



جزوه آموزشی

اصول و روشهای هم محوری

ALIGNMENT

تهیه و تنظیم:

مهندس مهدی نصر آزادانی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	پیش گفتار.....
۳	مقدمه
۴	تعریف هم محوری.....
۶	خسارت های ناشی از نا هم محوری.....
۸	اصول نصب دستگاهها
۱۰	گروت ریزی وانواع ان.....
۱۲	سیستم های لوله کشی.....
۱۲	نگهدارنده های فنری ونحوه تنظیم کردن انها.....
۱۷	انواع تجهیزات هم محوری هم محوری
۲۰	ساختمان و اصول کار ساعت های اندازه گیر
۲۲	انواع روشهای هم محور کردن دستگاه هاباساعت های اندازه گیر ومزایاومعایب
۲۷	انها..
۲۸	معایب ساعت های اندازه گیر
۲۹	مقدمات هم محوری
۳۵	مسائلی که قبل از Alignment باید مد نظر قرار گیرد
۳۶	مراحل عملی هم محور سازی.....
۳۹	تعیین موقعیت یک خط در فضا
۴۷	معادلات وروابط ریاضی الاین به روش Face & Round.....
۵۰	معادلات و روابط ریاضی الاین به روش Two Face & Round
۵۳	معادلات و روابط ریاضی الاین به روش Face-Face Distance.....
۵۹	معادلات و روابط ریاضی به روش Reverse
۶۲	حل مسائل الاین به روش ترسیمی.....
۶۵	اپتیمم سازی شرایط Alignment.....
۶۶	تولرانس های هم محوری
۶۷	مسائلی که باعث تغییر Alignment می شود.....
۶۹	روش های برآورد میزان رشد حرارتی.....
۷۱	اصول کار سیستم های لیزری هم محور سازی Optalign
	مراحل کار با سیستم های لیزری.....

بنام خدا

پیش گفتار

سپاس بیکران پروردگار یکتا را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید تا به یاری آن راه ترقی و تعالی را بییماید. جزوه ای که در پیش رو دارید خلاصه ای از تئوری ها، روابط و معادلات Alignment به روشهای مرسوم است که با توجه به اهمیت زیاد آن روی شرایط کار و طول عمر دستگاهها و نیاز اساسی کلیه تکنسین های تعمیرات و همچنین کمبود منابع فارسی مناسب در این زمینه بر آن شدم تا تجربه های چندین ساله خود در این زمینه را که غالباً در طی دوره های آموزشی متعددی چند سال گذشته در اداره آموزش شرکت پالایش نفت اصفهان مطرح می شد را به رشته تحریر در آورده و تقدیم کلیه علاقه مندان و همکاران نمایم

بیشتر بحث های مطرح شده مربوط به Alignment با استفاده از ساعت های اندازه گیر به روشهای معمول است که با توجه به اینکه در اکثر صنایع Alignment به درستی انجام نمی شود و یا به روش های سعی و خطا و در زمان طولانی انجام می شود در این مقوله سعی شده فرمول ها و روابط ریاضی و روش های ترسیمی به زبان ساده و با حل مثال های متعدد مورد بحث و بررسی قرار گیرد تا انشاءً ... در حداقل زمان ممکن بتوان به نتیجه مطلوب دست یافت. البته قضاوت در مورد اینکه جزوه حاضر تا چه حدی به اهداف فوق دست یافته بر عهده خوانندگان خواهد بود که بی صبرانه منتظر نظرات و پیشنهادات کلیه عزیزان هستیم تا انشاءً ... بتوانیم در چاپ های بعدی در جهت تکمیل مطالب مد نظر قرار دهیم.

کار هم محور سازی هم مثل رانندگی نیاز به تجربه و کار عملی دارد و همینطور که کسی باخواندن یک کتاب و یا شرکت در دوره های آموزشی رانندگی نمی تواند راننده خوب و ماهری شود همینطور هم هیچ کس با استفاده از چند فرمول و رابطه نمی تواند یک دستگاه را به نحو احسن الاین کند که امید است با آشنائی و شناخت هر چه بیشتر مهندسین و تکنسین ها و مکانیک های ماشین آلات با روشهای اصولی Alignment قدمی هرچند کوچک در جهت بالا بردن بهره وری صنعتی و افزایش طول عمر دستگاهها و ماشین آلات کشور اسلامیان برداشته باشیم.

در پایان لازم می دانم از کلیه مسئولین محترم اداره آموزش شرکت پالایش نفت اصفهان که در تهیه این جزوه کمال همکاری را نمودند تشکر و قدردانی نموده و توفیق روز افزون همگان را از خداوند متعال خواهانم.

و من ... التوفیق

بهمن ماه سال ۱۳۸۱

مهدی نصر آزادانی

مقدمه

با عنایت به افزایش رو به رشد جمعیت جهت رفع نیازهای روزمره بشری نیاز به تولید بیشتر در همه زمینه ها کاملاً ضروری به نظر می رسد . برای ماشین های دوّاری که در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند سعی و تلاش در جهت افزایش توان و سرعت دستگاه ها با کم کردن صدمات و خسارت ها و کم کردن هزینه های تعمیراتی آنها است .

برای رسیدن به سرعت های بالا اولین مسئله ای که مطرح است بالانس بودن دستگاه و همچنین هم محوری دقیق ماشین های با دور بالا است که اگر این فاکتورها بدرستی مد نظر قرار نگیرند موجب افزایش ارتعاشات، سایش های ناگهانی برینگ ها و کاپلینگ ها ، خرابی چرخ دنده ها ، کاهش طول عمر مکانیکال سیل هاو... می شود که این مسائل از لحاظ اقتصادی و قابلیت اعتماد برای ماشین های بزرگ بسیار حیاتی و حائز اهمیت است .

بالانس کردن دستگاه در کارخانه های سازنده و کارگاه های تعمیراتی دارای اهمیت زیادی است که باید به آن توجه زیادی داشت که این کار معمولاً توسط دستگاههای پیشرفته و گران قیمت بالانسر انجام می شود وحقاً تأثیر بسزایی در افزایش طول عمر دستگاهها و ماشین آلات دارد. ولی مسئله حائز اهمیت دیگر نحوه کوپله کردن دستگاه های با دور بالا است که در صورت هم محور نبودن دستگاه ها می تواند باعث خسارتهای بسیار جدی روی آنها گردد. با توجه به اینکه هم محوری با هزینه ای بسیار ناچیز قابل انجام است ولی متأسفانه گاهی کمتر مورد توجه قرار می گیرد یا به روش مناسبی انجام نمی شود ولی مسلماً انجام هر هم محوری حتی با روش های کم دقت و تجهیزات ابتدائی (حتی تیغ اره ای) بهتر از اصلاًالاین نکردن دستگاه است .

بطور کلی هم محور کردن عملی است که احتیاج به صرف وقت و حوصله زیادی دارد(بالاخص برای ماشین آلاتی که جدیداً نصب می شوند) که اگر این کار توسط افراد متخصص و به روش درست با دستگاههای مخصوص انجام نشود موجب کاهش طول عمر ماشین الات می شود که واقعاً لازم است کلیه سرپرستان واحدهای تعمیراتی بطور کامل از تجهیزات و روش های انجام آن دانش مختصری داشته باشند .

تعریف هم محوری :

هم محوری به معنی در یک راستا قرار دادن محور تقارن چرخشی یک ماشین با ماشین مقابلی است که با آن کوپله می شود یعنی حالتی که امتداد محورهای چرخش (محور های تقارن) دو ماشین بر روی یک خط قرار گیرند و هر حالتی که وضعیت فوق را بر هم زند باعث می شود محور های تقارن دو دستگاه در یک امتداد واقع نشود نا هم محوری Misalignment گفته می شود . بطور کلی نا هم محوری یک دستگاه را می توان به چهار نا هم محوری اصلی تجزیه نمود که دو حالت آن (نا هم محوری زاویه ای و موازی) در صفحه افق و دو تای دیگر آن (نا هم محوری زاویه ای و موازی) در صفحه قائم می باشد . نا هم محوری زاویه ای (Angularity) حالتی است که دو محور با یکدیگر زاویه تشکیل دهند و نا هم محوری موازی (Offset) حالتی است که دو محور با همدیگر موازی باشند ولی امتداد آنها در یک راستا نباشد (شکل صفحه بعد).

بطور کلی اگر تصاویر دو خط از نظر زاویه ای و موازی بودن در دو صفحه عمود بر هم (که معمولاً صفحات و افق و قائم را در نظر می گیریم) بر هم منطبق باشند می توان ادعا کرد که دو محور در فضا با هم، هم محور می باشند . عملیات هم محوری در دو مرحله یکی در صفحه افق با حرکت دادن ماشین به توسط Jack Bolt ها و دیگری در صفحه قائم با گذاشتن یا برداشتن مقدار شیمز لازم زیر پایه های ماشین انجام می شود.

که در عمل معمولاً یکی از دستگاهها (دستگاهی که امکان حرکت آن بواسطه درگیر بودن با لوله های ورودی و خروجی مثل پمپ یا کمپرسور و... وجود ندارد یا کم است) را ثابت در نظر گرفته و دستگاه دیگری که امکان اجازه حرکت بیشتری برای آن وجود دارد (مثل الکتروموتور توربین بخاری یا گازی و یا گیربکس ها و ...) را متحرک و با انجام حرکت های لازم روی دستگاه مقابل آن را نسبت به دستگاه دیگر هم محور می شوند

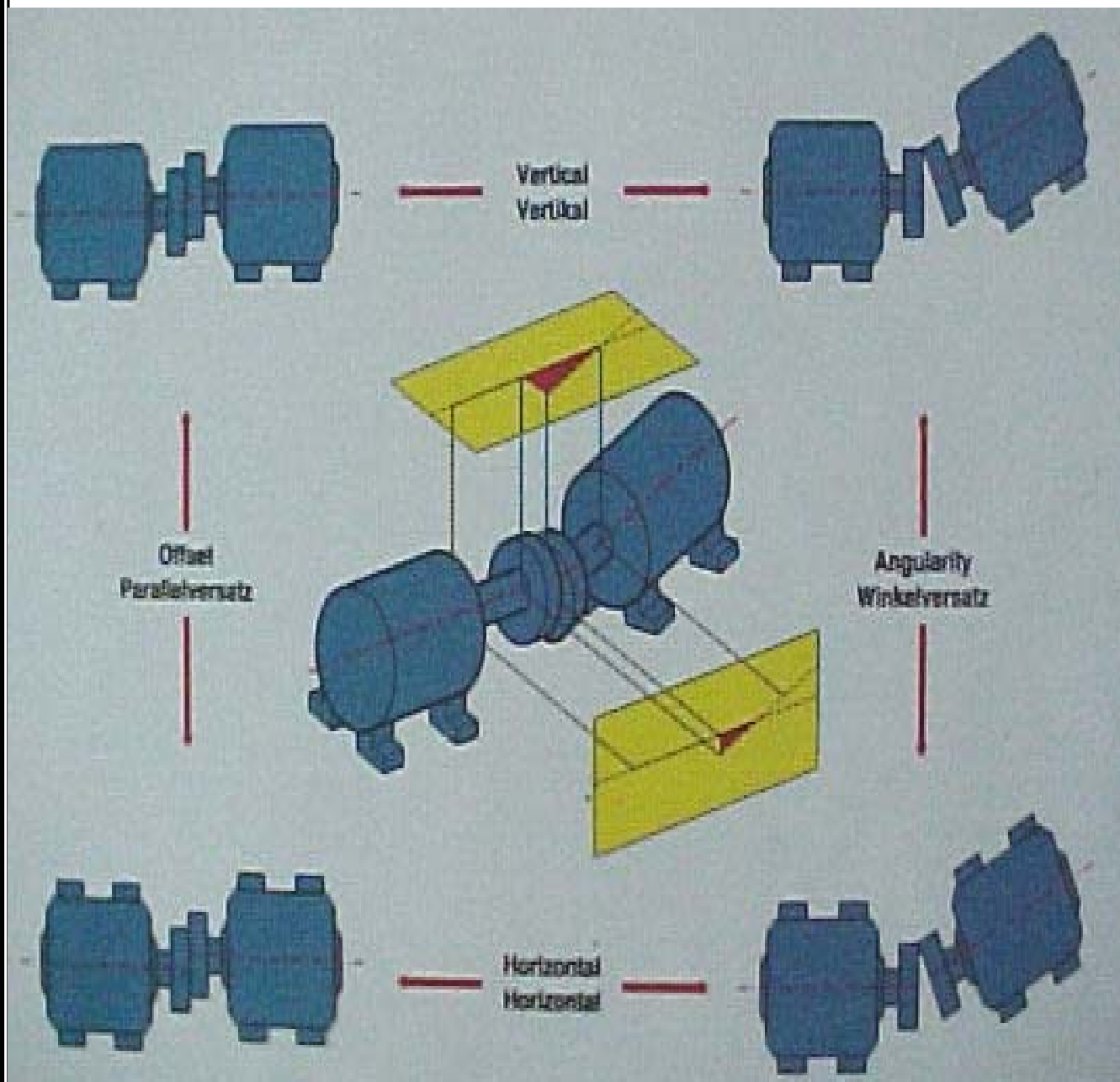
انواع نا هم محوری در ماشین الات

شامل موارد زیر است:

- ۱- نا هم محور بودن محورهای تقارن دو ماشینی که با هم کوپله می شوند.
- ۲- نا هم محور بودن قطعاتی که روی یک محور مونتاژ می شوند اعم از کوپلینگ ها سیلیوبال برینگ ها و...
- ۳- نا هم محور بودن هوزینگ برینگ ها با محور تقارن دستگاه و همچنین با همدیگر
- ۴- نا هم محور بودن رابط بین دو دستگاه (Spacer) با محورهای دو دستگاه

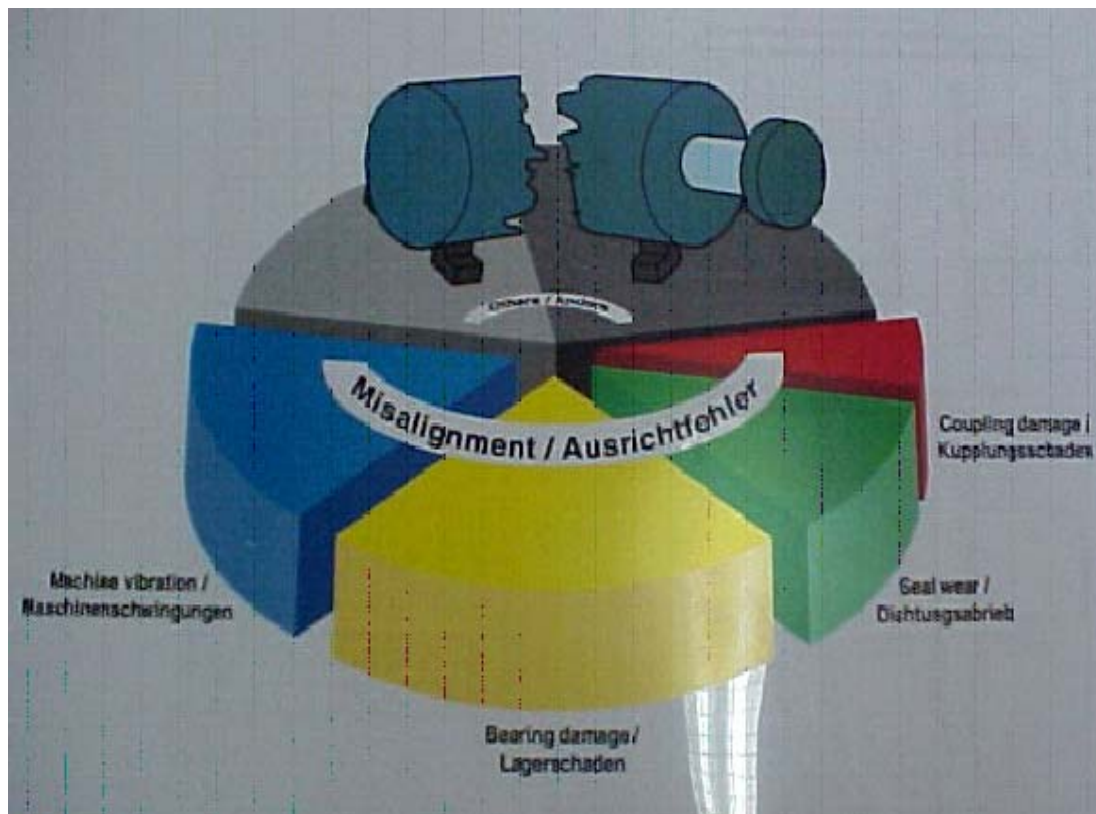
حالات کلی ناهم محوری

در شکل های زیر کلیه حالت های ناهم محوری در صفحات افقی و قائم بین دو ماشین نشان داده شده است که برای رسیدن به هم محوری نهائی کلیه این انحرافات باید به صفر رسانده شود که هدف از این مقوله روش های اندازه گیری انحرافات و محاسبه مقادیر تغییرات لازم در محل قرارگیری پایه ها برای به صفر رساندن این انحرافات است که در بخش های بعدی بطور مفصل مورد بحث و بررسی قرار می گیرند.



خسارت های ناشی از نا هم محوری

همانطور که در شکل زیر ملاحظه می کنید اکثر مسائل ومشکلاتی که باعث خسارت های جدی روی ماشین آلات می شود ناشی از نا هم محوری Misalignment دستگاه ها ومشین الات است که ذیلا نیز به شرح انها می پردازیم



۱-افزایش ارتعاشات دستگاه ها

دو دستگاه نا هم محوری که با هم کوپله می شوند به مثابه محور واحدی است که توزیع جرم حول محور تقارن ان بصورت یکنواخت توزیع نشده باشد(مثل یک شافت خمیده) که میتواند باعث نابالانسی جرمی را بنماید و ایجاد ارتعاشات در فرکانس برابر دور را باعث شود. همچنین به علت موازی نبودن کاپلینگ ها(که فاصله انها در یک نقطه کم ودر نقطه دیگر زیاد است)باعث حرکت محوری شافت در هر دور محور شده وچون در هر دور محور باز وبسته شدن کاپلینگ ها دومرتبه اتفاق می افتد باعث ارتعاشات روی فرکانس دو برابر دور روی دستگاه های انالیز ارتعاشات شود.

با توجه به توضیحات فوق حتی اگر از کاپلینگ های با Felexibility بالا هم استفاده شود انجام هم محوری دقیق الزامی است چون مجموعه نا هم محور مثل یک شافت خمیده رفتار میکند و همانطور که میدانید حداکثر خمیدگی مجاز محور ها بیشتر از چند هزارم اینچ مجاز نمی باشد.

۲-نشتی و خرابی زودرس مکانیکال سیل ها

با توجه به حرکت ها و ارتعاشات محوری شافت وبا توجه به اینکه سطح متحرک اب بند(رتوری) با محور دوران می کند این حرکت های محوری می تواند باعث جداشدن سطوح اب بندی مکانیکال سیل و ورود ذرات جامد بین سطوح اب بندوتشدید سایش وباعث نشتی و کم شدن طول عمر مفید آنها گردد(باز شدن حتی یک ده هزارم اینچ بین سطوح اب بندی باعث ایجاد نشتی می شود). لازم به توضیح است که محوری که با دور 3000R.P.M در شرایط ناهم محور کار میکند در طول یک شبانه روز نزدیک نه میلیون باراین حرکات محوری تکرار می شود که باعث بوجود آمدن حرکت های اضافی(ارتعاشات)و بیرون راندن فیلم مایع بین سطوح اب بند شده و همچنین اگر باز وبسته شدن سطوح اب بندی همراه بامسائل دیگر با شدت انجام شودمی تواند باعث شکسته شدن سطوح اب بندی شود.

۳-کاهش طول عمر یاتاقان ها

حرکت ها و نیروهای ناشی از ناهم محوری می تواند باعث افزایش بار و ایجاد حرکت های اضافی روی بال برینگ ها شود که می تواند باعث گرم کردن لرزش و خرابی زودرس آنها شود

۴-خرابی های چرخ دنده های گیر باکس ها

حرکت های اضافی باعث عدم درگیری کامل چرخ دنده ها(بالاخص چرخ دنده های جناقی)وباعث ایجاد تنش های اضافی ودر گیری های موضعی وافزایش Back Lush و افزایش درجه حرارت و گرم کردن وایجاد سروصدای زیاد وخرابی های زود رس آنها می شود.

۵-خرابی کوپلینگ ها

تنش های نوسانی روی کوپلینگ هاتاثیر گذاشته وباعث گسیختگی وخرابی آنها می شود.بامراجعه به جداول انواع کاپلینگ هاحد تحمل انهادر مقابل حرکت های شعاعی ومحوری بدست می آید که اگر حرکات ناشی از ناهم محوری بیشتر از حد تحمل انها باشد(که این حد برای حرکات شعاعی بسیار محدود است واز چند هزارم اینچ تجاوز نمی کند) می تواند باعث کاهش طول عمر و بریدن آنها شود.

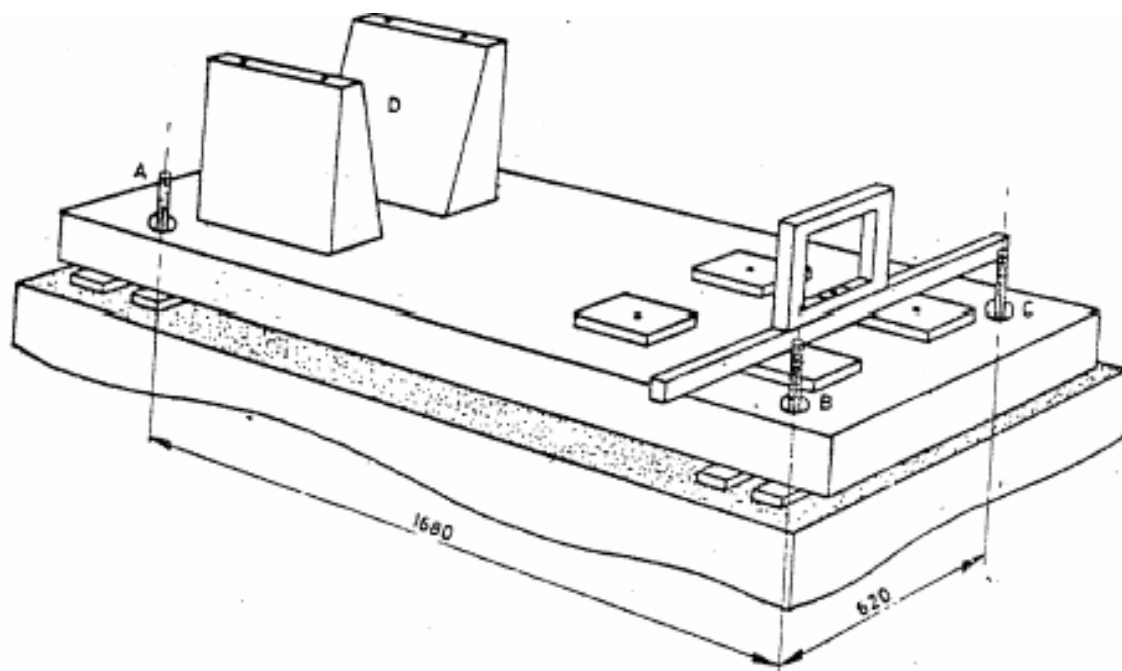
۶-افزایش تلفات مکانیکی

ناهم محوری باعث افزایش تلفات مکانیکی و بیش از حد امپر کشیدن الکتروموتور هاو یا مصرف بیش از حد Steam در توربین های بخار می شود و در صنایعی که تعداد زیادی دستگاه موجود است دراز مدت از لحاظ اقتصادی مسئله بسیار حائز اهمیتی است.

۷- کاهش قابلیت اعتماد و ضریب ایمنی دستگاه

اصول نصب دستگاهها

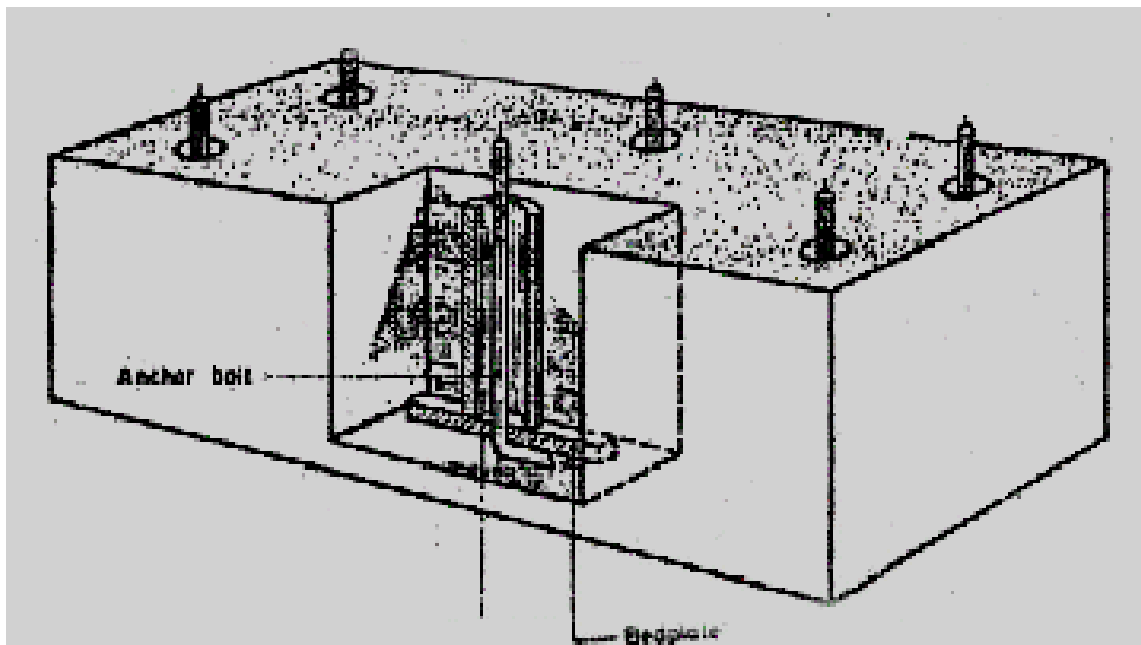
با توجه به اهمیت مراحل نصب ماشین الات و تاثیرات نا مطلوبی خطاهای ناشی از نصب که روی وضعیت ارتعاشی و عملیات هم محوری دارد لازم است در این زمینه بحث مختصری انجام گیرد. بطور کلی، کلیه نیروهائی که در یک ماشین بوجود می آید باید از طریق یا تا قانها و بدنه پمپ و سپس از طریق شاسی (Base Plate) به فونداسیون و نهایتاً به زمین منتقل شود که اگر مسیر انتقال نیروها بطور مناسب باشد دستگاه با کمترین لرزش و کمترین هزینه های تعمیراتی در سرویس قرار می گیرد در غیر اینصورت مسائل و مشکلات تعمیراتی اجتناب ناپذیر خواهد بود که باتوجه به اهمیت موضوع لازم است راجع به شرایط امان های مختلف بحث مختصری شود.



فونداسیون Foundation

فونداسیون ها از بتون ارمه مسلح باطراحی مخصوص ساخته می شوند که از لحاظ اندازه و استحکام باید مناسب باشد و شکستگی و ترک در آن وجود نداشته باشد یک قانون سرانگشتی این است که وزن بتون فونداسیون برای ماشین های دوّار تقریباً سه برابر وزن ماشین (وزن پمپ و الکتروموتور و...) و برای ماشین های رفت و برگشتی تقریباً پنج برابر وزن دستگاه ها در نظر گرفته شود.

شکل زیر فونداسیونی را نشان می دهد که از جهت مقابل برش خورده و طرز قرارگیری پیچ های اتصال (Anchor Bolt) در آن بوضوح نشان داده شده است .



جهت اطمینان از اتصال شاسی با پیچ های فونداسیون و جبران اشتباهاتی که احياناً در اندازه فاصله سوراخ های شاسی ممکن است بوجود آید(یا خمیدگی پیچ ها)معمولاً پیچ های اتصال بیرون آمده از بتون را (Anchor Bolt) کمی بلندتر انتخاب می کنند .

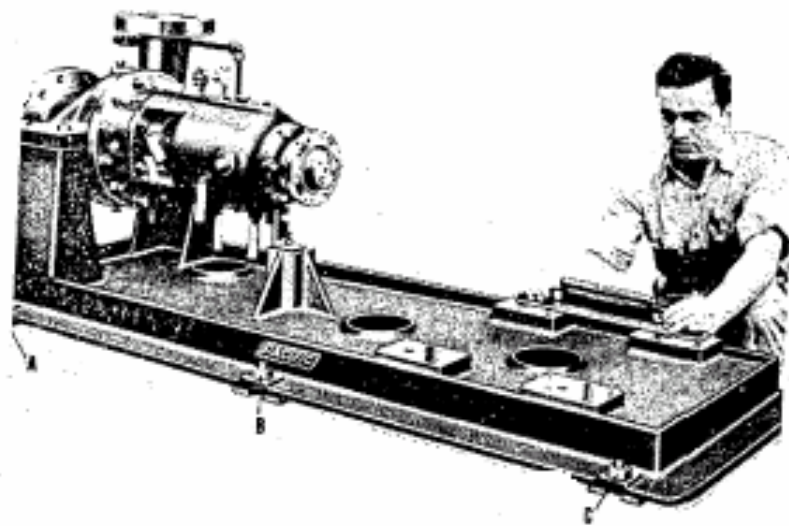
ضمناً سطح بالایی فونداسیون بتونی باید کاملاً صاف تراز و حتی صیقل داده شود که این عمل معمولاً باید فوراً بعد از بتون ریزی انجام شود .

شاسی (Base plate)

با توجه به اینکه پایه های دستگاهها باید روی سطوح کاملاً صلب و صافی قرار گیرند(با توجه به اینکه سطوح بالائی بتون معمولاً دارای صلبیت و صافی مناسب نمی باشد) بین دستگاه و فونداسیون یک شاسی فلزی که با صلبیت کافی طراحی می شود نصب می شود که تکیه گاههای محل قرارگیری پایه های ماشین روی آن با عملیات ماشین کاری کاملاً مسطح و تراز و صیقل داده می شود که قبل از نصب دستگاه این سطوح نشیمن باید کاملاً تمیز باشند که این کار معمولاً با شمش و فیلر گیج و یا تراز ماشینری چک می شود .

باید خاطر نشان کرد که هنگام بتون ریزی باید از نفوذ هوا به داخل بتون جلوگیری نمود (که این کار معمولاً توسط دستگاه های ویبره انجام می شود) در صورت مشاهده برآمدگی یا ناهمواری روی

سطح فوقانی فونداسیون توسط قلم های مناسب ابتدا عیب برطرف شده و سپس شاسی روی آن قرار داده می شود .



همچنین جهت جلوگیری از کج شدن و تاب برداشتن شاسی هنگام محکم کردن پیچ های اتصال باید بین شاسی و بتون با شیمیزهای مناسب (با حداقل ضخامت یک اینچ) که حتی الامکان در نزدیکی پیچ های اتصال قرار دارد پر شود تا اپوکسی گروت بتواند براحتی به تمام جوانب شاسی رخنه کرده و لوله هایی را که پیچ های اتصال در آنها قرار دارد را پر کند و سپس با قرار دادن شیمیزهای مناسب نسبت به تراز نمودن کلیه نشیمن گاههای محل قرارگیری ماشین اقدام می شود .

گروت ریزی (Grouting)

جهت اتصال کامل فونداسیون و شاسی باید فاصله بین آنها با مواد مناسب و خوبی پر شود بطوری که اولاً دارای استحکام کافی باشد و دارای چسبندگی مناسب هم روی سطح بتون و هم زیر شاسی فلزی باشد و بتواند فاصله بین بتون و شاسی را کاملاً پر کند و قسمت های خالی بین آنها را بپوشاند .
موادی که در مراکز صنعتی برای دستگاه ها استفاده می شوند شامل Epoxy Grout و Cement Based Grout هستند که ذیلاً به مزایا و معایب و موارد کار برده هر کدام از آنها پرداخته می شود .

الف - مزایای Epoxy Grout ها

این محصولات از ترکیب مواد شیمیائی متعددی ساخته شده اند که قیمتهای خیلی بالائی و در شرایط عملیاتی مختلف در اکثر مراکز صنعتی استفاده می شوند.

- ۱- چسبندگی خوبی دارند و به خوبی هم روی بتون و هم به فلز می چسبند.
- ۲- عاری از منفذ و خلل و فرجند و غیر قابل رسوخند (مایعات نمی توانند در آنها نفوذ

کنند).

۳- دارای سیالیت زیاد ندو براحتی کلیه منافذ و قسمت های خالی را پرمی کنند.

۴- طول عمر و دوام انها زیاد است.

۵- ضریب انقباض انها پایین است.

۶- خشک شد (Curing) انها سریع است.

ب- معایب Epoxy Grout ها

۱- گران قیمت اند.

۲- فاسد شدنی اند.

۳- در حین استفاده نیاز به احتیاط و پیش بینی های مخصوص دارند.

۴- تاریخ انقضای انها پایین است (به مدت زیاد قابل نگهداری نیستند).

۵- جهت استفاده نیاز به مهارت , تخصص و ابزار های مخصوص برای تزریق دارند.

دسته دیگری از اپوکسی هانوع سیمانی است که با توجه به مزایای ان در بعضی از مراکز صنعتی و در ماشین الات ارزان قیمت از انها استفاده می شود که مزایا و معایب انها ذیلا توضیح داده شده است.

الف- مزایای Cement-Based Grout ها

۱- ارزان قیمت اند

۲- جهت استفاده به ابزارهای مخصوص نیازی ندارند.

۳- تاریخ انقضای ندارند.

۴- به راحتی آماده می شوند و به وفور قابل تهیه اند.

۵- جهت کار با انها نیازی به مهارت زیاد نیست.

د- معایب Cement-Based Grout ها

۱- چسبندگی انها به مراتب کمتر از اپوکسی هاست.

۲- بین انها تخلخل های زیادی وجود دارد (قابل رسو خند).

۳- سیالیت انها پایین است و قادر به پر کردن فضاهای خالی کوچک نمی باشند.

۴- فسادپذیرند (دوام انها پایین است).

۵- ضریب انقباض انها به مراتب بیشتر از اپوکسی ها ست که باعث می شود در اثر جمع

شدن از زیر base plate جدا شوند و باعث خالی شدن زیر ان شوند

اتصالات و سیستم های لوله کشی

- ۱- جهت کاهش تنش روی سیستم های لوله کشی موارد زیر باید بطور کامل مراعات شوند :
- ۲- لوله کشی باید بعد از گروت ریزی و خشک شدن کامل (Curing) ان شروع شود
- ۳- شروع لوله کشی باید از طرف فلنج های ورودی و خروجی دستگاه باشد .
- ۴- در حین لوله کشی برای کاهش بار روی فلنج ها باید زیر لوله ها با ساپورت ها و Bracing های (موقت) مناسب مهار شوند .
- ۵- برای جلوگیری از تشدید ارتعاشات (رزونانس) در لوله کشی های طولانی فاصله ساپورت های سیستم های لوله کشی باید نامساوی باشند . در غیر این صورت انتقال لرزش از طریق لوله ها تشدید شده و ارتعاشات نوع Pipe wave را بوجود می آورد.
- ۶- دقت زیاد در الاین اولیه لوله ها و فلنج ها از مسائل و مشکلات بعدی جلوگیری می کند
- ۷- انتخاب صحیح نگهدارنده ها و Expansion Joint ها از ایجاد بار اضافی روی سیستم های لوله کشی و سازه ها جلوگیری می کنند .
- ۸- روش چک کردن تنش های اضافی روی سیستم های لوله کشی استفاده از ساعت های اندازه گیر است که اگر در حین باز وبسته کردن فلنج ها انحراف ساعت های اندازه گیر بیشتر از 0.002 اینچ باشد مبین این است که در سیستم های لوله کشی تنش های اضافی وجود دارد که باید اصلاح گردد .
- ۹- پس از انجام هم محوری فلنج های ورودی و خروجی مجدداً بسته می شوند (وقتی ساعت های اندازه گیر روی کاپلینگ هانصب شده اند) و دوباره تنش های روی لوله ها تست می شوند که باید در حد مجاز باشد .

نگهدارنده های سیستم های لوله کشی

مهار کردن وزن لوله ها و نیروهای دینامیکی و هیدرولیکی داخل لوله های معلق توسط نگهدارنده ها انجام می شود که شامل دو نوع ذیل می باشند .

۱- نگهدارنده ها و ساپورت های میله ای (Rod Hanger)

این نوع نگهدارنده ها میله های قابل تنظیمی هستند که برای مهار سیستم های لوله کشی (شامل وزن لوله، وزن مایع داخل لوله و وزن عایق ان) در جاهایی که انبساط طولی بسیار ناچیز یا صفر است مورد استفاده قرار می گیرند. این نگهدارنده ها یا در زیر سیستم های لوله کشی (Supporting) یا در قسمت بالای لوله ها را به صورت اویزان (Hanger) نگه می دارند و قبل از بستن فلنج ها باکم وزیاد کردن طول آنها فاصله مناسب بین بین فلنج ها را (به اندازه ضخامت یک گسکت) تنظیم می شود.

Variable Spring Supports



TYPE A
SPRING



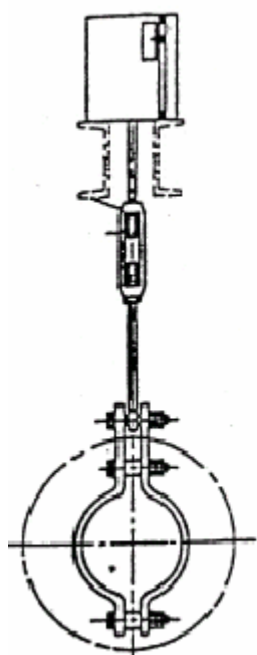
TYPE B
SPRING



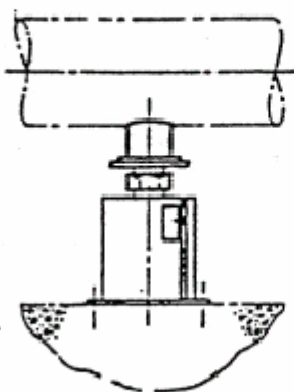
TYPE C
SPRING



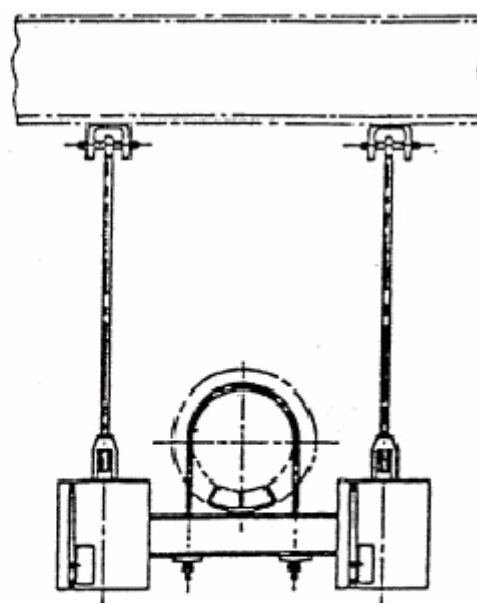
TYPE D
SPRING



TYPE E
SPRING



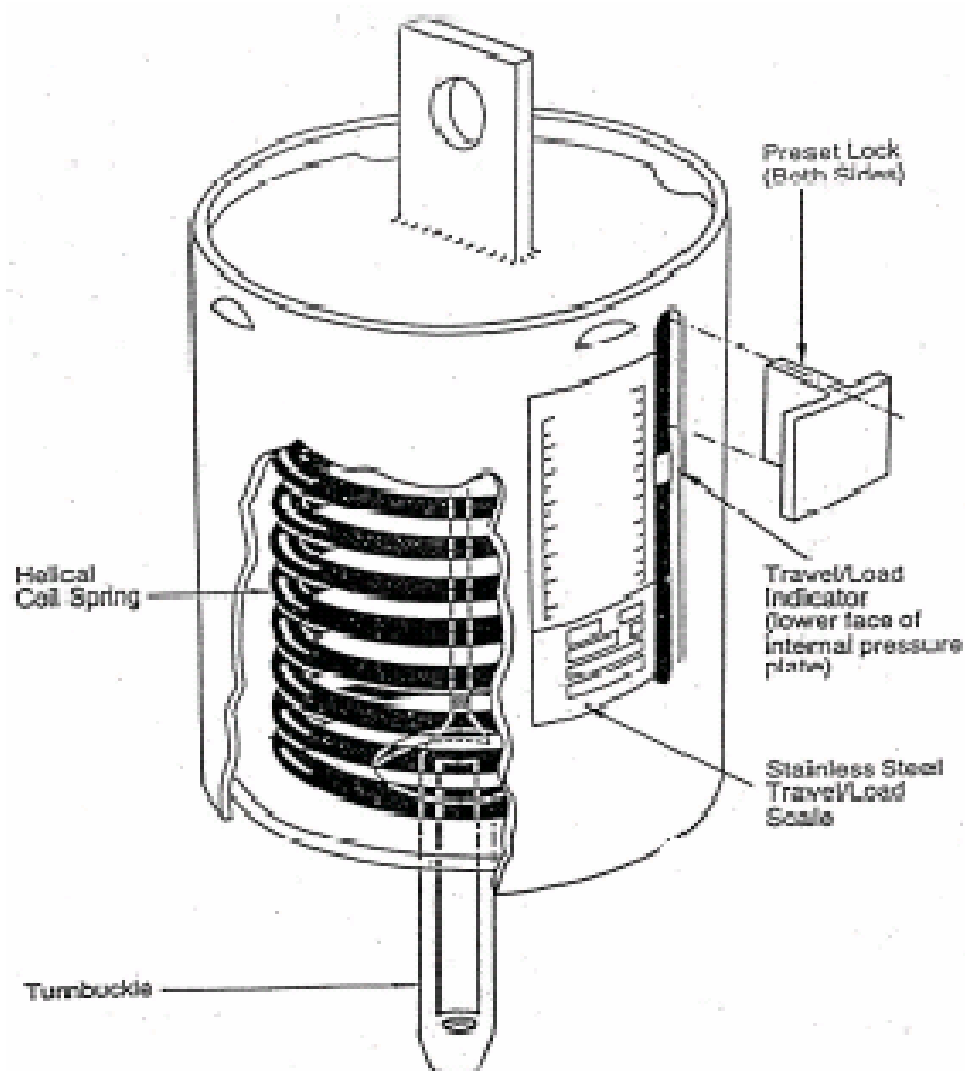
TYPE F
SPRING



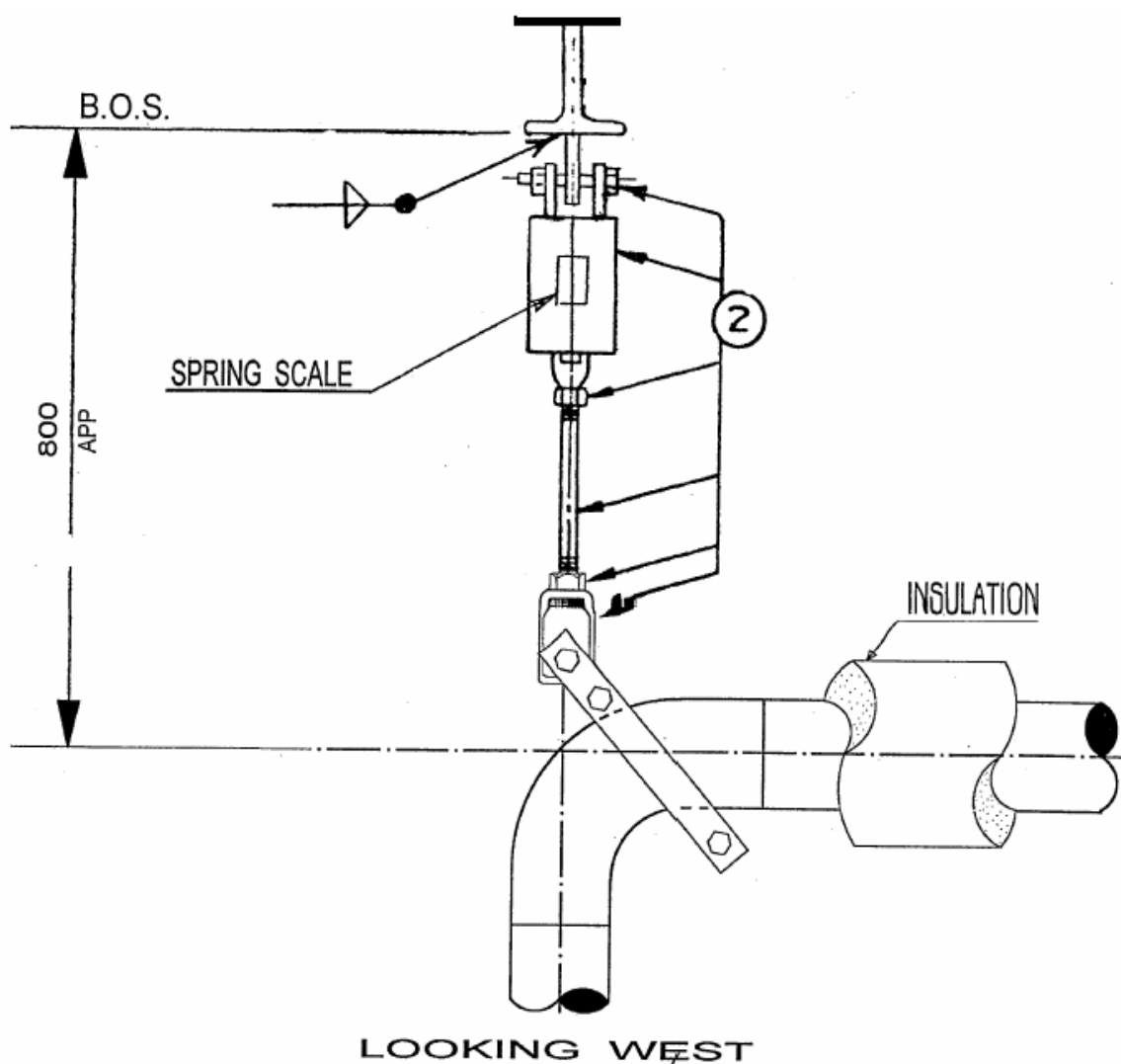
TYPE G
SPRING

۲- نگهدارنده های فنری Spring Hanger & Support

این نوع نگهدارنده ها معمولاً در سیستم های لوله کشی ای که در اثر تغییر درجه حرارت لوله ها افزایش طولی پیدا می کنند برای مهار کردن وزن سیستم لوله کشی (شامل وزن لوله، وزن مایع داخل آن و وزن عایق بکار رفته) و همچنین برای جبران تغییرات و انبساط طولی لوله ها (ناشی از تغییرات درجه حرارت سیستم) بکار می روند که در شکل زیر شمائی از ساختمان داخلی آن نشان داده شده است.



این نگهدارنده قبل از نصب در واحدهای عملیاتی باید در کارگاه های تعمیراتی تنظیم (Set) و بعد روی کار نصب شوند. که بسته به شرایط عملیاتی در دو حالت سرد و گرم تنظیم می شوند که به شرح جزئیات آن می پردازیم.



FIELD INSTRUCTIONS - WARNING

REFERENCE DWGS. E-3-

DO NOT REMOVE WARNING TAG OR TRAVEL STOP UNTIL:

1. HYDROTEST AND INSULATION IS COMPLETED AND LINE IS FILLED WITH LIQUID PRODUCT AT TEMPERATURES 30°C OR LESS. THEN CHECK HANGER OR TRAVEL INDICATOR AND REMOVE STOPS BEFORE TEMPERATURE IS INCREASED FOR START UP.

SET: HANGER: 7 mm BELOW: 328 KG ON THE SPRING SCALE FOR INSULATION. ADJUST SETTING TO: 328 KG AFTER LINE REACHES OPERATING TEMPERATURE.

DESIGN DATA: PIPE SIZE: 4" WALL: 0.237" MAT'L: API STD. HYDROTEST LOAD: 438 KG

INSUL. THK: 50 mm TOTAL OPERATING LOAD: 365 KG

MIN. LENGTH OF SPRING SCALE: 35 mm

CALCULATED DEFLECTION: 7 mm UP

SERV TEMPERATURE: 400°C - 100°C

MAXIMUM ALLOWABLE VARIABILITY AT CALCULATED DEFLECTION:

ITEMS ① = BY N.I.O.C

ITEMS ② = BY N.I.O.C

TAG ASSEMBLY: E-1-

NO. OF REQ'D.: 1

NATIONAL IRANIAN OIL COMPANY

ESFAHAN OIL REFINING COMPANY

AREA C2-03 VISBREAKER

VARIABLE SUPPORT SPRING HANGER

FOR DIS. P2-301C

NO CONSTRUCTION PERMITTED UNLESS DWG. APPROVED

DWG.	H.TAVAKOLI	DATE		SCALE: NONE	DWG. NO.	REV
P.E.	H.SHAFFIE	E.CH.		T.S.R.:		
D.CH.	M.MIRAZIMI	DATE		W.O.:		0

۱-تنظیم درحالت گرم Hot Set

Spring Hanger در صورتی به این حالت تنظیم می شوند که سیستم لوله کشی در حالت گرم باشد و کلیه انبساطها ی حرارتی انجام شده باشد(به عبارت دیگر در حالتی که واحد در سرویس کامل عملیاتی باشد).و روش کار به این صورت است که با اعمال نیروئی معادل وزن لوله , عایق و مایع داخل ان(که این مقدارنیرو از داخل Data Sheet مربوطه به دست می آید)فتر جمع فشرده می شود و در این حالت فاصله بین های ثابت و متحرک اندازه گیری و گوشواره ها طبق این اندازه ساخته شده و پس از قفل نمودن هنگر ان را به واحد منتقل و در جای مربوطه نصب می کنند . پس از قرارگیری هنگر در جای خود (معمولا وقتی فلنج لوله مربوطه باز است) با کم و زیاد کردن طول میله ها فلنج های سیستم لوله کشی و فلنج دستگاه به اندازه ضخامت یک Gasket تنظیم و در این حالت می توان فلنج مربوطه را بست و هنگر را ازحالت قفل خارج کرد(البته پس از ازاد شدن هنگرفاصله بین فلنج ها نباید تغییر کند) و در این صورت می توان اطمینان پیدا کرد که لوله کاملاً توسط Hanger مهار شده است ونیروی اضافی(کششی یا فشاری) روی دستگاه اعمال نمی شود .

۲ - تنظیم درحالت سرد Cold Set

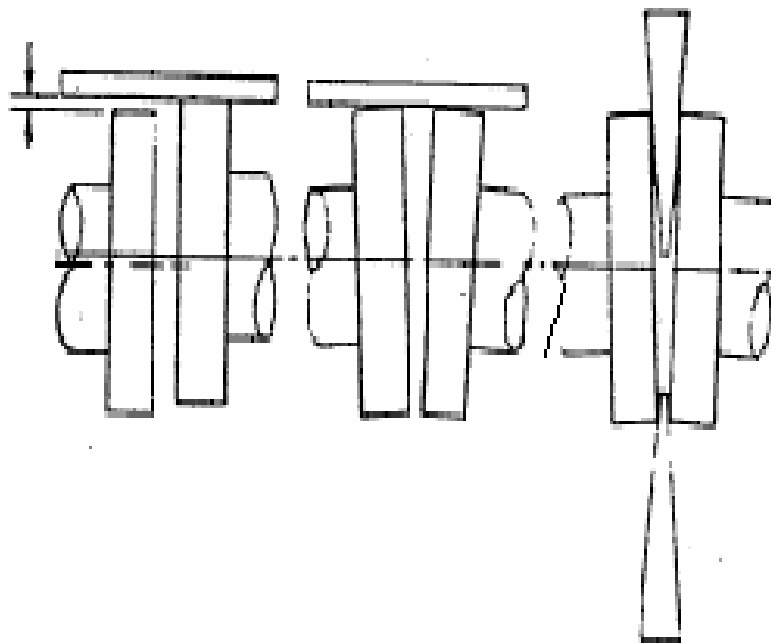
این روش وقتی استفاده می شود که سیستم لوله کشی سرد باشد و هنوز انبساط های حرارتی انجام نشده باشد.(بطور مثال در هنگام تعمیرات اساسی واحد های عملیاتی) در این حالت نیز با قرار دادن نیرویی معادل وزن لوله و عایق و مایع داخل آن(که از Data Sheet مربوطه بدست می آید)میزان فشردگی روی فتر (فاصله بین بین های ثابت و متحرک) اعمال می شود و سپس مقدار انبساط طولی لوله مربوطه بسته به جهت انبساط لوله در جهت مخالف انبساط به میزان فشردگی قبلی فتر (فاصله بین ها) کم یا اضافه می شود و گوشواره ها طبق این اندازه(فاصله بین ها بعلاوه یا منهای افزایش طولی لوله) ساخته می شوند (با سوراخ کاری)در این موقعیت Hanger قفل شده و مثل حالت قبل در حالی که فلنج سیستم لوله کشی باز است(در حالت سرد) در جای خود نصب و تنظیم(با کم و زیاد کردن طول میله ها بوجود آوردن فاصله ای به اندازه یک گسکت بین فلنج ها) می شود. لازم به توضیح است که هر Spring Hanger دارای Data sheet ای است که کلیه مشخصه های فوق اعم از میزان انبساط طولی لوله ها و جهت حرکت انهاونیروئی که روی ان اعمال می شود(شامل وزن لوله ومایع داخل ان و وزن عایق) در آن قید شده و کلیه تنظیمات در کار گاه ها طبق ان انجام می شود .

روش های هم محور کردن دستگاهها

برای هم محور کردن دستگاهها بسته به اندازه دستگاه ، دور، نوع کاپلینگ استفاده شده ، فاصله کاپلینگ ها ، قطر کاپلینگ ها ، موقعیت و حساسیت دستگاه، نوع مکانیکال سیل استفاده شده و ... از روش های متعددی استفاده می شود که به شرح آن می پردازیم :

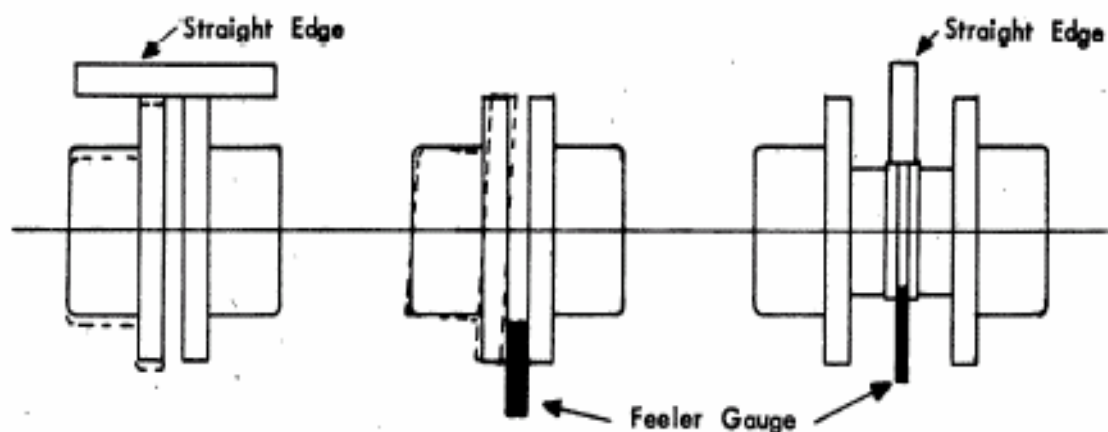
۱-الاین به روش تیغ اره ای

این روش معمولاً روی دستگاههای کوچک غیر حساس که دارای کاپلینگ های نوع بسته و با ضخامت زیادند (در حد چند سانتی مترند) مورد استفاده قرار می گیرد. و روش کار به این صورت است که لبه صاف یک تیغه (تیغ اره) را روی سطوح بالایی و کناری کاپلینگ ها قرار می دهیم و آنقدر تغییرات در صفحه افق و قائم ایجاد می نمائیم (با حرکت دادن Jack Bolt ها و تغییرات شیمز های زیر پایه ها) تا لبه های کاپلینگ ها و لبه تیغ اره در دو جهت (افق و قائم) کاملاً بر هم مماس شوند. که البته در این روش باید اولاً قطر کاپلینگ ها کاملاً با هم مساوی باشند و همچنین ضخامت کاپلینگ ها به اندازه کافی ضخیم باشد که بتوان آن را یک سطح در نظر گرفت و همچنین باید لبه های کاپلینگ ها نیز کاملاً صاف و با محور موازی باشند (خارج از مرکزی نداشته باشند).



۲-الاین با استفاده از فیلر گیج

در این روش موازی بودن کاپلینگ ها با استفاده از بلوک های کاملاً موازی و فیلر زدن فاصله های بین بلوک و کاپلینگ ها در محیط اطراف کاپلینگ اندازه گیری و سپس با اعمال تغییرات لازم در صفحات افق و قائم (با حرکت Jack Bolt ها و تغییرات شیمز زیر پایه ها) این فاصله ها کاملاً یکنواخت شده و دو کاپلینگ با هم موازی می شوند.



از این روش معمولاً برای الاین کردن Gear Coupling که فاصله بین آنها کم است (در بعضی موارد ترکیبی از این روش و روش اول) و در موقعیت هایی که فاصله کاپلینگ ها کم است استفاده می شود.

۳- الاین با استفاده از تراز و نخ

از این روش معمولاً برای الاین کردن چرخ تسمه ها و چرخ زنجیر های افقی و یا قائم استفاده می شود و برای حالتی که قطر پوله ها به اندازه کافی بزرگ باشند یا برای فواصل زیاد دقت نسبتاً خوبی دارد. و روش کار به این صورت است که نخ روی دو نقطه از پولی ها (در دو صفحه) مماس شده و کاملاً کشیده شده و با تغییرات لازم در صفحات افق و قائم روی دستگاه ها تمام نقاط پولی ها و چرخ تسمه ها با نخ مماس میشوند. در چرخ تسمه ها و چرخ زنجیر های افقی نیز با تراز کردن دو چرخ در یک صفحه کار انجام می شود.

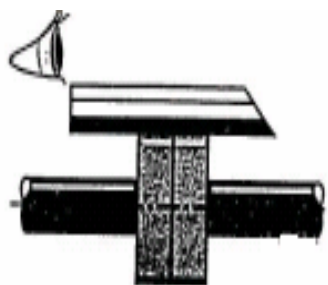
۴- الاین با استفاده از ساعت های اندازه گیر

در این روش مقادیر انحراف دو محور نسبت به همدیگر در دو صفحه افق و قائم توسط ساعت های اندازه گیر (Dial Gage) اندازه گیری می شود و سپس بطریق محاسباتی یا ترسیمی مقادیر حرکت های مورد نیاز محاسبه و روی پایه ها اعمال می شود.

۵- الاین با استفاده از دستگاههای لیزری

در این روش میزان انحراف دو محور نسبت به همدیگر توسط انحرافی که در اثر چرخش دو محور روی سطح برخورد پرتو لیزر بوجود می آید از طریق یک سیستم کامپیوتری با دقت زیاد محاسبه و نتایج نهایی حرکت های اصلاحی پایه های ماشین در سطوح افق و قائم بر روی صفحه کامپیوتر نمایش داده می شود که در قسمت انتهایی این جزوه شرح بیشتران داده شده است.

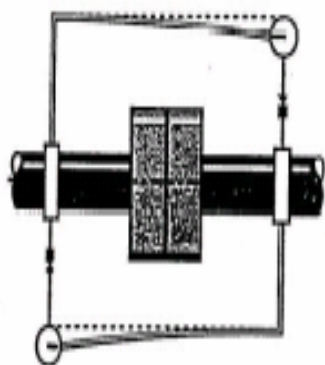
در شکل های زیر انواع روش ها و وسائلی که برای هم محور کردن ماشین الات در مراکز صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند با هم مقایسه شده و مزایا و معایب و محدودیت های و میزان دقت هر کدام نشان داده شده است.



Measurement

5 mils

$\frac{1}{10}$ mm



0.5 mils

$\frac{1}{100}$ mm

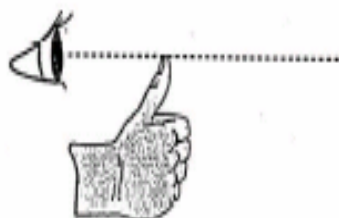
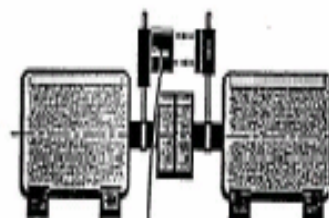


0.05 mils

$\frac{1}{1000}$ mm



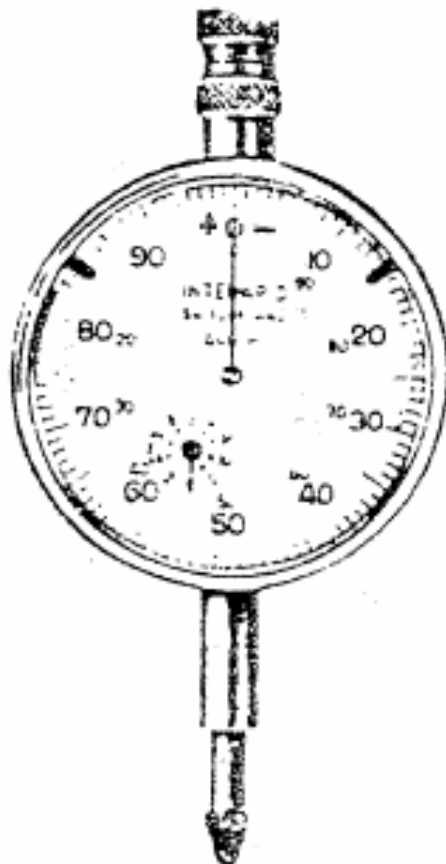
Correction



با توجه دقت خوب و بالای ساعت های اندازه گیر در کاربردهای صنعتی در مباحث این کتاب سعی شده است انواع آرایش ها و متدهای هم محور سازی با ساعت های اندازه گیر مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

ساختمان و اصول کار ساعت های اندازه گیر

از آنجائی که ساعت های اندازه گیر از اساسی ترین و معمول ترین وسایل برای هم محور کردن دستگاهها هستند آشنائی با آن کاملاً ضروری می باشد .
شکل زیر شما ئی از پشت این وسیله را نشان داده است .



در قسمت پایین ساعت های اندازه گیر میله حساسی وجود دارد که به آن پلانجر (Plunger) گفته می شود و می تواند در جهت های بالا و پایین حرکت کند (با چرخش محور ناهم محوری یا کج بودن شافت باعث حرکت آن می شود). که حرکت پلانجر توسط چرخ دنده های داخلی به دو عقربه کوچک و بزرگ مستقل منتقل می شود و مقدار حرکت انجام شده آن براحتی قابل قرائت می باشد . ضمناً پلانجر به توسط فنری که در زیر آن است همیشه به سمت بیرون رانده می شود .
ساعت اندازه گیر ابزاریست بسیار دقیق و حساس که باید از ضربه زدن به آن اکیداً خودداری شود و به هیچ وجه برای مدت طولانی در معرض نور مستقیم خورشید یا جاهای خیلی گرم قرار نگیرد و حداکثر مراقبت از آن به عمل آید .

معایب ساعت های اندازه گیر

با توجه به مزایای ساعت های اندازه گیر و استفاده از آن در اکثر صنایع این دستگاه ها دارای معایبی نیز می باشند که ذیلا به شرح آن پرداخته می شود که در انجام عملیات هم محوری باید مد نظر قرار گیرد:

- ۱- وجود کمانش در پایه ساعت
- ۲- گیر کردن چرخ دنده ها
- ۳- خطاهای ناشی از خواندن اعداد (مثبت و منفی خطای دید و)
- ۴- احتمال حرکت در سیستم های اهرم بندی
- ۵- تاثیر گذاری حرکت های محوری
- ۶- خطاهای ناشی از عمود نبودن پلانجر



Indicator bracket sag



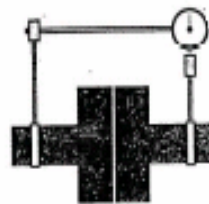
Internal friction/hysteresis



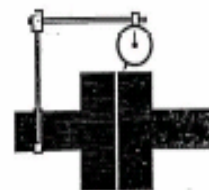
1/100 mm resolution
1/100 mm Auflösung



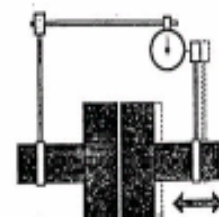
Reading errors:
• $\pm$ sign error
• parallax error
• mirror image readings



Play in mechanical linkage



Tilted dial indicator

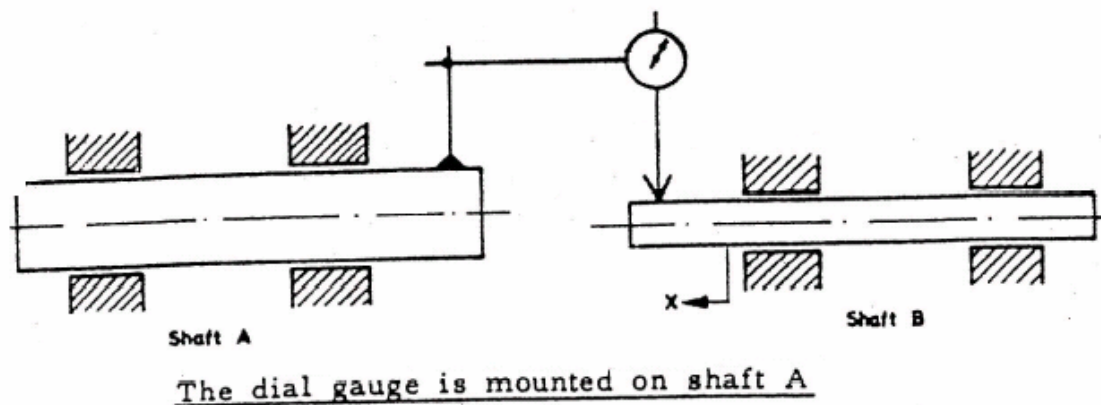


Axial shaft play

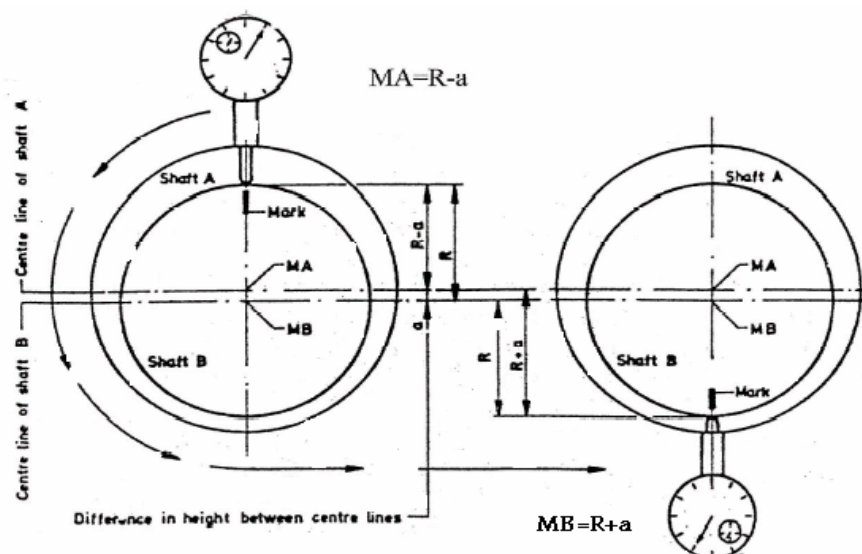
ارتباط اعداد قرائت شده با انحرافات واقعی

با توجه به اینکه در همه روش های Alignment حداقل یکی از ساعت های اندازه گیر جهت اندازه گیری انحراف محور روی لبه خارجی کاپلینگ قرار می گیرد . لازم است ارتباط اعداد قرائت شده با میزان انحراف واقعی محور توضیح داده شود .

شکل زیر دو محور را نشان می دهد که قطرهای آنها با هم متفاوت است و به اندازه اختلاف سطح دارند .



جهت تفهیم بهتر نمای مقابل شکل فوق در زیر نشان داده شده است . اگر فاصله نوک پلانچر تا خط ا لمرکزین شافت B (نقطه MB) با حرف R نشان داده شود و فاصله بین خط ا لمرکزین شافت ها (نقطه MA و نقطه MB) با حرف a (انحراف واقعی) نشان داده شود فاصله نوک پلانچر تا نقطه MA برابر خواهد بود با : $MA=R-a$



اگر شافت های A و B را با هم ۱۸۰ درجه بچرخانیم فاصله پلانچر تا نقطه A برابر $R+a$ خواهد بود. پس وقتی که ساعت اندازه گیر در بالا ترین نقطه (ساعت ۱۲) قرار دارد فاصله $R-a$ است و موقعی که ساعت اندازه گیر در پایین ترین نقطه (ساعت ۶) قرار گیرد فاصله $R+a$ است (که این اختلاف توسط اندازه گیر اندازه گرفته می شود) که اختلاف آن برابر $2a$ است که این مقدار دو برابر انحراف واقعی محور است پس اعدادی که از روی ساعت های اندازه گیر قرائت می شود دو برابر مقدار انحراف واقعی محور ها خواهد بود. لازم به توضیح است که اگر پلانچر ساعت اندازه گیر به سمت داخل حرکت کند ساعت اندازه گیر عدد مثبت را نشان می دهد و اگر به سمت بیرون حرکت کند عدد منفی را نشان می دهد.

انواع روش های هم محوری با استفاده از ساعت های اندازه گیر

با توجه به وضعیت دستگاههایی که باید با همدیگر هم محور شوند از لحاظ چرخش محورها فاصله کاپلینگ ها قطر کاپلینگ ها، وضعیت حرکت محورها و ... از ساعت های اندازه گیر با آرایش های مختلف زیر جهت انجام هم محوری استفاده می شود:

۱- روش Face & Round

۲- روش Two Face & Round

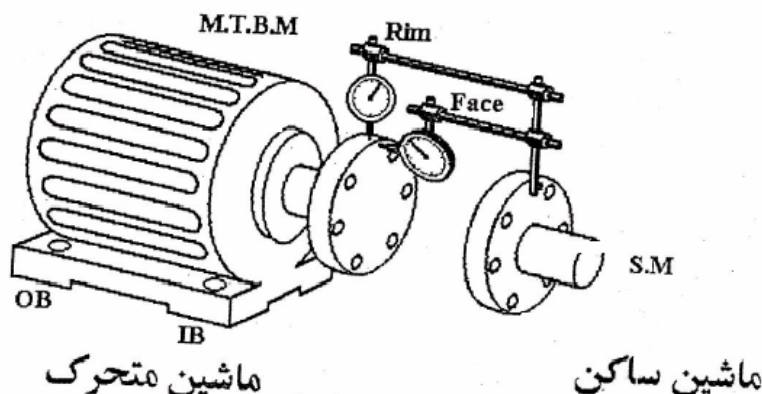
۳- روش Face – Face Distance

۴- روش Reverse

که ذیلا به توضیح هر کدام از این روش ها می پردازیم.

الاین به روش Face & Round

در این روش از دو عدد اندازه گیر ساعتی که یکی روی صورت کاپلینگ (Face) و دیگری روی لبه کاپلینگ (Round) قرار می گیرد استفاده می شود که عمدتاً این یک روش سنتی و شاید عمومی ترین روشی است که در اکثر جاها مورد استفاده قرار می گیرد که شرایط کاربرد آن و مزایا و معایب آن توضیح داده می شود.



مزایای روش Face & Round

۱- این روش در ماشین آلاتی که شافت های آنها خیلی سنگین است و براحتی قادر به چرخیدن نیستند (مثل میل لنگ کمپرسورهای رفت و برگشتی) روش بسیار مناسبی است این روش برای موقعیت هایی که قطر کاپلینگ ها نسبت به فاصله آنها (فاصله Spacer) بیشتر است نسبت به روش های دیگر دارای دقت بالاتری است .

۲- استفاده از این روش در ماشین های کوچک با کاپلینگ های بسته از روش Reverse راحت تر است و دارای دقت بالاتری است.

۳- درک فیزیکی آن (تجسم وضعیت کاپلینگ ها) راحت تر از روش Reverse است.

محدودیت های روش Face & Round

۱- روی دستگاه هایی که محور آن قادر به چرخیدن نیست ممکن است خارج از مرکز بودن کاپلینگ یا خمیدگی شافت یا ناصافی های روی سطوح و لبه های کاپلینگ ها روی دقت الاین (اعداد خوانده شده) تاثیر بگذارد و ایجاد خطا نماید .

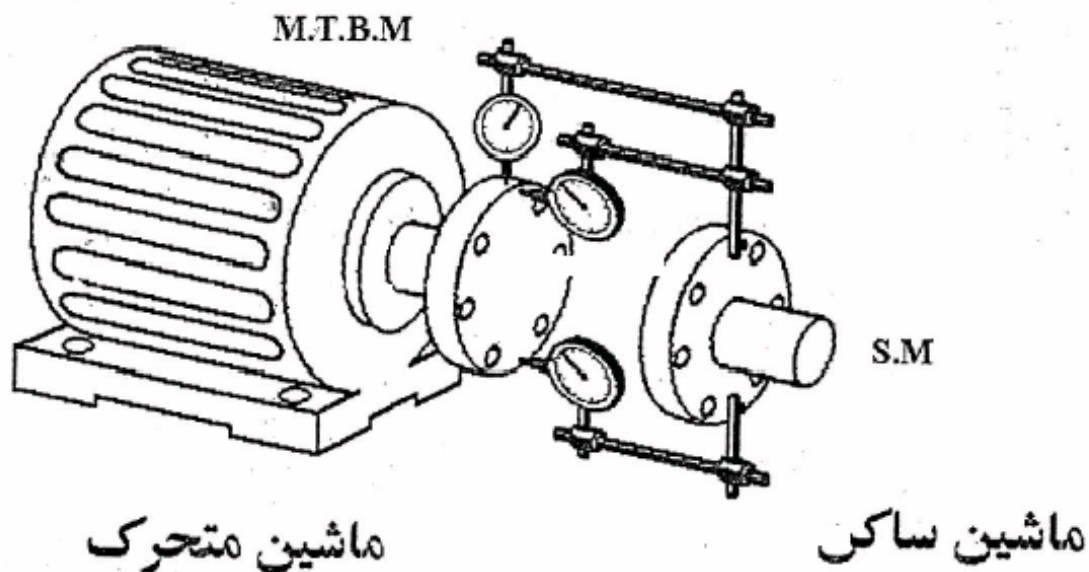
۲- در جاهایی که شافت دارای حرکت محوری باشد این حرکت می تواند روی عدد خوانده شده از ساعت اندازه گیری که روی سطح کاپلینگ (Face) بسته می شود تاثیر بگذارد و ایجاد خطا کند که برای حذف کردن حرکت محوری از انحرافات زاویه ای کاپلینگ ها یا باید از روش دو Face. و یک Round استفاده شود یا اینکه در موقعیت تنظیم یا قرائت ساعت های اندازه گیر محور به منتهی الیه یک سمت حرکت داده می شود که البته این کار برای ماشین های با شافت های سنگین یا چرخ دنده ها ممکن است ایجاد خطا کند.

۳- برای کاپلینگ های با قطر کم و فاصله زیاد دقت هندسی این روش نسبت به روش Reverse کمتر است.

۴- محاسبات ترسیمی این روش پیچیده تر از روش Reverse است .

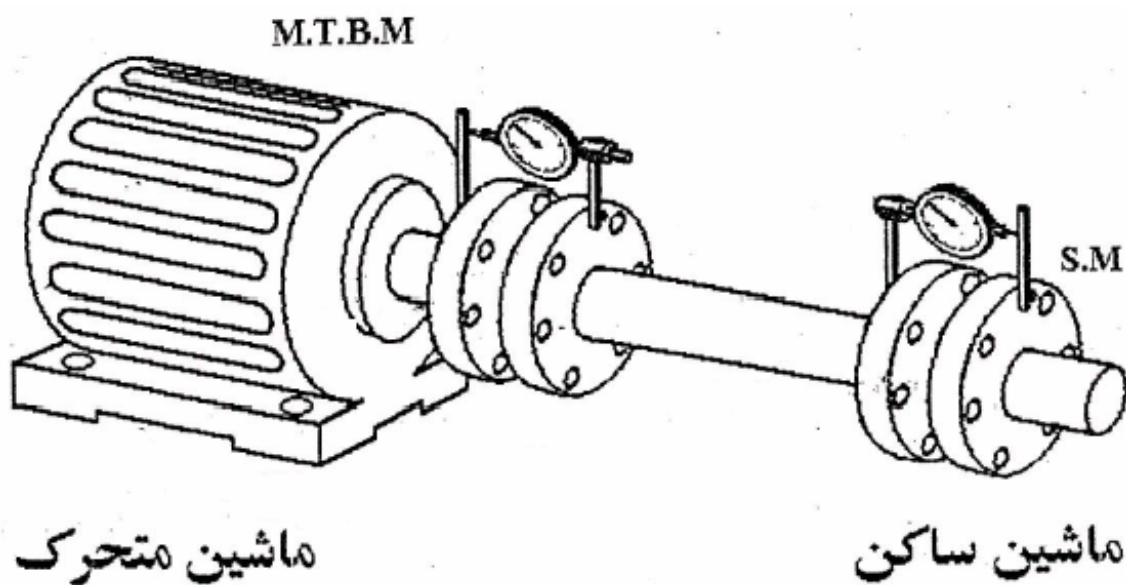
الاین به روش Two Face & Round

این روش دقیقاً با روش قبلی یکسان می باشد ولی بجای استفاده از یک ساعت اندازه گیر روی سطح کاپلینگ (Face) از دو ساعت اندازه گیر که با ۱۸۰ درجه اختلاف نصب می گردند استفاده می شود که برای حذف نمودن حرکت محوری شافت در حین چرخش از اعداد قرائت شده بکار می رود که در این روش مقدار Face واقعی دو محور برابر با نصف اختلاف اعداد خوانده شده از روی ساعت های اندازه گیر در موقعیت اندازه گیری است .



الاین به روش Face – Face Distance

این روش معمولاً برای مواردی که فاصله دو دستگاه زیاد است و از شافت های رابط بلند (Spool) برای کوپله کردن دستگاهها استفاده می شود (مثل سیستم انتقال قدرت برج های خنک کننده) کاربرد دارد. که مزایا و معایب و شرایط کاربرد ان به شرح زیر است.



مزایای روش Face –Face Distance

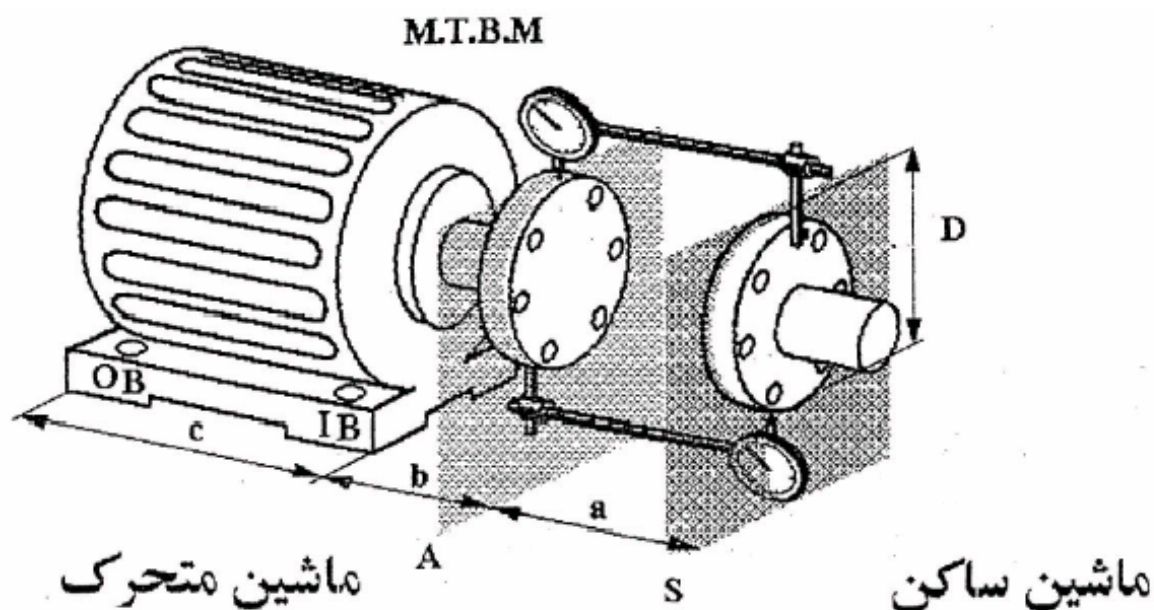
- ۱- برای حالت هایی که فاصله بین دو کاپلینگ خیلی زیاد است (در حد چند متر) مورد استفاده قرار می گیرد .
- ۲- دقت این روش تحت تاثیر (Spool) با طول زیاد قرار نمی گیرد .

محدودیت های روش Face- Face Distance

- ۱- مواقعی که رابط یا Spool برداشته شود این روش کارآیی ندارد .
- ۲- دقت هندسی این روش از روش های دیگر کمتر است .
- ۳- حرکت های محوری روی دقت الایی تأثیر می گذارد .
- ۴- این روش فقط برای جاهایی که فاصله دستگاهها خیلی زیاد باشد مورد استفاده قرار می گیرد و در جاهای دیگر منسوخ است .
- ۵- وزن زیاد Spool باعث عدم امکان هم محوری دقیق می شود .

الاین به روش Reverse

در اغلب موارد برای کاربرد های صنعتی این روش نسبت به روش های دیگر ترجیح داده می شود و دارای دقت بالایی می باشد . روش کار به این صورت است که از دو عدد ساعت اندازه گیر که روی لبه های کاپلینگ ها نصب می شود مقادیر انحراف امتداد دو محور نسبت به همدیگر اندازه گیری می شود .



مزایای روش Reverse

- ۱- چون هر دو شافت با هم می چرخد بنابراین خارج از مرکز بودن کاپلینگ ها و ناصافی سطح کاپلینگ ها از دقت الاین نمی کاهد .
- ۲- دقت الاین تحت تاثیر حرکت محوری شافت قرار نمی گیرد .
- ۳- در این روش حتی بدون دیسکاپل کردن دستگاه می توان الاین کرد.
- که البته این می تواند باعث صرفه جویی در وقت برای باز کردن اتصالات مربوط به سیستم های روغنکاری کاپلینگ های دنده ای شود بعلاوه اینکه وضعیت Hot Align سریع تر مشخص می شود .
- ۴- دقت هندسی این روش در واحدهای صنعتی از روش های دیگر بیشتر است .
- ۵- مقادیر ناهم محوری زاویه ای (Angularity) بدون بستن ساعت اندازه گیر روی سطح کاپلینگ ها بدست می آید.
- ۶ - خیز سیستم اهرم بندی ساعت های اندازه گیر (Bracket Sagment) خیلی راحت تر ازحالتی که ساعت اندازه گیر روی سطح کاپلینگ بسته می شوند بدست می آید .

محدودیت های روش Reverse

- ۱- برای موقعیت هایی که فاصله کاپلینگ ها خیلی کم باشد این روش دقت زیادی ندارد . مگر اینکه پایه های ساعت های اندازه گیر از کاپلینگ ها دورتر بسته شود (محدوده اندازه گیری وسیع تر شود).
- ۲- در این روش هر دو کاپلینگ باید با هم بچرخند و برای موقعیت هایی که یکی از کاپلینگ ها به سختی می چرخد یا اصلاً نمی چرخد استفاده از آن امکان پذیر نیست .
- ۳- در جاهائی که قطر کاپلینگ ها نسبت به فاصله آنها بیشتر باشد دقت هندسی آن از روش قبلی کمتر است و در این حالت روش Face & Round مناسب تر و دارای دقت بیشتری است .
- ۴- اگر فاصله کاپلینگ ها خیلی زیاد باشد به دلیل افزایش خیز ناشی از وزن اهرم بندی ساعتهای اندازه گیر درصد خطاها افزایش پیدا می کند .

مقدمات لازم جهت انجام هم محوری

- قبل از انجام Prealignment دستگاه ها و ماشین الات، برای جلوگیری از مسائل و مشکلات بعدی بهتر است موارد مشروحه ذیل مورد بازدید و بررسی قرار گیرد:
- ۱- بررسی فوندا سیون از لحاظ مناسب بودن ابعاد، ترک نداشتن، کرمون نبودن و نوع بتون استفاده شده.

۲- بررسی وضعیت شاسی (Base plate) از لحاظ داشتن صلبیت کافی، پیچیدگی، مسطح بودن نشیمن گاهها و پر بودن فاصله بین شاسی و فونداسیون (با ضربه زدن به جاهای مختلف آن جهت اطمینان از پر بودن زیر آن)

۳- بررسی وضعیت سیستم لوله کشی از لحاظ موازی بودن و هم محور بودن فلنج های ورودی و خروجی پمپ با فلنج های سیستم لوله کشی و مناسب بودن فاصله بین آنها (به اندازه ضخامت یک گسکت) و بررسی وضعیت تنش ها روی بدنه پمپ از طریق اندازه گیری انحرافات ایجاد شده روی ساعت های اندازه گیر در حین باز و بسته کردن فلنج ها (که روی دو نقطه از کاپلینگ نصب شده است) که این انحرافات نباید بیشتر از 0.003 اینچ باشد.

همچنین بررسی وضعیت سیستم های لوله کشی داخلی روی خود دستگاه اعم از لوله کشی سیستم های خنک کاری (Cooling) مسیرهای ورودی و خروجی Lube Oil و Seal Oil که باید به راحتی و بدون ایجاد تنش به یکدیگر متصل شده باشند.

۴- تمیز کاری سطوح قرار گیری دستگاهها روی Base plate تمیز کاری شیمزها و محیط اطراف دستگاه.

۵- بررسی امکان جابجایی دستگاه در صفحات افق و قائم (بودن چند میلی متر شیمز زیر پایه ها و آزادی حرکت ماشین با حرکت دادن Jack Bolt ها و مناسب بودن سایز پیچ پایه ها).

۶- استفاده از شیمزهای مناسب از لحاظ جنس، مقاومت در مقابل زنگ زدگی و خوردگی و مناسب بودن ابعاد آن و تمیز بودن آنها.

۷- اطمینان از تنظیم بودن نگهدارنده های فنری و آزاد بودن آنها

۸- شناخت کلی ماشین از لحاظ درجه حرارت کاری دستگاه، نوع یاتاقان به کار رفته در آن، کلرنس یاتا قانها (شعاعی و محوری) دور دستگاه، نوع آب بند استفاده شده، وضعیت ارایشی تر است برینگهای نوع تماس زاویه ای و در نظر گرفتن تolerانسهای مناسب برای شرایط کاری مورد نظر.

۹- انتخاب روش مناسب الاین با توجه به وضعیت کاپلینگ ها، نوع ماشین و ... جهت کم کردن خطاهای اندازه گیری و پیدا کردن بهترین روش الاین.

۱۰- استفاده از تجهیزات مناسب اعم از سیستم های اندازه گیری، ابزارهای کاری (تورک متر و میکرومتر) و ابزارهای شیمزبری و آچارهای مناسب)

۱۱- حذف نمودن نیروهای اضافی روی دستگاه چه در حین کار و یا در پایان کار (متناسب سفت کردن پیچ ها با استفاده از تورک متر و حذف نیروهای اضافی ناشی از Jack Bolt ها) و اعمال نکردن ضربات چکش در حین کار روی پایه ها و دیگر نقاط و.....

مسائلی که قبل از هم محوری باید مد نظر قرار گیرند Prealignment

قبل از شروع عملیات هم محوری دستگاه ها برای جلو گیری از دوباره کاری ها و جلو گیری از اتلاف وقت بهتر است موارد زیر بادقت چک شوند.

۱- ساعت های اندازه گیر

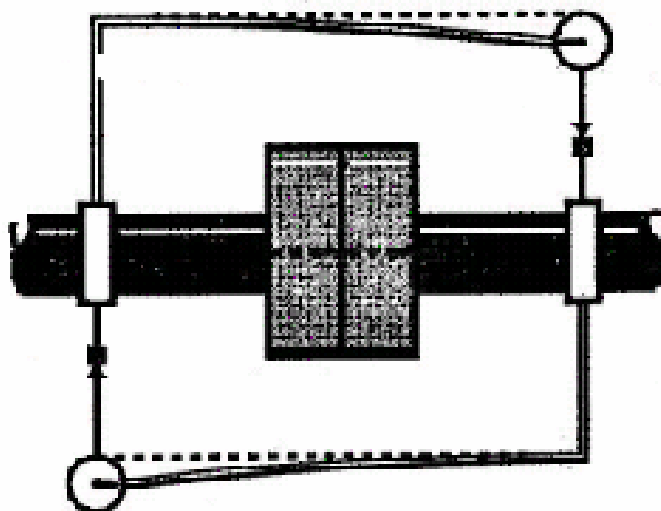
ساعت های اندازه گیر باید از نظر سالم بودن، هم واحد بودن، محکم بسته شدن، عمود بودن پلانجر روی محل قرار گیری آن روی محور و روی سطح کاپلینگ، آزاد بودن آن (گیر نداشتن) و از لحاظ فیزیکی و..... چک شوند

جهت اطمینان از نصب صحیح، ساعت های اندازه گیر روی دستگاه بسته می شوند و در موقعیت ساعت ۱۲ روی صفر تنظیم می شوند و با چرخاندن محور میزان انحرافات در موقعیت های ساعت ۳ و ۹ قرائت می شود که اگر مجموع جبری اعداد قرائت شده در موقعیت های ۳ و ۹ با اعداد قرائت شده در موقعیت ساعت ۶ مساوی (یا اختلاف آن خیلی کم) باشد ساعت های اندازه گیر مشکلی ندارند و اعداد قرائت شده مقدار واقعی نا هم محوری را نشان می دهد و در غیر این صورت احتمال مسائل نصب و یا خرابی ساعتها باید با دقت بیشتری بررسی شود.

۲- چک نمودن خیز ساعت های اندازه گیر (Bracket Segment)

نیروی ناشی از وزن ساعت اندازه گیر (بالاخص وقتی از ساعت های اندازه گیر بزرگ استفاده شود) و سیستم اهربندی باعث تغییر شکل و خمیدگی میله ها شده و موجب می شود نیروی جاذبه زمین ساعت اندازه گیر را به سمت خود بکشد یعنی پلانجر ساعت اندازه گیر در موقعیت ساعت ۶ به سمت پایین حرکت کند و ساعت اندازه گیر یک عدد منفی را نشان دهد (و در موقعیت ساعت ۱۲ و ۳ ساعت روی پلانجر فشار آورده و باعث می شود که ساعت اندازه گیر یک عدد مثبت را نشان دهد) که به این تغییر شکل خیز (Sag) گفته می شود.

خیز باعث انحراف ساعت اندازه گیر شده و با انحراف واقعی ناشی از هم محوری ترکیب می شود و باعث ایجاد خطا در محاسبات Alignment میشود.



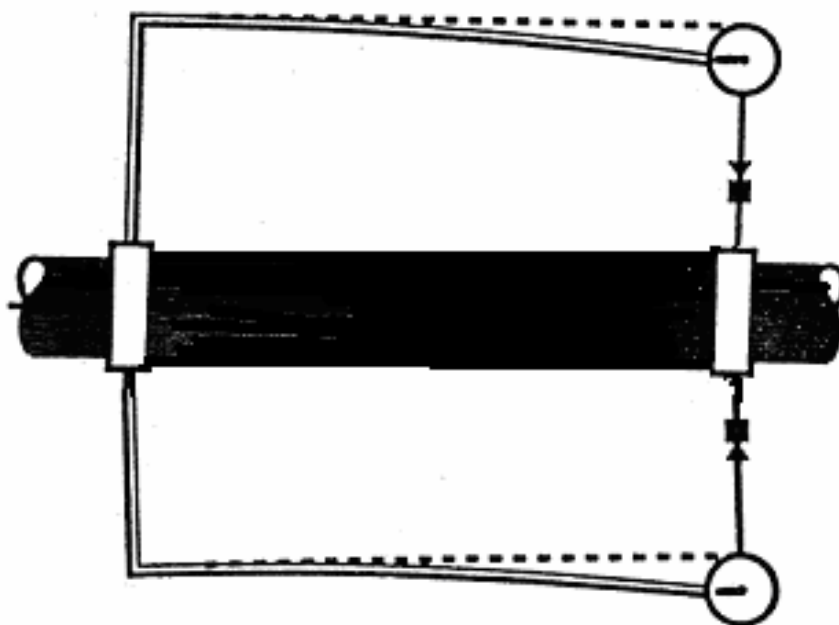
جهت حذف این تاثیرات روی اعداد خوانده شده از ساعتهای اندازه گیر باید اولاً مقدار آن اندازه گیری شود و به اندازه آن روی عددی که از روی ساعت پایینی (ساعت ۶) خوانده شده اضافه و در موقعیت ساعت ۱۲ آن از عدد قرائت شده کم شود (یعنی جمع جبری عدد خوانده شده از روی ساعت اندازه گیر بعلاوه یا منهای خیز ساعت)

البته خیز ساعت بیشترین تاثیر را در صفحه قائم (ساعت ۱۲ و ۶) دارد و در جهت افقی (۳ و ۹) تاثیر زیادی روی ساعت های اندازه گیر ندارد و وقتی فاصله کاپلینگ ها زیاد می شود و نیاز به اهرم بندی با طول زیاد می باشد میزان خیز نیز افزایش پیدا می کند (بخصوص در الاین به روش Reverse این اعداد بصورت مثبت و منفی در می آیند). و باعث ایجاد خطاهای فاحشی در عمل هم محوری می شوند.

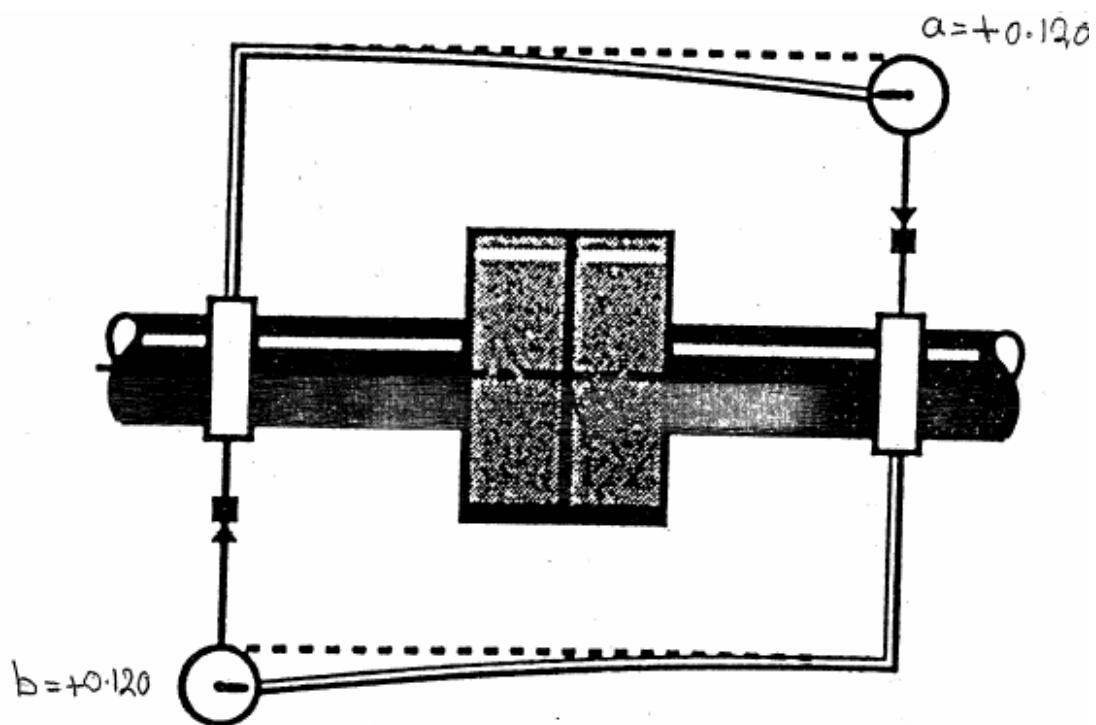
روش اندازه گیری خیز ساعت

وقتی میزان انحرافات (ناشی از نا هم محوری) توسط ساعت های اندازه گیر قرائت گردید باید اثرات ناشی از خیز ساعت ها نیز در آنها اعمال شود تا میزان انحرافات واقعی نا هم محوری بدست آیند. در عمل باید سیستم اهرم بندی کاملاً صلب، محکم و قوی باشد و برای فواصل زیاد نیز تقویت گردد تا تاثیر نیروی جاذبه زمین بر آن به کمترین حد ممکن برسد ولی با توجه به اینکه این انحرافات حتی در فواصل کم و ساعت های اندازه گیر استاندارد نیز وجود دارد باید اندازه گیری و مشخص شوند.

چندین راه جهت تعیین خیز ساعت ها وجود دارد که بهترین و کاربردی ترین روش آن استفاده از یک لوله صلب (Mandrel) است (که یک زائده روی آن جوش شده است و یک زائده متحرک که میتواند روی شافت بلغزد و در هر موقعیتی ثابت شود نیز روی آن قرار گرفته باشد). روش کار به این صورت است که ابتدا ساعت های اندازه گیر روی موقعیت مربوطه بسته می شود و اهرم بندیهای آن تنظیم می شود سپس سیستم اهرم بندی از قسمت کاپلینگ باز شده و روی سیستم فوق نصب می شود و زائده متحرک زیر پلانجر آن قرار می گیرد در این حالت در ساعت ۱۲ ساعت اندازه گیر روی صفر تنظیم می شود و سپس مجموعه شافت (Mandrel) و ساعت اندازه گیر با هم ۱۸۰ درجه چرخانده می شوند و انحراف ساعت در موقعیت ساعت ۶ اندازه گیری می شود که این مقدار انحراف خیز ساعت می باشد و باید در محاسبات مد نظر قرار گیرد.



مثال: فرض کنید در شکل زیر ساعت های اندازه گیر a و b به ترتیب در ساعت ۶ و ۱۲ صفر شده اند دو شافت با همدیگر به اندازه ۱۸۰ درجه چرخش می نمایند یعنی ساعت a در موقعیت ساعت ۱۲ قرار می گیرد و عدد $a(12) = +0.120$ اینچ و ساعت b در موقعیت ساعت ۶ قرار می گیرد و عدد $b(6) = +0.120$ اینچ را می دهد. اگر خیز ساعت را به روش فوق اندازه گیری کرده باشیم و خیز ساعت اندازه گیر 0.010 اینچ باشد (البته اگر دو ساعت یکسان باشند مقدار خیز را برای هر دو یکسان در نظر می گیریم) مقدار واقعی انحراف محور در نقطه a برابر اینچ $-0.120 + 0.010 = 0.110$ و در نقطه b $+0.120 + 0.010 = +0.130$ اینچ می باشد که با اعداد قبلی کاملاً متفاوت است.

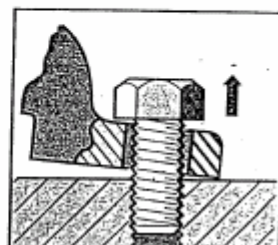
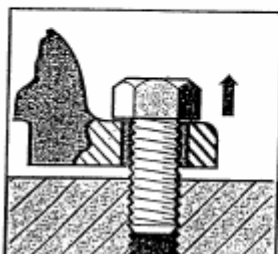
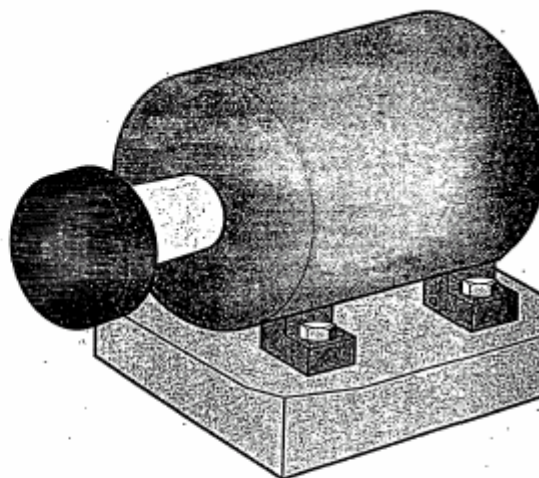
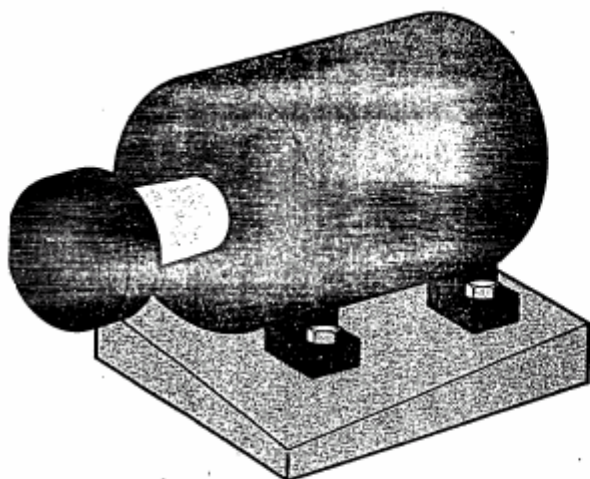


۳- چک نمودن وضعیت محورها و کاپلینگ ها

قبل از انجام عملیات هم محور سازی باید وضعیت کاپلینگ ها روی لبه ها (Round) و سطوح داخلی (Face) و نقاط مختلف شافت با استفاده از ساعت های اندازه گیر کاملاً چک گردند. اگر میزان انحرافات قرائت شده بیشتر از چند هزارم اینچ باشد (برای دورهای تا 1500 حد اکثر 0.004 اینچ و برای دورهای بالاتر حداکثر 0.002 اینچ) باید اقدامات اصلاحی انجام شود همچنین نقاط مختلف شافت از لحاظ خمیدگی باید مورد بررسی قرار گیرند و در صورت لزوم محورها صاف (True) یا تعویض گردد.

۴- چک نمودن لقی پایه ها (Soft Foot)

وقتی پایه های یک دستگاه (یا تمامی سطح هر کدام از پایه ها) بطور کامل روی محل قرار گیری آن روی شاسی (Base plate) قرار نگیرد (زیر یکی از پایه ها یا قسمت هایی از زیر پایه ها خالی باشد) سفت کردن پیچ مربوط به آن پایه باعث تغییر شکل در پایه ها و بدنه دستگاه می شود که به این وضعیت لقی پایه (Soft Foot) گفته می شود.



انواع Soft Foot

بسته به نحوه قرار گیری پایه های دستگاه روی Padstall یا Base plate لقی پایه به انواع زیر تقسیم

بندی می شود:

۱- Parallel Soft Foot (زیر یک پایه بصورت موازی خالی باشد)

۲- Angular Soft (نحوه تماس پایه و pad Stall بصورت زاویه ای باشد)

۳- Twist Soft Foot (پیچیدگی و یا تاب برداشتنی پایه یا محل قرار گیری آن)

۴- Induced Soft Foot (لقی پایه تحریک شده)

در حالت Induced Soft Foot نیروهای جانبی مثل کابل های برق الکتروموتورها یا تنش های

ناشی از سیستم لوله کشی موجب تغییر شکل بدنه ماشین (Deformation) می شوند.

عواملی که باعث Soft Foot می شوند:

۱- کوتاه یا بلند بودن ارتفاع پایه های دستگاه که این مشکل در حین ریخته گری و ساخت یا

ماشین کاری ناقص کف پایه ها بوجود می آید.

۲- ناصاف بودن Base Plate و Pad Stall به دلیل پوسیدگی شاسی, جدا شدن گروت, مسائل

جوشکاری, خستگی فلزات, تنش های حرارتی, خالی بودن زیرشاسی و.....

۳- کثافات و گرد و غبارهایی که زیر پایه ها بصورت اسفنج مانند در می آیند.

۴- تمیز نبودن شمی‌زها، نامساوی بودن مقدار آنها، زیاد بودن تعداد، فنریت داشتن (به دلیل جنس نا مناسب) و.....

۵- جوشکاری روی پایه های الکتروموتورها و پیچیدگی پایه ها نیز باعث لقی پایه بین بدنه الکتروموتور و پایه های مربوطه و همچنین بین پایه و محل قرار گیری روی شاسی می شود.

مسائل ناشی از Soft Foot

۱- تغییر شکل و شکسته شدن پایه ها و پیچیدگی و Deformation بدنه دستگاه.

۲- خمیدگی شافت در اثر پیچیدگی بدنه دستگاه.

۳- بهم خوردن وضعیت Center Line هوزینگ برینگ ها (نا هم محوری های داخلی) و خرابی های زود رس یاتا قان ها و بوجود آمدن مسائل ارتعاشی روی دستگاه.

۴- به هم خوردن فاصله های هوایی (Air Gap) بین رتور و استاتور الکتروموتورها (در نقاط مختلف) و ایجاد نیروهای نامتعادل الکتریکی که باعث ایجاد لرزش می شوند.

۵- به هم خوردن وضعیت Alignment در هر بار باز و بسته کردن پیچ ها که باعث گج شدن نفرات الاین کار می گردد.

روش های اندازه گیری Soft Foot

الف- با استفاده از ساعت های اندازه گیر (یا دستگاههای لیزری)

که با نصب این تجهیزات روی کاپلینگ دستگاه با شل کردن تک تک پیچ های پایه ها مقدار انحراف بوجود آمده روی هر پایه اندازه گیری و ثبت می گردد.

ب- با استفاده از فیلر گج

در این روش که با دقت بیشتری نسبت به روش قبل انجام می شود پس از تمیز کاری سطوح پایه ها و Pad Stall ها دستگاه بدون وجود شیمز روی Base Plate قرار می گیرد و فاصله بین نقاط مختلف هر کدام از پایه ها با محل نشیمن گاه شان روی شاسی (در نقاط مختلف) اندازه گیری و یادداشت می شود.

در صورتی که Soft Foot خیلی پیشرفته و یا پیچیده نباشد با قرار دادن شیمز با ضخامت مناسب زیر پایه های معیوب مشکل مرتفع می گردد ولی گاهی مسائل ناشی از Soft Foot بسیار پیچیده می شوند که برای تصحیح آن نیاز به صرف وقت و هزینه زیاد جهت تعویض Base plate تعویض Pad stall و تعویض پایه های الکتروموتورها و سنگ زدن آنها می باشد که این کار معمولاً روی ماشین تراش های دروازه ای انجام می شود.

لازم به توضیح است که طبق توصیه اکثریت مراجع ذیصلاح حداکثر مقدار مجاز Soft Foot برای دستگاهها و ماشین آلات صنعتی بین 0.003- 0.002 اینچ می باشد.

۵- در نظر گرفتن کلرنس برینگ ها در محاسبات

در رابطه با رشد حرارتی دستگاهها در فصول بعدی صحبت خواهد شد ولی مسئله حائز اهمیت دیگر تاثیرات کلرنس برینگ ها ی نوع بوشی روی شرایط هم محوری است (Sleeve Bearing) که با توجه به اینکه درحین چرخش فشار هیدرودینامیکی روغن باعث حرکت محوره سمت بالا (بصورت خارج از مرکزی) می شود باید این حرکت ها درحین Alignment همراه با مسائل رشد حرارتی در صفحات افق و قائم در نظر گرفته شوند .

توصیه اکثر مراجع براین است که در دودستگاهی که با هم کوپله می شود ترجیحا "از یک نوع یاتاقان (غلطکی یا لغزشی) استفاده شود که متاسفانه در اکثر جاها مراعات نمی شود.

مراحل عملی هم محور سازی

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد عملیات هم محوری در ماشین آلاتی که روی سطح زمین نصب می شوند باید در دو صفحه عمود بر هم افق و قائم انجام شود. دلیل اسفاده از صفحه افق (سطح تراز) بدین جهت است که برای ماشین آلات با محورها سنگین اولاً وزن شافت روی یاتاقانهای تراست قرار نگیرد و ثانیاً نصب Base Plate و چک کردن (تراز کردن) محل های قرار گیری دستگاه روی آن (Pad Stall) راحت تر انجام شود .

کلیه مراحل عملیاتی و محاسباتی هم محور سازی در صفحات افق و قائم دقیقاً مشابه بوده و فقط نحوه انجام کار متفاوت است که در صفحه قائم میزان تغییرات مورد نیاز جهت هم محور سازی با کم و زیاد کردن شیمز های زیر پایه ها انجام می شود ولی در صفحه افق با حرکت دادن ماشین با شل و سفت کردن Jack Bolt ها میزان تغییرات لازم داده می شود که بسیار راحت تر از صفحه قائم است چون اگر ماشین بیشتر از مقدار لازم حرکت کرده باشد با سفت کردن Jack Bolt مقابل آن براحتی قابل تصحیح و برگشت می باشد در صورتی که در صفحه قائم تغییرات زیر پایه ها با مشکل بیشتری انجام می شود و اگر خطایی صورت گیرد (مقدار شیمز قرار داده شده مناسب نباشد) عملیات هم محور سازی با صرف وقت زیادی باید انجام شود.

معمولاً روش انجام کار به این صورت است که ابتدا ماشین در صفحه افق (ساعت ۳ و ۹) با دقت خوب هم محور می گردد و سپس وضعیت Alignment در صفحه قائم اندازه گیری و تصحیح می شود و با توجه به اینکه امکان حرکت کردن ماشین (در حین شیمز گذاشتن و برداشتن) در صفحه افق وجود دارد مجدداً وضعیت هم محوری در صفحه افق باید دوباره چک و تصحیح شود و جهت اطمینان بیشتر وضعیت Alignment در صفحه قائم نیز مجدداً اندازه گیری، ثبت و گزارش می شود.

همانطور که توضیح داده شد کار هم محور سازی بالاخص روی دستگاهها و ماشین آلات سنگین کار مشکل و پردردسری است و در صورتی که مراحل شیمز گذاری و شیمز برداری با سعی و خطا انجام

شود ممکن است ساعت ها بطول انجامد و باعث صرف وقت زیاد و ناراحتی های روحی روانی برای نفرات شود. در صورتی که با دانستن اصول محاسبات هر کدام از روش ها (ساعت های اندازه گیر) در کمترین زمان ممکن کار هم محوری انجام می شود.

تعیین موقعیت یک خط در صفحه

با توجه به اینکه در عملیات هم محوری باید محور تقارن یک دستگاه با محور تقارن دستگاه دیگر در یک راستا قرار گیرد و برای این منظور باید بتوانیم موقعیت آنها را در صفحات افق و قائم شناسائی کنیم که قبل از وارد شدن به بحث اصلی لازم است در مورد موقعیت یک خط در صفحه توضیح مختصری داده شود.

تعیین موقعیت یک خط در صفحه مختصات (صفحه X و Y) از دو راه امکان پذیر است.

۱- معلوم بودن زاویه و یک نقطه از خط

اگر زاویه خط را با یکی از محورهای مختصات (مثلا محور X) همراه با یک نقطه از آن داشته باشیم می توانیم موقعیت نقاط دیگر آن خط را نیز نسبت به آن محور بدست آورده و با محاسبه میزان انحرافات لازم خط را در هر موقعیتی از صفحه (روی محور افق) قرار داده و امتداد دو محور (محور افق و خط مطلوب) را در یک راستا قرار دهیم که این پایه و اصول کار الاین به روش Face Round & برای هم محور کردن دستگاهها و ماشین آلات است.

۲- معلوم بودن دو نقطه از یک خط

اگر موقعیت دو نقطه از یک خط در صفحه مختصات معلوم باشد با اتصال این نقاط به هم و امتداد دادن آن موقعیت خط بدست می آید و براحتی می توان میزان انحراف تک تک نقاط دیگر خط را از نقاط معلوم دیگر محور ثابت (محور X ها) نیز بدست آورد و با میزان جابجائی صحیح نقاط معلوم (نقاط روبروی پایه ها) از مح و X ها دو خط خط مطلوب و محور افق یا قائم) را در یک امتداد قرار داده و نهایتاً دو محور را در یک راستا قرار داد که این (پایه و اساس کار الاین به روش Reverse برای هم محور کردن دستگاهها است.

مفهوم اعدادی که از روی ساعت های اندازه گیر قرائت می شوند

جهت بهتر مجسم کردن وضعیت محور ها (محور های تقارن پمپ و الکترو موتور) مفهوم اعدادی که از روی ساعت های اندازه گیر قرائت می شوند و نشان دهنده وضعیت کاپلینگ ها و زاویه محور تقارن شافت دستگاه متحرک (الکترو موتور) نسبت به محور تقارن دستگاه ثابت (پمپ) که به عنوان محور مرجع (محور X ها) در نظر گرفته می شود بسیار حائز اهمیت است که در این قسمت به توضیح آن می پردازیم.

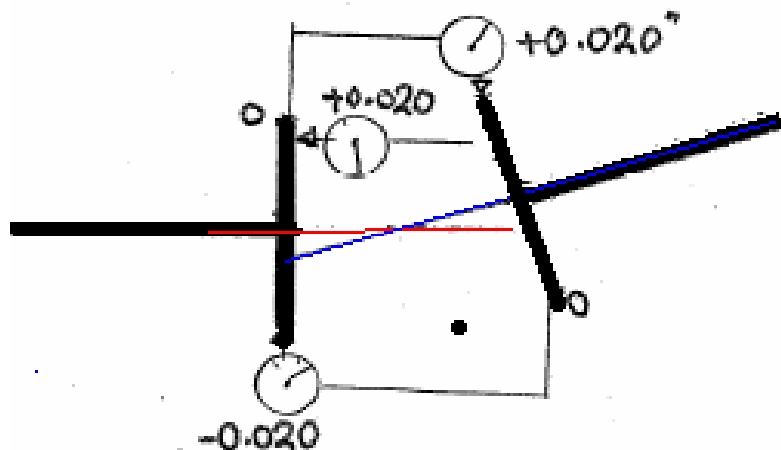
در کلیه روش های الاین با استفاده از ساعت های اندازه گیر معمولا ساعت ها به دو طریق نصب می شوند یا روی لبه بیرونی کا پلینگ (Round) یا روی صورت یا سطح کا پلینگ (Face).

مفهوم عدد قرائت شده Face

عدد قرائت شده از ساعت اندازه گیر روی صورت کاپلینگ (Face) مبین اختلاف فاصله بین قسمت بالا و پائین دهنه کاپلینگ ها (ساعت ۱۲ و ۶) در صفحه قائم و یا (ساعت ۳ و ۶) در صفحه افق است بدین معنی که اگر ساعت اندازه گیری که روی صورت کاپلینگ نصب میشود در ساعت ۱۲ روی صفر تنظیم شود و پس از ۱۸۰ درجه چرخش در موقعیت ساعت ۶ مثلاً عدد 0.020 - اینچ را نشان دهد مبین این است که فاصله در قسمت پائین کاپلینگ ها نسبت به قسمت بالایی کاپلینگ ها به اندازه 0.020 اینچ بیشتر است (شکل پایین) یعنی دهنه پایین کاپلینگ ها باز و دهنه بالا بسته است (وضعیت کاپلینگ ها به صورت ۸ است). و اگر عدد قرائت شده 0.020 + اینچ باشد عکس حالت فوق اتفاق افتاده یعنی وضعیت کاپلینگ ها بصورت ۷ است .

مفهوم عدد قرائت شده Round

Round کاپلینگ ها بسته می شوند و جهت تفهیم بهتر به شکل زیر دقت کنید.



عددی که از روی ساعتی که پایه آن روی شافت دستگاه متحرک (الکترو موتور) بسته شده و پلانجر آن روی کاپلینگ شافت دستگاه ثابت (پمپ) حرکت می کند قرائت می شود (ساعت سمت چپی) مبین انحراف امتداد محور تقارن دستگاه متحرک نسبت به محور تقارن دستگاه ثابت است (در نقطه ای که پلانجر قرار دارد) یعنی اگر ساعت اندازه گیر در موقعیت ساعت ۱۲ روی صفر تنظیم شود و پس از ۱۸۰ درجه چرخش در موقعیت ساعت ۶ بطور مثال عدد ۰.۰۲۰-۰ اینچ از روی آن قرائت شود مبین این

است که امتداد محور تقارن دستگاه متحرک در آن نقطه (روی کاپلینگ دستگاه ثابت) نسبت به محور تقارن دستگاه ثابت به اندازه $\frac{0.020}{2}$ اینچ پایین تر قرار گرفته (وضعیت نشان داده شده در شکل فوق) و اگر عدد قرائت شده با علامت مثبت باشد مبین این است که امتداد محور دستگاه متحرک در آن نقطه بالاتر از محور دستگاه ثابت واقع شده است (که البته با این نقطه تنها نمی توان زاویه محور را بدست آورد).

و همچنین عددی که از روی ساعتی که پایه آن روی شافت پمپ بسته شده و پلانجر آن روی کاپلینگ شافت دستگاه متحرک است قرائت می شود (ساعت سمت راستی) مبین میزان انحراف محور تقارن شافت دستگاه متحرک نسبت به امتداد محور تقارن دستگاه ثابت (در موقعیت کاپلینگ دستگاه متحرک) است. که فرضاً اگر ساعت اندازه گیر فوق در موقعیت ساعت ۶ صفر شود و پس از ۱۸۰ درجه چرخش در موقعیت ساعت ۱۲ عدد ۰.۰۲۰ + اینچ از آن قرائت شود مبین این است که محور تقارن شافت دستگاه متحرک (در نقطه مقابل کاپلینگ دستگاه متحرک) به اندازه $\frac{0.020}{2}$ اینچ نسبت به امتداد محور تقارن دستگاه ثابت (پمپ) بالاتر است به عبارت دیگر این نقطه از محور تقارن شافت دستگاه متحرک به پلانجر ساعت اندازه گیر نزدیک شده است. که با مشخص شدن این انحرافات در دو نقطه در روش Reverse و یا یکی از این انحرافات در روش Face-Round وضعیت محور تقارن در هر یک از صفحات افق و یا قائم مشخص خواهد شد.

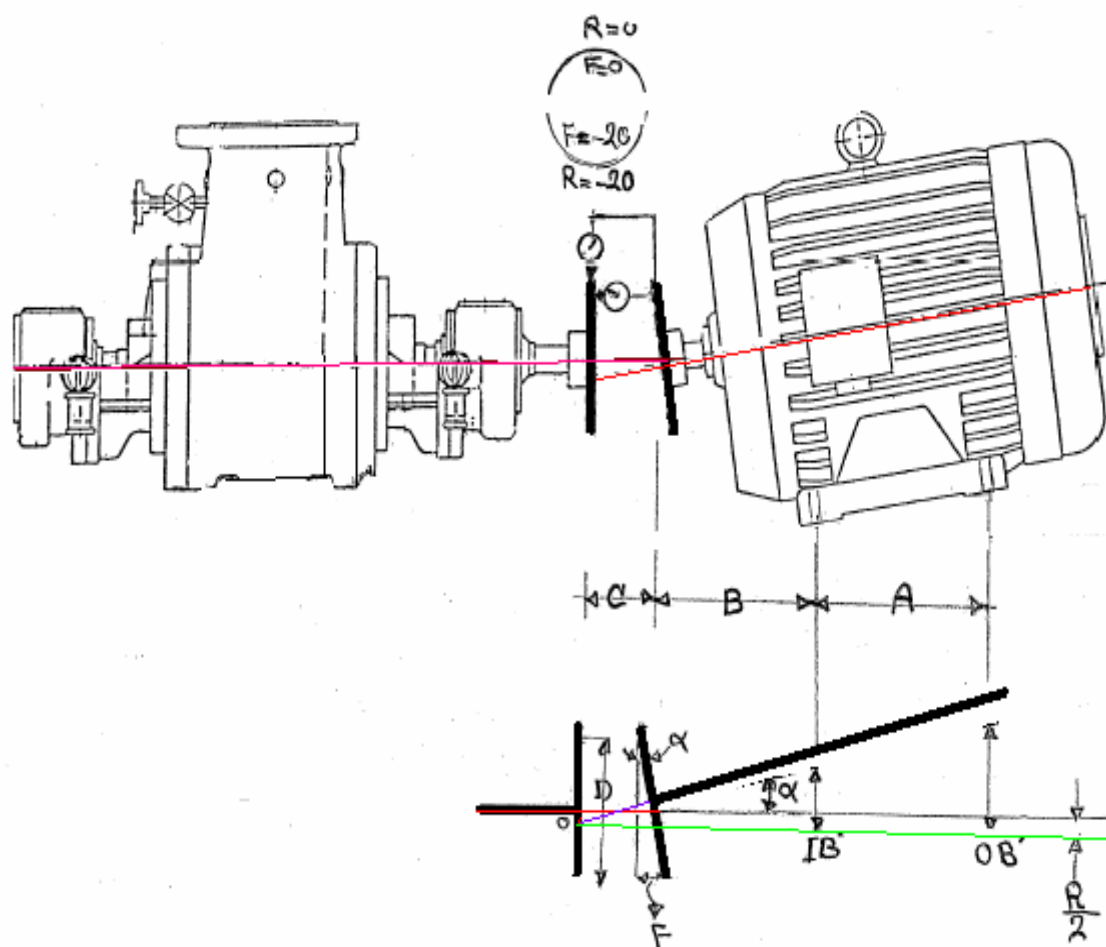
لازم به توضیح است که اعداد قرائت شده از روی ساعت اندازه گیر در موقعیت های ۱۲ و ۶ (یا ۹ و ۳) با هم یکسان بوده و تنها تفاوت آنها اختلاف در علامتهای مثبت و منفی است یعنی اگر در موقعیت ساعت ۱۲ (وقتی در موقعیت ساعت ۶ روی صفر تنظیم شده باشد) عدد خوانده شده مثبت است در موقعیت ساعت ۶ عدد خوانده شده همان عدد قبلی و با علامت منفی خواهد بود. در موقعیت هایی که اختلاف ناهم محوری خیلی زیاد است ساعتهای اندازه گیر باید طوری تنظیم شوند (پلانجر در موقعیتی قرار گیرد) که در یک دور کامل محور از محور جدا نشوند یا روی محور جام نکنند یعنی مانور کافی برای حرکت پلانجر وجود داشته باشد.

روابط و معادلات ریاضی الاین به روش Face & Round

با عنایت به توضیحات ارائه شده قبلی و جهت درک فیزیکی بهتر بحث الاین به روش فوق را با حل یک مثال توضیح می دهیم .

مثال : فرض کنید ساعت‌های اندازه گیر در شکل زیر در موقعیت ساعت ۱۲ روی صفر تنظیم شده اند و با چرخش ۱۸۰ درجه ای محور د رموقعیت ساعت ۶ به ترتیب $R = -0.020$ و $F = -0.020$ اینچ قرائت شده است.

با توجه به عدد قرائت شده روی صورت کاپلینگ (F) که در موقعیت ساعت ۶ منفی است نتیجه می گیریم که فاصله قسمت پائین کاپلینگ بیشتر از قسمت بالایی کاپلینگ می باشد (وضعیت کاپلینگ ها بصورت ۸ است) و چون سطح کاپلینگ عمود بر محور می باشد پس نتیجه می گیریم که شیب محور دستگاه متحرک (الکتروموتور) مثبت است .



زاویه کاپلینگ نسبت به خط عمود α است پس انحراف محور نسبت به خط افق نیز به همان اندازه زاویه α خواهد بود که تانژانت آن برابر است با $\tan \alpha = \frac{F}{D}$ (که D قسمتی از قطر کاپلینگ است که ساعت اندازه گیر روی آن حرکت می کند) برای اینکه دو محور با هم موازی شوند باید این زاویه (α) به صفر برسد پس باید نقاطی از محور که مقابل پایه ها قرار دارند به اندازه IB و OB به سمت پایین حرکت کنند. به عبارت دیگر اگر امتداد محور شافت متحرک حول نقطه انتهایی آن (در موقعیت قرار گیری پلانجر ساعت اندازه گیر یا نقطه 0) در جهت عقربه های ساعت دوران کند زاویه α به صفر می رسد و دو محور با هم موازی می شوند. که اگر در این مرحله محور شافت متحرک نیز به اندازه $\frac{R}{2}$ به سمت بالا حرکت کند (با اضافه کردن 0.010 اینچ شمیز زیر تمامی پایه ها) دو محور کاملاً با هم در یک راستا قرار خواهند گرفت.

تانژانت زاویه α روی سطح کاپلینگ برابر است با:

$$\tan \alpha = \frac{F}{D}$$

و از طرف دیگر در مثلث های افقی کوچک و بزرگ تانژانت این زاویه برابر است با:

$$\tan \alpha = \frac{IB}{B+C}$$

و همچنین از طرف دیگر:

$$\tan \alpha = \frac{OB}{A+B+C}$$

و نهایتاً:

$$\tan \alpha = \frac{F}{D} = \begin{cases} \frac{IB}{B} \\ \frac{OB}{A+B} \end{cases} \quad \begin{aligned} IB &= F \times \left(\frac{B+C}{D} \right) \quad (1) \\ OB &= F \times \left(\frac{A+B+C}{D} \right) \quad (2) \end{aligned}$$

به عبارت دیگر جهت موازی کردن دو محور با همدیگر زاویه α باید به صفر برسد یعنی محور دستگاه متحرک حول نقطه 0 (محل تلاقی امتداد محور تقارن شافت متحرک با کاپلینگ دستگاه ثابت) در جهت عقربه های ساعت دوران کند که در این صورت نقاط مقابل پایه های جلو و عقب دستگاه به اندازه IB و OB به سمت پایین باید حرکت کنند و یا عکس این قضیه یعنی اگر زیر پایه های جلو

وعقب ماشین متحرک به اندازه IB و OB به سمت پایین حرکت کند زاویه α به صفر می رسد و باعث می شود که دو محور باهم موازی شوند.

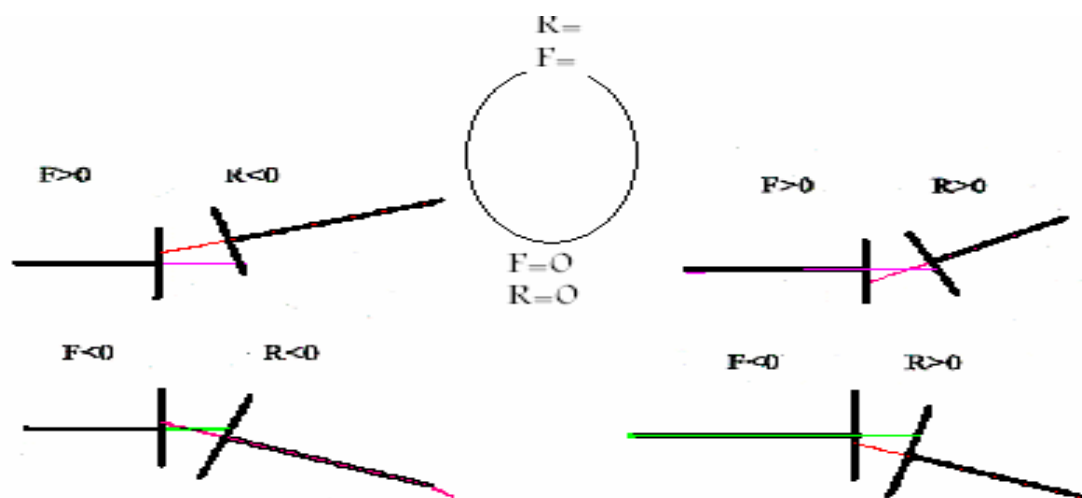
البته برای به صفر رساندن زاویه α می توان محور دستگاه متحرک را حول نقاط دیگری دوران داد و فرمول ها و روابط دیگری را بدست آورد ولی به واسطه اینکه موقعیت این نقطه کاملاً مشخص می باشد (فاصله آن با محور X ها برابر $\frac{R}{2}$ است) باعث ساده شدن روابط می شود.

همانطور که ملاحظه می کنید فرمول های (۱) و (۲) جهت موازی نمودن دو محور (یعنی حذف ناهم محوری زاویه ای) مورد استفاده قرار می گیرند که مقدار حرکت زیر پایه های جلو IB و پایه های عقب OB باهم مساوی نیستند و برای اینکه دو محور از حالت موازی روی یک خط قرار گیرند باید به اندازه $\frac{R}{2}$ زیر چهار پایه دستگاه متحرک (برای حالت فوق) شمیخ گذاری شود. یعنی برای اینکه این دو محور در یک امتداد قرار گیرند در یک مرحله باید از زیر پایه های جلو و عقب شمیخ کم کرد تا زاویه α به صفر برسد (طبق فرمول های (۱) و (۲) و در یک مرحله دیگر به اندازه $\frac{R}{2}$ (جمع جبری اعداد) زیر پایه ها شمیخ اضافه نمود تا دو محور در یک امتداد قرار گیرند.

برای اینکه کار در یک مرحله انجام شود میتوان روابط را برای حالت کلی به شکل زیر درآورد:

$$\begin{cases} IB = (\pm) F \left(\frac{B+C}{D} \right) (\pm) \frac{R}{2} & (۳) \\ OB = (\pm) F \left(\frac{A+B+C}{D} \right) (\pm) \frac{R}{2} & (۴) \end{cases}$$

که بسته به موقعیت کاپلینگ ها (مقدار Face) و موقعیت انحراف امتداد محور دستگاه متحرک نسبت به محور X ها (مقدار $\frac{R}{2}$ علامت های مثبت و منفی در این معادلات شامل چهار حالت کلی به شرح زیر است:

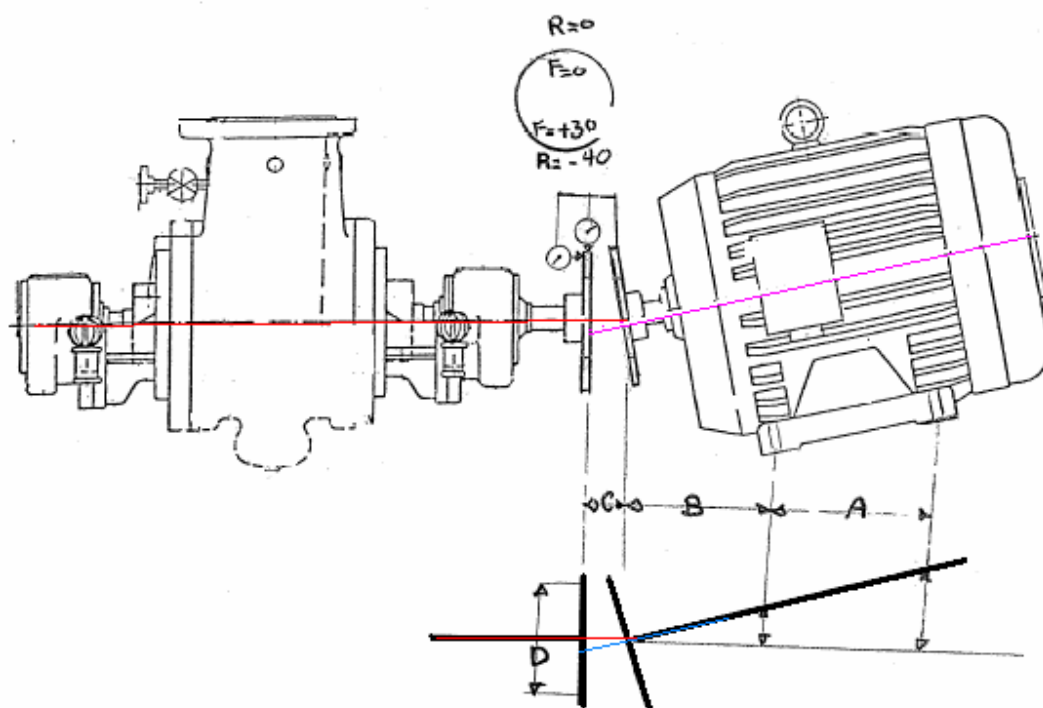


که هر کدام از این حالت ها مبین وضعیت زاویه ای و موازی بودن محورها در صفحه می باشد. لازم به توضیح است که در حالت های چهارگانه فوق قسمت های اول یا دوم روابط (۳) و (۴) همیشه هم علامت می باشند (هر دو مثبت یا هر دو منفی)

چند نکته:

نکته اول: اگر شافت ماشین متحرک قادر به چرخیدن نباشد و پایه های ساعت های اندازه گیر روی شافت دستگاه ثابت نصب شده باشد یعنی پلانجر ساعت ها روی کاپلینگ ماشین متحرک قرار گرفته باشد مثل شکل زیر روابط باید به فرم معادلات (۹) و (۱۰) مورد استفاده قرار گیرند. که این مبین آنست که محور تقارن شافت دستگاه متحرک حول نقطه انتهائی خودش باید چرخیده شود تا نا هم محوری زاویه ای آن به صفر برسد و دو محور با هم موازی شوند.

$$\begin{cases} IB = (\pm) F \left(\frac{B+C}{D} \right) (\pm) \frac{R}{2} \\ OB = (\pm) F \left(\frac{A+B+C}{D} \right) (\pm) \frac{R}{2} \end{cases}$$



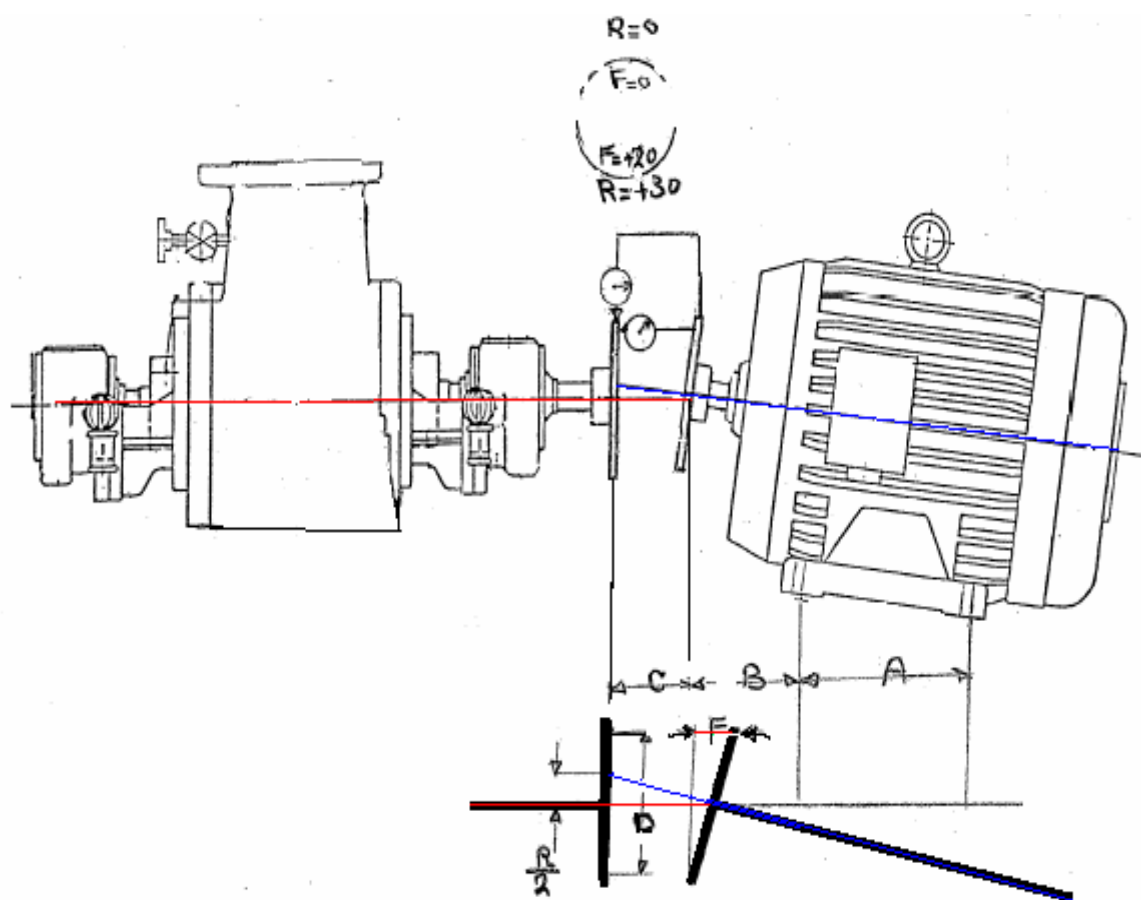
نکته دوم: در صورتی فاصله کاپلینگ ها خیلی کم باشد و امکان نصب ساعت های اندازه گیر روی صورت کاپلینگ وجود نداشته باشد می توان ساعت اندازه گیر مربوط به Face را در قسمت پشت

کاپلینگ نصب کرد ولی باید توجه داشت اعدادی که قرائت می شوند از نظر علامت با اعداد قبلی متفاوتند که با کمی دقت می توان پی به وضعیت زاویه کاپلینگ ها برد.

نکته سوم: هم محور کردن در صفحات افق و قائم دقیقا مثل هم بوده و استفاده از این روابط در صفحه افق نیز براحتی امکان پذیر می باشد.

نکته چهارم: D قطر تمامی کاپلینگ نیست بلکه به عنوان قسمتی از قطر کاپلینگ است که ساعت اندازه گیری Face روی آن حرکت می کند (دو برابر فاصله نوک پلانجرتا مرکز شافت).

مثال: اگر ساعت های اندازه گیر طبق شکل زیر روی پمپ و الکتروموتور نصب شده باشند (و پمپ به عنوان دستگاه ثابت باشد) و در موقعیت ساعت ۱۲ هر دو ساعت روی صفر قرار گیرند و پس از ۱۸۰ درجه چرخش در موقعیت ساعت ۶ به ترتیب $F = +0.020$, $R = +0.030$ قرائت شود و ابعاد به ترتیب $A = 100\text{Cm}$ و $B = 40\text{Cm}$ و $C = 20\text{Cm}$ و $D = 20\text{Cm}$ باشند مطلوبست مقدار حرکت پایه ها در صفحه قائم (مقدار شمیزی که زیر پایه های جلو و عقب باید کم یا زیاد نمود)



با تعیین وضعیت کاپلینگ ها و موقعیت امتداد محور تقارن شافت الکتروموتور نسبت به محور تقارن پمپ مسئله قابل حل است که طبق اعداد موجود وضعیت دو محور نسبت به هم بصورت (Y) است .

در این حالت برای صفر کردن زاویه انحراف (حذف نا هم محوری زاویه ای) باید محور الکتروموتور به اندازه زاویه α درجهت عکس عقربه های ساعت دوران کند (یعنی زیرپایه های جلو و عقب باید شمیاز اضافه شود) به عبارت دیگر قسمت اول روابط (۹) و (۱۰) باید مثبت باشند و با توجه به علامت مثبت R امتداد محور تقارن شافت الکتروموتور نسبت به محور تقارن پمپ بالا تر است پس باید کلیه پایه ها به اندازه $\frac{R}{2}$ پایین بیاید (قسمت دوم روابط فوق با علامت منفی) و با توجه به اینکه وضعیت کاپلینگ ها و انحراف محور مشخص شد برای مسئله بدون در نظر گرفتن علامتهای F و R (استفاده از قدر مطلق آنها) روابط بصورت زیر درمی آیند:

$$\left\{ \begin{array}{l} IB = +F \left(\frac{B+C}{D} \right) - \frac{R}{2} = +0.020 \left(\frac{40+20}{20} \right) - \frac{0.030}{2} \\ OB = +F \left(\frac{A+B+C}{D} \right) - \frac{R}{2} = +0.020 \left(\frac{100+40+20}{20} \right) - \frac{0.030}{2} \end{array} \right.$$

و نتیجتاً:

$$\left\{ \begin{array}{l} IB = +0.060 - 0.015 = +0.045 \\ OB = +0.160 - 0.015 = +0.145 \end{array} \right.$$

یعنی زیر پایه های جلوی الکتروموتور به اندازه 0.045 اینچ و زیرپایه های عقب الکتروموتور به اندازه 0.145 اینچ باید شمیاز گذاشته شود تا دو دستگاه با هم در یک امتداد (الین) قرار گیرند.

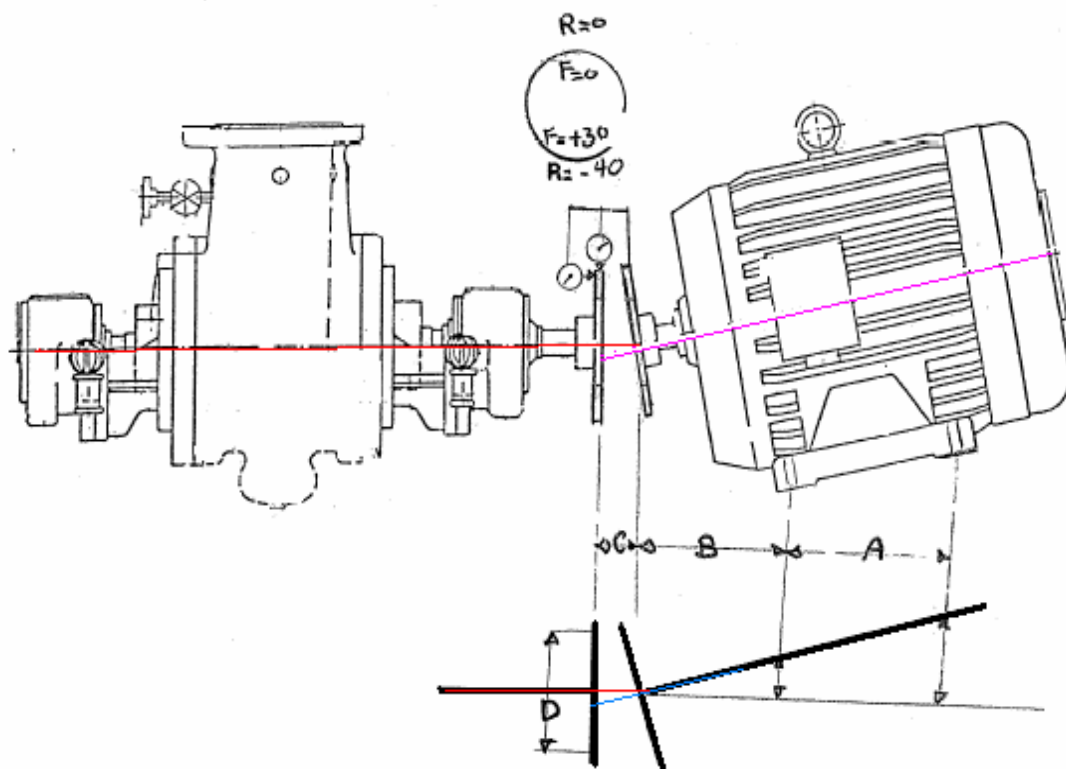
چند نکته :

نکته اول : واحدهای اندازه گیری انحرافات (که از روی ساعتهای اندازه گیر خوانده می شوند) و اندازه های فاصله ها (A, B, C, D, ...) هیچ ارتباطی با همدیگر ندارند یعنی می توان از ساعتهای اندازه گیر اینچی استفاده کرد ولی فواصل را بر حسب میلی متر، سانتی متر، اینچ و ... اندازه گرفت.

نکته دوم: جهت راحتی کاربر فرمول ها و تصمیم گیریها جاهایی که برای تصحیح زاویه یا اختلاف نیاز به شمیز گذاری داشته باشیم . از علامت مثبت و در جاهایی که باید شمیز برداری شود از علامت منفی استفاده می شود به همین دلیل اگر عدد بدست آمده از فرمول ها و روابط فوق مثبت باشد نیاز به شمیز گذاری است و اگر حاصل عبارت عدد منفی باشد باید شمیز برداشته شود.

نکته سوم: بعد از تشخیص وضعیت محور ها اگر به اندازه $F \times \frac{A}{D}$ فقط روی یکی از پایه هاشمیز گذاشته یا برداشته شود می توان در یک مرحله مقدار ناهم محوری زاویه ای را از بین برد و دو محور را با هم موازی نمود. بطور مثال در مسئله قبلی اگر به اندازه $0.020 \times \frac{100}{20}$ یا 0.100 اینچ به زیر پایه های عقب اضافه شود یا به همین اندازه از زیر پایه های جلو کم شود دو محور کاملاً با هم موازی می شوند.

مثال: در شکل زیر وضعیتت کاپلینگ ها بصورت بسته است و در موقعیت ساعت ۱۲ ساعت های اندازه گیر صفر و در موقعیت ساعت ۶ اعداد $F = +0.030$, $R = -0.040$ اینچ قرائت شده است در صورتی که فواصل $A=100\text{ Cm}$, $D=20\text{ Cm}$, $C=10\text{ Cm}$, $B=40\text{ Cm}$ باشد مطلوبست تعیین مقدار شمیزی که باید زیر پایه ها اضافه یا کم کرد تا دو محور با هم الاین گردند (ضمن اخذ ساعت مربوط به Round 0.010 اینچ اندازه گیری شده است).



خیز ساعت 0.010 اینچ است و عددقرائت شده از روی ساعت Round ترکیبی ازناهم محوری و خیز ساعت است در این حالت نا هم محوری واقعی $R = (-0.040 + 0.010) = -0.030$ اینچ است. وضعیت کاپلینگ ها طبق اعداد داده شده بصورت فوق است .

پس روابط (9), (10) بصورت زیربایدمورد استفاده قرار گیرند.

$$\left\{ \begin{array}{l} IB = -F \left(\frac{B+C}{D} \right) + \frac{R}{2} = -0.030 \times \left(\frac{40+10}{20} \right) + \frac{0.030}{2} \\ OB = -F \left(\frac{A+B+C}{D} \right) + \frac{R}{2} = -0.030 \times \left(\frac{100+40+10}{20} \right) + \frac{0.030}{2} \end{array} \right.$$

که نهایتاً:

$$\left\{ \begin{array}{l} IB = -0.075 + 0.010 = -0.065 \\ OB = -0.225 + 0.010 = -0.215 \end{array} \right.$$

با برداشتن 0.065 اینچ شیمز از زیرپایه های جلو و برداشتن 0.215 اینچ شیمز از زیر پایه های عقب الکتروموتور دودستگاه باهم ,هم محور خواهند شد.

محاسبات و روابط الاین به روش Two Face & Round

روش فوق دقیقاً با روش Face & Round مشابه است ولی شرایط کاربرد آن در موقعیت هایی است که محورها دارای حرکت طولی (محوری) باشند و باعث ایجاد خطا روی ساعت اندازه گیر Face شود. (یعنی عددی که از روی ساعت Face خوانده می شود ترکیبی است از حرکت محوری شافت و نا هم محوری زاویه ای است) که یکی از روش های حذف حرکت های محوری این است که در هر بار که می خواهیم ساعت های اندازه گیر را تنظیم یا قرائت کنیم حرکت های طولی شافت ها را به منتهی الیه یک طرف منتقل کنیم تا اثر حرکت های محوری از روی ساعتهای اندازه گیر حذف شوند (که این کار برای ماشین های سنگین که شافت های وزین دارند بالاخص چرخ دنده های جناقی امکان پذیر نیست) و راه دیگر حل مشکل استفاده از روش الاین با آرایش Two Face & Round است.

در این روش دو ساعت اندازه گیر با اختلاف زاویه ۱۸۰ درجه بصورت عمود بر سطح کاپلینگ روی Face بسته می شود و یک ساعت اندازه گیر هم روی Round و چون حرکت های طولی روی هر دو ساعت اندازه گیر اضافه و یا کم می شود با بدست آوردن اختلاف اعداد قرائت شده می توان آن را حذف نمود. که با توجه به اینکه در صورت وجود نا هم محوری زاویه ای یکی از ساعت ها علامت مثبت و دیگر علامت منفی دارد اختلاف اعداد بدست می آید دو برابر Face واقعی است.

جهت روشن شدن مسئله به حل یک مثال می پردازیم:

مثال: در شکل صفحه بعد از دو ساعت اندازه گیر روی سطح کاپلینگ استفاده شده که ساعت F1 و R در موقعیت ساعت ۱۲ صفر و در موقعیت ساعت ۶ عدد $F_6 = -0.030$ و $R = -0.030$ و ساعت F2 در موقعیت ساعت ۶ صفر و در موقعیت ساعت ۱۲ عدد $F_{12} = -0.040$ اینچ را نشان می دهد اگر ابعاد و اندازه ها به ترتیب $A=100\text{Cm}$, $B=40\text{Cm}$, $C=20\text{Cm}$, $D=20\text{Cm}$ باشد مطلوب است میزان تغییرات شميز لازم جهت هم محور شدن دودستگاه.

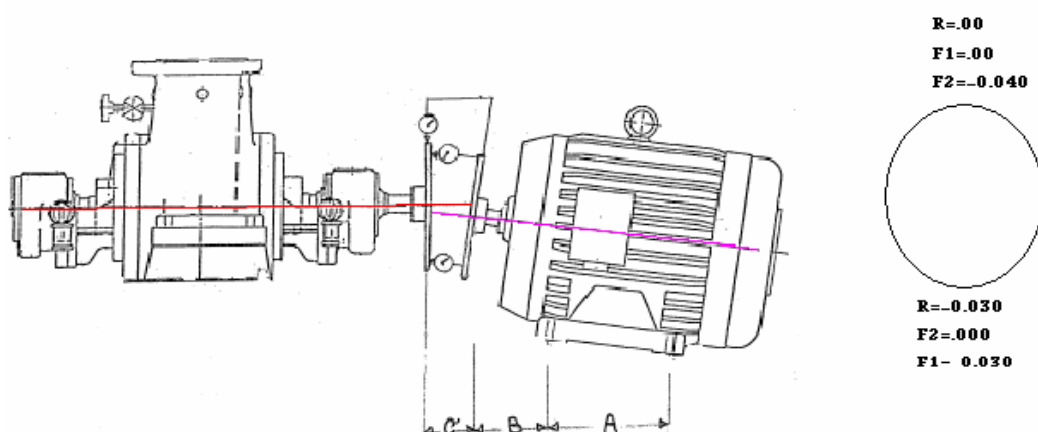
حل:

برای درک بهتر و کم شدن خطا در هر موقعیتی (ساعت ۱۲ یا ۶) که می خواهیم وضعیت کاپلینگ ها (Face) را بررسی کنیم ابتدا عدد خوانده شده از ساعتی را که در آن موقعیت قرار دارد را می نویسیم (در موقعیت ساعت ۱۲) و سپس عددی که در موقعیت بعدی (موقعیت ساعت ۶) خوانده شده را از آن کم می کنیم و بانصف کردن اختلاف اعداد بدست آمده مقدار Face واقعی بدست می آید که برای این حالت به ترتیب زیر عمل می کنیم:

$$F_{12} = \frac{F_{12} - F_6}{2} \text{ با برابر است با Face واقعی در ساعت ۱۲}$$

$$F_{12} = \frac{-0.040 - (-0.030)}{2} = -0.005$$

پس وضعیت کاپلینگ هاب صورت زیر است:



همانطور که ملاحظه می کنید Face واقعی (-0.005) با اعدادی که از روی ساعت های اندازه گیر قرائت شده بود بسیار متفاوت است یعنی در این حالت 0.030 اینچ حرکت محوری وجود داشته است و فقط به اندازه 0.005 اینچ اختلاف فاصله بین قسمت بالای وپائین کاپلینگ وجود دارد .

همچنین اگر بخواهیم موقعیت Face کاپلینگ ها را در ساعت ۶ بدست آوریم باید بنویسیم :

$$F_6 = \frac{-0.030 - (-0.040)}{2} = +0.005$$

که این مبین بسته بودن کاپلینگ در موقعیت ساعت ۶ می باشد که با نتیجه قبلی کاملاً یکسان می باشد.

با توجه به باز بودن کاپلینگ ها در بالا و R = -0.030 وضعیت کاپلینگ ها مشخص می شود که در این حالت روابط (9) , (10) بصورت زیر (قدر مطلق اعداد) به کار برده می شوند.

$$\left\{ \begin{array}{l} IB = +F \left(\frac{B+C}{D} \right) + \frac{R}{2} = +0.050 \times \left(\frac{40+20}{20} \right) + \frac{0.030}{2} \\ OB = +F \left(\frac{A+B+C}{D} \right) + \frac{R}{2} = +0.005 \times \left(\frac{100+40+20}{20} \right) + \frac{0.030}{2} \end{array} \right.$$

و نهایتاً:

$$\begin{cases} IB=+0.015 +0.015=+0.030 \\ OB=+0.040 +0.015= +0.055 \end{cases}$$

که برای الین صفر صفر با اضافه کردن 0.030 اینچ زیر پایه های جلو و 0.055 اینچ شیمز زیر پایه های عقب دستگاه متحرک (الکتروموتور) دو دستگاه باهم هم محور خواهند بود.

معادلات و روابط ریاضی مربوط به روش FACE- FACE DISTANCE

همانطور که قبلاً نیز اشاره شد این روش برای جاهایی که فاصله دو دستگاه زیاد باشد (مثل Spool های رابط برج های خنک کننده) مورد استفاده قرار می گیرد. و اساس کار آن استفاده از روش Face & Round ولی بصورت دوبله یکی بین الکتروموتور و اسپول و دیگری بین گیربکس و اسپول که برای انجام هم محوری ابتدا باید انحرافات زاویه ای (Face) و موازی نبودن Round بین الکتروموتور و اسپول و همچنین اسپول و گیربکس را اندازه گیری و سپس نسبت به انجام تصحیحات لازم جهت الاین اقدام کرد.

برای هم محور کردن این سیستم ها راههای متعددی وجود دارد که باید برحسب نتایج خوانده شده از ساعت های اندازه گیر و شرایط مکانی بهترین روش را انتخاب و سپس جامه عمل به آن پوشاند که در غیر این صورت وضعیت خیلی بدتر از قبل خواهد شد.

که برای روشن شدن موضوع ذیلاً به چند طریق آن اشاره می شود:

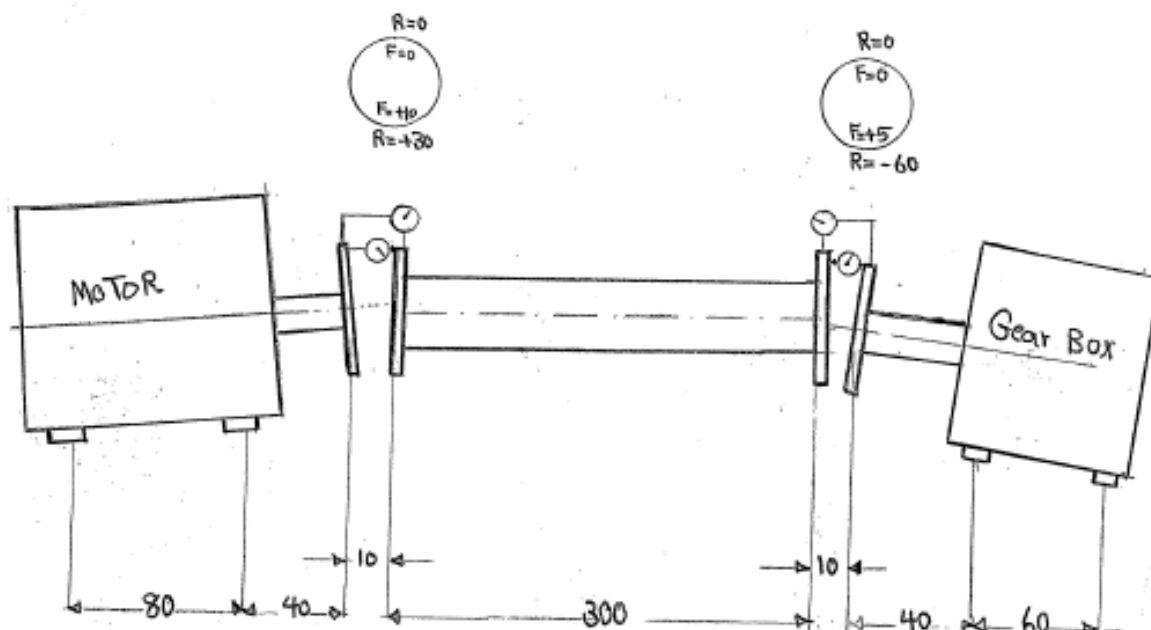
روش اول: در این روش محور تقارن اسپول را به عنوان محور ثابت در نظر می گیریم و الکتروموتور و گیربکس را بصورت هم زمان با آن الاین می کنیم (شیمز گذاری و یا شیمز برداری هم زیر پایه های گیربکس و هم زیر پایه های الکتروموتور).

روش دوم: در این روش گیربکس را ثابت در نظر می گیریم و سپس مجموعه الکتروموتور و اسپول را به عنوان یک دستگاه (دستگاهی که پایه های آن الکتروموتور است و محور آن مجموعه محور الکتروموتور بعلاوه طول اسپول) با گیربکس الاین می کنیم که برای انجام این کار در یک مرحله الکتروموتور نسبت به اسپول الاین می شود و در مرحله بعد مجموعه الکتروموتور و اسپول را نسبت به گیربکس الاین می شود. که در عمل ترکیبی از نتایج جبری اعداد بدست آمده در هر مرحله مورد استفاده قرار می گیرد ولی در یک مرحله با قراردادن و یا برداشتن شیمز زیر پایه های الکتروموتور این کار انجام می شود.

روش سوم: دقیقاً مثل روش قبل است با این تفاوت که همه مجموعه نسبت به الکتروموتور الاین می شود و تغییرات شیمز فقط زیر پایه های گیربکس انجام می شود. جهت تفهیم بهتر موضوع به حل یک مثال می پردازیم:

مثال: در شکل زیر ساعت های اندازه گیر در موقعیت ساعت ۱۲ صفر و در موقعیت ساعت ۶

اعداد قرائت می شوند که نتایج آن بشرح ذیل می باشد.



همانطور که قبلا نیز اشاره گردید برای انجام هم محوری راه های متعددی وجود دارد.

راه اول:

ثابت در نظر گرفتن گیربکس و هم محور کردن الکتروموتور نسبت به اسپول و سپس الاین کردن مجموعه اسپول و الکتروموتور نسبت به گیربکس که عملیات محاسباتی آن به قرار زیر است:

با ثابت فرض کردن گیربکس مقدار شمیز مورد نیاز جهت الاین الکتروموتور نسبت به اسپول با توجه به وضعیت کاپلینگ ها و اعداد بدست آمده عبارتست از:

$$\begin{cases} IB = 0.010 \times \left(\frac{40+10}{20} \right) - \frac{0.030}{2} = +0.025 - 0.015 = +0.010 \\ OB = 0.010 \times \left(\frac{80+40+10}{20} \right) - \frac{0.030}{2} = +0.065 - 0.015 = +0.050 \end{cases}$$

و مقدار شمیز مورد نیاز برای الاین مجموعه الکتروموتور و Spool با توجه به وضعیت کاپلینگ ها و اعداد بدست آمده عبارتست از:

$$\begin{cases} IB = +0.005 \times \left(\frac{40+10+300}{20} \right) - \frac{0.060}{2} = +0.0875 - 0.030 = +0.0575 \\ OB = +0.005 \times \left(\frac{80+40+10+300}{20} \right) - \frac{0.060}{2} = 0.1075 - 0.030 = +0.0775 \end{cases}$$

که با ترکیب نتایج بدست آمده مقدار شمیزمورد نیاز زیر پایه های الکتروموتور جهت هم محوری برابر است با :

$$\begin{cases} IB=+0.10+0.057=0.067 \\ OB=+0.050+0.077=0.127 \end{cases}$$

راه حل دوم:

در این راه حل اسپول راثابت فرض کرده و در یک مرحله الکتروموتور را نسبت به آن هم محور می کنیم و بار دیگر گیربکس را نسبت به آن هم محور می کنیم.
برای هم محور کردن الکتروموتور نسبت به اسپول باتوجه به وضعیت کاپلینگ ها داریم:

$$\begin{cases} IB = +0.010 \times \left(\frac{40+10}{20} \right) - \frac{0.030}{2} = +0.025 - 0.015 = +0.010 \\ OB = +0.010 \times \left(\frac{80+40+10}{20} \right) - \frac{0.030}{2} = +0.065 - 0.015 = +0.050 \end{cases}$$

و برای هم محور کردن گیربکس نسبت به اسپول باتوجه به وضعیت کاپلینگ ها داریم:

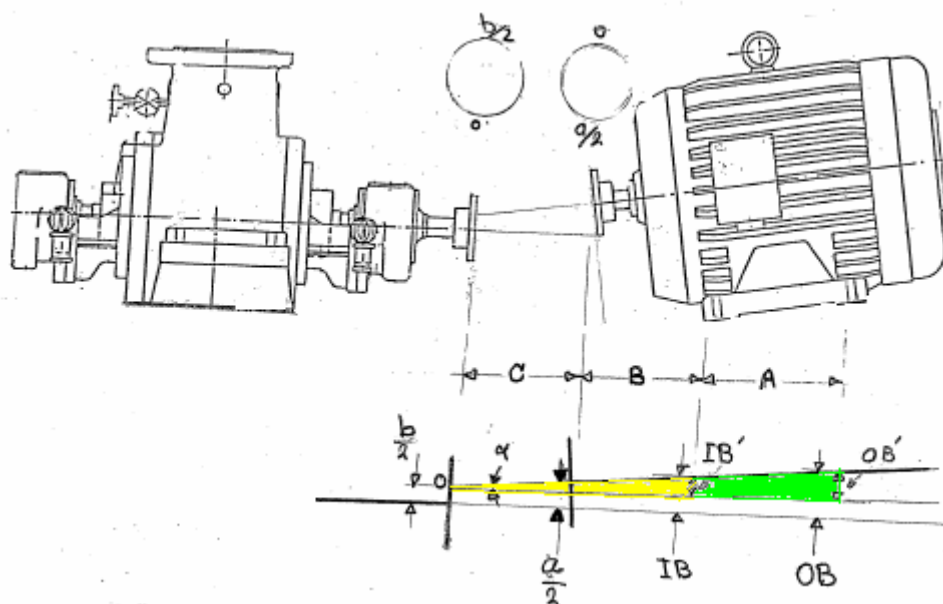
$$\begin{cases} IB = +0.005 \times \left(\frac{40+10}{20} \right) + \frac{0.060}{2} = +0.0125 + 0.015 = +0.0425 \\ OB = +0.005 \times \left(\frac{60+40+10}{20} \right) + \frac{0.060}{2} = +0.0275 + 0.030 = +0.0575 \end{cases}$$

نکته : با توجه به زیاد بودن طول و سنگین بودن اسپول ها و باعنایت به اینکه اتصالات بین کاپلینگ های الکتروموتور و گیربکس و طرفین اسپول از نوع اتصالات Flexible می باشد اسپول همیشه در اثر وزن زیاد خود به طرف پایین کشیده می شود و به هیچ وجه نمی توان در حالت استاتیکی آن را نسبت به الکتروموتور و گیربکس الاین نمود و مثل ساعت اندازه گیری که خیز داشته باشد (Segment) عمل می کند که در حین انجام الاین باید خیز ساعتو اسپول را تاوما در محاسبات منظور نمود.
لازم به توضیح است که با وجود خیز ذکر شده در این نوع سیستم ها هیچوقت به Alignment صفر صفر نخواهید رسید و به همین دلیل است که دقت این روش نسبت به روش های دیگر پائین است.

باتوجه به اینکه حل مسائل الاین به روش Face& Round به روش ترسیمی کمی مشکل و وقت گیر است و کاربرد زیادی هم در صنایع ندارد از توضیح آن صرف نظر می شود.

معادلات و روابط ریاضی الاین به روش REVERSE

در روش Reverse از دو عدد ساعت اندازه گیر که به صورت زیر روی لبه کاپلینگ ها (Round) بسته می شود میزان انحراف دو نقطه از محور ماشین متحرک نسبت به محور تقارن ماشین ثابت اندازه گیری می شود و با اتصال این دو نقطه زاویه انحراف محور مشخص می شود که با امتداد آن میزان انحراف پایه های دستگاه و نهایتا مقدار حرکت لازم جهت هم محور شدن دستگاهها پیدا میشود.



همانطور که قبلا نیز توضیح داده شده است وقتی ساعت های اندازه گیر در یک نقطه صفر می شوند و با چرخش ۱۸۰ درجه ای شافت به موقعیت جدیدی رسند (مثلا) از موقعیت ساعت ۱۲ به ساعت ۶ در صورتی که دو محور باهم در یک امتداد قرار نگرفته باشند انحرافات روی ساعت های اندازه گیر بوجود می آید که به شرح آن می پردازیم. عددی که روی محور سمت راستی قرائت می شود مبین میزان انحراف محور تقارن ماشین متحرک نسبت به امتداد محور تقارن ماشین ثابت در نقطه مقابل کاپلینگ الکتروموتور است ($a/2$) و عددی که از روی ساعت اندازه گیر سمت چپی قرائت می شود مبین میزان انحراف امتداد محور تقارن ماشین متحرک نسبت به محور تقارن ماشین ثابت در نقطه مقابل کاپلینگ پمپ است ($b/2$) که با اتصال این نقاط به همدیگر زاویه انحراف

محور تقارن شافت ماشین متحرک نسبت به محور تقارن ماشین ثابت بدست می آید (زاویه α) که با ادامه این خط انحراف محور در مقابل محل قرارگیری پایه ها بدست می آید و نهایتاً "میزان و جهت جابجائی حرکت پایه ها مشخص می شود".

در شکل صفحه قبل تانژانت زاویه α برابر است با :

$$\tan \alpha = \frac{\frac{a}{2} - \frac{b}{2}}{C} = \frac{a-b}{2C}$$

و از طرف دیگر :

$$\begin{cases} \tan \alpha = \frac{IB'}{B+C} \\ \tan \alpha = \frac{OB'}{A+B+C} \end{cases}$$

که از مساوی قرار دادن روابط فوق باهم داریم :

$$\begin{aligned} (1) \quad & \left\{ \begin{aligned} IB &= \frac{a-b}{2} \times \left(\frac{B+C}{C} \right) \\ (2) \quad & \left\{ \begin{aligned} OB &= \frac{a-b}{2} \times \left(\frac{A+B+C}{C} \right) \end{aligned} \right. \end{aligned} \right.$$

این روابط مبین این است که اگر محور تقارن ماشین متحرک حول نقطه O (که یک نقطه کاملاً مشخص می باشد و فاصله آن از محور تقارن شافت ماشین ثابت به اندازه $\frac{b}{2}$ است) در جهت عقربه های ساعت چرخانده شود دو محور باهم موازی می شوند یعنی ناهم محوری زاویه ای (Angular Misalignment) حذف می شود (ولی محور به اندازه $b/2$ نسبت به هم فاصله پیدا می کنند با کم کردن شمیز بطور مساوی از زیر چهار پایه ماشین کاملاً دو محور برهم منطبق می شوند).
به عبارت دیگر معادلات کلی الاین به روش Reverse عبارتند از :

$$\begin{cases} IB = \pm \left(\frac{a-b}{2} \right) \times \left(\frac{B+C}{C} \right) \pm \frac{b}{2} & (3) \\ OB = \pm \left(\frac{a-b}{2} \right) \times \left(\frac{A+B+C}{C} \right) \pm \frac{b}{2} & (4) \end{cases}$$

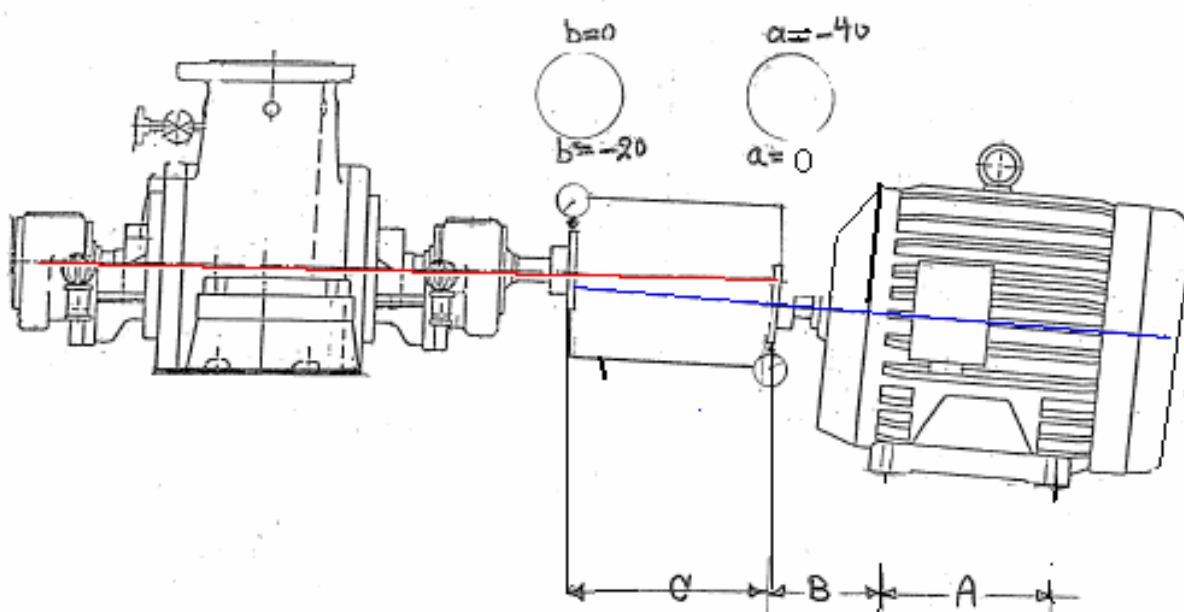
که IB, OB میزان تغییرات لازم جهت هم محور دستگاه در جهت های افق و یا قائم است (بسته به اینکه a و b در موقعیت ساعت ۱۲ و ۶ یا ۳ و ۹ خوانده شده باشند) و مثل روش Face & Round دارای

چهار حالت کلی است که با کمی دقت در ذهن محسم شده و تشخیص داده می شود که وضعیت واقعی کدامیک از چهار حالت است .

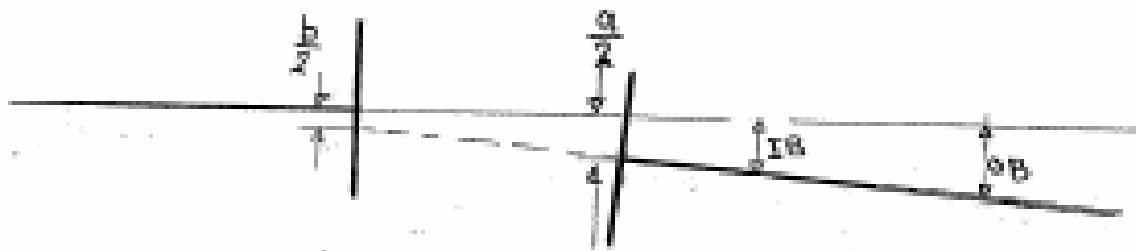
برای روشن شدن مطلب به حل چند مثال می پردازیم .

مثال یک : فرض کنید در الاین به روش Reverse شرایط الاین به قرار زیر بوده است با در نظر

گرفتن $A = 80_{cm}$ $B = 40_{cm}$ و $C = 20_{cm}$ مقدار تغییرات لازم جهت حصول به هم محوری را پیدا کنید.



وقتی ساعت سمت راستی در موقعیت ساعت ۶ صفر می شود و در ساعت ۱۲ عدد -0.040 اینچ را نشان می دهد این بدان معناست که پلانجر ساعت از داخل ساعت بیرون آمده یا به عبارت دیگر امتداد محور ماشین متحرک (روی کاپلینگ ماشین ثابت) نسبت به محور مبنا به اندازه $a/2$ یا 0.020 اینچ پایین رفته است و وقتی عدد قرائت شدن روی ساعتی سمت چپی منفی باشد این نیز بدان معناست که محور ماشین متحرک در نقطه کاپلینگ از ساعت دور شده یعنی بالاتر رفته (به اندازه $b/2$ یا -0.020) و باعث شده که ساعت اندازه گیر یک عدد منفی را نشان دهد که با اتصال این نقاط وضعیت و زاویه قرارگیری دو محور مشخص می شود.



برای اینکه محور شافت متحرک روی محور شافت مبنا قرار گیرد باید ابتدا به اندازه زاویه α در جهت عکس چرخش عقربه های ساعت دوران کند (به عبارت دیگر پایه های عقب و جلو به سمت بالا حرکت کنند) تا دو محور موازی شوند و بعد به اندازه 0.020 اینچ زیر تمامی پایه های ماشین متحرک (الکتروموتور) شیمز اضافه شود تا دو محور با هم راستا شوند.

حال با توجه به اینکه وضعیت دو محور مشخص شد روابط (۳) و (۴) بصورت زیر بدر نظر گرفتن قدر مطلق اعداد استفاده می شوند

$$\begin{cases} IB = + \left(\frac{a-b}{2} \right) \times \left(\frac{B+C}{C} \right) + \frac{b}{2} \\ OB = + \left(\frac{a-b}{2} \right) \times \left(\frac{A+B+C}{C} \right) + \frac{b}{2} \end{cases}$$

و با عدد گذاری:

$$\begin{cases} IB = + \left(\frac{0.020 - (-0.040)}{2} \right) \times \left(\frac{40 + 20}{20} \right) + \frac{0.040}{2} = +0.030 + 0.010 = +0.040 \\ OB = + \left(\frac{-0.020 - (-0.040)}{2} \right) \times \left(\frac{80 + 40 + 20}{2} \right) + \frac{0.040}{2} = +0.070 + 0.010 = +0.080 \end{cases}$$

با اضافه کردن چهل هزارم اینچ شیمز به زیر پایه های جلو و هشتاد هزارم به پایه های عقب به موقعیت صفر-صفر خواهیم رسید.

لازم به توضیح است برای سهولت کار وقتی وضعیت دو محور مشخص و حالت تشخیص داده شد مقادیر مثبت یا منفی روابط دیگر مد نظر قرار نمی گیرد (از قدر مطلق آنها استفاده می شود) و تعیین علامتهای + یا - بر اساس زاویه محور نسبت به محور مبناست که اگر برای اینکه دو محور را با هم موازی کنیم مجبور باشیم شافت ماشین متحرک را حول نقطه O در جهت عقربه های ساعت دوران دهیم قسمت های اول روابط منفی است و اگر برای موازی نمودن، محور دستگاه متحرک باید

در جهت عکس عقربه های ساعت (حول نقطه O) دوران نماید از علامت مثبت استفاده می شود و همینطور در رابطه با قسمت دوم روابط (علامت $\frac{b}{2}$) اگر تشخیص داده شود امتداد محور در سمت بالاتر از محور مبنا قرار گرفته علامت آن منفی می شود (یعنی باید از زیر تمامی پایه ها شیمز کم شود) و اگر در زیر محور قرار گرفته باشد علامت $\frac{b}{2}$ مثبت در نظر گرفته می شود (یعنی باید زیر تمامی پایه ها شیمز اضافه شود).

چند نکته :

نکته اول : در روابط به دست آمده علامت منفی یعنی حرکت محور تقارن دستگاه به سمت پایین (کم کردن شیمز زیر پایه ها) و علامت مثبت به معنای حرکت رو به بالا (یعنی افزایش شیمز) و نهایتاً اگر حاصل IB و OB دارای علامت مثبت باشد یعنی باید زیر پایه ها شیمز اضافه شود و اگر علامت منفی باشد باید شیمز برداشته شود.

نکته دوم : هر چه فواصل ساعت های اندازه گیر (C) در روش Reverse بیشتر باشد دقت اندازه گیری بالاتر می رود (درصد خطا کمتر می شود) که البته این تا جایی است که خیز ساعت تاثیر گذار نباشد.

نکته سوم : یک راه میانبر برای استفاده از روابط وجود دارد و آن اینکه اگر ساعتی که پلانجر آن روی ماشین متحرک است (پایه آن روی دستگاه ثابت بسته شده) در ساعت ۱۲ صفر و در ساعت ۶ خوانده شود (a۶) و همچنین ساعتی که پلانجر آن روی محور ماشین ثابت است در ساعت ۶ صفر و در ساعت ۱۲ قرائت شود (b۱۲) می توان تمامی علامت های روابط (۳) (۴) از روی ساعت های اندازه گیر (با همان علامت هایی که خوانده شده اند) را مستقیماً در روابط قرار داده و هر عددی که بدست آمد (چه مثبت و چه منفی) از آن استفاده کرد یعنی اگر حاصل عبارت IB منفی شد یعنی از زیر پایه جلو شیمز برداشته شود و اگر مثبت شد باید شیمز اضافه کرد.

چند توضیح :

۱- همانطور که قبلاً نیز اشاره شده اعداد خوانده شده از روی ساعت های اندازه گیر در موقعیت بالای یک کوپلینگ (ساعت ۱۲) با اعداد خوانده شده در قسمت پایین (ساعت ۶) با هم مساوی ولی مختلف العلامه اند.

۲- برای الاین کردن دستگاهها به روش Reverse فرمول های دیگری نیز وجود دارد که ذیلاً به آنها اشاره می شود مثل :

$$\begin{cases} IB = \pm \left(\frac{a-b}{2} \right) \frac{B}{C} \pm \frac{b}{2} \\ OB = \pm \left(\frac{a-b}{z} \right) \left(\frac{A+B}{C} \right) \pm \frac{b}{2} \end{cases}$$

که با عنایت به یکسان بودن نتیجه کار به حل یک مثال با این روش می پردازیم .

مثال: مثال قبلی را با فرمول های فوق مجددا حل می کنیم

با توجه به اینکه وضعیت محور تغییری نکرده است علامت های مثبت و منفی قسمت های اول و دوم روابط مثل شرایط قبلی بوده و فرمول های فوق بصورت زیر مورد استفاده قرار می گیرند و از قدر مطلق آنها استفاده می شود

$$\begin{cases} OB = + \left(\frac{a-b}{2} \right) \frac{B}{C} + \frac{a}{2} \\ OB = + \left(\frac{a-b}{2} \right) \left(\frac{A+B}{C} \right) + \frac{a}{2} \end{cases}$$

که با عدد گذاری به روابط زیر میرسیم:

$$\begin{cases} IB = + \frac{-0.040 - (-0.020)}{2} \times \frac{40}{20} + \frac{0.040}{2} \\ OB = + \frac{-0.040 - (-0.020)}{2} \times \frac{80 + 40}{20} + \frac{0.040}{2} \end{cases}$$

و از آنجا:

$$\begin{cases} IB = + 0.010 \times 2 + 0.020 = +0.040 \\ OB = + 0.010 \times 6 + 0.020 = + 0.080 \end{cases}$$

که همانگونه که ملاحظه می کنید جواب بدست آمده با جواب قبلی کاملاً یکسان است.

نکته:

وقتی که موقعیت کاپلینگ ها مشخص شده اگر به اندازه:

$$\frac{a-b}{2} \times \frac{A}{C}$$

به زیرپایه های جلو یا پایه های عقب اضافه یا کم شود (بسته به موقعیت محور ها) با یک مرحله شیمز گذاری می توان دو محور را موازی کرد که در مرحله بعد اعدادی که به دست می آیند بصورت مثبت مثبت یا منفی منفی با مقادیر مساوی بوده که در این شرایط کار خیلی راحت شده و با قرار دادن یا برداشتن شیمز بطور مساوی زیر تمامی پایه ها عملیات هم محوری به سهولت انجام می شود.

مثال:

در مثال حل شده فوق اگر به اندازه:

$$\frac{-0.040 - (-0.020)}{2} \times \frac{80}{20} = 0.040$$

0.040 اینچ شیمز زیر پایه های جلو اضافه شود یا از زیر پایه های عقب الکتروموتور کم شود تا هم محوری Angularity حذف شده و دو محور کاملاً با هم موازی می شود.

حل ترسیمی مسائل الاین به روش Reverse

جهت تسریع در انجام الاین برای کسانی که کار با معادلات ریاضی برای آنها مشکل است روش ترسیمی روش بسیار مناسب و راحتی است (بالاتر برای اپتیمم کردن شرایط که بعداً به آن می پردازیم). همانطور که قبلاً نیز اشاره شده اگر مقادیر انحراف ساعت های اندازه گیر روی کاپلینگ ها مشخص باشد با متصل کردن این نقاط انحراف به همدیگر و امتداد دادن آن وضعیت محور مشخص می شود و با گذاشتن یا برداشتن مقدار مناسب شیمز (یا حرکت افقی دستگاه در صفحه افق توسط جک بولت ها) دو دستگاه با هم هم محوری شوند.

برای بدست آوردن حرکت های لازمه پایه های ماشین (در جهات افق و قائم) بجای استفاده از روابط ریاضی می توان از روش های ترسیمی نیز استفاده کرد که برای انجام آن با دقت بالا از کاغذهای شطرنجی استفاده می شود. و روش کار به این صورت است که یک خط افقی (خط مبنا) ترسیم می شود و نقاط مختلف پایه ها و کاپلینگ ها با مقیاسی مناسب و یکسان روی آن مشخص می شود. و

همچنین در وضعیت عمودی در محل قرار گیری کاپلینگها میزان انحراف ساعتهای اندازه گیر را با مقیاسی مناسب (تا جایی که کلیه نقاط بتوانند در صفحه قرار گیرند) پیدا می کنیم و سپس نقاط بدست آمده را به هم متصل نموده و امتداد می دهیم در این حالت فواصل عمودی بین محل قرار گیری پایه ها با محل تقاطع آنها با خط رسم شده میزان تغییراتی که باید زیر پایه ها داده شود مشخص می شود که اگر این نقاط زیر خط مبنا قرار گرفته باشند برای هم محور شدن دستگاهها باید به زیر پایه ها شمیز اضافه شود و اگر این نقاط تقاطع در بالای خط مبنا واقع شده باشند باید از زیر پایه ها شمیز کم شود.

که جهت روشن شدن موضوع بعد از ذکر چند نکته اساسی به حل چند مثال می پردازیم .

چند نکته مهم:

نکته اول : جهت راحت شدن کار و اینکه در حین تجزیه و تحلیل اعداد خوانده شده و تشخیص حالت کاپلینگ ها دچار اشتباه نشویم یک قانون عمومی برای این روش ذکر می کنیم و آن اینکه اگر اعداد خوانده شده از روی ساعت اندازه گیری که پلانجر آن روی شافت متحرک (مثلا الکتروموتور) است در موقعیت ساعت ۶ صفر شود و در موقعیت ساعت ۱۲ خوانده شود (a_{12}) و همچنین عدد خوانده شده از روی ساعت اندازه گیری که پلانجر آن روی کاپلینگ محور ثابت است در موقعیت ساعت ۱۲ صفر و در موقعیت ساعت ۶ خوانده (b_6) شود می توان این اعداد را همراه با علامتشان مستقیماً روی محور عمودی (روی نقطه قرار گیری کاپلینگ ها) برد بدین صورت که اگر علامت آنها مثبت باشد نقاط را در بالای محور مبنا قرار دهیم و اگر علامت آنها منفی باشد زیر محور قرار می دهیم و با متصل کردن این دو نقطه و امتداد دادن آن انحراف نقاط محل قرار گیری پایه ها را از خط مبنا اندازه گیری و مقدار حرکت مورد نیاز را بدست آوریم .

نکته دوم : اگر خطی که نقاط انحراف را به هم متصل می کند را در هر دو جهت امتداد دهیم (در جهت محل قرار گیری ماشین ثابت و متحرک) و میزان انحرافات نقاط مقابل پایه های دستگاه ثابت را از آن خط اندازه گیری کنیم براحتی می توانیم ماشین ثابت را هم نسبت به ماشین متحرک هم محور نمائیم که در بعضی از مواقع که امکان حرکت هر دو دستگاه وجود داشته باشد یا محدودیتی از لحاظ نداشتن شمیز زیر پایه های ماشین متحرک باشد این کار می تواند کمک موثری در جهت تسریع کار باشد .

مثال: اگر میزان انحرافات اندازه گیری شده روی ساعت های اندازه گیری شده به روش Reverse بصورت زیر باشد.

$$a(12)=+0.020$$

$$b(6)=+0.010$$

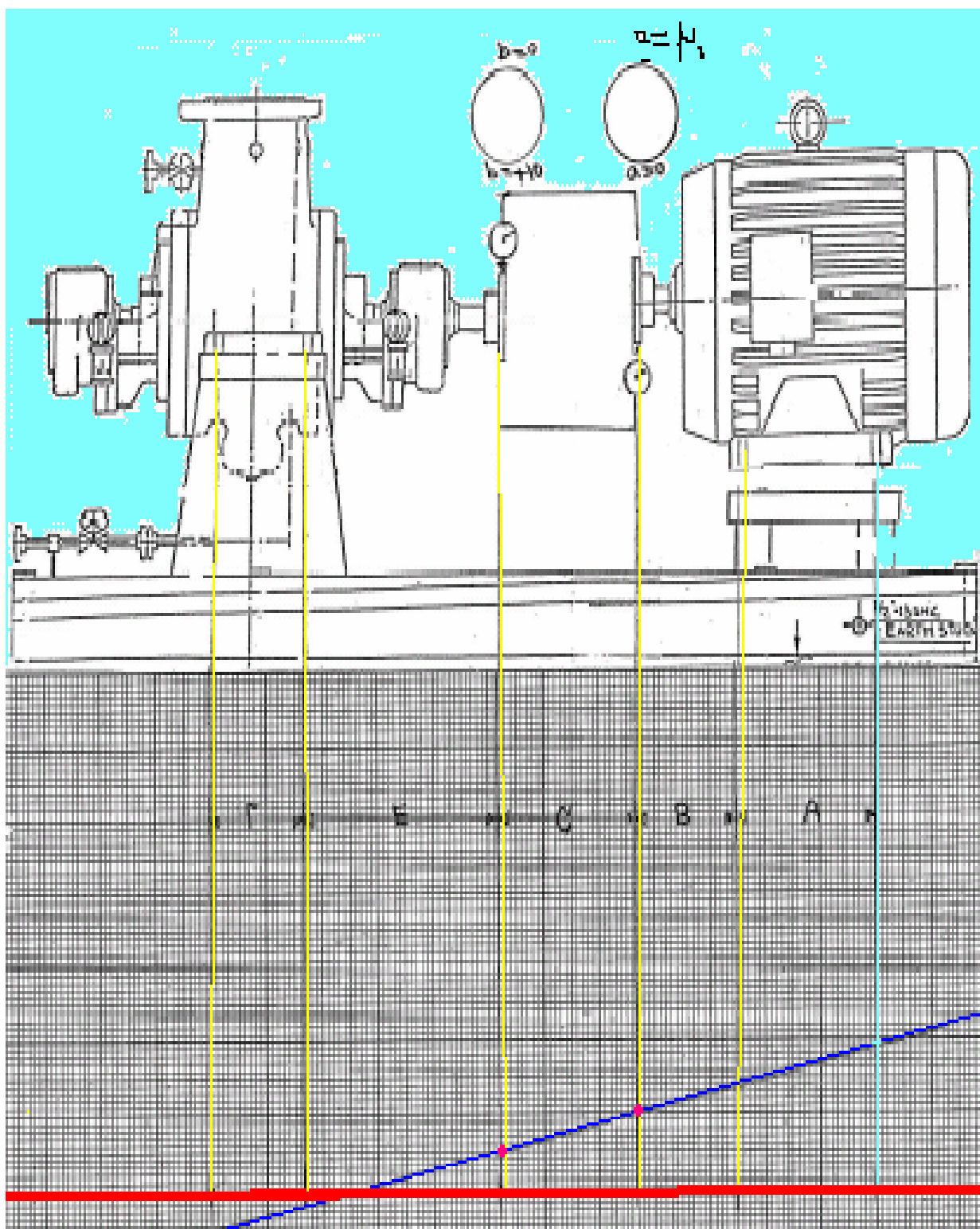
$$F=34\text{Cm} \quad E=70\text{Cm} \quad C=50\text{Cm} \quad B=36\text{Cm} \quad A=50\text{Cm}$$

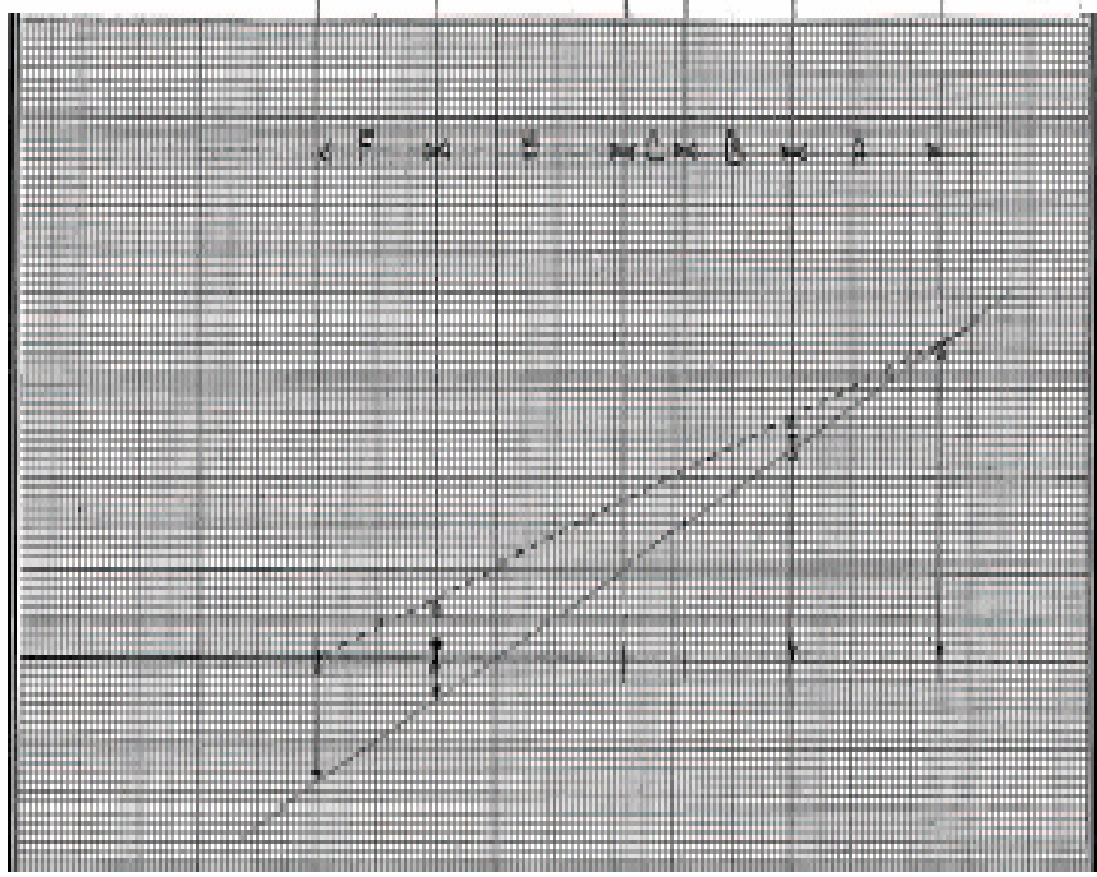
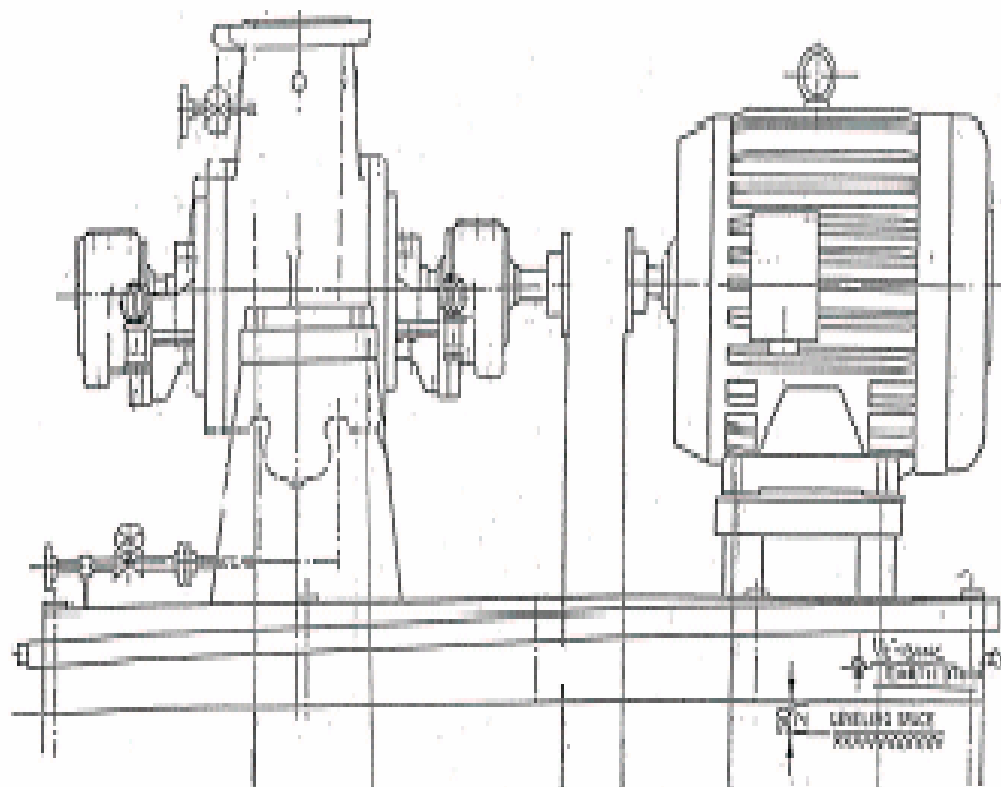
مطلوبست مقدار شیمز مورد نیاز زیر پایه های جلو وعقب دستگاه هابرای:

۱-الاین کردن پمپ نسبت به الکتروموتور

۲-الاین کردن الکتروموتور نسبت به پمپ

برای انجام کار طبق شکل صفحه بعد ابتدا یک خط افقی رسم می کنیم و به ازای هر یک سانتیمتر فاصله بین نقاط به اندازه دو میلیمتر روی آن جدا می کنیم تا نقاط معلوم مقابل پایه ها و لبه کاپلینگ ها مشخص شود سپس با توجه به توضیحات قبلی در نقاط مقابل کاپلینگ الکتروموتور به اندازه 0.010 اینچ در جهت مثبت نقطه مورد نظر را پیدا می کنیم (برای سهولت کار روی محور عمودی هر یک هزارم اینچ را معادل یک میلیمتر در نظر می گیریم و همچنین در نقطه مقابل کاپلینگ پمپ و به اندازه 0.005 اینچ در جهت مثبت نقطه انحراف بعدی را پیدا و به هم وصل کرده و در دو جهت امتداد می دهیم و سپس میزان انحراف نقاط مقابل پایه های پمپ و الکتروموتور را با مقیاس هر یک میلیمتر معادل یک هزارم اینچ محاسبه و زیر پایه ها اعمال می کنیم در مثال فوق انحراف پایه های جلو وعقب الکتروموتور نسبت به محور افقی مبنا به ترتیب برابر با 0.014 و 0.019 اینچ است یعنی اگر بخواهیم الکتروموتور را نسبت به پمپ الاین کنیم باید 0.014 اینچ از زیر پایه های جلو و 0.019 اینچ شیمز از زیر پایه های عقب کم کنیم و اگر قرار باشد که پمپ نسبت به الکتروموتور الاین شود باید 0.002 اینچ شیمز از زیر پایه های جلوی و 0.006 اینچ از زیر پایه های عقب پمپ برداشته شود تا پمپ و الکتروموتور با هم هم محور گردند.





اپتیمم سازی شرایط Alignment

بعضی مواقع وضعیت ماشین آلات به گونه ای است که نیاز به گذاشتن یا برداشتن مقدار زیادی شیمیز زیر پایه ها یا نیاز به حرکت زیاد در صفحه افق می باشد که پیچ های پایه یا موجود نبودن شیمیز زیر پایه ها باعث محدودیت می شود (بخصوص وقتی چند دستگاه پشت سر هم نصب می شود) که استفاده از این روش کار را خیلی راحت می کند.

همانطور که قبلاً نیز گفته شد یکی از مزایای روش ترسیمی این است که هم موقعیت قرارگیری پایه های ماشین ثابت و هم ماشین متحرک روی محور مبناء مشخص می شود (چهار نقطه معلوم) و هم مقادیر انحرافات آنها نسبت به همدیگر که با استفاده از انحراف های خوانده شده از روی ساعت های اندازه گیر اگر خطی رسم کنیم که از دو نقطه از چهار نقطه مقابل محل قرارگیری پایه ها عبور کند (یا خطی که کمترین فاصله را با این نقاط داشته باشد) براحتی می توان با اعمال کمترین مقدار شیمیز فقط روی دو نقطه از ماشین (مثلاً زیر پایه های جلو پمپ و پایه های جلوی الکتروموتور) یا اعمال حداقل مقدار شیمیز زیر چهار پایه دو دستگاه را نسبت به هم الاین نمود و به هدف فوق رسید که مقدار شیمیز لازم جهت این پایه ها نیز از طریق اندازه گیری فاصله مقابل پایه ها با محور رسم شده در جهت مناسب می باشد یعنی اگر این نقاط زیر خط رسم شده واقع شوند باید به اندازه فاصله نقطه تا محور رسم شده شیمیز شود و بالعکس . که این روش ، روش بسیار مناسب برای صرفه جوئی در وقت و تسریع در کار هم محور کردن دستگاهها می باشد .

برای روشن شدن موضوع به حل یک مثال می پردازیم.

مثال: اگر اعداد قرائت شده از روی ساعت های اندازه گیر به روش Reverse در صفحه بعد بصورت زیر باشد:

$$a(12)=+0.030$$

$$b(6)=+0.020$$

وفواصل پایه هانیز بصورت:

$$A=50\text{Cm} \quad B=36\text{Cm} \quad C=20\text{Cm} \quad E=64\text{Cm} \quad E=40\text{Cm}$$

باشد مطلوبست تعیین شرایط اپتیمم هم محوری.

وضعیت کاپلینگ ها در شکل صفحه بعد طبق توضیحات قبلی ترسیم شده است. همانطور که ملاحظه می شود برای تصحیح شرایط الاین باید مقدار شیمز از زیر پایه های الکتروموتور خارج شود تا دستگاه الاین گردد.

برای حل مثال فوق به روش ترسیمی راه حل های متعددی وجود دارد که ذیلا به شرح ان می پردازیم.

راه حل اول: با توجه به شکل صفحه قبل برای الاین کردن الکتروموتور نسبت به پمپ باید 0.023 اینچ شیمز از زیر پایه های جلو و 0.035 اینچ از زیر پایه های عقب الکتروموتور کم شود تا دو دستگاه با هم هم محور شوند.

راه حل دوم: با برداشتن 0.004 اینچ از زیر پایه های جلو و 0.014 اینچ شیمز از زیر پایه های عقب پمپ دو دستگاه با هم هم محور می شوند.

راه حل سوم: برای استفاده از روش اپتیمم خطی رسم می کنیم که از نقاط انتهایی پایه های پمپ و همچنین الکتروموتور عبور کند (خط نقطه چین شکل صفحه قبل) و میزان انحراف نقاط پایه های جلوی پمپ و پایه جلو الکتروموتور را از ان بدست می اوریم که در این مسئله اگر زیر پایه های جلوی الکتروموتور به اندازه 0.004 اینچ و زیر پایه های جلوی پمپ 0.007 اینچ شیمز اضافه شود به وضعیت مطلوب هم محوری خواهیم رسید.

البته برای رسم خط مطلوب بخصوص وقتی چند دستگاه پشت سر هم نصب شده باشد باید طوری رسم شود که حتی المقدور از چند نقطه معلوم (محل قرارگیری پایه ها) عبور کند و کمترین فاصله را با نقاط دیگر داشته باشد. پس به راحتی می توان ادعا کرد که برای هم محور کردن دو دستگاه بی نهایت راه حل وجود دارد که با توجه به شرایط کاری باید بهترین ان را انتخاب و عمل نمود.

تولرانس های هم محوری

معمولاً برای افرادی که عملیات هم محور سازی را انجام می دهند یا کسانی که به عنوان بازرس و checker الاین می باشند خیلی مهم است که تولرانس ها و محدوده های ان را بدانند و طبق آن عمل کنند. اصولاً تولرانس های Alignment به پارامترهای مختلفی اعم از دور دستگاه ، نوع کاپلینگ ، نوع مکانیکال سیل بکار رفته و ... بستگی دارد . بعضی از سازندگان دستگاهها و ماشین آلات و همچنین سازندگان مکانیکال سیل ها گرافها و محدوده های مجازی بر حسب سرعت دستگاه و نوع کاپلینگ ، فاصله کاپلینگ و نوع مکانیکال سیل ارائه می کنند .

بعضی از کارخانجات کاپلینگ سازی نیز محدوده هایی را برای استفاده کاپلینگ ها ارائه می نمایند که باید در استفاده از آنها احتیاط نمود زیرا مقادیر ارائه شده برای خود کوپلینگ ها مجاز است ولی ممکن است برای ماشین آلاتی که این نوع کوپلینگ ها روی آن استفاده می شود این محدوده غیر مجاز باشد (بسته به نوع مکانیکال سیل و دیگر متعلقات).

در صفحه ۷۲ تولرانس های مجاز کاپلینگ های Metastream آورده شده است و همانطور که ملاحظه می شود بیشترین زاویه انحرافی که می توانند تحمل کنند یک تا حداکثر دو درجه است و اگر بصورت Single مورد استفاده قرار گیرند مقدار حرکت شعاعی (Parallel Misalignment) که تحمل می کنند در حد صفر است و حتی نوع Double آنها در ماشین الات عمومی که بیشترین کاربرد را دارند حداکثر 0.008 اینچ می باشد که البته این مقدار حد تحمل خود کاپلینگ است و در عمل مقدار آن باید به مراتب پایین تر از این حد باشد .

منحنی صفحه ۷۴ نیز حداکثر نا هم محوری که Gear Coupling ها می توانند تحمل کنند بر حسب فاصله کاپلینگ ها ارائه نموده که نسبت به کاپلینگ های نوع قبلی Flexibility بالاتری دارند در صفحه ۷۵ نیز تولرانس های مجاز نا هم محوری روی کاپلینگ های متا استدیم سری T داده شده است که همانطوری که ملاحظه می شود این کاپلینگ ها حرکت های محوری زیادی را می توانند تحمل کنند و بیشتر در الکتروموتورهای نوع High Tension که حرکت محوری مجاز آنها حتی به یک اینچ نیز می رسد کاربرد زیادی دارند و لی توجه داشته باشید که حداکثر نا هم محوری Parallel Misalignment ای که تحمل می کنند بسیار پایین تر از حرکت محوری آنها است .

معمولاً حد تولرانس های مجاز برای هم محوری دستگاههای بزرگ و حساس بیشتر از چند هزارم اینچ توصیه نشده و باید به این نکته نیز توجه داشت که دو ماشینی که با هم کوپله شده اند اگر محورها در یک راستا نباشند مثل یک محور خمیده عمل نموده و باعث افزایش ارتعاشات روی فرکانس های یک برابر دور و گاهی دو برابر دور می شود که اگر حتی Flexibility کاپلینگ نیز

خیلی زیاد باشد به هیچ وجه نمی تواند حبران این نوع خمیدگی شافت را بنماید چون توزیع جرم حول محور دوران بصورت یکنواخت نیست

مسئله هم محور کردن برای دستگاهها و ماشین آلاتی که در درجه حرارتهای بالا سرویس می دهند مسئله بسیار حائز اهمیتی است چون میزان رشد حرارتی تابع پارامترهای زیادی بوده و توصیه اکثر کارخانجات بر الاین این دستگاهها در حالت گرم (Hot Align) می باشد یعنی ماشین از سرویس خارج و در کمترین زمان ممکن اندازه گیری وضعیت Alignment چک و طبق ان دو دستگاه با هم هم محور گردد .

هم محور کردن پمپهای عمودی

پمپ های عمودی نیز باید همانند پمپ های افقی باید الاین شوند و بسته به وضعیت و نوع کاپلینگ ها از روش مناسب آن وضعیت استفاده شود در غیر اینصورت باعث ایجاد مسائل ارتعاشی متعددی روی الکترو موتور و پمپ گردیده و باعث کاهش طول عمر دستگاه و قطعات آن خواهد شد .

مسائلی که باعث تغییر شرایط Alignment می شود

- ۱- رشد حرارتی ناشی از تغییرات درجه حرارت دستگاه در حین کار.
- ۲- لقی پایه (Soft foot) در حین انجام کار.
- ۳- تنش های ناشی از سیستم های لوله کشی ورودی و خروجی یا لوله ها ورودی خروجی روغن روانکاری یا آب خنک کننده.
- ۴- ارتباط نامناسب (Base Plate) و فوندانسیون (مناسب نبودن گروت یا جدا شدن ان).
- ۵- مناسب نبودن فوندانسیون یا مناسب نبودن زیر سازی ان.
- ۶- خرابی بال برینگ ها یا زیاد شدن کلرنس یا تاقان های نوع لغزشی.
- ۷- مناسب نبودن کاپلینگ استفاده شده یا عدم کار دهی در اثر بریدن شیمز ها یا Lubrication نامناسب ان.
- ۸- نامناسب بودن محورها از لحاظ جنس یا قطر ان.
- ۹- نشست زمین

روش های برآورد میزان رشد حرارتی دستگاه ها

با توجه به اینکه اکثر دستگاهها در حالت سرد تعمیر و هم محور می گردند داشتن میزان رشد حرارتی آنها پارامتر بسیار مهمی می باشد که در حین انجام الاین باید مد نظر قرار گیرد. و به اندازه ای که دستگاه در حالت گرم رشد حرارتی پیدا می کند در حالت سرد آن را پایین تر قرار داد. لازم به توضیح است که ماشین الاتی که درجه حرارتی کاری آنها بیشتر از ۹۰ درجه سانتیگراد است حتما باید بصورت Center Mount ساخته شوند یعنی محل قرار گیری پایه های دستگاه در وسط آن قرار داشته باشد تا دستگاه بتواند در هر دو جهت بالاپایین منبسط شود و موقعیت مرکز محور تقریباً ثابت بماند.

برای تعیین میزان رشد حرارتی از روش های زیر می توان استفاده نمود .

۱- روش سعی و خطا که از این روش معمولاً برای دستگاههای ناشناخته که اطلاعات زیادی راجع به آنها در دسترس نباشد مورد استفاده قرار می گیرد که دقت آن بسیار پایین است .

۲- حدس زدن بر اساس تجربیات قبلی که دارای کاربرد بالاتری نسبت روش قبلی می باشد (تجربیات نشان می دهد که در اکثر پمپ هایی که در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند به ازاء هر ۱۰ درجه سانتی گراد گرما برای پمپ های با درجه حرارت بیشتر از ۹۰-۸۰ درجه سانتیگراد معمولاً به اندازه یک هزارم اینچ (البته روی ساعت های اندازه گیر) پمپ پایین تر از الکترو موتور قرار می گیرد.

۳- بر اساس توصیه های کارخانه سازنده که این روش نیز بواسطه اینکه پمپ ها برای رنج تقریباً وسیعی از درجه حرارت طراحی شده اند کمتر می توان به آن اعتماد کرد چون درجه حرارت محیط نیز در فصل های مختلف متفاوت است.

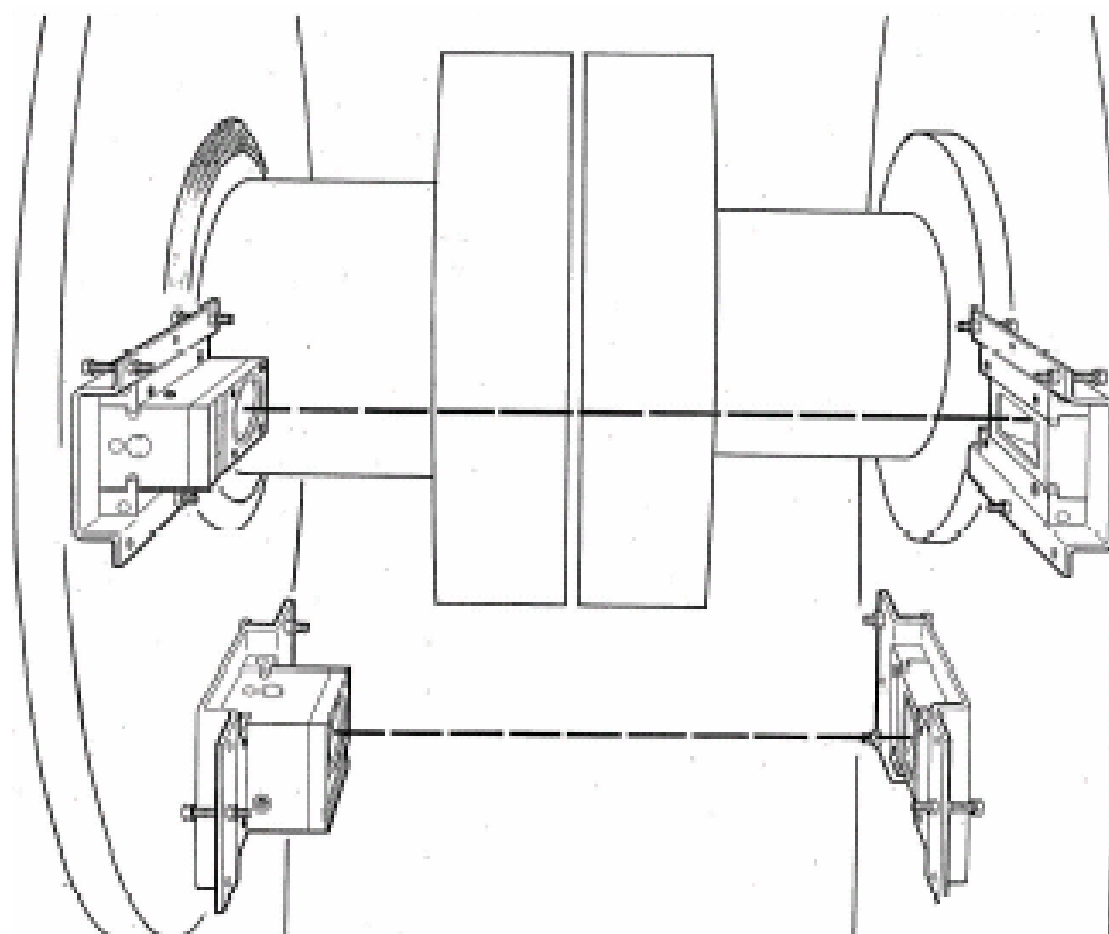
۴- اندازه گیری رشد حرارتی هوزینگ برینگ ها در حین کار (از حالت سرد به حالت گرم) با استفاده از پرابهای ابزار دقیقی (Proximity Probe) نسبت به یک نقطه ثابت.

۱- Hot Align یعنی توقف ناگهانی ماشین ، باز کردن سریع کوپلینگ و اندازه گیری وضعیت الاین در حالت گرم و نهایتاً محاسبات ریاضی جهت تعیین مقدار شمیزی که باید گذاشته یا برداشته شود و محاسبه میزان رشد حرارتی دستگاه که بهترین روشی است که تمامی مراجع آن را توصیه نموده اند .

۲- اندازه گیری رشد حرارتی از طریق فرمول های محاسباتی که با توجه به اینکه جنس ، فرم و شکل ظاهری ، و پراکندگی فلزات در بدنه پمپ بصورت یکنواخت نمی باشد دقت خیلی زیادی ندارد .

۳- اندازه گیری با استفاده از سیستم های لیزری (Permalign) که دو سیستم لیزری جداگانه در جهت های افقی و عمودی جهت اندازه گیری حرکت های افقی و عمودی استفاده می شود . روش کار بدین صورت است که وقتی دستگاه در حالت سرد قرار دارد و از سرویس خارج است سیستم های لیزری روی دستگاه نصب و روی صفر تنظیم می شوند که با در سرویس قرار گرفتن ماشین و گرم شدن آن میزان حرکت های افقی و عمودی یک ماشین نسبت به ماشین دیگر توسط دستگاه های لیزری حتی بادقت یک هزارم میلیمتر اندازه گیری و روی صفحه کامپیوتر یا مونیتر نمایش داده می شود که می توان از نتایج آن در موارد و دستگاه های مشابه دیگر استفاده کرد.

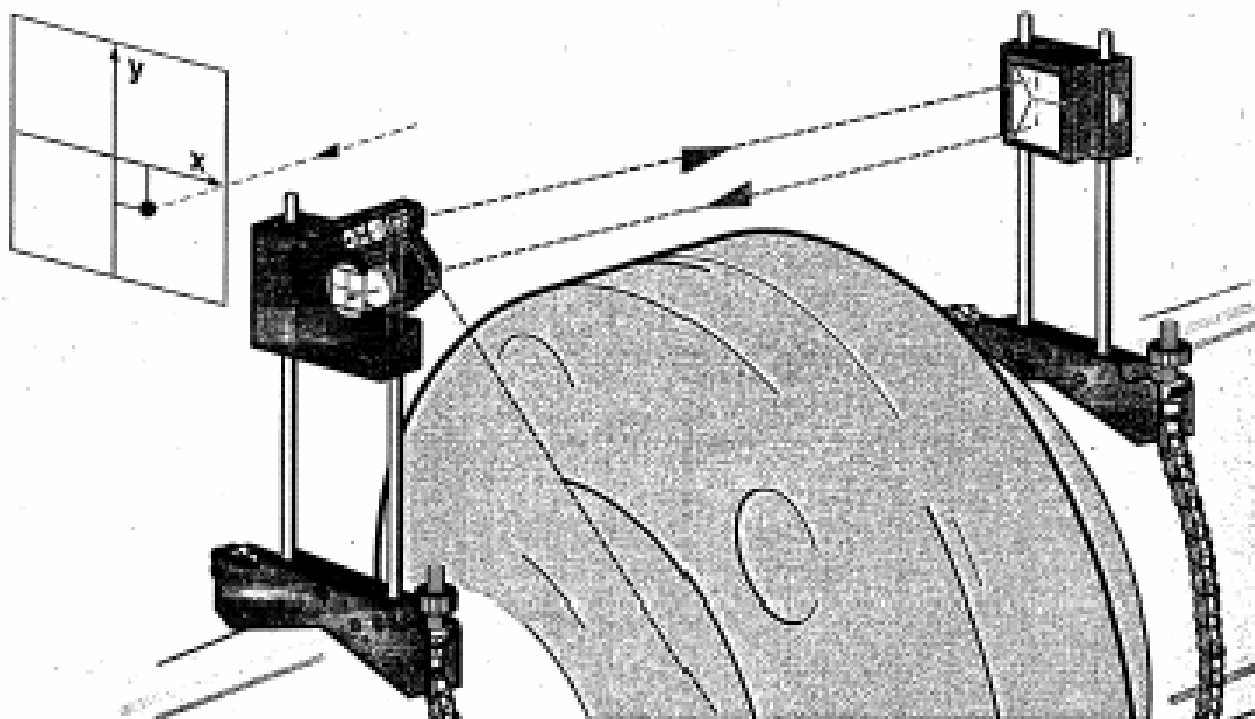
برای ماشین هایی که نسبت به ناهم محوری بسیار حساس ند این سیستم می تواند بعنوان مونیترینگ دائم مورد استفاده قرار گیرد و در صورتی که میزان ناهم محوری از حد مجازی که برای دستگاه تعیین شده افزایش پیدا کند باعث Alarm و یا Shut Down ماشین گردد .



اصول کار سیستم های لیزری هم محور سازی (Optalign)

با ظهور ماشین ها با سرعت بالا و در پی آن لزوم تolerانس های دقیق تر در طراحی ماشین آلات در عملیات هم محور کردن نیز احتیاج به دقت های بالا احساس گردیده است حداکثر دقتی که با استفاده از ساعت های اندازه گیر می توان بدان دست یافت حدود 0.01 میلی متر است . بعلاوه اینکه در هنگام استفاده از ساعت های اندازه گیر برای موقعیت هایی که فاصله کولپینگ ها زیاد باشد وجود خیز (Sag) در پایه های ساعت غیر قابل انکار بوده و تاثیر زیادی در دقت هم محور کردن و زمان انجام هم محوری خواهد گذاشت که جهت مرتفع نمودن مسائل فوق ودست یابی به دقت های بالاتر هم محوری تا حد یک هزارم میلیمتر سیستم های لیزری از سالها پیش وارد صنعت شده و جای خود را باز نموده است

همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است اجزاء یک سیستم لیزری شامل یک منبع نور لیزر (که از طریق یک دیود لیزری تامین می شود) و یک صفحه آشکار ساز لیزری که به پرتوهای لیزر حساس است وموقعیت تمامی نقاط ان برای سیستم کامپیوتر شناخته شده و کلا" در یک مجموعه توسط پایه های مخصوص روی یکی از دستگاهها نصب می شوند و یک منشور انعکاس دهنده که روی دستگاه دیگر نصب می شود و اشعه لیزر تابیده شده روی سطح آن را مجددا" روی صفحه آشکار ساز منعکس می کند و همچنین یک سیستم کامپیوتر که کار محاسبات و عملیات ریاضی را انجام می دهد .



اصول کار سیستم های الاین لیزری به این صورت است پرتولیزر تولید شده روی سطح منشور تابانیده می شود و باز تابش آن روی سطح آشکار سازی که نقاط آن به نور لیزر حساس است برخورد می کند. و در هر موقعیت میزان انحراف اشعه پس از برخورد به صفحه آشکار ساز مشخص می شود و مقدار آن به کامپیوتری که فرماندهی کار سیستم را به عهده دارد گزارش و نشان داده می شود . با چرخش همزمان محور دو ماشین در صورت وجود نا هم محوری بین دو ماشین انحرافی متناسب با میزان نا هم محوری در اشعه بوجود می آید بنابراین با اندازه گیری انحراف اشعه در چهار موقعیت ۱۲ و ۳ و ۶ و ۹ و استفاده از محاسبات کامپیوتری با توجه به ابعاد هندسی ماشین نتایج نهایی حرکت پایه های ماشین متحرک بر روی صفحه کامپیوتر نمایش می دهد که در این روش امکان کاربرد برای فواصل زیاد (تا ۸ متر) و با دقتی معادل 0.001 میلی متر نیز وجود دارد .

مزیت های سیستم های لیزری:

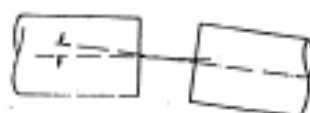
عدم انحراف اشعه لیزر

- ۱- اندازه گیری نا هم محوری و میزان انحرافات و تبادل اطلاعات با کامپیوتر بطور اتوماتیک
- ۲- محاسبه حرکت های اصلاحی توسط کامپیوتر و نمایش آنها
- ۳- قابلیت استفاده برای فواصل زیاد
- ۴- سرعت و دقت بالا همراه با سهولت کار
- ۵- عدم نیاز به حدا کردن کاپلینگ ها (براحتی وضعیت الاین چک می شود).

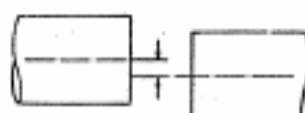
مراحل کار با سیستم های لیزری :

نصب پایه ها و سوار کردن سیستم های اندازه گیری

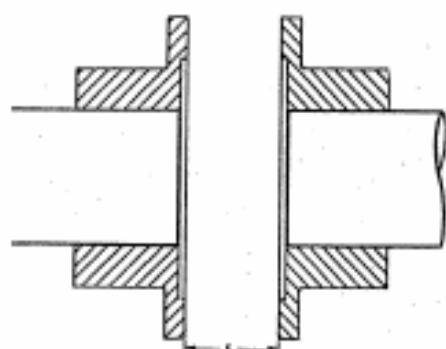
- ۱- اتصال سیستم اندازه گیری به دستگاه کامپیوتر از طریق کابل
- ۲- روشن کردن دستگاه و تنظیم لیزر در حالت ساعت ۱۲ (یا هر موقعیت دیگر) با انجام حرکات لازم
- ۳- وارد کردن موقعیت ساعت ۱۲ بعنوان اولین اندازه گیری در کامپیوتر (صفر کردن دستگاه) و تکرار اندازه گیری در موقعیت های ساعت ۳ و ۶ و ۹
- ۴- وارد کردن ابعاد هندسی و فواصل و اندازه ها به سیستم کامپیوتر
- ۵- اجرای برنامه و استخراج نتایج بصورت مقدار حرکت مورد نیاز پایه های ماشین
- ۶- شمیمز گذاری یا شمیمز برداری بر اساس نتایج
- ۷- استفاده از تابع Move جهت انجام جابجائی های افقی



A* MAXIMUM



L MAXIMUM



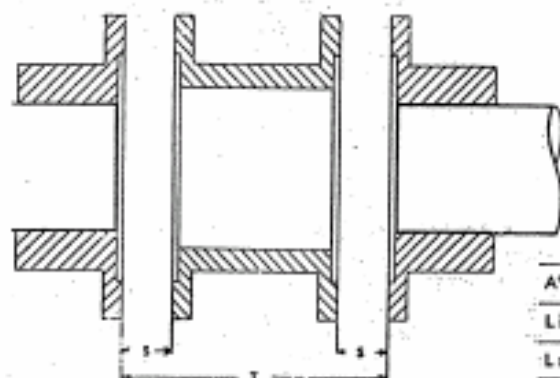
(METASTREAM COUPLINGS)

NON-SPACER

	M 'S'	M 'D'	DIS 'S'	DIS 'D'
A*	1"	1"	1"	1"
L	0	L	0	L

STANDARD NON-SPACER COUPLINGS

	M 'S'				M 'D'					M 'S'				M 'D'					M 'S'				M 'D'					DIS 'S'				DIS 'D'			
Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L	
1	1/8	0	1/8	-003	20	1 1/8	0	1 1/8	-005	120	1 1/8	0	2 1/8	-010	300	2 1/8	0	3 1/8	-012	1	1/8	0	1/8	-003											
2	1/8	0	1/8	-003	25	1 1/8	0	1 1/8	-005	160	1 1/8	0	2 1/8	-010	1050	2 1/8	0	3 1/8	-012	3	1/8	0	1 1/8	-003											
3	1/8	0	1 1/8	-003	30	1 1/8	0	1 1/8	-005	230	1 1/8	0	2 1/8	-010	1200	2 1/8	0	4 1/8	-012	6	1/8	0	1 1/8	-003											
5	1/8	0	1 1/8	-003	40	1 1/8	0	1 1/8	-005	300	1 1/8	0	2 1/8	-010	1800	3 1/8	0	5 1/8	-012	12	1/8	0	1 1/8	-005											
6	1/8	0	1 1/8	-003	45	1 1/8	0	1 1/8	-005	375	1 1/8	0	2 1/8	-010	2500	3 1/8	0	5 1/8	-012	24	1/8	0	1 1/8	-005											
8	1/8	0	1 1/8	-003	50	1 1/8	0	1 1/8	-005	450	1 1/8	0	2 1/8	-010	3000	3 1/8	0	6 1/8	-012	75	1/8	0	3 1/8	-008											
10	1/8	0	1 1/8	-003	60	1 1/8	0	1 1/8	-008	525	1 1/8	0	2 1/8	-012	8000	4 1/8	0	6 1/8	-012	100	1 1/8	0	4 1/8	-008											
12	1/8	0	1 1/8	-003	70	1 1/8	0	1 1/8	-008	600	1 1/8	0	3 1/8	-012	9000	4 1/8	0	7 1/8	-012	150	1 1/8	0	4 1/8	-010											
17	1 1/8	0	1 1/8	-008	80	1 1/8	0	1 1/8	-008	750	1 1/8	0	3 1/8	-012						300	2 1/8	0	5 1/8	-010											



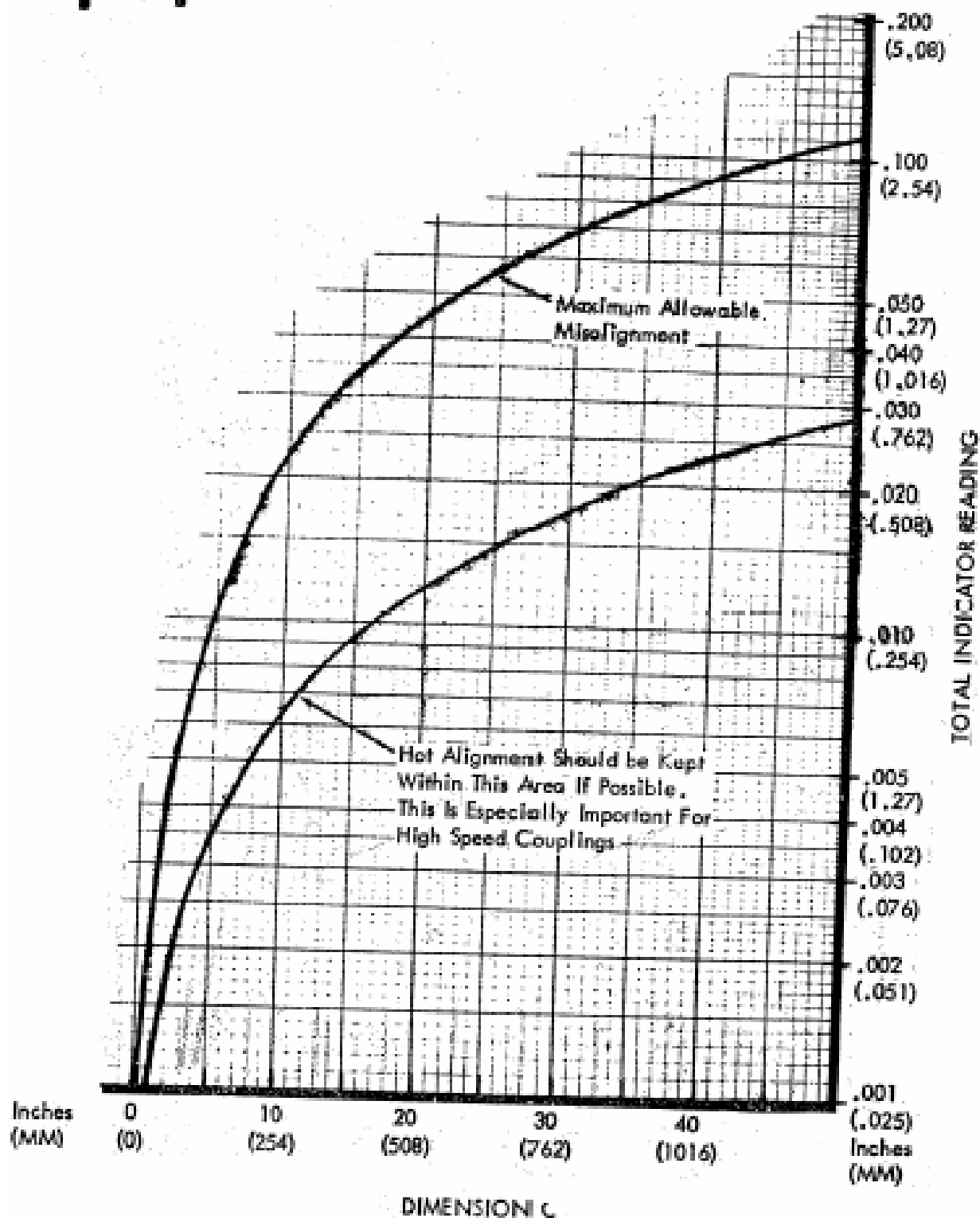
SPACER

	M 'S'	M 'D'	DIS 'S'	DIS 'D'
A*	1"	2"	1"	2"
L ins.	-010 x T	-015 x T	-010 x T	-015 x T
L mm.	-254 x T	-380 x T	-254 x T	-380 x T

MAXIMUM ALLOWABLE MISALIGNMENT CHART



Distance between indicator reading planes on coupling hubs



Coupling Alignment

Correct installation and alignment of couplings is essential for reliable machinery performance.

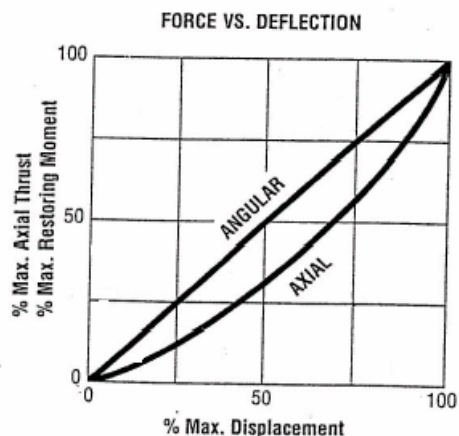
John Crane supplies a variety of shaft alignment equipment and offers alignment training courses.

TSK MISALIGNMENT				
Coupling Size	Max. Axial Misalignment *		Max. Parallel Misalignment **	
	+/- mm.	Equivalent Thrust kN	mm.	Restoring Moment Nm
0013	1.00	210	0.30	4.1
0033	1.25	280	0.36	6.1
0075	1.50	360	0.45	8.8
0135	2.00	560	0.55	11.8
0230	2.50	740	0.60	14.7
0350	2.75	780	0.64	34.3
0500	3.25	1080	0.65	40.7
0740	3.75	1270	0.68	47.6
0930	4.25	1470	0.72	53.9
1400	5.00	2700	0.83	61.3

NOTES: * Meets NEMA end float specification without modification.

** Values based on angular deflection of 1/2° per end and minimum DBSE. Greater misalignment accommodation is possible by increasing dimension C.

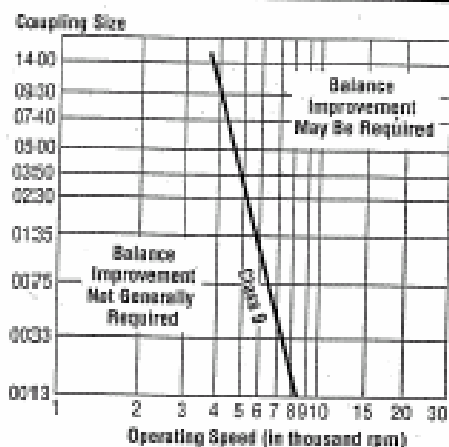
The angular and axial restoring forces in the table below left are given at maximum deflections. The chart can be used to determine forces across the full deflection range. The nonlinear characteristics can detune a system to prevent high amplitude axial vibration.

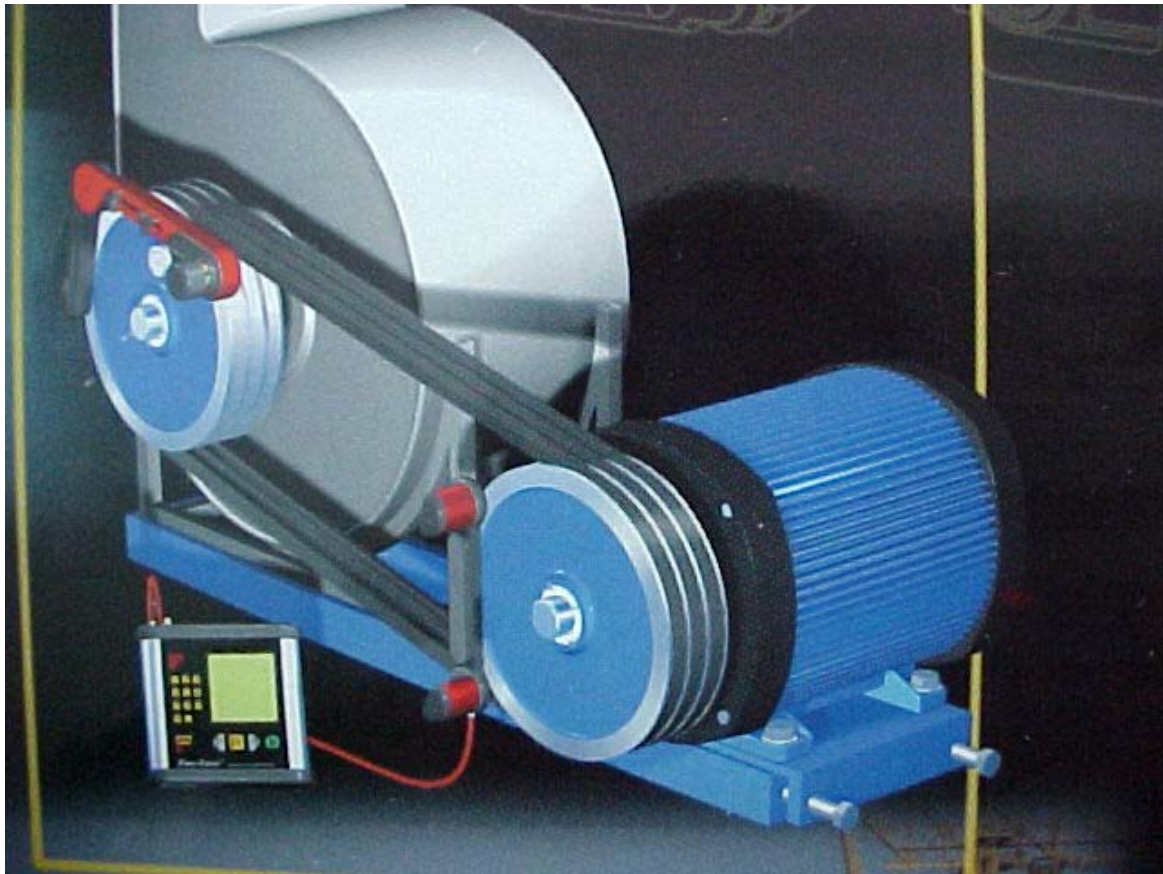


Balance Recommendations

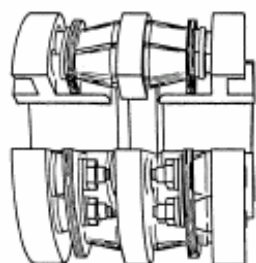
The inherent balance of the TSK range meets AGMA standard 9000-C90 class 9. The adjacent chart relates the TSK sizes to operating speeds on the basis of this AGMA class 9 characteristic to provide a general guide to determine if dynamic balance improvement is necessary.

When balancing improvement is requested, John Crane will dynamically balance the transmission unit. Hubs may also be dynamically balanced, and this will usually be carried out after machining the bore but before cutting single keyways.

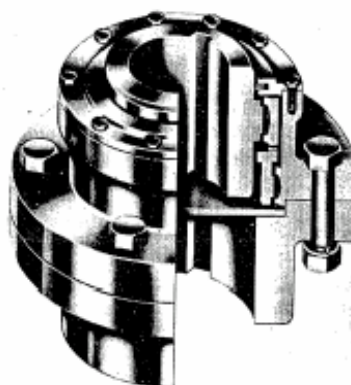




انواع کاپلینگ ها



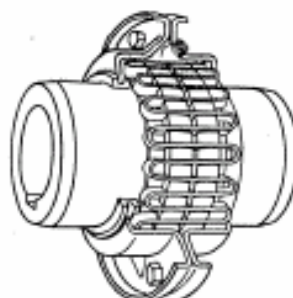
Metal-disk coupling can be used to limit motor end float.



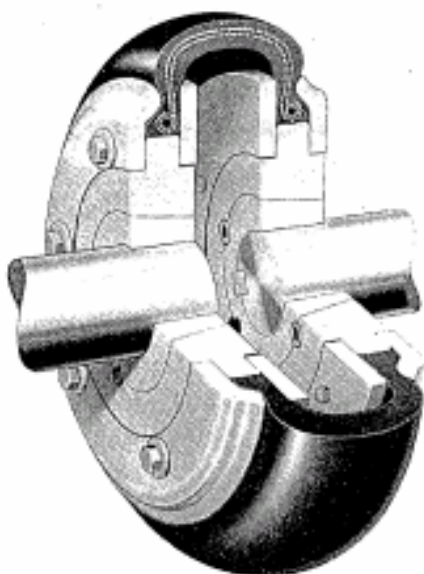
Vertical double-engagement gear coupling.



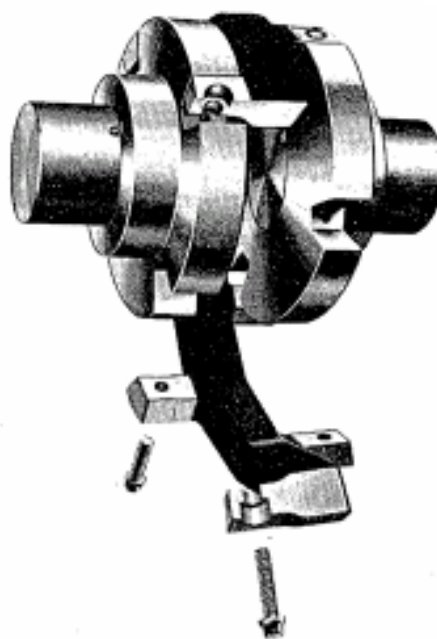
Rubber jaw coupling.



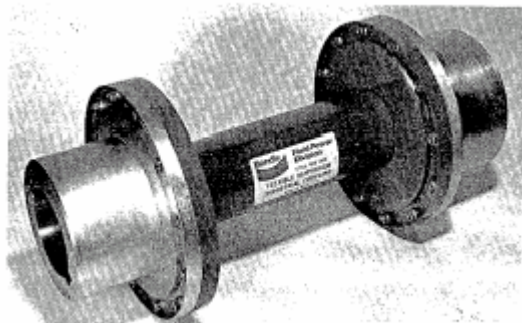
Spring-grid coupling.



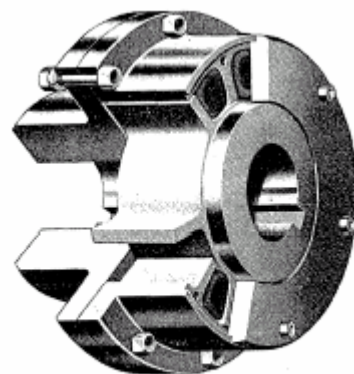
Sleeve-type clamped elastomer coupling.



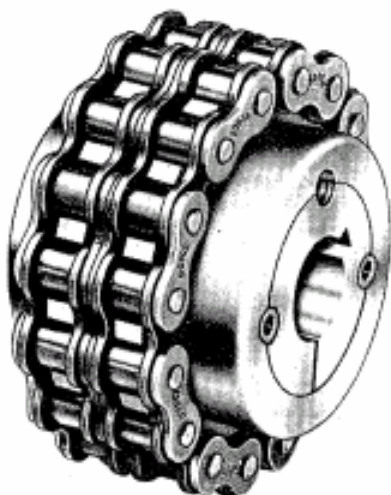
Compression-loaded, bonded elastomer



Diaphragm material-flexible coupling



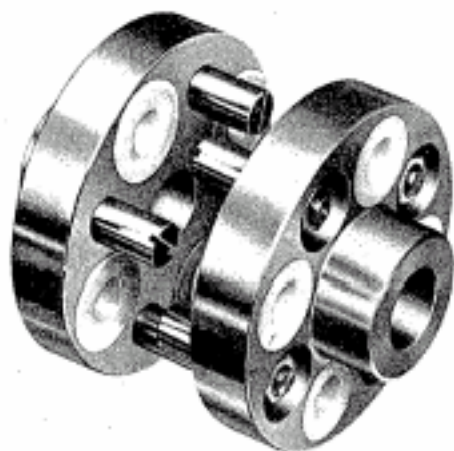
Compression-loaded, loosely fitted elastomer coupling.



Roller-chain mechanically flexible coupling.



Metal-disk material-flexible coupling.

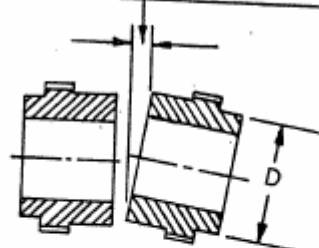


Pin-and-bushing elastomer coupling.

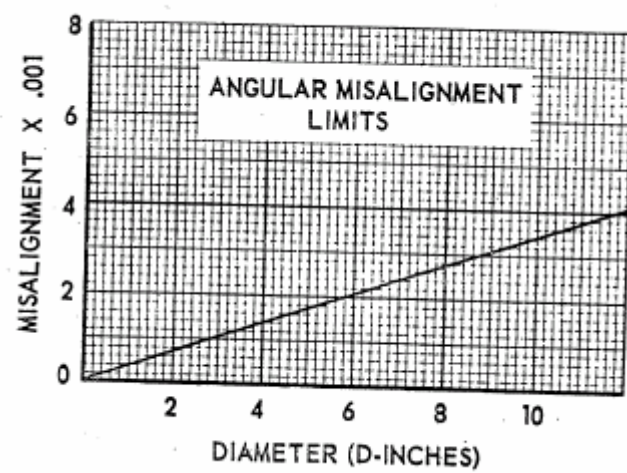
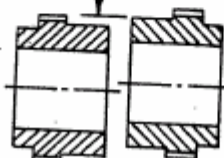


Sleeve-type elastomer coupling.

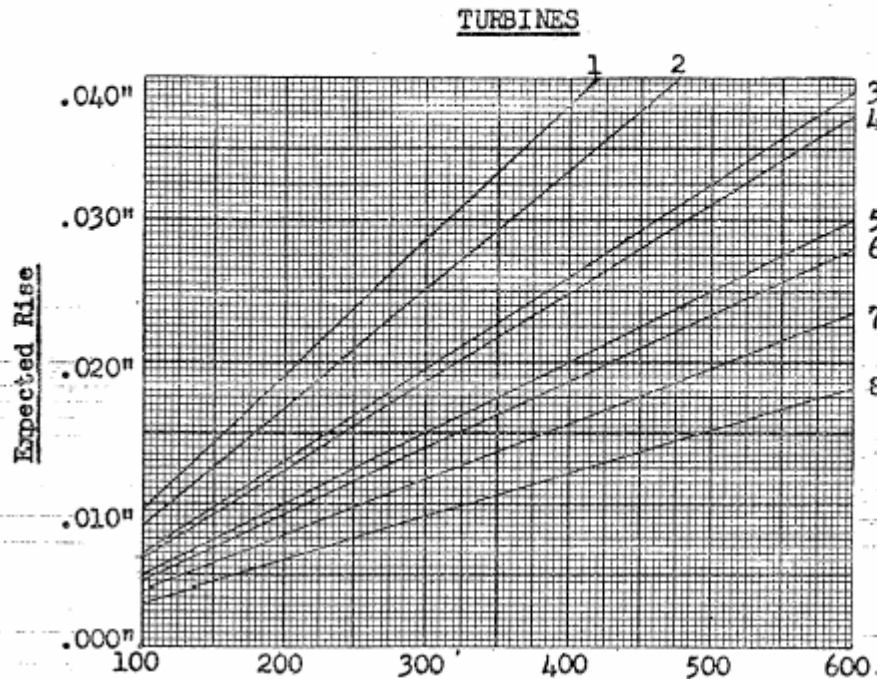
ANGULAR MISALIGNMENT



PARALLEL OFFSET MISALIGNMENT



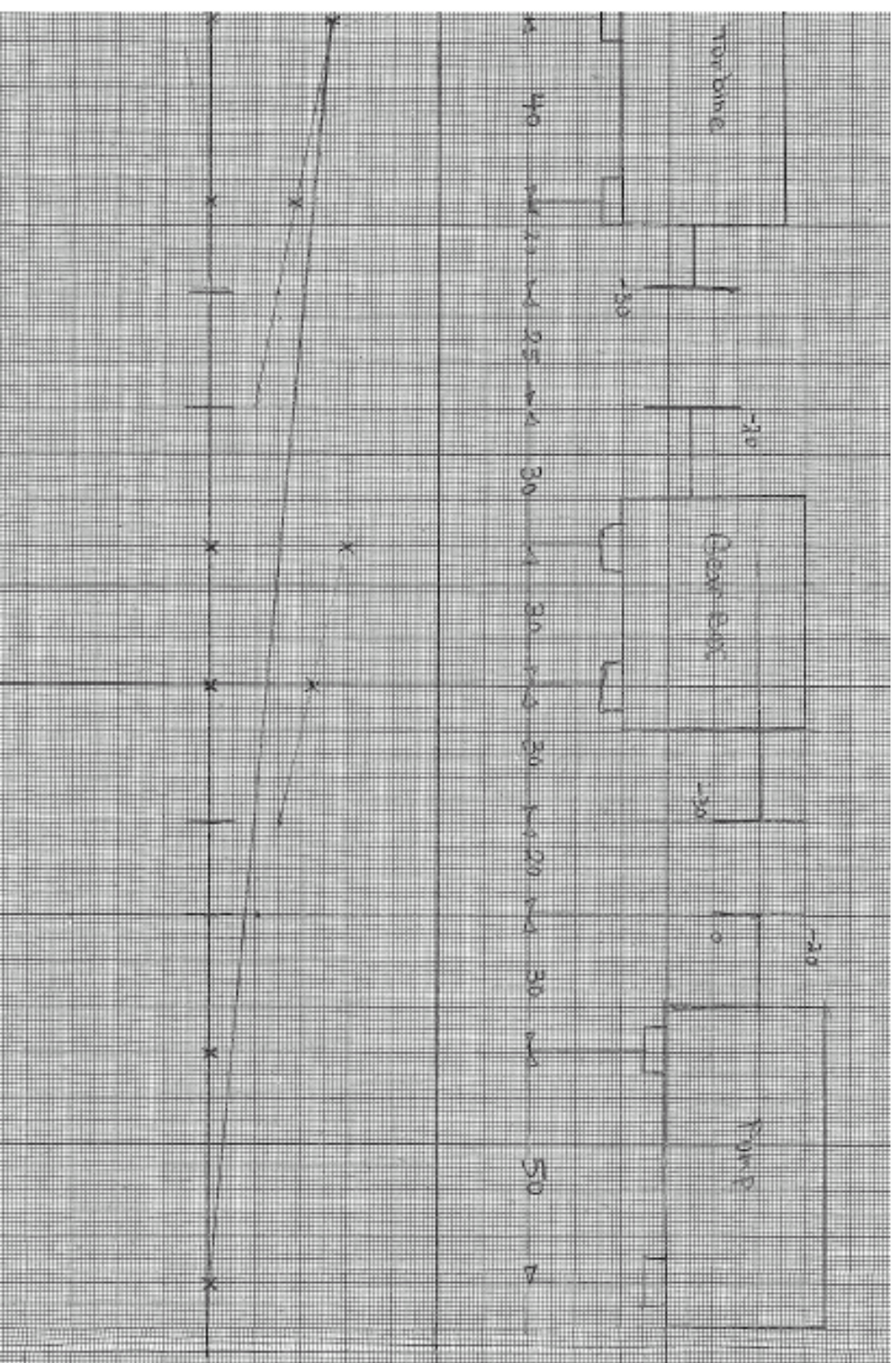
CAUTION! The figures obtained from the curve are approximate only. Alignment must be hot checked and corrected if necessary.

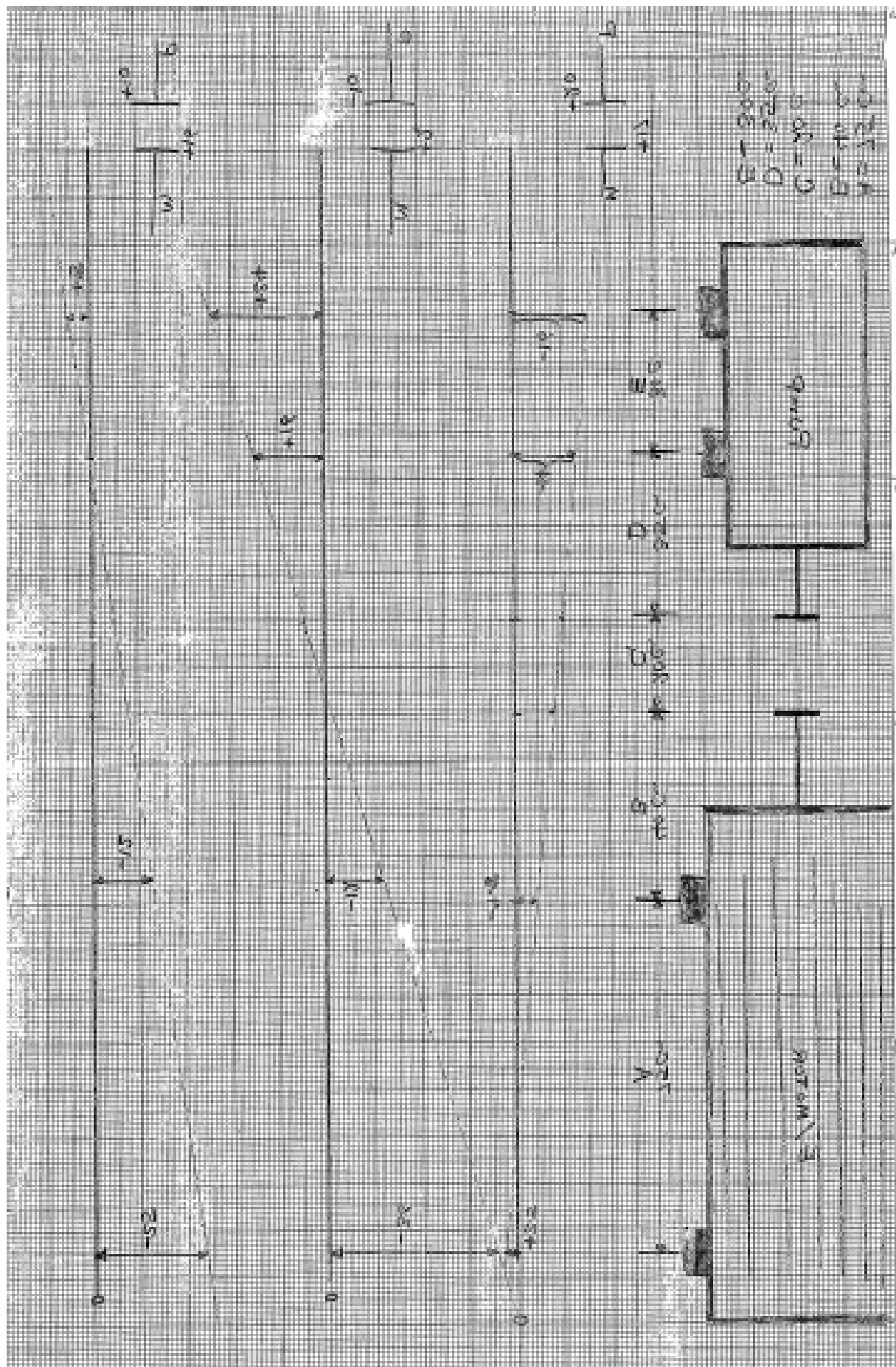


Exhaust Temperature (°F) minus Room Temperature
(See Title Page for Exhaust Temperature)

<u>Curve No.</u>	<u>Type</u>	<u>Curve No.</u>	<u>Type</u>
1	C-1, C-2	5	Z, ZS, Z-1-J, Z-4, ZS-4, ZAT, ZATS, ZAF with <u>no</u> center- line support on coupling end.
2	CS	6	G, GAT, GF, GHF
3	E, ES, EA, ESA, GS, GSA	7	F
4	GA, ZAFS, also GAF with <u>no</u> centerline support on coupling end.	8	ZFM, also ZS, ZS-4, ZATS, GAF, with centerline support on both ends.

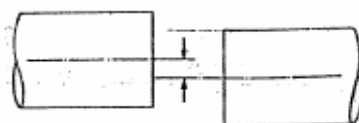
Allow .002" - .003" more opening at the top of the coupling than at the bottom.



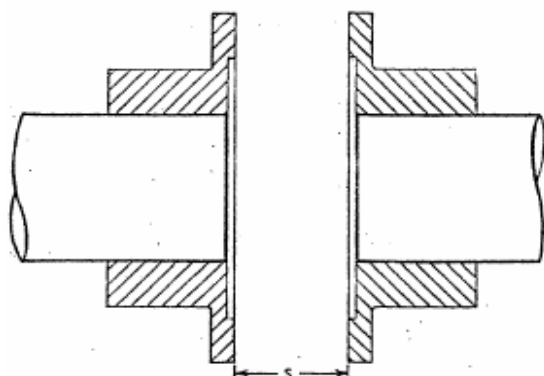




A° MAXIMUM



L MAXIMUM

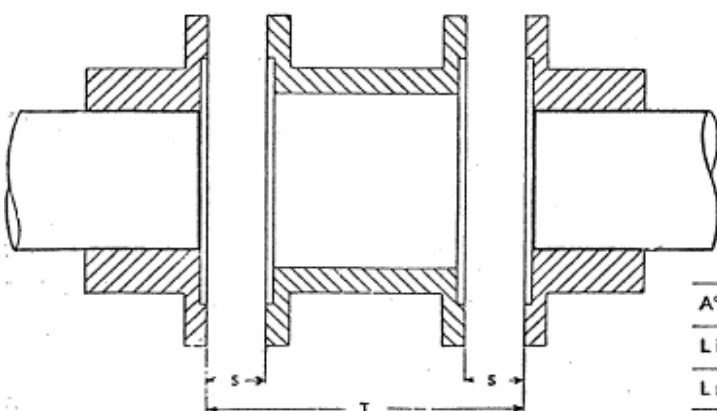


NON-SPACER

	M 'S'	M 'D'	DIS 'S'	DIS 'D'
A°	1°	1°	1°	1°
L	O	L	O	L

STANDARD NON-SPACER COUPLINGS

M 'S'					M 'D'					M 'S'					M 'D'					DIS 'S'					DIS 'D'				
Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L	Size	S	L	S	L					
1	1/8	O	1/8	-003	20	1 1/8	O	1 1/8	-005	120	1 1/8	O	2 1/8	-010	900	2 1/8	O	3 1/8	-012	1	1/8	O	1/8	-003					
2	1/8	O	1/8	-003	25	1 1/8	O	1 1/8	-005	160	1 1/8	O	2 1/8	-010	1050	2 1/8	O	3 1/8	-012	3	1/8	O	1 1/8	-003					
3	1/8	O	1 1/8	-003	30	1 1/8	O	1 1/8	-005	230	1 1/8	O	2 1/8	-010	1200	2 1/8	O	4 1/8	-012	6	1/8	O	1 1/8	-003					
5	1/8	O	1 1/8	-003	40	1 1/8	O	1 1/8	-005	300	1 1/8	O	2 1/8	-010	1800	3 1/8	O	5 1/8	-012	12	1/8	O	1 1/8	-005					
6	1/8	O	1 1/8	-003	45	1 1/8	O	1 1/8	-005	375	1 1/8	O	2 1/8	-010	2500	3 1/8	O	5 1/8	-012	24	1/8	O	1 1/8	-005					
8	1/8	O	1 1/8	-003	50	1 1/8	O	1 1/8	-005	450	1 1/8	O	2 1/8	-012	4000	3 1/8	O	6	-012	75	1 1/8	O	3 1/8	-008					
10	1/8	O	1 1/8	-003	60	1 1/8	O	1 1/8	-008	525	1 1/8	O	2 1/8	-012	6000	4	O	6 1/8	-012	100	1 1/8	O	4 1/8	-008					
13	1/8	O	1 1/8	-005	70	1 1/8	O	1 1/8	-008	600	1 1/8	O	3 1/8	-012	8000	4 1/8	O	7 1/8	-012	160	1 1/8	O	4 1/8	-010					
17	1 1/8	O	1 1/8	-005	80	1 1/8	O	1 1/8	-008	750	1 1/8	O	3 1/8	-012						300	2 1/8	O	5 1/8	-010					



SPACER

	M 'S'	M 'D'	DIS 'S'	DIS 'D'
A°	1°	2°	1°	2°
L ins.	-010 x T	-015 x T	-010 x T	-015 x T
L mms.	-254 x T	-380 x T	-254 x T	-380 x T

FLEXIBOX LIMITED
(METASTREAM COUPLINGS)

CATHERINE WHEEL ROAD,
BRENTFORD, MIDDLESEX

Suggested Shaft Alignment Tolerances

	[RPM]	Tolerance			
		metric [mm]		inch [mils]	
Soft foot	any	0.06 mm		2.0 mils	
Short 'flexible' couplings		Acceptable	Excellent	Acceptable	Excellent
Offset	600			9.0	5.0
	750	0.19	0.09		
	900			6.0	3.0
	1200			4.0	2.5
	1500	0.09	0.06		
	1800			3.0	2.0
	3000	0.06	0.03		
	3600			1.5	1.0
	6000	0.03	0.02		
	7200			1.0	0.5
Angularity	600			15.0	10.0
(gap difference at coupling edge	750	0.13	0.09		
per 100 millimeters diameter	900			10.0	7.0
or per 10 inches diameter)	1200			6.0	5.0
	1500	0.07	0.05		
	1800			5.0	3.0
	3000	0.04	0.03		
	3600			3.0	2.0
	6000	0.03	0.02		
	7200			2.0	1.0
Spacer shafts and membrane (disk) couplings					
Offset	600			3.0	1.8
(per 100 millimeters spacer length	750	0.25	0.15		
or per inch of spacer length)	900			2.0	1.2
	1200			1.5	0.9
	1500	0.12	0.07		
	1800			1.0	0.6
	3000	0.07	0.04		
	3600			0.5	0.3
	6000	0.03	0.02		
	7200			0.25	0.15

