# راهنمای عملی

# Shaft Alignment

بیژن مولایی

بازرس کنترل کیفیت شرکت مهندسی و توسعه سروک آذر

M.Sc., Mechanical Engineering – Energy Conversion, 2011
*Khajeh Nasir. Toosi University of Technology, Tehran, Iran*

B.Sc., Mechanical Engineering-Heat and Fluid Mechanics, 2009
*Khajeh Nasir. Toosi University of Technology, Tehran, Iran*

Blank Page

Bijan Molaie

**خیرات برای آرامش روح پدرم که اسیر خاک است.**

**و بزرگوارم مهندس "محی‌الدّین ریاحی" که جبران محبت ایشان جز به دعای خیر و ذکر خوبی‌ها نتوانم ادا کنم.**

Bijan Mojaie

آن چه در گفتار پیش رو ارائه می‌شود برداشتی از کتاب " A Practical Guide to Shaft Alignment " از نشریات شرکت PRUFTECHNIK Ltd. است که در زمینه‌ی تامین ابزار و خدمات مربوط به Alignment شافت تجهیزات دوّار در سایت‌های پالایشگاهی فعالیت دارد. آنچه این نوشتار را از سایر منابع مشابه متمایز می‌نماید، بیان کامل مزایا و نکات ضروری اجرای Alignment در عین اختصار کلام و عدم پرداختن به حواشی مربوطه است.

در بخش اول به کلیات و علت الزام به اجرای Alignment شافت و در بخش‌های بعدی کتاب به شرح روش‌های متداول در این زمینه پرداخته است.

در نوشتار حاضر سعی شده تا اصطلاحات متداول در پروژه‌های صنعتی به همان شکل اصلی خود لحاظ گردند و در صورت نیاز در پانویس‌ها، معادل لاتین آورده شده است. از آنجاییکه عجالت و تسریع در انجام بر این امر حاکم بود، فلذا عاری از اشتباه خواندن این مهم، بس به خطا می‌رود. اینجانب صمیمانه آماده دریافت نظرات و اصلاحات شما برای بهتر شدن کیفیت کار حاضر در آینده‌ای نزدیک هستم.

با سپاس

بیژن مولایی

bijan.molaie@gmail.com

Bijan Molaie

Shaft Alignment چیست؟ ..... ۶
تعریف ..... ۶
شکم دادگی ماشینری ..... ۷
عملکرد در شرایط فوق سرعت بحرانی ..... ۸
توصیف Alignment ..... ۱۰
پارامترهای Alignment ..... ۱۰
Angularity، gap و Offset ..... ۱۱
کوپلینگهای انعطافپذیر کوتاه ..... ۱۳
شافتهای Spacer ..... ۱۴
دقت Alignment چقدر باید باشد؟ ..... ۱۷
تلرانسهای Alignment برای کوپلینگهای انعطاف پذیر ..... ۱۷
رفع مشکل ..... ۲۰
کرنش کوپلینگ و خیز شافت ..... ۲۰
عوامل خرابی ماشین ..... ۲۲
کوپلینگهای میتوانند ناهمراستایی را خنثی نمایند؟ ..... ۲۲
بیرینگهای ضد اصطکاک ..... ۲۲
مکانیکال سیلها ..... ۲۳
ارتعاش ماشین ..... ۲۳
علائم و نشانههای تشخیص ناهمراستایی ..... ۲۴
روشها و نحوهی انجام Alignment ..... ۲۶
خط مشی نصب ماشین ..... ۲۶
اندازهگیری و اصلاح "Soft Foot" ..... ۲۸

Bijan Molaie

روش های Alignment – چشمی ..... ۳۱

روشهای Alignment- ساعتهای اندیکاتور ..... ۳۴

روش Face & Rim – سعی و خطا ..... ۳۵

روش Face & Rim – محاسبه ..... ۳۶

روش اندیکاتور معکوس (ریورز) – محاسبه ..... ۳۹

اندازهگیری افتادگی براکت اندیکاتور ..... ۴۲

Laser Shaft Alignment ..... ۴۳

Laser Shaft Alignment- مطالعهی موردی ..... ۵۰

صرفه جویی هزینهها با Alignment لیزری شافت ..... ۵۰

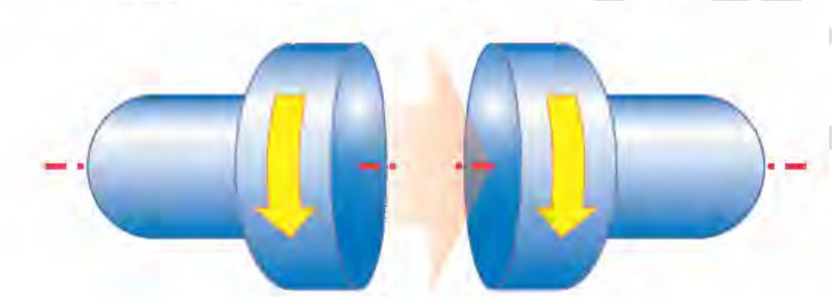
Bijan Mobaie

# Shaft Alignment

Bijan Mojaie

## تعریف

Shaft Alignment فرایندی است که در آن دو یا چند ماشین (عموماً یک موتور و پمپ)، به گونه‌ای جانمایی می‌شوند که در محل (نقطه) انتقال قدرت از یک شافت به دیگری، محورهای دوران هر دو شافت می‌بایست زمانی که ماشین تحت شرایط نرمال در حال چرخش است در راستای یک خط باشند.



همانند تمامی تعاریف استاندارد، حالت استثنایی وجود دارد، برخی انواع کوپلینگ‌ها، مثل کوپلینگ‌های دنده‌ای یا شافت‌های کاردان (محور تعلیق) نیازمند وجود یک ناهمراستایی خود خواسته هستند تا از روانکاری آنها ضمن عملیات بهره‌برداری اطمینان حاصل شود.

## در نقطه (محل) انتقال قدرت ...

تمامی شافت‌ها تحت تاثیر وزن خود دارای نوعی از حالت شکم دادگی[1] می‌باشند، بنابراین شافت آنها مستقیم نبوده و بنابراین جائیکه alignment دو شافت می‌تواند مقایسه گردند،تنها در نقطه‌ی انتقال قدرت از یک شافت به دیگری خواهد بود.

## ...محورهای دوران

دو اصطلاح "Shaft Alignment" و "Coupling alignment" نباید شما را گمراه نماید.

سطوح کوپلینگ نمی‌بایست جهت تعیین شرایط Alignment بکار روند چون آنها نشان‌دهنده‌ی محورهای دوران شافت نمی‌باشند.

**دقت انطباق کوپلینگ روی شافت مشخص نیست.**

[1] Catenary



bijan.molaie@gmail.com

دوران تنها یک شافت و استفاده از ساعت‌های اندیکاتور[۲] به منظور اندازه‌گیری سطح کوپلینگ روبروی هم، محور دوران هر دو شافت را مشخص نمی‌کند.

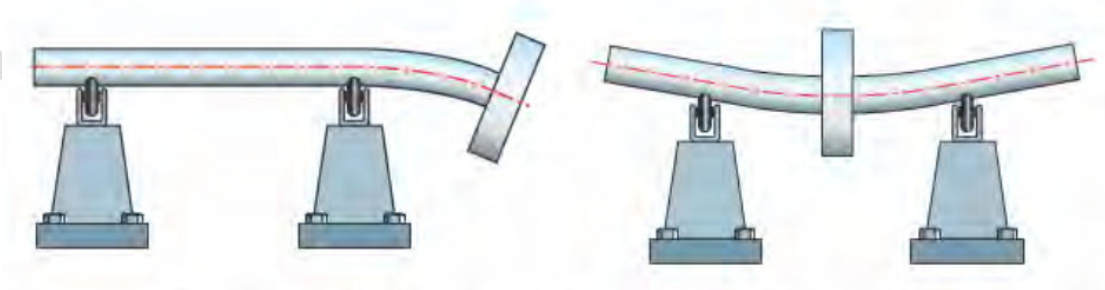
### .... تحت شرایط نرمال بهره‌برداری

شرایط Alignment زمانی که ماشین در حال کار است، می‌تواند تغییر کند. این موضوع می‌تواند ناشی از نموّ حرارتی، کرنش پایپینگ، گشتاور ماشین، جابجایی فنداسیون و لقی (بازی) بیرینگ‌ها باشد. از آنجاییکه Alignment شافت معمولاً در حالت سرد ماشین اندازه‌گیری می‌شود، شرط Alignment به همان صورتیکه اندازه‌گیری می‌شود، لزوماً شرط Alignment صفر ماشین نیست (صفحات ۵۷-۵۸ را ببینید).

شرط Alignment می‌تواند ضمن چرخش شافت‌ها در راستای نرمال دوارن اندازه‌گیری شود. اغلب پمپ‌ها، فن‌ها و موتورها و غیره دارای علامت پیکان (فلش) در انتهای محفظه جهت مشخص نمودن راستای دوران هستند.

### شکم دادگی[۳] ماشینری

میزان انحراف (خیز) شافت در یک ماشینری بستگی به عوامل مختلفی چون صلبیت[۴] شافت، میزان توزیع وزن میان ساپورت‌های آویخته[۵]، طراحی بیرینگ و فاصله‌ی میان ساپورت‌ها دارد.



خیز (انحراف) نرمال شافت‌ها تحت تاثیر وزن خود

[2] Dial gauge
[3] Catenary
[4] Stiffness
[5] Overhung



bijan.molaie@gmail.com

برای دامنه‌ی وسیعی از ماشین‌هایی با کوپلینگ نزدیک به هم، این کمان شکم دادگی قابل چشم‌پوشی است و بنابراین برای مقاصد عملی می‌توان از آن صرف نظر نمود. در واحدهای[6] طویل محرک ماشین همچون ژنراتورهای توربین در نیروگاه‌های برق یا ماشین‌هایی با شافت‌های فاصله انداز[7] طویل مانند فن برج‌های خنک کننده یا توربین‌های گازی، منحنی تاب و شکم دادگی می‌بایست لحاظ گردد.

شکم دادگی (تاب) ماشین

به عنوان مثال در یک توربین بخار، شافت‌ها معمولاً به یکدیگر با دقت کمتر از ٤ mils همراستا می-گردند ولی نقطه‌ی میانی مرکز شافت می‌تواند بیش از ۱,۲ inch پایین‌تر از دو انتهای شافت باشد.

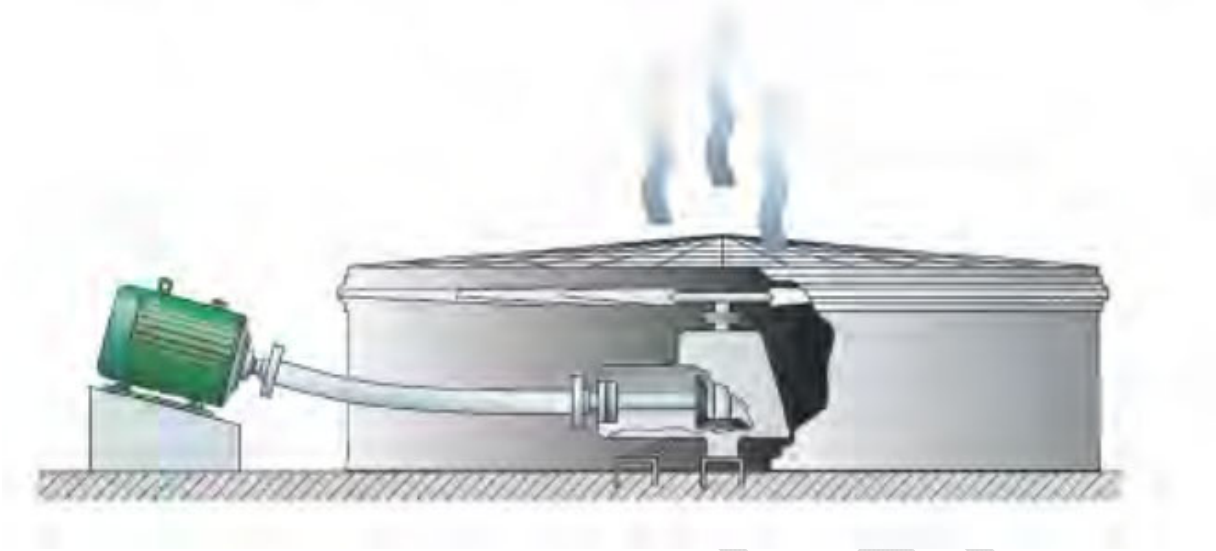
## عملکرد در شرایط فوق سرعت بحرانی

وقتی یک شافت خیلی طویل و انعطاف پذیر شروع به دوران می‌کند، خمیدگی شافت تمایل به مستقیم شدن دارد، ولی هرگز یک خط مستقیم نخواهد بود. درک این مطلب بسیار مهم است که محور دوران یک شافت به ندرت می‌تواند روی یک محور منحنی دوران، چرخش نماید. در حالاتی که دو یا چند بخش از ماشینری از طریق یک یا چند شافت دوار حول یک محور دوران یا حالت شکم داده، به یکدیگر متصل شده باشند، همراستا کردن شافت به نحوی که خط المرکز منحنی دوران را حفظ نمایند، اهمیت دارد.

[6] Train
[7] Spacer

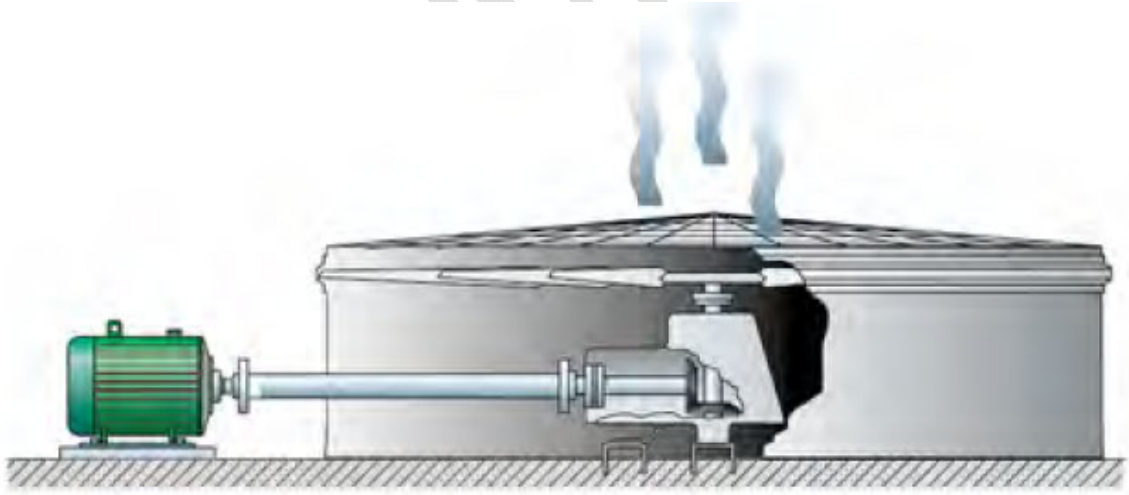


bijan.molaie@gmail.com



شافت عملیاتی محرک زیر سرعت بحرانی:

همراستا نمودن کوپلینگ‌های ماشین به کوپلینگ‌های فاصله انداز



شافت عملیاتی محرک بالای سرعت بحرانی:

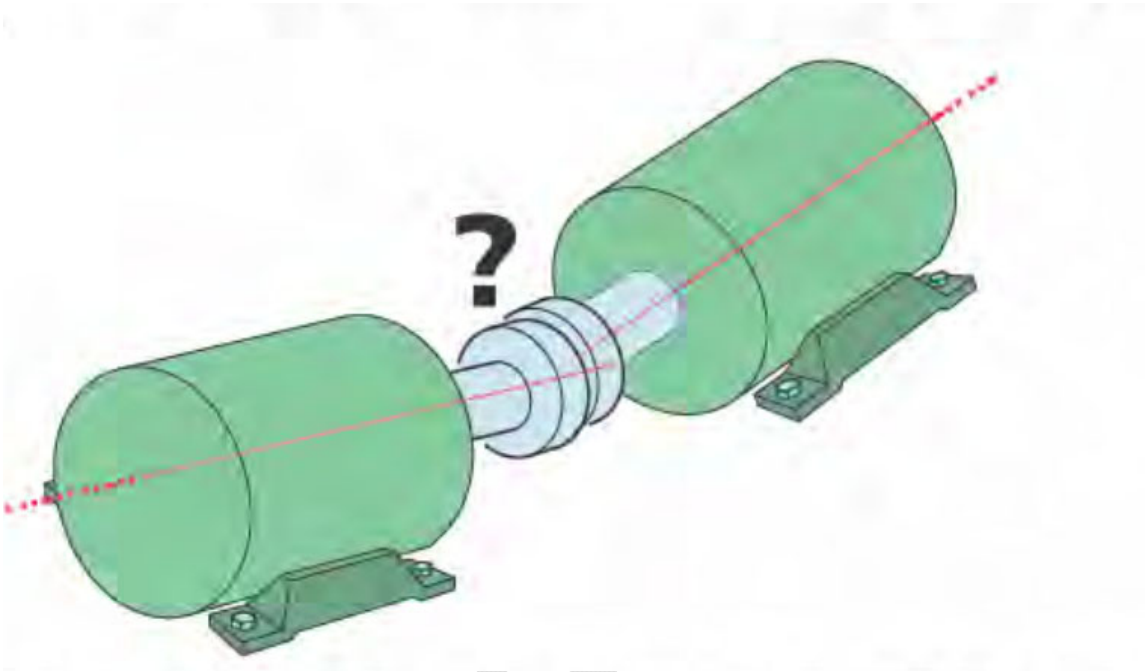
همراستا نمودن کوپلینگ‌های ماشین به دیگری با چشم پوشی از فاصله انداز



bijan.molaie@gmail.com

## پارامترهای Alignment

از آنجائیکه Alignment شافت نیازمند اندازه‌گیری و به تبع آن اصلاح می‌باشد، روشی جهت بیان کمی و توضیح حالت Alignmentنیاز است.



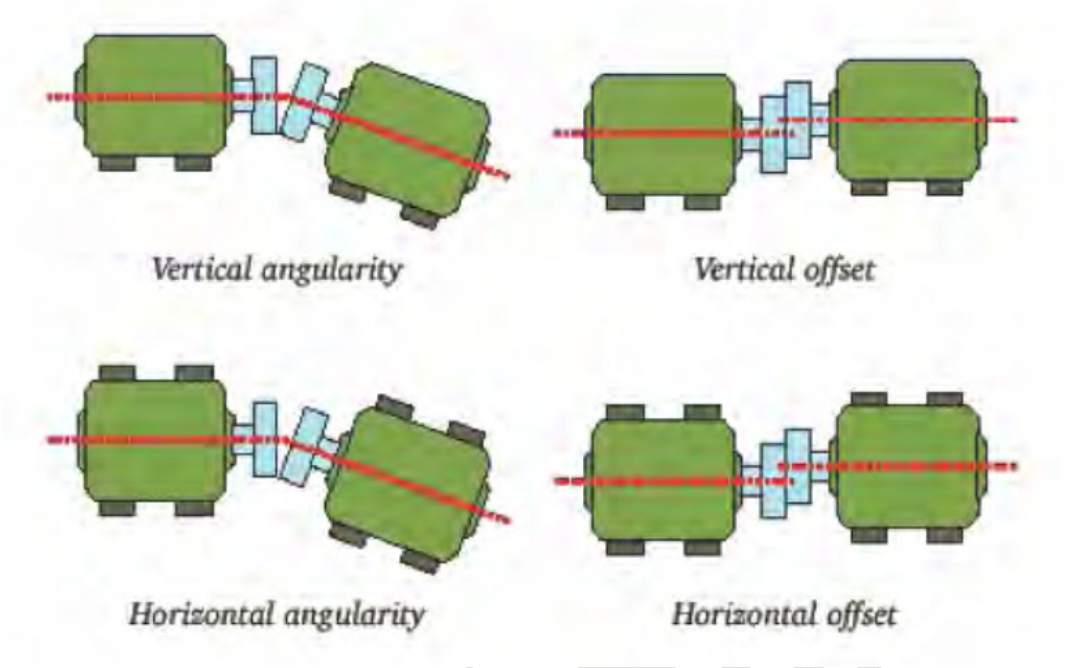

به طور سنتی، Alignment بر حسب قرائت‌های ساعت اندیکاتور در پیشانی کوپلینگ یا Position Value در پایه‌ی ماشین بیان می‌شود. مقادیر اندازه‌گیری شده از هر دوی این روش‌ها بستگی به ابعاد ماشین‌ها دارد. چون روش‌های مختلفی برای مونتاژ ساعت‌های اندیکاتور وجود دارد (به عنوان مثال، reverse indicator، rim & face و double rim)، مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده و کاربرد تلرانس‌ها می‌تواند گیج کننده باشند. علاوه بر این، با توجه به این موضوع که قرائت‌های ساعت rim دو برابر انحراف واقعی است و معکوس علامت‌ها می‌بایست بسته به اینکه آیا اندیکاتور-ها، Face چپ یا راست کوپلینگ یا قطر بیرونی یا داخلی آنرا اندازه‌گیری می‌کنند، ملاحظه گردد.

یک رویکرد پیشرفته‌تر و قابل فهم‌تر این است که حالت Alignment ماشین را بر حسب عبارت‌های angularity و offset در موقعیت‌های افقی (نمای روبرو- plan view) و قائم (نمای جانبی- side view) بیان کرد.

با استفاده از این روش، چهار مقدار داده به منظور توصیف حالت Alignment می‌تواند بکار رود، همانگونه که در شکل پیش رو آورده شده است.

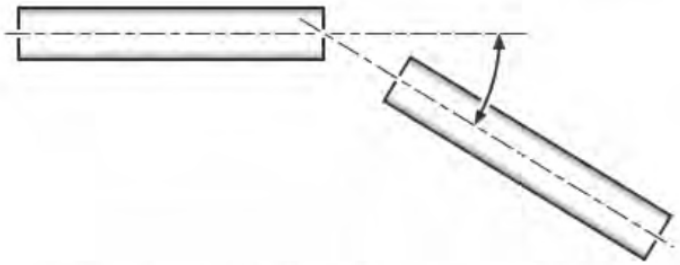


bijan.molaie@gmail.com




**Angularity، gap و Offset**

Angularity زاویه‌ی ما بین دو محور دوران را بیان می‌کند.



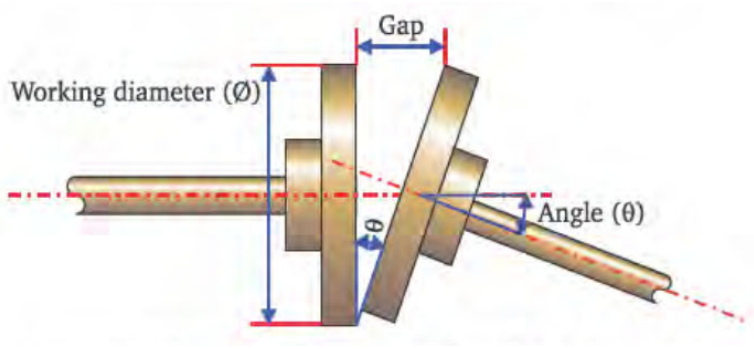
Angularity می‌تواند مستقیماً بصورت یک زاویه بر حسب درجه یا بر حسب عبارتی از شیب در واحد mils/inch بیان گردد. این روش اخیر کارآمد است. زیرا angularity ضربدر قطر کوپلینگ، اختلاف gap معادل در rim کوپلینگ را بدست می‌دهد.

لذا بیان کردن زاویه بر حسب gap بازای قطر بسیار متداول‌تر است. Gap به تنهایی بی مفهوم است، بلکه باید بر قطر کوپلینگ تقسیم شود تا معنی داشته باشد. قطر در حقیقت به عنوان "قطر کاری[8]" اطلاق می‌گردد ولی اغلب قطر کوپلینگ نامیده می‌شود. ارتباط موجود بین gap و قطر مهم است.

[8] Working Diameter



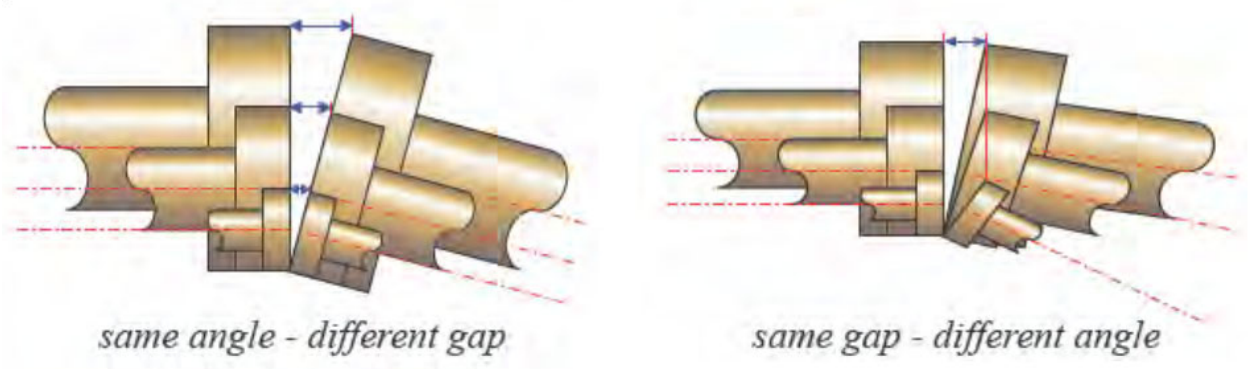
bijan.molaie@gmail.com



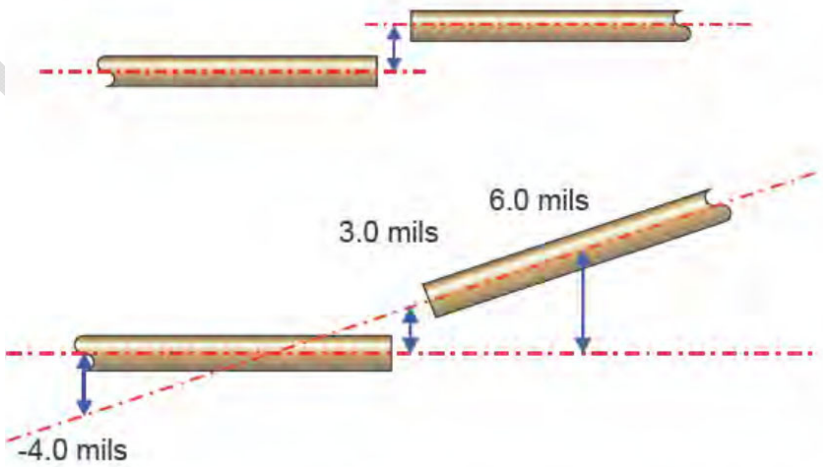

رابطه‌ی بین زاویه، gap و قطر کاری (قطر کوپلینگ)

یک کوپلینگ ۶ inch که در قسمت بالا 5.0 mils بازشدگی دارد، زاویه‌ی 0.83 mil/inch را برای ما بین محورهای شافت‌ها می‌دهد.

برای یک قطر کاری 10 inch این مقدار برابر 8.3 mils بازای 10 inch خواهد بود.




**Offset** بیانگر فاصله‌ی بین محورهای دوارن در نقطه‌ی داده شده است. Offset گاهی به اشتباه به Offset موازی یا ناهمرستایی rim اطلاق می‌گردد. با این حال، محورهای دوران شافت به ندرت موازی هستند و کوپلینگ یا rim شافت، یک ارتباط نا معین با محورهای دوران شافت دارد.






bijan.molaie@gmail.com

همانگونه که در شکل نشان داده شده است، برای حالت Alignment یکسان، مقدار بسته به موقعیتی که فاصله‌ی ما بین دو محور شافت دوران اندازه‌گیری می‌شود، متفاوت خواهد بود. در غیاب هر گونه دستورالعمل دیگری، Offset بر حسب mm یا هزارم اینچ در مرکز کوپلینگ اندازه-گیری می‌شود (این تعریف برای کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر کوتاه[9] اطلاق می‌گردد، برای کوپلینگ-های spacer، Offset می‌بایست در صفحات انتقال قدرت کوپلینگ اندازه‌گیری شود).

## کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر کوتاه

به منظور راحتی فهم موضوع، کوپلینگ‌هایی انطعاف پذیر کوتاه نامیده می‌شوند که **طول محوری قطعه‌ی انعطاف‌پذیر یا طول محوری بین قطعه‌ی انعطاف‌پذیر برابر یا کوتاه‌تر از قطر کوپلینگ باشد.** ماشین‌هایی با کوپلینگ‌های انعطاف پذیر کوتاه بدلیل عملکرد در سرعت‌های متوسط تا بالا، به منظور جلوگیری از بارگذاری مضاعف شافت، بیرینگ‌ها و آب‌بندها، نیازمند Alignment بسیار دقیق هستند.

از آنجائیکه حالت Alignment در واقع همیشه ترکیبی از angularity، offset است و ماشین می-بایست در هر دو صفحه قائم و افق تنظیم گردد، ٤ مقدار برای بیان کامل حالت Alignment نیاز است.

Angularity قائم (یا gap بازای قطر)

Offset قائم

Angularity افقی (یا gap بازای قطر)

Offset افقی

در غیر این صورت اگر مشخص نشده باشد، Offset، به فاصله‌ی ما بین محورهای دوران شافت در مرکز کوپلینگ اطلاق می‌گردد.

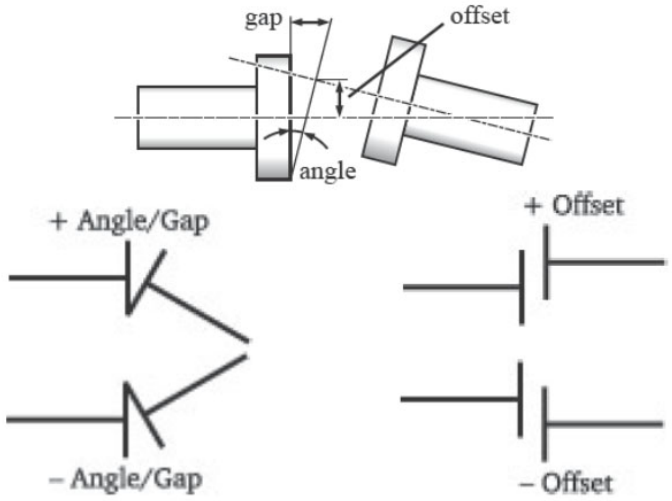
شکل ذیل، اصطلاحات و علامت‌های متناظر را نشان می‌دهد.

[9] Short Flexible Coupling



bijan.molaie@gmail.com

Bijan Molaie




## شافت‌های Spacer

شافت‌های Spacer معمولاً زمانی نصب می‌شوند که تغییرات Alignment چشم‌گیری ناشی از نموّ حرارتی طی بهره‌برداری ماشین انتظار می‌رود. با استفاده از طول شافت Spacer حتی زمانی که ماشین دچار تغییر موضعی بزرگی گردد، تغییر زاویه‌ای در شافت‌های Spacer کوچک باقی می‌ماند. دقت Alignment برای ماشین‌هایی که در آنها شافت‌های Spacer تعبیه می‌شود به دلیل دارا بودن قطعات انعطاف‌پذیر در دو انتها، در مقایسه با ماشین‌هایی که بر روی آنها کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر کوتاه نصب می‌شود، بحرانی نیستند.

چهار مقدار برای توصیف کامل حالت Alignmentنیاز است:

زاویه‌ی قائم a

زاویه‌ی قائم b

زاویه‌ی افقی a

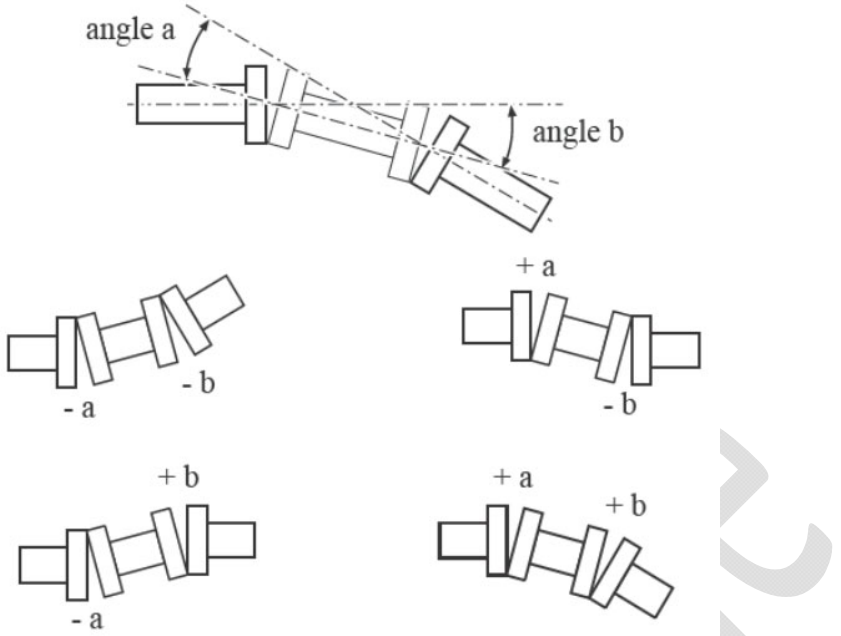
زاویه‌ی افقی b

زوایا ما بین محور دوران شافت Spacer و محورهای دوران ماشین مربوطه اندازه‌گیری می‌شوند. شکل زیر اصطلاحات و علامت‌های متناسب را نشان می‌دهد.



bijan.molaie@gmail.com

Bijan Molaie




Offset B-Offset A

به عنوان یک جایگزین برای ۲ زاویه‌ی a و b، Alignment می‌تواند بر حسب عبارت‌هایی از Offset بیان گردد.

Offset قائم b

Offset قائم a

Offset افقی a

Offset افقی b

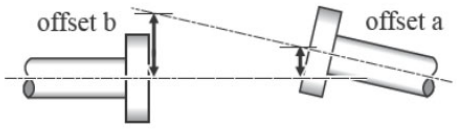
Offset ها مابین محورهای دوران شافت ماشین در موقعیت دو انتهای شافت Spacer اندازه‌گیری می‌شوند. این روش بسیار شبیه به Reverse Alignment است.

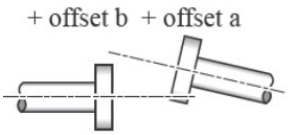
شکل ذیل اصطلاحات و علامت‌های مربوطه را نمایش می‌دهد.

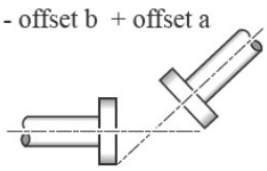
Bijan Molaie

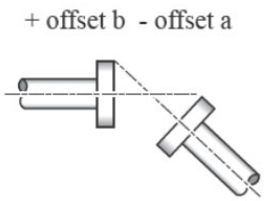


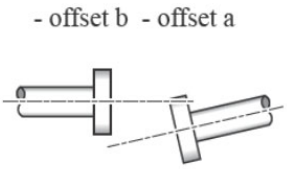
bijan.molaie@gmail.com



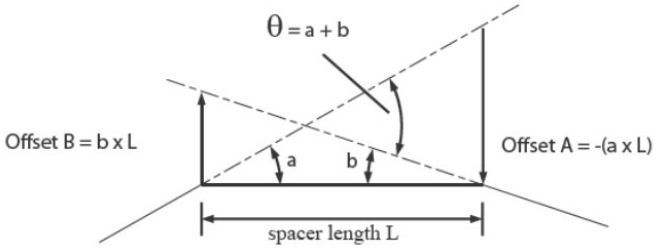




## روابط حاکم

با نگاهی به شکل زیر، درک خوبی از روابط حاکم میان Offsetها و زوایای گوناگون بدست می‌آید.






bijan.molaie@gmail.com

## تلرانس‌های Alignment برای کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر

تلرانس‌های پیشنهادی نشان داده شده در صفحات پیش‌رو، مقادیر عمومی بر اساس ۲۰ سال تجربه‌ی Alignment شافت در Prueftechnik بوده و نمی‌بایست از آنها فراتر رود. این مقادیر تنها زمانی باید بکار روند که تلرانس دیگری توسط استانداردهای داخلی سازنده‌ی ماشین موجود نباشد.

با در نظر گرفتن تمامی این مقادیر تا حد ماکزیمم انحراف از هدف نهایی Alignment، رساندن خط به صفر یا مقداری مطلوب به منظور جبران نموّ حرارتی پیشنهاد می‌شود. در بسیاری از موارد، نیم نگاهی در جدول گویای این مطلب خواهد بود که آیا نا همراستایی کوپلینگ در حد مجاز است یا نه.

به عنوان مثال، یک ماشین با کوپلینگ کوتاه انعطاف‌پذیر که در دور 1800 rpm کار می‌کند، دارای Offset قائم کوپلینگ 1.6 mils و افقی 1.0 mil است، که هر دوی این مقادیر "بخوبی" در محدوده‌ی 2.0 mils قرار می‌گیرند.

Angularity معمولاً بر حسب اختلاف gap اندازه‌گیری می‌شود. برای یک مقدار angularity، قطر بزرگتر، gap بیشتری در rim کوپلینگ بدست می‌دهد (شکل ص ۱۲). جدول پیش رو مقادیر مربوط به کوپلینگ‌هایی با قطر 10 inch را آورده است. برای سایر قطرهای کوپلینگ، مقدار داخل جدول با ضریب مناسب اعمال می‌گردد. به عنوان مثال، ماشینی با 1800 rpm و قطر کوپلینگ 3 inch ماکزیمم gap مجاز 0.9 mils خواهد داشت.

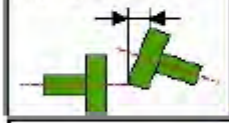
برای شافت‌های spacer، جدول حداکثر offset مجاز بازای 1 inch طول شافت spacer را ارائه می‌دهد. برای مثال، ماشینی با 1800 rpm و طول شافت spacer معادل 12 inch، ماکزیمم offset مجاز 0.6 mils/inch x 12 inch= 7.2 mils در هر دو انتهای شافت spacer خواهد بود. کوپلینگ-های صلب[10] تلرانسی برای نا همراستایی ندارند، بلکه می‌بایست تا حد ممکن بصورت دقیق شوند.

[10] Rigid



bijan.molaie@gmail.com

**جدول تلرانس‌های پیشنهادی Alignment**

| | RPM | metric (mm) | | inch (mils) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Acceptable | Excellent | Acceptable | Excellent |
| **Short "flexible" couplings** | | | | | |
| **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 |
| Metric values—Gap difference per 100 mm coupling diameter | 750 | 0.13 | 0.09 | | |
| | 900 | | | 10.0 | 7.0 |
| | 1200 | | | 8.0 | 5.0 |
| | 1500 | 0.07 | 0.05 | | |
| Inch values—Gap difference per 10 inch coupling diameter | 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 (disc) couplings** | 600 | | | 3.0 | 1.8 |
| | 750 | 0.25 | 0.15 | | |
| | 900 | | | 2.0 | 1.2 |
| Metrics values—Offset per 100 mm spacer shaft | 1200 | | | 1.5 | 0.9 |
| | 1500 | 0.12 | 0.07 | | |
| Inch values—Offset per inch spacer length | 1800 | | | 1.0 | 0.6 |
| | 3000 | 0.07 | 0.04 | | |
| | 3600 | | | 0.5 | 0.3 |
| | 6000 | 0.03 | 0.02 | | |
| | 7200 | | | 0.3 | 0.2 |
| **Soft-foot** | Any | 0.06 | | 2 | |

**نکته**

برای یک ماشین صنعتی، مقدار نا همراستایی می‌تواند بصورت تابعی از متغیرهای گوناگون شامل RPM، توان اسمی، نوع کوپلینگ، طول Spacer، طراحی تجهیز کوپل شده و انتظارات مصرف کننده از مدت زمان بهره‌برداری[1] تطبیق داده شود. تجربه نشان می‌دهد که این تلرانس‌ها قابل

[1] Service life



bijan.molaie@gmail.com

قابل تعمیم و کاربرد بر طیف گسترده‌ای از سیستم‌های کوپلینگ بدون روانکاری هستند که شامل المان‌های انعطاف‌پذیر در طراحی خود هستند.

در جدول قبل، محدوده‌های "قابل پذیرش" از سرعت لغزش دو Plate روانکاری شده‌ی فلزی با در نظر گرفتن 0.5 inch/sec به عنوان سرعت لغزش مجاز، محاسبه می‌شوند. از آنجائیکه این مقادیر با مقادیر بدست آمده از نرخ‌های برش الاستومر انطباق دارند، می‌تواند برای کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر کوتاه با المان‌های انعطاف‌پذیر بکار روند.

مقادیر "Excellent" بر اساس ملاحظات انجام گرفته روی تعداد زیادی از ماشین‌ها به منظور تعیین نا همراستایی بحرانی در ارتعاش[1] استخراج شده‌اند. با این حال، رعایت این تلرانس‌ها نمی‌تواند عملکرد بدون ارتعاش را تضمین نماید.

[1] Vibration



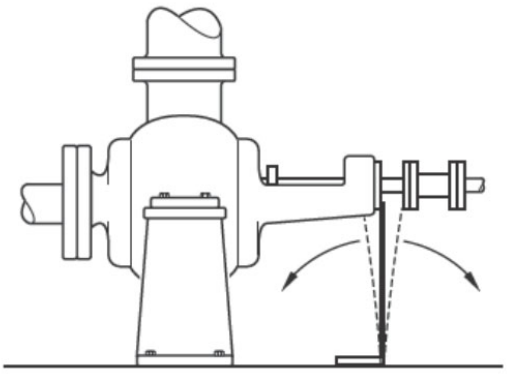
bijan.molaie@gmail.com

Bijan Molaie

## کرنش[1] کوپلینگ و خیز شافت

**قرائت‌های جدید با جابجایی ایجاد شده همخوانی ندارند؟**

حین اجرای یک عملیات Alignment بدون توجه به استفاده از ساعت اندیکاتور یا سیستم لیزر نوری، گاهی اوقات قرائت‌های متوالی تنظیم Alignment با اصلاحات ایجاد شده همخوانی ندارند. یک احتمال این است که کرنش کوپلینگ موجب خیز شافت، پایه‌ی ماشین یا فونداسیون می‌گردد. این مورد به ویژه در مجموعه پمپ‌های با پایه‌های "ایستای" جلو[2] مطابق شکل پیش رو قابل توجه است.



در این کاربرد، المان انعطاف پذیر کوپلینگ به صورت شعاعی کاملاً صلب بوده و می‌تواند روی اندازه‌گیری Alignment تاثیر بگذارد. در این موقعیت پیشنهاد بر جداسازی المان کوپلینگ به منظور اندازه‌گیری Alignment بدون دخالت نیروهای خارجی است.

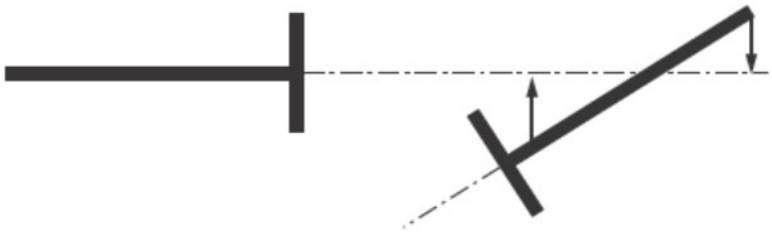
اگر تاثیر مجموع عوامل بالا به صورت ذکر شده در بالا در نظر گرفته نشوند، نه تنها alignment جدید اشتباه خواهد بود بلکه در بیشتر موارد جابجایی در جهت مخالف نیاز به تصحیح صورت گرفته است.

در موارد حاد، کرنش کوپلینگ اعمال شده توسط ماشین‌های Align شده‌ی جدید می‌تواند موجب خمیدگی و تاب برداشتن شافت طی مراحل بهره‌برداری گردد. در اغلب موارد، این تاب برداشتن، حداقل خواهد بود ولی به اندازه‌ای است که روی محورهای اندازه‌گیری دوران شافت اثر بگذارد. طرح‌های پیش رو مشکلات بالقوه را نشان می‌دهد.

[1] Strain
[2] Front steady mount {Overhung}

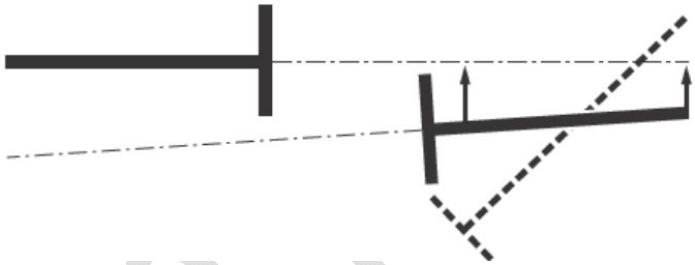


bijan.molaie@gmail.com



حالت Alignment با شافت‌های کوپل نشده

Alignment اندازه‌گیری شده با شافت‌های کوپل شده. محورهای دوران نشان داده شده‌اند



جابجایی همانگونه که اندازه‌گیری شده، ایجاد شده‌اند. اکنون روی کوپلینگ، کرنش کمتری وجود دارد و شافت بخوبی می‌توانند در مرحله‌ی بعد، Align گردند

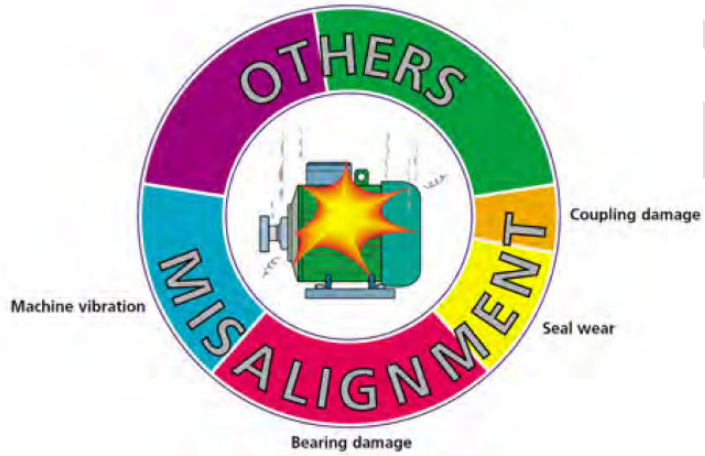


bijan.molaie@gmail.com

## کوپلینگ‌های می‌توانند ناهمراستایی را خنثی نمایند؟

یک سوال کلی مطرح است: " هدف از همراستا کردن ماشین‌ها زمانی که مجهز به کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر می‌باشند و به منظور جذب اثرات ناهمراستایی طراحی شده‌اند، چیست؟"

تجربه و پیشنهادات سازندگان کوپلینگ برای ماکزیمم ناهمراستایی، نظر دیگری دارد. شواهد عینی نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد خرابی ماشین‌ها مستقیماً با Alignment شافت مرتبط است.




این مطلب درست است که کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر به منظور جذب ناهمراستایی، معمولاً تا 400 mils یا بالاتر، Offset شعاعی شافت طراحی می‌شوند. ولی بار اعمالی روی شافت‌ها و بالتبع بیرینگ‌ها و آب‌بندها به طور چشم‌گیری ناشی از عکس‌العمل نیروهای ایجاد شده توسط کوپلینگ‌های ناهمراستا، افزایش می‌یابد.

## بیرینگ‌های ضد اصطکاک

بیرینگ‌ها (بیرینگ‌ها) اجزایی با دقت تولید بالا می‌باشند که به منظور عملکرد درشرایط روانکاری تمیز و دماهای کاری ثابت ولی محدود طراحی می‌شوند. اجزایی که با دقت 0.2 mils ساخته می‌شوند، موارد ذیل بر آنها حاکم است:

- توانایی تحمل عملکرد برای مدت زمان طولانی در دماهای ناشی از ناهمراستایی را ندارند.



bijan.molaie@gmail.com

- توانایی کارکرد در حضور ذرات خارجی بدلیل خرابی مکانیکال سیل که موجب نفوذ ذرات گرد و غبار] ذرات سائیده شده‌ی فلز و غیره می‌شوند را ندارند.
- بدلیل دقت ساخت بالا، جهت عملکرد طی زمان طولانی تحت اثر نیروهای ضربه‌ای محوری (شوک محوری) ناشی از ناهمراستایی ساخته نشده‌اند.

علاوه بر این موارد، آسیب اعمال شده روی بیرینگ ناشی از ناهمراستایی به تنهایی، زمانی که مکانیکال سیل‌ها از کارایی می‌افتند، بیرینگ‌ها باید از شافت جدا شده، گاهی اوقات اصلاح و در اکثر موارد نیاز به جایگزینی خواهند داشت. جدا کردن و اصلاح بیرینگ به نوبه‌ی خود موجب آسیب رساندن به آن می‌شود. اغلب سازندگان و تعمیرکاران پمپ پیشنهاد می‌کنند که هنگام تعمیر پمپ‌های آسیب دیده، بیرینگ بدون توجه به شرایط ظاهری جایگزین گردد، زیرا یک ایراد کوچک روی بیرینگ می‌تواند موجب بدتر شدن و رشد آسیب پس از اصلاح و جانمایی مجدد شود.

## مکانیکال سیل‌ها

زمانی که شافت‌ها نا همراستا باشند، سایش آب‌بند بدلیل بارگذاری شافت افزایش می‌یابد. سیل پمپ‌ها یکی از اجزای گران قیمت مجموعه پمپ بوده و گاهی تا یک سوم هزینه‌ی پمپ را شامل می‌شود. نصب نا مناسب و ناهمراستایی بیش از حد مجاز شافت به مراتب عمر کاری سیل را کاهش می‌دهد. سازندگان این نوع تجهیزات، مشکل نصب نامناسب را با معرفی نوعی از سیل-های کارتریجی که می‌توانند بدون مونتاژ در محل بهره‌برداری، نصب شوند؛ حل کرده‌اند. با این وجود، سیل‌ها بدلیل دقت ماشینکاری و اجزای هونینگ[1] شده با دقت ۲ میکرون (0.08 mils)، قادر به کارکرد در شرایط نا همراستایی نامناسب نبوده و سایش سطح، افزایش گرادیان دما و نفوذ آلاینده‌ها موجب خرابی پیش از موعد این اجزای گران قیمت خواهد شد. خرابی سیل غالباً فاجعه بار است زیرا بدون هشدار قبلی موجب توقف کار سایت (پالایشگاه، نیروگاه و ...)، هزینه-های جایگزینی سیل، هزینه‌های تعمیر پمپ می‌گردد و جایگزینی بیرینگ بدلیل ناهمراستایی؛ باعث خرابی مجدد سیل و تحمیل هزینه‌های بالا و مشکلات ناخواسته می‌شود.

## ارتعاش ماشین

ارتعاش ماشین با ناهمراستایی افزایش می‌یابد. ارتعاش بالا منجر به خستگی قطعات ماشین و متعاقباً خرابی زودرس ماشین می‌گردد.

[1] Honning



bijan.molaie@gmail.com

**مزایای کلی Shaft Alignment**

مزایای حاصل از انجام Alignment مناسب شافت با بهبود عمر کاری ماشین و به تبع آن قابلیت دسترسی به سایت هنگام نیاز به تولید محصول با کمک آن ماشین آغاز می‌شود. یک ماشینری با دقت همراستایی بالا مزایای ذیل را به همراه خواهد داشت:

- ❖ بهبود عمر کاری و قابلیت اطمینان سایت
- ❖ کاهش هزینه های قطعات یدکی مصرف شده همچون سیل‌ها و بیرینگ‌ها
- ❖ کاهش هزینه‌های نگهداری
- ❖ بهبود قابلبت تولید محصول
- ❖ کاهش تلفات تولید بدلیل کم شدن دفعات خرابی سایت
- ❖ کاهش نیاز به شرایط Stand-by سایت
- ❖ بهبود ایمنی عملکرد سایت
- ❖ کاهش هزینه‌های توان مصرفی در سایت
- ❖ دستیابی به ضرایب اطمینان بهتر سایت از طریق عملکرد بهتر و نتایج مناسب
- ❖ رفع محدودیت های کارکرد دستگاه در زمان های نیاز به تولید

## علائم و نشانه‌های تشخیص ناهمراستایی

تشخیص نا همراستایی ماشینری در حال کار همیشه آسان نیست. بارهای شعاعی که از شافت انتقال می‌یابند، براحتی قابل اندازه‌گیری نیستند. با کمک تحلیل ارتعاش یا ترموگرافی مادون قرمز، امکان تشخیص نشانه‌های اولیه‌ی ناهمراستایی همچون مقادیر ارتعاش بالا در جهات شعاعی و محوری یا گرادیان‌های دمایی غیر عادی در محفظه‌ی ماشینری وجود دارد، ولی بدون ابزارهایی نیز می‌توان مشکلات ثانویه‌ی ماشینری را که بیانگر Shaft Alignment نامناسب باشند، تشخیص داد.

- شل شدن یا شکستن بولت‌ها فونداسیون
- شل شدن یا شکستن بولت‌های کوپلینگ
- برخی کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر زمانی که ناهمراستا باشند، داغ می‌شوند. اگر کوپلینگ دارای قطعات الاستومتری باشد، می‌بایست بدنبال ذرات سائیده شده‌ی لاستیک در محفظه‌ی کوپلینگ بود.
- سایر قطعات تجهیز دارای ارتعاش کمتر یا عمر کاری بالاتری می‌باشند.
- نرخ خرابی یا سایش بیش از حد کوپلینگ



bijan.molaie@gmail.com

- وجود مقادیر بیش از حد مجاز گریس یا روغن درون محفظه‌ی کوپلینگ
- شافت‌ها در/ یا نزدیکی بیرینگ‌های داخلی یا هاب[۲] کوپلینگ‌ها دچار شکستگی یا ترک می‌گردند.

انجام Shaft Alignment خوب می‌تواند یک استراتژی کلیدی در نگهداری ماشین دوّار باشد. ماشینی که بخوبی Align شده باشد، قابلیت اطمینانی برای سایت بوده و نیازمند برنامه‌ی تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی شده‌ی/نشده‌ی کمتری خواهد بود. بخش بعدی این مرجع به مرور روش‌های مختلف Shaft Alignment خواهد پرداخت که می‌تواند به منظور انجام مناسب Alignment ماشینری بکار رود.

Bijan Molaie

[2] Hub



bijan.molaie@gmail.com

روش‌های متعددی به منظور دستیابی به Alignment قابل قبول ماشین دوّار وجود دارد. این محدوده شامل روش ارزان خط‌کش گذاری تا روش‌های پیچیده و غیر قابل اجتناب و گران سیستم‌های لیزری است. این روش‌ها را می‌توان در سه دسته‌ی کلی جای داد:

- چشمی- لبه‌ی خط کش و فیلر
- ساعت اندیکاتور- گیج‌های جابجایی مکانیکی
- سیستم‌های Alignment لیزری

در هر دسته، تعدادی متغیر و گزینه‌های انتخابی وجود دارد و هدف در اینجا ارزیابی تمامی این گزینه‌ها نیست، بجای آن در اینجا روی روش‌هایی تمرکز می‌کنیم که کاربرد بیشتری دارند.

**لزوم آمادگی جهت Alignment**

مرحله مقدماتی برای انجام Alignment موفق، اطمینان از امکان جابجایی ماشین مورد نظر است؛ این جابجایی می‌تواند شامل قابلیت حرکت به سمت بالا و پایین در راستای قائم (با استفاده از ابزار لیفت مناسب) باشد و اینکه آیا ماشین به دفعات نیاز به پایین آوردن از ارتفاع اولیه دارد یا نه. این مورد با قرار دادن ۲ mm الی ٤ (0.08”-0.16”) شیم زیر پایه‌های هر دو ماشین در نصب اولیه حاصل می‌شود (پیشنهاد ما شیم‌گذاری اولیه‌ی هر دو ماشین است به نحوی که تغییرات در شرایط فونداسیون می‌تواند در صورت نیاز جبران شود).

جابجایی موقعیت افقی ماشین بهتر است با Jack Bolt یا ابزاری مشابه پولی‌کش[3] یا جک هیدرولیکی انجام شود. این روش بدلیل جابجایی مداوم، آهسته و دقیق صورت می‌پذیرد. روش-هایی چون استفاده از چکش نه تنها تنظیم دقیق را دشوار می‌سازد، بلکه می‌تواند موجب آسیب رساندن به ماشین شود (بدلیل ایجاد اثر chatter mark روی بیرینگ)، و نیز لرزش می‌تواند جایگزین سیستم Alignment حین جابجایی گردد و بنابراین دقت قرائت موقعیت اصلاح شده را می‌کاهد.

## خط مشی نصب ماشین

نصب ماشینری مثل یک پمپ، گیربکس یا کمپرسور و ... نیازمند رعایت چند اصل کلی است:

[3] Machine Puller



bijan.molaie@gmail.com

Bijan Molaie

- ✓ واحد متحرک[4] معمولاً در ابتدا نصب می‌شود، محرک اولیه یا موتور نسبت به شافت واحد متحرک همراستا می‌گردد.
- ✓ اگر واحد متحرک از طریق گیربکس به حرکت درآید، گیربکس می‌بایست نسبت به واحد متحرک همراستا گردد و پس از آن محرک نسبت به گیربکس همراستا می‌شود.
- ✓ بررسی‌های اولیه می‌بایست به منظور تعیین دقت کوپلینگ ماشین یعنی بررسی "run-out" (هم مرکزی و تعامد نسبت به خط مرکزی شافت) تقارن کوپلینگ در صورت امکان با استفاده از یک ساعت اندیکاتور (کوپلینگ‌های نامتقارن می‌توانند همراستا گردند)
- ✓ آماده سازی Base Plate ماشینری و سطوح مونتاژ ماشین، پایه پداستال[5] اهمیت دارد. در غیر این صورت Alignment موفقیت آمیز به راحتی قابل دستیابی نخواهد بود.
- ✓ تمیز کردن و سوهان زدن هرگونه برآمدگی از سطوح مونتاژ و محل‌های انکربولت و ...
- ✓ دسترسی به شیم‌های آماده با کیفیت خوب جهت دستیابی به دقت همراستایی بالا
- ✓ قبل از مونتاژ سیستم/ابزار Alignment شافت به ماشین‌ها، نگاهی به Alignment کوپلینگ/شافت بیندازید. به خاطر داشته باشید چشمان شما اولین ابزار اندازه‌گیری شما هستند.
- ✓ بررسی نمایید که نشیمن پمپ/ موتور و ... نسبت به Base Plate تعامد داشته باشد (بررسی Soft Foot) و در صورت نیاز اصلاح گردد- صفحات بعدی را مشاهده نمایید.
- ✓ تعداد شیم‌ها را حداقل نگه دارید؛ یعنی در صورت امکان بیش از سه شیم زیر پایه‌ها/ دستک‌های ماشینری نباشد.
- ✓ در صورت نیاز Alignment اصلاح گردد تا اطمینان حاصل شود زمانی که ماشینری در شرایط آماده جهت بهره‌برداری است، شافت‌های آن با بیرینگ‌ها هم مرکز بوده و مطابق با تلرانس‌های سازنده همراستا شده‌اند.
- ✓ همیشه پیش از شروع Alignment، پیشنهاد سازندگان ماشینری را بررسی نمایید. ممکن است بدلیل نموّ حرارتی حین بهره‌برداری نیازمند offset خاصی در Alignment"سرد" باشد.
- ✓ اطمینان حاصل نمایید که پایپینگ متصل به ماشینری به خوبی ساپورت گذاری شده‌اند ولی در برابر انبساط‌های حرارتی قابلیت حرکت داشته باشند.

[4] Driven
[5] Pedestal

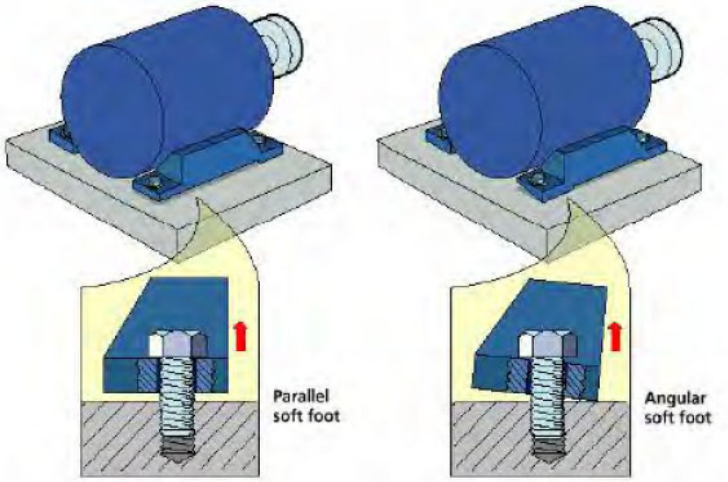


bijan.molaie@gmail.com

Bijan Molaie

## اندازه‌گیری و اصلاح "Soft Foot"

یکی از مولفه‌های اساسی هر فرآیند Alignment، تشخیص و اصلاح Soft Foot است. دقیقاً همانگونه که یک صندلی یا میز لق ایجاد عدم آسایش می‌کند، پایه‌ی لق یک ماشینری نیز موجب خنثی نمودن اثرات Alignment می‌گردد. ماشین در هر بار تلاش جهت Alignment، در حالت مختلفی قرار می‌گیرد و هر مجموعه از قرائت‌ها نشان دهنده‌ی این خواهد بود که ماشین هنوز نا همراستا است. علاوه بر این زمانی که پیچ‌های ماشین آچار کشی[6] می‌شوند؛ کرنش بر بدنه‌ی ماشین و محفظه‌ی بیرینگ اعمال می‌گردد. سه نوع Soft foot وجود دارد که دو مورد از آن در شکل ذیل آورده شده‌است:




Soft Foot موازی نشان می‌دهد که base plate و پایه‌ی ماشین با یکدیگر به صورت موازی فاصله دارند و براحتی با قرار دادن شیم در ضخامت مورد نظر قابل رفع است. Soft Foot Angular بدلیل زاویه‌ی مابین پایه‌های ماشین بوجود می‌آید. تشخیص و اصلاح این وضعیت بسیار پیچیده است. یک راه حل، استفاده از شیم‌های گوه‌ای به منظور پر کردن فضای بین base plate و پایه است؛ راه حل موثرتر ولی نیازمند زمان طولانی‌تر، برداشتن ماشین و سنگ‌زنی پایه‌ی تخت ماشین (یا اصلاح زوایه base plate) است.

### اندازه گیری Soft Foot

Soft Foot بکمک تکنیک‌های گوناگونی قبل از شروع به انجام Alignment قابل تشخیص است.

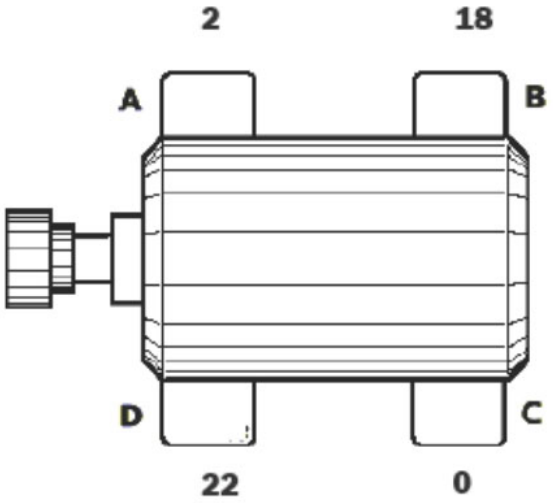
با استفاده از یک سیستم Alignment لیزری یکی از پایه‌های ماشین در یک زمان، سیستم Alignment میزان لیفت در هر پایه را می‌دهد. پایه‌ی مورد نظر قبل از پرداختن به پایه‌ی بعدی

[6] Bolt Down



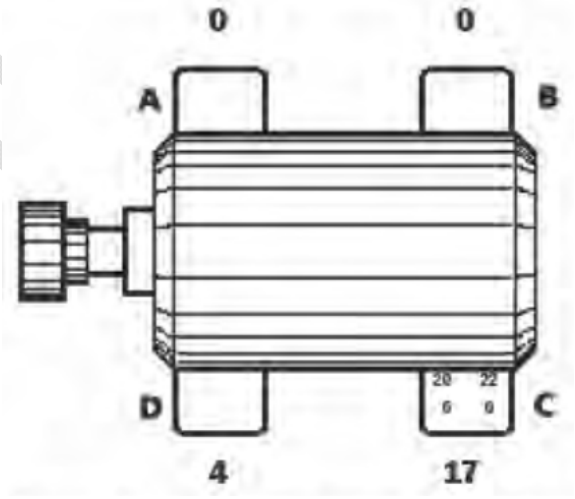
bijan.molaie@gmail.com

باید سفت گردد. با تعیین میزان Soft Foot همانگونه که د رذیل آورده شده است، امکان تنظیم ماشین مطابق با شرایط Soft Foot تشخیص داده شده وجود دارد.




این مثال مشکلات Soft Foot با پایه‌های لق B و D را نشان می‌دهد. شاید به نظر برسد که با شیم‌گذاری جفت پایه‌ها، این لقی حذف گردد ولی اشتباه خواهد بود. بهترین راه حل، شیم گذاری تنها یک پایه با بیشترین مقدار و چک نمودن مجدد تمامی پایه‌ها است.

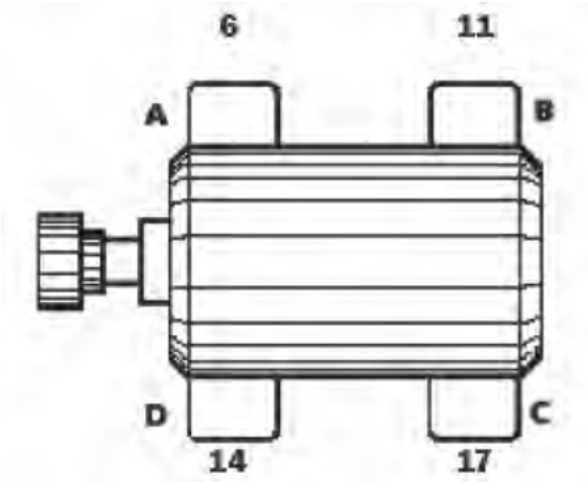
سایر مشکلات مربوط به Soft Foot می‌تواند شامل خمیدگی پایه، کرنش اعمالی از پایپینگ یا تاب‌خوردگی پایه بدلیل شیم‌گذاری بیش از حد زیر پایه‌های ماشین باشد. چند نمونه، در شکل-های پیش رو آورده شده‌اند.



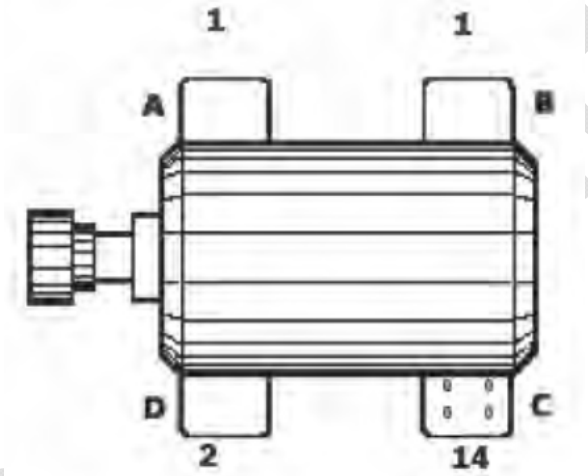

**مثال Soft Foot: خمیدگی پایه- شیم گذاری زیر پایه‌ی C و بررسی مجدد تمامی پایه‌ها**



bijan.molaie@gmail.com




**مثال Soft Foot: کرنش پایپینگ- حذف نیروهای خارجی**




**مثال Soft Foot: تاب خوردگی پایه- شیم‌گذاری تمامی پایه‌ها با حداکثر ۳ شیم و بررسی مجدد**

مراحل ذیل به منظور حذف Soft Foot پیشنهاد می‌گردد:

۱- چک نمودن تمامی پایه‌های ماشین، هر پایه که بالای 3.0 نشان بدهد، صحیح و مناسب است.

۲- بزرگترین (یا دو مقدار بزرگ در صورت یکسان بودن) Soft Foot را با فیلر گیج بررسی کنید تا نوع Soft Foot مشخص شود. بررسی کردن سایر پایه‌ها خللی در روند کار بوجود نمی‌آورد، ابتدا روی یافتن و بر طرف کردن بزرگترین مقدار Soft Foot تمرکز نمایید.

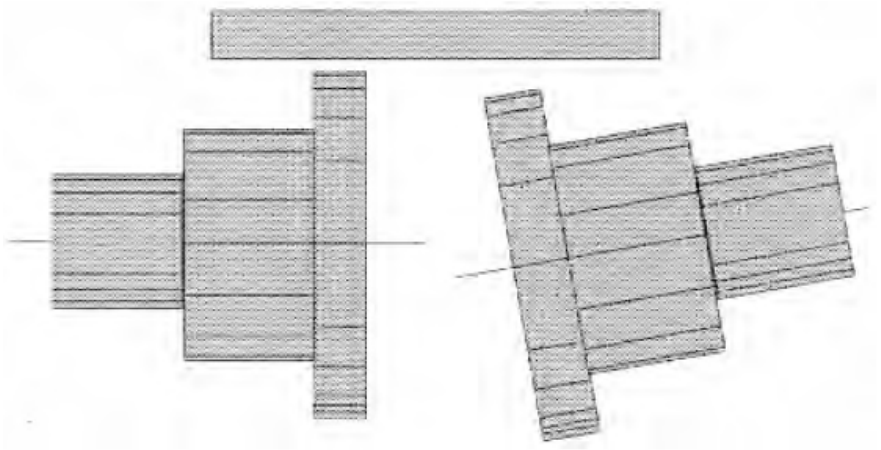
۳- شرایط تشخیص داده شده را تنها با شیم‌گذاری یکی از پایه‌ها اصلاح نمایید.

٤- اگر تمامی پایه‌ها در بازه‌ی تلرانس مجاز قرار داشتند، Alignment را شروع کنید.



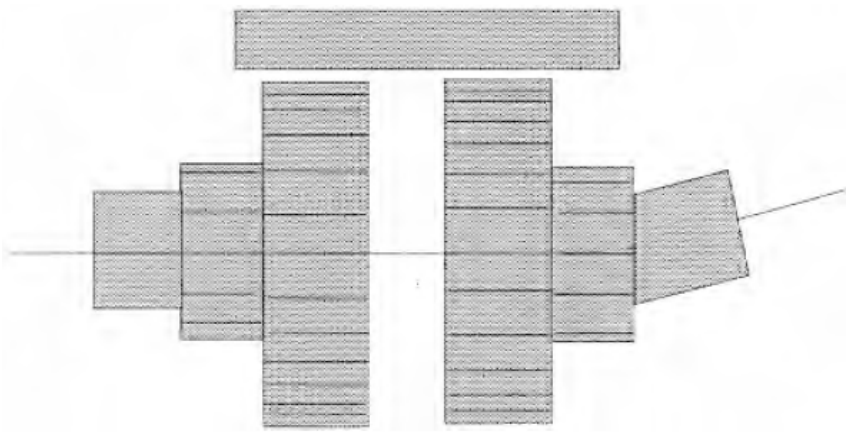
bijan.molaie@gmail.com

## لبه خط کش



این روش از Alignment شافت در بسیاری از واحدهایی که در آن کوپلینگ انعطاف‌پذیر بکار می‌رود استفاده می‌شوند که Alignment بصورت چشمی بررسی گردیده و ماشین آچار کشی می‌شود. این ابزار بسیار ارزان بوده و براحتی قابل تهیه است.

مقادیر اصلاحی برای پایه‌های ماشین معمولاً بر اساس تجربه‌ی فردی که Alignment را اجرا می‌کند، تخمین زده می‌شود و اغلب، اصلاح در پایه‌های ماشین قبل از تکمیل حالت "eyeball Alignmnet"، نیازمند فرایند سعی و خطاست. حتی اگر اطمینان داشته باشیم که Alignment تکمیل شده صحیح است. از آنجائیکه دقت چشم انسان محدود به 4.0 mils می‌گردد، دقت Alignment بالتبع محدود می‌شود. علاه بر این، بدون نیاز به بررسی‌های اضافه روی دقت نصب کوپلینگ روی شافت، رابطه‌ی مستقیم بین Alignment انجام شده و Alignment واقعی شافت‌های ماشین وجود ندارد.

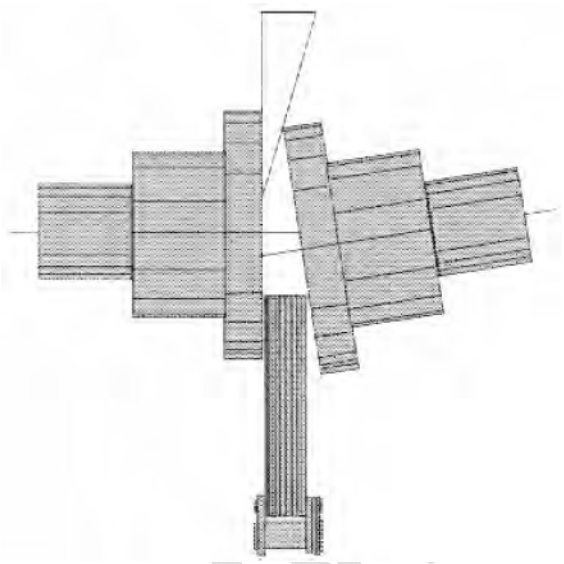




bijan.molaie@gmail.com

بهتر این است که این روش Alignment به عنوان Alignment کوپلینگ مطرح گردد نه Alignment شافت که پیش‌تر ذکر شد.

## فیلر گیج[۷]



هر چند فیلر گیج به عنوان روش "چشمی" Alignment شافت طبقه بندی شده است، ولی تحت شرایط خاصی می‌تواند برای برخی ماشین‌ها تقریباً قابل قبول باشد. در نصب و Alignment مجموعه‌های توربین که هاب کوپلینگ جزءِ بخش داخلی شافت روتور بوده و هیچ انعطاف پذیری ندارند، یک مهندس خبره‌ی توربین می‌تواند دو هاب کوپلینگ را با دقت بالا همراستا نماید ( همانطور که در بخش تلرانس‌های Alignment ذکر گردید، هیچ حد مجازی برای Offset یا gap برای نوع صلب کوپلینگ‌ها وجود ندارد).

با استفاده از فیلر گیج یا کولیس، یک مهندس می‌تواند براحتی و به دقت gap ما بین هاب‌های کوپلینگ را اندازه بگیرد. با چرخش ½ دور شافت ($180^o$) و بررسی مجدد، "gap" اندازه‌گیری شده تکرار می‌شود. این روند برای اندازه‌گیری Alignment افقی نیز تکرار می‌شود.

قرائت‌ها معمولاً به صورت گرافیکی ترسیم می‌شوند تا حالت Alignment و هر گونه اصلاح مورد نظر ایجاد گردد. در برخی موارد، مهندسین یک شافت را ۱۸۰ درجه می‌چرخانند و

[7] Feeler Gauge



bijan.molaie@gmail.com

قرائت‌های دیگری برداشت می‌کنند، سپس این قرائت‌ها به منظور حذف هر گونه خطاهای ماشین‌کاری شافت میانگین زده می‌شود.

بر روی ماشین‌هایی که المان‌های انعطاف‌پذیر در طراحی کوپلینگ بکار می‌رود، استفاده از فیلر گیج‌ها همانند روش لبه‌ی خط کش محدودیت‌هایی و تنها می‌تواند Alignment کوپلینگ را بیان می‌دارد.

Bijan Molaie



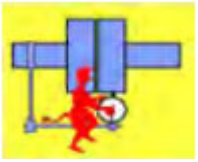
bijan.molaie@gmail.com

استفاده از ساعت‌های اندیکاتور برای محدوده‌ی وسیعی از عملیات Alignment شافت که یک المان کوپلینگ انعطاف پذیر دارند، بکار می‌رود. راهکار مناسبی در راستای Alignment دقیق است. چندین نحوه‌ی نصب برای سیستم ساعت وجود دارد که می‌تواند روی Alignment ماشین‌ها تاثیر بگذارد، در این بخش برخی از آنها را مرور خواهیم کرد؛ با این حال چند نکته وجود دارد که یک مهندس قبل از شروع به Alignment با ساعت اندیکاتور باید در نظر داشته باشد.

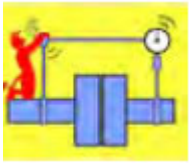
**افتادگی[1] براکت ساعت:** این مورد همیشه می‌بایست قبل از برداشت قرائت-های Alignment اندازه‌گیری شود- بستگی به این ندارد که چقدربراکت صلب باشد. به بخش مربوط به اندازه‌گیری Sag مراجعه کنید.

**اصطکاک داخلی/ هیسترزیس:** برخی اوقات به گیج‌ها می‌بایست ضربات کوچکی وارد نمود تا سوزن اندیکاتور بر روی مقدار نهایی خود ساکن شود.

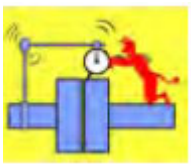
**دقت 1 mil:** بالاتر از 0.5 mil خطای قرائت ممکن است در هر قرائت رخ دهد. این مورد می‌تواند در چندین بار در یک مجموعه کامل قرائت‌ها ترکیب گردد.



**خطاهای قرائت:** زمانی که قرائت ساعت‌ها تحت شرایط سخت و محدودیت زمانی انجام می‌گیرد، خطاهای ساده‌ای می‌تواند رخ دهد.



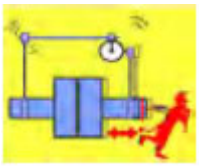
**بازی اهرم‌بندی مکانیکی:** مقادیر اندک بازی اهرم‌بندی می‌تواند مورد توجه نباشد ولی خطاهای قرائت بزرگی را ایجاد می‌کند.



**نوسان ساعت‌های اندیکاتور:** گیج ممکن است عمود بر سطح اندازه‌گیری نباشد به نحوی که بخشی از قرائت جابجایی محاسبه نگردد.



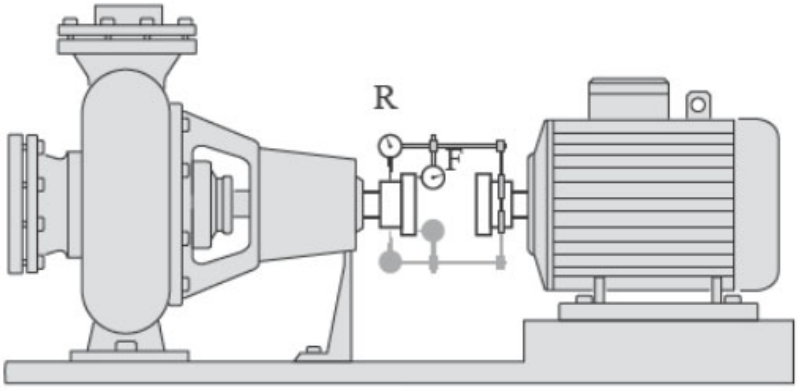
bijan.molaie@gmail.com



**بازی محور شافت:** این مورد روی قرائت‌های Face که انحراف زاویه‌ای سطوح هاب را اندازه‌گیری می‌گیرند، دخیل است مگر اینکه دو گیج در محور استفاده شود.

## روش Face & Rim – سعی و خطا

تفسیر قرائت‌های Alignment شافت با استفاده از ساعت‌های اندیکاتور، با لحاظ کردن عواملی همچون، افتادگی براکت، نیازمند فهم مقدماتی ریاضیاتی و هندسه دارد. در برخی موارد این مهارت‌ها محدود است و از رویه سعی و خطا استفاده می‌شود؛ یعنی جاییکه از افتادگی براکت و حرکت شافت[8] چشم پوشی می‌شود. علاوه بر این وقتی تنها یک شافت حین اندازه گیری چرخانده می‌شود بدلیل run-out کوپلینگ تاب شافت روی برداشت Alignment خطا ایجاد می‌کند.




شکل، طرح Face & Rim را نشان می‌دهد. اندیکاتورهای Face و Rim با کوپلینگ ماشین ثابت (مثلاً پمپ) تماس دارند. ساعت‌ها درموقعیت ساعت ۱۲:۰۰ روی صفر تنظیم می‌شوند و شافت ماشین متحرک نصف دور یعنی تا موقعیت ساعت ۶:۰۰ چرخانده می‌شود. نزدیک‌ترین پایه به کوپلینگ با اندازه‌ی نصف قرائت اندیکاتور بالا برده شود (یا پایین برده می‌شود). شیم‌ها مکرراً زیر دورترین پایه از کوپلینگ قرار می‌گیرند تا قرائت ساعت Face با دوران شافت تغییر نکند.

به همین ترتیب اندیکاتورها در موقعیت ساعت ۳:۰۰ روی صفر تنظیم می‌شوند و به منظور اصلاح در راستای افقی تا موقعیت ساعت ۹:۰۰ چرخانده می‌شود.

[8] Shaft Float

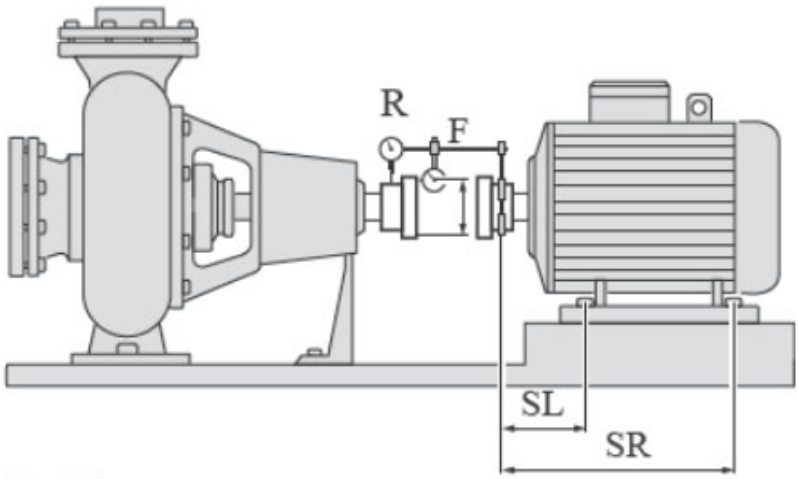


bijan.molaie@gmail.com

معمولاً بهتر این است که حین کاربرد این رویه، زیر پایه‌های عقب ماشین تعدادی شیم نازک قرار داده شود. معمولاً این روند سعی و خطا منتج به خطاهای نا همراستایی چشم‌گیری در صفحات انتقال کوپلینگ می‌گردد و تا جایی که ممکن است این روش با سایر روش‌های ساعت اندیکاتور و Alignment لیرزی جایگزین می‌گردد.

## روش Face & Rim – محاسبه

ابزار اندازه‌گیری برای این نوع Alignment، ساعت اندیکاتور می‌باشد. عقربه‌ی ساعت[9]، مقیاس-های موجود روی صفحه‌ی ساعت را نشان می‌دهد. وقتی پایه‌ی ساعت به سمت داخل فشرده می‌شود، عقربه‌ی ساعت می‌چرخد. تعداد مقیاس‌هایی که عقربه روی صفحه حرکت می‌کند، برابر فاصله‌ای است که پایه به داخل فشرده شده است. بطور مشابه وقتی پایه به سمت بیرون حرکت می‌کند، عقربه فاصله‌ی پیموده شده را نمایش می‌دهد. شمارش ساعت وقتی پایه بداخل می‌رود مثبت و زمانی که بیرون می‌آید منفی است.




R = Rim
F = Face
sL = Distance from the coupling center to left feet of right m'ce
sR = Distance from the coupling center to right feet of right m'ce.

Alignment بروش Face & Rim نام خود را از موقعیت‌های پایه‌ی اندیکاتور اندازه‌گیری برگرفته است. یک مجموعه متداول اندیکاتور Face & Rim در بالا آورده شده است.

[9] Dial Hand



bijan.molaie@gmail.com

وقتی مجموعه مونتاژ می‌شود، دو شافت همزمان چرخانده و ساعت‌ها در موقعیت‌های ۱۲:۰۰، ۳:۰۰، ۶:۰۰ و ۹:۰۰ قرائت می‌شوند.

## فرمول‌های محاسبه اصلاحات Alignment

برای چنین مجموعه‌ای، محاسبات Alignment در صفحه‌ی پایه‌ی اندیکاتور مطابق ذیل است:

$$VO = (R6 - R0 - RS)/2 \qquad VA = (F6 - F0 - FS)/dia$$

$$HO = (R9 - R3)/2 \qquad HA = (F9 - F3)/dia$$

که در آن:

R0: قرائت Rim در موقعیت ساعت ۱۲:۰۰

R3: قرائت Rim در موقعیت ساعت ۳:۰۰

R6: قرائت Rim در موقعیت ساعت ۶:۰۰

R9: قرائت Rim در موقعیت ساعت ۱۲:۰۰

F0: قرائت Face در موقعیت ساعت ۱۲:۰۰

F3: قرائت Face در موقعیت ساعت ۳:۰۰

F6: قرائت Face در موقعیت ساعت ۶:۰۰

F9: قرائت Face در موقعیت ساعت ۹:۰۰

dia: قطر دایره‌ای که توسط پایه‌ی اندیکاتور Face طی می‌شود.

RS: افتادگی (sagging) اندیکاتور Rim

FS: افتادگی اندیکاتور Face



bijan.molaie@gmail.com

S: فاصله از صفحه‌ی اندازه‌گیری (پایه‌ی اندیکاتور Rim) تا پایه‌ی ماشین (جلو یا عقب)؛ این مقدار می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

$$Shim = (F6-F0+FS)(s)/dia -(R0-R6+RS)/2$$
$$Move = (HA)(s)-HO$$
$$Move = (F9-F3)(s)/dia - (R3-R9)/2$$

اگر ساعت‌ها در موقعیت ۱۲:۰۰ صفر تنظیم و در ۶:۰۰ قرائت شوند، محاسبه شیم عبارت خواهد بود:

$$Shim = (F6+FS)(s)/dia + R6-RS/2$$

مقدار مثبت به معنای افزودن شیم و عدد منفی به معنای نیاز به برداشتن شیم است. اگر ساعت-ها در ۳:۰۰ صفر تنظیم و سپس در ۹:۰۰ قرائت شوند، محاسبه‌ی جابجایی[10] عبارت خواهد بود:

$$Move = (F9)(s)/dia + R9/2$$

عدد مثبت یعنی جابجایی به سمت ۳:۰۰

عدد منفی یعنی جابجایی به سمت ۹:۰۰

محاسبات شیم و جابجایی می‌بایست هر کدام دو بار، یکبار برای پایه‌ی جلو و یکبار برای پایه‌ی عقب انجام شود.

### اصل اعتبار سنجی قرائت اندیکاتور

مجموع قرائت‌های ساعت ۹:۰۰ و ۳:۰۰ می‌بایست برابر مجموع قرائت‌های ساعت ۶:۰۰ و ۱۲:۰۰ باشد. این اصل برای هر دو قرائت Face و Rim صادق است.

راستای CW (ساعتگرد) از انتهای MTBM (محرک) رو به STAT (متحرک) تعیین می‌شود.

$$Shim= (VA)s-V0$$

[10] Move



bijan.molaie@gmail.com

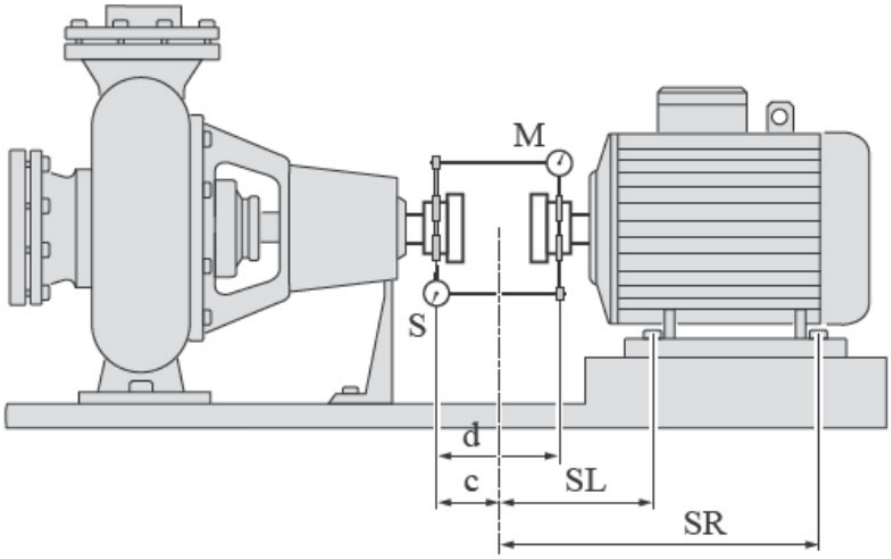
Bijan Molaie

### افتادگی براکت[11]

منبع اصلی خطا در رویه‌ی بالا، افتادگی میله‌ی spanner است. این خطا می‌تواند روی میزان شیم‌گذاری و به تبع آن روی ناهمراستایی تاثیر بگذارد. به منظور جبران این افتادگی آنرا اندازه بگیرید و قرائت sag را (می‌تواند مثبت یا منفی باشد) به قرائت‌های موقعیت ۶:۰۰ اضافه کنید. فرمول‌های پیش را ملاحظه نمایید.

### روش اندیکاتور معکوس[12] (ریورز) – محاسبه

روش اندیکاتور Reverse، روش Alignment پیشرفته‌تری با ساعت اندیکاتور می‌باشد به نحوی که توسط موسسه نفت و گاز آمریکا (API 686) توصیه شده است.




Alignment اندیکاتور Reverse نام خود را از موقعیت‌های دو اندیکاتور شعاعی معکوس یکدیگر واقع بر روی هاب‌های روبرویی کوپلینگ بر گرفته است. آرایش متداول این روش در شکل قبل نشان داده شده است.

پس از مونتاژ، دو شافت با یکدیگر چرخانده می‌شوند و ساعت در موقعیت‌های ۱۲:۰۰، ۳:۰۰، ۶:۰۰ و ۹:۰۰ قرائت می‌شوند.

[11] Sag
[12] Reverse Indicator



bijan.molaie@gmail.com

## فرمول‌های محاسبه Alignment اندیکاتور Reverse

برای این آرایش، نا همراستایی در فاصله‌ی مرکزی کوپلینگ‌ها عبارت است از:

$$VO = (S6-S0+SS)/2 - (S6-S0+SS +M6-M0-MS)C/2D$$

$$VA = (S6-S0+SS +M6-M0-MS)/2D$$

$$HO = (S9-S3)/2 - (S9-S3+M9-M3)C/2D$$

$$HA = (S9-S3+M9-M3)/2D$$

که در آن:

S0: قرائت Rim چپ در ساعت ۱۲:۰۰

S3: قرائت Rim چپ در ساعت ۳:۰۰

S6: قرائت Rim چپ در ساعت ۶:۰۰

S9: قرائت Rim چپ در ساعت ۹:۰۰

M0: قرائت Rim راست در ساعت ۱۲:۰۰

M3: قرائت Rim راست در ساعت ۳:۰۰

M6: قرائت Rim راست در ساعت ۳:۰۰

M9: قرائت Rim راست در ساعت ۹:۰۰

D: فاصله‌ی بین اندیکاتورهای چپ و راست

C: فاصله‌ی بین اندیکاتورهای چپ و مرکز فاصله‌ی بین هاب‌های کوپلینگ

SS: sag اندیکاتور Rim چپ (۱)

MS: sag اندیکاتور Rim راست (۱)

Bijan Molaie



bijan.molaie@gmail.com

(۱) این مقادیر می‌تواند مثبت یا منفی باشد

اصلاح در پایه‌ی راست ماشین می‌تواند طبق رابطه‌ی ذیل محاسبه گردد:

$$\text{Shim left feet} = (VA - sL) - VO$$
$$\text{Shim right feet} = (VA - sR) - VO$$

مقدار مثبت به معنای جابجایی به سمت ساعت ۳:۰۰ و مقدار منفی به معنای جابجایی به سمت ساعت ۹:۰۰ است.

$$\text{Shim left feet} = (VA - sL) - VO$$
$$\text{Shim right feet} = (VA - sR) - VO$$

sL: فاصله از مرکز کوپلینگ تا پایه‌ی چپ ماشین سمت راست

sR: فاصله از مرکز کوپلینگ تا پایه‌ی راست ماشین سمت راست

اگر اندیکاتورها در موقعیت ساعت ۱۲:۰۰ روی صفر تنظیم شوند، سپس در موقعیت ۶:۰۰ قرائت شوند، محاسبه‌ی شیم به شکل ذیل خواهد بود:

$$HO = (S9-S3)/2 - (S9-S3+M9-M3)C/2D$$
$$HA = (S9-S3+M9-M3)/2D$$

$$\text{shim left feet} = (S6-S3+M6-M3)(c+sL)/2D - (S6-SS)/2$$
$$\text{shim right feet} = (S6-S3+M6-M3)(c+sR)/2D - (S6-SS)/2$$

مقدار مثبت به معنای "افزودن شیم" و عدد منفی به معنای "حذف شیم" است.

اگر اندیکاتورها در موقعیت ساعت ۳:۰۰ صفر تنظیم گردند و سپس در موقعیت ساعت ۹:۰۰ قرائت شوند، محاسبات جابجایی به شکل ذیل خواهد بود:

$$\text{move left feet} = (S9+M9)(c+sL)/2D - S9/2$$
$$\text{move right feet} = (S9+M9)(c+sR)/2D - S9/2$$

مقدار مثبت به معنای جابجایی به سمت ساعت ۳:۰۰ و مقدار منفی به معنای جابجایی به سمت ساعت ۹:۰۰ است.



bijan.molaie@gmail.com

## اندازه‌گیری افتادگی براکت اندیکاتور

برای اندازه‌گیری میزان افتادگی براکت، کل Fixture (براکت، میله‌ها و اندیکاتورها) را روی یک قطعه از لوله بدون خمیدگی مونتاژ نمایید. Fixture را به نحوی تنظیم کنید تا در فاصله‌ی مورد نظر که قرار است بر روی ماشینری نصب شوند، مونتاژ گردند. بعلاوه، موقعیت اندیکاتورها تا حد ممکن نزدیک به حالتی باشد که روی ماشینری مونتاژ می‌شوند. با نگه داشتن اندیکاتورها در موقعیت ساعت ۱۲:۰۰، ساعت را صفر کنید. لوله را بچرخانید به نحوی که اندیکاتورها در موقعیت ساعت ۶:۰۰ باشند. قرائت‌ها را برداشت کنید (اندیکاتور Rim باید مقدار منفی داشته باشد، ولی اندیکاتور Face می‌تواند مثبت یا منفی باشد ولی می‌بایست نزدیک صفر باقی بماند).

هرگونه پیشنهاد سازنده تجهیز مبنی بر انبساط حرارتی ضمن بهره‌برداری می‌بایست در محاسبات شیم‌گذاری یا در قرائت ساعت‌های اندیکاتور لحاظ گردد.

Bijan Molaie



bijan.molaie@gmail.com

Alignment شافت توسط لیزر در اواسط دهه‌ی ۱۹۸۰ پس از معرفی OPTALIGN به عنوان اولین سیستم Alignment شافت لیزری کامپیوتری با کاربری تجاری توسط "Prueftechnik" محبوبیت پیدا کرد. به رغم هزینه‌ی بالای آن، به سرعت بازار خود را نزد شرکت‌ها و متخصصین مکانیک در طیف وسیعی از فرایندهای صنعتی در سرتاسر جهان گشود.

OPTALIGN مزایای چشم‌گیری در دستیابی به Alignment سریع و دقیق ماشین‌های دوار کوپل شده دارد. از زمان معرفی اولین سیستم، توسعه‌ی تکنولوژی لیزر و ریزپردازنده‌ها، نسل جدیدی از سیستم‌های لیزر پیشرفته را ارائه داده که کاربری آسان و قابلیت کار با منوهای راهنما را داشته و بصورت مجازی برای Alignment هر گونه شافت، بدون توجه به سایز یا پیچیدگی شافت استفاده می‌شود.

همانطور که در بخش قبل دیدیم، هنگام استفاده از روش‌های مکانیکی Alignment شافت، می‌بایست ملاحظات چندی رعایت می‌شد؛ علاوه بر این محاسبات اصلاح Alignment می‌تواند پیچیده و زمینه ساز خطا باشد. هیچ یک از ملاحظات شامل روش Alignment لیزری شافت نمی‌گردد. دستیابی به Alignment دقیق شافت و مزایایی که به دنبال دارد (بخش بعد را ببینید) با استفاده از Alignment لیزری شافت مقدور خواهد بود.

برخی از مزایای پیشنهاد شده توسط سیستم‌های لیزری در اینجا آورده شده‌اند:

- Alignment دقیق بدون هیچ گونه نیاز به انجام محاسبات عددی یا گرافیکی
- نمایش گرافیکی نتایج Alignment در صفحات انتقال قدرت کوپلینگ و شیم‌گذاری و اصلاحات مورد نیاز در پایه‌های ماشین
- عدم نیاز به Fixture مکانیکی- عدم وجود افتادگی براکت
- عدم نیاز به دمونتاژ کوپلینگ بدلیل تاثیر گذاری روی Alignment
- عدم نیاز به برداشت قرائت‌ها در موقعیت‌های از پیش تعیین شده مانند موقعیت‌های ساعت ۱۲:۰۰، ۳:۰۰، ۶:۰۰ و ۹:۰۰. نتایج می‌تواند در کمتر از ۹۰ درجه چرخش شافت بدست آیند.
- قابلیت ذخیره‌ی اطلاعات و چاپ نتایج به منظور ارائه‌ی گزارش حالت Alignment



bijan.molaie@gmail.com

BijanMolaie

- دقت کالیبراسیون بالای سیستم لیزری مطابق با الزامات ISO 9000
- سیستم براکت‌های استاندارد[13] با قابلیت پوشش دهی تمامی انواع کاربردهای Alignment. عدم نیاز به براکت‌های خاص[14] برای شافت spacer های طویل
- رابط راهنمای کاربری امکان استفاده از محدوده‌ی وسیعی از کاربردهای مهندسی را فراهم می‌آورد.
- نمایش دینامیک و پویای اصلاحات قائم و افقی Alignment حین تنظیم ماشینری
- تحلیل تلرانس و Alignment داخلی جهت بررسی دقت Alignment

با داشتن برخی از مزایا و فوایدی که از اجرای Alignment شافت با سیستم‌های لیزری بدست می‌آید، ایجاد قابلیت خاص سیستم Alignment که منطبق با الزامات کاربر است، اهمیت دارد.

به عنوان حداقل، سیستمی که شما انتخاب می‌کنید می‌بایست قابلیت‌های ذیل را داشته باشد:

- **کالیبره شدن بر اساس استانداردهای شناخته شده**. خرید سیستمی برای Alignment شافت دقیق که نمی‌تواند دقت تعیین شده را اندازه‌گیری نماید بی فایده است.
- **دقت بالا و قابلیت تکرار پذیری**. دقت ضعیف بسادگی روی مقادیر اصلاحی ایجاد خطا می‌کند. قابلیت تکرارپذیری بالا به معنای این است که اندازه‌گیری‌های کمتری برای دستیابی به داده کافی جهت محاسبه‌ی نتایج دقیق نیاز است.
- **آسیب پذیری کم، ضد آب، ضد ضربه و مقاوم در برابر گرد و غبار**. یک محفظه‌ی آسیب ناپذیر بدین معناست که با استفاده در شرایط رطوبت، مشکلی رخ نخواهد داد. ابزارهایی با آسیب پذیری کم با آب بند تضمین شده معتبر بر اساس استانداردهای IP به شما امکان کار کردن در شرایط بد را می‌دهد.
- **قابلیت بازیابی مقادیر اندازه‌گیری شده**. بازیابی این امکان را به شما می‌دهد که براحتی پروسه Alignment را پس از رخ دادن خطا یا شروع کار در وعده‌ی کاری جدید کاربر نیاز به وارد کردن ابعاد و اهداف نداشته باشد، حتی نتایج اندازه‌گیری می‌تواند ذخیره گردد.

[13] Universal
[14] Christmas Tree



bijan.molaie@gmail.com

- **قابلیت گسترش اندازه‌گیری**. قابلیت گسترش محدوده سیستم Detect (تشخیصگر) لیزر این اطمیان را می‌دهد که هیچ اهمیتی ندارد که ناهمراستایی اندازه‌گیری شده توسط سیستم لیزر با Alignment تداخل داشته باشد. سیستم‌های Detect استاتیک امکان اندازه-گیری ناهمراستایی ناخالص روی شافت‌های spacer طویل یا متوسط را نمی‌دهند. حتی اگر مشکلی با اندازه‌ی صفحه‌ی Detect نداشته باشند (نکته بعد را ملاحظه نمایید).
- **پایه‌ی استاتیک قابل تعویض**. قابلیت تغییر پایه‌ی استاتیک، انعطاف‌پذیری بیشتری به مهندس می‌دهد و امکان سر و کار داشتن با پایه‌ی Bolt Bound روی MTBM بدون نیاز به اندازه‌گیری مجدد با محاسبات پیچیده؛ هر گونه گزینه‌های دیگر جابجایی ماشین می‌تواند نشان داده شود.
- **مناسب بودن براکت‌ها**. محدوده‌ی وسیعی از براکت‌ها به معنای این است که ابزار اندازه-گیری می‌تواند حتی برای بدترین حالات ماشین‌ها به سرعت و براحتی تطبیق داده شود.
- **تلرانس‌ها**. تعبیه‌ی محدوده‌ی مجاز تلرانس‌های Alignment از پیش تعیین شده، باعث صرفه‌جویی در زمان هزینه می‌شود. زمانی برای جابجایی‌های غیر ضروری ماشین هدر نمی‌رود. بررسی خودکار تلرانس دستیابی به یک Alignment عالی یا قابل قبول را نشان می‌دهد.
- **ایجاد گزارش مستقیم از دستگاه**. گزارش‌دهی مستقیم به معنای امکان گرفتن گزارش سریع از هر چاپگر با امکان درج شماره سریال، تاریخ، زمان و نام اپراتور روی گزارش است که امکان انطباق با الزامات ISO 9000 را دارد.

Bijan Molaie



bijan.molaie@gmail.com

## اصول پایه‌ای عملکرد سیستم‌های لیزری

در کل دونوع سیستم لیزری وجود دارد، یکی که از تک شعاع تابیده شده روی یک Detect یا روی یک بازتابنده[15] بهره می‌گیرد که شعاع تابیده شده را به Detect لیزر بر می‌گرداند، نوع دیگر این سیستم دارای دو لیزر با Detect های داخلی هستند. سیستم تک لیزر اولیه، سیستم به ثبت رسیده توسط Prueftechnik و سیستم‌های دو لیزری توسط سایر سازندگان این سیستم‌ها ارائه می‌شود.

سیستم تک لیزری همانگونه که در بالا نشان داده شد مزایای چندی دارد که می‌تواند به منظور بهبود کاربری و تطبیق سیستم Alignment کمک نماید.

- **قابلیت تعمیم اندازه‌گیری**. فقط یک داده لیزر به این معناست که به صورت دینامیک و پویا، امکان گسترش محدوده‌ی Detect سیستم جهت ترکیب کردن ناهمراستایی ناخالص وجود دارد- توضیح بعد را ببینید.
- **قابلیت Alignment مجزا**. یک لیزر اجازه Alignment ماشین‌هایی را که دارای spacer یا کوپلینگ در محل نیستند را می‌دهد، هر ماشین می‌تواند مستقل چرخانده شود. این ویژگی وقتی مفید است که کوپلینگ‌های سیال یا کوپلینگ‌های spacer بزرگ بکار روند و هنگام همراستا سازی ماشین‌های بزرگ مانند توربین‌ها یا وقتی که یک یا دو ماشین براحتی نمی‌توانند به چرخش درآیند، کارآمد خواهد بود.

[15] Reflector



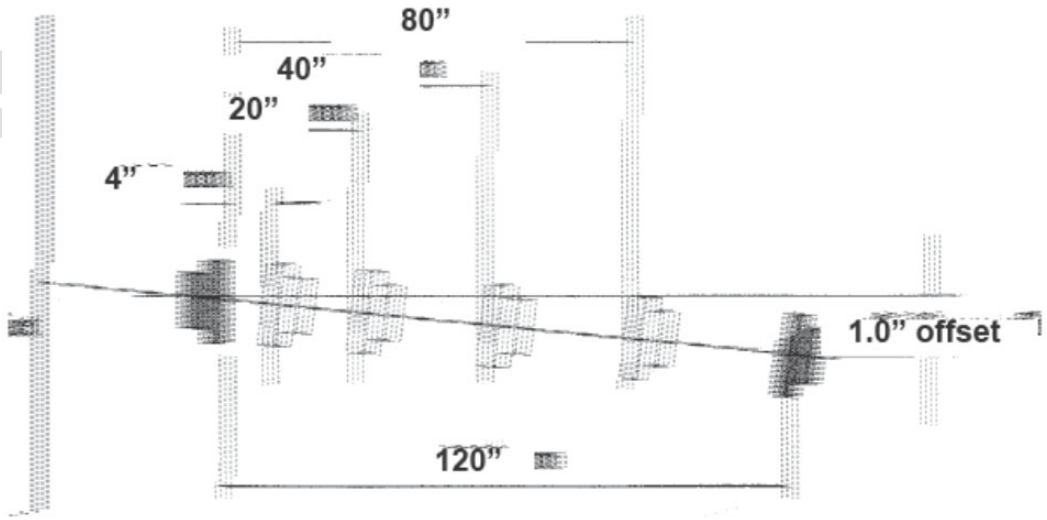
bijan.molaie@gmail.com

- **تکنولوژی تک کابلی**. تنها یک (یا حتی هیچ) کابل نیاز است. این مزیت بویژه زمانی مفید است که برای شافت spacer های طویل روی تجهیزاتی مانند محرک‌های برج خنک کن استفاده می‌شود و کابل‌های بلند بدلیل تاب خوردن می‌تواند روی اندازه‌گیری Alignment تاثیر بگذارد.
- **نیاز به فقط یک لیزر جهت تنظیم**. روی شافت spacer های طویل یا ماشین‌های بزرگ، مونتاژ تنها با یک موقعیت ثابت داده جهت تنظیم بسیار راحت‌تر خواهد بود.

## قابلیت تعمیم اندازه‌گیری

حتی ناهمراستایی متوسط نیز به سرعت باعث از محدوده خارج شدن شعاع نوری شده حتی از بزرگترین Detect ها می‌گردد. بنابراین ضروری است که سیستم لیزر شما قابلیت تعمیم دینامیکی و پویای صفحه سنسور را در صورت نیاز داشته باشد. اندازه‌ی بزرگتر Detect به تنهایی کاربردی نیست.

در اینجا نمونه‌ای از محرک برج خنک‌کننده با کوپلینگ شافت spacer به طول ۱۲۰ inch آورده شده است. Offset بین شافت‌های محرک و متحرک، حتی با کوچکترین offset زاویه‌ای بین شافت می‌تواند قابل ملاحظه باشد.




طرح قبلی، محدودیت اعمال شده توسط طول‌های کوپلینگ spacer طویل را نشان می‌دهد.



bijan.molaie@gmail.com

به عنوان مثال ساده، وقتی نا همراستایی Angular بین کوپلینگ‌ها 0.5 درجه تنظیم شود، بدان معناست که برای کوپلینگ کوتاه با طول ٤ inch، offset برابر ٣٤,٨ mils بین محور مرکزی کوپلینگ رخ می‌دهد. این offset براحتی با هر سیستم لیزری قابل اندازه‌گیری است. اگر فاصله‌ی بین Face های کوپلینگ تا ٢٠ inch افزایش یابد، offset برابر ١٧٤ mils خوهد بود که خارج از محدوده‌ی بسیاری از سیستم‌های Detect استاتیک است.

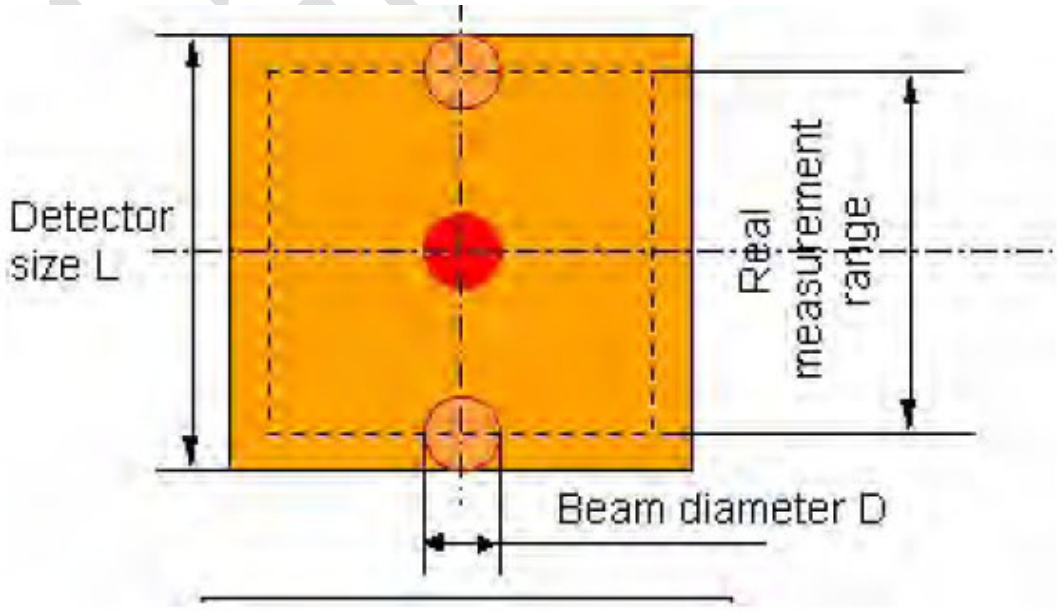
حال اگز فاصله تا ٤٠ inch افزایش یابد، offset به ٣٤٨ mils می‌رسد.

هر چه قدر فاصله‌ی کوپلینگ spacer بالاتر می‌رود، offset نیز مثلاً در ١٢٠ inch به ١ inch می‌رسد.

Offset بزرگتر تنها توسط محدوده‌ی گسترده‌ای از Detector قابل اندازه‌گیری است، زیرا نیازمند سطح استاتیک Detect تقریبی ٢,٤inch برای انطباق با این offset است.

دلیل چنین Detector بزرگی در ذیل آورده شده است:

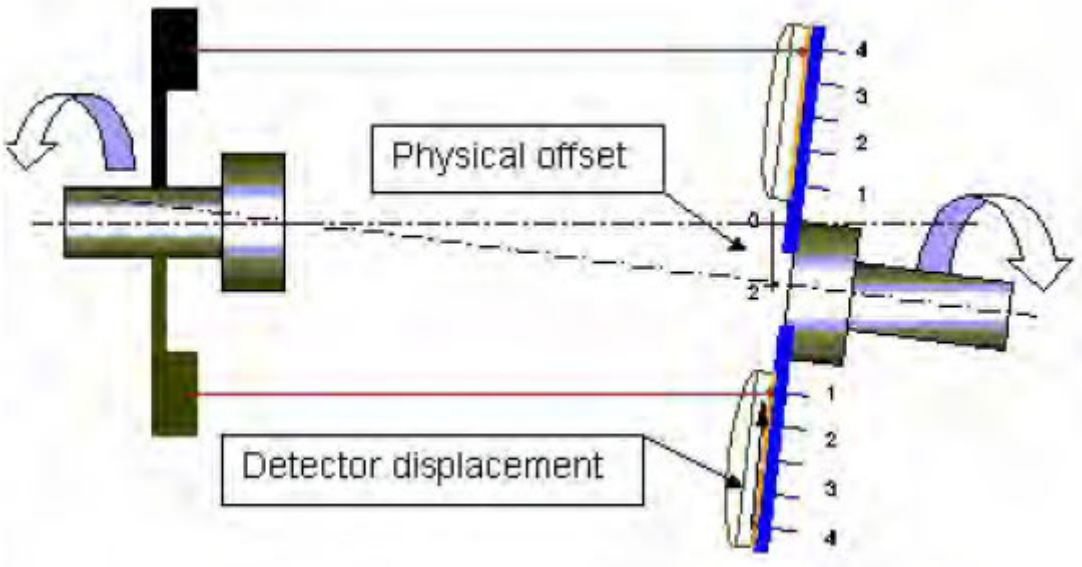
سطح کار Detector کمتر از سطح فیزیکی آن است. برای مثال اگر سطح Detector برابر mils ٧٩٠ مربع و قطر لیزر ١٥٧ mils، بنابراین حداکثر محدوده‌ی قابل استفاده همانند شکل زیر برابر ٦٣٠ mils خواهد بود.






bijan.molaie@gmail.com

به منظور اندازه‌گیری offset، محدوده‌ی Detector سیستم باید دو برابر مقدار offset باشد. با یک گیج ساعت، دریافت کننده‌ی[16] لیزر دو برابر offset فیزیکی دو شافت را مطابق شکل ذیل اندازه می‌گیرد.




جهت اندازه‌گیری offset فیزیکی ۸۰ mils نیاز به محدوده‌ی اندازه‌گیری ۱۶۰ mils برای Detector هستیم.

[16] Receiver



bijan.molaie@gmail.com

## صرفه جویی هزینه‌ها با Alignment لیزری شافت

پروژه‌ای به منظور بررسی تاثیر ناهمراستایی روی میزان مصرف توان در واحد پالایشگاهی توسط یک دانشجوی مقطع لیسانس در پالایشگاه فرآیندی درانگلستان انجام شده است. مطالعه بر اساس یک دوره بازه‌ی زمانی شش هفته‌ای در محیطی کنترل شده که بدقت شرایط کاری عادی در پالایشگاه را منعکس می‌کند، صورت گرفت.

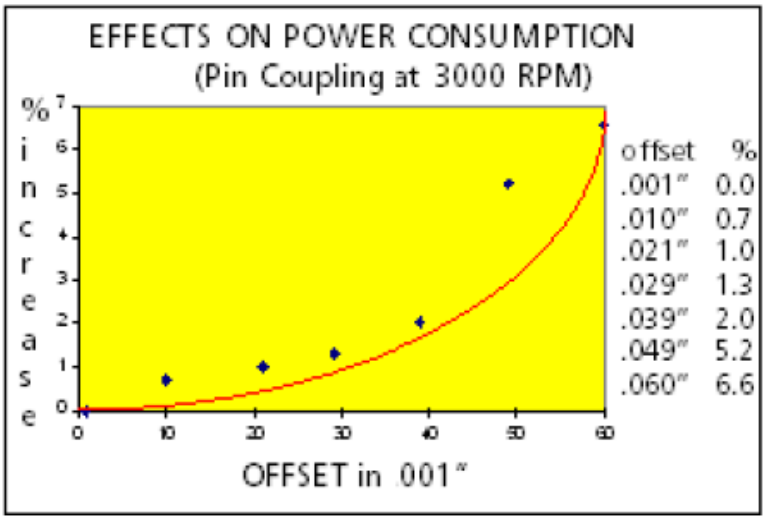
یک پمپ ۷٫۵ kW در این پالایشگاه انتخاب شده است. قبل از شروع پروژه، پمپ و موتور به منظور تعویض بیرینگ به محل کارگاه منتقل شدند تا از عدم وجود هر گونه عوامل خارجی دخیل در نتایج پروژه اطمینان حاصل شود. Plate ها و جک بولت‌ها به منظور امکان تنظیم حالت Alignment به Base Plate موتور نصب می‌شوند. مجموعه‌ی پمپ جهت سیرکولاسیون آب در سیستم پایپینگ بسته با موتور ۳۰۰۰ rpm (۱٪ ± بدلیل تغییرات در شرایط بار) و پمپ و موتور در ابتدا با تنظیمات gap و offset برابر 0.00 در جهات افق و قائم نصب شده‌اند. سیستم در این شرایط برای چند روز بهره‌برداری شد و جریان کشیده شده توسط موتور هر چند ساعت یکبار از تابلوی کنترل قرائت شد. طی دوره آزمایش، Alignment ماشین‌ها در بازه‌ی عملکرد ناهمراستایی تنظیم شدند تا مجموعه‌ای از داده‌ها با جریان اندازه‌گیری شده در بازه-های منظم بدست آید.

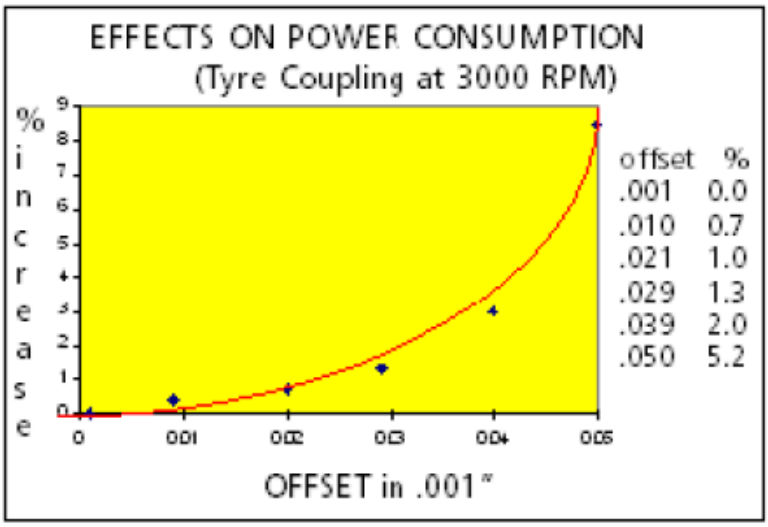
دو نوع کوپلینگ‌های بکار رفته در سایت، کوپلینگ‌های "pin" و "tire" بودند. به منظور بدست آوردن تصویر منطقی از پتانسیل صرفه‌جویی که می‌توانست در پالایشگاه حاصل شود، هر دو نوع کوپلینگ با مقدار ناهمراستایی یکسان نصب شده و جریان برای هر نوع کوپلینگ اندازه‌گیری شده است.

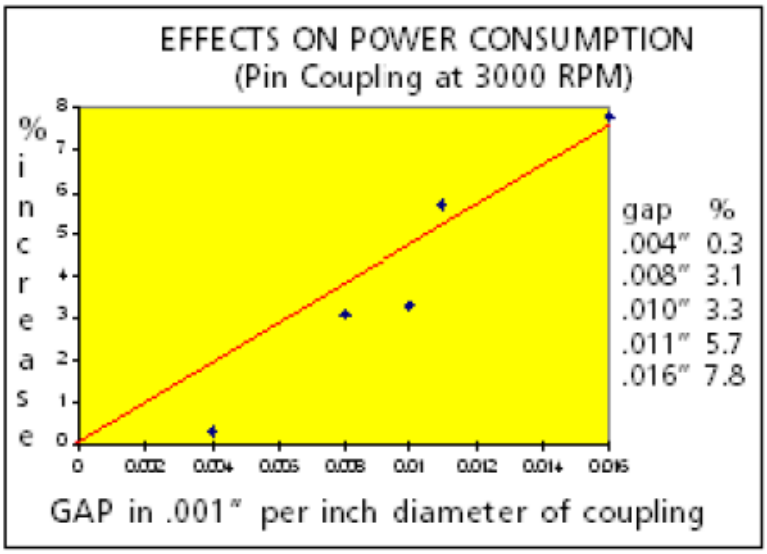
نتایج مطالعه در گراف‌های پیش رو آورده شده‌اند. ناهمراستایی ناشی از offset روی مصرف توان بیشتر از angularity تاثیر می‌گذارد، وتوان مصرفی کشیده شده توسط کوپلینگ نوع "pin" بیش از کوپلینگ "tire" است. مولفه‌های ناهمراستایی بدون توجه به مولفه‌ی قائم یا افقی بر میزان توان مصرفی تاثیر خواهد گذاشت.



bijan.molaie@gmail.com

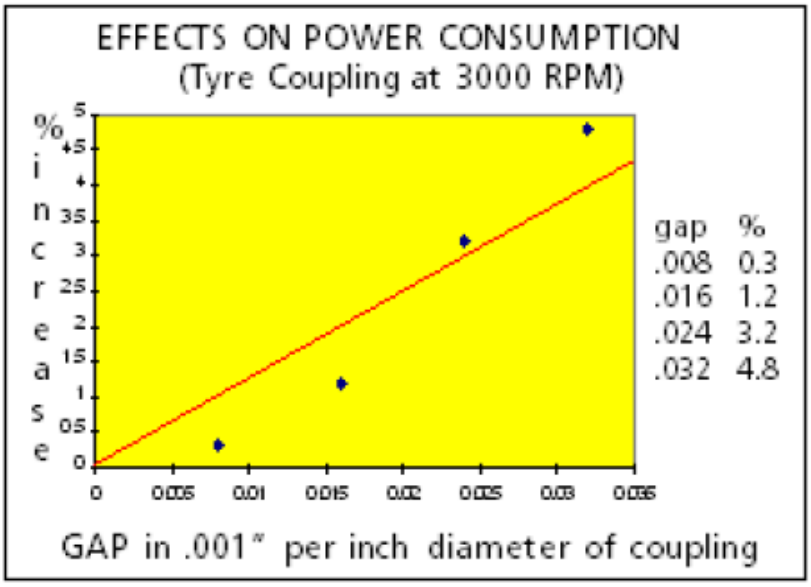


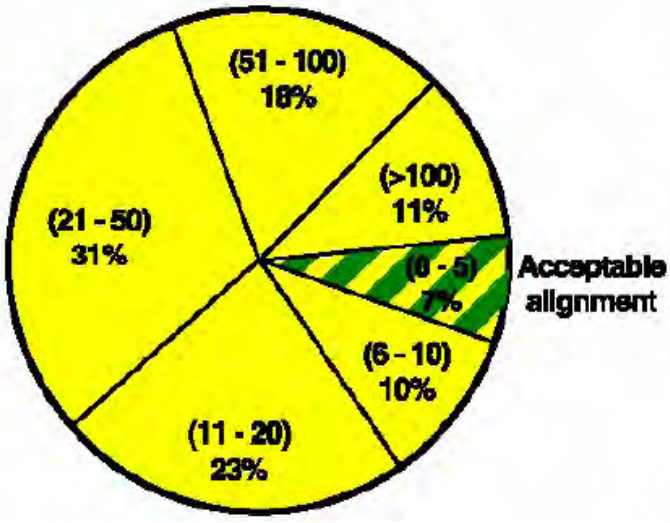



bijan.molaie@gmail.com




از این پروژه می‌توان نتیجه گرفت که ترجیحاً پیشنهاد می‌شود همراستایی ماشین‌ها برای offset با 0.005 inch و برای angularity با تلرانس 0.0005 inch بازای هر inch قطر کوپلینگ انجام شود.

به منظور تخمین پتانسیل صرفه‌جویی هزینه که می‌توانست بر اساس این استاندارد جدید در سایت بدست آید، نمونه‌ای از ماشین‌ها به منظور تعمیم ناهمراستایی موجود در پالایشگاه اندازه-گیری شدند. نمودار ذیل یافته‌های این تحقیق را نمایش می‌دهد.




Offsetشافت در 1/100 mm در مرکز کوپلینگ برای ۱۰۰ نمونه ماشین طی بهره‌برداری در ۳۰۰۰ rpm

کمتر از ۱۰٪ ماشین‌های اندازه‌گیری شده در سایت، مطابق با استاندارد Alignment بودند.



bijan.molaie@gmail.com

با استفاده از نمودار Pie Chart، نمایش از offset میانیگین ۰,۳۵ mm به عنوان یک طرح منطقی برای محاسبه‌ی پتانسیل ذخیره توان در پالایشگاه تخمین زده می‌شود. با در نظر گرفتن اینکه توان مصرفی برای تجهیز دوّار در محدوده‌ی ۳۰ MW باشد، تخمین ذیل برای صرفه‌جویی توان بدست می‌آید:

با فرض نرخ برق ۰,۰۶ $ بازای هر kW و ضریب ۰,۷۵ ٪ برای کاهش توان (محافظه کارانه) خواهیم داشت:

30,000 kW x 0.75% x $0.06 / kWh = $13.50 per hour

or $101,360. – per year!

Bijan Molaie

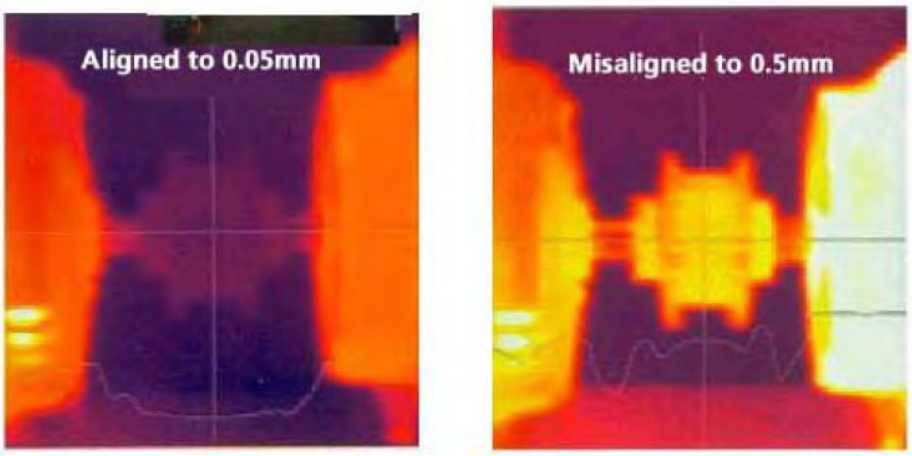


bijan.molaie@gmail.com

## Alignment لیزری شافت عمر کاری بیرینگ و آب بند را افزایش می‌دهد

مطالعه‌ای از سوی موسسه‌ی Infraspection در ایالات متحده در زمینه‌ی ارزیابی تاثیر ناهمراستایی روی قطعات کلیدی ماشین مانند بیرینگ‌ها، آب بندها و کوپلینگ‌ها انجام گرفته است.

در مجموعه‌ی تست‌ها، ناهمراستایی روی مجموعه‌ی پمپ- موتور تکمیل شده است. در هر بازه‌ی ناهمراستایی جدید، تصاویر ترموگراف به منظور تعیین درجه افزایش دما درقطعات کلیدی انجام گرفته است. تست‌ها برا محدوده‌ی وسیعی از انواع کوپلینگ‌های انعطاف‌پذیر گرفته شده‌اند. بدون استثنا تمامی کوپلینگ‌ها و محفظه‌ی ماشین و بیرینگ‌ها (و البته آب‌بندها) افزایش دمای چشم‌گیری را نشان می‌دهند. شکل ذیل، اثر ناهمراستایی روی قطعات را وقتی که مجموعه ماشین بر اساس ۲ mils ± تنظیم شده و نیز زمانی که نا همراستایی به ۲۰ mils+ می‌رسد را نشان می‌دهد.




Aligned to +/- 2 mils  Aligned to + 20 mils

نه تنها المان‌های انعطاف‌پذیر کوپلینگ نموّ گرما را نشان می‌دهند، بلکه خود ماشین‌ها نیز افزایش دمایی قابل ملاحظه‌ای در اطراف محفظه‌ی بیرینگ‌ها نشان می‌دهند. نه بیرینگ‌ها و نه آب‌بندها هیچ کدام برای عملکرد در دماهای بالا ناشی از ناهمراستایی برای مدت زمان طولانی طراحی نشده‌اند. نتیجه‌ی حتمی عملکرد آنها در این شرایط خرابی دائمی و کاهش عمر بهره‌برداری ماشین خواهد بود.

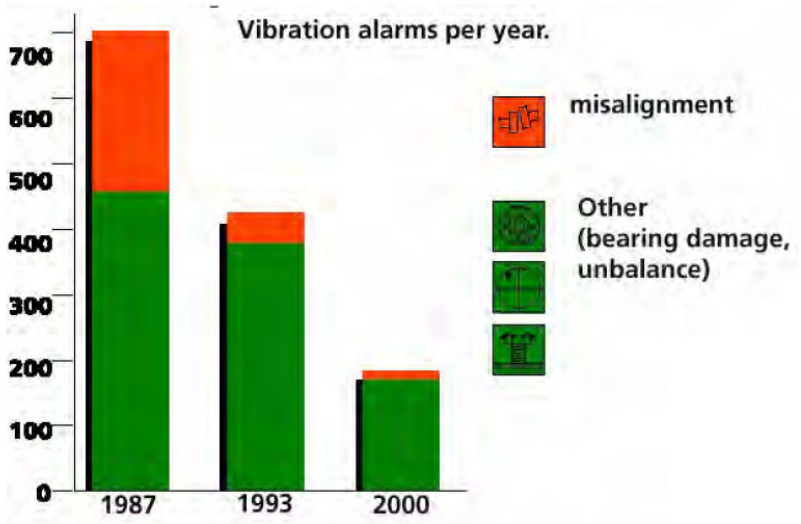


bijan.molaie@gmail.com

## Alignment لیزری شافت آلارم‌های Vibration را کاهش می‌دهد

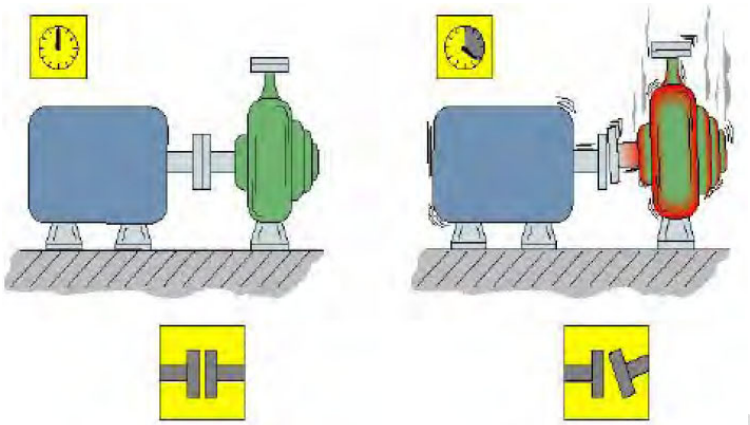
طی دوره‌ی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰، پالایشگاه‌های بزرگ نفتی انگلستان، Alignment لیزری شافت را به عنوان خط مشی استاندارد برای تمامی ماشینری دوّار کوپل شده پذیرفته‌اند. آنها از سیستم Prueftechnik OPTALIGN و بعد سیستم ROTALIGN استفاده کرده‌اند. طی این دوره، دریافته‌اند که چگونه از این سیستم می‌توان به کاهش آلارم‌های Vibration کمک نمود. آلارم-هایی که باعث توقف واحد بدلیل "ناهمراستایی" و "سایر" مشکلات مانند آسیب بیرینگ، نابالانسی و لقی مکانیکی می‌گردد.

گراف تهیه شده به وضوح کاهش چشم‌گیر آلارم خطاهای ناشی از مشکلات مربوط به Alignment را بدون در نظر گرفتن جزئیات سایر موارد نشان می‌دهد.






bijan.molaie@gmail.com



در تمامی موارد در این هندبوک، فرض کرده‌یام که فقط حالت Alignment سرد مطرح است. با این حال، برای مجموعه‌های بزرگ و برای تجهیزاتی که یکی از قطعات ماشین در دماهای بالا عمل می‌کند، در نظر گرفتن اثرات انبساط (یا انقباض) روی حالت Alignment ماشین ضروری است. اگر این حالت Alignment در شرایط کاری نرمال مجموعه‌ی ماشین تغییر یابد، نکات چندی جهت Alignment مجموعه ماشین در حالت سرد وجود دارد. راهکارهایی برای تثبیت Alignment نهایی یا حالت Alignment بهره‌برداری وجود دارد:

- ✓ سازندگان ماشین می‌بایست بتوانند اطلاعات offset حرارتی را ارائه دهند.
- ✓ محاسبه‌ی تجربی بر اساس ضریب انبساط حرارتی مواد خاص بازای واحد طول ارتفاع خط مرکزی بازای تغییر درجه حرارت (صفحه‌ی بعد را ببینید).
- ✓ اندازه‌ی در لحظه‌ی حالت Alignment سرد تا گرم با استفاده از ابزار اندازه‌گیری Alignment تماسی یا غیر تماسی

تخمین یا محاسبه‌ی تغییر موقعیت Alignment به روش‌های ساده امکان‌پذیر نیست. در سیستم-های ماشین پیچیده همچون کمپرسورها که تعداد قطعات هر کدام با تغییر گرادیان دما نموّ حرارتی دارند، محاسبات بسیار پیچیده خواهد بود. در این موارد اندازه‌گیری On-line (لحظه به لحظه) قطعات ماشین معمولاً ضروری است.

## محاسبات نموّ حرارتی

اگر راستای نشر حرارت معین باشد، ماشین‌های می‌توانند به صورت هدفمند ناهمراستا تنظیم گردند تا با نموّ حرارتی در موقعیت خود قرار گیرند و منتج به حالت Alignment خوب طی



bijan.molaie@gmail.com

عملکرد نرمال گردند. OPTALIGN Smart، SHAFTALIGN و ROTALIGN Ultra در برگیرنده‌ی تابع خاصی است که بصورت ویژه برای چنین اهداف Alignment تعبیه شده‌اند. اغلب اهداف برای Alignment سرد عموماً از پیشنهادات سازندگان بدست می‌آید. وقتی این اطلاعات موجود نباشد، محاسبات پیش رو به منظور ایجاد نموّ حرارتی راهگشا خواهد بود:

$$DL=L(c)(DT)$$

که در آن:

DL: انبساط حرارتی

L: ارتفاع خط مرکزی تا پایه‌ی ماشین

c: ضریب انبساط حرارتی متریال مورد نظر (برای آهن "0.0000059)

DT: تغییر دمای محیط

برای مثال:

پمپی جهت پمپاژ سیال در ۳۰۰ F، فاصله‌ی پایه (Base) تا ارتفاع خط مرکزی، "۲۶ و دمای محیط ۵۰ F را در نظر بگیرید

DL = L (a) (DT)

DL = 26 inches (.0000059) x (300-50)

= 26 inches (.0000059) x 250 = .038 inches

*(برخی سیستم‌های Alignment لیزری پیشرفته مانند ROTALIGN Ultra این محاسبات را برای شما انجام می‌دهند)*

با این حال، انبساط حرارتی تنها عامل جابجایی تغییر موقعیت نیست. عوامل زیادی می‌تواند روی دقت نتیجه‌ی نهایی تاثیر بگذارد که عبارتند از:

- انبساط حرارتی ساپورت‌های بیرینگ
- تغییر نیروهای محوری یا شعاعی



bijan.molaie@gmail.com

- تغییر ضخامت فیلم روغن بیرینگ
- تغییر ساپورت‌های فونداسیون یا Base Plate
- تغییر نیروهای اعمالی پایپینگ

Bijan Molaie



bijan.molaie@gmail.com

Bijan Molaie



bijan.molaie@gmail.com