز پیدا کرده است.

پوششهای پاششی را می‌توان به متدهای متعددی اعمال نمود که عبارتند از: فلزپاشی، روکش دادن شعله‌ای که در رسوب دادن پوششهای کاربید تنگستن و اکسید آلومینیم بکار می‌رود و پاشش قوس‌پلاσμα، که تقریباً قادر به رسوب دادن تمامی مواد معدنی است.

فلزپاشی یا متالیزه کردن را معمولاً "بوسیله تغذیه اتوماتیک یک سیم فلزی با یک سرعت کنترل شده از طریق یک ابزار فلزپاش یا پیستوله انجام می‌دهند. هوای فشرده، اکسیژن و یک گاز سوخت مناسب از طریق شیلنگهایی به پیستوله وارد شده و پس از احتراق توأم آنها، یک شعله پر دما و پر سرعت در اطراف نوک سیم تشکیل می‌شود. بدین ترتیب سر سیم بطور مداوم ذوب شده و اجزاء فلز مذاب توسط شعله پر سرعت به سمت قطعه کار هدایت می‌شوند (اشکال ۴ و ۵). در برخورد این اجزاء با سطح قطعه کار، اجزاء مزبور پهن شده و تشکیل دیسک‌هایی با اشکال نامنظم را می‌دهند. در همان حال، اجزاء مزبور با فشار وارد خلل و فرج و پستی‌ها و بلندیهای موجود در سطح قطعه کار شده و ایجاد یک اتصال مکانیکی با ماده رسوب داده شده قبلی را می‌کنند.



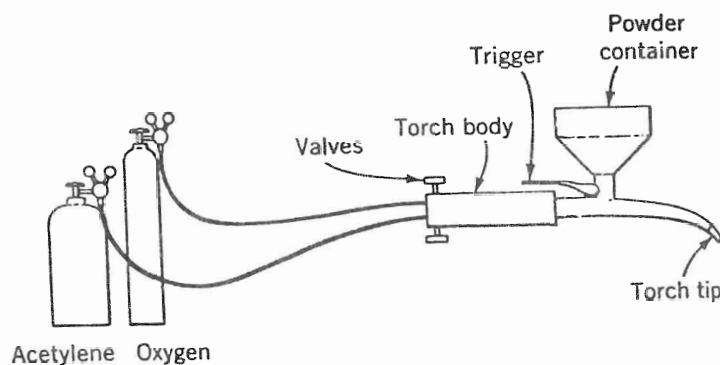
شکل ۴ اجزاء یک سیستم پاشش سیم فلزی



شکل ۵: دیاگرام مقطعی یک پیستوله سیم مورد استفاده در پاشش سیم فلزی

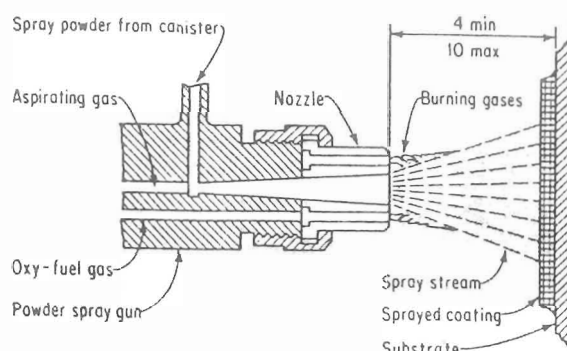
پس از پاشش فلز به روی سطح قطعه کار، سرد شدن آن خیلی سریع اتفاق افتاده و یک فیلم اکسید نازک در روی سطح اجزاء رسوب یافته تشکیل می‌شود. ماهیت اکسیدهای تشکیل شده تحت شرایط فلز پاشی، تعیین‌کننده خواص فیزیکی لایه رسوب داده شده است. آلیاژهایی مانند فولادهای کرمی، برنزهای آلومینیم و آلیاژهای سیلیسیم - آلومینیم که تشکیل اکسیدهای متراکم و پایدار را داده و از خواص فیزیکی خوبی برخوردارند، دارای استحکام نسبتاً بالایی در شرایط فلز پاشی شده هستند. فلزاتی مانند مس و برنجها که دارای اکسیدهای ضعیف و شکننده‌ای هستند تشکیل پوششهایی با استحکام ضعیف را می‌دهند.

در متد دیگر فلز پاشی، از یک پیستوله پودری اکسی استیلن استفاده شده و فلز بصورت پودر روی سطوح قطعات کار پاشیده می‌شود (اشکال ۶ و ۷). در این حالت جهت ذوب نمودن رسوب پاشیده شده، لازم است که سطوح پوشش داده شده را حرارت داد. این فرآیند به پاشش حرارتی (Thermo-Spraying) نیز معروف است.



شکل ۶: اجزاء یک سیستم پاشش پودر فلزی



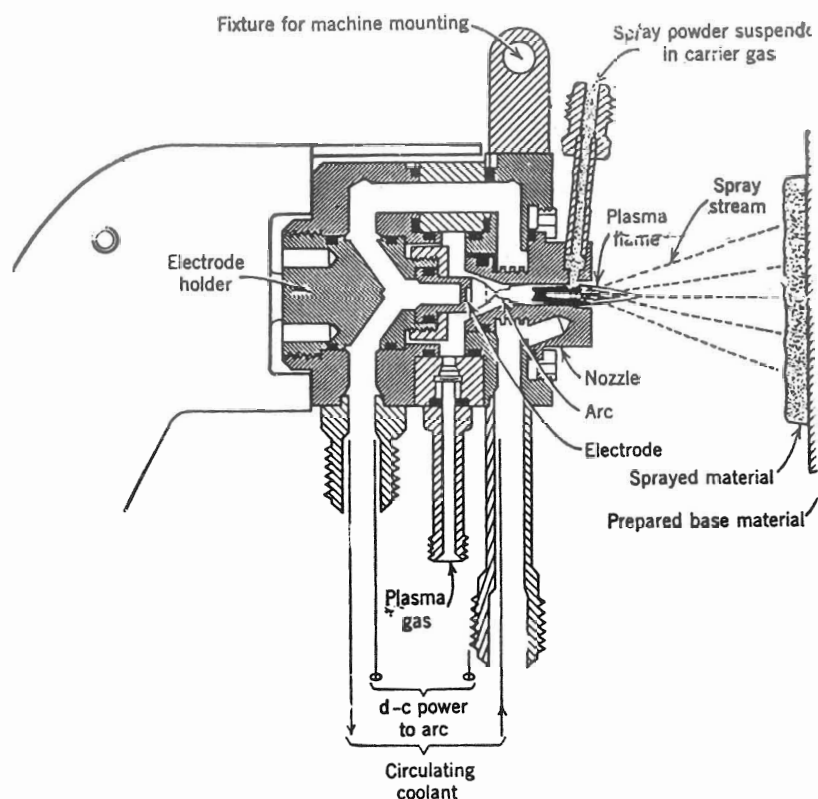


شکل ۷. دیاگرام مقطعی یک پیستوله پودر  
مورد استفاده در پاشش پودر فلزی

پیستوله پودری می‌تواند پوشش‌های نازکی را روی سطوح قطعات کار اعمال نموده و نتیجتاً این فرآیند در پاشش آلیاژهای سخت و مقاوم در مقابل خوردگی بسیار مناسب است. اغلب این مواد شامل آلیاژهایی با فلزات پایه نیکل و کبالت دارای کرم، بر و سیلیسیم هستند، پودرهای آلومینیم، قلع و روی را نیز می‌توان توسط پیستوله‌های پودری پاشش داد.

در فرآیند پاشش قوس پلاسما، از یک قوس الکتریکی که از آن یک گاز مناسبی مانند نیتروژن، آرگون، و یا هیدروژن عبور داده می‌شود استفاده می‌کنند. این قوس به قوس پلاسما معروف بوده و بعلت یونیزه شدن گازها در مسیر آن، دمائی متجاوز از  $17000^{\circ}\text{C}$  توسط آن ایجاد می‌شود. مواد مورد پاشش در این فرآیند، در مسیر جریان گاز مزبور قرار گرفته، ذوب شده، و بطرف سطح قطعه کار مورد پوشش منتقل می‌گردند. کاربرد پاشش قوس پلاسما شبیه کاربردهای پاشش پودر فلزات است ولی بدلیل کسب دماهای بسیار بالا در آن استفاده از این فرآیند در پاشش فلزات دما بالا و سرامیک‌های نسوز بسیار مناسب است. موادی از قبیل تنگستن، اکسید زرکونیم، کبالت، کرم و اکسید آلومینیم را می‌توان بطور موفقیت آمیزی با این فرآیند پوشش داد. یکی دیگر از امتیازات پاشش با قوس پلاسما، عدم نیاز به اکسیژن و گاز سوخت و عدم وجود گازهای حاصل از احتراق آنها است. از معایب عمده این فرآیند، الزام رعایت دقیق دستورالعمل‌های حفاظتی ناشی از وجود دماهای بسیار بالا، صدای خیلی زیاد، و تشعشعات مضر پلاسما است. جزئیات یک پیستوله پاشش قوس پلاسما در شکل (۸) نشان داده شده است.

متدهای مختلفی جهت اتصال فلزات پاشش به مواد پایه توسعه یافته‌اند یکی از متدهای متداول عبارت از اعمال یک پوشش اتصالی مولیبدنی به ضخامت  $0.025$  الی  $0.075$  میلیمتر روی فلز پایه است که تشکیل یک لایه آلیاژی نازک را روی فلز می‌دهد. مولیبدن تقریباً روی تمامی فولادها و سایر فلزات و آلیاژها می‌چسبد اما نسبت به مس، برنج، برنز و فولادهای نیترووره شده چسبندگی ندارد. در متدهای دیگر، سطوح قطعات کار مورد پاشش را با ساچمه پاشی و رزوه‌کاری خشن آماده‌سازی می‌نمایند. در متد اتصال ذوبی، لایه



شکل ۸. دیاگرام مقطعی یک پیستوله پاشش قوس پلازما

خشن و متخلخلی از نیکل روی سطوح قطعات کار رسوب داده می‌شود، این لایه پایه محکم و خوبی برای پاشش اغلب پوششها فراهم می‌آورد اما نمی‌توان آن را در مورد مس، برنجها و برنزها اعمال نمود. بطور کلی هر فلز پوششی پاشیده شده، سخت تر، شکننده تر و متخلخل تر از فلز کار شده یا ریخته‌گری شده معادل خود می‌باشد. این موضوع در جدول شماره (۱) نشان داده شده است.

جدول شماره ۱ مقایسه سختی سیمهای کار شده و اجزای پاشیده شده فلزات مختلف

فلز	سختی نوپ سیم کار شده	سختی نوپ اجزای پاشیده شده
برنز آلومینیم	۲۲۹	۴۰۸
مولیبدن	۴۰۴	۱۵۳۵
مونل	۳۳۸	۳۲۹
فولاد ۱۰۱۰	۳۰۷	۴۴۵
فولاد ۱۰۲۵	۳۷۰	۵۰۴
فولاد ۱۰۸۰	۳۹۸	۶۶۴
فولاد زنگ نزن ۳۰۴	۳۶۰	۳۸۱
فولاد زنگ نزن ۴۲۰	۳۷۲	۷۵۷

گسترش فرآیندهای شعله‌پاشی دما بالا، امکان استفاده از مواد پوششی جدید با مقاومت بسیار برجسته نسبت به سایش و ساییدگی را فراهم نموده است. ترکیبات متعددی از کاربیدهای تنگستن که توسط شعله پاشی اعمال می‌گردند یا فقط جهت افزایش مقاومت به سایش و یا جهت افزایش مقاومت به سایش بعلاوه مقاومت به شوک، حرارتی و خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ترکیبات اصلی کاربیدهای تنگستن که دارای ۶ الی ۸ درصد کبالت هستند در کاربردهای عمومی سایشی مانند یاتاقانها، شفتها و غیره بکار می‌روند. آلیاژهای با درصد کبالت بالا (۱۳ الی ۱۷ درصد) دارای ۳۰ الی ۴۰ درصد مقاومت به سایش پائین‌تری نسبت به ترکیبات اصلی بوده ولی مقاومت به شوک مکانیکی بهتری نسبت به آنها دارند. ترکیبات کاربید تنگستن، نیکل و مخلوط کاربیدهای تنگستن و کرم در مواردی که مقاومت به سایش و مقاومت به حرارت یا خوردگی و یا هر دو مطرح است بکار برده می‌شوند. ترکیب کاربید کرم، نیکل - کرم نیز دارای موارد کاربرد مشابهی است. پوششهای اکسید آلومینیم ثیر توسط روکش دادن شعله‌ای رسوب داده می‌شوند. این پوششها در شرایط خورنده و یا در شرایط اکسید کننده دما بالا نسبت به کاربیدهای تنگستن برتری دارند اما تحت شرایط سایشی مرطوب، فقط نصف مقاومت به سایش کاربیدهای تنگستن را دارند. ترکیبات و برخی خواص مکانیکی پوششهای مورد استفاده در روکش کاری شعله‌ای در جدول شماره (۲) ارائه گردیده است.

#### سخت رویه کاری

تشکیل یک لایه سطحی سخت مقاوم به سایش در روی فلزات توسط یک فرآیند جوشکاری به سخت رویه‌کاری معروف است. اعمال این متد، نسبتاً آسان است و فقط مستلزم داشتن آلیاژهای سخت رویه‌کاری بصورت میله‌های جوشکاری و یک سیستم جوشکاری اکسی-استیلن یا قوس الکتریک است. مزایای سخت رویه‌کاری را می‌توان بشرح ذیل خلاصه نمود:

- ۱- سخت رویه‌کاری قابل اعمال در مناطق موضعی تحت سایش است.
  - ۲- انواع آلیاژهای سخت مقاوم به سایش قابل دسترس هستند.
  - ۳- این فرآیند امکان مصرف مؤثر آلیاژهای گران قیمت را فراهم نموده و باعث حفاظت عمقی قطعه می‌شود.
- مواد سخت رویه‌کار بصورت الکتروود و یا سیم جوش در بازار یافت می‌شوند. الکتروودها معمولاً دارای پوشش و سیم جوشها غالباً بدون پوشش هستند. پوشش الکتروودها شامل موادی هستند که پایداری قوس الکتریک، حفاظت از اکسید شدن حوضچه مذاب جوش، رفع ناخالصیها، عایق سازی حرارتی و الکتریکی و کنترل انتقال فلز مذاب را انجام می‌دهند. در جوشکاری گازی اکسی-استیلن، در مقایسه با جوشکاری قوس الکتریک، رسوبهای ظریف‌تر با ردیفهای دقیق‌تر قابل تشکیل هستند اما سرعتهای گرم کردن و سرد کردن آن آهسته‌تر است. جوشکاری قوس الکتریک دارای هزینه کمتر و سرعت عمل بیشتر بوده و برآحتی خود را با تجهیزات اتوماتیک،

جدول شماره ۲ خواص پوششهای مورد استفاده در روکش دادن شعله‌ای

نوع پوشش	کاربیدهای ننگستن				۱۹% کسید آلومینم
	WC+۶-%۸ CO	WC +۱۳-%۱۵ CO	WC+۱۵-%۱۷ CO	۸۵% کاربید کروم (Cr <sub>۳</sub> C <sub>۲</sub> ) Cr-Ni %۱۵+	
سختی ویکرز	۱۲۰۰-۱۴۵۰	۱۱۰۰-۱۲۵۰	۱۰۵۰-۱۲۰۰	۱۰۰۰-۱۲۰۰	۱۰۰۰-۱۲۰۰
مدول شکست (PSI)	۶۷۰۰۰-۷۳۰۰۰	۸۰۰۰۰-۹۰۰۰۰	۹۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	۷۵۰۰۰	۲۲۰۰۰
مدول الاستیسیته (۱۰ <sup>۶</sup> PSI)	۴۰	۲۶-۳۸	۳۴-۳۶	۱۷	۱۶
درصد تخلخل	۰/۵	۰/۵-۱	۰/۷-۱/۲	۰/۵	۱
مشخصات اصلی	مقاومت بسیار بالا در مقابل سایش	مقاومت به سایش عالی + مقاومیت به شوکهای حرارتی	مقاومت به سایش عالی + مقاومیت به شوکهای حرارتی	مقاومت به سایش عالی در دماهای بالا و مقاوم در خوردگی خوب	مقاومت عالی در مقابل سایش، حملات شیمیایی و اکسید شدن دما بالا

وفق می‌دهد. معذالک رسوبهای حاصل از این فرآیند جوشکاری عموماً "ناصاف" بوده و به احتمال بیشتر متخلخل می‌باشند، این رسوبها، بدلیل گرادیانهای دمائی شدید ناشی از گرم شدن و سرد شدن سریع موضع جوش، در معرض ترک یافتن قرار دارند. در فرآیند سخت رویه‌کاری مواد سخت رویه‌کار، ذوب شده و روی فلز پایه بخش‌گردیده و با آن اتصال داده و سطح جدیدی به ضخامت ۱/۵ الی ۶ میلیمتر را تشکیل می‌دهند که ضخامت لایه بستگی به موارد کاربرد دارد. در این فرآیند، فقط سطح فلز پایه به دمای ذوب می‌رسد، این امر مانع از مخلوط شدن آلیاژ با مقدار زیادی از فلز پایه شده و نتیجتاً از تغییر زیاد خواص پوشش و فلز پایه جلوگیری بعمل می‌آورد. به عبارت دیگر رقت (dilution) در این فرآیند نسبت به فرآیندهای جوشکاری ذوبی، کمتر است. سخت رویه‌کاری را می‌توان روی اغلب آلیاژهای آهنی اعمال نمود اما بغیر از چند استثنا اعمال آن روی آلیاژهای غیر آهنی با دمای ذوب زیر  $1100^{\circ}\text{C}$  جایز نیست. سخت رویه‌کاری فولادهای کربنی، مخصوصاً با درصد کربن زیر ۰/۳۵ درصد بطور نسبتاً ساده‌ای انجام می‌شود، با افزایش درصد کربن و عناصر آلیاژی در فولادها، جوشکاری آنها بسیار مشکل می‌شود، این فولادها را بایستی به ترتیب قبل و بعد از فرآیند سخت رویه‌کاری پیشگرم و پسگرم نمود.

فولادهای زنگ نزن، چدنهای خاکستری، چدنهای داکتیل و فولادهای تندبر را نیز می‌توان با انتخاب عملیات جوشکاری مناسب، سخت رویه‌کاری نمود. آلیاژ مونل (Ni-33%Cu) را به سادگی می‌توان سخت رویه‌کاری نمود اما سخت رویه‌کاری مس، برنجها و برنزها بدلیل نقاط ذوب پائین و ضریب هدایت حرارتی بالای آنها بسیار مشکل است.

در مواردی از قبیل مته‌های حفاری چاههای نفت، تجهیزات کشاورزی و شخم‌زنی، مته‌های حفاری معادن، سوپاپهای موتور و تجهیزات پالایشگاهها و دستگاههای تولیدات مواد شیمیائی، که در آنها روانکاری سیستماتیک در مقابل سایش میسر نیست، سخت رویه‌کاری بطور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سخت رویه‌کاری، همچنین عمر قطعات تحت روانکاری از قبیل قالبهای فلزکاری و قسمتهائی از قطعات ماشین با میزان سایش بالا را نیز افزایش می‌دهد. سطوح سخت رویه‌کاری شده، معمولاً در مقابل سایش، حرارت و خوردگی، مقاومت بیشتری از خود نسبت به سطوح سخت شده سطحی نشان می‌دهند. همچنین، مناطق موضعی حساسی از قطعات بزرگ را می‌توان سخت رویه‌کاری نمود در صورتیکه عملیات حرارتی این قطعات عملاً غیرممکن است. از آنجائیکه سخت رویه‌کاری اساساً یک فرآیند جوشکاری است، لذا می‌توان آن را بدون نیاز به دمونتاژ کردن قطعات بزرگ، در تعمیر آنها در محل بکار برد. سخت رویه‌کاری از طریق افزایش عمر تجهیزات، کاهش هزینه تعویض و کاهش افت زمان تولید، و با فراهم آوردن امکان استفاده از فلزات پایه ارزانقیمت جهت ساخت قطعات مقاوم به سایش یا خوردگی، بازده عملیات را افزایش می‌دهد.

امروزه بیش از ۱۵۰ ماده سخت رویه‌کار با ترکیبات مختلف بصورت تجارتي وجود دارد که ترکیبات آنها

از فولادهائی با کل عناصر آلیاژی معادل ۲ درصد گرفته تا آلیاژهای با عناصر پایه نیکل و کبالت و کاربرد تنگستن تغییر می‌کنند یک طبقه‌بندی ساده آلیاژهای سخت رویه‌کار مقاوم به سایش در جدول (۳) ارائه گردیده است.

جدول شماره ۳ یک‌سری از آلیاژهای مقاوم به سایش مورد استفاده در سخت رویه‌کاری

۱- کربید تنگستن	دارای ماکزیمم مقاومت در مقابل سایش است سطوح ساییده شده نا صاف خواهند بود.
۲- فولادهای پرکرم	دارای مقاومت عالی در مقابل رفتگی هستند مقاوم به اکسید شدن می‌باشند.
۳- چدنهای مارتنزیتی	دارای مقاومت عالی در مقابل سایش هستند استحکام فشاری آنها بالاست.
۴- آلیاژهای با فلز پایه کبالت	مقاوم به اکسید شدن، خوردگی، خزش بوده و دارای استحکام در دماهای بالا هستند.
۵- آلیاژهای با فلز پایه نیکل	دارای مقاومت در مقابل خوردگی بوده و ممکن است مقاوم به اکسید شدن و خزش باشند.
۶- فولادهای مارتنزیتی	دارای مجموعه خوبی از مقاومت در مقابل سایش و ضربه بوده و استحکام فشاری خوبی دارند.
۷- فولادهای پرلیتی	ارزان قیمت بوده و دارای مقاومت ضعیفی در مقابل سایش و ضربه هستند.
۸- فولادهای آستنیتی (الف) فولادهای زنگ نزن (ب) فولادهای منگزی	کارسخت شونده هستند. مقاوم به خوردگی می‌باشند دارای ماکزیمم چقرمگی با مقاومت به سایش ضعیف هستند. دارای مقاومت به سایش خوب در شرایط تماس فلز به فلز و تحت ضربه می‌باشند.

سخت رویه‌کار کاربرد تنگستن دارای بالاترین سختی و بهترین مقاومت در مقابل سایش است. قیمت نسبتاً گران این ماده معمولاً "فاکتور مهمی محسوب نمی‌شود زیرا عمر طولانی آن و امکان اعمال آن در مناطق موضعی مورد نیاز، مثلاً در لبه‌های مته‌های حفاری معادن، به نحو مطلوب هزینه نسبتاً بالای آن را جبران می‌نماید. فولادهای پرکرم با ۱۷ الی ۳۲ درصد کرم با ترکیبات آلیاژی مختلف متعدد در دسترس هستند. فولادهای پرکرم آستنیتی نسبتاً ارزان قیمت هستند و در موارد سایش فلزی و یا در کاربردهای سایش تنش‌پائین، مانند ابزارآلات کشاورزی مورد استفاده در ریگزارها، بسیار مناسب هستند. فولادهای پرکرم نوع سخت شونده چقرمه‌تر از نوع آستنیتی بوده و دارای مقاومت عالی در مقابل سایش هستند. از اضافه کردن تنگستن، مولیبدن و وانادیم به این آلیاژها، گاه جهت افزایش سرخ سختی و مقاومت سایشی آنها استفاده می‌شود. چدنهای مارتنزیتی اساساً آلیاژهای کرم-نیکل کرم-مولیبدن و یا کرم-تنگستن هستند. مخلوطی از مارتنزیت و یک زمینه کاربیدی، تشکیل ساختاری بسیار سخت و مقاوم به سایش ایجاد می‌کند.

آلیاژهای با فلز پایه کبالت دارای ۴۵ الی ۶۳ درصد کبالت، ۲۴ الی ۲۹ درصد کرم ۵/۵ الی ۱۳/۵ درصد

تنگستن و ۱۰/۱۰ الی ۳/۲۰ درصد کربن هستند ، این آلیاژها در مواقعیکه مقاومت در مقابل سایش به همراه مقاومت در مقابل حرارت و اکسید شدن مطرح است مورد استفاده قرار می‌گیرند . آلیاژهای مزبور در سخت رویه‌کاری آستری پاتیل‌ها و ناودانی‌های کوره‌های ذوب جهت مقاومت در مقابل گازها و مذابهای گرم مورد استفاده قرار می‌گیرند . آلیاژهای با فلز پایه نیکل دارای ۷۰ الی ۸۰ درصد نیکل ، ۱۱ الی ۱۷ درصد کرم ، ۲/۵ الی ۳/۷ درصد بر ، و مقدار کمی کبالت و سیلیسیم هستند . مقاومت به سایش و اکسید شدن این آلیاژها ، کمی بهتر از آلیاژهای با فلز پایه کبالت بوده و در کاربردهائی با دمای تا  $980^{\circ}\text{C}$  مورد استفاده قرار می‌گیرند .

فولادهای مارتنزیتی دارای قیمت اولیه پائین و سختی ، استحکام ، مقاومت به سایش و چقرمگی خوب هستند . این آلیاژها عمدتاً جهت تشکیل لایه‌های زیرین سایر ترکیبات آلیاژی با مقاومت به سایش بهتر و یا چقرمگی بالاتر بکار می‌روند . فولادهای پرلیتی دارای سختی و مقاومت به سایش نسبتاً پائینی بوده و کمتر بعنوان یک آلیاژ سخت رویه‌کار مورد استفاده واقع می‌شوند . این آلیاژها نیز غالباً بعنوان فلز پرکننده در جوشکاری و یا بعنوان پایه جهت سخت رویه‌کاری بکار می‌روند فولادهای آستنیتی ، بالاخص فولادهای آسنیتی نوع پر منگنز ، در شرایط کاری متوسط مثلاً در خردکنها و آسیابهای ذغال ، سنگ آهک و مصالح راه سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند ، فولادهای آستنیتی منگیزی بسیار چقرمه بوده و تحت ضربه‌های وارده بسرعت سخت می‌گردند این آلیاژها بدلیل چقرمگی بالا بعنوان یک پایه مناسب در سخت رویه‌کاری مورد استفاده قرار می‌گیرند .

#### عملیات حرارتی موضعی

متمدهای مورد استفاده در عملیات حرارتی موضعی ، عبارت از سخت کردن القائی و سخت کردن شعله‌ای هستند . این فرآیندها اساساً متمدهای سخت کردن کم عمقی هستند که جهت تولید پوسته‌های سطحی سخت و مغزهای نسبتاً چقرمه بکار می‌روند .

## منابع :

1. *Introduction to Physical Metallurgy*, S.A Avner, 1974, McGraw-Hill, Inc., P.317-337, 567-581.
2. *Welding and Welding Technology*, R.L. Litte, 1973, McGraw-Hill, Inc., P.327-347.
3. *Manufacturing Processes*, B.H. Amstead, P.F. Ostwald and M.L. Bege-  
man, 1977, John Wiley and Sons, Inc., P.710-717.
4. *Materials and Processes in Manufacturing*, E.P. Degarmo, 1974, Mac-  
millan Publishing Co. Inc., P.907-908.
5. *Materials in Industry*, W.J. Patton, 1976, Prentice-Hall, Inc., P.  
388-391.





# پمپاژ جریان دوفاز

دکتر حبیب‌اله تدین  
استادیار دانشگاه تبریز

(۲)

## ع- حرکت دوفاز مایع - گاز

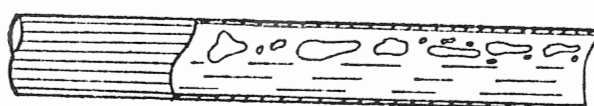
مطالعه و بررسی این نوع جریان در شرایط آدیاباتیکی و بدون تبادل قابل ملاحظه جرم بین دوفازیکی از مباحث پیچیده هیدرولیک بوده و در سالهای اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. طبق اطلاعاتیکه تاکنون پژوهشگران و آزمایش کنندگان مختلف در این زمینه کسب کرده‌اند حالات و اشکال چنین جریانهایی بسیار متنوع است بطوریکه گاهی تشخیص بین انواع گوناگون حرکت نیز به آسانی مقدور نیست. طبق بررسیهایی که تاکنون در این رابطه بعمل آمده ۷ نوع متمایز از این نوع حرکت بشرح زیر شناخته شده است (۲).

- ۱- جریان حبابی Bubble flow در این نوع حرکت حبابهای گاز در مولد فوقانی لوله با سرعتی مساوی سرعت مایع حرکت میکند.
- ۲- جریان حفرهای Plug flow حبابهای گاز با ابعاد درشت‌تر از حالت اول در مولد فوقانی لوله، که بوسیله تیغه‌های مایع از هم مجزا میشوند حرکت میکند.
- ۳- جریان قشری یا لایه‌های Stratified flow در این نوع حرکت فازهای مختلف مایع و گاز کاملاً "جدا از هم بوده و گاز که دارای سرعتی بیش از سرعت مایع است قسمت فوقانی لوله را اشغال میکند. فصل مشترک دوسیاله با سطح جدائی نسبتاً منظم و بطور وضوح مشخص میباشد.
- ۴- جریان موجی Wavy flow مثل حالت قبل هر دو فاز کاملاً "از هم متمایز بوده ولی سرعت گاز که به مراتب از سرعت مایع بیشتر است امواجی در سطح جدائی پدید می‌آورد.
- ۵- جریان پراکنده Spray flow در نوع اخیر مایع بصورت قطراتی ریز در توده گاز در حال حرکت پراکنده شده است.

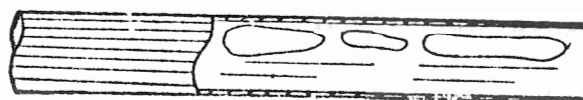
۶- جریان حلقوی Annular flow مایع فرم مقطع لوله را به خود گرفته و گاز در امتداد محور لوله با سرعت زیاد حرکت میکند.

۷- جریان پشتهای Slugflow سطح مرزی بین دوفاز دائما" در حال تغییر و دگرگونی است و اتفاق می افتد که تحت شرایط خاصی توده های از مایع درحین حرکت در قسمتی از لوله مجتمع گشته و با تشکیل پشتهای تمامی سطح داخل آنرا اشغال نماید، این پشته با سرعتی بالاتر از بقیه مایع به حرکت خود ادامه میدهد، حالت اخیر یعنی تشکیل پشتها از نظر کاربرد عملی حائز اهمیت است، زیرا بعلت اغتشاش شدید ایجاد شده میتواند مواد ته نشین شده و یا احیانا" در حال ته نشین شدن را بصورت معلق درآورده و از مسیر جریان خارج نمود.

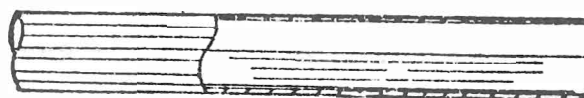
در شکل ۵ انواع هفتگانه حرکت دوفاز مایع - گاز نشان داده شده است .



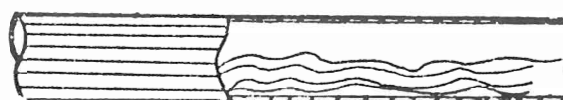
جریان حبابی



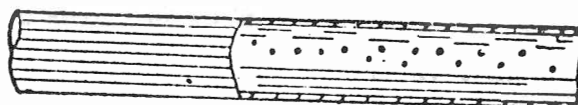
جریان حفره ای



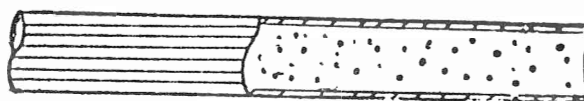
جریان لایه ای



جریان موجی



جریان حلقوی



جریان پراکنده



جریان پشتهای

شکل ۵ انواع هفتگانه حرکت دوفاز مایع - گاز

محاسبه افت بار در جریان دوفاز مایع-گاز:

از مهمترین بررسیها تیکه تاکنون در مورد افت بار در جریانهای دوفاز شده قدیمترین گستردهترین آنها مربوط به مارتینلی (Martinelli) (۸) وهمکاران است پژوهشگران مزبور آزمایشات مفصل در مورد انواع مخلوط سیاله‌ها از جمله آب- هوا، نفت- هوا، گازوئیل- هوا و غیره انجام و نتایج آزمایشگاهی خود را بصورت نمودارهایی که در آنها تغییرات افت فشار برحسب دبی وزنی دوفاز سیاله بیان شده است درآوردند. نمونه‌ای از این نمودارها که مربوط به جریان دوفاز آب- هوا در یک لوله ۱ اینچی میباشد.

در شکل ۶ آمده است. با توجه به شکل نتایج کلی زیر قابل ذکر است:

۱- افت بار مخلوط گاز مایع همواره بیش از موقعی است که یک سیاله با همان دبی وزنی به تنهایی در لوله جریان داشته باشد.

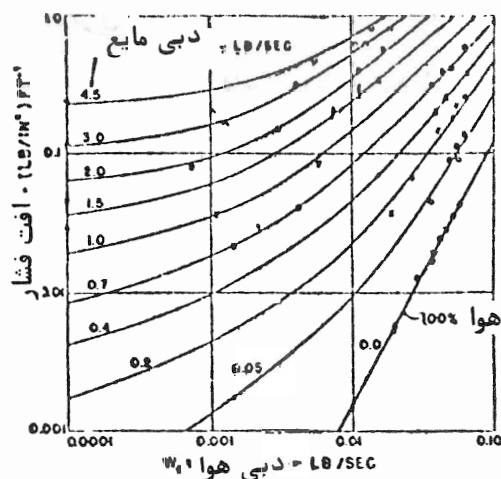
۲- برای دبی معین از گاز افت بار با افزایش دبی مایع زیاد میشود و هرچقدر مایع اضافه شده بیشتر باشد افت فشار نیز بیشتر خواهد بود.

۳- موقعی که بازاء دبی مایع ثابت جریان هوا به صفر میرسد افت فشار ناشی از جریان مایع خالص بدست می‌آید و بنابراین چنانچه دبی گاز کاهش میابد خط دبی مایع افقی میشود.

۴- هرچقدر ویسکوزیته مایع بیشتر باشد تاثیر آن بر روی افت فشار در جریان دوفاز بیشتر میشود. این تاثیر مخصوصاً موقعی که جریان مایع ورقماید بیشتر میشود.

۵- چهار نوع رژیم زیر میتوانند در این نوع مشاهده گردند:

الف - رژیم متلاطم برای هردو سیاله



شکل ۶ تغییرات افت فشار جریان دوفاز مایع- هوا برحسب دبی آب و هوا

ب - رژیم ورقهای برای مایع و متلاطم گاز

ج - رژیم متلاطم برای مایع و ورقهای برای گاز

د - رژیم ورقهای برای هردوسیاله

با وجود این، نوع "ج" طبق نظر پژوهشگران مذکور بندرت اتفاق میافتد و نوع چهارم فقط ممکن است در مورد لوله‌های موئین عملاً "بوجود آید".

مارتینلی مقطع جریان لوله را به دو قسمت که توسط مایع و گاز اشغال شده است تقسیم و بدین ترتیب دو لوله با مقطع فرضی نظیر تقسیم فوق را تعریف نموده برای هر یک از لوله‌های فرضی قانون افت بار در مورد رژیم ورقهای یا متلاطم بدون در نظر گرفتن مقاومت و تاثیر متقابل مایع و گاز بکاربرد بشرح زیر:

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{T-P} = \lambda_{\ell} \frac{\gamma_{\ell}}{D_{\ell}} \cdot \frac{V_{\ell}^2}{2g} \quad (15)$$

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{T-P} = \lambda_g \frac{\gamma_g}{D_g} \cdot \frac{V_g^2}{2g} \quad (16)$$

که در آنها:

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{T-P} = \text{افت فشار کل مخلوط آب و هوا در واحد طول لوله}$$

$\gamma$  = وزن مخصوص

$\lambda$  = ضریب اصطکاک

$D$  = قطر هیدرولیکی

$V$  = سرعت متوسط سیال

اندیس  $\ell$  برای مایع و اندیس  $g$  برای گاز

افت فشار در جریان دوفاز بیشتر از هرفاز به تنهایی است و این دلایل مختلفی دارد از آنجمله:

– مقدار کار انجام یافته توسط گاز بر روی مایع برگشت ناپذیر است .

– وجود سیاله دوم سطح مقطع جریان را برای سیال اول کاهش میدهد .

و بنابراین - در طول جریان دوفاز قطره‌های هیدرولیکی  $D_{\ell}$ ، همواره کمتر از قطر لوله  $D_{\ell}$  بوده و این

کاهش قطر هیدرولیکی، همانطوریکه معادلات (۱۵) و (۱۶) نشان میدهند افت فشار در لوله را به مقدار زیاد افزایش

میدهند .

مارتینلی و همکاران بر اساس فرضیات فوق و با تجربه و تحلیل داده‌های مورد دسترس برای رژیمی که هردو

سیاله متلاطم باشد رابطه زیر را بدست میدهد .

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{T-P} = \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_g \left[ 1 + \alpha^{1/4} \left(\frac{\mu_{\ell}}{\mu_g}\right)^{0.83} \left(\frac{\gamma_g}{\gamma_{\ell}}\right)^{0.416} \left(\frac{V_{\ell}}{V_g}\right)^{0.75} \right]^{2.4} = \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_g \phi_{tt} \quad (17)$$

که در آن:

$$T-P = \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{T-P} = \text{افت فشار کل مخلوط آب و هوا در واحد طول لوله}$$

$$g = \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_g = \text{افت فشار گاز به تنهایی در واحد طول لوله}$$

$\mu$  = ضریب ویسکوزیته دینامیک

$\gamma$  = وزن مخصوص

$W$  = دبی وزنی

$g, \ell$  = به ترتیب اندیس های مایع و گاز

$\alpha$  = مساحت واقعی مقطع جریان به مقطع دایرهای بقطر  $D_\ell$  یعنی:

$$\alpha = \frac{A_\ell}{\frac{\pi}{4} D_\ell^2}$$

بدیهی است مقدار آن موقعی که مایع تمام لوله را پر کند (فقط فاز مایع) برابر بایک و موقعی که بصورت یک حلقه نازک حرکت کند از یک بزرگتر است.

بنابراین برای محاسبه افت فشار در جریان دوفاز مایع-گاز میتوان ابتدا افت فشار برای گاز را به تنهایی حساب کرده (نظیر  $W_g, \gamma_g, D_g$ ) و سپس آنرا در مقدار داخل کروشه ضرب نمود. برای این کار باید بدواً عدد رینولدز را بر اساس  $W_g, W_L$  و ویسکوزیته سیالها و قطر هیدرولیکی تعیین نمود اگر هر دو مقدار بزرگتر از ۲۰۰۰ باشد در این صورت رژیم جریان برای هر دو فاز متلاطم بوده و معادله (۱۷) قابل استفاده است.

تعیین ضریب  $\alpha$ :

در رابطه ۱۷ معمولاً اندازه  $\alpha$  نامعلوم است البته میتوان مقدار آنرا با توجه به داده های آزمایشگاهی و جایگذاری در معادله ۱۷ بدست آورد. مقدار  $\alpha^{1/4}$  موقعی که لوله پر از آب است برابر با یک بوده و میتواند تا ۱۰ یعنی موقعی که مایع فقط بصورت یک لایه حلقوی در لوله حرکت میکند، تغییر کند. برای آنکه نتایج آزمایشات بسهولت قابل تعمیم باشد، گروه بی بعدی که نشان دهنده نیروهای مماسی در دوفاز سیال باشد در نظر گرفته شده است که بصورت زیر بیان میشود:

$$x_{tt} = \left(\frac{\mu_\ell}{\mu_g}\right)^{0.111} \left(\frac{\gamma_g}{\gamma_\ell}\right)^{0.555} \left(\frac{W_\ell}{W_g}\right) \quad (18)$$

اندیس  $x_{tt}$  نشان دهنده این است که جریان برای هر دو فاز متلاطم میباشد. در شکل ۷- ضریب  $\alpha^{1/4}$  بصورت

تابعی از  $x_{tt}^{3/4}$  نشان داده شده است.

با ملاحظه رابطه ۱۸ میتوان رابطه ۱۷ را بصورت زیر درآورد:

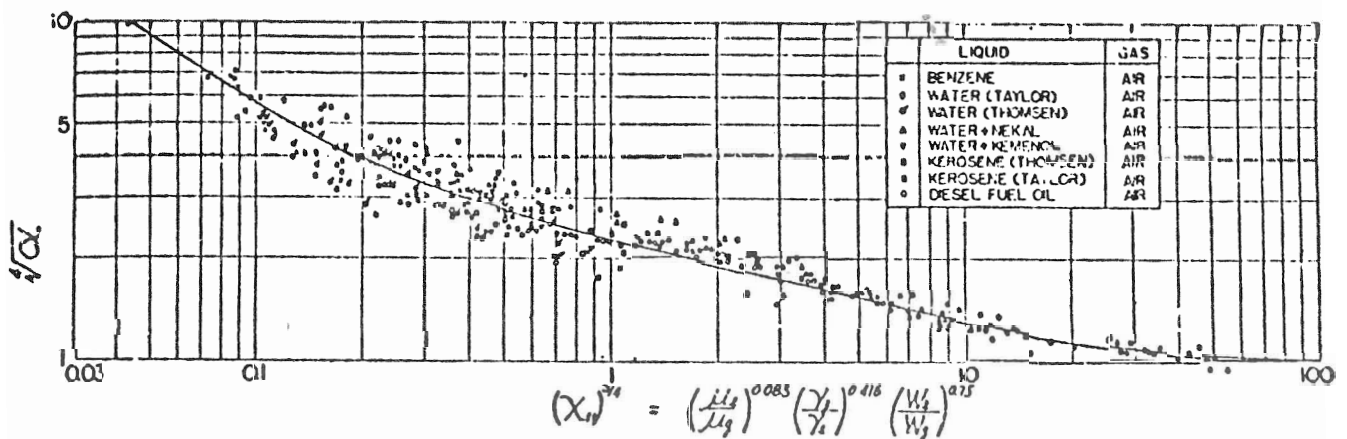
$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{T-P} = \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_g [1 + \alpha^{1/4} x_{tt}^{3/4}]^{2.4} = \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_g [1 + f(x_{tt}) x_{tt}^{3/4}]^{2.4} \quad (19)$$

و یا:

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_{T-P} = \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_g [1 + \alpha^{1/4} x_{tt}^{3/4}]^{2.4} = \phi_{tt}^2 \left(\frac{\Delta P}{\Delta L}\right)_g \quad (20)$$

که در آن:

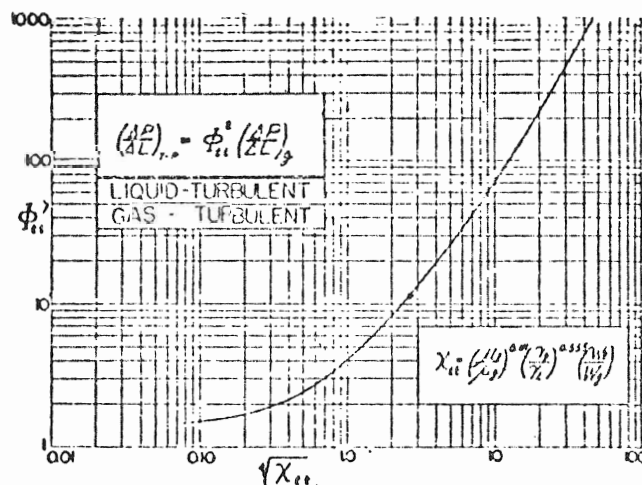
$$\phi_{tt} = [1 + \alpha^{1/4} x_{tt}^{3/4}]^{1.2}$$



شکل ۷ نمودار تغییرات  $\alpha^{1/4}$  نسبت به  $x_{tt}$  برای جریان دو فاز مایع - گاز سیالات مختلف.

در سگلی ۷ نیز نمودار تغییرات  $\phi_{tt}$  برحسب  $x_{tt}$  ترسیم شده است که به کمک آن میتوان با در دست داشتن

مشخصات دو سیاله ضریب  $\phi_{tt}$  را محاسبه نمود.



شکل ۸ نمودار تغییرات  $\phi_{tt}$  برحسب موول  $x_{tt}$  برای جریان دو فاز مایع - گاز

افت بار در حرکت دوفاز مایع - گاز پشته‌ای - در این مورد آزمایشات متعددی توسط نگارنده (۱) نیز بعمل آمده که همگی نشانگر این واقعیت هستند که بطور کلی بین داده‌های آزمایشی مربوط به شیب آبی با آنچه که توسط فرمول داری و ایسباخ و گاوکراستریکلر محاسبه میگردد انحراف فاحشی موجود است. بطوریکه افت بار در جریان با پشته‌های منظم متناسب با  $v^{2 \cdot 65}$  بوده و با پشته‌های نامنظم حتی بیش از آن تغییر مینماید. مقادیری که به مراتب بیش از مقدار بدست آمده توسط فرمولهای مذکور است. این مسئله را میتوان بدین نحو توجیه کرد که در جبهه پشته‌ها در حالت غیر منظم اغتشاش و تلاطم شدیدتری حکم فرماست. بعلاوه مشاهده میگردد که در این رژیم جریان، عبور پشته‌ها در لوله غیر از حرکت انتقالی دارای یک نوع حرکت مارپیچی نیز میباشد و بنظر میرسد که اتلاف شدید انرژی مکانیکی با این دونوع پدیده در ارتباط باشد.

بطوریکه در حال حاضر روش دقیقی که با آن بتوان افت بار در کلیه حالات ۷ گانه جریان دوفاز مایع - گاز - جامد را محاسبه نموده وجود ندارد. و فرمولهای ارائه شده در هر مورد قبلی مبتنی بر تستهای آزمایشگاهی است. ۷- نتیجه‌گیری:

#### الف - جریان دوفاز مایع - جامد

- افت بار با غلظت حجمی  $C_v$  مواد جامد افزایش مییابد در این مورد جریان همگن استثناء است که در آن افت بار با زاء تراکم‌های مختلف به افت بار سیال خالص در سرعت‌های زیاد نزدیک میشود.

- بعضی از جریانهای همگن را میتوان مثل جریان سیال تک فاز بررسی نموده  $\Delta H$  افت بار را از رابطه داری و ایسباخ بدست آورد. افت فشار همچنان از رابطه  $\Delta P = \rho_m g \Delta H$  بدست میآید که در آن  $\rho_m$  جرم مخصوص مخلوط است.

- ضابطه دقیقی برای تمایز بین دو رژیم همگن و ناهمگن وجود ندارد و روشهای ارائه شده با هم تطابق کامل ندارند.

- افت بار در رژیم جریان غیر همگن تابعی است از ضریب مقاومت  $C_D$  و عدد فرود نظیر سرعت سقوط ذرات.

- پمپهای مورد استفاده برای جریان دوفاز مایع - جامد عبارتند از گریز از مرکز پلانگر پیستونی و پمپهای دورانی حفرهای Progressive Cavity Pumps.

ب - جریان دوفاز مایع - هوا:

- برای محاسبه افت بار در جریان دوفاز مایع - گاز میتوان ابتدا فشار برای گاز به تنهایی را حساب کرده و سپس آنرا در ضریب بدون بعدی که بر اساس مشخصات فیزیکی دوسیال محاسبه میگردند ضرب نمود.

- افت بار در جریان دوفاز مایع - گاز حالت پشته‌ای از قانون فوق تبعیت نمیکند.



— و در مورد پشته‌های منظم با توان بیش از ۲/۵ و پشته‌های غیرمنظم با توانهای خیلی بالاتر تغییر میکند .  
 — در حال حاضر روش دقیقی که بتواند افت بار در جریان سه فاز مایع — گاز — جامد را دقیقاً بدست دهد وجود ندارد و بنابراین در هر مورد انجام تستهای آزمایشگاهی ضرورت دارد .

#### منابع مورد استفاده

- (۱) تدین حبیب‌اله: سیستم فاضلاب با طرز کار مکش (پژوهش آزمایشاتی) انتشارات دانشگاه تبریز ۲۱۴ سال ۱۳۵۵
- (۲) تدین حبیب‌اله: حرکت دو فاز سیاله‌ها (مخلوط آب و هوا) مجله علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز شماره ۱ سال ۱۳۵۴
- (۳) تدین حبیب‌اله: ماشینهای آبی نشریه درسی دانشکده کشاورزی تبریز ۱۳۵۵ با تجدید نظرهای بعدی .
- (4) — *CARTFR G. and DOLBY S.E: Solutions to slurry handling problems.*  
*WORLD PUMPS—December 1985*
- (5) — *CONDOLTOS ELIE and CHAPUS EDMCND: Hydraulic transport of solids, -*  
*section 10-21-1 pump handbook edited by I.J.KARASSIK W.C.KRÜTZS W.H.*  
*FRAZER and J.P.MESSINA. Mc.Graw Hill Book Co. 1976*
- (6) — *HOMAYOUNFAR, F., Flow of Multicomponent slurries, M.S. Thesis, University*  
*of Delaware, Newark, Delaware, 1985*
- (7) — *HSIEN W. SHEN: trmnsport of solid liquid mixtures chap. 5. of closed*  
*conduit flow: Edited by M. Hanif chandhry and VuJicayevyevich copyright*  
*1981 Boakcrafters Inc., Chelsea, Michiqun U.S.A*
- (8) — *MIARTINELLI R.C. BOELTER L.M.K. TAYLOR T.H.M. THOMSEN E.G. And MORPIN E.*  
*N: Isothermal pressure Drop for two-phase turo-component Flow in a*  
*Horizontal pipe. Transactrons of the A.S.M.E. feb. 1944*
- (9) — *ZANDI IRAJ: Advances in Solid-liquid flow in pipes and its Appeica-*  
*tions, pergamon press 1971*
- (10) — *ZANDI, I., and GOVATOS, G., Heterogenous flow of solids in piplines, Jovr*  
*Hld. Div, Amer. Sac. Civ. Engrs. Vo/93 1967*

# پمپ مکش زا و کاربرد آن در آبرسانی

تهیه و تنظیم : مهندس کیوان صادقی  
شرکت صنایع پمپ سازی ایران

## چکیده:

با توجه به محدودیتی که پمپهای سانتریفوژ از نظر ارتفاع مکش (NPSH) دارند استفاده از آنها برای مکش از چاههای نسبتاً عمیق بتنهایی امکان پذیر نمیشود در چنین مواردی لازم است که از پمپهای مکش زا (جت پمپ) کمک گرفته شود. پمپ مزبور میتواند تامین تمام و یا قسمتی از ارتفاع مکش را بعهده بگیرد و از سیستم مزبور در چاههایی تا عمق 120 ft بنحو موثری استفاده بعمل آمده است.

در رابطه با مطالبی که از این پس ارائه خواهد گردید هدف اساسی این بوده است که چگونگی استفاده از پمپ مکشزا در سیستمهای انتقال آب از جنبه‌های مختلف هیدرولیکی و طراحی مورد بررسی قرار گیرد، اینوصف قبل از وارد شدن به بحث اصلی لازم است که مختصری در مورد تئوری جت پمپها گفته شود از اینرو این شماره صرفاً به بحث در مورد پمپهای مکش (جت پمپ) اختصاص داده شده است.

پمپ مکشزا (EJECTOR)

## مقدمه:

جت پمپ یا پمپ مکشزا پمپی است که در آن از هیچ قطعه مکانیکی متحرکی استفاده نشده است و در نتیجه، از نقطه نظر روغنکاری و جنس ماده سازنده آن مشکلی وجود ندارد. ساختمان این دستگاه بسیار ساده است و در آن بمنظور مکش سیال اصلی از سیالی تحت عنوان سیال محرک که میتواند بخار، گاز و یا مایع باشد استفاده بعمل می‌آید سیال مزبور از شیبورهای همگرا و یا همگرا-واگرا عبور داده شده و موجب راه اندازی پمپ میگردد. در این مقاله سعی شده است مختصری در مورد تئوری جت پمپ گفته شود و در جوار آن، اطلاعات تجربی بویژه در زمینه طراحی ارائه گردیده است و در خاتمه با ذکر مثالی عددی چگونگی استفاده از روابط و منحیها تشریح شده است.

لیست علائم :

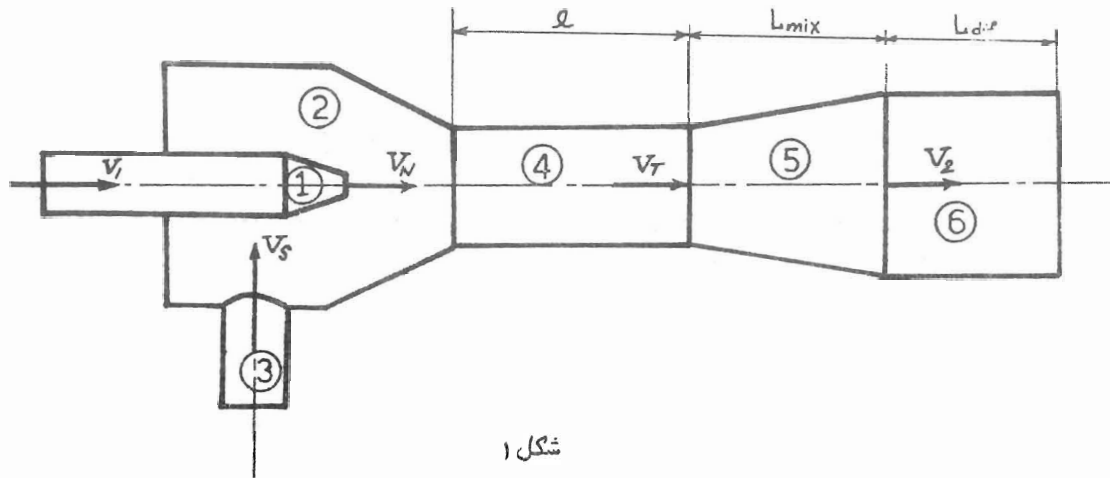
$$\begin{aligned}
 P_1 &= \text{فشار سیال محرک در ورود به شیبوره} \\
 p_s &= \text{فشار در دهانه خروجی شیبوره} \\
 P_2 &= \text{فشار در دهانه خروجی دیفیوزر} \\
 V_1 &= \text{سرعت سیال محرک در ورود به شیبوره} \\
 V_s &= \text{سرعت سیال مکیده شده در ورود به اتاقک مکش} \\
 V_2 &= \text{سرعت در دهانه خروجی دیفیوزر} \\
 V_N &= \text{سرعت در دهانه خروجی شیبوره} \\
 V_T &= \text{سرعت در دهانه ورودی دیفیوزر} \\
 P_T &= \text{فشار در دهانه ورودی دیفیوزر} \\
 \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 &= \text{وزن مخصوص سیال محرک، سیال اصلی و سیال خروجی از دیفیوزر} \\
 M_1 &= \text{جرم سیال محرک} \\
 M_s &= \text{جرم سیال مکیده شده} \\
 Q_1 &= \text{حجم سیال محرک} \\
 Q_s &= \text{حجم سیال مکیده شده} \\
 d_N &= \text{قطر دهانه خروجی شیبوره} \\
 d_2 &= \text{قطر اتاقک اختلاط} \\
 A_N &= \text{سطح مقطع دهانه خروجی شیبوره} \\
 A_2 &= \text{سطح مقطع اتاقک اختلاط}
 \end{aligned}$$

تئوری

شکل ۱ قسمتهای اساسی یک پمپ مکش را بطور شماتیک نشان میدهد .

مطابق شکل ، سیال محرک با فشار زیاد وارد شیبوره ۱ شده و در خروج از آن سرعت زیادی پیدامیکنداین عمل موجب کاهش فشار در محفظه مکش ۲ میشود و در نتیجه سیال اصلی از طریق لوله مکش ۳ بداخل این محفظه مکیده شده و در تماس با جت خروجی از شیبوره قرار میگیرد و با توجه به اصطکاک موجود بین دو سیال ، مجموعاً طرف اتاقک اختلاط ۴ رانده می شوند در این اتاقک بین دو جریان تبادل منتوم صورت میگیرد و در حالت ایده آل ، مخلوطی یکنواخت به طرف دیفیوزر ۵ هدایت میگردد . جائیکه تا حد امکان انرژی جنبشی آن به انرژی

فشاری تبدیل میشود و سرانجام مخلوط مزبور با فشاری بین فشار سیال محرک و سیال اصلی وارد لوله رانش ع شده و به محل مصرف منتقل میگردد .



از نقطه نظر تئوری، معادلات اصلی برای تحلیل مکانیزم فوق، معادلات برنولی و منتوم میباشد .  
با نوشتن معادله برنولی برای سیالی که از شیپوره میگذرد خواهیم داشت :

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_S}{\gamma_1} + \frac{V_N^2}{2g} \quad (1)$$

با توجه به اینکه  $V_1$  در مقایسه با  $V_N$  خیلی کوچک میباشد میتوان معادله فوق را بصورت زیر نوشت :

$$\frac{V_N^2}{2g} = \frac{P_1 - P_S}{\gamma_1}$$

عبارت مزبور هد محرک (operating head) نامیده میشود .

در مورد دیفیوزر با فرض اینکه عمل اختلاط، در فشار ثابت  $P_S$  انجام شده باشد معادله برنولی بصورت زیر

است :

$$\frac{P_S}{\gamma_2} + \frac{V_T^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

با فرض اینکه در دیفیوزر تمامی انرژی جنبشی سیال، تبدیل به انرژی فشاری شده باشد میتوان در رابطه

بالا  $V_2$  را برابر با صفر در نظر گرفت در اینصورت خواهیم داشت :

$$\frac{V_T^2}{2g} = \frac{P_2 - P_S}{\gamma_2}$$

عبارت مزبور هد خروجی (discharge head) نامیده میشود.

نسبت هد محرک به هد خروجی، ضریب هد نامیده شده و با  $R_H$  نشان داده میشود:

$$R_H = \frac{V_N^2 / 2g}{V_T^2 / 2g} = \frac{(P_1 - P_S) / \gamma_1}{(P_2 - P_S) / \gamma_2} \approx \frac{P_1 - P_S}{P_2 - P_S} \quad (3)$$

در اینجا فرض شده است که  $\gamma_1$  و  $\gamma_2$  تقریباً باهم برابر هستند.

با نوشتن معادلهٔ ممنتوم برای اتاقک مکش با فرض اینکه در تمام نقاط آن فشار برابر با  $P_S$  باشد خواهیم

داشت:

$$M_1 V_N + M_S V_S = (M_1 + M_S) V_T \quad (4)$$

سرعت سیال در لولهٔ مکش را در مقایسه با  $V_T$  و  $V_N$  میتوان تقریباً برابر با صفر در نظر گرفت در این صورت

خواهیم داشت:

$$M_1 V_N = (M_1 + M_S) V_T$$

با تعریف نسبت جرم سیال مکیده شده به جرم سیال محرک بعنوان نسبت وزنی ( $R_\omega$ ) میتوان رابطهٔ فوق را

بصورت زیر نوشت:

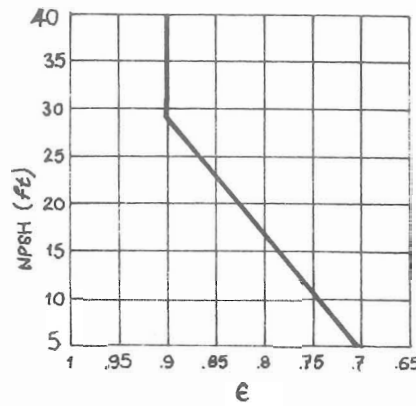
$$R_\omega = \frac{M_S}{M_1} = \frac{Q_S}{Q_1} = \frac{V_N}{V_T} - 1 \quad (5)$$

$$R_\omega = \sqrt{R_H} - 1$$

$R_\omega$  از پارامترهای اساسی در مورد پمپهای مکشزا است با اینوصف باید توجه داشت که تحلیل فوق کاملاً ایده‌آلی است و در عمل بعلت دور از واقع بودن، فرضهای پذیرفته شده و نیز وجود تلفات در بخشهای مختلف، بویژه در دیفیوزر و اتاقک اختلاط، مقدار واقعی  $R_\omega$  از آنچه که توسط این رابطه بدست می‌آید خیلی کمتر میباشد بمنظور در نظر گرفتن تمامی پارامترهای مزبور، از ضریبی تجربی، تحت عنوان ضریب راندمان ( $\epsilon$ ) استفاده بد عمل می‌آید. شکل ۲ ضریب مزبور را بصورت تابعی از NPSH نشان میدهد. در مورد یک پمپ مکشزا، NPSH در واقع معرف هد موجود در سیال محرک برای شتاب دادن به سیالی است که در مخزن مکش موجود میباشد و بنا به تعریف برابر با اختلاف بین فشار اتمسفر و مجموع فشار مکش و فشار بخار است. (درمورد فشار بخار، لازم است که فشار بخار سیال محرک و سیال موجود در مخزن مکش با یکدیگر مقایسه شده و مقدار بزرگتر در محاسبهٔ NPSH مورد استفاده قرار گیرد).

پس از مشخص شدن  $\epsilon$ ، مقدار واقعی  $R_\omega$  از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$R_\omega = \epsilon \sqrt{R_H} - 1 \quad (6)$$

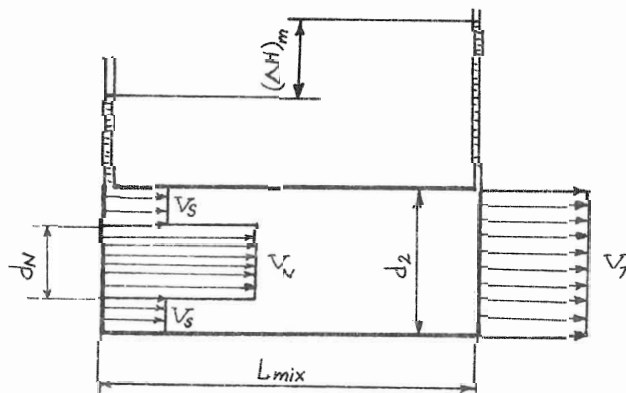


شکل ۲

آزمایشات متعددی که به منظور ماگنیم نمودن  $R_{\omega}$  انجام شده است، نشان داده است که در حالت اپتیمم رابطه خاصی بین افزایش فشار در اتاقک اختلاط و فشار خروجی از دیفیوزر موجود می‌باشد با تعریف  $\beta$  بعنوان ضریب فشار دیفیوزر  $(\beta = \frac{P_2 - P_T}{P_2 - P_S})$  و  $\phi$  بعنوان ضریب سرعت آن (نسبت سرعت خروجی از دیفیوزر در حالت ایده‌آل به مقدار آن در حالت واقعی) در شرایط بهینه رابطه زیر بین  $\beta$  و  $\phi$  وجود دارد:

$$\beta_{opt} = \frac{Q^2}{2 - Q^2} \quad (7)$$

در محاسبات میتوان مقدار  $\phi$  را برابر با ۰/۹ در نظر گرفت در اینصورت در شرایط  $(R_{\omega})_{max}$  مقدار  $\beta$  برابر با ۰/۶۷ خواهد شد و این بدان معناست که حدود ۱٪ از افزایش فشار کل باید در اتاقک اختلاط صورت پذیرد. برای محاسبه هد منتقل شده به سیال محرک در اتاقک اختلاط،  $(\Delta H)_m$ ، باید به این نکته توجه داشت که پروفیل سرعت در ورود به این اتاقک یکنواخت نمی‌باشد (شکل ۳) و با فرض اینکه در خروج از آن سیال دارای سرعتی یکنواخت شده باشد میتوان نوشت:



شکل ۳ اتاقک اختلاط.

$$V_N = \frac{Q_1}{A_N}$$

$$V_S = \frac{Q_S}{A_2 - A_N}$$

$$V_T = \frac{Q_1 + Q_S}{A_2}$$

$$(\Delta H)_m = \frac{P_T - P_S}{\gamma_1} \quad (8)$$

$$(P_S - P_T)A_2 = (M_1 + M_S)V_T - (M_1 V_N + M_S V_S) \quad (9)$$

با توجه به معادله ممنتوم برای اتافک اختلاط، میتوان  $(\Delta H)_m$  را با تلفیق روابط فوق بصورت زیر بدست

آورد:

$$(\Delta H)_m = \frac{Q_1^2}{2gA_N^2} \cdot \frac{2A_N}{A_2} \left[ 1 + \frac{1}{A_2 - A_N} \left( \frac{Q_S}{Q_1} \right)^2 - \frac{A_N}{A_2} \left( 1 + \frac{Q_S}{Q_1} \right)^2 \right] \quad (10)$$

برای بدون بعد کردن رابطه فوق، پارامتر  $A$  را که همواره بزرگتر از ۱ است بصورت زیر تعریف میکنیم:

$$A = \frac{A_2}{A_N}$$

وبدین ترتیب معادله هد ساده شده و بصورت زیر درمی آید:

$$(\Delta H)_m = \left( \frac{V_N^2}{2g} \right) \left( \frac{2}{A} \right) \left[ 1 + \frac{1}{A-1} R_\omega^2 - \frac{1}{A} (1 + R_\omega)^2 \right]$$

با فرض اینکه تلفات وجود نداشته باشد، هد کلی  $(H_t)$  که به سیال اصلی،  $(Q_S)$  داده میشود با افزودن هد

جنبشی به عبارت فوق بدست می آید:

$$\frac{P_S}{\gamma_1} + \frac{V_S^2}{2g} + H_t = \frac{P_T}{\gamma_2} + \frac{V_T^2}{2g} \quad (11)$$

$$\Rightarrow H_t = (\Delta H)_m + \frac{V_N^2}{2g} \left[ \frac{1}{A^2} (1 + R_\omega)^2 - \frac{1}{(A-1)^2} R_\omega^2 \right]$$

$$\Rightarrow H_t = \frac{V_N^2}{2g} \left[ \frac{2}{A} + \frac{A-2}{A(A-1)^2} R_\omega^2 - \frac{1}{A^2} (1 + R_\omega)^2 \right] \quad (12)$$

هد واقعی جت پمپ ( $H_p$ )، از مقدار تئوریک ( $H_t$ ) به علت وجود تلفات در اتاقت مکش ( $h_1$ )، اتاقت اختلاط ( $h_2$ ) و دیفیوزر ( $h_3$ ) به مراتب کمتر می‌باشد بنحویکه داریم:

$$H_p = H_t - (h_1 + h_2 + h_3) \quad (13)$$

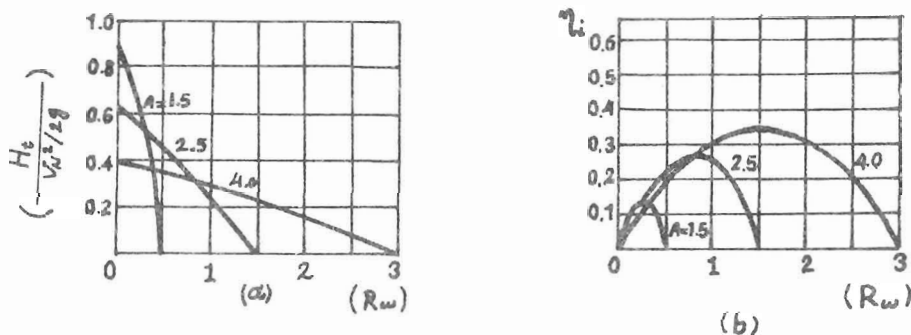
منحنی‌های مشخصه:

رابطه (۱۲) اثر پارامترهای مختلف را بر روی عملکرد یک پمپ مکش‌زا روشن می‌سازد قبل از هرچیز معادله مزبور نشان می‌دهد که هد کل متناسب با  $\frac{V_N^2}{2g}$  و بعبارت دیگر هد سیال محرک ( $H_1$ ) می‌باشد و در ضمن معادله مزبور چگونگی ارتباط هد کل را با نسبت وزنی  $R_\omega$  و ضریب هندسی  $A$  روشن می‌سازد.

شکل 4a منحنی مشخصه تئوریک را به ازای سه مقدار مختلف  $A$  نشان می‌دهد چنانکه مشاهده می‌شود در یک نسبت وزنی ثابت، افزایش  $A$  موجب کاهش هد می‌گردد و بالعکس به ازای هد معین هرچه قدر  $A$  بیشتر شود نسبت وزنی نیز بیشتر خواهد شد. شکل 4b منحنی‌های مشخصه یک جت پمپ واقعی را که در آزمایشگاه و به ازای  $A$  های مختلف بدست آمده است نشان می‌دهد بر تمامی این منحنی‌ها میتوان یک منحنی خاص مماس نمود که در شکل به صورت خط چین نشان داده شده است و منحنی طراحی (design curve) نام دارد. محل تماس این منحنی با منحنیهای واقعی، نشان دهنده نقطه کار پمپ می‌باشد.

راندمان جت پمپ را بنا به تعریف میتوان نسبت انرژی مفید به انرژی محرک دانست و چنانچه از تلفات اصطکاکی صرف نظر شود میتوان مقدار تئوریک آن را از رابطه زیر بدست آورد:

$$\eta_i = \frac{Y_s Q_s H_t}{Y_1 Q_1 H_1} = R_\omega \left[ \frac{2}{A} + \frac{A-2}{A(A-1)^2} R_\omega^2 - \frac{1}{A^2} (1 + R_\omega)^2 \right] \quad (14)$$

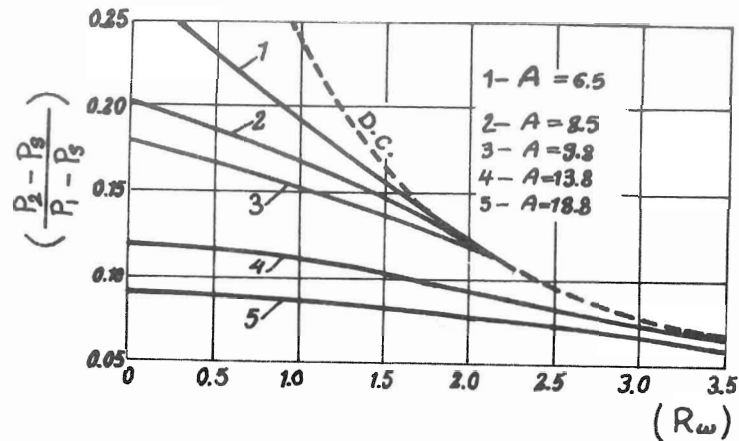


شکل ۴

در شکل (b) مقدار  $\eta_i$  برای نسبت‌های وزنی مختلف، رسم شده است چنانکه مشاهده می‌شود با افزایش راندمان ایده‌آل بالا می‌رود بنحویکه برای  $A=4$  مقدار ماکزیمم آن برابر با ۳۵٪ است، البته باید به این نکته



توجه داشت که در رابطه (۱۴) تنها تلفات مربوط به اتاقت اختلاط در نظر گرفته شده است و در عمل راندمان به مراتب از محدوده نشان داده شده کمتر می‌باشد با اینوصف چنانچه از جت پمپ در مصارف آبرسانی و خنک‌کاری استفاده شود انرژی مفید برابر با  $\gamma_s(Q_1 + Q_2)H_T$  خواهد شد و در نتیجه راندمانها، نسبتاً بالاتر می‌باشد.



شکل ۵

طراحی :

قطر شیپوره و دیفیوزر رامیتوان با استفاده از معادله پیوستگی محاسبه نمود اما طول اتاقت اختلاط و دیفیوزر و نیز فاصله بین دهانه خروجی شیپوره و دهانه ورودی اتاقت اختلاط از پارامترهای بسیار مهمی هستند که تعیین آنها احتیاج به نتایج تجربی دارد در این رابطه میتوان ابعاد هندسی را در محدودهایکه فرمولهای تجربی زیر پیشنهاد می‌نمایند در نظر گرفت :

$$L_{\text{mix}} = 4d_2 \quad : (R_\omega \leq 1)$$

$$L_{\text{mix}} = 8d_2 \quad : (R_\omega \geq 3)$$

$$L_{\text{dif}} = (6 \text{ تا } 7)(d_N - d_2)$$

$$\ell = (0.37 + R_\omega) / 4.4 a \quad : (R_\omega \geq 0.5)$$

$$\ell = (0.083 + 0.37R_\omega)^{\frac{1}{2}} - 0.29, \frac{d_N}{2a} \quad : (R_\omega < 0.5)$$

$$8^\circ \leq \theta \leq 10^\circ$$

در روابط فوق داریم :

$$\theta = \text{زاویه بازشدگی دیفیوزر}$$

$$d_N = \text{قطر دهانه خروجی شیپوره}$$

$$d_2 = \text{قطر اتاقت اختلاط}$$

$L_{dif}$  = طول دیفیوزر

$L_{mix}$  = طول اتا تک اختلاط

$\ell$  = فاصله دهانه خروجی شیپوره تا دهانه ورودی اتا تک اختلاط

$a$  = عدد ثابتی که با توجه به مقدار آن بین  $0.07$  تا  $0.09$  انتخاب میگردد

از جمله عواملی که موجب افزایش اصطکاک و تلفات ممنوم و در نهایت کاهش ضریب راندمان ( $\epsilon$ ) میگردند افزایش ویسکوزیته سیال محرک و سیال اصلی در حین کار است چنانچه این افزایش زیر  $20$  سانتی پواز باشد مقدار  $\epsilon$  به اندازه  $5\%$  کاهش می یابد که در غالب موارد قابل چشم پوشی است در غیر اینصورت لازم است که از فرمولهای تجربی استفاده شود .

از نکاتی که در حین ساخت باید دقیقاً رعایت گردد هم مرکز بودن بخشهای مختلف است که میتواند شدیداً روی عملکرد جت پمپ اثر بگذارد . در ضمن برای تعیین قطر لوله رانش توصیه میشود که از منحنی های موجود در شکل ۶ استفاده شود . با توجه به محدودیتهایی که برای سرعت در این لوله وجود دارد  $(\frac{ft}{s} 10-3)$  ، منحنی های مزبور با معلوم بودن هد کل ،  $(H_1 - H_g)$  و دبی خروجی  $(Q_2 = Q_1 + Q_g)$  مقداری را برای قطر لوله خروجی پیشنهاد می نماید .

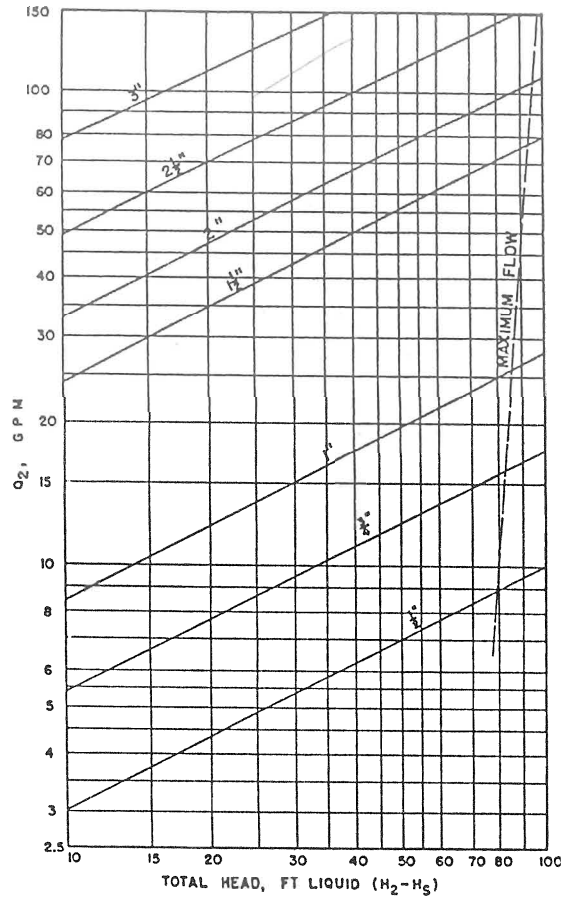
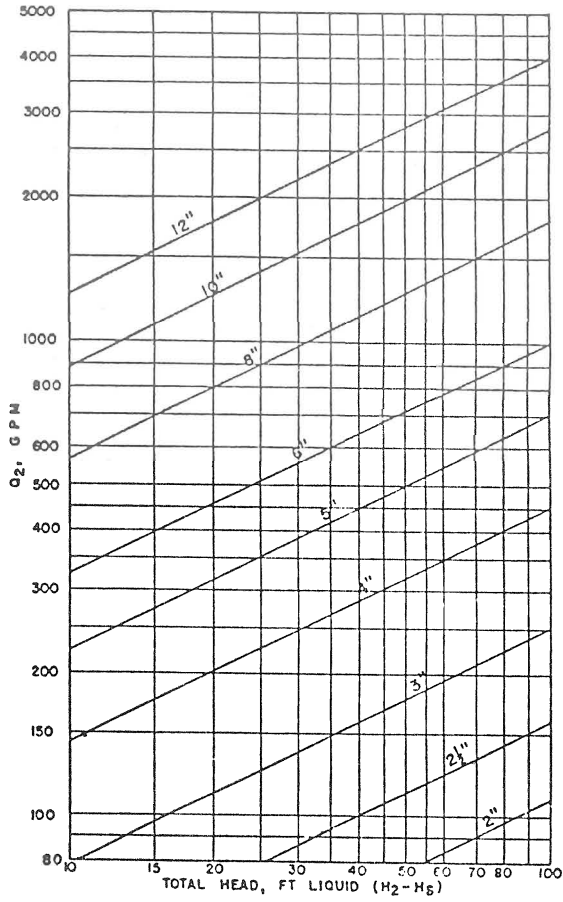
در خاتمه قبل از اینکه به بحث اصلی خود یعنی کاربرد جت پمپ در سیستمهای انتقال آب وارد شویم ، با مثالی چگونگی استفاده از روابط و منحنیهای را که تا بدینجا معرفی شده اند روشن میسازیم .

مثال :

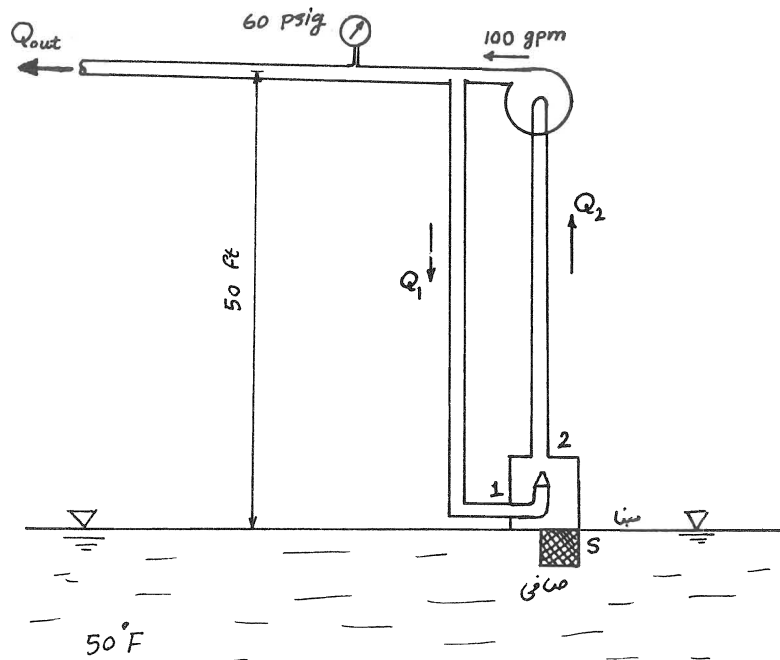
شکل ۷ پمپ سانتریفوژی را نشان میدهد که با توجه به منحنی مشخصه اش ، در دبی  $100 \text{ gpm}$  ، هد کل  $150 \text{ Ft}$  را به سیال منتقل میسازد  $NPSH$  مورد نیاز این پمپ  $10 \text{ ft}$  است از این رو جهت مکش آب  $(50^\circ F)$  از مخزنی به فاصله  $50 \text{ ft}$  ، لازم است که از یک پمپ مکش را استفاده شود ، بخشی از دبی خروجی پمپ سانتریفوژی جهت تحریک پمپ مزبور بکار رفته است . با فرض اینکه فشار سیالی که بطور خالص از سیستم خارج میشود برابر با  $60 \text{ psig}$  باشد مقدار دبی خروجی را بدست آورید  $(Q_{out})$  .

با توجه به ثابت بودن فشار خروجی  $(P_2 = 60 \text{ psig} = 138.6 \text{ ft-H}_2\text{O})$  می توان نتیجه گرفت که هد بکار رفته توسط پمپ سانتریفوژی جهت مکش آب ، برابر با  $150 - 138.6 = 11.4 \text{ ft}$  می باشد و با توجه به اینکه اختلاف ارتفاع بین دو پمپ  $50 \text{ ft}$  است نتیجه میشود که به اندازه  $50 - 11.4 = 38.6 \text{ ft}$  ، هد باید توسط جت پمپ فراهم گردد بدیهی است به مقدار مزبور باید تلفات موجود در لوله رانش جت پمپ را نیز افزود .

با در نظر گرفتن مجرای مکش جت پمپ بعنوان سطح مبنا و با توجه به اینکه دبی خروجی از آن  $(Q_2)$  برابر با  $100 \text{ gpm}$  و هد خروجی  $(H_2 - H_g)$  برابر با  $38.6 \text{ ft}$  میباشد از روی شکل ۶ قطر لوله خروجی برابر



شکل ۶



شکل ۷

با 2.5 in تعیین میشود. بمنظور کاهش تلفات ، قطر این لوله را 3 in انتخاب می‌نمائیم و با توجه به اینکه طول این لوله برابر با 50 ft است ، با مراجعه به دیاگرامهای مربوط به تلفات اصطکاکی در لوله‌ها ، حدوداً "افتی برابر با 1.63ft در این لوله بوجود می‌آید و در نتیجه هد خروجی جت پمپ باید برابر با  $38.6 + 1.63 = 40.23 \text{ ft}$  باشد .  
هد محرک جت پمپ از رابطه زیر بدست می‌آید .

$$\text{تلفات در لوله} + \text{حامل سیال محرک} - 50 = 138.6 = \text{هد محرک}$$

در تقریب اول میتوان از تلفات در لوله مزبور ، صرف‌نظر نمود در این صورت هد محرک تقریباً برابر با 188.6 H خواهد بود و در مورد ضریب هد خواهیم داشت :

$$R_H = \frac{188.6}{40.23} = 4.69$$

در مرحله بعد لازم است که NPSH برای جت پمپ محاسبه گردد با در نظر گرفتن مجرای مکش جت پمپ بعنوان سطح مبنا خواهیم داشت :

$$\text{NPSH} = \text{فشار بخار} - \text{ارتفاع مکش} - \text{فشار اتمسفر}$$

$$\text{NPSH} = 34 - 0 - 0.4 = 33.6 \text{ ft}$$

با توجه به NPSH ، ضریب راندمان  $\epsilon$  از روی شکل ۲ برابر با ۰/۹ بدست می‌آید و بدین ترتیب نسبت وزنی  $R_\omega$  تعیین میشود :

$$R_\omega = 0.9 \sqrt{4.69} - 1 = 0.949$$

$$Q_2 = Q_1 + Q_s = Q_1 \left(1 + \frac{Q_s}{Q_1}\right) = Q_1 (1 + R_\omega)$$

$$\Rightarrow Q_1 = \frac{100}{1 + 0.949} = 51.3 \text{ gpm}$$

پس از مشخص شدن  $Q_1$  ، چنانچه فرض کنیم قطر لوله حامل برابر با 2 in باشد در این صورت سرعت در این لوله برابر با  $5.57 \left(\frac{\text{ft}}{\text{s}}\right)$  خواهد شد که افتی برابر با 6.1 ft ایجاد میکند در نتیجه هد محرک به همین اندازه کاسته شده و برابر با  $188.6 - 6.1 = 182.5 \text{ ft}$  بدست می‌آید و چنانچه محاسبات را مجدداً تکرار کنیم خواهیم داشت :

$$R_\omega = 0.9 \sqrt{182.5/40.23} - 1 = 0.9$$

$$Q_1 = \frac{100}{1.09} = 91.7 \text{ gpm}$$

با توجه به اینکه مقدار  $Q_1$  جدید، تقریباً برابر با مقدار قبلی میباشد بنابراین نیازی به تغییر قطر لوله وجود ندارد و بدین ترتیب دبی خروجی از سیستم بدست می‌آید.

$$Q_{out} = 100 - 52.6 = 47.4 \text{ gpm}$$

،، ادامه دارد ،،

منابع:

- 1- *PUMP HANDBOOK (IGOR.J.KARRASIK)*  
Mc GRAW-Hill Inc:1976
- 2- *HYDRAULIC MACHINES (G.I.KRIVCHNKO)*  
MIR PUBLISHERS, 1983
- 3- *PUMPS, FANS, COMPRESSORS (V.M.CHERKASSKY)*  
MIR PUBLISHERS, 1977

# پمپ توربین

مهندس مهدی مطیعی  
شرکت صنایع پمپ سازی ایران

## مقدمه

بالارفتن هزینه تولید انرژی مهمترین عاملی بود که توربینهای هیدرولیکی ساخته شوند و از ذخایر متنوع آب جهت راندن این توربینها استفاده شود. مهار کردن جریان رودخانهها و ایجاد دریاچههایی در بلندی به منظور تولید انرژی برق، توسط اشخاص انجام می گرفت ولی با تاسیس شرکتهای صنعتی آژانسهای دولتی، کمپانیهای کوچک و همچنین شهرداریها علاقه به تولید انرژی با استفاده از نیروی هیدرولیکی افزایش چشمگیری یافته است. هرجائی که سیال از یک سطحی به سطح دیگر با کاهش فشار جریان می یابد آنجا پتانسیلی برای تولید انرژی هست و این شامل بعضی از منابع انرژی ناشنا مثل کانالهای آبیاری، راه آبها، خطوط انتقال آب و حتی خطوط انتقال نفت خام است.

از آنجائیکه این منابع انرژی بسیار وسیع می باشند لازم بود که توربینهای هیدرولیکی ارزان قیمت و قابل دسترس ساخته شوند. بنابراین نوعی از نیروگاههای آبی کوچک که کاملاً "اقتصادی هستند بسرعت جای خود را در میان نیروگاههای آبی کوچک دیگر باز کردند. در این نیروگاهها از پمپهایی استفاده شد که در جهت عکس دوران کرده و کار توربینها را با کیفیت عالی انجام داده و ضمناً دارای امتیازاتی نسبت به توربینهای هیدرولیکی باشند که این امتیازات عبارتند از:

— راندمان پمپهایی که بطور معکوس عمل می کنند بهتر از توربینهاست. ضمناً می توان به عوض یک توربین بزرگ از چند پمپ در اندازه های مختلف استفاده کرد که این موضوع باعث بالا رفتن راندمان نیز می شود.

— پمپها به سهولت در دسترس بوده و در اندازه های مختلف موجود هستند.

— پمپها ارزانتر از توربینها هستند.

– پمپها در تیپهای متنوعی موجود بوده و در حالات افقی، قائم و حتی شناور قابل نصب هستند .  
– معمولا " در سرویس و نگهداری، قطعات قابل تعویض در دسترس هستند .

پمپهای گریز از مرکز با جریان محوری و شعاعی می توانند به طور معکوس عمل کنند و به جای توربینهای هیدرولیکی مورد استفاده قرار گیرند . این عملکرد اتفاقی نبوده بلکه تئوری توربوماشین این موضوع را پیش بینی می کند و از آنجائیکه این تئوری قابل اجراست یک توربین هیدرولیکی نیز می تواند مثل یک پمپ سانتریفوژ عمل کند نتیجتاً عملکرد اینها از یک شرایط به شرایط دیگر قابل پیش بینی است .

آزمایشات انجام گرفته ثابت کرده اند که پمپ – توربین عملکرد کاملاً " آرام و خوبی داشته و ضمناً راندمان بالائی را نیز دارد و در شرایط بهینه (BEP) ، دبی و ارتفاع بیشتری داشته و قدرت خروجی در این نقطه بالاتر از قدرت ورودی در حالت پمپ است .

منحنی مشخصه پمپ – توربین

در شکل شماره ۱ منحنی مشخصه عملکرد یک پمپ معمولی با منحنی مشخصه همان پمپ که مثل توربین عمل می کند قابل مقایسه است . در این شکل مقادیر دبی، ارتفاع، راندمان و قدرت در نقطه (BEP) را داریم چنانچه ملاحظه می شود ارتفاع و دبی پمپ – توربین در نقطه (BEP) بیشتر از ارتفاع و دبی پمپ در این نقطه هست . با آزمایش مشخص شده است که نسبت ارتفاع و دبی پمپ – توربین در نقطه (BEP) به ارتفاع و دبی پمپ در این نقطه، با تغییرات سرعت مخصوص از ۱/۱ تا ۲/۲ می باشد .

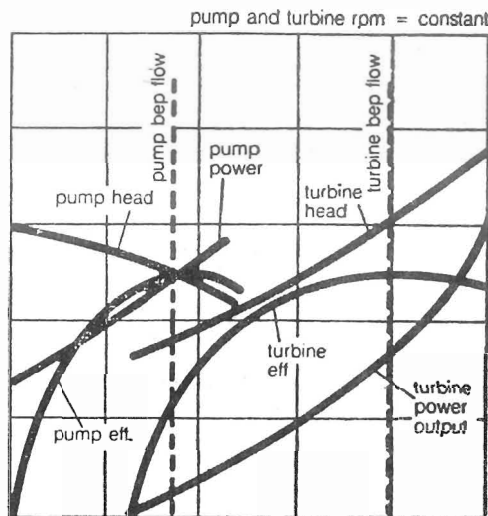
در شکل شماره ۱ دو مشخصه مهم دیگر پمپ – توربین قابل مشاهده است . اولین مشخصه این است که راندمان پمپ – توربین در رنج وسیعی از دبی، ماگزیمم است نتیجتاً عملکرد پمپ – توربین در رنج وسیع ارتفاع بدون کاهش راندمان قابل بررسی است .

ثانیا" به وضوح می توان دید در نقطه ای که قدرت خروجی پمپ – توربین صفر است ارتفاع و جریانی وجود دارد . این نقطه سرعت گریز نامیده شده است (Runaway speed) . کاهش ارتفاع پائین تر از این نقطه باعث جذب انرژی می شود که بار اتصالی قادر به تأمین این انرژی هست .

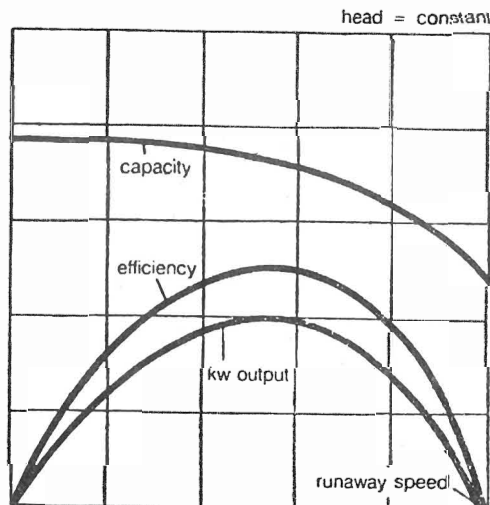
معمولا " منحنی مشخصه ای که در اختیار مشتری گذاشته می شود در شکل شماره ۲ نشان داده شده است . این منحنی برای ارتفاع ثابت داده شده است و سرعت گریز براحتی برای هرگونه شرایط قابل تخمین است سرعت گریز پارامتر مهمی بشمار می رود و در کارکرد المانهای گردنده اثر بسزائی دارد و در سیستم کنترل تاسیسات نقش مهمی را بازی می کند .

به خاطر اینکه منحنی مشخصه پمپ – توربین متفاوت از منحنی مشخصه پمپها است لازم است که طراحی پمپها دوباره مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند . برای مثال، از آنجائیکه ارتفاع پمپ – توربین در نقطه (BEP) بطور قابل توجهی بیشتر از ارتفاع پمپ در این نقطه است و بعد از این نقطه نیز افزایش می یابد لذا محفظه طراحی

شده برای یک فشار استاندارد در پمپها مناسب نخواهد بود و لازم است که از مواد مخصوصی جهت تحمل فشارهای بالا استفاده شود .



شکل ۱ منحنی مشخصه پمپ - توربین



شکل ۲ منحنی مشخصه پمپ - توربین برای ارتفاع ثابت

بعلاوه، به خاطر قدرت خروجی بیشتر پمپ - توربین در مقایسه با قدرت ورودی پمپ لازم است که در طراحی محور پمپ تجدید نظر گردد و از مواد مخصوصی با قطر بیشتر جهت تحمل گشتاور بارهای وارده استفاده شود. همچنین سرعت گریز پمپ - توربین می تواند دو برابر سرعت در نقطه  $(BEP)$  باشد و این لازم اش طراحی دوباره یا تا قانهاست با توجه به مسائل مورد بحث، انتخاب یک پمپ مناسب که کار توربین را انجام بدهد بسیار مهم می باشد و لازم است که تغییرات مورد نیاز توسط سازنده پمپ انجام گیرد .



## سیستم جدید نیروگاههای آبی کوچک

بطوریکه قبلاً ذکر شد ساخت نوعی نیروگاههای اقتصادی و ساده بسرعت روبه افزایش است. یک پمپ سانتریفوژ مناسب برای بکارگیری در جهت عکس و بصورت توربین از روی منحنی‌های مشخصه (characteristic curves) انتخاب می‌شود و به یک ژنراتور کوپله می‌شود. پمپ سانتریفوژ در تمام نقاط دنیا با بهای مناسبی در دسترس است که می‌تواند بصورت توربین برای تولید نیروی مکانیکی جهت صنایع روستائی و یا الکتریسته جهت روشنائی بکار گرفته شود.

یک کنترل‌کننده الکترونیک برای تبدیل نیروی اضافی به نوعی دیگر از انرژی (مثلاً "حرارت برای تهیه آب مقطر) بکار می‌رود تا بار ژنراتور را ثابت نگاه دارد. این عمل توسط کنترل‌کننده الکترونیک بسرعت انجام می‌گیرد تا هیچگونه بی‌ثباتی و یا تغییر بار بر روی ژنراتور ایجاد نشود. بنا براین سیستم با بار خروجی ثابت کار می‌کند و احتیاج به مراقبت دائمی ندارد. حالت فرار توربین با قرار گرفتن مقاومت بطور اتوماتیک در مدار تحریک ژنراتور و تنظیم اتوماتیک دبی (Automatic Discharge Throttling) توسط شیر مناسبی و یا کلاچ هیدرولیک مهار می‌شود.

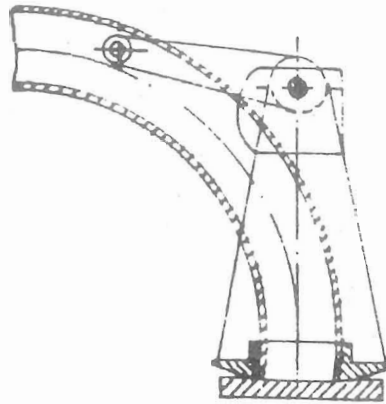
بهای تجهیزات تولید برق در حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ دلار بر کیلووات می‌باشد که معادل یک سوم بهای سیستم‌های معمول است. می‌توان بجای آب مقطر یک جذب اضافه انرژی تولید می‌شود، بارهای مفید دیگری مانند سیستم تهیه آب گرم را جانشین نمود. راه‌اندازی و توقف نیروگاه را بایک شیر ساده که حتی توسط فرد غیرماهری اعمال می‌گردد می‌توان انجام داد. این سیستم نیروگاه را که احتیاج به مراقبت فرد ماهر ندارد اصطلاحاً "نیروگاههای کوچک آبی پرادیپ (Pradeep Micro Hydel system) می‌نامند.

یک واحد ۱/۵ کیلوواتی با ۱۲ متر ارتفاع موثر در کنفرانس اخیر انرژی در کشور نایروبی و همچنین یک واحد ۲ کیلوواتی با ۲۰ متر ارتفاع موثر در نمایشگاه بین‌المللی تجاری هندوستان در نوامبر - دسامبر سال ۱۹۸۱ میلادی به نمایش گذاشته شده بود.

نیروگاههای کوچک دیگری از همین نوع در هندوستان بین ارتفاع از ۲/۳ متر تا ۹۰ متر و ظرفیت ۱/۵ تا ۱۰۰ کیلووات (برای هر واحد) در حال نصب و ساختمان می‌باشد.

## تنظیم جریان آب:

نصب یک شیر کشویی (Gate Valve) برای بکاراندازی عادی کافی می‌باشد و نیازی به هیچگونه وسیله کنترل جریان آب در حالتیکه سیستم با تمام بار کار می‌کند نمی‌باشد. بار تدریجاً با ازدیاد سرعت (ولتاژ) اضافه می‌شود (شکل ۳) یک چنین شیری را برای راه‌اندازی و سنکروناژ و قطع بار نیز می‌توان بکار برد.



شکل ۳ مقطع شیر رادیال

## پدیده کاویتاسیون :

در پمپ - توربین نیز همانند پمپ ، با پائین رفتن فشار از فشار بخار سیال ، حبابهای بخار تشکیل شده و پدیده کاویتاسیون اتفاق می افتد با انتخاب فشار خروجی مناسب در پمپ - توربین (backpressure) از این پدیده جلوگیری می شود چنانچه با انتخاب فشار مکش مناسب در پمپ از رخ دادن چنین پدیده های ممانعت می شود . مقدار پس فشار موجود در پمپ - توربین (TAEH) نامیده می شود . (Total Available exhaust head) مقدار پس فشار مورد نیاز برای عملکرد مناسب توربین (TREQH) نامیده می شود .

(Total required exhaust head)

در توربین ها با ارتفاع بیشتر ، انرژی مانده در خروجی در مقایسه با انرژی کل بسیار کمتر بوده و اثر قابل توجهی روی راندمان ندارد . اما در توربین ها با ارتفاع کمتر لازم است که قدرت مانده در خروجی را به حداقل مقدار خود رساند نتیجتاً دیفیوزرهای مخصوصی طراحی شده و مورد استفاده قرار می گیرند .

منابع :



# تکنیک‌های اندازه‌گیری در پمپ‌های سانتریفوژ

تهیه و تنظیم: مهندس ابولفضل جعفرپور

شرکت صنایع پمپ‌سازی ایران

چکیده مطلب:

در ساخت و کارکرد پمپ‌های سانتریفوژ مسائل متعددی پیش می‌آید. یکی از این مسائل، مسئله اندازه‌گیری است. هر اندازه مسائل تکنیکی و اقتصادی بیشتر مطرح باشد، ضمن نیاز به اندازه‌گیری‌های دقیق تکنیک‌های اندازه‌گیری نیز بایستی بقدر کافی پیشرفته و دقیق باشد. همین مسئله در مورد استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری بمنظور کنترل نیز صدق میکند. اندازه‌گیری دقیق و دلخواه را میتوان با روشهای اصلاح شده و روشهای جدید بدست آورد.

اندازه‌گیری بروش الکتریکی و الکترونیکی (بعلت دقیق بودن و غیرجایگزین بودن در بعضی زمینه‌ها) بطور گسترده‌ای افزایش یافته است. امروزه توسعه صنعتی باعث شده که اعداد اندازه‌گیری شده توسط وسایل اندازه‌گیر که کار اندازه‌گیری را در چندین نقطه انجام داده همراه با دستگاه داده پردازش بکار گرفته شود. البته متذکر می‌شویم که این روش اندازه‌گیری هزینه بالایی را لازم دارد.

در این مقاله سعی ما بر این است که بعضی از وسائل اندازه‌گیری خیلی مهم و موفق که در تکنولوژی پمپ‌های سانتریفوژ بکار می‌رود توضیح دهیم.

۱- اندازه‌گیری تغییر طول (WSG technigue = wire strain gavage)

اندازه‌گیری تغییر طول بروش WSG یکی از مهمترین و مقبولترین روشهاست که امروزه مورد استفاده قرار میگیرد. در این روش از تغییر خاصیت فیزیکی استفاده میشود، بدینصورت که فلز هادی وقتی تغییر طول میدهد مقاومت الکتریکیش عوض میشود. WSG چون بعنوان یک مصرف کننده است بایستی از یک منبع الکتریکی با ولتاژ مستقیم یا متناوب تغذیه کند. وسیله اندازه‌گیر تغییر طول WSG که در تکنولوژی پمپ‌های سانتریفوژ بکار می‌رود از

یک هادی نازک (ورق فلزی) که توسط ورق پلاستیکی پوشیده شده تشکیل یافته است. ورق پلاستیکی بعنوان عایق عمل میکند و بایستی کاملاً "و بطور مناسب به ورق فلزی بچسبد. روش WSG نه تنها برای اندازه‌گیری تغییر طول قطعه تحت آزمایش بلکه برای تمام اندازه‌گیریهای استاتیکی و دینامیکی از جمله اندازه‌گیری نیرو، گشتاور و فشار بکار میرود.

کاربرد اصلی روش WSG در تکنولوژی پمپهای سانتریفوژ مربوط به تحقیق و بررسی استحکام محفظه پروانه پمپ و اندازه‌گیری نیروی محوری و گشتاور و تنش پیچشی روی محور پمپ است.

### ۲- اندازه‌گیری فشار

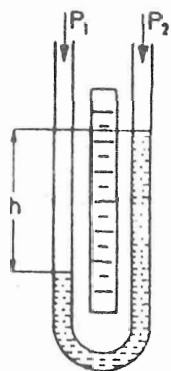
عمده دستگاههایی که برای اندازه‌گیری فشار مایعات و گازها در عمل بکار میرود بشرح زیر است:

(a) مانومترهای پیستونی (مانومترهایی که بوسیله رینگ بالانس می‌شوند) (شکل ۴)

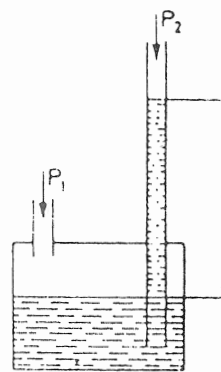
(b) مانومتر با لوله عمودی (شکل ۱ و ۲)

(c) مانومتر با لوله مورب (شکل ۳)

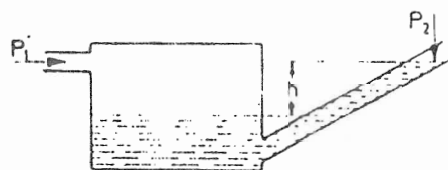
(d) فشارسنجهای فنری (شکل ۵ و ۶)



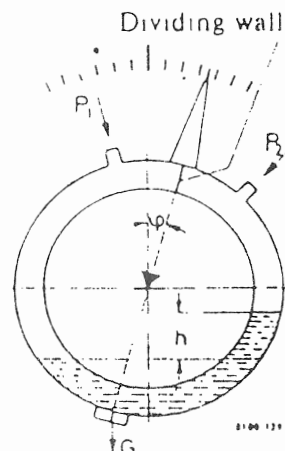
شکل ۱ مانومتر یا لوله U شکل



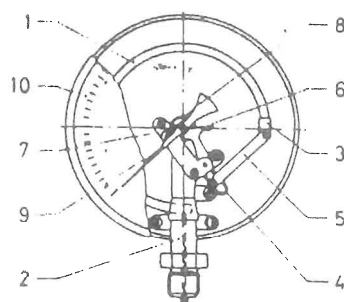
شکل ۲ مانومتر یا لوله عمودی



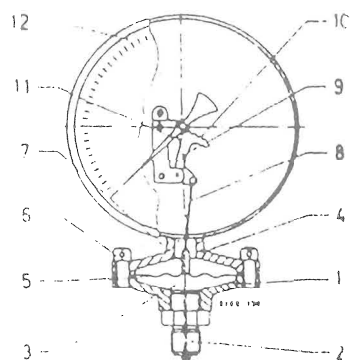
شکل ۳ مانومتر یا لوله مورب



شکل ۴ مانومتر پیستونی یا بالانس رینگ



شکل ۵ فشارسنج دیافراگمی



شکل ۶ فشارسنج بوردون

سیستمهای اندازه‌گیری فشار نشان داده شده در شکل‌های (۱ تا ۴) بطور مستقیم فشار را اندازه می‌گیرند و احتیاجی به کالیبره کردن آنها نیست، بلکه از آنها برای کالیبره کردن سایر وسایل اندازه‌گیر فشار استفاده میشود. برای اندازه‌گیری فشارهایی که با زمان تغییر میکند وسایل بسیار پیچیده مورد نیاز است، این وسایل بایستی دارای مشخصاتی باشند که فشار در محدوده تغییرات را بدون خطا نشان بدهند و دستگاه ثبت کننده نیز بایستی دارای همین مشخصه باشد.

برای اندازه‌گیری فشار در پمپ‌های سانتریفوژ احتیاج به محاسبه ارتفاع کلی و عدد NPSH پمپ است. مانومترهایی که اغلب در پمپ‌های سانتریفوژ بکار می‌روند عبارتند از:

a - مانومتر با لوله U شکل

b - مانومتر مخزن دار

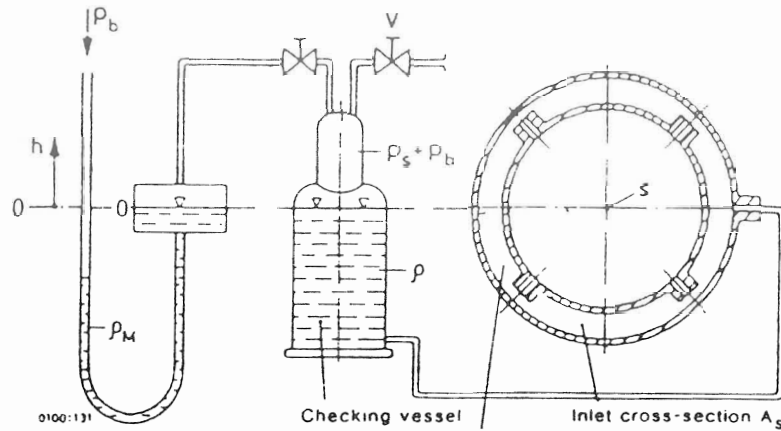
c - مانومتر با لوله مورب

d - مانومتری که با رینگ بالانس میشود.

با استفاده از این مانومترها و جیوه بعنوان سیال مانومتر می‌توانیم فشارهای تا ۱/۵ بار و اگر از وسایل مخصوص استفاده کنیم فشارهای تا ۳ بار را اندازه بگیریم، همچنان فشارهای منفی یا خلأ نسبی را که در مکش پمپ‌های سانتریفوژ عملاً رخ میدهد می‌توانیم اندازه بگیریم.

برای اندازه‌گیری فشارهای بالا در پمپ‌های سانتریفوژ از مانومترهای فنی و پیستونی استفاده میشود بهترین نوع فشارسنج فنی، فشارسنج بوردون و فشارسنج دیافراگمی است. در این فشارسنجها فنر بر اثر فشار تغییر شکل پیدا میکند که این تغییر شکل بصورت چرخش عقربه نشان داده میشود DIN 1944 چاپ اکتبر ۱۹۶۸ شامل جزئیات بیشتر در باره روشهای اندازه‌گیری فشار است. بعنوان مثال مادر باره اندازه‌گیری NPSH بحث میکنیم عدد NPSH هر پمپ تحت هر شرایطی بصورت زیر محاسبه میشود. سرعت سیال در نقطه S با توجه به سطح مقطع

ورودی پمپ و دبی  $Q$  بدست می‌آید. فشار جزئی بخار آب و فشار بارومتریک  $P_B$  (در درجه حرارتی که سیال پمپاژ میشود) معلوم فرض میشود. فشار  $P_S$  در مقطع ورودی  $A_S$  توسط مانومترهای نشان داده شده در شکل ۳ تا ۱ اندازه‌گیری میشود. برای وسیله NPSH نشان داده شده در شکل ۷ ما میتوانیم بنویسیم:



شکل ۷ وسیله اندازه‌گیری

$$P_S = \rho_M \cdot g \cdot h \quad \text{یا} \quad \frac{P_S}{\rho \cdot g} = \frac{\rho_M}{\rho} h$$

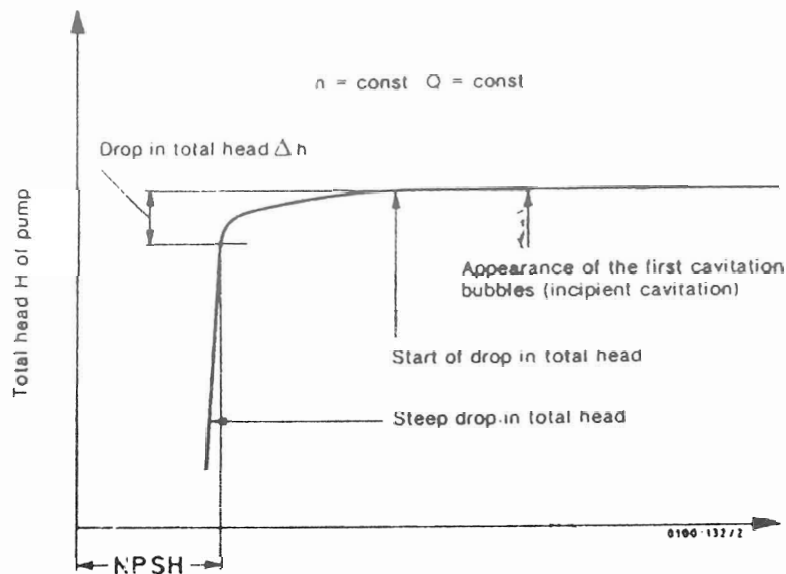
که در آن  $\rho$  دانسیته سیال عامل  $P_M$  دانسیته مایع مانومتر و  $h$  سطح ستون مایع نشان داده شده در شکل ۷ و  $g$  ثابت جاذبه.

بنابراین NPSH برابر خواهد بود با:

$$NPSH_{av} = \frac{\rho_M \cdot g \cdot h + P_b - P_D}{\rho \cdot g} + \frac{V_S^2}{2g} + Z_S$$

برای محاسبه عدد NPSH پمپ در سرعت  $V_S = C_{Te}$  مقدار  $\frac{(P_S + P_b - P_D)}{\rho g}$  با وصل یک پمپ خلاء یا تروتمه کردن قسمت مکش پمپ و یا روشهای دیگر کاهش می‌یابد و بدین ترتیب  $NPSH_{av}$  تا مقدار  $NPSH_{av} = NPSH_{req}$  (در این حالت کاویتاسیون شروع میشود) کاهش می‌یابد.

منحنی مشخصه  $NPSH_{av}$  بر حسب ارتفاع کلی برای مدار بسته، Loop tests آزمایش و رسم شده‌است با استفاده از منحنی مشخصه مقدار NPSH پمپ مربوط به هر مقدار از کاویتاسیون محاسبه میشود.



شکل ۸ منحنی مشخصه NPSH برای دبی Q و ارتفاع کلی H و سرعت دورانی n

### ۳- اندازه‌گیری دبی و سرعت

اندازه‌گیری دبی یکی از مهمترین اندازه‌گیریها در پمپهای سانتریفوژ است، از نظر فنی مهمترین روش اندازه‌گیری دبی استفاده از وسایل فشارشکن نظیر اوریفیس استاندارد، نازل استاندارد و وانتوری استاندارد است.

چیزی که بطور واقعی اندازه گرفته میشود اختلاف فشار ناشی از وسیله تروتلینگ است. جزئیات مربوطه،

اندازه‌گیری دبی توسط اختلاف فشار ناشی از تروتلینگ توسط

ISO DIS 5167, VDI Guidine, 2040, DIN 1944, DIN 1952

بدست می‌آید. این آئین نامه‌ها همچنین در مورد خطای ناشی از اندازه‌گیری بخصوص خطای حاصله از جریان توزیع نیافته در بالادست، پائین دست وسیله تروتلینگ را شرح میدهند. داده‌های عددی برای اوریفیس در نشریه‌های مربوطه داده شده است ولی این اعداد داده شده با اعداد اندازه‌گیری شده معمولاً اختلافاتی دارند که این اختلافات

$$\Delta P = 0.77 \text{ bar} = 0.77 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 0.77 \times 10^5 \text{ Pa}$$

اگر لوله U شکل بر اساس واحد طول مدرج باشد مقدار اندازه‌گیری شده  $h=581\text{mmHg}$  بدست می‌آید که اینرادر

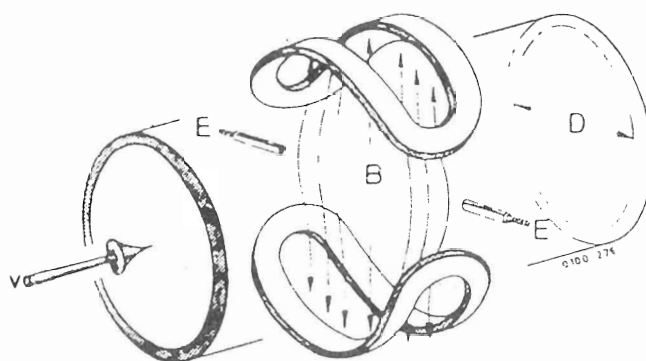
فرمول جایگزینی می‌کنیم:

$$Q = 0.7346 \times 44 \times 10^{-4} \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 13545 \times 10^{-3}} = 0.04 \text{ m}^3/\text{s} = 144 \text{ m}^3/\text{h}$$



در اندازه‌گیری دبی توسط مخزن اندازه‌گیر با استفاده از مقدار مایع ذخیره شده در مخزن در زمان معین دبی را اندازه می‌گیرند .

از میان وسایل متنوع دبی سنج نظیر ولت‌متر (وان هیدرولیکی) ، توربین متر و غیره اندازه‌گیری دبی به روش القایی IFM دارای اهمیت خاصی است . سیستم IFM ( شکل ۹) بر اساس قانون القاء فارادی ، بدون محدودیت و بدون استفاده از المان تروتلینگ است .



شکل ۹ اساس اندازه‌گیری فلومتر القایی

یک میدان مغناطیسی متناوب توسط جریانی از سیال که بطور الکتریکی هادی است قطع می‌شود . این میدان ولتاژی مثل  $E$  را که مستقیماً متناسب با دبی  $Q$  است در الکتروود القاء میکند . طی چندسال اخیر این وسیله اندازه‌گیر جای خوبی برای خود پیدا کرده است . بخاطر اینکه اساس این اندازه‌گیری مبتنی بر پروفیل جریان است باعث جایگزین شدن وسایلی نظیر وانتسوری ، اوریفیس و نازل و غیره در جریانهای کم و ضعیف در طول لوله شود .

لوله پرناتل (PRANDTL tube) معمولاً برای اندازه‌گیری فشار کلی بکار میرود با توجه به ایندوسیله رابطهای بین فشار دینامیکی و استاتیکی در جریان پایدار که همان معادله برنولی است بدست می‌آوریم .

#### ۴- اندازه‌گیری قدرت

قدرت مکانیکی ماشینهای دوار معمولاً با اندازه‌گیری گشتاور و سرعت چرخشی توسط دو وسیله اندازه‌گیر جدا از هم محاسبه میشود . البته باید یادآور شویم سیستم‌های اندازه‌گیری با یک خروجی متغیر که تواماً گشتاور و

سرعت چرخشی را اندازه بگیرد وجود دارد. بدین منظور از شفت اندازه‌گیر یا شفتی که رویش وسیله اندازه‌گیر تغییر طول سیمی (WSG) نصب شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر اندازه‌گیری شده براساس زاویهٔ پیچشی یا تغییر طول خطی (که با محور شفت زاویه  $45^\circ$  میسازد) است.

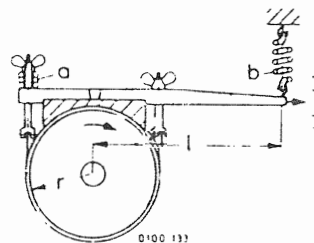
شفتی که مورد آزمایش قرار می‌گیرد از تاثیرات تعاضات حاصله ضرر می‌بیند، برای جلوگیری از این ضرر و یا هر نوع تغییر فیزیکی شفت مورد آزمایش ۴ تا (WSG) بطور مستقیم روی شفت مورد آزمایش نصب می‌شود. صنعت اندازه‌گیری علمی توسعه یافته و چندین راه‌حل برای مسئله انتقال ولتاژ تغذیه سیگنال و سیگنال اندازه‌گیری بین استاتور و روتور یک ماشین بدست آورده، مادر اینجا فقط انتقال رینگ لغزشی، تغییر شکل و انتقال ظرفیتی را یادآور می‌شویم.

یک روش جذبی مخصوص هست که در آن تغییر مقاومت WSG باعث تغییر فرکانس در یک مدار نوسان ساز میشود. سیگنال فرکانسی که بدین ترتیب بدست می‌آید با آسانی با تغییر شکل دادن منتقل میشود. روی میز اندازه‌گیر ممان عکس‌العمل موتور محرک را با استفاده از یک ماشین تولید کار یا ترمز دینامومتری اندازه‌میگیرند. موتور روی یک وسیله اندازه‌گیر نیرو و توسط یک اهرم با طول مشخص نگهداری میشود.

وسایل دقیق‌تر دیگری که برای اندازه‌گیری گشتاور بکار میرود با جزئیات بیشتر در زیر شرح داده شده.

ترمز پرانی:

دارای ترمز اصطکاکی که ساده‌ترین وسیله اندازه‌گیر گشتاور است (شکل ۱۰) اهرم ترمز با طول مشخص جهت متعادل کردن بکار میرود، ترمزهای کفشکی برای قدرتهای کم کافیسست اما برای قدرتهای زیاد از ترمزهای نواری یا ترمزهای مایع (Fluid brake) استفاده میشود زیرا گرمای موضعی زیاد تولید میشود. دینامومترهای پیچشی وسایل مکانیکی هستند که بین موتور و ماشینی که تولید کار میکند نصب میشوند تا قدرت را منتقل کنند. همزمان با آن گشتاور را اندازه‌میگیرند. دینامومترهای پیچشی که گشتاور را اندازه‌میگیرند دارای میله‌های با سم میله پیچشی هستند که، زاویهٔ پیچش در طول معینی از شفت را اندازه‌میگیرند.

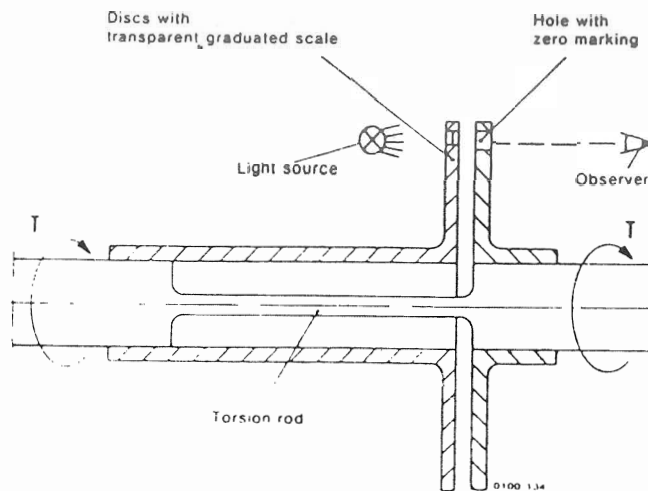


شکل ۱۰ ترمز اصطکاکی، پرانی

(a) فر  
(b) فر متعادل کننده

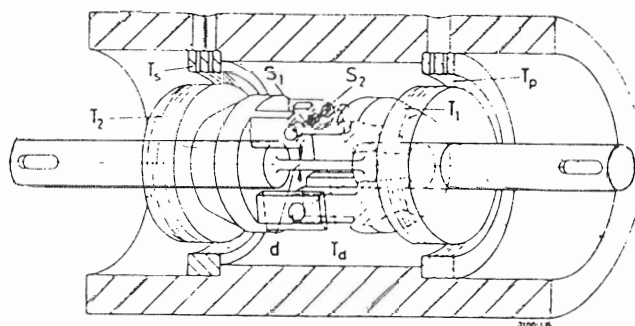
میلۀ پیچشی :

طولی از شفت که قابلیت پیچشی دارد و در محل مناسبی بین موتور و پمپ سانتریفوژ نصب گردیده است (شکل ۱۱) .



شکل ۱۱ میلۀ پیچشی

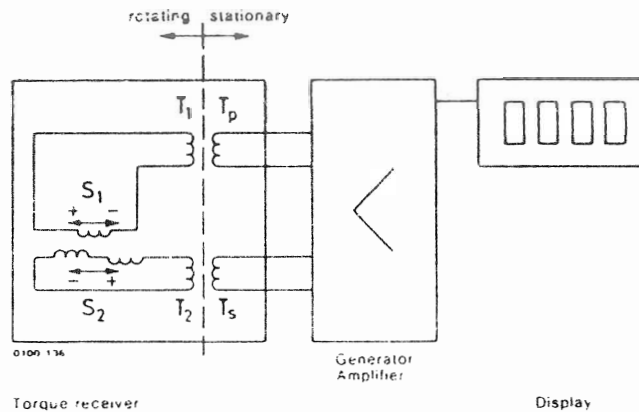
در قسمت انتهائی میلۀ پیچشی دودیسک قرار دارد ، در اثر گشتاور  $T$  دودیسک نسبت به هم پیچیده می شوند زاویه پیچش اندازه گشتاور  $T$  است ، این زاویه را بکمک چراغ استروبوسکوپی می خوانیم . وسیله اندازه گیر گشتاور بکمک میلۀ پیچشی در شکل ۱۲ نشان داده شده . سیستم های متنوع الکترونیکی برای انتقال سیگنال بکار میروند . مشکل اساسی انتقال سیگنال از روتور به استاتور است .



شکل ۱۲ تویی گشتاورسنج

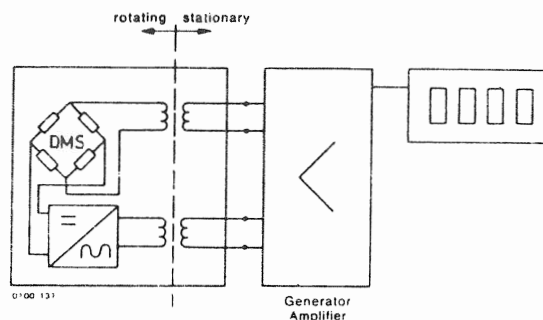
دراوائل از رینگ لغزشی استفاده می کردند اما بعلت خمش متناوب می شکست ، ولی امروزه سیستم اندازه گیری بسیار دقیق دارای سیستم انتقالی بدون برخورد استفاده میشود .

پرسپکتیو توپی گشتاور سنج در شکل ۱۲ مشخص شده است، کوپل یا سیم پیچی  $S_1$  که با سیم پیچی  $S_2$  مرتبط است با پیچاندن میله‌اندازه‌گیر با اندازه  $T_d$  تغییر مکان می‌یابد و این باعث تغییر کوپل میگردد. ولتاژ تغذیه از طریق ترانسفورماتور  $T_1/T_p$  در کوپل  $S_1$  ذخیره میشود و با خاصیت القائی به کوپل  $S_2$  منتقل میشود. سیگنال تولید شده در کوپل  $S_2$  از طریق ترانسفورماتور  $T_2/T_s$  به سسپله‌اندازه‌گیر هدایت میشود. نحوه قرارگیری در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۳ اندازه‌گیری زاویه پیچشی براساس خاصیت القائی

در سیستم‌های دیگر از تغییر مقاومت یک یا چند (WSG) نصب شده روی شفت استفاده میشود (شکل ۱۴) آمپلی فایر برای تقویت سیگنال اندازه‌گیری شده بکار میرود.



شکل ۱۴ اندازه‌گیری زاویه پیچشی براساس تغییر طول سیمی (WSG)

ترکمر هیدرواستاتیکی شامل دو قسمت است:

- ۱- چرخ پره دار
- ۲- محفظه چرخ

که چرخ داخل محفظه لولا شده است. جریان روغن داخل کوپل متر تحت تاثیر گشتاور قرار میگیرد. بدینصورت

که یک فشاری متناسب با گشتاور ایجاد شده توسط روغن بوجود می‌آید که میتوان فشار و از روی آن گشتاور را اندازه گرفت. برای اینکه قدرت الکتریکی را درست اندازه بگیریم بایستی نکات زیر را رعایت کنیم (مراجعه به جدول)

- در مورد جریان d.c. ولتاژ u و جریان j توسط ولت‌متر و آمپر متر اندازه‌گیری میشود.
- در مورد جریان تک‌فاز a.c. اندازه‌گیری قدرت الکتریکی توسط وات‌متر انجام میگردد.
- در مورد جریان سه‌فاز، اندازه‌گیری قدرت جزئی  $P_{W2}$  و  $P_{W1}$  توسط دو وات‌متر که در قسمت بالائی شکل ۱۵ مشخص شده انجام میگردد.

لازم به یادآوری است که قدرت کل برابر  $P_W = P_{W1} + P_{W2}$  است، روش دو وات‌متر میتواند همیشه مورد استفاده قرار گیرد حتی موقعی که فازها بصورت نامتعادل بار داشته باشند و یا قدرت متغیر باشد. اگر قدرت ثابت بماند قدرت  $P_{W2}$  و  $P_{W1}$  را توسط یک وات‌متر اندازه بگیرند. اگر ضریب قدرت کمتر از ۰/۵ باشد عقربه‌یکی از وات‌مترها بطرف منفی منحرف میشود. در اینصورت بایستی جهت ولتاژ را عوض کنیم و عددی که قرائت میکنیم اختلاف دو قدرت را نشان میدهد.

$$P_W = P_{W1} - P_{W2}$$

$$\cos \phi = 0.5 \implies P_{W1} = 0 \quad \text{برای}$$

$$\cos \phi = 0.866 \implies P_{W1} = 0.5 P_{W2} \quad \text{برای}$$

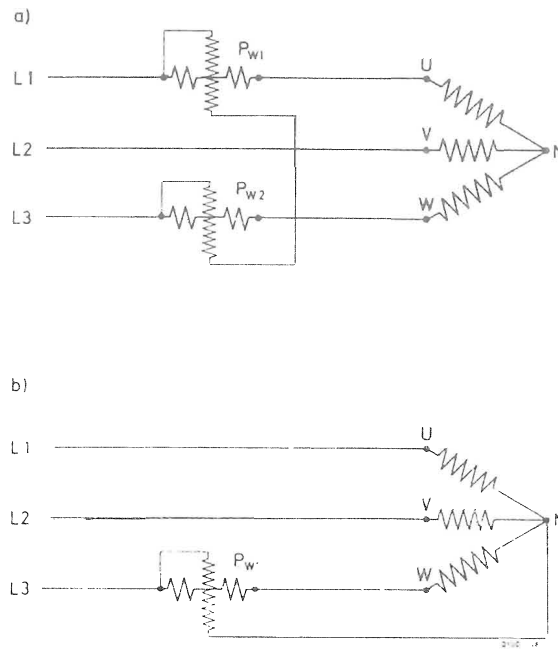
$$\cos \phi = 1.0 \implies P_{W1} = P_{W2} \quad \text{برای}$$

اگر اتصال موتور بصورت ستاره باشد و بار بصورت متعادل در فازها تقسیم شود در این حالت کافی است که یکی از قدرتهای جزئی  $P_W$  را اندازه بگیریم (شکل ۱۵-b) قدرت الکتریکی کل در این حالت برابر  $P_W = 3P_{W1}$  است، عوض استفاده از وات‌متر تک‌المان می‌توانیم از وات‌متر با سه المان اندازه‌گیری استفاده کنیم، این وات‌مترها قدرت کلی را یکجا نشان میدهند و مزیتش اینست که نوسان قدرت را جبران میکند ولی در وات‌متر تک‌انحراف و تغییرات یک فاز را نشان میدهد. معادلات لازم برای محاسبه قدرت الکتریکی بر حسب کیلووات در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول قدرت موتور الکتریکی

Nature of current	absorbed electric power in kW	power output in kW
d.c.	$P_W = \frac{U \cdot J}{1000}$	$P_M = \frac{U \cdot J \cdot \eta_M}{1000}$
a.c.	$P_W = \frac{U \cdot J \cdot \cos \phi}{1000}$	$P_M = \frac{U \cdot J \cdot \cos \phi \cdot \eta_M}{1000}$
3-Phase current	$P_W = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot J \cdot \cos \phi}{1000}$	$P_M = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot J \cdot \cos \phi \cdot \eta_M}{1000}$

- U ولتاژ بر حسب ولت
- J جریان بر حسب آمپر
- $\eta_M$  راندمان موتور
- $\cos \phi$  ضریب قدرت



شکل ۱۵ اندازه‌گیری قدرت در مورد جریان سه فاز در مورد بارهای متعادل

### ۵- اندازه‌گیری سرعت دورانی پمپها

سرعت دورانی پمپها معمولاً "بطرق زیر اندازه‌گیری میشود:

- (a) سرعت سنج القائی الکترومغناطیسی که ولتاژ متناسب با سرعت تولید میکند.
- (b) تاکومتر دستی که براساس جریان eddy کار میکند (از تاکومتر دستی در انتهای شفت موتور یا پمپ استفاده میشود).
- (c) شمارنده الکترونیکی (وقتی احتیاج به دقت بالائی باشد) که در آن پالسهای متناسب با سرعت پمپ بدون کنتاکت فیزیکی انتقال می‌یابد (بصورت نوری یا مغناطیسی).
- (d) تاکومترهایی که براساس فرکانس ارتعاشی کار میکنند که روی بدنه ماشین یا روی لوله‌ها نصب میشود.
- (e) لغزش سنجش (کوئل لغزشی یا سوزن مغناطیسی لغزشی که در یک فاصله مشخصی از موتور روی محور قرار دارد).

در اندازه‌گیری سرعت دورانی بروش الکتریکی از مولد اندازه‌گیر c. a. یا از انتقال دهنده ایمپالس دورانی (پالسهای نوری یا القائی) بعنوان انتقال دهنده سرعت دورانی استفاده میشود.

در روش اندازه‌گیر سرعت دورانی با استفاده از مولد اندازه‌گیر c. a. بایستی یادآور شویم که مقدار اندازه‌گیری شده توسط تعدادی ولت‌متر انجام میشود و بعد از متوسط‌گیری مورد استفاده قرار میگیرد. از این روش برای

نشان دادن سرعت‌های دورانی متغیر استفاده میکنند .

در مورد روش ایمپالس تعداد پالسهای دورانی در واحد زمان یا زمان یک ایمپالس توسط یک شمارنده الکترونیکی شمرده میشود . این روش بخاطر شمارش بصورت دیجیتالی خیلی دقیق است بزرگترین مزیت این روش اینست که بدون کنتاکت و فعل و انفعال داخلی کار میکند .

#### ع-اندازه‌گیری دما

در پمپهای سانتریفوژ از ترمومترهایی استفاده میکنند که معروف به ترمومترهای کنتاکتی است که اساس کارش برخورد مستقیم یک رسانا با درجه حرارت دریافتی و اندازه‌گیری آن است . ترمومترهای کنتاکتی خوب شامل ترمومترهای مایعی ، ترمومترهای مقاومتی ، ترموکوپلها است .

آئیننامه‌های مربوط به اینها عبارتند از VDE/VDI 3511 و DIN 16160 2  
و غیره است . روش اندازه‌گیری دما از یک طرف مربوط به دامنه تغییرات دما (شکل ۱۶) و از طرف دیگر مربوط به شرایط نصب ، دقت کار ، نوسانات دمای اندازه‌گیری شده و سیکنال انتقالی است .

#### ۷-اندازه‌گیری صدا (نویز)

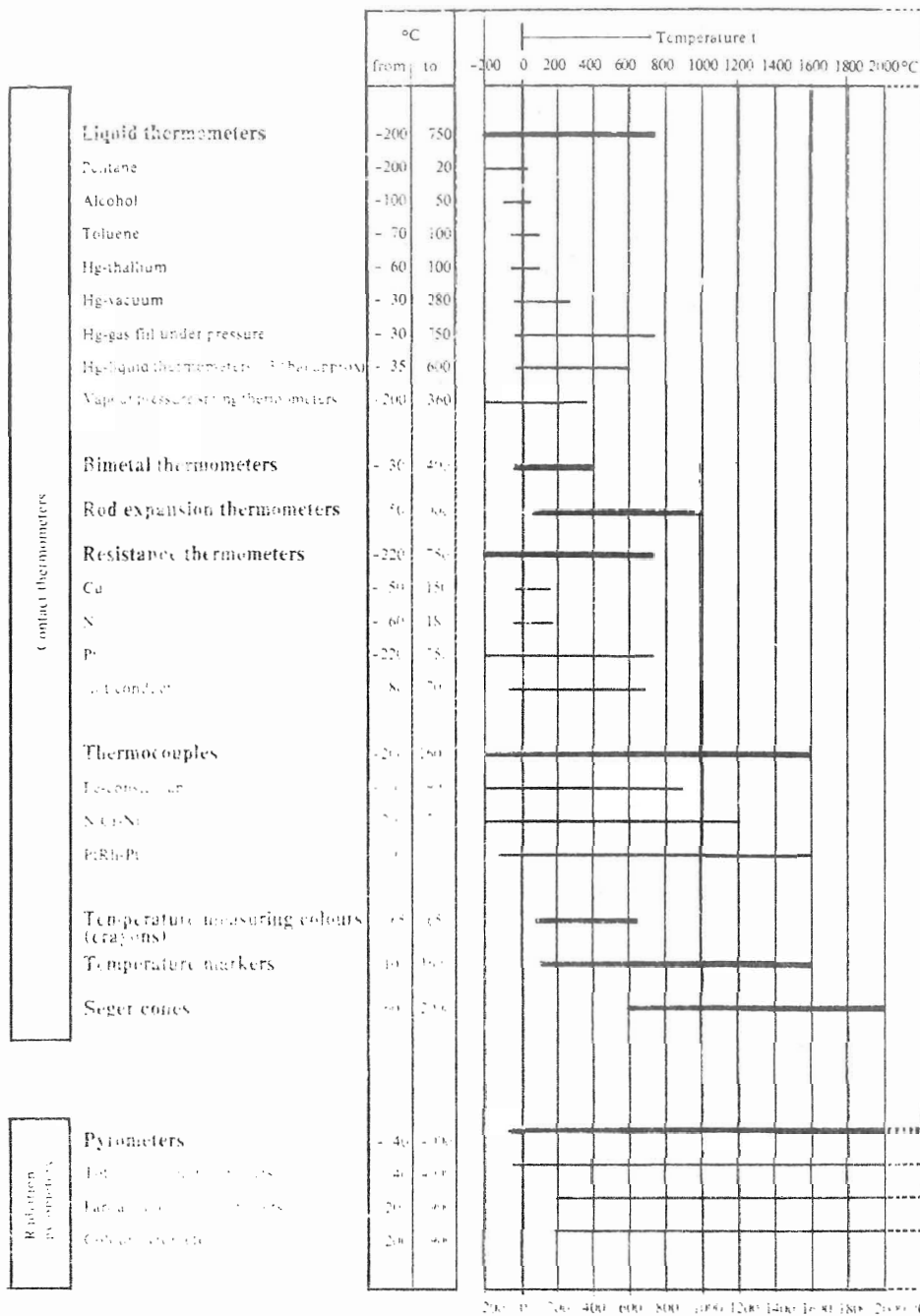
اندازه‌گیری صدای ماشین مطابق با DIN 45635 انجام میگردد ، این استاندارد شامل یک دسته قواعد عمومی برای اندازه‌گیری است (قسمت ۱) و همچنین برای هر ماشین مخصوص قواعد بخصوصی دارد (مثلاً "برای پمپهای سانتریفوژ - قسمت ۲۴) .

DIN 45635 شرایط اولیه برای محاسبه صدای صادر شده به هوای اطراف توسط پمپ سانتریفوژ را دربر دارد ، (قسمت ۲۴) کلیه پمپهای مایعات را دربرمیگیرد (پمپ سانتریفوژ - پمپ رفت و برگشتی ، پمپ نورانی ، سیفونهای مخلوط گاز - تلمبه‌های هیدرولیکی ، بالابرها) .  
مفاهیم زیر در تکنولوژی اندازه‌گیری صدا بکار میرود .

a) مقدار فشار صدا  $IP_A$  و مقدار فشار ضربه‌ای صدا  $LPAI$  که توسط ماشین تولید میشود . مقدار فشار صدا بر حسب dB توسط وسیله اندازه‌گیر مطابق با قسمت اول DIN 45633 اندازه‌گیری میشود ، مقدار فشار ضربه‌ای صدا با استفاده از وسیله اندازه‌گیر مطابق قسمت دوم DIN 45635 اندازه‌گیری میشود .

b) اندازه‌گیری مقدار متوسط صدا عبارتست از مقدار فشار متوسط اندازه‌گیری شده در کل سطح S میباشد و موقعی احتیاج به  $\overline{LPA}$  خواهیم داشت که تاثیر صداهای خارجی و اثر متقابل آن ضروری باشد .

c) مقدار قدرت صدا  $LWA$  ، مقدار کل صدای صادر شده از ماشین به هوای اطراف همان قدرت صدا  $LWA$



شکل ۱۶ انتخاب ترمومتر برحسب دامنه تغییرات دما

است که برحسب dB اندازه‌گیری میشود. قدرت صدا مطابق DIN استاندارد طراحی میشود.

d) سطح اندازه‌گیری: سطح اندازه‌گیری عبارتست از یک سطح فرضی که ماشین را محاصره کرده و نقطه

اندازه‌گیری روی آن مشخص شده باشد.

e) دیمانسیون سطح اندازه‌گیری: بخاطر اینکه سطح مورد اندازه‌گیری S فقط در معادله لگاریتمی استفاده



می شود بخاطر آن مستقیماً" برحسب  $m^2$  داده نمی شود بلکه بصورت دیمانسیون سطح اندازه گیری  $S_0$   $LS=10LgS/S_0$  که  $S_0 = 1m^2$  برحسب dB است .

f) طیف صدا: طیف صدا چگونگی توزیع صدا در محدوده فرکانسی مورد نظر است، برای این منظور مقدار فشار صدا یا مقدار قدرت صدا در باندهای متوالی فرکانسی محاسبه میگردد .

g) وسیله اندازه گیری صدا: مقدار فشار صدا LPA بایستی با کمک وسیله اندازه گیری صدای دقیق مطابق با قسمت اول DIN 45633 یا با کمک وسیله اندازه گیری فشار ضربه ای صدا مطابق با قسمت دوم DIN 45633 اندازه گیری میشود .

h) تست وسایل اندازه گیری: قبل از هر سری اندازه گیری صداسنج بایستی توسط دستگاه تست آزمایش شود . تست بایستی هر مدت یکبار بخاطر دقیق بودن اندازه گیری انجام گیرد . وسایل اندازه گیری دقیق صوت بایستی هر دو سال یکبار بطور رسمی تست شود .

سطح اندازه گیری S ممکن است مطابق فرمول زیر محاسبه گردد:  $S = 4(ab + ac + bc)$

که a طول ماشین + ۵/۰ برابر فاصله اندازه گیری

b عرض ماشین + ۵/۰ برابر فاصله اندازه گیری

c ارتفاع ماشین + ۵/۰ برابر فاصله اندازه گیری

دیمانسیون سطح اندازه گیری  $LS$  برحسب dB با توجه به سطح اندازه گیری محاسبه میشود

$$L_S = 10Lg \frac{4(ab + bc + ac)}{S_0}$$

که  $S_0 = 1m^2$  میباشد .

منابع:

- 1- Lexicon PUMP KSB
- 2- Instrumentation maval MIR Pvblisher
- 3- Measvre Ment. in electronic's