تلرانسهای هندسی در مهندسی معکوس و تهیه نقشه های ساخت قطعات تجهیزات دوار صنایع نفت و گاز

فرهاد سجاجید[1]، عباس صیادی[2]، فرشاد رضا زادگان[3]
شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی-فاز۱-کارگاه مرکزی ساخت و تعمیرات
farhad_sajajid@yahoo.com

چکیده

در این مقاله به مدیریت فرآیند های مهندسی معکوس، تهیه شناسنامه و اسناد فنی و همچنین ساخت قطعات تجهیزات دوار صنایع نفت و گاز در پالایشگاه های گاز پارس جنوبی پرداخته شده است. در فرآیند مهندسی معکوس و تهیه نقشه ساخت برای قطعات پالایشگاهی بویژه تجهیزات دوار با توجه به حجم قطعات و تنوع زیاد؛ تحویل و تایید اسناد فنی، مدیریت ساخت و کنترل کیفی قطعات ساخته شده؛ فرآیندی بسیار زمانگیر و طاقت فرسا می باشد. در این پژوهش با گروه بندی قطعات در خانواده ها و تیپ های مختلف و نیز اعمال قوانین تلرانسهای ابعادی و هندسی(GD&T) به هر یک از اعضای گروه، می توان بدون دغدغه تهیه و ساخت قطعات را بین پیمانکاران و تامین کنندگان مختلف پخش کرده و هنگام تحویل آنها با بالاترین دقت و کمترین مشکل، بر روی تجهیزات نصب کرده و به کار گرفت. گروه بندی قطعات در این پژوهش برای قطعات ایمپلر، شافت ها، انواع اسلیو، رینگ های سایشی ایمپلر و کیسینگ، بوش ها و قطعات دوتیکه متقارن دایره ای در پمپ های سانتریفوژ افقی و عمودی بر اساس استاندارد ASME Y14.5-2009تدوین گردیده است. هم اکنون این پروژه در مرکز تحقیقات علمی و فنی خودکفایی مجتمع گاز پارس جنوبی در حال پیاده سازی می باشد و در عمل کیفیت نقشه های تهیه شده و سرعت تهیه آنها نسبت به روال های گذشته به طرز قابل توجهی بهبود یافته است. علاوه برآن، امکان از دست دادن تهیه نقشه برای قطعات عملیاتی که زمان در دسترس بسیار محدودی نیز دارند، تقریبا صفر می گردد.

واژه‌های کلیدی: مهندسی معکوس, تجهیزات دوار, تلرانس های ابعادی و هندسی, ساخت, نقشه واسناد فنی

[1] فوق لیسانس ساخت و تولید – مهندس ارشد ساخت و تولید
[2] فوق لیسانس مکانیک طراحی جامدات – رییس کارگاه مرکزی ساخت و تعمیرات مجتمع گاز پارس جنوبی
[3] لیسانس ساخت و تولید – کارشناس ارشد روشهای تعمیراتی

www.Processconf.ir

Geometrical Tolerances in reverse engineering and technical documents preparation obligations of rotary equipment spare parts in oil and gas industry

F. Sajajid[1], A.Sayadi[2], F.Rezazadegan[3]

South Pars Gas Complex(SPGC),Phase1,Central Workshop

farhad_sajajid@yahoo.com

Abstract

In this paper, reverse engineering process, preparation of technical documents and also manufacturing of rotary equipment spare parts in south pars gas complex has been presented. In reverse engineering and extracting manufacturing documents for refinery spare parts especially rotary equipment parts, considering complexity and variety of parts; delivery and confirming of technical documents, and also manufacturing and quality control of spare parts, are very time consuming and onerous tasks. In this research by classifying the parts in the objective groups regarding to their performance and applying the GD&T rules on parts of each group, extracting technical documents and drawings and also manufacturing of parts can be easily distributed to different contractors without any concern. Furthermore they can be delivered to employer by contractor with highest level of accuracy. The spare parts are classified based on important parts such as: impellers, shafts, sleeves, wear rings of impeller and casings, bushes, asymmetrical half parts of horizontal and vertical centrifugal pumps. For implementing GD&T rules on aforementioned groups, ASME Y14.5-2009 standard has been used. This project has been established on south pars gas complex (Research Centre of self-sufficiency department), so according to the experiences, the quality of drawings and time for producing them have been improved significantly in comparison to previous methods. Furthermore, the possibility of time losing for some parts in short periods of time, such as overhauls or shutdowns, in which the availability of parts is less than normal, is approximately zero.

Keywords: Reverse Engineering, Rotary Equipment, Geometrical & dimensional tolerances, Manufacturing, Drawing and technical documents

[1] M.Sc. Manufacturing Engineering-Master Engineer of Manufacturing

[2] M.Sc. Mechanical Engineering-Head of Central Shop

[3] B.Sc. Manufacturing Engineering- Master Engineer of Maintenance Methods

www.Processconf.ir

۱- مقدمه

در این مقاله به مدیریت فرآیند های مهندسی معکوس، تهیه شناسنامه و اسناد فنی و همچنین ساخت قطعات تجهیزات دوار در صنایع نفت و گاز پرداخته شده است. بصورت موردی به مطالعه موضوع ذکر شده در پالایشگاه های گاز پارس جنوبی، بعنوان یکی از حیاتی ترین و حساس ترین مراکز تولید انرژی کشور که نقشی استراتژیک در معادلات اقتصادی و سیاسی کشور، منطقه و جهان بازی می کند پرداخته شده است. همانطور که می دانیم سهم اعظم اقتصاد کشور از منابع نفت و گاز تامین می گردد. همچنین تحریم های بین المللی حاکم، امر تهیه و تامین تجهیزات یدکی صنایع حساس را با دشواری روبرو ساخته است. از طرفی با توجه به افزایش عمر پالایشگاههای گاز پارس جنوبی؛ بویژه اینکه در شرایط آب و هوایی بد منطقه که سبب تسریع فرسایش و خرابی تجهیزات و قطعات می شود، تدوین سند، استاندارد یا الزاماتی که بتوان طبق آن؛ فرآیند تهیه و تامین تجهیزات و حتی تدوین دانش فنی قطعات و تجهیزات حساس پالایشگاهها را طبق آن مدیریت کرد امری ضروری و بجا می باشد.

تمرکز اصلی در این پژوهش، بر تهیه نقشه های ساخت قابل اطمینان از تجهیزات و قطعات یدکی آنها می باشد. تقریبا تمامی تجهیزات پالایشگاهها چه ساخت داخلی و چه خارج، نقشه های قابل ساخت از قطعات را ندارند. حال در شرایطی که تهیه و تامین قطعات بنابه دلایلی نظیر تحریم با مشکلهای جدی مواجه است، فرآیند مهندسی معکوس و تهیه الزامات تهیه نقشه ها و اسناد فنی ساخت آنها، به نظر امری مطلوب می آید. بصورت جزیی تر در فرآیند مهندسی معکوس و تهیه نقشه ساخت برای قطعات پالایشگاهی بویژه تجهیزات دوار با توجه به حجم قطعات و تنوع زیاد آنها؛ تحویل و تایید اسناد فنی، مدیریت ساخت و نیز کنترل کیفی قطعات ساخته شده در شرایط عادی فرآیندی بسیار زمانگیر و طاقت فرسا می باشد.

موضوع اصلی این مقاله بر تدوین الزامات تهیه نقشه های ساخت قطعات تجهیزات دوار بر اساس اصول تلرانسهای های ابعادی و هندسی(GD&T) بر اساس نوع و عملکرد قطعات مختلف می باشد. در حقیقت قطعات بر اساس شرایط کاری و عملکردی و نوع تجهیزی که درآن کار می کنند به گروه های مختلفی تقسیم بندی شده اند و برای هر یک از این گروهها، تلرانسها ابعادی و هندسی و انطباقات خاص آن گروه تعیین شده است. بگونه ای که برای هر گروه می توان پس از بررسی های فنی و عملکردی آن گروه، نقشه و اسناد فنی که شامل آن گروه می شود را اعمال کرد. در واقع با این روش الگویی برای تهیه نقشه های ساخت و نحوه ابعاد گذاری و تلرانس گذاری قطعات تهیه شده است. ضرورت این امر وقتی خود را نشان می دهد که نقشه ها و اسناد فنی تهیه شده، از قبل مشخص نیست که توسط کدامین سازنده و یا تهیه کننده ساخته یا تامین خواهد شد. در این روش با اعمال قوانینGD&Tو گروه بندی قطعات در خانواده ها و تیپ های مختلف و اعمال قوانین GD&Tمربوط به هر یک از اعضای گروه می توان بدون دغدغه تهیه و ساخت قطعات را بین پیمانکاران و تامین کنندگان مختلف پخش کرده و هنگام تحویل آنها با بالاترین دقت کنترل کیفی انجام شده و با کمترین مشکل، قطعات را بر روی تجهیزات نصب کرده و به کار گرفت. مشابه همین مورد در صنایع خودروسازی انجام گرفته است که در اوج زمان توسعه آن صنعت رخ داد. بطوریکه شرکت فرانسوی سیتروئن در استانداردCNOMO [۱]شمارهGE 40-001N، نیز چنین الزاماتی برای قطعات مختلف انجام داد. در حا لیکه در صنعت معظم نفت تا کنون چنین استاتداردی تدوین نگردیده است. هرچند که پژوهش هایی در زمینه مهندسی معکوس قطعات تجهیزات دوار انجام یافته است ولی به گستردگی و جامعی پژوهش جاری نبوده است و فقط تمرکز به قطعه ای خاص و نحوه استخراج داده های فنی از آن بود، و هیچ بحثی راجع به تلرانسهای طراحی و ساخت انجام نشده است. برای مثال می توان به مقاله محققان مقاله جاری که در ارتباط مهندسی معکوس ایمپلرهای سه بعدی با پروانه های سه بعدی[۲] می باشد، اشاره کرد. در حوزه استفاده از ایده های طراحی در مهندسی معکوس می توان به کار Barbero اشاره کرد که تلاش کرده معیارهای طراحی را از قطعه ساخته شده در یابد[۳]. در مراجع [۴و۵] از معیارهای طراحی به منظور هدفمند کردن پردازشهای انجام گرفته روی ابر نقاط(Cloud Point)استفاده شده است. در مرجع [۶]از ایده یاد شده برای باز شناسی

معیارهای طراحی در مهندسی معکوس پره های ثابت توربین استفاده شده است. در ادامه این مقاله مطالبی راجع به مهندسی معکوس، استانداردها و رویه های آن ذکر شده است. سپس تلرانسهای ابعادی و هندسی و استانداردهای آنها معرفی شده است.

۲- مهندسی معکوس

داده های فنی برای تداوم عملکرد بسیاری از محصولات و تجهیزات ساخت و تولید و مهندسی معکوس سامانه ها مهم هستند. اغلب اطلاعات فنی غیر قابل دسترس مورد نیاز برای نگهداری و تعمیرات و یا حتی تولید و نسخه برداری تجهیزات، تامین یا خریداری نشده اند. این فقدان اطلاعات کافی در مورد طراحی، مسئله ای داخلی تمامی شرکت هایی است که راه اندازی تجهیزات یا مهندسی معکوس یک سامانه را بر عهده دارند. مستند سازی های جدید برای تجهیزات و بهبود سامانه نگهداری و تعمیرات از محصولات فرعی و مهم مهندسی معکوس هستند. توسعه داده های فنی صحیح و دقیق اساس مهندسی معکوس است بطوریکه ستون این فعالیت تلقی می شود. این داده ها می توانند در قالب نقشه های مهندسی، مشخصات تجهیزات، مشخصه های عملکردی، ابزار مخصوص، یا هر گونه اطلاعات مهم دیگر در مورد کیفیت عملکرد و قابلیت ساخت باشد. هدف از مهندسی معکوس، افزایش بهره وری در حین بهبود مستند سازی است. مهندسی معکوس روشی علمی و چهار مرحله ای برای ایجاد داده های فنی می باشد که پس از فعالیتهاو بررسیها و قضاوت های مهندسی در صورت نیاز منجر به ساخت یک نمونه اولیه از یک قطعه یا تجهیز می شود. مراحل چهارگانه شامل ارزیابی و تصدیق داده ها، ایجاد داده های فنی، تصدیق طراحی و بکارگیری طراحی می باشد[۷]. در این مقاله فقط در ارتباط با مرحله دوم یعنی ایجاد داده های فنی و بخش تعیین تلرانس بحث شده است. در استاندارد MILHDBK-115A [۸]تحت عنوان راهنمای نظامی مهندسی معکوس(راهنمایی ها و رویه ها)مفاهیم، مراحل، راهنمایی ها و رویه های لازم برای مهندسی معکوس همراه با جزییات در قالب یک کتاب راهنمای نظامی ارایه شده است. در پژوهش جاری از این استاندارد استفاده شده است و همانطور که پیشتر ذکر شد، در اینجا تمرکز امر بر تلرانس گذاری نقشه ها از بخش ایجاد داده های فنی می باشد که در بخش بعدی بصورت مفصلتر به این موضوع پرداخته شده است.

۳- تلرانسهای ابعادی و هندسی و استانداردها

اندازه گذاری و تلرانس گذاری هندسی وسیله ای برای نشان دادن الزامات طراحی و نقشه ها با توجه به کارکرد واقعی و مرتبط با ترکیب قطعه است. وقتی این تکنیک به موقع و بجا بکارگرفته شود، این اطمینان را بوجود می آورد که در حین ساخت ملاحضات اقتصادی و تولید اثر بخش، مورد توجه بوده است. بنابراین اندازه گذاری و تلرانس گذاری هندسی می تواند بعنوان یک زبان نقشه کشی طراحی مهندسی و تولید اصولی، و روش بازرسی مورد توجه قرار گیرد. استفاده از این استاندارد درک یکسانی را از توصیف طراحی، تولید و بازرسی ارایه می کند. شیوه های یکسان در این حوزه کارکردی، زمینه را برای شیوه های رقابتی و سازگار در تولید فراهم می کند[۷]. استانداردهای تلرانس گذاری ابعادی و هندسی بر اساس دو استاندارد آمریکایی و بین المللی ASME Y14.5M [۹]و ISO 1101 وجود دارد که در اینجا از استاندارد ASME Y14.5M ویرایش ۲۰۰۹ استفاده شده است. تلرانسها خود به دو نوع ابعادی و هندسی تقسیم بندی می گردند که منظور از تلرانسهای ابعادی انحرافات یک بعد از یکه قطعه می باشد و بصورت مستقل می باشد که طبق استانداردهای انطباقات ISO286 [۱۰]، می باشد که موضوع انطباقات در اینجا بحث نخواهد شد. تلرانس هندسی یک عبارت کلی برای گروهی از تلرانسها می باشد که برای کنترل فرم، شکل، جهت، مکان و دویدگی(Run out)استفاده می شود[۷]. در جدول ۱ خلاصه ای از تلرانسهای هندسی به همراه علائم و کاربردهایشان نشان داده شده است. پنج خانواده سمبلهای کنترل هندسی از جهت کنترلهای خاص قابل دسته بندی هستند که در زیر هر یک از این پنج خانواده توضیح داده شده اند.

- **تلرانسهای فرم(Form)**

برای کنترل فرم یا شکل مشخصه های انفرادی و مشخصه های ابعادی بکار می روند. قابل ذکر است که تلرانسهای فرم فقط مشخصه های انفرادی را کنترل می کنند و رابطه بین یک مشخصه با مشخصه دیگر را کنترل نمی کنند.

- **تلرانسهای جهت(Orientation)**

رابطه یک مشخصه با مشخصه دیگر را بیان می کند. بنابراین آنها همیشه با یک مرجع(Datum)، بیان می شوند.

- **تلرانسهای دویدگی(Run Out)**

برای قطعات دورانی بمنظور کنترل هم محور بودن مشخصه سیلندری نسبت به یکدیگر و یا لنگی سطوح نهایی نسبت به محور مرجع، مورد استفاده می گردد.

- **تلرانسهای پروفیل(Profile)**

تلرانسهای پروفیل برای کنترل شکلهای غیر معمول مانند کانتور بکار می روند.

- **تلرانسهای مکان(Location)**

برای کنترل موقعیت مرکز مشخصه های اندازه(همچون موقعیت مخور سوراخ و یا پین و یا صفحه مرکزی یک شیار و یا نوار های عمودی) استفاده می گردد.

در بخش بعد، مقدمه ای بر پمپ های سانتریفوژ و قطعات مهم و حساس آنها شده است و در نهایت روش کار و نحوه انتخاب قطعات برای پیاده سازی الزامات مهندسی معکوس و علت انتخاب کاراکترهای هندسی برای هر یک از قطعات بحث شده است.

۴- پمپ های سانتریفوژ و قطعات جانبی ها

پمپها از جمله تجهیزات حیاتی در فرآیندهای انتقال سیالات انواع صنایع، بویژه صنایع نفت و گاز می باشند که همه روز شاهد توسعه و بهبود در عملکرد و قابلیتها آنها می باشیم. بدیهی است توجه به کیفیت ساخت این تجهیزات و قطعات یدکی آنها امری حیاتی می باشد. چه بسا اینکه بارها اتفاق افتاده است که به خاطر یک خرابی کوچک در یکی قطعه از پمپ سبب خسارت های مالی بمراتب کلانتر گردیده است. برای بررسی دقت ساخت قطعات، ابتدا به معرفی پمپهای سانتریفوژ و قطعات آنها پرداخته شده است. در استاندارد API 610 [۱۱] انواع پمپهای سانتریفوژ معرفی شده است. در اینجا برای نمونه در شکل۲ یک نمونه پمپ OH تک مرحله ای صرفا جهت شناسایی قطعات اصلی نشان داده شده است. با توجه به اینکه پرداختن به تکنولوژی ساخت همه قطعات این پمپها از مجال این مقاله خارج می باشد، لذا در این بررسی فقط به مهمترین قطعات عملکردی پمپ یعنی ایمپلر، شفت، رینگهای سایشی پرداخته شده است. بنابراین در زیر به معرفی قطعات نامبرده پرداخته شده است. در شکلهای ۲و۳ تصویری از یک پمپ سانتریفوژ تک مرحله ای و رینگهای سایشی نشان داده شده است.

- **پروانه یا ایمپلر(Impeller)**

ایمپلر بعنوان مهمترین قطعه اصلی پمپ های گریز از مرکز است که انرژی مکانیکی اعمال شده به پروانه را به انرژی جنبشی سیال تبدیل میکند و نحوه کار آن بر اساس نیروی گریز از مرکز است که بر اثر حرکت دوران محور روی سیال اعمال می شود و باعث افزایش انرژی جنبشی سیال و جدا شدن آن از لبه پروانه و وارد شدن آن به محفظه کیسینگ جهت کاهش سرعت و بازیابی فشار می شود. تقسیم بندیهای مختلفی برای ایمپلرها وجوددارد. از نظر شکل ظاهری ایمپلرها به انواع باز، نیمه باز و بسته تقسیم بندی می شود که در اصل این نوع تقسیم بندی بصورت دقیقتر تحت تقسیم بندی بر اساس سرعت مخصوص می باشد. سرعت مخصوص کاربرد زیادی در طراحی توربو ماشینها دارد که برای پمپهای از کلاس یکسان، برابر است. دراین مقاله منظور از ایمپلر، ایمپارهای بسته تک مکشه می باشد.

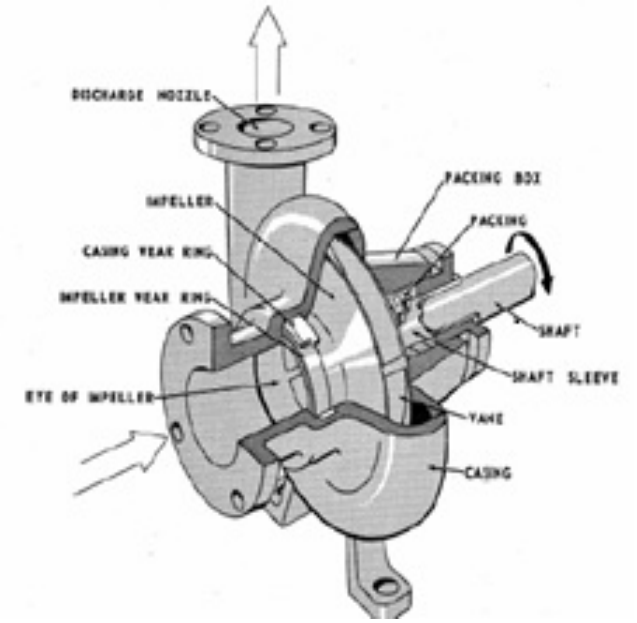
- **رینگ های سایشی(Wear Rings)**

این نوع آب بند برای آب بندی قسمت های داخلی پمپ های گریز از مرکز برای جلوگیری از نشتی های داخلی از طرف قسمت فشار بالا به قسمت فشار پایین پروانه پمپ استفاده می شود. به دلیل این کار فشار مایع خارج شده از پروانه بیشتر از فشار مایعی است که به پروانه وارد می شود. اگر فاصله بین آنها آب بندی نشود ، مایع پمپ مجددا وارد قسمت چشمه پروانه می شود و باعث کاهش فشار و فلوی پمپ می شود که برای جلوگیری از نشت مایع باید پروانه طوری در بدنه نصب شود که مایع نتواند از فاصله بین لبه بیرونی چشمه پروانه وارد چشمه پروانه و در عین حال پروانه نیز بتواند بطور آزاد با حداقل فاصله نسبت به بدنه بچرخد. ساده ترین شکل این رینگها نوع تخت آنها است که شامل دو رینگ تخت است که معمولا یکی از آنها از جنس نرمتر(رینگ پروانه) و دیگری سخت تر ساخته می شود. این قطعات در حقیقت جزو قطعات مصرفی پمپها محسوب می شوند. بگونه ای که در هر بار باز و بستن پمپ تعویض می شوند و بعبارت دیگر قطعات فدا شونده هستند. بنابراین لقی ها و تلرانسها و انطباقات این قطعات برای نصب سریع روی پروانه و کیسینگ حائز اهمیت می باشد. اندازه لقی مورد نیاز در رینگهای سایشی در استاندارد API610 ذکر شده است، ولی موضوعی که در اینجا مهم می باشد تلرانسهای ساخت قطعات می باشد بگونه ای که قطعات تولید شده در بازه تلرانسی، محدوده لقی مجاز را حفظ کنند و سبب مشکلات عملکردی نشوند.

- **شفتShaft**

محور از طریق کوپلینگ به قسمت محرکه(موتور الکتریکی، توربین، موتورهای دیزلی و یا بنزینی) متصل است و پروانه یا پروانه ها را می چرخاند. با توجه به اینکه کل قطعات دوار یک پمپ بر روی شفت سوار می شوند، لذا ملاحضات ساخت شفت از اهمیت ویژه ای بر خوردار است. برای مثال سطح خارجی آن باید کاملا صاف باشد تا اجزایی که روی آن نصب می شوند بدقت و بدون لقی بر روی آن قرار گیرند.

پس از معرفی اجمالی مهمترین قطعات پمپ سانتریفوژ و وظایف آنها، در بخش بعد به تلرانس گذاری قطعات فوق پرداخته شده است.



۱- Casing (بدنه پمپ)

۲- Suction nozzle(نازل ورودی)

۳- Discharge nozzle(نازل خروجی)

٤- Impeller(پروانه)

۵- Wearing Ring(رینگ های فرسایشی)

۶- Stuffing Box(محفظه اب بندی)

۷- Shaft(محور)

۸- Shaft seal(قسمت اب بندی)

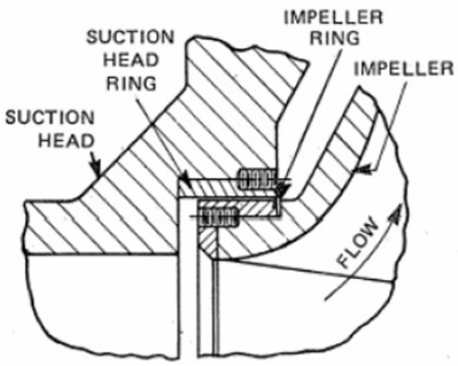
۹- Bearingها(یاتاقان ها)

۱۰- Bearing Housing (محفظه یاتاقان)

۱۱- Bearing Housing (محفظه یاتاقان)

۱۲- Base Plate

۱- پمپ سانتریفوژ تک مرحله ای و قطعات آن



۲- رینگ سایشی ایمپلر و کیسینگ

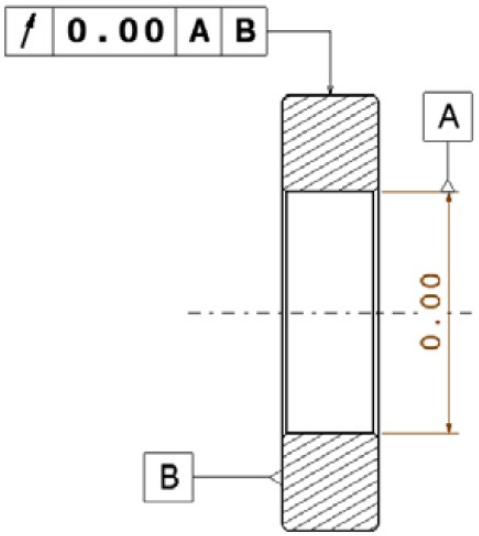
۵- تلرانس گذاری قطعات پمپ

هدف در اینجا تعیین دقتهای ساخت و بعبارتی تعیین تکنولوژی ساخت قطعات پمپ می باشد. البته تلرانسهایی که در اینجا برای قطعات انتخاب خواهد شد، یک قاعده کلی براساس نحوه عملکرد قطعات می باشد، بطوریکه در کاربردهای خاص می تواند تغییر یابد. مبنای انتخاب تلرانسهای هندسی مطرح شده در بخش های قبل(جدول۱)، با توجه به عملکرد قطعات و با در نظر گرفتن دیدگاه تکنولوژی ساخت آنها در نظر گرفته شده اند. یکی از مهمترین پیش نیاز ها برای طراحی تلرانسهای یک قطعه، آگاهی از روش ساخت آن و دقت های بکار رفته می باشد. تلرانسهایی که در این مقاله برای قطعات انتخاب شده اند بر اساس نقشه های نهایی پرداخت ماشینکاری انتخاب گردیده اند و عملیات اولیه و میانی نظیر ریخته گری و فرم دهی و خشن کاری در نظر گرفته نشده اند. اولین کار در تلرانس گذاری یک نقشه، انتخاب مراجع مناسب می باشد. منظور از مراجع در نقشه ها حروف انگلیسی AوBوC و ... می باشند که در کادر مستطیلی تلرانسهای هندسی نمایش داده می شود. معمولا مرجع اول را با حرف A و بقیه مراجع را به ترتیب حروف الفبای انگلیسی انتخاب می شود که حداکثر با سه مرجع، شش درجه آزادی یک قطعه را می توان مهار کرد که در پاره ای موارد نیز با توجه به پیچیدگی هندسی قطعات می توان بیشتر یا کمتر انتخاب کرد. مراجع در نقشه های فنی بیانگر سطوح تماسی، عملکردی و یا مونتاژی با قطعات کناریشان می باشد. بنابراین با انتخاب مناسب مراجع در طراحی تلرانسها، در اصل روش محکم وفیکس کردن قطعه حین ماشینکاری یا فرم دهی بر روی ماشینها، نحوه مونتاژ قطعات بر روی یا کنار یکدیگر و حتی روش اندازه گیری و بازررسی آنها دیکته می شود. بدیهی است که انتخاب مناسب مراجع، چقدر می تواند در مدیریت هزینه های طراحی و بویژه ساخت و بازرسی موثر واقع شود؛ علاوه بر آن ملاحضات فنی و کیفی عملکردی نیز کاملا وابسته به نحوه انتخاب مراجع می باشد.

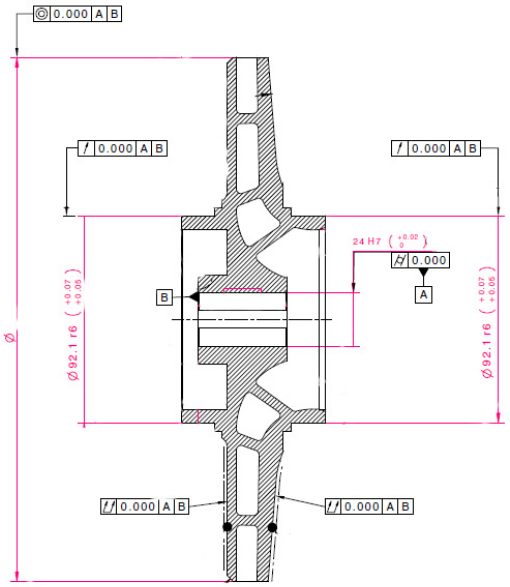
اولین قطعه ای که در این پژوهش به بررسی آن می پردازیم، رینگ سایشی ایمپلر می باشد. در شکل ۳ نقشه رینگ سایشی به همراه مراجع و تلرانسهای هندسی مدنظر نشان داده شده است. همانگونه که از شکل ۳ هم مشاهده می شود قطر داخلی رینگ سایشی بعنوان مرجع اولیه A و سطح پیشانی آن بعنوان مرجع B در نظر گرفته شده است. این انتخاب بدین معنی می باشد که هنگام ماشینکاری رینگ، ابتدا توسط فک های سه نظام قطر داخلی گرفته می شود و بعد از هم مرکز کردن محور سه نظام و قطر داخلی رینگ، پیشانی پشتی رینگ را به پیشانی سه نظام تکیه داده شود و کل قطعه در سه نظام دستگاه تراش محکم شده و آماده برای ماشینکاری نهایی می شود. تنها تلرانس هندسی که بر روی رینگ سایشی تعیین شده است، لنگی ساده می باشد. این تلرانس هندسی در واقع ترکیب دو تلرانس گردی و هم مرکزی می باشد که سهم تلرانس هم مرکزی غالب تر می باشد. معمولا تلرانس گردی برای مقاطع آب بندی استفاده می شود و طبیعی است که جایی که لقی در حدود دهم میلی متر در طرف قطر خارجی رینگ سایشی ایمپلر دارد، بی معنی می باشد. پس در اینجا در اصل هم مرکزی است که از لحاظ عملکردی مهم می باشد و تغییرات آن می تواند به صورت دو برابر در اندازه قطری تاثیر گذار باشد. ممکن است این

سوال پیش آید که اگر هم مرکزی مهمتر است و نقش غالب را دارد، پس چرا خود تلرانس هم مرکزی به تنهایی انتخاب شده است. علت این امر بخاطر اندازه گیری و بازررسی تلرانس بعد از ساخت است. بطوریکه برای اندازه گیری هم مرکزی دو مقطه نسبت به یکدیگر نیاز به تجهیزات و ابزار ویژه ای می باشد. در حالیکه برای اندازه گیری لنگی ساده کافیست قطعه را از محل مراجع محکم کرده؛ و با دوران دادن آن زیر ساعت اندیکاتور، مقدار لنگی محیطی یا ساده را قرائت کرد.

قطعه بعدی مورد بررسی، ایمپلر یا پروانه می باشد. در شکل ۴ نمونه ای از نقشه ایمپلر یک پمپ سانتریفوژ چند مرحله ای نشان داده شده است.



۳- نقشه تلرانس گذاری شده رینگ سایشی ایمپلر



شکل۴- نمونه نقشه تلرانس گذاری شده ایمپلر

همانطور که ملاحظه می شود مرجعA سوراخ مرکزی، جاییکه ایمپلر روی شفت سوار می شود و مرجع B از جاییکه به ایمپلر جهت دهی می شود و یا به پله شفت تکیه می کند، انتخاب شده است. دلیل این انتخاب هم مشابه رینگ سایشی می باشد. بعبارت دیگر می توا ن نتیجه گرفت که در قطعاتی که عرض آنها کمتر یا برابر قطرشان می باشد، روش انتخاب مرجع بصورت ذکر شده برای رینگ سایشی می باشد. برای نشمینگاه رینگ سایشی ایمپلرها روی خود ایمپلر از تلرانس هندسی لنگی ساده، بخاطر همان دلیل بیان شده برای رینگ سایشی استفاده شده است. برای خود مرجع A تلرانس هندسی استوانه ای در نظر گرفته شده است. این انتخاب با این استدلال انتخاب شده است که اگر تلرانس ابعادی و انطباقی خود سوراخ مرکزی تنگ نباشد باید از این تلرانس هندسی استفاده کرد، در غیر اینصورت همان تلرانس انطباقی کافیست. در اینجا با توجه به اینکه سوراخ مرکزی ایمپلر دارای شیار خار مستطیلی می باشد، بنابراین نیاز به تلرانسهای ابعادی تنگ نمی باشد؛ که در اینصورت تلرانس هندسی استوانه ای برای حفظ دقت مونتاژ و دمونتاژ انتخاب گردیده است. قطر خارجی ایمپلر و دقت آن، نقش مهمی؛ هم از نظر مشخصه های بالانس و هم از نظر مشخصه های هیدورلیکی نظیر هد پمپ دارد. بنابراین در اینجا تلرانس هندسی هم مرکزی برای قطر خارجی نسبت به سوراخ مرکزی انتخاب شده است. واضح است که با این نوع تلرانس گذاری، به فرآیند ماشینکاری این پیام داده شده است که کلیه سطوحی افقی ایمپلر مانند نشیمنگاه رینگهای سایشی و قطر خارجی در یک پاس ماشینکاری و پرداخت گردند. برای سطوح هاب(Hub) و شرود(Shroud) ایمپلر نیز از تلرانس هندسی لنگی کلی استفاده شده است. البته ین تلرانس هنگامی باید درج شود که سطوح نامبرده ماشینکاری خواهد شد. علت این امر

نیز رعایت توزیع مواد در محیط سطوح می باشد. بطوریکه سبب تغییرات زیاد هنگام بالانس ایمپلرها نشود و حداقل جرم برداری یا جرم گذاری را در فرآیند بالانس کردن ایمپارها داشته باشد. بدیهی است عدد این تلرانس باید بمراتب بزرگتر از عدد تلرانسهای هندسی پیشین باشد.

حال پس از بررسی قطعات مونتاژی روی شفت، نوبت به بررسی تلرانسهای هندسی بر روی خود شفتها می رسد. جدول شماره ۲ دریک تقسیم بندی کلی و جامع بر اساس نوع قطعه ای که روی شفت پمپ ها نصب خواهد شد و همچنین انطبقات نصب آنها، تلرانسهای هندسی مورد نیاز مقاطع مختلف شفت را تعیین کرده است. با توجه به تنوع شفتها و وظیفه انواع شفت، نحوه تلرانس گذاری و انتخاب مراجع متفاوت است که در زیر به تفکیک بیان شده است. مبنای انتخاب شفتها در این مقاله بر اساس پمپهای سانتریفوژ عمودی می باشد که معمولا از سه نوع شفت، شفت ایمپلر، شفت میانی(Intermediate) و شفت سر(Head Shaft) تشکیل شده است. البته در اینجا مثال مورد بحث شفت ایمپلر، در واقع شفت پمپ افقی سانتریفوژ می باشد که می توان نتایج آن را به شفت ایمپلر پمپ های عمودی نیز تعمیم داد.

شفتهای افقی بین دو یاتاقان(Horizontal BB Shaft): در این نوع شفت ها مرجع A بر روی یاتاقانی که نیروی محوری را تحمل می کند، و مبنای B بر روی محل یاتاقانهایی که نیروی شعاعی را تحمل میکنند قرار داده شده اند. مبنای اندازه گذاری افقی نیز محل تکیه گاه یاتاقان محوری و مرجع C پیشانی محل قرار گیری بیرینگ شعاعی انتخاب شده است. در شکل ۵ نمو نه ای از نقشه این نوع شفتها بصورت ترانس گذاری هندسی شده نشان داده شده است.

شفتهای عمودی میانی: در این شفتها مراجع A و B محل نشیمنگاه های کوپلینگ قرار می گیرد و مبنای اندازه گذاری سر شفت تا محل نشیمنگاه کوپلینگها انتخاب شده است.در شکل ۶ نمو نه ای از نقشه این نوع شفتها بصورت ترانس گذاری هندسی شده نشان داده شده است.

شفتهای عمودی سر: شفتهایی که یک سر کوپلینگ محرک و یک سر دیگر کوپلینگ واسطه می باشند که در این نوع شفتها مرجعA محل نشیمنگاه یاتاقان و مرجعB محل نشیمنگاه کوپلینگ واسط مد نظر قرار گرفته شده است. در شکل ۷ نمو نه ای از نقشه این نوع شفتها بصورت ترانس گذاری هندسی شده نشان داده شده است.

۶- نتیجه گیری

همانطور که ملاحظه شد با تدوین یک رویه کلی، نقش های ساخت و تلرانس گذاری شده محدوده وسیعی از قطعات شافت و ایمپلر و رینگهای سایشی و دراکثر موارد قطعات دیسکی شکل را در پمپ های سانتریفوژ افقی و عمودی بر اساس استاندارد ASME Y14.5-2009 می توان تهیه کرد و در حقیقت تکنولوژی ساخت آنها را به سازندگان دیکته کرد. بر اساس این نقشه ها، مدیریت زنجیره تامین قطعات براحتی و بر اساس اصول و استانداردهای بین المللی مدیریت می گردد و جای هیچگونه ابهام در تبادلات و معاملات بین کار فرما و پیمانکاران ساخت قطعات باقی نمی ماند. بگونه ای که با کاربرد این روشها وحدت رویه در فرآیند تهیه نقشه های ساخت بوسیله پیمانکاران مهندسی معکوس و پیمانکاران ساخت تحت نظارت کارفرما ایجاد می گردد. طبق این روش، در فرآیند مدیریت زنجیره تامین قطعات پالایشگاهی از مراحل ابتدایی شناسایی تقاضا و تهیه نقشه ها و اسنادفنی تا مراحل نهایی ساخت و کنترل کیفی قطعات ساخته شده بر طبق روالی منظم و مدون انجام می پذیرد. یعنی فارغ از اینکه تهیه نقشه و ساخت آنهاچگونه بین پیمانکاران مختلف توزیع شده است و کنترل کیفی آن به چه نحوی است، حداقل خطا را در قطعات تحویلی خواهد داشت. هم اکنون این پروژه در واحد مرکز تحقیقات علمی و فنی خودکفایی مجتمع گاز پارس جنوبی در حال پیاده سازی می باشد و در عمل کیفیت و نقشه های تهیه شده و سرعت تهیه آنها نسبت به روال های گذشته به طرز قابل توجهی بهبود یافته است. علاوه برآن، امکان از دست دادن تهیه نقشه برای قطعات عملیاتی که زمان در دسترس بسیار محدودی نیز دارند، تقریبا صفر می گردد. توسط این روش عملیات تهیه نقشه و ساخت تجهیزاتی نظیر پمپ سانتریفوژ عمودی گوگرد پالایشگاه دوم، پمپ سانتریفوژ افقی آمین پالایشگاه اول و سوم، پمپ سانتریفوژ عمودی

آب دریای پالایشگاههای اول و چهارم و ... انجام یافته است و نتایج حاصله بصورت نقشه های ساخت کامل و پمپ های ساخته شده یا در حال ساخت توسط آن نقشه ها می باشد.

جدول۱- سمبلهای کاراکترهای تلرانسهای هندسی[۹]

APPLICATION	TYPE OF TOLERANCE	CHARACTERISTIC	SYMBOL
INDIVIDUAL FEATURES	FORM	STRAIGHTNESS	
		FLATNESS	
		CIRCULARITY	
		CYLINDRICITY	
INDIVIDUAL OR RELATED FEATURES	PROFILE	PROFILE OF A LINE	
		PROFILE OF A SURFACE	
RELATED FEATURES	ORIENTATION	ANGULARITY	
		PERPENDICULARITY	
		PARALLELISM	
	LOCATION	POSITION **	
		CONCENTRICITY	
		SYMMETRY	
	RUNOUT	CIRCULAR RUNOUT	*
		TOTAL RUNOUT	*

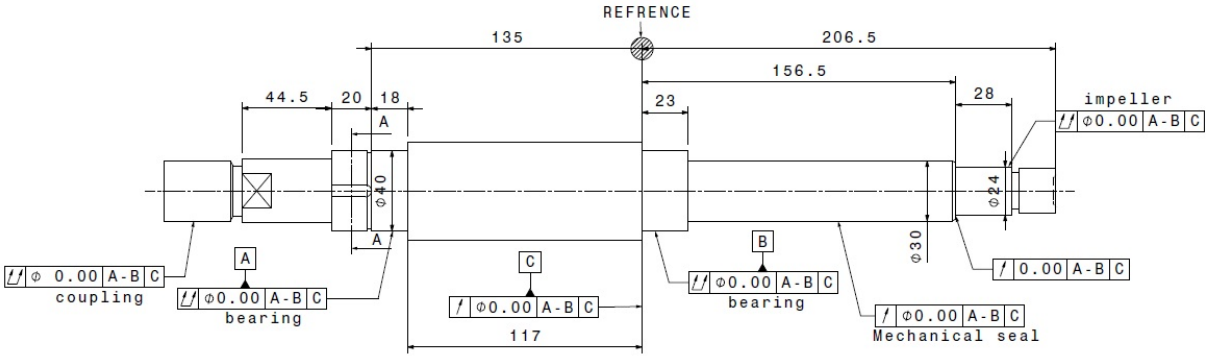
* Arrowheads may be filled or not filled ** May be related or unrelated

جدول۲- تقسیم بندی کلی و جامع تلرانس گذاری شفتهای پمپها

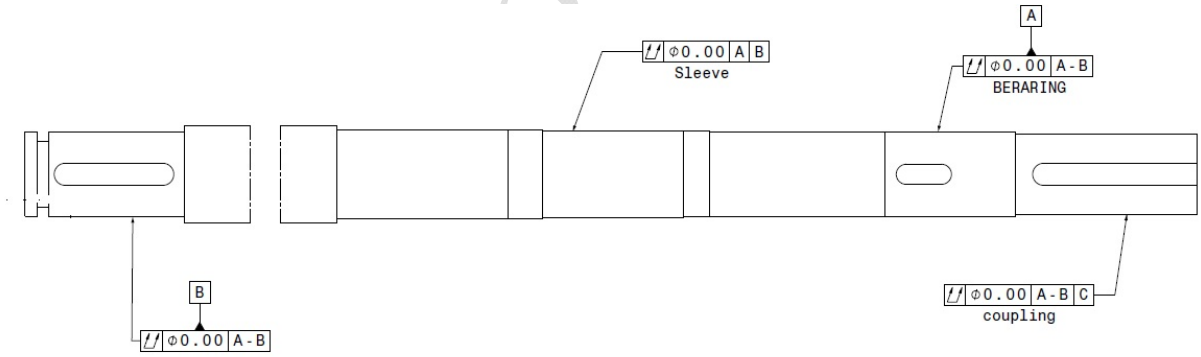
قطعه روی شفت	تلرانس ابعادی شفت	تلرانس هندسی	مرجع
Impeller	h	⌀0.00 A-B C	ممکن است
Sleeve	h	⌀0.00 A-B	
Ball Bearing	استاندارد	⌀0.00 A-B C	اغلب
Roller Bearing	استاندارد	⌀0.00	اغلب

Coupling(Drive)	استاندارد	⌀0.00 A-B C	اغلب
Coupling(Transient)	g	⌀0.00 A-B	اغلب
Seal	استاندارد	⌀0.00 A-B	
Impeller & Bearing Face Seat		0.00 A-B C	

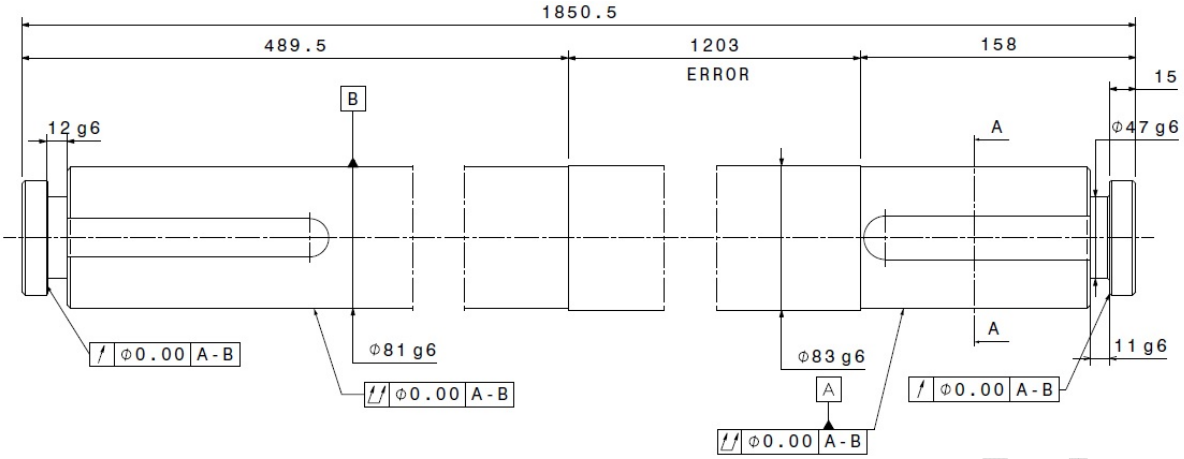
لنگی ساده پیشانی



شکل۵- نمونه نقشه تلرانس گذاری شده شفت ایمپلر



شکل۶- نمونه نقشه تلرانس گذاری شده شفت سر



شکل۷- نمونه نقشه تلرانس گذاری شده شفت میانی

۷- مراجع

1-CNOMO Standard, GE 40-001N

۲- سجاجید فرهاد و همکاران، "مهندسی معکوس ایمپلر های بسته با پره های سه بعدی درپمپ های سانتریفوژ با استفاده از روابط طراحی حاکم"، کنفرانس تجهیزات دوار در صنایع نفت و نیرو، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، دوره پنجم، ۱۳۹۲

3- B.R.Barbero, "The recovery of design intent in reverse engineering problems",Computers & Industrial Engineering, 2008, vol.56, pp.1265-1275

۴- محقق، کامران، "مهندسی معکوس پره های توربین با تکیه بر اصول طراحی"، پایان نامه دکترا، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ص ۱-۳۲، ۱۳۸۴

۵- رنجبری، محمدرضا، "نکات جدید در طراحی پره ی توربوماشینها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ص ۱-۴۰، ۱۳۸۸

۶- رنجبری، محمدرضا، "باز شناسی معیارهای طراحی و خطا های هندسی در مهندسی معکوس پره ثابت توربین"، کنفرانس تجهیزات دوار در صنایع نفت و نیرو، مرکز همایشهای بین المللی رازی، تهران، دوره سوم، ۱۳۹۰

۷- بحیرایی مجتبی، "باز شناسی معیارهای طراحی و خطا های هندسی در مهندسی معکوس پره ثابت توربین"، انتشارات یا مهدی، تهران، ۱۳۸۹

8-MIL Handbook, "MIL-HDBK-115A -Reverse Engineering Handbook (GUIDELINES AND PROCEDURES)" , 2006

9- ASME Handbook, "ASME Y14.5", 2009

10- ISO Handbook, "ISO 286-Iso system of limits and fits", 1988

11- API Standard, “API 610-Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries”, Tenth Edition, USA, 2004.

www.Processconf.ir