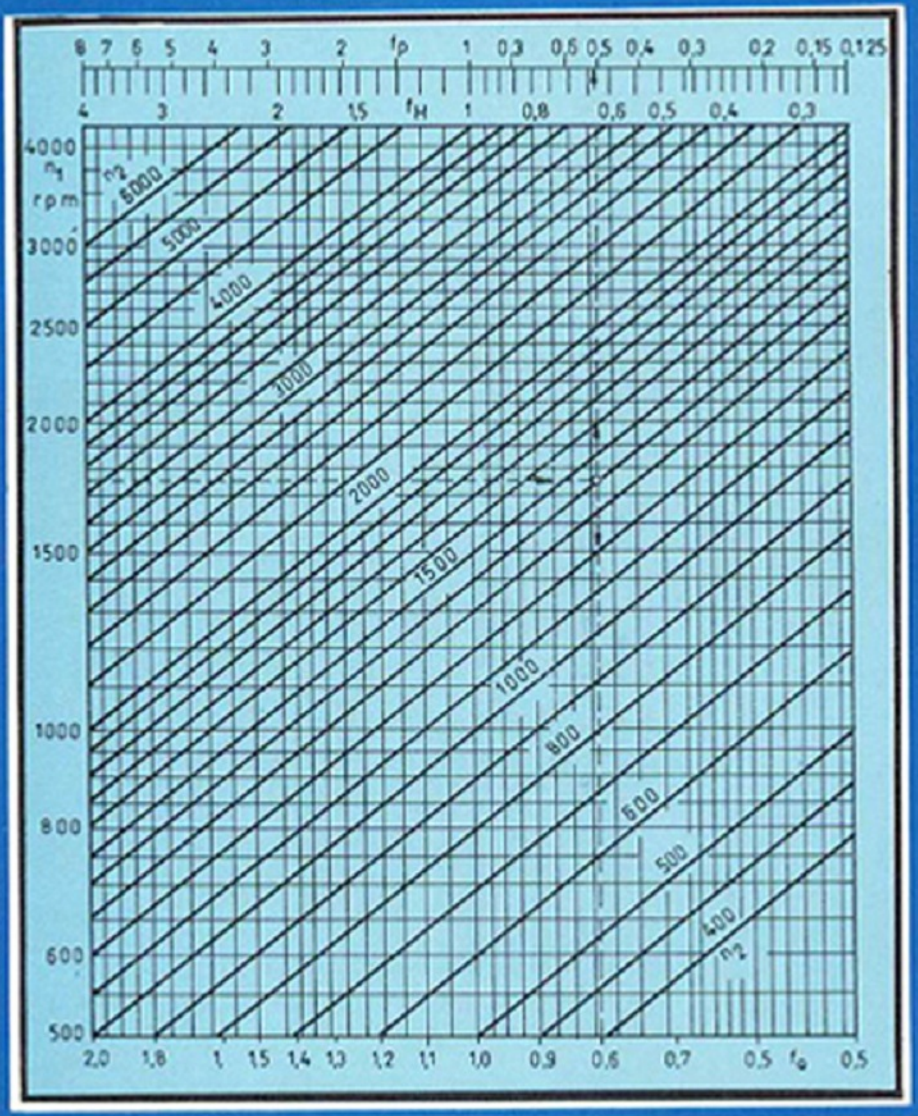
پمپ
۱۳



پمپیران «شرکت سهامی خاص»

نشریه فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپ سازی ایران

اردیبهشت ۷۰

نشریه پمپ
نشریهٔ فنی و آموزشی شرکت صنایع پمپ سازی ایران
هئت تحریریه: گروه مهندسین و متخصصین شرکت صنایع پمپ سازی ایران
مدیر مسئول: مهندس میر بیوک احقاقی

نشانی نشریه:
تبریز: قراملک مجتمع ماشین سازی تبریز - صندوق پستی ۱۳۵ - ۵۱۸ شرکت صنایع پمپ سازی ایران دفتر فنی،
تلفن ۹ - ۴۸۰۵۶
تهران: خیابان ولیعصر، نبش میرداماد، برج های اسکان، برج ب، طبقه ت، تلفن ۴۲۷۸۹۴۳

بسمه تعالیٰ

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 حتی‌المقدور بایستی ماشین شده باشند.

٤ - 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 - چکیدهٔ مقاله نباید از حدود یک صفحه A٤ تجاوز نماید و بایستی حاوی نکات اصلی و نتایج مقاله باشد بطوریکه بتوان آن را جداگانه چاپ نمود.

٦ - در پایان مقاله لازم است که نتایج و فهرست منابع مورد استفاده ذکر گردد.

ضمناً چون مسئولیت صحت مطالب مقاله بعهده نویسندهٔ آن است، لذا هر گونه تغییر و ویرایش در متن مقاله جهت تائید نویسنده قبل از چاپ ارسال خواهد شد.

بسمه تعالی

فرم اشتراک نشریه پمپ

اینجانب..... شغل و نوع فعالیت اداری و علمی.....بنشانی (لطفاً آدرس کامل و دقیق قید شود).....مایل به اشتراک نشریه پمپ می‌باشم و رسید بانکی پرداخت مبلغ ۱٦۰۰ ریال حق اشتراک یکساله را:

در تبریز بحساب شماره ۵۰۰۵ بانک ملت شعبه مرکزی

---------- بضمیمه

ارسال می‌نمایم، تقاضا دارم از شمارهٔ.....نشریه پمپ، بنشانی فوق ارسال گردد.

امضاء

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

فهرست مطالب

عنوان	نویسنده	صفحه
کوپلینگ	غلامرضا داداش‌زاده افخم	۵
آببندی پروانه SEALING THE IMPELLER	مهندس ابوالحسن زمانی	۲۱
پلاستیکهای صنعتی و کاربرد آنها درصنعت پمپ‌سازی	مهندس کریم حسن‌پور مقدم	۲۵
کاربرد مواد کربنی گرافیتی بعنوان یاتاقان	مهندس جواد حسین پور فیضی	۳۹

شرح روی جلد

برای تعیین مشخصات دبی و هد برحسب ارتفاع سیّال و قدرت مصرفی در دوره‌های مختلف برای یک پمپ از روابط زیر استفاده می کنند.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\left(\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

با استفاده از دیاگرام روی جلد، نتایج محاسبات معادلات فوق را بصورت آسانتری می‌توان بدست آورد.
بعنوان مثال: اگر دور پمپ از 1750rpm به 1400rpm کاهش پیدا کند در اینصورت خواهیم داشت:

$n_1 = 1750rpm$
$n_2 = 1400rpm$
$Q_2 = 0/8\ Q_1$
$H_2 = 0/64\ H_1$
$P_2 = 0/51\ P_1$

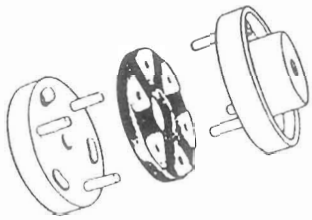
کوپلینگ

غلامرضا دادش‌زاده افخم

چکیده: برای انتقال نیروی گشتاوری از محرک به متحرک از وسیله‌ای بنام کوپلینگ استفاده میشود و از آنجائیکه کاربرد اولیهٔ کوپلینگ در صنایع پمپ‌سازی بکار گرفته شده است در این مقاله نیز سعی شده محور اصلی بحث را کوپلاژ الکتروموتور یا موتور دیزل با پمپ قرار دهیم. بنابر این در مورد مراحل مختلف عملیات کوپلاژ از قبیل فونداسیون، ساخت شاسی، انتخاب کوپلینگ مناسب، طراحی کوپلینگ، انواع کوپلینگ‌ها و کاربرد آنها در نصب یک مجموعه توضیحاتی داده خواهد شد.

پیشگفتار: کاربرد انواع کوپلینگ‌ها نیاز به آگاهی و داشتن اطلاعات کافی از مکانیزم و شرایط کار آنها دارد و برای هر نوع محرک و متحرک با در نظر گرفتن کیفیت کارشان کوپلینگ مناسبی طراحی و ساخته میشود. خواص مکانیکی و فیزیکی کوپلینگ‌ها توسط سازندگان و تولید کنندگان تعیین و مشخص گردیده و در دسترس مصرف کنندگان قرار میگیرد مصرف کننده با توجه به ماشین محرک و متحرک و با در نظر گرفتن پارامترهائی مانند نیروی گشتاور، حرارت حاصله، انبساط طولی محوری و انحرافات شعاعی و زاویهٔ محوری، نوسانات و ضربات حاصله از استارت (Start) و استاپ (Stop)، کوپلینگ مربوطه را محاسبه و انتخاب مینماید. در پمپهای گریز از مرکز که با الکتروموتور کوپله میگردد، اغلب از کوپلینگهای ساده و قابل انعطاف استفاده میشود. ولی در پمپهائیکه توسط موتورهای احتراق داخلی کار میکنند لازم است موتور بدون درگیری با پمپ راه‌اندازی شده و پس از گرم شدن موتور، کوپلینگ به آرامی درگیر شده و پمپ را به حرکت در آورد. بنابر این مشخص است برای موتور دیزل، کوپلینگ بخصوصی مورد نیاز است که بایستی مطابق مکانیزم موتور دیزل طراحی و ساخته شود. بدین جهت عامل اصلی انتخاب و کاربرد کوپلینگ بستگی زیاد به مشخصات ماشین محرک داشته و این امر در جداول ارائه شده از طرف تولید کنندگان کاملاً مشخص میباشد. همچنین بعلت حفظ هم محوری دائمی بین ماشین محرک و متحرک رعایت پارامترهای اولیه نصب مانند طراحی و ساخت فونداسیون و شاسی مناسب جهت خنثی کردن نیروهای وارده مورد نیاز می‌باشد تا ماشین کوپله شده با کیفیت بالا در مدت زمان تعیین شده بکار خود ادامه دهد. بنابر این اشارهٔ مختصری به آنها کرده و به بحث خود ادامه می‌دهیم.

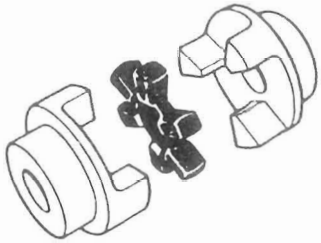
جهت معرفی انواع کوپلینگها آنها را به سه گروه تقسیم کرده و هر گروه بطور مجزا مورد مطالعه و بررسی قرار میگیرد. ۱ - کوپلینگهای قابل انعطاف (Flexiable). ۲ - کوپلینگهای غیر قابل انعطاف. ۳ - کوپلینگهای اتوماتیک یا قابل کنترل.



کوپلینگ انعطاف پذیر صفحه‌ای

38hp تا 5800RPM

700hp تا 1800RPM



کوپلینگ انعطاف پذیر چنگالی

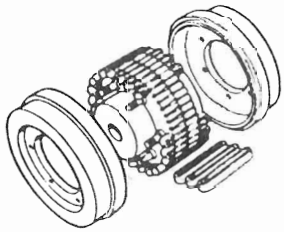
1/4hp تا 11000RPM

12/8hp تا 4000RPM

کوپلینگ انعطاف پذیر پینی

198hp تا 6200RPM

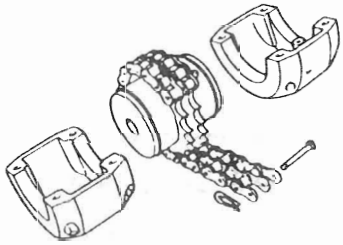
9400hp تا 420RPM



کوپلینگ فنری با درپوپ فلانجی

173hp تا 2/700RPM

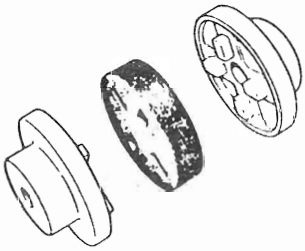
9600hp تا 300RPM



کوپلینگ زنجیری

27hp تا 7000RPM

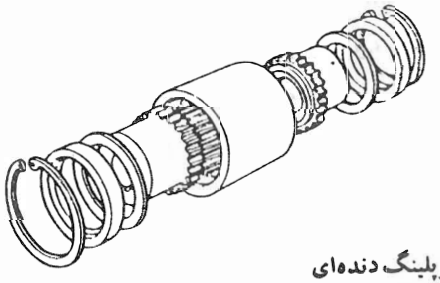
2500 تا 750RPM



کوپلینگ انعطاف پذیر صفحه‌ای

6/4hp تا 5000RPM

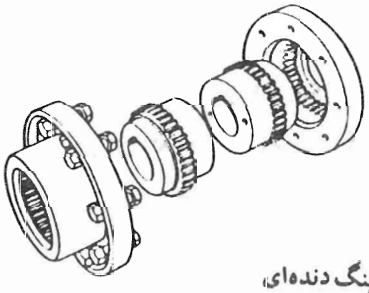
17/3hp تا 2/700RPm



کوپلینگ دنده‌ای

192hp تا 10000RPM

19/976hp تا 3900RPM



کوپلینگ دنده‌ای

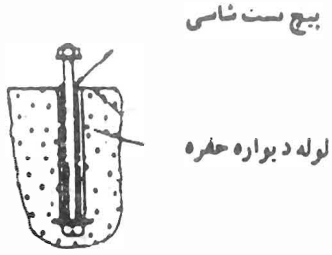
211hp تا 11000RPM

90200hp تا 270RPM

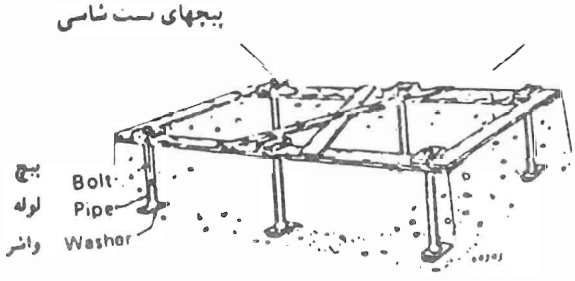
انواع کوپلینگهای انعطاف پذیر با نمونهٔ نیروی انتقالی

فونداسیون: جهت ثابت و محکم نگهداشتن ماشین در مقابل نیروهائیکه موجب انحراف هم محوری میگردد آن را روی فونداسیونی که نسبت به ابعاد، وزن و نیروهای گشتاوری محاسبه و ساخته شده است قرار داده و با پیچ و مهره مهار میکنند. فونداسیون ممکن است از سیمان یا سنگریزه و یا از مواد سبک ریخته شود که در این صورت بتون را توسط میل گرد یا تسمه‌های فولادی مسلح کرده و جای پیچهای شاسی را که تعداد و اندازهٔ آنها قبلاً محاسبه و تعیین شده است بصورت حفرهٔ مطابق شکل

محل پیچهای بست شاسی که در فونداسیون بایستی در نظر گرفته شود.



این قسمت هم ردیف شاسی قرار می گیرد.



اسکلت بندی فونداسیون و لوله‌های حفره پیچهای فونداسیون

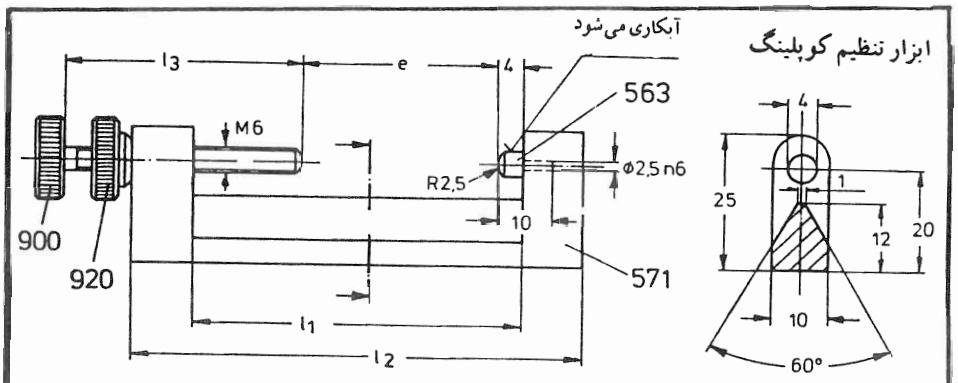
در اسکلت‌بندی جاسازی میکنند تا بعد از عملیات ریختن بتون، پیچهای مربوطه را با شاسی در حفره‌های تعیین شده قرار داده تا برای عملیات بعدی آماده شود. قبل از نصب شاسی، فونداسیون بایستی کاملاً خشک شده و بتواند در مقابل گشتاور پیچشی، نیروهای اینرسی، نیروهای جانبی مثل تنش‌های وارده از طرف لولهٔ مکش و رانش و سیال پمپ‌شونده مقاومت نماید.

ماشینهای رفت و برگشتی (Reciprocating) دارای نیروهای اینرسی با پریود مساوی با سرعت ماشین و یا ضریبی از سرعت ماشین می‌باشند که به فونداسیون انتقال یافته و یا مانند انرژی ارتعاشی به زمین منتقل میشود. بدین جهت فونداسیون این ماشین‌ها باید سنگین بوده و اگر نیاز باشد بایستی آنها را با ماده‌ای که قابلیت جذب ارتعاشات را داشته باشد از زمین ایزوله کرد. در صورتیکه اگر ماشینهای دورانی بدقت تنظیم و هم محور گردیده و بطور یکنواخت بالانس دینامیکی شده باشند هیچگونه نیروی اینرسی نامتعادل محسوسی اتفاق نمی‌افتد و ماشین بطور یکنواخت کار میکند.

شاسی: فاکتورهای اولیه برای محاسبه و تهیهٔ شاسی مناسب، مبتنی بر داشتن اطلاعات فنی کامل از محرک و متحرک و نیروهای جانبی که بر آنها اعمال میگردد بوده و قدرت تحمل شاسی با توجه به پارامترهای فوق محاسبه میشود. شاسی ممکن است از چدن یا از فولاد ریخته گری شده و یا از ورقهای فولادی بصورت جوشکاری شده

تهیه گردد. که در این صورت جهت استخراج ابعاد مورد نیاز ماشین محرک و متحرک را با کوپلینگهائیکه قبلاً روی آنها نصب شده است، روی یک سطح صاف مانند (صفحهٔ صافی) بصورت هم محور قرار داده و کلیهٔ ابعاد مورد نیاز را اندازه‌گیری کرده و با توجه به نیروهای وارده، ابعاد ورقهای فولادی را که ممکن است قسمتهای اصلی آنها از ناودانی و یا تیرآهن باشد انتخاب و نقشهٔ مربوطه را طراحی و سپس اقدام به ساخت آن مینمایند. در صورت بیشتر بودن نیروهای وارده بر محل نشیمن، پایه‌های محرک و متحرک را فرزکاری کرده و جای پیچهای مهار کننده را سوراخکاری و قلاویزکاری مینمایند. با توجه به اینکه هنگام تنظیم هم محوری ممکن است از ورقهای نازک فولادی استفاده گردد، بایستی سعی کرد شاسی طوری ساخته شود که حتی‌الامکان از قرار دادن ورقهای فولادی زیر پایه‌ها خودداری گردد. زیرا ورقهای تنظیم در اثر ارتعاشات و ضربات حاصله ممکن است از جای خود خارج شده موجب انحرافات هم محوری گشته و خساراتی را به دستگاه وارد آورد. برای تنظیم هم محوری در صورت کم بودن نیروهای گشتاوری، وزن، دور و حرارت از ابزارهای ساده استفاده می‌شود.

شکل«۳»

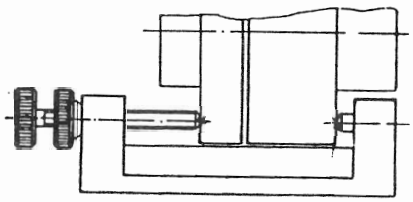


ابزار تنظیم کننده، برای اندازه اسمی ۴۰ - ۳۰ = e (محدوده تنظیم از ۴۸ تا ۳۰ میلیمتر)

اندازه قابل تنظیم e	l_1	l_2	l_3	اندازه قطعات 571 ZN 3221	563 ZN 3221	900 DIN 653	920 DIN 467
28 - 38	45	69	35	28 - 38	4 x 10	M 6 x 35	M 6
30 - 48	56	80	45	30 - 48		M 6 x 45	
45 - 63	71	95	45	45 - 63			
63 - 80	90	114	45	63 - 80			
75 - 100	112	136	60	75 - 100		M 6 x 60	
100 - 130	140	165	60	100 - 130			

جدول تنظیم ابزار به اندازهٔ اسمی کوپلینگ

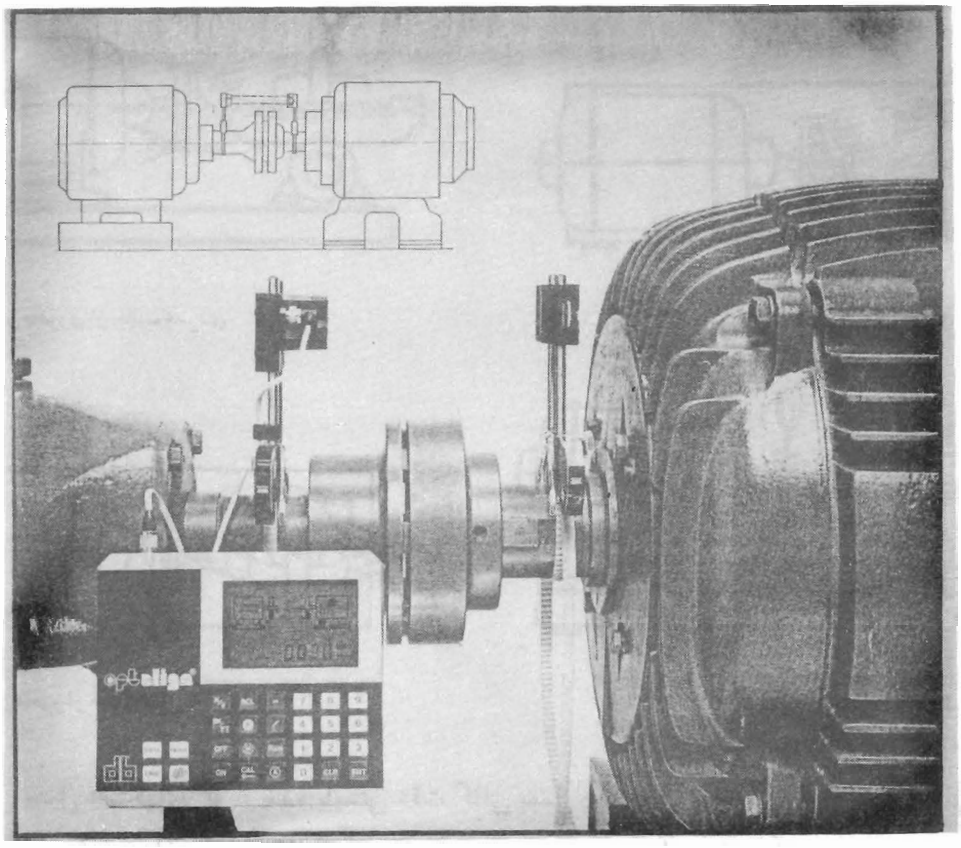
اندازه‌اسمی ابزار	اندازهٔ اسمی کوپلینگ	کوپلینگ
28 - 38	N 68 bis N 95	
30 - 48	N 110 und N 125	N-H 80 und 95
45 - 63	N 140 bis N 180	N-H 110 und 125
63 - 80	N 200	N-H 140 bis 180
75 - 100	N 225	N-H 200 bis 250
100 - 130	N 250 und N 280	

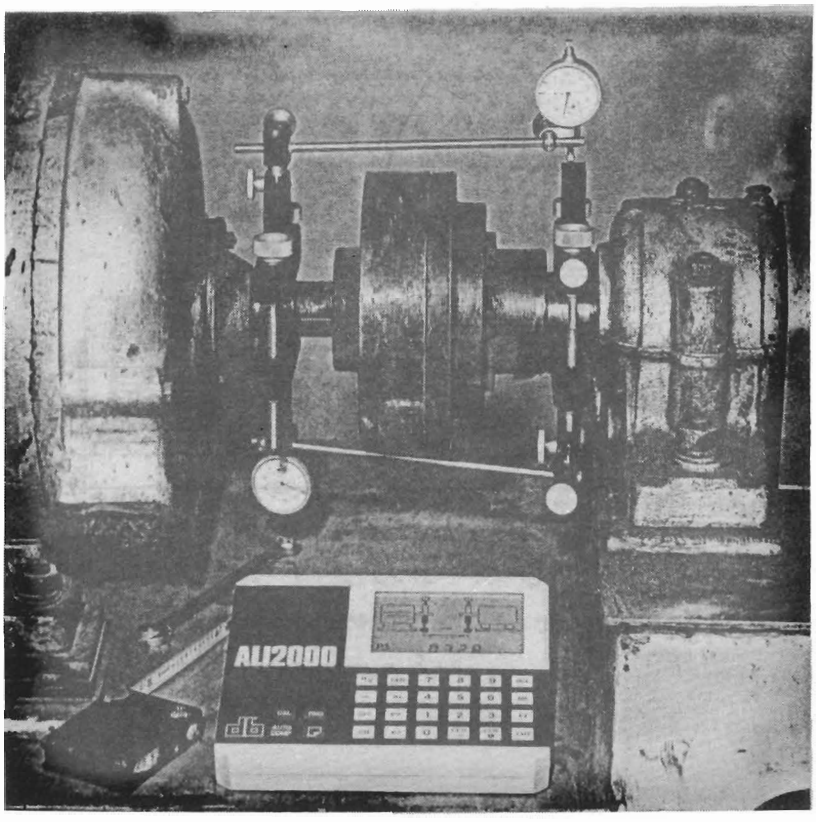


طرز استعمال ابزار جهت تنظیم کوپلینگ که در حین گرداندن کوپلینگ، نقاط مختلف آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ولی در صورت بزرگ بودن نیروها و یا حساس بودن دستگاهها از ابزارهای پیچیده و دقیقی چون کامپیوتر استفاده میشود و هم محوری بصورت دائمی کنترل میگردد.

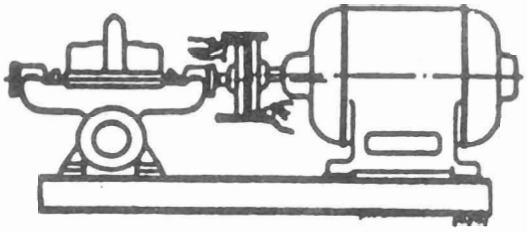
شکل «٤»



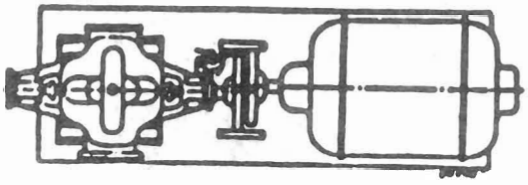


هنگامهٔ تنظیم هم‌محوری ایستی حالات مختلف انحرافات از زوایای مختلف بررسی و کنترل گردیده و انحرافات برطرف شود.

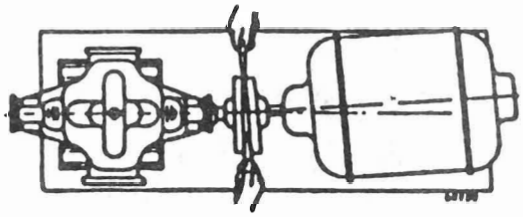
شکل «۵»



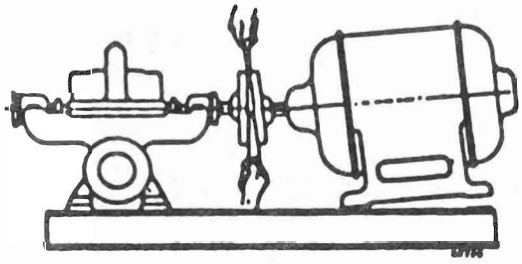
شکل a خارج از محوری از حالت عمودی



شکل b خارج از محوری ازحالت افقی



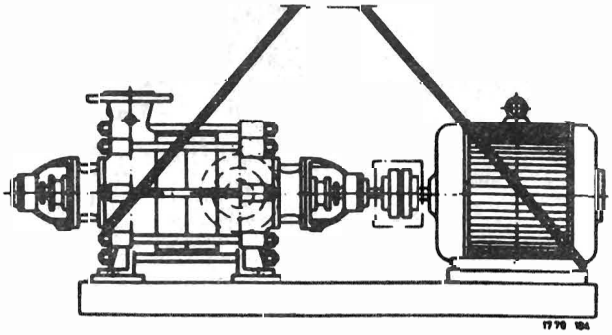
شکل c خارج از محور از حالت افقی



شکل d خارج از محوری از حالت عمودی

در حین حمل دستگهای کوپله شده بایستی دقت کافی بعمل آید تا از بروز هر گونه خسارت، و بوجود آمدن انحرافات، و قوس برداشتن شاسی جلوگیری شود. برای نمونه حمل یکدستگاه الکتروپمپ کوپله شده نشان داده میشود.

شکل «٦»

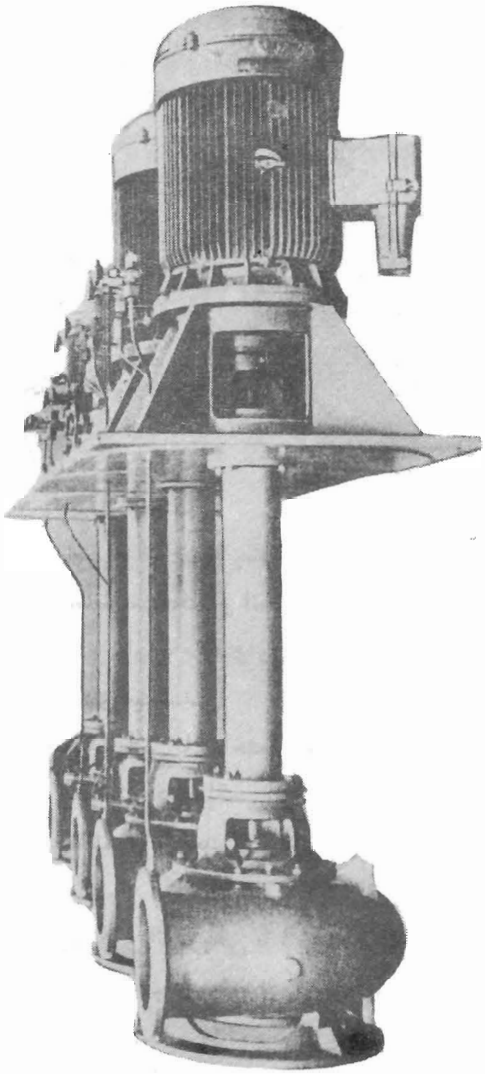


شاسی بعد از قرار گرفتن روی فونداسیون از نظر تراز بودن بررسی و کنترل میگردد. تا در صورت نیاز با قرار دادن گوه‌ای زیر آن کاملاً تراز گردد. سپس پیچهای بست را در جاپیچهائیکه قبلاً در فونداسیون پیش‌بینی شده قرار میدهند تا به اندازهٔ لازم از سوراخهای شاسی خارج گردد.

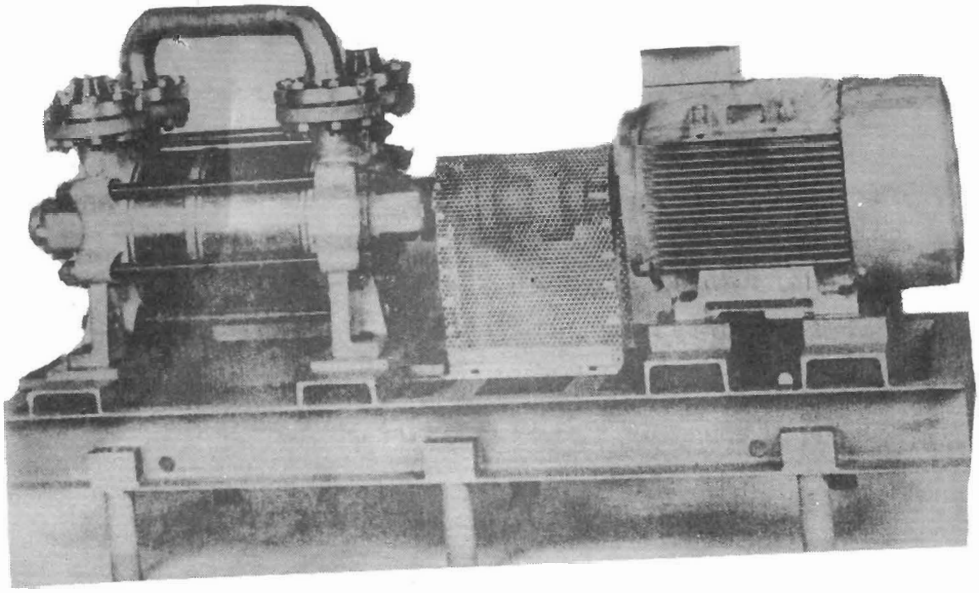
سپس پیچهاتوسط مهره‌های مربوطه نگهداری گردیده و بعد از کنترل مجموعهٔ کوپله شده، دوغاب غلیظ سیمان را در حفرهٔ پیچها و زیر شاسی و اطراف آن بطور یکنواخت ریخته و مجموعه را چند روز به همان حال رها میکنند تا سیمان کاملاً سفت و محکم گردد. بعد از اتمام عملیات، سیستم دوباره کنترل و در صورت نیاز، هم‌محوری کوپلینگ مورد بررسی قرار می گیرد.

بخاطر گران تمام شدن شاسی، زیبایی مد نظر قرار نمیگیرد ولی برای جلوگیری از ریخت و پاش آب، در شاسی‌های ریخته شده کانالهای مخصوصی جهت هدایت آب قرار داده میشود تا براحتی بتوانند آب را بخارج از ایستگاه هدایت کنند. شاسی‌های جوشکاری شده برای واحدهای بزرگ پیشنهاد نمی گردد و زمانیکه واحدهای بزرگ مطرح است باید ورن - و قیمت از نظر اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد زیرا هم‌محوری چنین واحدهایی نیاز به بکارگیری وسایل و هزینه‌های زیادی دارد که برای کاهش آن از شاسی‌های مخصوصی بنام (Sole Plate) استفاده میگردد. مانند پمپهای ملخی و لجن کش‌های بزرگ.

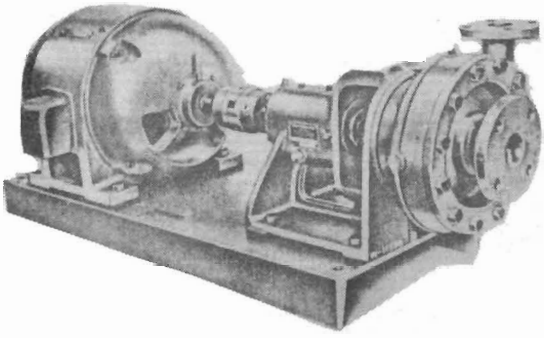
شکل «۷»



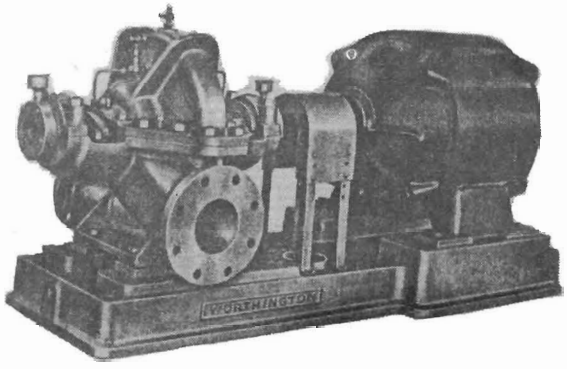
شاسی جاسازی شده در بدنه الکتروپمپ



شاسی فولادی جوشکاری شده با محافظ توری روی کوپلینگ



شاسی ریخته شده از فولاد با کانال خروجی آب



شاسی ریخته شده ازچدن

بخاطر هزینهٔ کم وصرفه‌جویی در فضا، این شاسی‌ها در بدنهٔ پمپ با تلرانس مخصوصی نصب گردیده و بصورت یکپارچه با الکتروپمپ تولید میگردند. از لحاظ استحکام و انحرافات محوری بعلت یکپارچه بودن، در مقابل ارتعاشات و ضربات راه اندازی بسیار مقاوم بوده و نیاز به مراقبتهای دائمی ندارد. نصب این شاسی‌ها بسیار آسان بوده و قابل نصب در فونداسیونهای سیمانی و فولادی میباشند

کوپلینگهای انعطاف پذیر: کوپلینگهای انعطاف‌پذیر با ساختمان نسبتاً ساده و در انواع متنوعی تولید شده و موارد مصرف آنها نسبت به سایر کوپلینگها بسیار زیاد میباشد. این کوپلینگها طوری طراحی شده‌اند که قادرند انحرافات کوچک ناشی از تنظیم، نصب، راه‌اندازی و بعد از راه‌اندازی (استارت و استاپ) را تعدیل نمایند.

با توجه باینکه پمپها نیروی محرکهٔ خود را از موتورهای الکتریکی یا دیزلی گرفته و سیالات مختلفی را پمپاژ میکنند. انتقال نیروی الکتروموتور به پمپ در سطح بسیار وسیعتری توسط کوپلینگهای انعطاف‌پذیر انجام میگیرد قسمت اصلی آنها عبارتند از دو کفهٔ فلانش مانند که اغلب از چدن بوده و بوسیلهٔ یک عضو انعطاف‌پذیر، از جنس لاستیک، پلاستیک، چرم و یا فنرهای فولادی از همدیگر جدا می‌شوند و شدت ضربه از طریق آنها خنثی میگردد. بعضی از کوپلینگها انرژی ضربه‌ای را ذخیره کرده و پس از فرو نشستن نیروی محرکه آن را بطور کامل

پس میدهند و انواع دیگر قسمتی از انرژی ضربه‌ای را توسط اصطکاک داخی عضوهای الحاقی مستهلک میکنند. دو نوع فوق بایستی از یکدیگر تمیز داده شوند. آنهائیکه انرژی را ذخیره میکنند ضربات را ملایم می‌نمایند. نوع دیگر انرژی ضربه‌ای را به اصطکاک داخلی عضوهای الحاقی تبدیل و انرژی‌های موجود در ضربه را مستهلک میکنند. مفهوم ملایم نمودن ضربه‌باین است که ضربه شدید با ضربه‌ای آرامتر و با پریود طولانی‌تری جایگزین گردد در حالی که در استهلاک ضربه، ضربه بمدت زیادی پایدار نمی‌ماند. از فرمول تجربی زیر می‌توان نتیجه گرفت که اندازهٔ کوپلینگهای چدن خاکستری بایستی باندازه‌ای باشد که سرعت محیطی $V=R\omega$ از $V=36m/s$ تجاوز ننماید. در مورد سرعتهای محیطی بالا بهتر است با سازندگان کوپلینگ مشورت گردد.

$$T_{max}=(F_1+F_2)T$$

گشتاور ضربه‌ای که در این فرمول T Max گشتاور ضربه‌ای با واحد Nm (نیوتن متر) است که بر طبق آن کوپلینگ انتخاب میگردد F_2 و F_2 فاکتورهای ضربه می‌باشد که به نوع ماشینی که در جدول (۱) مشخص شده است بستگی دارند. T گشتاور اسمی با واحد Nmنیوتن متر است که در کوپلینگها از توان اسمی و دور محاسبه میگردد.

F_2	ماشین متحرک	F_1	ماشین محرک
۱/۶,۲/۲	پمپها، کمپرسورها	۰/۵	الکتروموتورها
۱/۵	ماشین‌های دوار، آسانسورها، چرخ گوشتها	۰/۷۵	توربین‌ها
۲/۲,۳/۲	ماشینهای پیستونی، نجاری، جرثقیل‌ها	۱/۵,۲/۸	ماشین‌های پیستونی ٤ سیلندر
۱,۱/۳	ژنراتورها	۱-۲	ماشینهای پیستونی ٦ سیلندر

یکی از بهترین و مطمئن‌ترین راه انتخاب کوپلینگ، مراجعه به جداول ارائه شده از طرف سازندگان است که جهت آشنایی بنحوهٔ انتخاب، تعدادی از جداول استاندارد شده، ارائه و شرح داده میشود.

کوپلینگ قابل انعطاف

محاسبه و انتخاب کوپلینگ بمقدار N/n بستگی داشته و بر اساس قدرت اسمی ماشین محرک انتخاب میگردد از آنجائیکه تعداد قطع و وصل در انتخاب کوپلینگ مؤثر است لذا بایستی قدرت اسمی ماشین محرک با توجه به تعداد قطع و وصل، به فاکتورهای زیر ضرب شود.

ضریب ۱ برای ۵ بار قطع و وصل در یک ساعت

ضریب ۱/۲ برای ۲۰ بار قطع و وصل در یک ساعت

ضریب ۱/۳ برای ٤۰ بار قطع و وصل در یک ساعت

ضریب ۱/۵ برای ۸۰ بار قطع و وصل در یک ساعت

ضرایب فوق برای الکتروموتورها مناسب بوده و احتیاج به ضریب اطمینان ویژه‌ای ندارد.

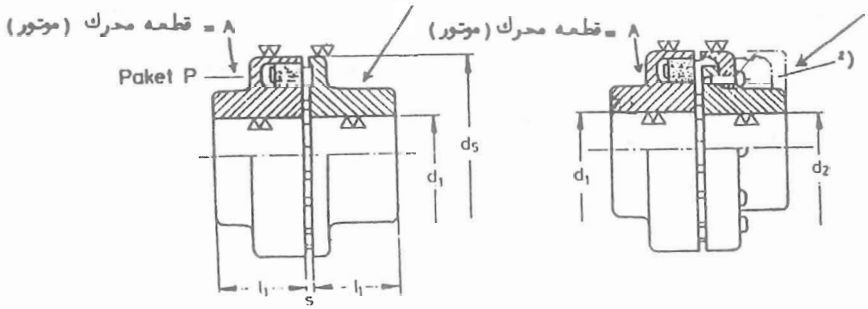
ضرایب فوق برای موتورهای دیزل مناسب بوده ولی بایستی مطابق ضرایب زیر اصلاح شود.

ضریب ۱/۲۵ باشد آنها بیشتر از ۳ بوده و دامنهٔ مجاز نامیزانی سیکل چهار زمانه موتور ۱:۱۰۰ یا ۱:۲۰۰ می‌باشد.

ضریب ۱/٦ برای موتورهائیکه تعداد سیلندرآنها ۱ تا ۳ بوده ودامنهٔ مجازنامیزانی سیکل ۱:۸۰ تا

۱:۱۰۰ باشد.

C - قطعه چنگالی طرف متحرک (پمپ)　　B - چنگالی طرف متحرک

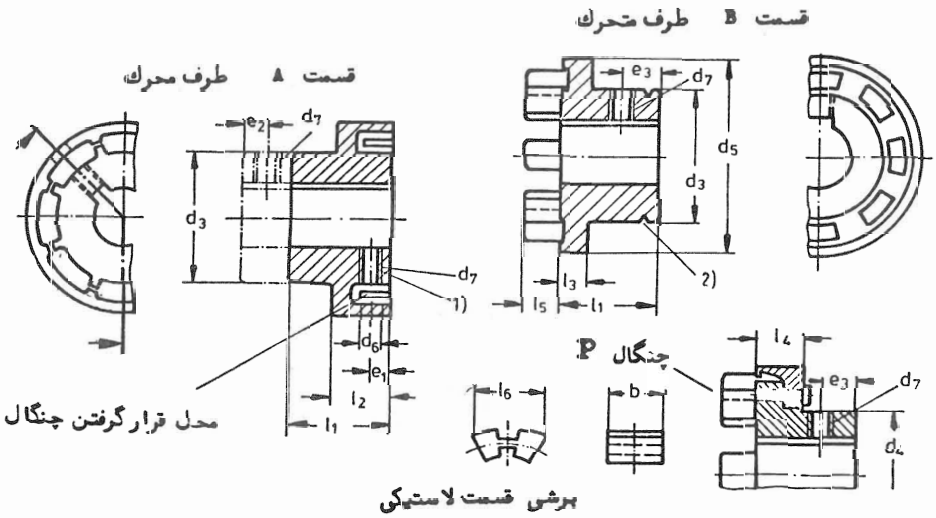


اندازه اسمی	$n^{1)}$ $\frac{N}{n}$ N in PS	$n^{1)}$ $\frac{N}{n}$ N in kW	n max. bei 36m/s U/min	Mt max. kgm	ممان اترسی kgm^2	سوراخ تمام شده قطعه C $d_1$min.	$d_1$max.	قطعه B $d_1$min.	$d_1$max.	قطعه A $d_2$min.	$d_2$max.	سوراخ اولیه A	B	C	d_5 h 8	l_1	s	وزن کل قطعه
68	0,001	0,0007	10000	0,71	0,0014	9	24	9	24	-	-	7	7	-	68	20	2 bis 5	0,63
80	0,0025	0,0018	8500	1,8	0,004	12	30	12	30	-	-	10	10	-	80	30		1,15
95	0,0063	0,0046	7200	4,5	0,008	14	38	14	38	-	-	12	12	-	95	35		2
110	0,0125	0,0093	6250	9	0,017	16	45	16	45	-	-	14	14	-	110	40		3,4
125	0,0224	0,0165	5500	16	0,034	18	55	18	55	-	-	16	16	-	125	50		5,3
140	0,04	0,029	4900	28	0,057	22	60	22	60	-	-	20	20	-	140	55		7,1
160	0,063	0,046	4250	45	0,099	24	65	24	65	-	-	22	22	-	160	60	2 bis 6	9,9
180	0,1	0,073	3800	71	0,186	30	75	30	75	-	-	28	28	-	180	70		14,2
200	0,15	0,109	3400	106	0,33	40	85	40	85	-	-	38	38	-	200	80		20,1
225	0,224	0,165	3000	160	0,62	50	90	-	-	50	85	48	-	48	225	90		29
250	0,315	0,23	2650	224	1,06	60	100	-	-	60	95	58	-	58	250	100	3bis8	39
280	0,45	0,325	2450	315	1,74	60	110	-	-	60	105	58	-	58	280	110		52

جنس مواد: چدن GG-۲۰.

GD^2=Flywheel Effect

شکل زیر قسمتهای مختلف یک کوپلینگ انعطاف چنگالی را با اندازهٔ اسمی 68 تا 280 بنمایش میگذارد.



مثال: کوپلینگ با اندازهٔ اسمی 95 با سوراخ تمام شده d=25 و تلرانس H7 از چدن GG=20.

اندازه‌اسمی	ابعاد قطعات													چنگال=p		
	d_3	d_4	d_5 h 8	d_6	d_7	e_1	e_2	e_3	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	تعداد	b	l_6
68	40	-	68	7	M 6	10	-	8	20	20	6	-	15	5	9	23
80	50	-	80	7	M 6	10	-	15	30	21	7	-	16	6	10	21
95	62	-	95	9,5	M 8	12	-	18	35	24	7	-	18	6	12	26
110	75	-	110	9,5	M 8	14	-	20	40	27	8	-	21	6	15	30
125	90	-	125	-	M 10	-	12	25	50	31	9	-	24	6	18	34
140	100	-	140	-	M 10	-	13	30	55	34	10	-	26	6	20	37
160	108	-	160	-	M 10	-	13	30	60	39	11	-	30	7	22	37
180	125	-	180	-	M 12	-	16	35	70	42	12	-	32	8	24	37
200	140	-	200	-	M 12	-	20	40	80	47	15	-	35	8	27	39
225	150	138	225	-	M 12	-	22	35	90	52	-	38	39	8	31	42,5
250	165	155	250	-	M 16	-	24	40	100	60	-	42	45	8	35	47,5
280	180	172	280	-	M 16	-	28	45	110	65	-	42	49	8	39	54

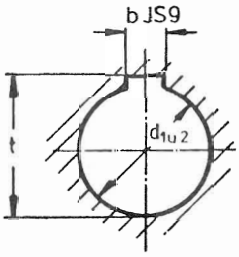
جدول ابعاد کوپلینگ چنگالی به میلیمتر

اندازهٔ مناسب برای سوراخکاری و جاخار کوپلینگ‌ها از جداول زیر حاصل میگردد.
(مطابق DIN 6885).

اندازه تمام‌شده سوراخ $d_{1u\,2}$	t	خارفرم A bxh
48	51,6	14 x 9
50	53,6	
54	57,9	16 x 10
55	58,9	
60	64,3	18 x 11
65	69,3	
68	72,7	20 x 12
70	74,7	
74	78,7	
75	79,7	
78	83,6	22 x 14
80	85,6	
85	90,6	
90	95,4	25 x 14
95	100,4	
100	106,2	28 x 16
105	111,2	
110	116,2	

اندازه تمام‌شده سوراخ $d_{1u\,2}$	t	خارفرم A bxh
14	16,2	5 x 5
18	20,6	6 x 6
20	22,6	
22	24,6	
24	27	8 x 7
25	28	
28	31	
30	33	
32	35,4	10 x 8
34	37,4	
35	38,4	
36	39,4	
38	41,4	
40	43,2	12 x 8
42	45,2	
44	47,2	
45	48,6	14 x 9
46	49,6	

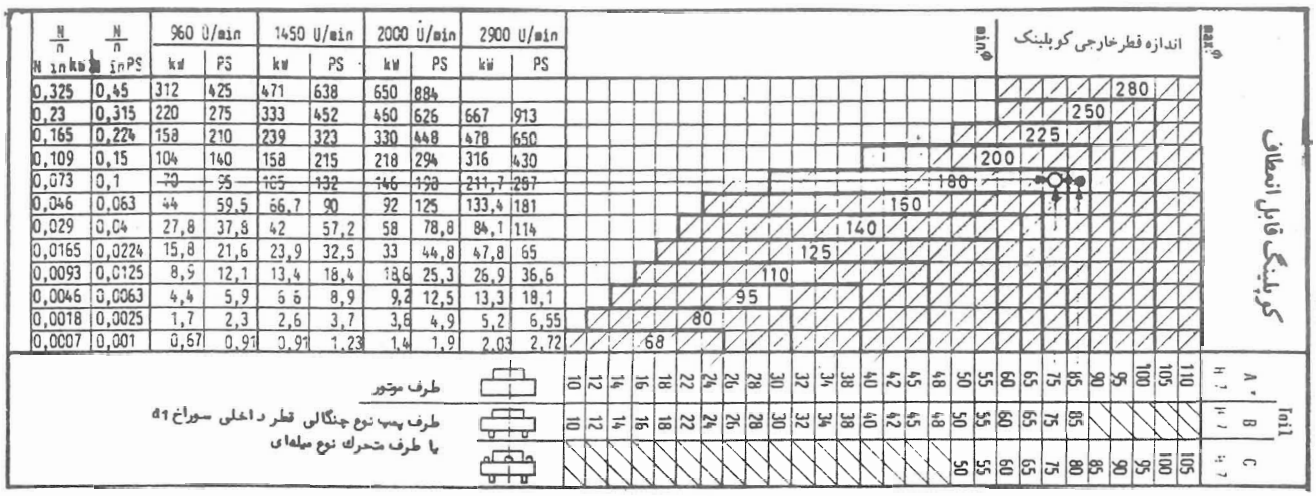
انتخاب پیچ



اندازه‌اسمی	پیچ M...x...DIN
68	M 6 x 8
80	M 6 x 10
95	M 8 x 10
110	M 8 x 15
125	M 10 x 15
140	M 10 x 15
160	M 10 x 20
180	M 12 x 25
200	M 12 x 25
225	M 12 x 20
250	M 16 x 25
280	M 16 x 25

جدول انتخاب کوپلینگ انعطاف پذیر

$\frac{N}{n}$ N in kW	$\frac{N}{n}$ in PS	960 U/min kW	960 U/min PS	1450 U/min kW	1450 U/min PS	2000 U/min kW	2000 U/min PS	2900 U/min kW	2900 U/min PS
0,325	0,45	312	425	471	638	650	884		
0,23	0,315	220	275	333	452	460	626	667	913
0,165	0,224	158	210	239	323	330	448	478	650
0,109	0,15	104	140	158	215	218	294	316	430
0,073	0,1	~~70~~	~~95~~	~~105~~	~~132~~	~~146~~	~~198~~	~~211,7~~	~~287~~
0,046	0,063	44	59,5	66,7	90	92	125	133,4	181
0,029	0,04	27,8	37,8	42	57,2	58	78,8	84,1	114
0,0165	0,0224	15,8	21,6	23,9	32,5	33	44,8	47,8	65
0,0093	0,0125	8,9	12,1	13,4	18,4	18,6	25,3	26,9	36,6
0,0046	0,0063	4,4	5,9	6,6	8,9	9,2	12,5	13,3	18,1
0,0018	0,0025	1,7	2,3	2,6	3,7	3,8	4,9	5,2	6,55
0,0007	0,001	0,67	0,91	0,91	1,23	1,4	1,9	2,03	2,72

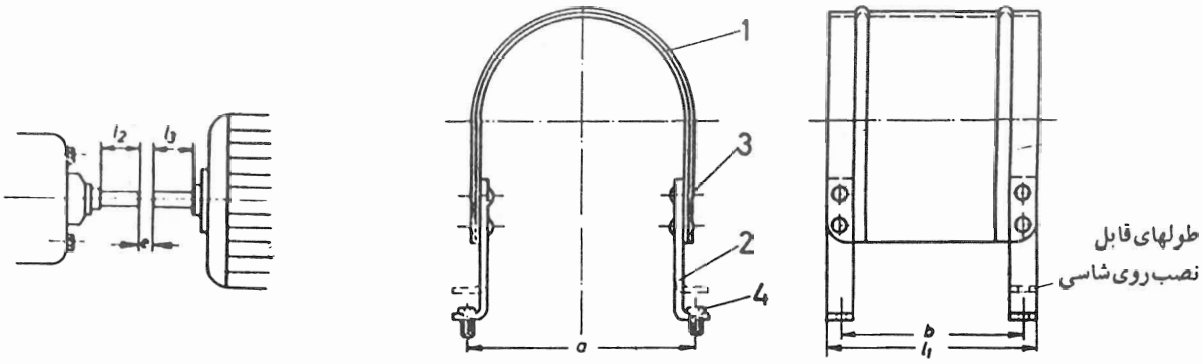


برای مثال: انتخاب کوپلینگ برای یک موتور با P=45kw و با دور $n=960\frac{1}{min}$ که قطر محور موتور80mm و قطر محور پمپ50mm می‌باشد

جدول: بطوری که در جدول نشان داده شده است. کوپلینگ انتخاب شده 200mm میباشد.

سه عامل در انتخاب کوپلینگ بسیار مهم می‌باشد. - توان اسمی موتور ۲ - دور موتور ۳ - قطر محور موتور در این جدول قطر خارجی محور موتور عامل اصلی مشخصهٔ انتخاب کوپلینگ است.

برای حفاظت از محل کوپلینگها و جلوگیری از خطرات ناشی از آن ورقهایی فولادی بصورت زیر تهیه و بین الکتروموتوروپمپ نصب میگردد.



محافظ کوپلینگ با پایهٔ قابل نصب روی شاسی الکتروموتور و پمپ

با توجه به وضعیت محرک و منحرک طول L از فرمول مقابل بدست می‌آید.

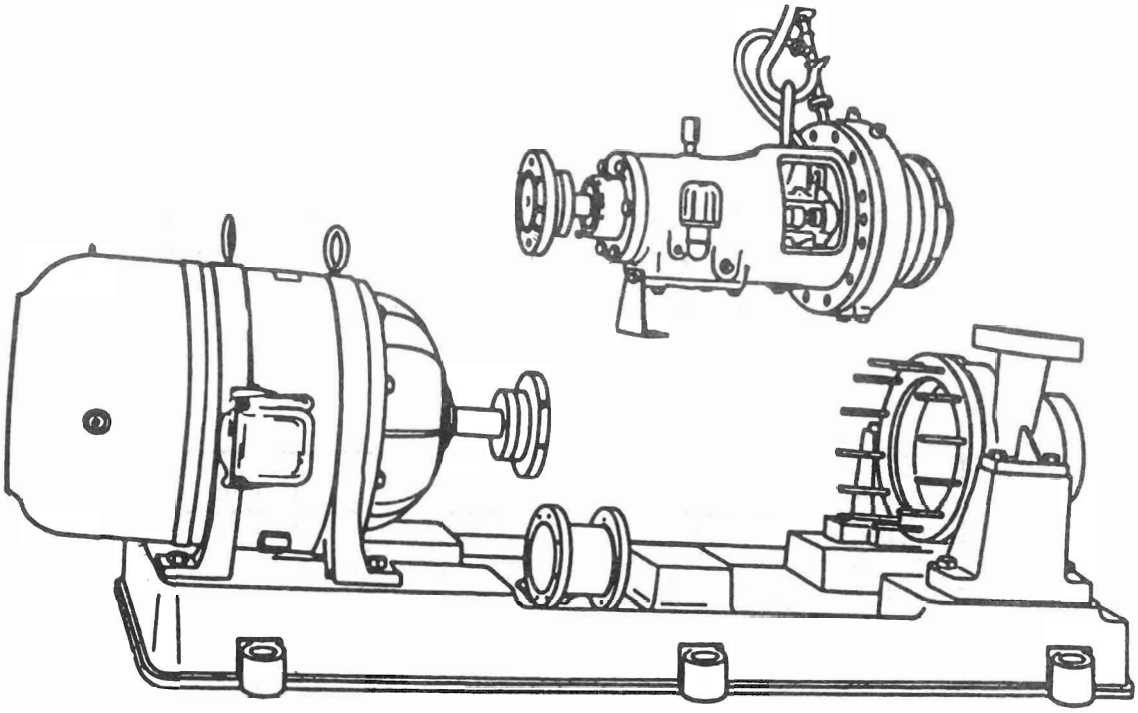
$L_1 \approx L_2 + L_3 + e$

اندازه‌اسمی l_1	b	اندازه‌اسمی l_1	b	اندازه‌اسمی l_1	b
100	75	260	235	420	395
120	95	280	255	440	415
140	115	300	275	460	435
160	135	320	295	480	455
180	155	340	315	500	475
200	175	360	335	520	495
220	195	380	355	540	515
240	215	400	375		

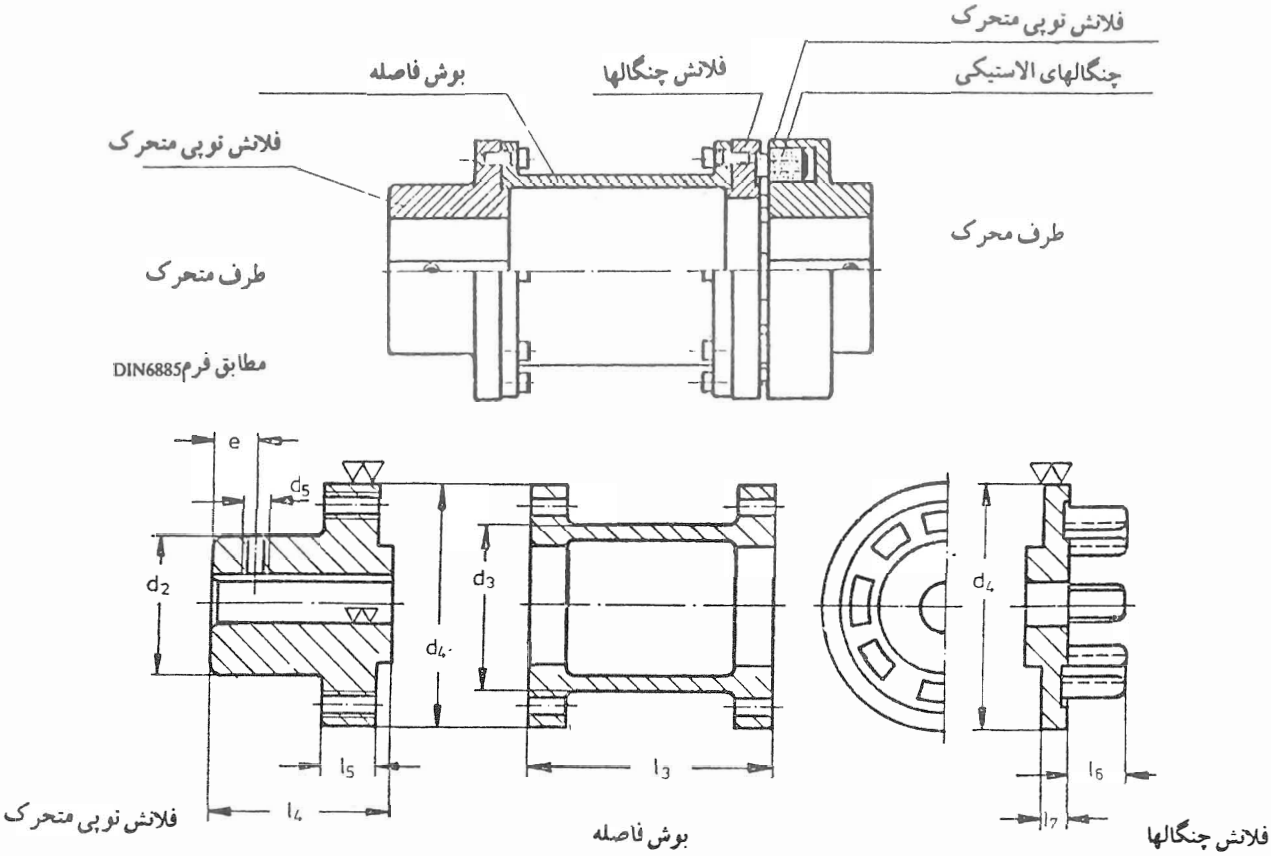
کوپلینگهای انعطاف پذیر با بوش فاصله

کوپلینگهای انعطاف‌پذیر با بوش فاصله برای آسانی مونتاژ و دمونتاژ بکار برده میشود و کلیهٔ عوامل کوپلینگهای انعطاف‌پذیر در این نوع نیز صادق میباشد. کوپلینگ بوش‌دار برای تعمیرات بعد از نصب بسیار مناسب بوده و بدون باز و بستن محرک و متحرک می‌توان بآسانی تعمیرات مورد نیاز را انجام داد.

شکل «۹»



شکل «۹» دمونتاژ یک مجموعهٔ الکترو پمپ با کوپلینگ انعطاف پذیر با برش فاصله



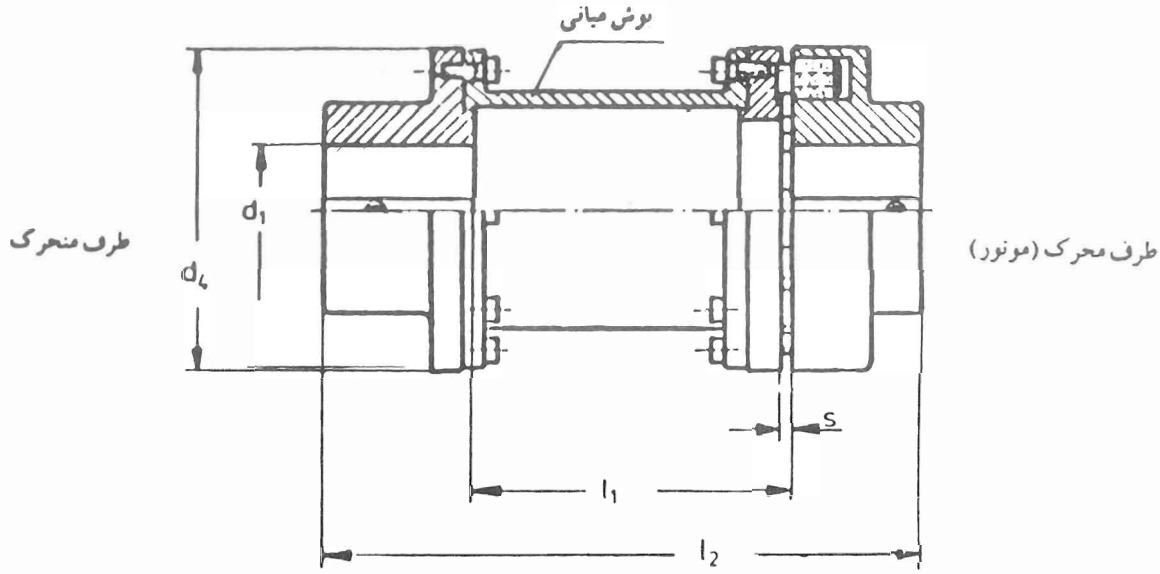
مثال: کوپلینگ با بوش فاصله باندازهٔ اسمی 95 با فاصلهٔ بوش l=140mm با سوراخ d=38mm با تلرانس H7 از جنس چدن GG20.

جدول ابعاد کوپلینگ با بوش فاصله

Tabelle 1 Abmessungen

اندازه‌اسمی		اندازه									
d_4	l_{1+1}	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	d_2	d_3	d_4	d_5	e
80	100	87	45	9	16	10	50	51	80	M 6 1)	18
95	100	87	45	9	18	10	62	63	95	M 8 1)	18
	140	127	45	9	18	10	62	63	95	M 8 1)	18
110	100	85	50	11	21	12	75	73	110	M 8 1)	18
	140	125	50	11	21	12	75	73	110	M 8 1)	18
	180	165	50	11	21	12	75	73	110	M 8 1)	18
125	100	85	50	11	24	12	90	85	125	M 10	25
	140	125	50	11	24	12	90	85	125	M 10	25
	180	165	50	11	24	12	90	85	125	M 10	25
140	100	82	65	15	26	15	100	91	140	M 10	25
	140	122	65	15	26	15	100	91	140	M 10	25
	180	162	65	15	26	15	100	91	140	M 10	25
160	140	121,5	70	15	30	15	108	111	160	M 10	25
	180	161,5	70	15	30	15	108	111	160	M 10	25
180	140	121,5	80	15	32	15	125	131	180	M 12	35
	180	161,5	80	15	32	15	125	131	180	M 12	35
200	180	158,5	90	18	35	18	140	144	200	M 12	35
225	250	228,5	100	18	39	18	150	169	225	M 12	45
250	250	222,5	110	21	45	23	165	165	250	M 16	45

کوپلینگ قابل انعطاف چنگالی با بوش فاصله



جدول توان و اندازه‌های مهم

اندازه اسمی d_4 h8	l_1 ±1	$\frac{P}{n}$ [2] P in PS	$\frac{P}{n}$ [2] P in KW	n max. bei 36 m/s min^{-1}	Mt max. گشتاور kpm	GD^2 میان‌انرسی کل kpm^2	سوراخ تمام‌شده A D d_1 min.	d_1 max.	سوراخ اولیه A u. D	l_2 ±1	s ±1	وزن کل ca. kg
80	100	0,0025	0,0018	8500	1,8	0,007	12	30	10	175	5	2,5
95	100	0,0063	0,0046	7200	4,5	0,016	14	38	12	180	5	3,7
	140	0,0063	0,0046	7200	4,5	0,017	14	38	12	220	5	4
110	100	0,0125	0,0093	6250	9	0,031	16	45	14	190	5	5,9
	140	0,0125	0,0093	6250	9	0,033	16	45	14	230	5	6,2
	180	0,0125	0,0093	6250	9	0,035	16	45	14	270	5	6,5
125	100	0,0224	0,0165	5500	16	0,061	18	55	16	200	5	8,5
	140	0,0224	0,0165	5500	16	0,064	18	55	16	240	5	9
	180	0,0224	0,0165	5500	16	0,066	18	55	16	280	5	9,5
140	100	0,04	0,029	4900	28	0,109	22	60	20	220	5	12,1
	140	0,04	0,029	4900	28	0,113	22	60	20	260	5	12,5
	180	0,04	0,029	4900	28	0,117	22	60	20	300	5	12,9
160	140	0,063	0,046	4250	45	0,193	24	65	22	270	6	16,3
	180	0,063	0,046	4250	45	0,2	24	65	22	310	6	16,7
180	140	0,1	0,073	3800	71	0,317	30	75	28	290	6	22,1
	180	0,1	0,073	3800	71	0,32	30	75	28	330	6	23
200	180	0,15	0,109	3400	106	0,423	40	85	38	350	6	31,7
225	250	0,224	0,165	3000	160	1,048	50	90	48	440	6	42,5
250	250	0,315	0,23	2850	224	1,78	60	100	58	460	8	58,5

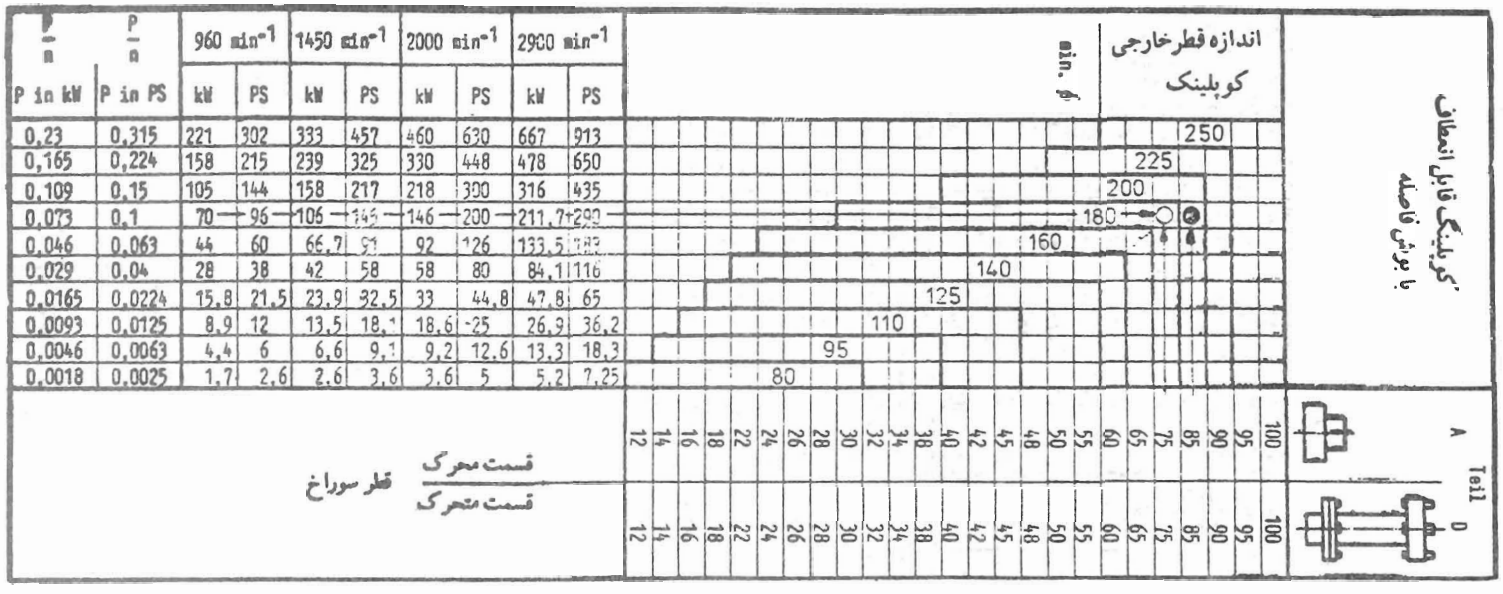
n=RPM/min دور بردقیقه

GD^2=Flywheel Effect

Mt=Torque

برای مثال - انتخاب کوپلینگ برای یک موتور $P=45^{KW}$ با دور $n=960$ و قطر محور موتور 80mm و قطر محور پمپ 50mm.

P/n P in kW	P/n P in PS	960 min^{-1} kW	960 min^{-1} PS	1450 min^{-1} kW	1450 min^{-1} PS	2000 min^{-1} kW	2000 min^{-1} PS	2900 min^{-1} kW	2900 min^{-1} PS
0,23	0,315	221	302	333	457	460	630	667	913
0,165	0,224	158	215	239	325	330	448	478	650
0,109	0,15	105	144	158	217	218	300	316	435
0,073	0,1	70	96	106	145	146	200	211,7	290
0,046	0,063	44	60	66,7	91	92	126	133,5	182
0,029	0,04	28	38	42	58	58	80	84,1	116
0,0165	0,0224	15,8	21,5	23,9	32,5	33	44,8	47,8	65
0,0093	0,0125	8,9	12	13,5	18,1	18,6	25	26,9	36,2
0,0046	0,0063	4,4	6	6,6	9,1	9,2	12,6	13,3	18,3
0,0018	0,0025	1,7	2,6	2,6	3,6	3,6	5	5,2	7,25



جدول - بطوریکه در جدول نشان داده شده است کوپلینگ انتخاب شده دارای قطر 200mm میباشد.

سه عامل در انتخاب کوپلینگ بسیار مهم می‌باشد ۱ - توان اسمی موتور ۲ - دور موتور ۳ - قطر شفت موتور

آببندی پروانه: SEALING THE IMPELLER.

مهندس ابوالحسن زمانی

مقدمه:

پمپ‌های آب دستگاههایی هستند که انرژی هیدرولیکی آب را بالا می‌برند. آب هم بنابر خواص سیالها میتواند تغییر شکل ظاهری بزرگی را متحمل گشته و از منفذها و لقی‌های کوچک جریان یابد بدین خاطر احتیاج به آببندها ضرورت پیدا کرده و بایستی بیشتر مد نظر واقع گردد.

آببندها در بین قسمت‌های ثابت و متحرّک پمپ قرار گرفته و مناطقی را که دارای اختلاف فشارند از هم جدا میسازد. البتّه در آنها مقداری لقی و فضای آزاد وجود دارد که مایع از آن عبور میکند و آن سبب اتلافات نشتی میشود که اصطلاحاً اتلافات حجمی گفته میشود و در رابطه با آن، راندمان حجمی برای ماشین محاسبه می گردد و نشان میدهد که مقداری از انرژی انتقالی موتور به محور پمپ از بین میرود.

محل نشت‌ها بسته به تیپ پمپ عبارتند از:

۱ - ورودی پروانه

۲ - نشیمن رینگ در لفافه پشتی پروانه

۳ - سوراخهای دیسک بالانس

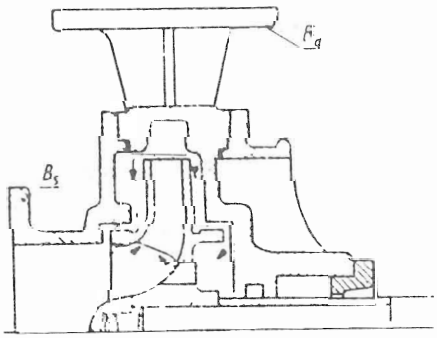
٤ - محل عبور محور از داخل بوشهای لاستیکی پمپ‌های چند طبقه‌ای

۵ - محفظهٔ آببندی

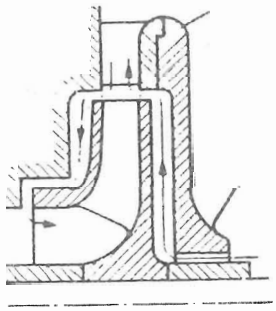
در این مقاله سه بند اوّل مورد بررسی قرار میگرد.

شکل (۱) حرکت سیال در مکش و سوراخهای بالانس پمپ‌های سانتریفوژ را نشان میدهد شکل (۲) مربوط به پمپ‌های چند طبقه است.

شکل «۱»



شکل «۲»



اگر مقدار دبی خروجی یک پمپ سانتریفوژ Q (m^3/S) و مقدار دبی برگشتی از لقی‌ها ΔQ (m^3/s) باشد. مقدار دبی عبوری از داخل پروانه مساوی $Q+\Delta Q$ خواهد شد پس راندمان حجمی عبارتست از:

راندمان $(\eta) = Q/Q + \Delta Q$

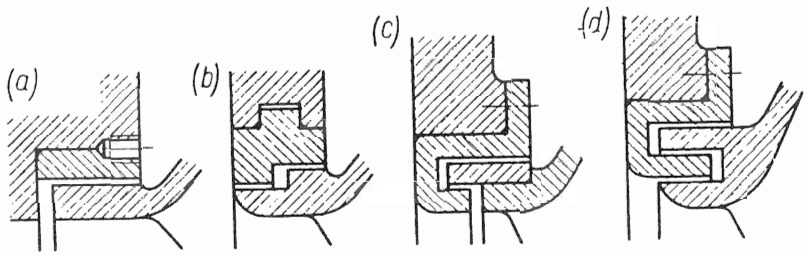
که مقدار آن بستگی به اندازهٔ لقی (Δr) دارد بنابراین می‌توان در Δrهای کوچکتر، راندمان (η) بالائی را بدست آورد لذا برای افزایش راندمان حجمی لازم است مقدار نشتی‌ها را کم کرد بطوریکه در پمپ‌های گریز از مرکز جدید این مقدار حدوداً ۹۶% تا ۹۸% می‌باشد. نتیجه میگیریم که مقدار قدرت مصرفی در پمپ نیز به ترتیب زیر افزایش مییابد.

$P=\rho.g\,(Q+\Delta Q).h$ $\qquad$ h = ارتفاع پمپ

$\Delta Q/Q = K$ را فاکتور نشتی نامیده و در طراحی پمپ برای مصارف مختلف میتوان مقدار آن را از ۰/۰۲ الی ۱/. انتخاب کرد.

آببندی پروانه غالباً توسط رینگ‌های آببندی که سیستم‌های مختلف آن در شکل زیر نشان داده شده است انجام میگیرد.

شکل «۳»



و آنها عبارتند از اتصالات آببندی بین پروانه و پوسته و قطعات متحرّک دیگر که عموماً برای کوچکتر کردن لقی بین قطعات پمپ بکار میروند که نشت سیال را از طرف تخلیه به مکش و نیز به بیرون کاهش میدهند و همچنین باعث جلوگیری از سایش قطعات اصلی پمپ در محل‌هائیکه حرکت نسبی باهم دارند، می گردند. از آنجائیکه افزایش مقدار نشتی در نتیجه سایش رینگ‌ها اثر مستقیمی در ارتفاع، ظرفیت و راندمان پمپ دارد لذا رینگ‌ها بسهولت قابل تعویض بوده و ارزان تهیه میگردند و انواع دیگری از آنها در پمپ‌های سانتریفوژ مورد استفاده قرار میگیرند که انتخاب مناسب‌ترین نوع آن برای یک پمپ مخصوص بستگی به عوامل زیر دارد.

الف) خواص مایع مورد پمپاژ

ب) اختلاف فشار بین دو طرف اتصال آببندی

ج) سرعت نسبی بین سطوح

د) مشخصات دیگر طرح پمپ

در پمپ با سایز کوچکتر معمولاً بخاطر صرفه‌جوئی در هزینه‌های تمام شده، از رینگ‌های آببندی استفاده نمیشود.

در نتیجه جریان سریع سیال، در داخل پروانه، فشار منطقهٔ مکش (H_s) (محل وجود لقی) کمتر از فشار خروجی پروانه (H_D) بوده بطوریکه داریم:

$$H_S = H_D - 1/4.U_2^2 - U_s^2/2g$$

U_s = سرعت مکش

U2 = سرعت خروجی

برای بدست آوردن ضریب جریان عبوری از لقی‌ها طبق فرمول زیر عمل می کنیم.

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{1.5 + \lambda_h \frac{2l}{r}}}$$

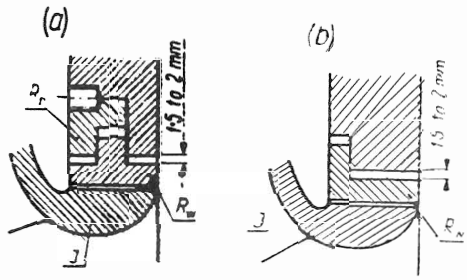
L = طول لقی

r = شعاع لقی

λ = ضریب اصطکاک برای عبور یک جریان آزاد سیال.

تغییر مسیر جریان در آببند و ایجاد شیارهای معمولی و مارپیچی در روی آن باعث کاهش ضریب خروجی و تلفات نشتی می‌شود. ضریب خروجی برای رینگ آببندی از نوع b (شکل زیر) ۲۰% کمتر از نوع a (شکل زیر) می‌باشد.

شکل «٤»



رابطهٔ بالا مقدار ضریب C_d را برای رینگ‌های آببندی کاملاً متحدالمرکز (هم محور) نشان میدهد در حالیکه برای بیشترین مقدار نامحوری ممکن، احتمال دارد مقدار C_d حدوداً تا ۳۰% افزایش یابد.

اندازهٔ لقی کاملاً مناسب برای آببندها از نوع a و b، بطور تجربی و از طریق اندازه گیری بدست می آید. برای رینگ‌های آببندی ورودی در قطرهای کوچکتر از 150mm شعاع لقی حدوداً 0.2mm در قطر می‌باشد. و در قطرهای بزرگتر از 150mm مقدار آن از فرمول $s=0.2+0.001\ (d-150)$ محاسبه میشود و طول مورد نیاز برای رینگ‌های a و b معمولاً 0.12 الیٰ 0.16 قطر (d) می‌باشد.

باید توجه کرد که در موقع پمپاژ آبهای آلوده و لجن که دارای ماسه و ذرات معلق می‌باشد آببند از طرف بیرون با آب تمیز که فشار آن بیشتر از مقدار Hs است شستشو داده می‌شود تا اتلاف کمتر گردد.

در طرح‌های جدید، رینگ‌های خود تنظیم، در پمپ‌های سانتریفوژ چند طبقه جایگزین رینگ‌های معمولی میگردند و میتوانند حرکت شعاعی آزاد به اندازهٔ 1.5–2mm داشته باشند. در نتیجه اگر یاتاقانها خورده شوند و شفت در اثر وزن خود به طرف پائین، از خط محور خارج گردد لقی بین توپی پروانه و رینگ بی‌جهت افزایش نمی‌یابد. و آن خود را با تغییرات وفق میدهد و دو حلقهٔ مزبور هم مرکز شده و باعث میشوند که نشت کمتر گردد. آببندها با این نوع رینگ نسبت به رینگ‌های معمولی دوام زیادی را دارند.

مزیت دیگر رینگ‌های خود تنظیم اینست که اگر خود آنها و محل نشیمن‌شان بدرستی و به اندازهٔ صحیح ماشینکاری نشده باشند اشکال چندانی بوجود نمی آید.

در سابق، برای نگه‌داشتن رینگ‌های آببندی در جای خود از قطعهٔ دیگری بنام رینگ نگهدارنده استفاده میشد. شکل (14 a). امّا تجربه نشان داد که به این مورد نیاز نیست و فشار در منطقهٔ مابین لفافه و محفظهٔ بیشتر از

فشار ورودی پروانه بوده و اختلاف فشار حاصل نیروی ایجاد میکند که رینگ را به محفظه می‌فشارد و این نیرو بقدری بزرگ است که از بیرون آمدن و چرخیدن آن جلوگیری میکند. و فقط میتواند در جهت شعاعی حرکت جزئی داشته باشد. سرانجام رینگ با ترکیب و ساختمان نشان داده شده در شکل (14.b) مورد قبول واقع شد. این رینگ‌ها فقط در پمپاژ آب تمیز و صاف بکار گرفته میشوند و لذا نمیتوانند بخودشان رسوب بگیرند زیرا املاح معدنی موجود ایجاد رسوب کرده و رینگ با پروانه را جوش میدهد.

مواد ساختمانی رینگ‌های آببندی:

در انتخاب مواد ساختمانی بایستی پارامترهایی مورد نظر باشند که عبارتند از:

۱ - مقاومت در مقابل سایش

۲ - مقاومت در مقابل زنگ زدگی

۳ - خصوصیات پوسته شدن

٤ - خصوصیات ریخته گری از لحاظ خواص شیمیائی و فیزیکی

۵ - خصوصیات تراشکاری و حالت ارتجاعی جهت جلوگیری از بیضوی شدن.

برنز یکی از موادی است که شرایط بالا را شامل می‌باشد و در جاهائیکه کاربرد آن از لحاظ زنگ زدگی، سایش دماهای بیشتر از 120^{oc} مقدور نباشد از فولادهای ضد زنگ استفاده میشود.(Stainlees steel با مشخص نمودن درصد ترکیبات مواد).

برنز برای آب معمولی، آب داغ، آب دریا تا 25^{oc} و آب مقطر تا $32-50^{oc}$ مناسب بوده و در آبهای معدنی و فاضلاب مقرون بصرفه نمیباشد.

فولاد ضد زنگ (سری 400) بجزء آب معدنی و آب دریا بسیار خوب بوده و عمر مفید آن زیاد است که این کمبود را میتوان با فولاد (سری ۳۰۰) و بکار گرفتن مونل در ترکیبات آن در آب‌های معدنی ترمیم نمود.

منابع:

1) IMPELLER Pumps

2) Pumps, Fans, compressor

۳) ساختمان و کاربرد پمپ‌های سانتریفوژ

٤) نتایج تجربی

پلاستیکهای صنعتی و کاربرد آنها در صنعت پمپ‌سازی

مهندس کریم حسن پور مقدم

۱ - مقدمه:

پلاستیکها پلیمرهایی هستند که با ساختمان طویل زنجیریشان شناخته میشوند.
نسبت طول مولکولی آنها به عرض‌شان بیشتر میباشد. قابلیت شکل دادن پلاستیکها با هزینهٔ کمتر باعث شده استکه‌این مواد در هر نوع تولید صنعتی وارد شوند.

از نظر کاربردی پلاستیکها به دو دسته تقسیم میشوند:

۱ - ۱: پلاستیک‌های صنعتی
۲ - ۱: پلاستیکهای عمومی
اصطلاح پلاستیکهای صنعتی عموماً بخاطر کاربردهای وسیع در زمینه‌های زیر اطلاق شده است.
الف) مقاومت زیاد مکانیکی - حرارتی و الکتریکی
ب) پیش‌بینی رفتار آنها در زیر بارهای مکانیکی و حرارتی
ج) دقت کاربردی با توجه به نمونهٔ آزمایشی
ه) خواص قابل ملاحظه در یاتاقانهای تحت بار
اگر تمام خواص بالا در پلاستیکهای صنعتی وجود داشته باشد، این پلاستیکها برای کارهای مهندسی و صنعتی مناسب میباشند.

۲ - تاریخچهٔ پلاستیکها: پلاستیکها از سال ۱۹۳۰ به بازار راه پیدا کردند. نخستین پلاستیکهای مصنوعی بنام "Parkesine" در سال ۱۸۶۲ در انگلستان بوسیلهٔ پارکز (Parkes) و پلاستیکی بنام "Colloid" در سال ۱۸۷۰ بوسیلهٔ "Hyatt" در آمریکا تولید و به بازار عرضه شد. هر دوی آنها از نیتراتهای سلولزی اصلاح شده بودند و متأسفانه هر دو آنها میل شدیدی به انفجار داشتند و به خاطر این خاصیت تولید آنها متوقف شد.
نخستین پلاستیکهایی که تولید شدند، فنولیکها بودند و مشهورترین آنها فنل فرمالدئید بود که نام عامیانهٔ آن باکالیت می‌باشد. در طول جنگ جهانی دوم پلیمرهای مصنوعی پیشرفت زیادی کردند. در سال ۱۹۴۰ تولید سرانهٔ پلاستیکها ۵۰۰۰۰۰ تن بود، در سال ۱۹۵۰ این رقم به یک میلیون تن و تا سال ۱۹۸۰ این رقم از مرز ۶۰ میلیون تن گذشت و تا سال ۱۹۹۰ حدس زده میشود از ۱۵۰ میلیون تن تجاوز نماید.

۳ - پلاستیکهای صنعتی: پلاستیک‌های صنعتی به دو گروه بزرگ تقسیم میشوند.
۱ - ۳ - ترموپلاستیک‌ها
۲ - ۳ - ترموست‌ها
ترموپلاستیک‌ها موادی هستند که در معرض حرارت نرم شده و با سرد کردن سخت میگردند. در صورتیکه پلاستیکهای ترموست در مقابل حرارت نرم نمی‌شوند و رفتار آنها در مقابل حرارت مانند تخم‌مرغ است، بسیاری از ترموپلاستیکهای استاندارد در صورت اصلاح در یاتاقانهای تحت بار کم، قابل استفاده‌اند. این پلاستیکها عبارتند از:

الف) پلی پروپیلین (PP) ب) ABS ج) پلی‌اتیلن بسیار متراکم (HDPE)

برخلاف پلاستیکهای بالا پلاستیکهایی وجود دارند که جانشین خوبی برای فلزات محسوب میشوند که عبارتند از:

الف) نایلون‌ها

ب) آستلها (Acetals) ج) ترموپلاستیک‌های پلی‌استر (PETP و PBT)

ه) پلی کربنات‌ها

و) اکسید پلی فنولن اصلاح شده

٤ - پلاستیکهای تقویت شده: انواع مختلفی از مواد پر کننده برای اصلاح بعضی از خواص پلاستیکها بکار برده میشوند. خواصی که با استفاده از پرکننده‌ها اصلاح میشوند عبارتند از:

۱ - ٤ - مقاومت شیمیائی

۲ - ٤ - مقاومت حرارتی

۳ - ٤ - نارسانائی الکتریکی

٤ - ٤ - مقاومت به ضربه

۵ - ٤ - مقاومت کششی

٦ - ٤ - پایداری ابعادی

۷ - ٤ - چقرمگی

۸ - ٤ - سختی

۹ - ٤ - روانکاری

۱۰ - ٤ - هدایت الکتریکی

۱۱ - ٤ - مقاومت در مقابل رطوبت

۱۲ - ٤ - سهولت تولید

به عنوان مثال فیبر شیشه (Fibreglass) در پلاستیکهای صنعتی برای افزایش استحکام کششی، استحکام برشی و مقاومت خمشی بکار میرود.

همراه با فیبر شیشه مواد شیمیایی دیگر برای تقویت اتصال در پلاستیک‌ها بکار میرود. موادی که دارای شیشهٔ مساوی هستند ممکن است خواص مختلفی از خود نشان دهند. به این منظور از طرف تولید کنندگان باید مطالعات دقیقی در این زمینه انجام شود.

۵ - شرح مختصری از پلاستیک‌های صنعتی:

شرح مختصری از پلاستیکهای مهندسی بشرح زیر داده میشود.

۱ - ۵ - پلاستیکهای ABS: این پلاستیکها از سه جزء بنامهای آکری لونیتریل (Acrylonitrile) بوتادین (Butadiene) و استیرن (Styrene) تشکیل شده است. هر کدام از اجزاء تشکیل دهنده دارای خواص زیر می‌باشند.

Acrylonitrile: دارای مقاومت شیمیائی و سختی سطحی میباشد.

Butadiene: در مقابل ضربه و چقرمگی مقاوم می‌باشد.

Styrene: پروسه تولید آن خیلی ساده میباشد.

ترکیب عادی دارای ۲۰% - ۲۰% - ٦۰% میباشد ولی با توجه به خواص مورد نظر ممکن است درصدها

تغییر پیدا کند.

آب، نمکها، بسیاری از اسیدهای معدنی و اسیدهای غذائی و بازها روی پلاستیک ABS تأثیر ندارند. این پلاستیکها در ستن‌ها (Ketones) قابل حل بوده و در برابر هیدروکربن‌های کلریدی و استرها (Esters) و آروماتیک‌ها (Aromatics) نرم شده و متورم میشوند.

بیشترین کاربرد این نوع پلاستیک‌ها در وسایل خانگی، ماشین‌های تایپ، جاروبرقی‌ها، تلویزیون، سشوار و اسباب بازی‌هاست.

۲ - ۵ - استالها (Acetals): ترموپلاستیک متبلوری است که به نسبت وزنش دارای مقاومت عالی است مقاومت خزش بالائی دارد و چقرمگی آن تا ٤٠ درجهٔ سانتیگراد عالی، ضریب اصطکاکش خیلی جزئی میباشد و حالت ارتجاعی خوبی دارد. این پلاستیک برای ساختن یاتاقانها، چرخ دنده‌ها، چرخ دنده‌های حلزونی، فنرها، و پره‌های فن و غیره مناسب میباشد. در مورد جذب آب قابل رقابت با نایلون میباشد سایر کاربردهای آن برای ساختن قلابهای کمر، محفظه‌های پمپ و قطعات داخلی تلفن میباشد.

۳ - ۵ - نایلونها (Nylons): نایلونها پلی‌آمیدهایی هستند که بطور وسیعی در صنعت بکار میروند. دارای استحکام عالی چقرمگی و مقاوم به خستگی میباشند. در برابر هیدروکربنها، استرها، گلیکولها (Glycols) و بازها مقاوم میباشند ولی در برابر اسیدها خورده میشوند. یکی از معایب آنها جذب رطوبت میباشد و در اثر این کار ابعاد آنها تغییر می‌نماید بنابراین در محیطهای رطوبی ابعاد آنها از دقت بالائی برخوردار نیست. مصرف عمدهٔ این نوع پلاستیکها در شلنگ ترمز، لوله‌های نفت، خروجی‌ها، سرپوش رادیاتورها، ابزارهای دستی الکتریکی، زیپ‌ها، چرخ صندلی و میز، قفلهای در و چرخ دنده‌هائی که تحت بارهای کم کار میکنند میباشد.

٤ - ۵ - پلی کربنات‌ها (Polycarbonates): ترموپلاستیک آمورفی (غیر کریستالی) است که خواص آن شبیه شیشه میباشد. ماده‌ای است شفاف که دارای صلبیت، استحکام و چقرمگی عالی میباشد تا دمای ۱۲۰ درجهٔ سانتیگراد پایداری ابعادی دارد. رطوبت را کمتر جذب می‌کند و پایداری ابعادیش باعث شده است که قالب گیری آن از دقت بالائی برخوردار باشد.

چقرمگی زیاد آن سبب شده است که برای ساختن عدسی‌ها و لنزهای ایمنی، کلاه ایمنی آتش‌نشانی شیشه‌های لامپ، بطری شیرخوری بچه‌ها بکار میرود. نگهدارنده‌های داخلی، اجزای مختلف دوربین عکاسی، تانکرهای شفاف آب میتوانند از این نوع پلاستیک ساخته شوند با همهٔ این چقرمگی در اثر تنشهای باقیمانده، گوشه‌های تیز و ترک در اثر بارهای مداوم شکننده میباشد. تا ۲۰ درجه سانتیگراد در مقابل آب مقاوم است ولی وقتی درجهٔ حرارت آب بالا میرود به مرور زمان مخصوصاً در زیر بارهای مداوم، مقاومتش کم میشود چنانکه شکست قطعات تحت نیروهای دوار در آب مشاهده شده است.

۵ - ۵ - پلیسترها (Polyesters):

Polyethylene Terphthalate (PETP)

Polybutalene Terphthalate (PBT)

Polyteramethelene Terphthalate (PTMT)

از گروه این پلاستیک میباشند. دارای خواص الکتریکی، چقرمگی و استحکام عالی میباشند. همچنین ضریب اصطکاکشان خیلی کم میباشند. PBT که به وسیلهٔ شیشه تقویت شده است دارای بیشترین کاربرد صنعتی می‌باشد. از این پلاستیکها برای جعبه‌های ترمینالها، کنتاکتورهای الکتریکی کلیدها و رله‌ها و محفظه‌های پمپ، فن‌ها، نان برشته کن‌ها، محفظهٔ اندازه گیری ارتفاع و دبی آب و غیره استفاده میشود.

PTMT: آخرین پدیده از این پلاستیک است و قابلیت تولید بیشتری از PETP دارد.

۶ - ۵ - اکسید پلی‌اتیلن (PPO): رزین آمورفی است که پایداری ابعادیش خیلی عالی میباشد. رطوبت را کمتر جذب میکند و مقاومت هیدرولیکی‌اش کم میباشد. مقاومت خزش‌اش تا دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد بسیار عالی میباشد. ماده‌ای است سفت که پوسته‌اش مقاومت خوبی در مقابل شوینده‌ها و آب گرم دارد عمده‌ترین استفادهٔ آنها در پروانهٔ پمپها، روکش قطعات داخل ماشین، ظرف‌شویها، قطعات ماشینهای شستشوی، محفظه‌ها، لوازم خانگی، قطعات پزشکی و وسایل جراحی می‌باشد.

۷ - ۵ - پلی‌فنیلن سولفید (PPS): مادهٔ کریستالی است که خواص آن مانند ترموست‌هاست و در مقابل درجهٔ حرارت تا دمای ۲۵۰°c مقاومت می‌کند. درجهٔ حرارت قالب‌گیری باید آنقدر بالا باشد تا از کریستالیزه شدن آن اطمینان حاصل شود. این پلاستیکها کاربردشان بیشتر برای اگزوز خروجی، قطعات کاربراتور، دسته اطو و ماهی‌تابه میباشد.

۸ - ۵ - پلی پروپیلن (Poly Propylene): این پلاستیکها برای مصارف عمومی و مصارف صنعتی سبک بکار میروند. تا دمای ۶۰°c مقاوم میباشند. مصرف عمدهٔ این نوع پلاستیک برای ساختن درپوش فن‌ها، پروانه‌های موتور، محفظهٔ باطری، دسته ابزارها، وسایل خانگی و جعبه بطریهای نوشابه و غیره میباشد.

۹ - ۵ - پلیسترن (Polystyrene): ترموپلاستیکی است سخت، شفاف و شکننده، رطوبت را کمتر جذب میکند ارزان میباشد و براحتی در سیمان محلول، قابل حل است. مصرف عمدهٔ آن در وسایل سبک، کارد و چنگال، جعبه‌های جواهر، محفظه ضبط‌صوت، جامدادیها میباشد.

۱۰ - ۵ - P.V.C: ترموپلاستیکی است که در ترکیب با مواد شیمیائی میتواند سخت یا نرم باشد چقرمگی عالی و مقاومت در برابر جذب رطوبت و مواد شیمیائی آن باعث شده است که در مصارف عمدهٔ مهندسی بکار رود. استفاده از آن برای لوله‌های آب، فاضلاب، بطریها و مخزن مواد شیمیایی، مناسب میباشد.

۱۱ - ۶ - پلی‌اتیلن: پلاستیکی است که دارای مصارف فراوان میباشد با اینکه یک مادهٔ صنعتی نیست و حتی در برابر نیروهای متوسط هم نمی‌تواند مقاومت کند ولی خواص عالی آن در دیگر زمینه‌ها باعث شده است که جزو پلاستیک‌های صنعتی بکار رود. با توجه به دانسیته آن دارای خواصی شبیه پلاستیکهای LDPE، MDPE و HDPE میباشد.

لوله‌هایی که از جنس HDPE میباشد برای مصرف در پمپهای فورانی بکار میرود.

مصارف عمدهٔ آن برای لوله‌های آب سرد، لوله کشیها، وسایل خانگی، اسباب‌بازیها، سطل و ظروف آشغال و غیره میباشد.

۷ - طراحی با پلاستیک‌ها:

پلاستیک‌ها از قانون کلاسیک هوک که اساس کار طراحان میباشد، پیروی نمی‌کنند، طراح باید دقت کامل نماید که تمام جزئیات نمونه ساخته را مد نظر گرفته و مورد مطالعه قرار دهد.

انتخاب پلاستیکهای اولیه براساس سهولت تولید، مقاومت خوردگی، سبکی، خواص الکتریکی و حرارتی بود، ولی در حال حاضر انتخاب براساس استحکام مواد، مخصوصاً در قطعاتی که تحت تنش هستند میباشد.

مراحل طراحی پلاستیکی به این شرح میباشد.

۱ - ۷: مشخص نمودن لوازم و امکانات

۲ - ۷: تهیهٔ لیستی از مواد مورد استفاده

۳ - ۷: مشخص نمودن ابعاد بحرانی و خواص اجزاء تشکیل دهنده

۴ - ۷: مطالعه روی مشخصات مواد مخصوصاً با توجه به محیط کاربرد. اثر زمان و دما روی استحکام آنها.

۵ - ۷: مشخص نمودن روشهایی که مقادیر و شکل پیشنهادی قطعه را مشخص نماید.

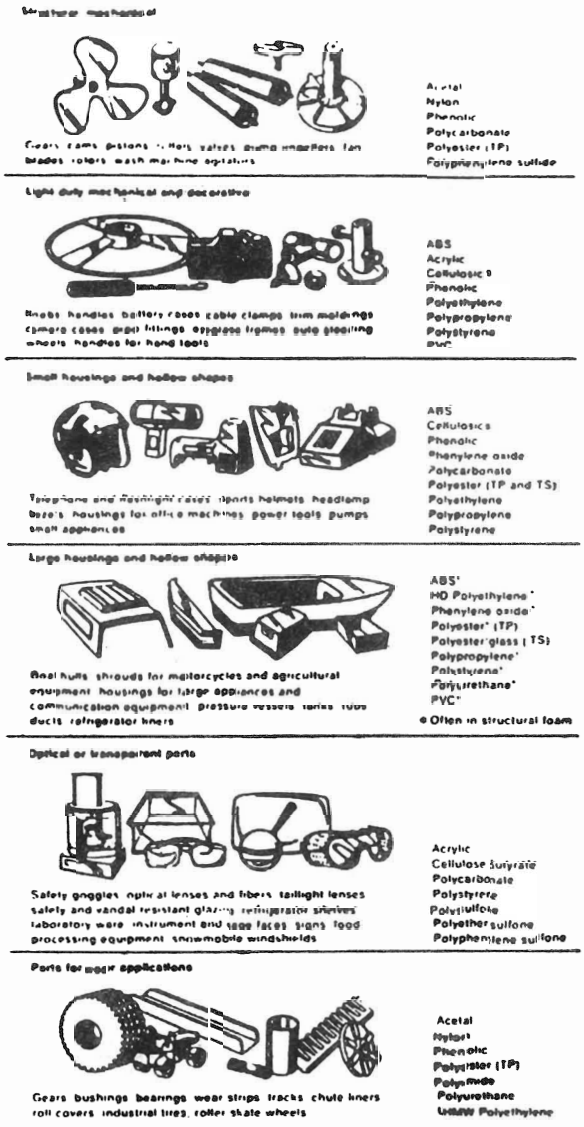
۶ - ۷: مطالعهٔ اقتصادی مواد

۷ - ۷: ساخت و آزمایش نمونه‌هایی که در هر شرایط ممکن کار میکنند.

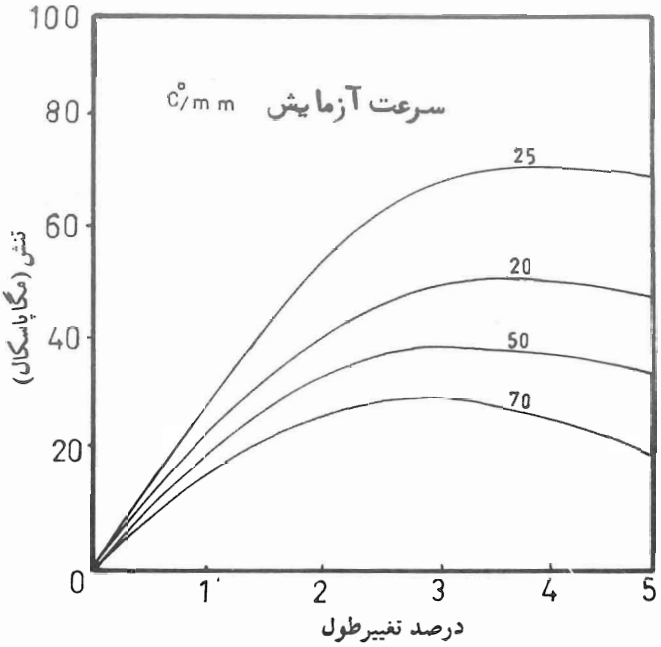
۸ - ۷: در صورت لزوم، تغییر شکل یا جنس مواد.

۹ - ۷: اتمام طراحی و آمادگی برای تولید.

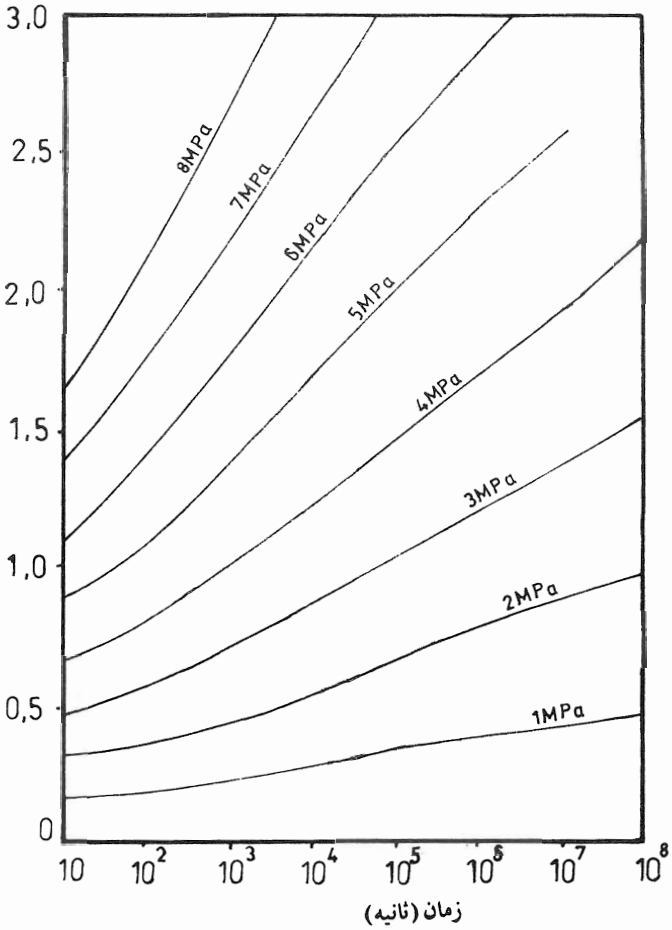
شکلهای 7-1 ، 7-2 ، 7-3 ، 7-4 و همچنین جدول 7-1 ، 7-2 ، برای طراح به عنوان رهنمای کار است و



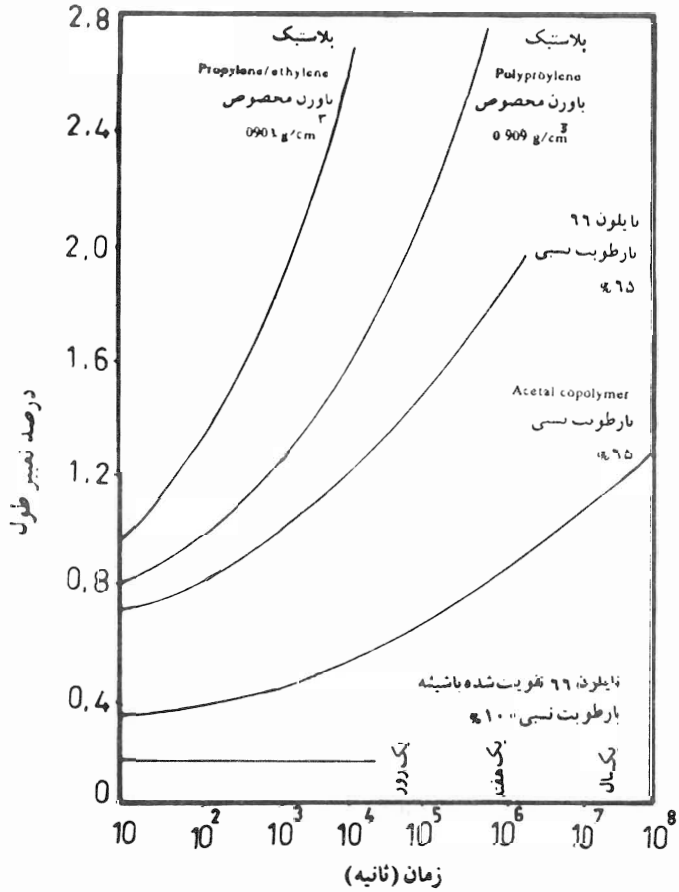
شکل ۱ - ۷: نمونه پلاستیک‌ها و کاربرد آنها



شکل ۲ - ۷: اثر درجه حرارت روی استحکام پلاستیک ABS .



شکل ۳ - ۷: منحنی های استحکام کششی پلاستیک Homopolymer در $20\,^{\circ}C$



شکل ٤ - ٧: مقایسه رفتار استحکام خزشی پلاستیک GRP با سایر پلاستیک‌ها

مواد	مدول خزشی (GN/m^2)
LDPE	0.1
HDPE	0.29
Polypropylene	0.36
Polypropylene + 20% glass fibres	1.2
Propylene ethylene copolymer	0.24
Polyacetal	0.92
Nylon 66 (dry)	0.81
Nylon + 33% glass fibres (dry)	3.5
Nylon 66 ($\theta = 50\%$)	0.47
Nylon 6 ($\theta = 50\%$)	0.51
Acrylic	1.43
Unplasticized PVC	1.51
Polyester	1.30
Glass-reinforced polyester	2.8
ABS	1.12
Polycarbonate	1.48
Polysulphone	2.03

جدول ۱ - ۷: اطلاعات مربوط به مشخصات خزش پلاستیک‌های مختلف در طول یک سال تحت نیروی ثابت در ۲۰^{oc}

۱ - درصد رطوبت نسبی = $\emptyset$

رزین پایه	مقدار شیشه درصد وزنی	مقدار شیشه درصد حجمی	استحکام کششی (psi) زمان (ساعت) 0	100	1000	5000	10000	50000
SAN	30	15.4	16700	9500	6000	3000	—	—
Polycarbonate	30	16.8	19800	10000	5600	4000	—	—
	0	0.0	8800	9700	5600	400	—	—
Polysulphone	30	17.3	17100	12000	12200	12600	12800	12900
	0	0.0	10500	10900	11900	12500	—	—
Polyacetal	30	19.2	14100	10000	8000	2500	—	—
	0	0.0	9500	9800	9300	2000	—	—
Polypropylene	30	13.2	7600	7000	6600	6200	6000	5850
Nylon 6.10	30	15.4	20000	9500	8300	6000	4500	—
PVC	25	15.1	17400	11500	8600	6700	5000	—
Modified PPO	30	15.2	21500	18000	14000	14000	13500	5000
	0	0.0	8600	8900	8600	8300	4500	—

جدول ۲ - ۷: اثر آب روی استحکام کششی ترموپلاستیک‌های تقویت شده با شیشه در ۱۰۰^{oc}

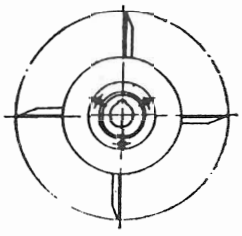
طراح میتواند از آنها کمک بگیرد ولی اطلاعات داده شده در این شکلها و جداول بعنوان کمک اولیه میتواند تلقی شود. اجزاء تشکیل دهنده باید مورد آزمایشهای دقیق قرار گیرند. این اطلاعات همهٔ فاکتورها را در نظر نگرفته است و چنانکه مشخص است در هر مورد به یک اطلاعات انفرادی اشاره شده است.

شرایط قالبگیری مانند درجهٔ حرارت قالب، خشک کردن پودر پلاستیک قبل از قالبگیری، فشار تزریق، درجهٔ حرارت تزریق ممکن است شدیداً روی خواص نهائی تأثیر گذاشته و طراح باید در آزمایشهائی که قرار است انجام دهد این شرایط را مد نظر بگیرد.

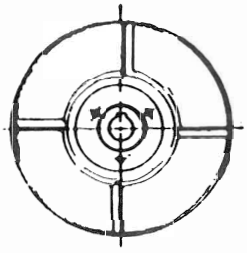
۰ - ۸: مطالعات جزئی روی اجزاء تشکیل دهندهٔ پمپ:

بعضی از مطالعات روی طراحی‌های پمپ بشرح زیر میباشد.

۱ - ۸ - پروانهٔ پمپهای Regenerative: پروانه پمپ Regenerative در شکل (a) ۱ - ۸ نشان داده شده است.



شکل (a) ۱ - ۸:



شکل (b) ۱ - ۸: پروانه با رینگ.

این پروانه قبلاً از برنز توپ (Gunmetal) ریخته میشد. هزینهٔ این ماده روز بروز افزایش می‌یابد. و لذا پیشنهاد میشود این قطعه از پلاستیک ساخته شود.

طرّاحی با اجزای تشکیل دهندهٔ پلاستیک مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که استحکام پرّه‌ها در بعضی پلاستیکها غیر کافی میباشد. لذا پیشنهاد شد که پره‌ها با یک رینگ از خارج تقویت شوند. (شکل (b) ۱ - ۸) تنش‌های وارده به شیار خار محاسبه شده و پلاستیکهای PC، GRPPO برای این کار مناسب میباشند. مواد زیر با درصدهای معین برای این منظور جهت تولید پروانه انتخاب شدند.

الف - ۲۰% از پلاستیک PC تقویت شده با شیشه.

ب - ۲۰% از پلاستیک PPO.

ج - ۲۰% از پلاستیک PBT تقویت شده با شیشه.

هدف از انتخاب درصدهای بالا به این منظور میباشد.

الف - پایداری ابعادی عالی

ب - سهولت قالبگیری

ج - مقاومت سایشی خوب.

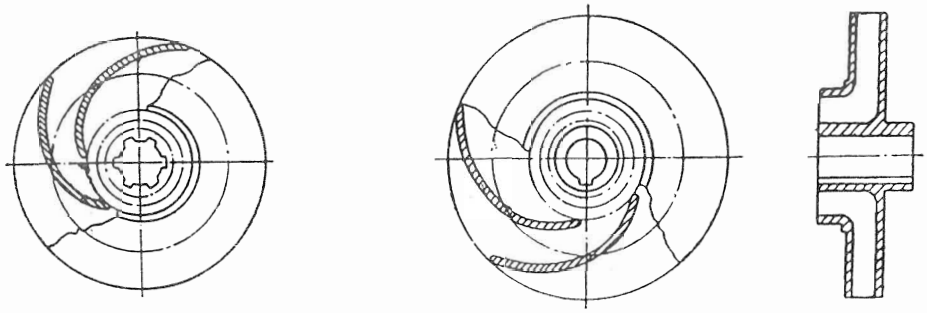
تمام سه مشخصهٔ بالا میتواند با افزودن ۲۰% PC یا PPO برآورده شود.

بهرحال انتخاب PC به خاطر فراوانی آن بود. چون شیار خار پروانه از جنس PC با آزمایش ضربهٔ ایزود (Izod) نتیجهٔ مطلوبی داشت، لذا این پلاستیک برای این منظور انتخاب شد. نمونه‌ها ساخته شدند و تمام مراحل آزمایشگاهی را پشت سر گذاشتند و بعد در تولید انبوه ۵۰۰ عدد از آنها تهیه شدند و مشاهده شد ٤۰% پروانه‌ها بعد از ۲۰۰۰ ساعت کار از محل جای خار ترک برداشته و می‌شکنند. بعد از بررسی‌های زیاد معلوم شد که علت شکست در اثر کاهش استحکام مواد در آب بود و پیشنهادات زیر برای بالا بردن استحکام ارائه شد.

۱ - استفاده از هزار خار (Spline) بجای شیار خار (Key Way)

۲ - استفاده از مواد PPO بجای PC.

۲ - ۸ - پروانهٔ پمپ شناور: نمونهٔ این پروانه‌ها در شکل (a) ۲ - ۸ نشان داده شده است.



شکل (a) ۲ - ۸: پروانه پمپ شناور

شکل (b) ۲ - ۸: پروانه پمپ شناور با هزار خار

این یک پروانهٔ بسته است و کوشش‌هایی که برای ساخت این پروانه از پلاستیک بعمل آمد، اولین بار در سال ۱۹۷۵ بود. صفحهٔ عقبی با پره‌ها و صفحهٔ جلوئی، جداگانه قالبگیری شدند صفحهٔ جلوئی با استفاده از رزینهای اپوکسی (Epoxy) به صفحهٔ عقبی چسبانده شده و موقع بکار افتادن پمپ دو صفحه از هم جدا شدند سپس پین‌های کوچکی روی صفحهٔ جلوئی موقع قالبگیری جاسازی شد. در مراحل بعدی این پین‌ها روی صفحهٔ جلوئی پرچ شدند، بعد از ۱۰۰۰ ساعت کار، در اثر تنش‌های وارده، ترکهایی در پروانه مشاهده شد لذا برای هر چه بهتر کردن کیفیت این پروانه روشهای مختلفی برگزیده شدند، از چسبهائی مانند Cynoacrylate برای چسباندن دو صفحه بهم استفاده شد.

همچنین قالبها طوری طراحی شدند تا پروانه بصورت یک تکه ریخته شود. برای درآوردن شیارها و توپی پروانه ماهیچه‌های سرامیکی یا فلزات با انقباض زیاد بکار رفت تا در موقع انجماد پلاستیک، فلز بتواند منقبض شده و پروانه براحتی از آن جدا شود.

دلایل انتخاب مواد پلاستیکی برای ساخت پروانه‌ها به این شرح می‌باشد.

۱ - مقاومت سایشی عالی

۲ - پایداری ابعادی در آب

۳ - سهولت قالبگیری

٤ - مقاومت به ضربهٔ بالا

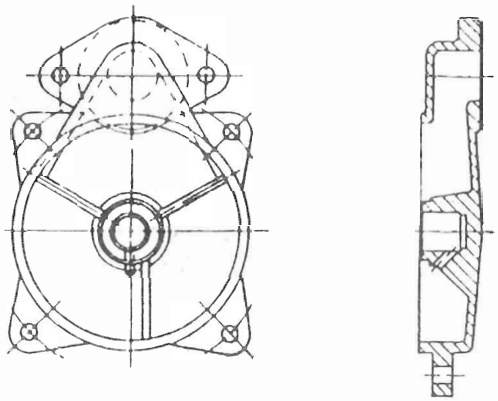
اولین ماده‌ای که برای این منظور انتخاب شد، پلی کربنات (Polycarbonate) بود. در عمل ثابت شد که

پروانه‌هایی از این جنس با رضایت کامل تا ۳۰۰۰ و ۳۵۰۰ ساعت کار کردند و بعد از این زمان ترکهای ناشی از تنش‌های وارده در نزدیکی جای خار مشاهده گردید.

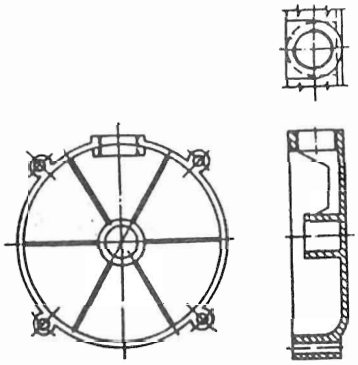
با تعویض هزار خار به جای شیار خار عمر مفید پروانه تا ۵۰۰۰ ساعت افزایش یافت. (شکل (b) ۲ - ۸) بهترین روش در عمل آن بود که از ۲۰% PPO استفاده شود همچنین با استفاده از هزار خار، از حساسیت ضربه‌های وارده کاسته شود.

۳ - ۸: محفظهٔ مکش پمپ Regenerative:

شکل (a) ۳ - ۸: محفظهٔ مکش یک پمپ Regenerative را نشان میدهد.



شکل (a) ۳ - ۸: محفظه مکش پمپ Reg از جنس چدن خاکستری

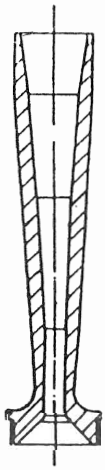


شکل (b) ۳ - ۸: محفظه مکش پمپ Reg از جنس پلاستیک

در حال حاضر این محفظه از جنس چدن خاکستری میباشد، بعلت گرانی شمش چدن، زیاد بودن هزینه ماشینکاری و نیاز بیش از حد به این قطعه، ضرورت دارد که جنس آن از چدن خاکستری به پلاستیک عوض شود.

معیار جایگزینی پلاستیک بجای چدن خاکستری بخاطر خواص زیر می‌باشد.
۱ - صلبیت عالی
۲ - چقرمگی و مقاومت به ضربهٔ خوب
۳ - سهولت قالب گیری
٤ - هزینهٔ کمتر
همچنین طرح قطعه نیز تغییر پیدا کرد.
مواد مورد استفاده به این شرح می‌باشد.
۱ - PPO %۲۰ ۲ - PETP %۲۰ ۳ - PC %۲۰ ٤ - PPO %۲۰.
با توجه به مسائل اقتصادی و خواص مورد نظر، PETP مقاوم‌ترین مواد شناخته شد.
تمام محاسبات مربوط به استحکام انجام شد و بعد از درآوردن قطعه از قالب، سفتی (Stifness) و پایداری ابعادی خیلی خوب بود.

٤ - ۸: لوله و انتوری پمپ فورانی: لوله و انتوری پمپ فورانی در شکل ٤ - ۸ نشان داده شده است.



شکل ٤ - ۸: لوله وانتوری

در حال حاضر این لوله از برنز توپ (Gunmetal) ریخته میشود.
به علت فاکتورهای زیر این لوله را از پلاستیک تهیه می‌نمایند.
۱ - مقاومت سایشی عالی
۲ - مقاومت فرسایشی در مقابل کاویتاسیون
۳ - سهولت قالب گیری
٤ - پایداری ابعادی عالی

موادی که برای این منظور مفید تشخیص داده شده است به این شرح میباشد.
۱ - PC ۲ - PETP %۲۰ ۳ - PPO %۲۰ ٤ - GR PCO %۲۰.

از نظر اقتصادی PETP در درجهٔ اول انتخاب می‌باشد در صورتیکه از نظر حجم تولید و دقت ابعادی بعد از قالب گیری PC حائز اهمیت می‌باشد. اگر سوراخ لوله وانتوری قرار است ماشینکاری شود و هزینهٔ ماشینکاری نیز پائین باشد، از زاویهٔ اقتصادی PETP باید انتخاب اول محسوب شود.

منابع:

1- Engineering Plastics - Indian scenario: CEI

2- Plastics and Rubber - Engineering Design and Applications: R Crawfor - MEP London.

3- Plastics product Design: RD Beck - Van Nortrand Reinhold Co.

4- Plastic product Design Engineering Hand book levy. Dubois - Chapman, Hall.

5- Handbook of Plastic and Elastomer: Harper - Mc Graw Hill

کاربرد مواد کربنی گرافیتی بعنوان یاتاقان

مهندس جواد حسین پور فیضی

قسمت اول

مقدمه:

مواد کربنی - گرافیتی، با توجه به خواص منحصر بفرد خود از زمانهای قدیم در صنایع مختلف مورد استفاده بوده‌اند. بعنوان مواد نسوز - آجرهای نسوز - الیاف - اجزاء مکانیکی و الکتریکی - آببندها - قطعات رآکتورهای اتمی و... در زیر تنها به مورد مصرف این مواد بعنوان یاتاقان و آب‌بند که مصرف عمده‌ای در صنایع پمپ‌سازی دارد. اشاره می گردد.

مشخصات مواد کربنی

مواد کربنی بعنوان یک ماده مورد قبول برای یاتاقانها - آب‌بندها و دیگر اجزا مکانیکی می‌باشد، که این به سبب مشخصاتی است که این مواد به شرح زیر دارند.

- مقاومت بسیار خوب در مقابل حرارت.
- مشخصات بسیار خوب اصطکاکی در محیط‌های خشک و تر.
- مقاومت شیمیائی بسیار خوب.
- جذب سطحی اندک نوترون.
- ضریب انتقال حرارت بالا.

اینها دقیقاً مشخصاتی هستند که در صنایع مورد نیاز می‌باشند.

اجزاء کربنی در شرایط زیر عملکرد بسیار خوبی دارند.

- زمانیکه اجزاء مکانیکی (یاتاقان و آب‌بندها و...) در دماهای بالا کار می کنند.
- زمانیکه اجزاء مکانیکی (یاتاقان و آب‌بندها و...) بدون روغنکاری و یا با روغنکاری اندک کار کنند.
- زمانیکه اجزاء مکانیکی (یاتاقان و آب‌بندها و...) در محیطهای خورنده کار کنند.
- زمانیکه اجزاء مکانیکی (یاتاقان و آب‌بندها و...) بصورت خشک و در سرعتهای بالا کار کنند.

تهیهٔ مواد کربنی:

مواد کربنی - گرافیتی یک روش تولیدی شبیه سرامیکها به شرح ذیل دارند.

در ابتدا مواد اولیهٔ آسیاب شده و بدقت طبقه‌بندی می‌شوند. سپس با چسب با پایهٔ کربنی مخلوط شده پرس می گردند. سپس در کوره 1200^{oc} پخته می‌شود. سپس قطعات پخته شده برای تبدیل به گرافیت تا 2500^{oc} در کوره‌های قوس الکتریک حرارت داده می‌شوند.

جهت افزایش استحکام - مقاومت در مقابل سایش - نفوذ ناپذیری، قطعات حاصل را با پلاستیک یا فلز خورانده (Impregnation) می کنند.

عواملی که روی مشخصات قطعات تأثیر می گذارند:

نوع مواد اولیه - ابعاد دانه‌های پودر و روش تولید همگی در مشخصات مواد حاصله از جمله مشخصات حرارتی - الکتریکی - مکانیکی تأثیر میگذارند.

قطعات حاصل از کوره با دمای 1200^{oc} به کربن سخت (Hard Carbon) معروفند. در این قطعات شبکه‌های کریستالی کربن بسیار کوچک بوده و در تمام قطعه بصورت نامنظم پراکنده‌اند. در حالیکه قطعات گرافیته شده در دمای 2500^{oc} دارای شبکه‌های کریستالی بزرگتری بوده که به نسبت زیادتری کریستالیزه شده‌اند.

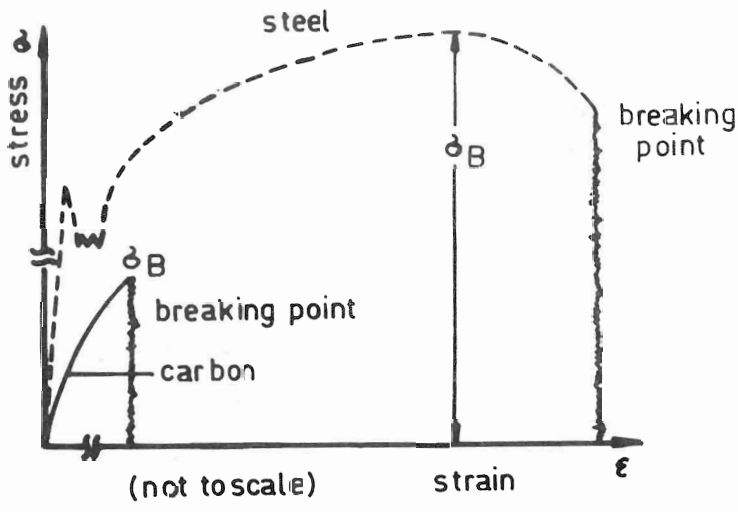
عملیات گرافیته کردن سبب کاهش سختی قطعات میشوند. و مواد الکترو گرافیت نرم بوجود می آیند که کیفیت یاتاقانی بهتری نیز دارند.

در فرآیند شکل دادن، پرس نمودن بیشتر از اکسترود کردن توصیه میشود. زیرا در پرس نمودن، قطعات با ساختمانی یکنواخت‌تر با مقاومت به سایش زیادتری تهیه میشوند.

مشخصات شیمیائی و فیزیکی:

مشخصات فیزیکی و شیمیائی که مواد کربنی بطور طبیعی دارا بوده و باعث میشوند که این مواد بعنوان قطعه‌ای از اجزاء ماشین انتخاب شوند به قرار زیر می‌باشند.

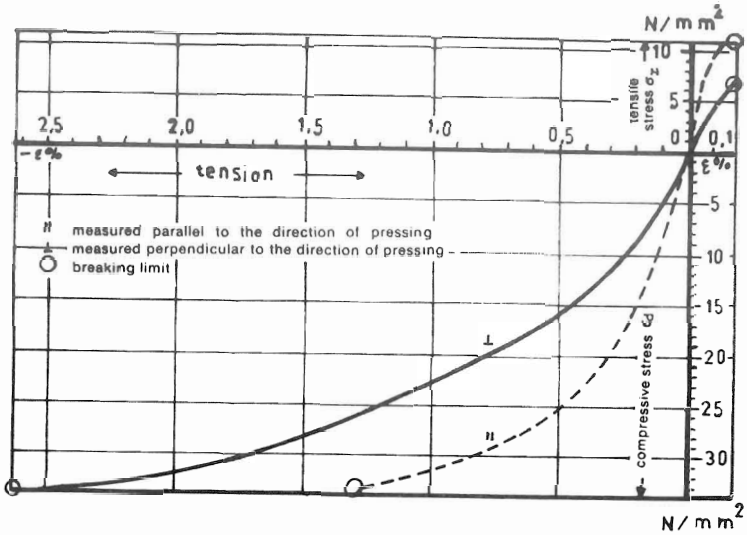
- خود روانکاری
- مقاومت خوب در مقابل خوردگی
- ثبات در ابعاد، به این معنی که ضریب انبساط حرارتی کمتری دارند.
- ضریب اصطکاک کم
- ضریب هدایت حرارتی خوب
- ماشینکاری آسان
- افزایش استحکام نسبت به دما
- چگالی اندک
- توانائی کار کردن با اکثر فلزات و سرامیکها بعنوان یاتاقان و آب‌بند تر و خشک.



دیاگرام استحکام و الاستیسیته

شکل مقابل دیاگرام تنش - کرنش فولاد و مواد کربنی را نشان میدهد. استحکام کربن تا 2500 درجهٔ کلوین تقریبا تا 100% افزایش می‌یابد بعد از این دما استحکام کاهش اندکی را نشان میدهد.

شکل زیر دیاگرام تنش - کرنش مواد الکترو گرافیتی را در هر دو جهت کشش و فشار نشان میدهد.



Direction of grain*)		Perpendicular ⊥	Parallel ∥
Modulus of elasticity E	N/mm²	7 10 10^3	4 8 10^3
Modulus of rigidity G	N/mm²	3 6 10^3	2 6 10^3
Poisson's ratio		0,20	0,07
Compressibility	mm²/N	10^{-5}	(c. f. metals 10^{-8} 10^{-9} mm²/N)

موارد زیر از دیاگرام قابل استنباط میباشند.

۱ - استحکام فشاری، تقریباً چهار برابر بزرگتر از استحکام کششی است، در حالیکه در فلزات این مقادیر تقریباً مساویند.

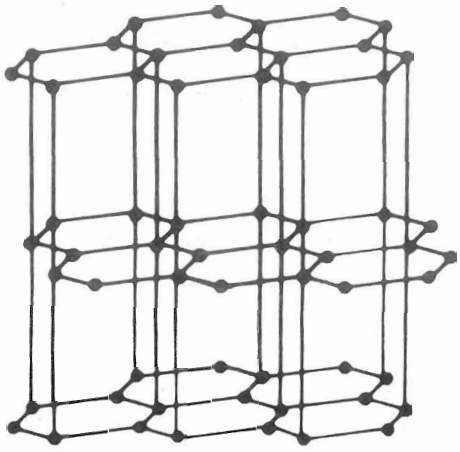
۲ - کربن بعنوان یک مادهٔ نیمه کشسان (Semi-elastic) شناخته میشود بنابراین:

- قانون هوک که نسبت تقسیم تنش به کرنش را در ناحیهٔ الاستیک نشان میدهد. در مورد کربن بصورت محدود بکار میرود.

- کرنش شکست کربن در ناحیهٔ کشش بسیار کمتر از فلزات است.

- طبیعت ترد و شکنندهٔ کربن اجازهٔ قالب گیری پلاستیک سرد و گرم را نمیدهد. در این حال فقط عملیات ماشینکاری میتواند جوابگو باشد.

۳ - مشخصات کربن بستگی به جهت اندازه گیری دارد. علت این امر شبکهٔ کریستالی گرافیت میباشد. که در شکل دیده میشود.

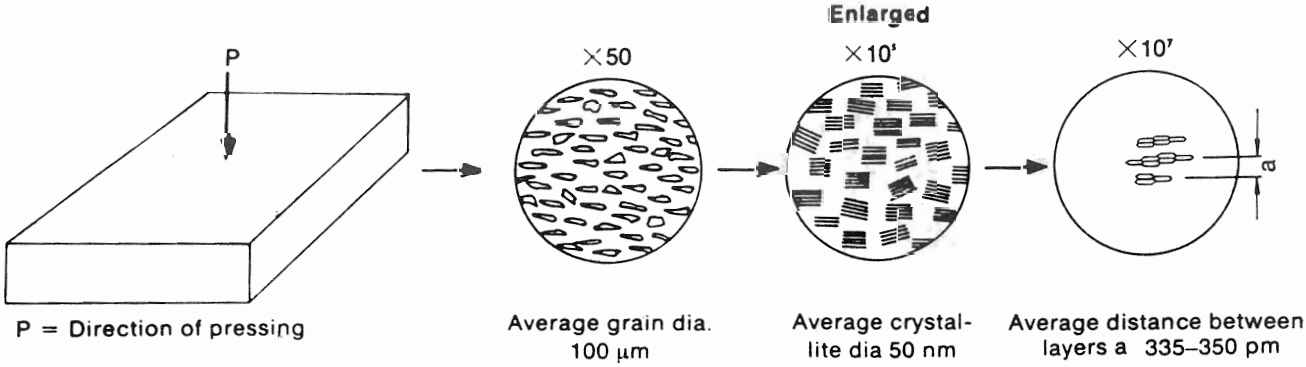


استحکام،ضریب هدایت الکتریکی و حرارتی در امتداد لایه‌های شبکه بسیار بزرگتر از راستای عمود بر لایه‌ها میباشند.
در اثنای عملیات آسیات نمودن مواد خام، ذرات خورد شده به شکل دانه یا پولک‌های ریز در می آیند.
اگر شکل دادن مواد در اکسترودر باشد این ذرات در راستای بردار فشار واگر شکل دادن در پرس باشد این ذرات در راستای عمود بر بردار فشار جهت گیری خواهند نمود.
برای مثال برای یک قطعهٔ کربنی پرس شده، استحکام در راستای موازی با جهت پرس (عمود بر راستای شکل گیری دانه‌ها) بیشتر از استحکام در راستای عمود بر جهت پرس (موازی با راستای شکل گیری دانه‌ها) میباشد.

جهت گیر دانه‌ها

اگر یک قطعه کربن پرس‌شده (شکل ۱) در زیر یک میکروسکپ عادی بررسی شود. جهت گیری دانه‌ها مطابق شکل زیر خواهد بود. (شکل ۲)

اگر دانه‌های در زیر میکروسکپ الکترونی بررسی شود، شبکهٔ کریستالی گرافیت موجود در دانه مشخص خواهد شد (شکل ۳) و بالاخره در یک بررسی با اشعه ایکس ترتیب اتمی نیز مشخص خواهد شد.



خواص اصطکاکی

به سبب ساختمان ورقه‌ای، مواد کربنی ضریب اصطکاک بسیار کمی در حرکتهای خشک و تر دارند. در عمل ضریب اصطکاک با تغییرات دما تغییری نخواهد داشت مادامیکه هیچگونه تغییراتی در شرایط آزمایش از جمله سطوح تماس اصطکاکی و محیط مایع و گاز و غیره وجود نداشته باشد.

در یک محیط با رطوبت مطلق بسیار ناچیز (تقریباً یک گرم آب در هر متر مکعب گاز در نقطهٔ شبنم 253 درجه کلوین) کیفیت اصطکاکی گرافیت کاهش می‌یابد. در این شرایط میزان سایش به سرعت بالا می‌رود.

که این شرایط اصطکاکی محیط خلاء میباشد.

ضرایب اصطکاک برای مواد کربنی به شرح زیر میباشد:

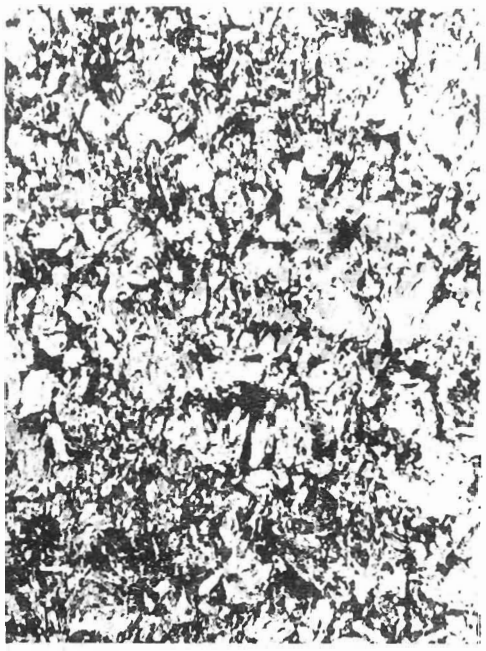
- محیط تمام روغنکاری	0.01-0.05
- محیط های نیمه روغنکاری	0.05-0.10
- محیط های خشک	0.10-0.25

تخلخل

مواد کربنی به سبب شرایط تولید مخصوص بخود متخلخل میباشند. که این ناشی از تخلخل موجود در ذرات کربن اولیه و یا در نتیجهٔ کربونیزه شدن چسب میباشد.

حجم کلی تخلخل در یک مادهٔ گرافیتی با چگالی ایده آل، 20% الی 25% میباشد. 5% الی 10% از این تخلخل فوق‌العاده کوچک بوده بطوریکه با میکروسکپ نیز غیر قابل رؤیت میباشند.

اکثر نقاط تخلخل متصل بهم میباشند بنابراین مواد کربنی ذاتاً در مقابل سیالات و گازها نفوذ پذیرند. با خوراندن توسط زرین مصنوعی و یا فلزات، مواد کربنی در مقابل سیالات و گازها غیر قابل نفوذ خواهند شد. میزان پرشدگی نقاط تخلخل با میکروسکپ و در موارد خوراندن با فلز توسط اشعهٔ ایکس نیز قابل ملاحظه میباشد. اشکال زیر مقاطع میکروسکپی دو مادهٔ ذغالی را نشان میدهد. بطوریکه در اشکال مشخص است ابعاد و پراکندگی نقاط تحلحل متفاوت بوده که این بستگی به مخلوط اولیهٔ کربن و فرآیند تولید دارد.

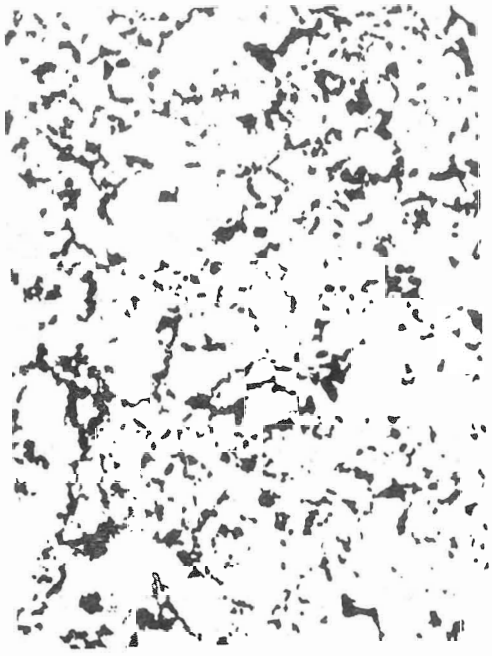


Hard carbon EK 10

Light and grey: carbon particles —

Black: pores

Enlarged 150 times



Electrographite EK 40

Light: electrographite

Black pores

Enlarged 150 times

مشخصات حرارتی

کربن ذوب نمی‌شود ولی در 3670 درجهٔ کلوین تصعید میگردد. در عین حال مصرف آن در محیطهای اکسید کننده محدود است. دمای مجاز ماکزیمم برای مواد کربنی بشرح ذیل میباشد.

در هوا تا 670^{ok}، در بخار آب تا 920^{ok}، در دی‌اکسید کربن تا 1020^{ok}

در مواد کربنی که با فلز یا رزینهای مصنوعی خوارنده شده‌اند. دمای ماکزیمم کارکرد بوسیلهٔ نقطهٔ ذوب یا دمای تجزیهٔ مواد خورانده شده محدود می‌گردند. در عین حال مقاومت اکسیدآسیون میتواند با انتخاب مواد خورانده شدهٔ مناسب افزایش یابد.

خواص خوب حرارتی کربن میتواند با مدول الاستیسیتهٔ کوچک، ضریب انبساط حرارتی کوچک و ضریب انتقال حرارت بالای آن مشخص شود. در عین حال مواد کربنی میتوانند در تغییرات شدید دمائی بهتر کار کنند.

جدول زیر مقایسهٔ بین خواص حرارتی کربن و مواد دیگر را نشان می‌دهد.

Material	Co-efficient of linear thermal expansion at 290 420 K ($\times 10^{-6}$/K)	Thermal conductivity at 290 K $\frac{W}{Km}$	Specif at 3 10^{-3}
Electrographite	**3 . . . 5**	**42 . . . 126**	**5:**
Hard carbon	**3 . . . 5**	**4,2 . . . 12,6**	**6**
Aluminium	24	210	5:
Iron	12	76	2
Copper	16	386	2:
Steel (unalloyed)	12 13	42 . 63	2
Steel (alloyed)	16	17	2
Cr Ni 18/8			
Ceramic	8	3,4	6
(Sintered alumina $Al_2 0_3$)			
P T.F.E. compound	40 150	0,34 1.26	6
materials			

خواص شیمیائی

کربن غیر محلول بوده و حالت مایع نیز نداشته و در زمرهٔ مواد مقاوم شیمیائی طبقه‌بندی میشود.

شیمی آلی

کربن تقریباً در مقابل عموم محیطهای آلی مقاوم میباشد. بنابراین محصولات واسطه و محصولات نهائی صنایع پتروشیمی - تصفیهٔ ذغال سنگ - مصنوعات - رنگرزی - داروئی - روغن - غذا - فتوگرافیک - سیال تبرید - و صنایع تبرید در این دسته از محصولات میباشند.

شیمی غیر آلی

کربن در مقابل بیشتر محیطهای غیر آلی مقاوم می‌باشد. بنابراین اغلب اسیدها - محلولهای قلیائی - بیشتر گازهای صنعتی و تمام محلولهای نمک بر روی ذغال بی‌تأثیرند.

برخی محیطهای اکسید کنندهٔ قویتر غیر آلی مانند اسیدها - هالوژنها - بازها نیز وجود دارند که کربن در آنها پایدار نبوده و یا تا دما و غلظت معینی می‌تواند پایدار بماند.

کربن در مقابل فلزات قلیائی در فاز مایع از قبیل سدیم و پتاسیم غیر مقاوم می‌باشد. در اثنای این فرآیند حجم قطعه کم شده و در نتیجه به عنوان یک قطعه مکانیکی از بین می‌رود.

مقاومت کربن در مقابل مخلوطی از اسیدها بستگی به دما و مقاومت کربن به غلظت تک تک اسیدها دارد. استثنای این قانون مخلوط ثابت اسیدها می‌باشد. مانند (اسید سولفوریک - اسید نیتریک به نسبت 3/2) و (اسید هیدروکلرویک - اسید نیتریک 3/1).

مقاومت مواد کربنی در مقابل محلول نمک آب‌دار و اسید بستگی به دما و غلظت اسید آزاد دارد. مثلاً اسید سولفوریک محتوی سولفات مس محلول، یا اسید نیتریک محتوی محلول کوبالت نیترید.

روشهای تست

جهت اندازه‌گیری و تست مشخصات مواد کربنی احتیاج به آزمایشگاههائی است که بیشتر در صنایع سرامیک کاربرد دارد. در این رابطه عموماً دو نوع تست بر روی مواد کربنی صورت میگیرد که تست عادی و تست مخصوص میباشد.

۱ - روش تست عادی

سختی شور (shore)

این سختی سنجی بصورت دینامیک میباشد. و توسط اندازه‌گیری ارتفاع برگشت گلوله رها شده سنجیده میشود. دستگاه اندازه‌گیری سختی سنج شور اسکلرسکرپ میباشد. که وزنهٔ انداخته شده 2.5 گرم از ارتفاع 256 میلیمتر و قطر سطح انعکاس دهنده 0.7 میلیمتر میباشد.

استحکام خمشی

این تست براساس DIN 50110 با تکه‌های 70×10×12 میلیمتری انجام میگیرد. بطوریکه تکه نمونه روی دو تکیه‌گاه قرار گرفته و بار بر وسط قطعه وارد میگردد. فاصلهٔ این دو تکیه‌گاه 60 میلیمتر میباشد. تکه فشاردهنده با r=4 میلیمتر و پایه‌ها با r=0.5 میلیمتر گرد شده‌اند.

استحکام فشاری

این تست مطابق DIN 50106 انجام میگیرد. نمونهٔ مورد نظر مکعبی به ضلع ۱۰ میلیمتر میباشد.

ضریب ارتجاعی (مدول الاستیسیته)

اندازه گیری در محدودهٔ الاستیک و براساس مقاومت در مقابل ممان خمشی صورت میگیرد.
تکه های نمونه در اندازهٔ 8×4×50 میلیمتر بوده و فاصلهٔ بین دو تکیه گاه LS=42 میلیمتر بوده و سر تکیه گاهها با r=0.5 میلیمتر و تکه فشار دهنده با r=4 میلیمتر گرد خواهند شد.

۲ - روش تست مخصوص

برای هر چه بیشتر مقایسه نمودن کربن با فلزات جهت طراحی موارد زیر ذکر میگردد.

استحکام کششی

اندازه گیری براساس DIN 57335 با تکه‌های تست محصوص سرامیک بکار میرود. سپس تست براساس DIN 50145، 50146 DIN ، ارزیابی میگردد.

سختی برینل

سختی HB 5/5-30 براساس DIN 50351 میباشد. که در آن قطر ساچمه ۵ میلیمتر، بار 125kg و زمان وارد شدن بار ۳۰ ثانیه میباشد.

مقاومت خستگی

برای کاربردهای دینامیک مداوم، استحکام در مقابل خستگی قطعات ذعالی بشرح ذیل بیان میشود.
ماکزیمم لنگر خمشی ±1.5 N.m، فرکانس 1500/min.
تست فوق مطابق روش wöhler و DIN 50100 با کشش متوسط صفر انجام میگیرد. و محدودهٔ فرکانس بار بزرگتر یا مساوی 10^7 میباشد.
در اینحال مقادیر تقریبی زیر را خواهیم داشت:

$\delta bw \approx 0.53 \times \delta bB$ $\delta bw \approx 0.74 \times \delta B$

δB = استحکام کششی δbB = استحکام عرضی δbw = مقاومت خستگی

استحکام برشی

تست فوق براساس DIN 50141 انجام میگیرد. استوانه‌ای به ابعاد Ø6.5×25mm با تکه برش دهندهٔ 4mm با تست برشی دوگانه.

استحکام ضربه

در این تست میله‌های بدون شکاف با مقطع مربع در ابعاد 6×6×48mm و فاصلهٔ تکیه گاههای 20mm بکار میرود. سرعت ضربه 580 ft/min (29 m/sec) انرژی پتانسیل مکانیسم ضربه 60N.cm و شعاع قطعه ضربه زننده 2.5mm میباشد.

تست اشعهٔ ایکس (X)

درصد پر شدن تخلخل مواد کربنی از رزین یا فلز با تست اشعهٔ ایکس (X) مشخص می گردد. ضمناً تشخیص نقطهٔ ترک از تخلخل در قطعات تمام شده در یک محدودهٔ معینی با این تست انجام میگیرد.

در زیر مشخصات برخی تولیدات کارخانهٔ Ringsdorff مشاهده میگردد.

Physical Properties of Ringsdorff Grades (Mean values)

Grade	Impregnation Material	Impregnation Weight %	Density g/cm³	Hardness²) Shore	Hardness²) Brinell HB 5/5-30 N/mm²	Tensile strength¹) N/mm²	Transverse strength¹) N/mm²)	Cyclic bending strength¹) N/mm²)	Compressive strength²) N/mm²	Shear strength²) N/mm²	Impact strength N·mm/mm²	Modulus of elasticity¹) N/mm²	Thermal expansion¹) 10⁻⁶/K 290 470 K	Thermal expansion¹) 10⁻⁶/K 470 770 K	Thermal conductivity¹) W/Km	Temperature resistivity K oxidising	Temperature resistivity K reducing
Hard Carbon																	
EK 10	—	—	1.60	80 90	500	34	45	22	140	40	3.9	16 000	2.4	3.2	4.2	670	1570
EK 11	—	—	1.75	90 100	650	48	75	30	215	55	4.7	17 000	3.2	4.9	12.6	670	1570
EK 18	—	—	1.60	80 90			30		90	—	—	15 000	2.0	2.8	8.4	670	1570
Electrographitic Carbon																	
EK 40	—	—	1.70	70 80	450	25	35	18	100	35	3.5	9 500	3.7	4.6	25.2	670	2770
EK 41	—	—	1.70	45 55	200	24	30	15	60	23	3.2	8 500	1.3	2.3	42.0	670	2770
EK 42	—	—	1.70	70 80	450	28	40	—	100		3.4	9 000	2.2	3.2	33.6	670	2770
EK 48³)	—	—	1.60-1.70	30 45	150	14	20	—	40	—	—	7 000	1.5	2.5	105.0	670	2770
EK 499³)	—	—	1.70	25 35	100	8	12	—	30	—	—	6 000	2.0	2.9	12.6	670	2770
Metal-impregnated Carbon																	
EK 300	White metal	30—40	2.50	80—90	600	50	65	31	220	50	4.2	15 000	4.0	—	29.4	470	470
EK 302	Lead bronze	30—40	2.40	80—90	600	37	50		160			12 000	5.4	5.7	29.4	770	1070
EK 305	Antimony	20—30	2.20	80—90	700	35	45	28	160	50	4.6	14 000	4.7	5.1	29.4	770	820
EK 308	Silver	20—30	2.20	80—90	600	30	40	25	145	40	3.8	11 000	5.2	5.5	33.6	770	1120
EK 3100	White metal	20—30	2.30	85—95	800	47	65		205		—	21 500	3.8	—	8.4	470	470
EK 3102	Lead bronze	25—35	2.30	85—95	800	52	70		220		—	21 000	4.2	4.5	8.4	670	1070
EK 3105	Antimony	20—30	2.15	85—95	800	48	65	37	225	60	5.2	20 000	3.4	3.8	8.4	670	820
Resin-impregnated Carbon																	
EK 200	Resin	5 7	1.90	100—110	650	43	55	30	250	58	4.0	14 000	5.7	—	25.2	470	470
EK 210	Resin	5 7	1.90	55—65	300	30	50	20	110	38	3.8	13 000	2.9	—	42.0	470	470
EK 222	Resin	5 7	1.80	70 80	500	33	45		110		—	11 000	2.5	—	33.6	470	470
EK 2100	Resin	7 10	1.80	90 100	900	41	60	35	210	56	4.4	18 500	2.5	—	4.2	470	470
EK 280³)	Resin	7—10	1.85	50 60	300	34	45	—	90	—	—	14 000	3.0	—	105.0	470	470
EK 299³)	Resin	7—10	1.85	45 55	200	20	27	—	75	—	—	13 000	3.3	—	12.6	470	470
EK 2108	PTFE	6—10	1.80	80 90	500	34	45	22	140	40	3.9	16 000	2.4	—	4.2	570	570
EK 60	Resin bonded	—	1.75	50 65	280**		75	—	100	—	—	20 000	16	—	—	430	430

*) At 10^7 cycles **) HB 2.5/5—30 ¹) ∥ parallel to grain direction ²) ⊥ perpendicular to grain direction ³) Extruded grades

روش انتخاب مواد کربنی

مهمترین مواردی که در انتخاب کربن مناسب مهم است به شرح زیر میباشند :
- دمای کارکرد
- محیط کارکرد (نوع و غلظت سیّال اعم از مایع یا گاز)
- بار وارده و سرعت حرکت
- نوع بار (فشاری - کششی - خمشی - پیچشی)
- امکان ماشینکاری قطعه و تلرانسهای مورد لزوم
- تشعشع رادیو اکتیویته (هنگامیکه در رآکتورهای اتمی مصرف شود)

قطعه حاصل از فرآیند پرس یا اکسترود

قطعات حاصل از پرس با چگالی بیشتر و بافت یکنواخت‌تر مشخص میشوند. بنابراین مقاومت سایش بیشتری نیز خواهند داشت. در نتیجه اجزاء مکانیکی کربنی، بیشتر از فرآیند تولید با پرس بدست می‌آیند قطعات حاصل از اکسترود مناسب برای اشکال ساده‌تر میباشند. بطوریکه تلرانسهای کوچکتری نداشته باشند. ضمناً برای قطعات با مقاطع بزرگ مخصوصاً برای برخی طولهای قطعات مناسب میباشد، کاربرد قطعات اکسترودی به بارهای سادهٔ مکانیکی محدود می‌شود. بنابراین بعنوان بوش روی محور، قطعات سایشی یاتاقانی، قطعات مخصوص لبه‌های ورودی ماشینهای کاغذ و... مصرف می‌شوند.

دما

برای دماهای زیر در هوا با استفاده از جدول صفحهٔ قبل ذغالهای زیر پیشنهاد میشود.
- تا 450^{ok} کربن معمولی یا خورانده شده با رزین و فلز EK40 , EK2100 , EK200 , EK3100 , EK300 , EK10.
- از 450^{ok} الی 670^{ok} کربن معمولی یا کربن خورانده شده با سرب و یا برنز مصرف میشود.
- بالاتر از 770^{ok} کربن الکتروگرافیت خورانده شده با فلز آنتیمون EK305.

شرایط کارکرد

برای شرایط کارکرد مختلف ذغالهای زیر پیشنهاد میشود.
- کارکرد خشک: الکتروگرافیت (با و یا بدون خوراندن)
- کارکرد تر: کربن سخت (با و یا بدون خوراندن)
- صنایع غذایی: کربن خورانده شده بدون سرب و یا خورانده شده با رزین.
- گازهای سنتز: کربن بدون مس، خورانده شده با فلزات و یا رزین.

مقاومت شیمیائی

به جداول مربوط مراجعه شود.

مواد پلیمری - رزینی - کریستالی

قسمت بحرانی کاربرد کربن در محیطهائی است که تمایل نفوذ به یاتاقانها و سطوح آب‌بندی در حال سکون و یا حرکت را دارند زیرا در این شرایط مواجه با رسوبات زیاد و ویسکوزیته سنگین خواهیم بود. در این حال خسارت وارده به سطح آب‌بندی کربن در لحظهٔ استارت بستگی به میزان اصطکاک سکون خواهد داشت.

سیالات حاوی ناخالصی

سیالات با ناخالصی‌های سایندهٔ معلق مانند شن، کراندوم، تراشه‌های فلز برای یاتاقانها یا آب‌بندهای ذغالی خطرناک میباشد.

بار و سرعت تماس (Sliding Speed)

ذغالهای رزین و فلز خورانده فاکتور P.V (Pressure.Velocity) را بیشتر از ذغالهای معمولی تحمل می کنند. شرایطی که فاکتور PV در آنها زیاد است استفاده از جداول مخصوص و آزمایشاتی ضروری است.

نوع بار

بر خلاف فلزات استحکام فشاری کربن تقریباً چهار برابر بیشتر از استحکام کششی آن است.بنابراین طراحان در استفاده از کربن بایستی دقت نظر زیادی بکار ببرند و تا حدّالامکان کربن را برای بارهای فشاری بکار برند.

کیفیت ماشینکاری

کربن معمولی یا کربن سخت (Hard Carbon) به شماره‌های Ek3105، Ek3100، Ek2100، Ek10، نسبتاً عملیات ماشینکاری مشکلی دارند. (حتی با ابزارهای برشی ساخته شده از فلزات سخت و الماس) بنابراین ماشینکاری این ذغالها بایستی حدالامکان محدود به تراش ساده و سنگ‌زنی باشد.

الکتروگرافیت

مواد کربنی به شماره‌های Ek40، Ek41، Ek200، Ek210، Ek300، به آسانی قابل ماشینکاری حتی با اشکال بسیار پیچیده میباشد.

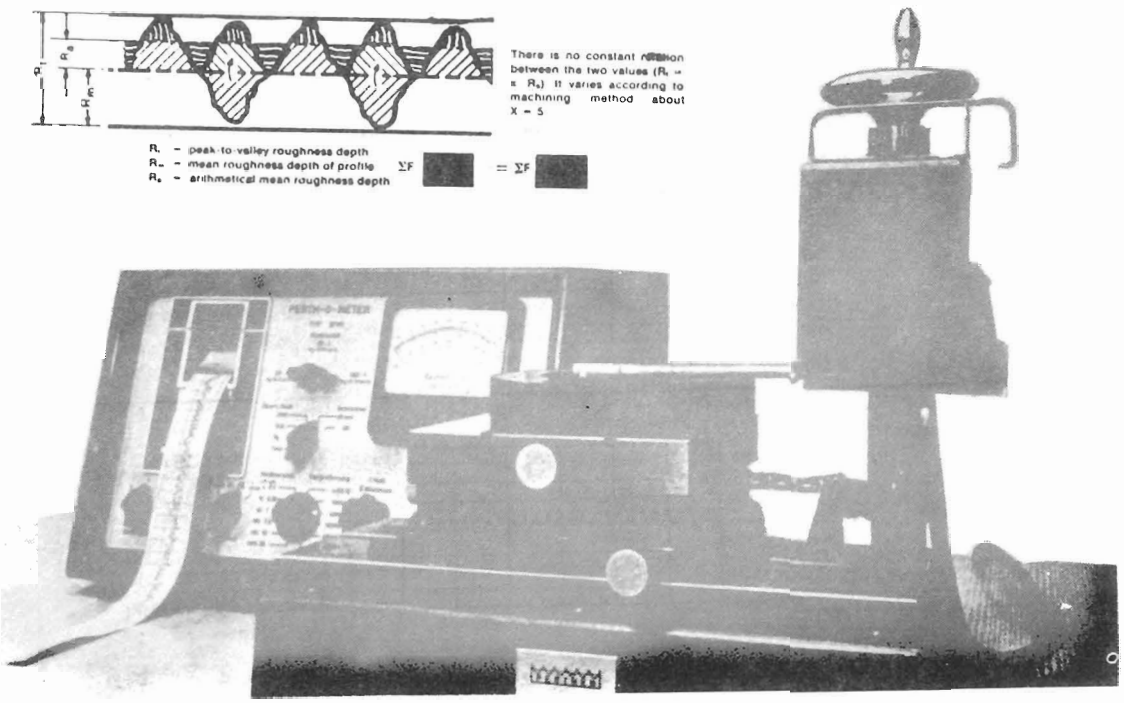
تأثیرات رادیواکتیو

تا تشعشع 10^{19}nvt (نوترون حرارتی در cm^2 و در ثانیه) الکتروگرافیتهای Ek40، Ek305 و Ek308 می‌توانند بدون خسارات تشعشعی قابل ملاحظه و فعالیت خیلی اندک انتخاب شوند برای موارد با تشعشع زیاد گرافیتهای مخصوص رآکتور بکار میرود.

سطوح تمام شدهٔ مواد کربنی

صافی سطح مواد کربنی ماشینکاری شده نسبت به مواد سخت‌تر از اهمیت کمتری برخوردار است. زیرا اگر قطعه‌ای کربنی بخوبی با قطعه‌ای با سطوح ماشینکاری شده جفت شود حین کار به سرعت سطح تماس آن صاف و پولیش خورده میگردد در اثنای این عملیات معمولاً یک فیلم نازکی از گرافیت در سطح تماس ساخته میشود پس از این حرکت یک سطح گرافیتی روی سطح گرافیتی دیگر خواهد بود. استاندارد سطوح تمام شده مطابق DIN3141 میباشد در عین حال مقایسهٔ مابین استانداردهای سطوح تمام شده کربن و فلزات تنها در یک محدودهٔ کوچک امکان‌پذیر است. و آن بعلت این است که فلزات بر خلاف کربن دارای ساختار متراکم‌تر و بدون خلل و فرج میباشد بنابراین اگر سطوح قطعه فلزی و کربنی به یک طریقه ماشینکاری شود سطح قطعه فلزی نسبت به کربنی از زبری کمتری برخوردار خواهد بود. اندازه و توزیع خلل و فرج در مواد کربنی تابع توزیع دانه‌ها میباشد و اندازه گیری زبری سطح قطعه کربنی فقط در محدودهٔ پراکندگی خلل و فرج اندازه گیری میشود.

ارزیابی این اندازه گیری بیشتر با این حقیقت محدود میشود که ذرات گرافیت آزاد شده در حین فرآیند ماشینکاری در خلل و فرج بسیار ریز سطوح وارد میشوند بطوریکه این ذرات پیوند نیافته در خلل و فرج سطوح تمایل زیادی به ترک سطح قطعه خواهند داشت. با اندازه گیریهای انجام یافته روی قطعه کربنی پس از تمیزکاری ماورای صوت مطلب فوق بهتر تائید میگردد. زمانیکه موجه با زبری نسبی بزرگتری در تست‌ها باشیم. مشخصات سطوح تمام شده را با Ra، Rt مطابق شکل زیر نشان میدهند. ضمناً دستگاه ثبات مشخصات صافی سطوح نیز در زیر دیده میشود.



در زیر صافی سطوح قطعات کربنی سنگ و پولیش خورده ملاحظه میگردد.

A Comparison of Surface Finish Measurements for Ground Carbon and Steel Surfaces

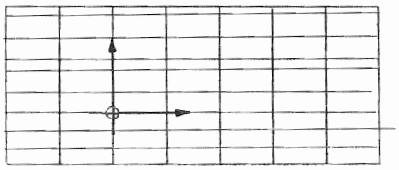
Type of recording instrument. Perth-0-Meter

Wave: 0,75 mm

Measurements on flat face:

Carbon 75 mm dia.

Steel 50 mm dia.



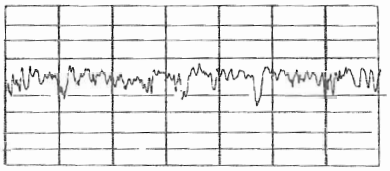
Scale

Vertical:

10 mm ≙ 25 µm

Horizontal

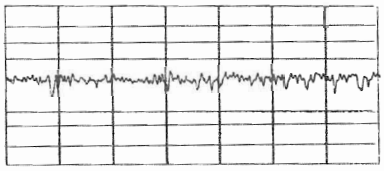
10 mm ≙ 500 µm



Unimpregnated electrographite EK 40

R_t value = 9 . . . 20 µm

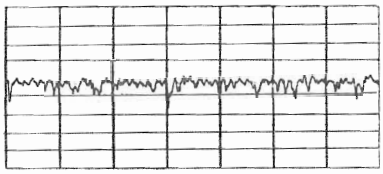
R_a value = 2 . . . 4,5 µm



Metal impregnated electrographite EK 300

R_t value = 5 . . . 10 µm

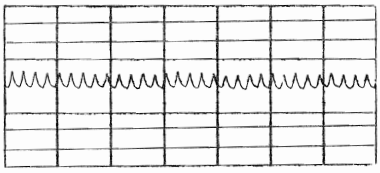
R_a value = 0,9 1,7 µm



Metal impregnated hard carbon EK 3105

R_t value = 5 15,5 µm

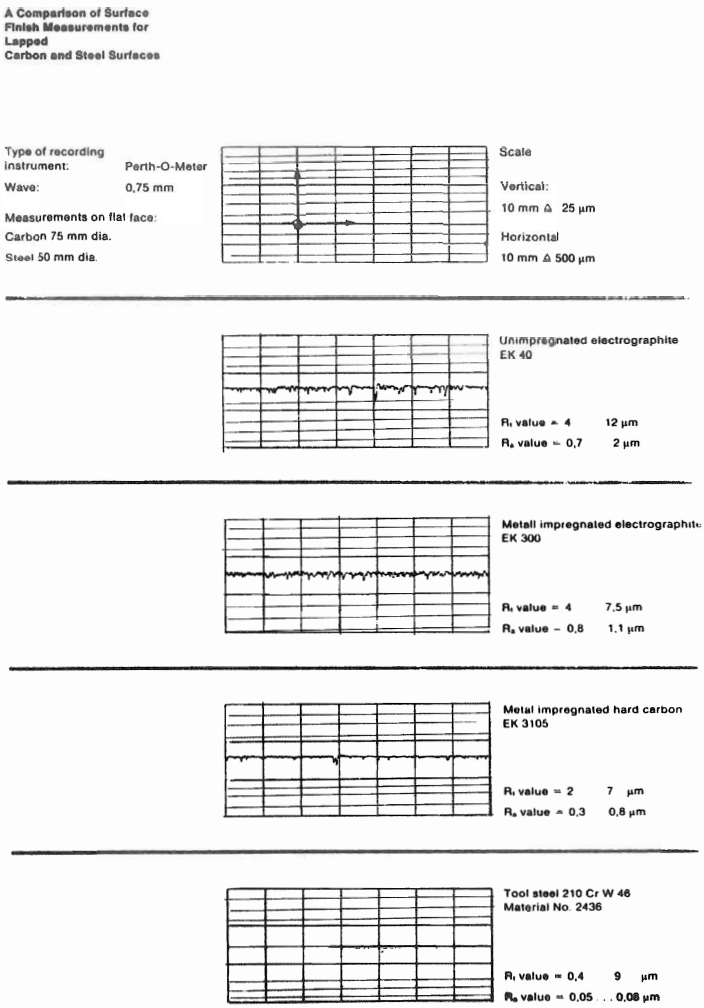
R_a value = 1 3,2 µm



Tool steel 210 Cr W 46 Material No. 2436

R_t value = 7 . . . 8 µm

R_a value = 1,8 1,95 µm



سطوح تمام شدهٔ مواد (Mating Materials)

استاندارد سطوح تمام شدهٔ مواد اهمیّت اساسی برای کاربرد رضایت‌بخش دارد.

- محورهای تراش شده ($Rt=2.5.....10\mu m$) نامناسب میباشند.

- محورهای حاصل از کشش گداخته ($Rt\approx1\mu m$) برای سرعتهای محیطی خیلی کم ($V\approx0.5m/s$) و بار کم ($P\approx1\ N/mm^2$) مناسب میباشند در عین حال محورهای با سنگ‌زنی نرم ($Rt=0.5-0.8\mu m$) برای کاربردهای عادی مناسب میباشند.

- برای شرایط کارکرد سخت سنگ‌زنی نرم (Lapping)، پولیش کاری و پولیش کاری بسیار نرم (Super finishing) ($Rt<0.5\mu m$) ضروری است. هنگام کاربرد کربن در شرایط خشک، استاندارد سطوحی که با آن کار میکند در مقایسه با کارکرد تر بسیار مهم خواهد شد و در مورد محیط‌های با روغنکاری مناسب، مانند آب و نفت، اصطکاک در محدودهٔ زبریهای میکروسکوپی سطوح تماس تنزل خواهد کرد (DIN 4763) مواد فوق که با

اصطلاح (Mating Materials) معرفی شده‌اند شامل مواد زیر میباشند:
چدن خاکستری - فولاد آلیاژی، غیر آلیاژی و نیتریدی - فلزات سخت - فلزات غیر آهنی - سرامیک و شیشه و در مواد محدودی فلزات سبک - سطوح کروم‌دار و در برخی موارد کربن.

جا زدن بوش کربنی روی فلز

هنگام جا زدن یک بوش کربنی روی یک فلز همواره بایستی در نظر داشت که اختلاف در میزان انبساط حرارتی ما بین فلز و بوش کربنی میتواند باعث جلوگیری از انبساط آزاد فلز توسط قطعه کربنی گردد بنابراین در این صورت کربن خواهد شکست.

چسباندن کربن

کربن میتواند به کربن - فلز - سرامیک و مواد مصنوعی چسبانده شود. با بکار بردن یک چسب مناسب یک اتصال قابل اعتماد بدست میاید که تا دمای 450^{ok} قابل استفاده خواهد بود. بالاتر از این دما موادی که می‌توان بکار برد عبارتند از: Tegofilm M12 - ورق رزین مصنوعی Goldschmidt AG با نام Essen که این میتواند بسادگی بشکل مورد نظر بریده شود.
برای دمای کمتر تا 370^{ok} رزین اپوکسی با درجهٔ تجارتی معمولی میتواند بکار رود.
هنگامیکه لازم است اتصالات چسبی در یک دمای خیلی بالاتری قرار گیرند بایستی در ابتدا تا دمای 870^{k} در خلاء یا گاز محافظ با افزایش دمای $283-285^{ok/h}$ گرم شوند که برای این منظور چسب k85 استفاده میشود در عین حال دمای مقاومت چسب کربنی شبیه خود کربن میباشد یعنی تا 670^{k} در یک محیط اکسید کننده و بعد از آن تا 2770^{k} در یک محیط احیا کننده می‌تواند مقاومت کند.

ماشینکاری مواد کربنی

هنگام ماشینکاری مواد کربنی توصیه‌های زیر بایستی مدّ نظر گرفته شود.

خنک کاری

روشهای خنک کاری معمولاً موقعی مورد استفاده میباشد که فلز ماشینکاری همراه کربن بکار نمیرود. در این حال محلولهای مورد استفادهٔ در خنک کاری عملیات سوراخکاری و روغنهای مورد استفاده در ارّه کاری نبایستی مصرف شود.

گرد گیری

گرد گیری مخصوص مواد کربنی در اثنای ماشینکاری ضروری بوده در غیر اینصورت گرد کربن مانع کار مطلوب دستگاه و موجب آسیب رسیدن به یاتاقانهای ماشین خواهد شد.

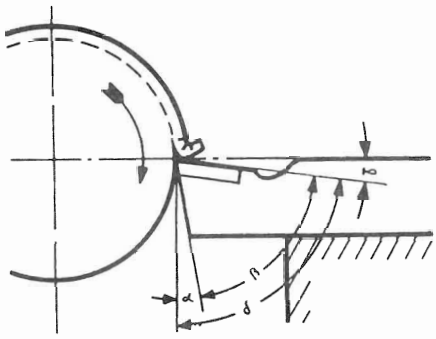
بستن به گیره (سه نظام)

در بستن مواد کربنی به گیره (شبیه سرامیکهای با مشخصات کربن) فشار (برشی) اندکی بایستی اعمال گردد بستن به گیره بایستی با دقت و با نهایت آرامی انجام گیرد.
سوراخکاری به توسط گیرهٔ فشنگی (Collet) و یا expanding ring بهتر صورت میگیرد.
قطعه بایستی در یک سه نظام قرار گیرد و ضخامت دیواره‌ها نبایستی کمتر از 10mm باشد برای ماشینکاری خارجی، قطعه بایستی در یک mandrel قرار گیرد.

تراشکاری

هنگام تراشکاری لازم است از ابزارهای سخت فلزی kol یا ابزار الماسه TT7/TT6 مخصوصاً جهت تلرانسهای کوچک استفاده شود. سطوح برشی ابزارها همیشه بایستی در حالت خوب حفظ گردند تا از یک فشار یکنواخت برشی در حین تراشکاری مطمئن بود.
جهت اجتناب از لب‌پرید گی باردهی، بایستی در حداقل ممکن بخصوص در انتهای ماشینکاری باشد.

Clearance angle a		= 15 –20°
Front rake or lip β		= 70°
Cutting angle	δ (a + β)	= 85 –90°
Top rake	γ	= ± 1°
Setting rake	x	= 45°



Recommended Speeds and Feeds		Roughing out	Finishing	Superfinishing
Cutting speed	m/min	100—200	100—300	200—400
Feed towards chuck	mm/U	0,15—0,25	max. 0,10—0,15	0,05—0,10
Depth of cut	mm	Up to 7	0,4	0,1—0,4

سوراخکاری

جهت احتراز از لب پر شدن قطعات کربنی در حین سوراخکاری، فشار برشی اعمال شده بایستی با شکل ابزار (زاویه‌های لبه‌های برشی نسبت به سطح کوچکتر یا مساوی 30 میباشند) و یا با بکار بردن قطعه‌ای در زیر سوراخ حذف گردند.

سنگ‌زنی

سنگ‌زنی بایستی در سرعتهای 25-35m/s با سنگهای سیلیکون - کاربیدی با دانه‌های شمارهٔ 20 الی 46 و سختی F و P صورت گیرد.

جهت سنگ‌زنی‌های بسیار نرم ابعاد دانه‌ها بایستی زیر 20 و با سختی k باشد.

پولیش کاری

جهت تهیهٔ یک سطح خوب پولیش‌خورده، استفاده از یک سطح سنگ خوردهٔ نرم (Lapping) ضروری است. پولیش کاری بایستی با یک سرعت محیطی (rubbing speed) 3.5m/s و ریزترین کاغذهای ساینده در اندازه‌های دانه‌بندی 0، 2/0، 3/01، 6/01، و یا 1/F صورت گیرد.

Honing/Lapping/Super finishing

جهت داشتن تلرانسهای خیلی کوچک این روشهای صافی سطوح برای کربن و دیگر مواد باید بکار گرفته شود.

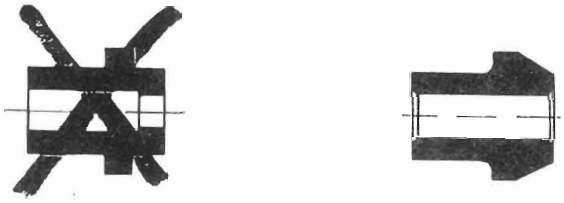
Design Recommendations

Tolerances for Carbon Parts

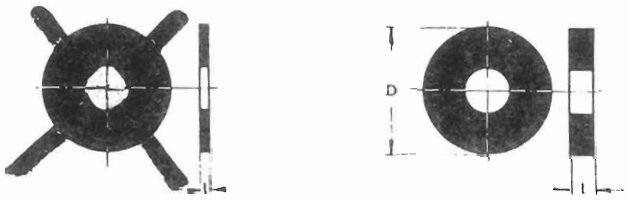
One-piece components	
Inside tolerance	IT 7
Outside tolerance	IT 6
Multi-piece components	
Inside tolerance	IT 8
Outside tolerance	IT 7
Eccentricity tolerance	IT 8

Design for Carbon Parts

In general, any shape made in metal can be made in carbon. However, the brittle nature of carbon must be borne in mind. The following examples will act as a guide.

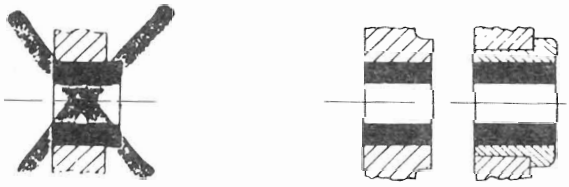


Avoid sharp changes of section.
Break sharp edges.

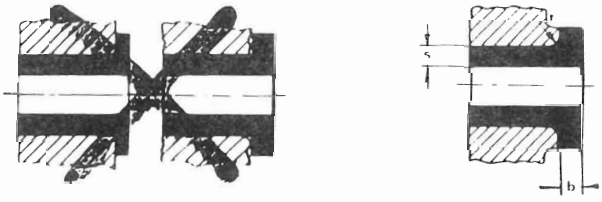


Thickness $l \geqq 0.1D$. If possible not less than 3 mm

$l \leqq 2\ d$
$s = 0.15 \quad 0.2\ d$
$S_{min} = 3$ mm

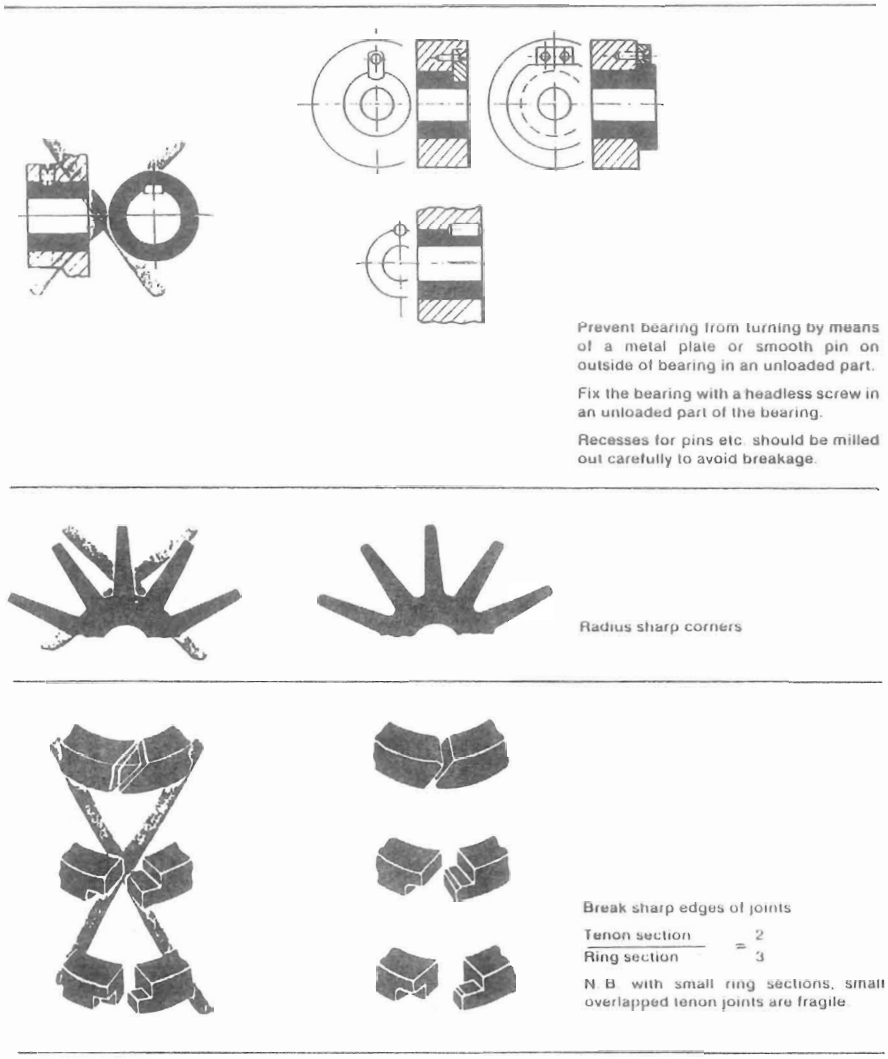


Cylindrical bearings should be supported over their whole length by the housing or an additional sleeve.



Flange thickness to be at least equal to wall thickness.

Radius where section changes. Mating surface for flange to be machined suitably
$b \geqq s$



مأخذ :

Carbon Machine Components of Ringsdorff Co.