

## توربینهای تک محوره

نحوه کار یک توربین گازی به این صورت است که ابتدا هوای تازه از طریق کانال ورودی، وارد توربین شده و سپس هوای ورودی به کمک یک کمپرسور محوری فشرده می شود. پس از آن به هوای فشرده شده، سوخت گاز تزریق گردیده و می سوزد و طی این فرآیند، سطح انرژی آن افزایش می یابد. سپس سوخت محترق شده که دما و فشار بالایی دارد به یک توربین انبساطی یا expansion turbine هدایت می شود و در آنجا انرژی گاز به انرژی مکانیکی تبدیل شده و باعث چرخش محور توربین می گردد.

تبادل انرژی در توربین واقع در دو مرحله اتفاق می افتد. در نازل ورودی توربین، گاز داغ، منبسط می شود و بخشی از انرژی حرارتی آن به انرژی جنبشی تبدیل می شود. سپس در قسمت پره های توربین، انرژی جنبشی به پره های در حال چرخش منتقل شده و به کار تبدیل می شود. بطور معمول بیش از 50% کاری که توسط توربین تولید می شود، صرف چرخاندن کمپرسور محوری می گردد.

توربین گازی ماشینی است که با هوای محیط کار می کند، در نتیجه با تغییر عوامل موثر بر شدت جریان جرمی هوای ورودی، عملکرد توربین نیز تغییر می کند. لذا در طراحی، شرایط مرجع برای متغیرهای توربین، فشار 14.7 psi و دمای 59 درجه فارنهایت در نظر گرفته می شود.

طبق پارامترهای مربوطه به راندمان توربین، دمای محیط، روی شدت جریان هوای ورودی تاثیر گذاشته و در نتیجه پارامترهای مختلف توربین و بازده آنها از جمله توان خروجی، مصرف انرژی حرارتی، جریان خروجی از آگزوز و شدت انتقال حرارت را تحت تاثیر قرار می دهد.

در صورتیکه از سوختی با ارزش حرارتی کمتر استفاده شود بدلیل افزایش مصرف سوخت و هوا، میزان شدت جریان جرمی توربین افزایش می یابد در نتیجه احتمال نزدیک شدن نسبت تراکم کمپرسور محوری به محدوده سرچ زیاد میشود. این بدان معناست که برای کار کردن توربین، حجم زیادی سوخت نیاز است. در نتیجه افزایش حجم سوخت باعث می شود فشار خروجی کمپرسور به عقب رانده شود و نهایتاً در کمپرسور، یک جریان برگشتی ایجاد شود.

روتور کمپرسور با قرار گرفتن دیسکها بصورت عمودی پیکربندی می شود. ابتدا قطعه جلویی محور یا forward stub shaft و دیسک اول بوسیله میله های رابط یا tie bolt در جای خود قرار می گیرند. سپس دیسکهای دیگر نیز در میان میله های رابط بصورت عمودی روی هم قرار می گیرند. در توربین مدل MS7000BS رتور آن دارای هفده دیسک می باشد. پس از آنکه آخرین دیسک و قطعه انتهایی محور یا aft stub shaft نصب گردید، قسمت انتهایی میله های رابط نیز بسته میشود.

پس از آنکه قسمتهای مختلف روتور سوار شد، روتور تحت سرعت کم بالانس میشود تا اطمینان حاصل شود که سطح vibration آن در حد استانداردهای طراحی قرار دارد.

جهت نصب پره های مرحله اول دیسک توربین، اولین اقدام، جا زدن پین شعاعی یا radial locking pin در حفره آن میباشد. اولین پره در جهت خلاف عقربه های ساعت در شکاف خود قرار گرفته و بوسیله یک پین D شکل، در جای خود نگه داشته میشود. بقیه پره ها هم به همین ترتیب و در جهت خلاف عقربه

های ساعت ، دور دیسک نصب میشوند. آخرین پره نیز در شکاف مربوطه قرار میگیرد و نهایتاً پین افقی یا axial locking pin در حفره مربوطه قرار میگیرد. پین افقی به انتهای پین شعاعی فشار آورده و آنرا به بالا میراند و در نتیجه آخرین پره نیز در جای خود ثابت میشود . حال کلیه پره ها روی دیسک توربین قفل شده اند .

قبل از اینکه پره های مرحله دوم و سوم نصب شوند ابتدا پیچهای قفل کننده یا twist lock در جای خود قرار میگیرند. سپس مجموعه پره ها بصورت یک رینگ 360 درجه در کنار هم نصب میشوند . رینگ به آرامی روی دیسک نصب گردیده و شیارها درون هم قرار میگیرند. پس از نصب آنها پیچهای twist lock می چرخند تا آنها را در جای خود قفل کنند . پس از نصب بدنه توربین ، مجموعه سیستم احتراق نصب میشود . سپس سیستم هوای خنک کاری بدنه توربین و لوله های مربوطه نصب میشود . به منظور تسهیل در عمل خنک کاری ، هوا از طریق دمنده های اصلی به بدنه توربین و بدنه اگزاست دمیده میشود . سپس دیواره اطفاکک هوای ورودی نصب میشود . و پس از آن دیواره اگزاست در جای خود قرار می گیرد . سپس رینگهای flex seal نصب میشوند . این رینگها از نشت گازهای اگزاست به محدوده اطفاکک توربین که ممکن است بر اثر تغییرات انبساطی ایجاد شود ، جلوگیری میکنند. در مرحله آخر bleed valve های کمپرسور نصب میشوند. این ولوها در هنگام استارت و توقف توربین به منظور محافظت کمپرسور محوری در برابر سرج میباشند .

یاتاقان شماره یک در محل inlet casing نصب میشود . یاتاقانهای شماره دو و سه و محفظه های مربوطه ، در جای خود قرار میگیرند. ابتدا نیمه پایینی آنها و سپس نیمه بالایی آنها نصب میشود . سپس قسمتهای مختلف casing به منظور همتراز شدن با یاتاقانها نصب میشوند. سپس نیمه های بالایی casing و محفظه یاتاقانها برداشته میشود و قطعات نشت بندی و دفلکتورهای روغن نصب میشوند. مرحله آخر ، نصب روتور ، نصب نیمه های بالایی محفظه یاتاقانها ، و نیمه های بالایی casing میباشد .

برای سوار کردن نازل مرحله اول ، ابتدا تیغه های نازل بر روی رینگهای نگهدارنده نصب میشود . سپس seal ها به منظور به حداقل رساندن نشت گاز نصب میگردند . پس از آن پینهای alignment برای تنظیم شعاعی قطعات درون رینگ نصب میشوند .

برای سوار کردن نازل مرحله دوم ، ابتدا هسته های خنک کننده نازل یا core plug در جای خود نصب میشوند این هسته ها به منظور کاهش دمای حلقه های نازل بکار میروند . سپس دیافراگم نصب میشود و یک پین به منظور همتراز شدن دیافراگم با نازل نصب میشود . سپس تیوبهای خنک کننده دیسک و قطعات مربوط به آنها روی دیافراگم نصب میشوند . نازل مرحله سوم شبیه نازل مرحله دوم میباشد ولی بوسیله جریان هوا خنک نمیشود. بنابراین فاقد تیوبهای خنک کننده و قطعات جانبی آن می باشد .

سوار کردن سیستم احتراق توربین با نصب transition piece شروع میشود که در انتهای نازل مرحله اول ، توسط پیچ بسته میشود و بوسیله یک بست نگهدارنده در قسمت زیرین آن محکم میشود . سپس combustion casing به combustion wrapper پیچ میشود . حال flow sleeve در داخل casing قرار میگیرد و بعد تیوبهای crass fire نصب میشوند و به داخل فشار داده میشوند تا liner بتواند

در جای خود نصب شود. پس از نصب liner تیوبهای crass fire در محل‌های خود روی liner جای میگیرند. گیره‌های نگهدارنده، تیوبهای crass fire را در جای خود ثابت میکنند. سپس combustion can cover به انتهای combustion casing پیچ میشود. وبعد نازل سوخت روی آن قرار میگیرد. شمعهای جرقه زن و سنسورهای شعله یاب نیز روی محفظه احتراق مربوطه در محل مخصوص خود نصب میشوند.

همانطور که میدانید نیمه‌های بالایی casing برای دسترسی به قسمتهای داخلی توربین برداشته میشوند. همه پیچهای افقی و عمودی باز میشوند و نیمه‌های casing به ترتیبی که مشاهده میکنید برداشته میشوند. ابتدا turbine shell، بعد casing کمپرسور، بعد casing ورودی، بعد casing اگزاست، و سرانجام casing خروجی کمپرسور.

برای یک آنالیز مکانیکی، باید گفت که شیرهای یکطرفه در سیستم مکانیکی مانند دیودها در سیستم الکتریکی عمل میکنند. در این آنالیز یک منیفولد اصلی وجود دارد که فشار آن بوسیله یک تانک تغذیه ثابت نگهداشته میشود. فشار منیفولد اصلی بوسیله شیرهای یکطرفه A، B و C تنظیم میشود. بعنوان مثال فشار در نقطه 1 را 20 psi در نظر بگیرید. اگر فشار در نقاط 2 و 3 و 4 بیشتر از 20 psi باشد در اینصورت شیر یکطرفه بسته و کنترلی روی منیفولد اصلی انجام نمی‌گیرد. اگر فشار در نقطه 2 به 18 psi کاهش یابد ولی فشار در نقاط 3 و 4 در همان مقدار فیل 20 psi بماند، در اینصورت فشار در منیفولد اصلی به 18 psi افت میکند و سیستم A کنترل کننده خواهد بود. در صورتیکه شرایط عملیاتی تغییر کند، فشار مورد نیاز سیستم در نقاط 3 و 4 تغییر میکند. اگر فشار در نقطه 3 به زیر 18 psi افت کند، بعنوان مثال 17 psi شود، فشار منیفولد اصلی به 17 psi افت پیدا میکند و این باعث بسته شدن شیرهای یکطرفه A و C و باز شدن شیر یکطرفه B میشود. بنابر این در این وضعیت سیستم B کنترل کننده خواهد بود.

سیستم کنترلی مربوط به مراحل استارت، میزان افزایش سوخت را به چند منظور کنترل میکند:

بمنظور ایجاد شعله در محفظه‌های احتراق.

بمنظور کنترل میزان شتاب.

بمنظور کنترل تغییرات دما.

شتاب روتور توربین باید کنترل شود تا میزان نیروهای وارد شده به روتور از حد مجاز تجاوز نکند. تجاوز کردن این نیروها از حد مجاز میتواند خسارتهای جدی و سنگینی به روتور توربین وارد سازد. در طول مراحل استارت، میزان فلوی هوا کم است. اگر در این شرایط به محفظه‌های احتراق، سوخت زیادی تزریق شود، در اینصورت هوای کافی وجود نخواهد داشت. بنابر این دما به طرز خطرناکی بالا خواهد رفت و به بخش داخلی صدمه خواهد زد. همچنین نوسانات زیاد دما میتواند عمر قطعات داخلی را کاهش دهد. زیرا در این بخش، فلزات مختلف با سرعتهای انتقال حرارت متفاوت وجود دارد. بنابراین سرعت دما، بایستی به حدود 5 درجه فارنهایت بر ثانیه محدود شود.

در این سیستم، عملکرد حفاظت over speed الکترونیکی نشان داده میشود. سیگنال سرعت توربین از طریق سنسورهای مغناطیسی یا magnetic pickup ارسال میشود. سپس این سیگنال با یک مقدار over

speed set point مقایسه میشود. وقتی که سیگنال سرعت توربین به مقدار set point برسد ، سیگنال over speed trip به مدار حفاظت اصلی یا master protective ارسال شده و توربین را متوقف نموده و پیغام electronic over speed ظاهر میگردد.

سیستم ارسال کننده سوخت دارای یک ولتاژ DC میباشد. این ولتاژ متناسب با فشار سوخت بر حسب psi میباشد. این ارسال کننده جهت تنظیم فشار p2 بین stop ratio valve و gas control valve یک سیگنال feedback به سیستم کنترل ارسال میکند. سولنوئید مربوط به تخلیه سوخت ، هنگامی که غیر فعال میشود ، فشار گاز بین stop ratio valve و gas control valve را به اتمسفر تخلیه میکند. این سولنوئید هنگام کار توربین فعال است و در حالت بسته قرار دارد. هنگامیکه توربین متوقف میشود ، این سولنوئید باز میشود و گاز حبس شده بین دو کنترل ولو سوخت را به منظور بالا بردن ایمنی ، تخلیه میکند.

## توربینهای دو محوره

در توربین گازی دو محوره ، هوای محیط توسط یک کمپرسور مکیده شده و فشار آن افزایش می یابد. هوای فشرده شده در محفظه احتراق با گاز مخلوط شده و شعله ور می شود و سطح انرژی آن افزایش می یابد.

انرژی حاصل از گاز داغ به پره های توربین فشار قوی برخورد کرده که قسمتی از انرژی آن آزاد شده و به انرژی مکانیکی تبدیل شده و کمپرسور محوری را به حرکت در می آورد. انرژی آزاد شده ، به پره های توربین فشار ضعیف نیز برخورد کرده و باعث چرخش آن و همچنین چرخش کمپرسور گازی می شود. سرانجام گازهای سوخته شده ، با فشار و حرارت پایین ، به اتمسفر رها می شود.

به منظور آشنایی بهتر با سیکل ساده توربین گازی ، ابتدا چهار مرحله سیکل کار موتورهای رفت و برگشتی را بررسی می کنیم. در یک موتور چهار زمانه ، قدرت خروجی موتور بصورت متقاطع می باشد. زیرا در مرحله تخلیه ، فشار گازهای محترق شده کاهش می یابد و در این مرحله افت فشار بوجود می آید.

در مرحله مکش ، فشار منفی در سیلندر ایجاد می شود و باعث می شود هوا از بیرون به درون سیلندر جریان یابد. در مرحله تراکم ، هوا فشرده و فشار به مرور افزایش می یابد. در قسمت بالایی سیلندر ، فشار زیاد است و در جه حرارت هوا در طی مرحله تراکم افزایش مییابد. اکنون سوخت تزریق شده و مخلوط هوا و گاز محترق می شود. در مرحله احتراق ، فشار محصولات احتراق به شدت افزایش یافته و نیروی آن به محور منتقل می شود.

در مرحله تخلیه ، فشار کاهش می یابد. اما هنوز از فشار محیط بالاتر است. فشار بالا و حرکت پیستون بطرف بالا موجب می شود ، گازهای محترق شده به بیرون رانده شوند.

در سیکل ساده توربین گازی ، مرحله احتراق و تخلیه دارای یک فشار ثابت بوده و در مقایسه باموتورهای چهار زمانه که مراحل آن بصورت متقاطع بود ، مراحل سیکل توربین بصورت پیوسته میباشد. این بدین معناست که فشار در ورودی هر بخش از توربین گازی در کمپرسور ، در محفظه احتراق و در توربین ثابت می باشد.

در دیاگرام سیکل ساده توربین گازی که مشاهده می کنید ، در ناحیه 1، هوا وارد کمپرسور محوری شده و فشرده می شود. هوای فشرده شده از کمپرسور خارج شده و به ناحیه 2 وارد شده و در محفظه احتراق با سوخت مخلوط می شود. گازهای محترق شده در ناحیه 3 وارد توربین شده و با عبور از میان توربین ، باعث ایجاد حرکت مکانیکی در محور می شوند. سپس گازهای سوخته شده به ناحیه 4 وارد شده و از طریق اگزوز به اتمسفر رها می شوند.

بنابراین تفاوت اصلی بین سیکل موتورهای چهار زمانه و سیکل ساده توربین گازی این است که در توربین ، توان خروجی بصورت پیوسته ایجاد می شود ولی در موتورهای چهار زمانه بصورت متقاطع میباشد. این بدان معناست که در طول کار توربین ، قدرت خروجی بطور پیوسته وجود دارد ولی در موتورهای چهار زمانه ف قدرت خروجی فقط در مرحله تراکم ایجاد می شود.

در هر توربین ، تبادل انرژی در دو مرحله اتفاق می افتد. ابتدا در نازلهای ورودی ، گاز داغ منبسط می شود و بخشی از انرژی حرارتی آن به انرژی جنبشی تبدیل میشود و این انرژی جنبشی به پره های توربین منتقل شده و به کار تبدیل می شود.

نازلهای متغیر وظیفه تقسیم انرژی را بین توربین فشار قوی و توربین فشار ضعیف بر عهده دارند.

باز شدن نازل‌های متغیر، باعث کاهش فشار برگشتی در توربین فشار قوی می‌شود و در نتیجه افت فشار در توربین فشار قوی باعث ایجاد افت توان و همچنین کاهش سرعت توربین فشار ضعیف می‌گردد.

اجزای اصلی محفظه احتراق عبارتند از: نازل سوخت، cover، شمع جرقه زن، spark plug، کلاهک یا cap، مجموعه liner و پوسته بیرونی.

چهار کاربرد اصلی هوای خروجی از کمپرسور عبارتند از:

- هوای احتراق یا combustion air که عبارتست از هوای اولیه ای که برای ایجاد نسبت مناسب سوخت و هوا بکار می‌رود.

- هوای ثانویه یا secondary air که برای سرد کردن و پایدار نمودن شعله استفاده می‌شود.

- هوای خنک کاری یا cooling air که جهت ایجاد یک لایه خنک کاری مداوم بین سطوح خارجی و داخلی liner استفاده می‌شود.

- هوای رقیق کننده یا dilution air که در ناحیه ابتدای شعله به پایین جریان می‌یابد تا دمای گاز را کاهش داده و عمر مفید قسمتهایی را که گاز داغ از آنها عبور میکند، افزایش دهد.

مراحل احتراق بدین صورت است که: هوای خروجی از کمپرسور از بین ناحیه casing خروجی و liner عبور کرده و به liner cap وارد می‌شود. سوخت نیز به درون liner cap پاشیده می‌شود و با هوای خروجی از کمپرسور مخلوط می‌شود. حال توسط شمع جرقه زن یا spark plug بر مخلوط هوا و سوخت جرقه زده می‌شود. پس از آن گازهای حاصل از احتراق که دمای بالایی داشته و به سرعت منبسط می‌شوند به نازل‌های مرحله اول واقع در suction توربین فشار قوی هدایت می‌شوند. پس از جرقه، تا زمانی که هوا و سوخت کافی موجود باشد، عمل احتراق، خود بخود ادامه می‌یابد. توربین گازی ماشینی است که با هوای محیط کار می‌کند. بنابراین عملکرد آن با تغییر ویژگی‌هایی که بر شدت جریان هوای ورودی به کمپرسور تاثیر می‌گذارد تغییر می‌کند. مانند تغییر دما، فشار محیط و رطوبت.

دمای هوای ورودی به کمپرسور به سه فاکتور out put، heat rate و air flow تاثیر می‌گذارد. این تاثیر گذاری را در شکل می‌بینید.

در این شکل می‌توانید چگونگی تاثیر دمای ورودی کمپرسور را که در اینجا 20 درجه فارنهایت میباشد، بر heat rate، air flow و out put ملاحظه نمایید.

در این نمودار تاثیر ارتفاع از سطح دریا و فشار محیط روی عملکرد توربین گازی نشان داده می‌شود.

کاهش دانسیته هوا باعث کاهش فلوی جرمی و out put متناسب با آن می‌شود. در این مورد، شدت انتقال حرارت یا heat rate تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد.

بعنوان مثال توربینی را در نظر بگیرید که در ارتفاع 300 فوت از سطح دریا نصب شده است و در این شرایط فشار اتمسفر آن تقریباً 13/2 psi است. میزان ضریب تصحیح برای توان خروجی و مصرف سوخت حدوداً 0/91 خواهد بود. اگر یک توربین گازی که توان آن در سطح دریا 100 مگاوات است در این ارتفاع نصب شود، توان خروجی مورد انتظار، برابر حاصلضرب 100 مگاوات در 0/91 یعنی معادل 91 مگاوات خواهد بود.

مرحله اول در جمع کردن روتور فشارقوی ، تست چرخشی یا spin test می باشد. دیسکهای مربوط به کمپرسور و توربین فشار قوی ، تست چرخشی می شوند. سپس پره های کمپرسور روی دیسک و در شیار مربوطه نصب می شوند. پره ها در روی دیسک ، ثابت و محکم می شوند. سپس مجموعه دیسک روی یک میز چرخان قرار می گیرد و یک دستگاه ماسه پاش ، نوک پره ها را بر اساس اندازه های مربوطه که در مدارک مشخصات فنی آنها درج گردیده است، سیقل میدهد. حال مهره های قفل کننده ، درون شیارهای مربوطه در جلوی محور قرار می گیرند و میله های رابط یا tiebolt ها از قسمت بالا درون مهره ها پیچ می شوند. سپس مجموعه قسمت جلوی محور ، همراه میله های قفسه ای که روی آن بسته شده اند ، بصورت قائم قرار می گیرند. حال دیسک شماره 1 کمپرسور ، از بالا درون میله ها قرار می گیرد. سپس یک دیسک جدا کننده یا spacer و پس از آن دیسک شماره 2 در جای خود قرار می گیرد. این کار تا وقتی که 6 دیسک کمپرسور به همراه Spacer 5 در جای خود نصب شوند ادامه می یابد. پس از قرارگیری آخرین دیسک ، قسمت انتهایی محور یا aft stub shaft روی میله های رابط قرار گرفته و پیچهای مربوطه محکم می شوند. درپوشها درون شکافها قرار می گیرند تا از ورود ذرات به داخل شکافها در حین کار توربین جلوگیری کنند. پس از آن روتور فشار قوی بصورت افقی روی پایه های V شکل قرار می گیرد. پره های مرحله اول کمپرسور در داخل شکاف های شعاعی واقع در قسمت جلویی محور قرار گرفته و در جای خود محکم می شوند. پره های مرحله 8 ، 9 ، 10 ، 11 کمپرسور ، در داخل شکاف های شعاعی واقع در انتهای محور قرار گرفته و در جای خود محکم می شوند. محل قرارگیری یاتاقان ژورنال و نشت بندبهاروی محور، ماشینکاری شده و نهایتا بر اساس مشخصاتی که در نقشه نشان داده شده ، بازرسی می شوند.

قبل از نصب دیسکهای توربین ، هر دو دیسک پیشگرم می شوند. سپس میله های رابط به انتهای محور پیچ می شوند و دیسک مرحله اول توربین بصورت گرم و دیسک جدا کننده بصورت سرد و پس از آن مجددا دیسک مرحله دوم بصورت گرم سوار می شود. و نهایتا یک رینگ قفل کننده روی آنها نصب می شود. سرد شدن مرحله به مرحله دیسکهای توربین ، باعث کاهش فاصله های احتمالی بین فلنج های انتهای روتور و دیسک مرحله اول توربین و همچنین فاصله بین دیسکهای توربین و دیسکهای جداکننده می شود. اکنون پره ها درون شیارهای مربوطه و روی هر یک از دیسکها نصب می شوند پس از نصب پره ها ، پین های قفل کننده در محل خود قرار می گیرند تا پره ها و دیسک های مربوطه را محکم به هم جفت کنند. هریک از پین ها دارای یک زائده می باشد که باید با فشار مناسب ، خم شده ، تا از اتصال پین ها به پره ها اطمینان حاصل شود.

پس از تکمیل مراحل نصب پره های HP ، مجموعه روتور بالانس می شود. وزنه های بالانس در شیارهای مربوطه قرار گرفته اند که با تنظیم آنها میزان vibration به میزان استاندارد کاهش می یابد.

## کمپرسورهای گریز از مرکز

شرکت Nuovo pignone از سال 1960 طراحی و ساخت انواع کمپرسورهای گریز از مرکز را آغاز نمود و توانست در طراحی این نوع کمپرسور خود را پیشتاز نموده و در سطح بین المللی مطرح گردد.

بمنظور آشنایی بهتر با انواع مختلف کمپرسورهای گریز از مرکز، در این بخش به اختصار طرز کار این نوع کمپرسورها ارائه می گردد.

فشار سیال عبوری از یک کمپرسور گریز از مرکز، توسط انرژی حاصل از چرخش پره های نصب شده روی کمپرسور افزایش میابد.

این نوع کمپرسور از یک پوسته تشکیل شده که درون آن دیافراگمها و روتور قرار دارند.

گاز از طریق نازل ورودی مکیده شده و پس از عبور از میان ایمپلرها و دیافراگم، بطرف نازلهای خروجی در قسمت انتهایی محور کمپرسور هدایت می شود.

قسمتهای اصلی یک کمپرسور گریز از مرکز شامل دو بخش ثابت و متحرک می باشد.

بخش ثابت کمپرسور شامل قسمتهای اصلی کمپرسور، نازلهای ورودی و خروجی گاز، دریچه های ورودی و خروجی، مجموعه تجهیزات میانی دیافراگمها، سیستمهای نشت بندی دو طرف ابتدا و انتهای محوروپا تاقانهای ژورنال و تراست می باشد.

بخش متحرک کمپرسور شامل قسمتهای: ایمپلرها، محور، بالانس درام، spacerها، seal sleeve، حلقه تراست و رینگهای قفل کننده می باشد.

جریان گاز از میان نازلهای ورودی عبور کرده و وارد دریچه ورودی یا Inlet volute میشود.

Inlet volute عمل توزیع یکنواخت جریان گاز و هدایت آن به سمت چشم ایمپلر را بعهده دارد. در داخل Inlet volute یک زائده بنام fin نصب گردیده که آشفتگی جریان گاز را کاهش داده و از چرخش گاز درون discharge volute جلوگیری میکند. گاز از Inlet volute به سمت چشم ایمپلر هدایت میشود و از قسمت tip یا انتهای شعایی پروانه خارج می گردد. ایمپلر شامل تیغه هایی است که انرژی مکانیکی محور کمپرسور را به گاز منتقل می کند. انرژی گاز به سه عامل دما، فشار و سرعت بستگی دارد. پس از خروج گاز از ایمپلر، سرعت آن افزایش یافته و به قسمتهای ثابت کمپرسور که دیفیوزر نام دارد جریان می یابد. قسمتی از سرعت گاز در دیفیوزر کاهش می یابد. در انتهای دیفیوزر یک کانال برگشتی وجود دارد که گاز را به چشم ایمپلر بعدی هدایت می کند. گاز پس از خروج از آخرین دیفیوزر به discharge volute و سپس به نازل خروجی هدایت می شود. discharge volute نیز مانند Inlet volute دارای زائده ای بنام Fin میباشد. این زائده آشفتگی جریان گاز را کاهش داده و از چرخش گاز درون volute جلوگیری میکند افزایش انرژی گاز با توجه به سه ویژگی فشار، دما و سرعت تعریف می شود. این سه ویژگی، تعیین کننده کمیتی بنام انتالپی هستند. انتالپی کمیتی است که فقط به وضعیت جریان گاز و مقدار انرژی داخلی گاز بستگی دارد.

با توجه به فرمول، انتالپی عبارتست از حاصلجمع دو مولفه انرژی درونی  $U$  و حاصلضرب فشار و حجم گاز. حاصلضرب فشار و حجم، مقدار انرژی است که بوسیله سرعت گاز ایجاد می شود.

ترمودینامیک علمی است که مفهوم تبدیل انرژی از یک صورت به صورت دیگر را شرح می دهد و مطالعه می کند که این انرژی چگونه از صورتی به صورت دیگر تبدیل می شود.

سوار کردن قسمت‌های مختلف روتور، از نصب sleeve هادر ناحیه ای از محور که با سیل‌های روغنی تماس پیدا می کند آغاز می شود. سپس locking ring در ناحیه ای که بالانس درام قرار می گیرد، نصب می شود.

پس از آن بالانس درام روی محور قرار گرفته و با استفاده از double key به آن جفت می شود. و نهایتاً ایمپلر discharge نصب شده و مجدداً با استفاده از double key در کنار بالانس درام، روی محور جفت می شود. حال این مجموعه بصورت دینامیکی بالانس می شود.

پس از آن که روتور از نظر دینامیکی بالانس شد، یک spacer نصب میشود و ایمپلر بعدی روی آن اضافه می گردد. مجدداً روتور از نظر دینامیکی بالانس می شود. مراحل بالانس نمودن روتور، نصب spacer و اضافه کردن ایمپلرها، بر اساس نیاز شرکت خریدار، تکرار می گردد. در نهایت حلقه نگهدارنده تراست نیز تحت فشار هیدرولیکی در محل خود در انتهای محور جای می گیرد.

در این مرحله دیافراگمها بر روی بدنه اصلی نصب می گردند. بدنه اصلی و دیافراگمها بصورت افقی به دو نیمه تقسیم شده اند. روی هر نیمه از بدنه، نیمی از دیافراگمها سوار می شوند. هر قسمت از دیافراگم، روی شیار مربوطه قرار می گیرد. دیافراگمهایی که در نیمه بالایی قرار می گیرند، بوسیله پیچهای مخصوص در جای خود سفت می شوند تا هنگامیکه نیمه بالایی بدنه روی نیمه پایینی آن قرار می گیرد، این دیافراگمها از محل خود جدا نشوند.

پس از اینکه دو نیمه دیافراگمها روی دو نیمه بدنه در جای خود قرار گرفتند، لایبرنت سیلها در ورودی دیافراگمها نصب می شوند. حلقه های لایبرنت سیل در قسمت چشم ایمپلر و پشت ایمپلر، روی شیار هر یک از دیافراگمها قرار می گیرند. لایبرنت سیل‌هایی که روی نیمه بالایی بدنه قرار می گیرند، بوسیله پیچهای مخصوص در جای خود سفت می شوند تا هنگامیکه نیمه بالایی بدنه روی نیمه پایینی آن قرار می گیرد، لایبرنتها از جای خود جدا نشوند.

حال مجموعه روتور که قبلاً در مورد آن توضیح داده شده، در نیمه پایینی و روی لایبرنت سیل‌های آن قرار می گیرد. سپس وضعیت قرار گیری محور روتور تنظیم گردیده و تثبیت می شود. پس از آن، نیمه بالایی بدنه روی نیمه پایینی که روتور درون آن جای گرفته است قرار می گیرد. قبل از نزدیک کردن دو نیمه بدنه به یکدیگر، حلقه های oring آغشته به گریس، در شیارهای میانی دیافراگمها، در نیمه پایینی بدنه جای می گیرند تا نشتی بین مراحل کمپرسور را به حداقل برسانند. بایستی از جفت شدن کامل دو نیمه بالایی و پایینی بدنه اطمینان کامل حاصل نمود تا از صدمه دیدن جدی روتور و دیافراگمها جلوگیری شود.

## کمپرسورهای رفت و برگشتی

اصول کار کمپرسور بر اساس سیکل منحنی فشارحجم در شرایط ایده آل میباشند. در اینجاسیکل کامل عملکرد کمپرسور، متناسب با منحنی فشار، حجم مربوطه نشان می شود. به حرکت نشانگر روی منحنی، همزمان با عملکرد کمپرسور دقت کنید.

در طول عملیات کمپرس گاز، مقداری از کار انجام شده به انرژی حرارتی تبدیل می شود. این انرژی حرارتی به همراه گاز از سیلندر خارج شده و در نتیجه باعث افزایش دمای گاز در طول این فرایند می شود. افزایش دما موجب بالا رفتن درجه حرارت قسمتهای مختلف سیلندر می شود. دمای نهایی سیلندر تا جایی افزایش می یابد که برابر مقدار متوسط دمای گاز ورودی به سیلندر و گاز خروجی از آن شود.

در هر سیکل از حرکت پیستون، ناحیه کوچکی در بالای سیلندر، توسط پیستون پوشانده نمی شود. بنابراین در پایان هر سیکل، مقداری گاز در این ناحیه باقی می ماند. این ناحیه clearance سیلندر نامیده میشود. clearance سیلندر عبارتست از مجموع حجم محصور شده بین ناحیه بالای سیلندر تا روی پیستون در انتهای هر سیکل، حجم محصور شده بین دیواره سیلندر و دریچه ها، و حجم محصور شده بین قطر سیلندر و قطر پیستون.

در پایان هر سیکل، حجمی از گاز در clearance سیلندر به تله می افتد که فشار و دمای آن با فشار و دمای گاز خروجی برابر است. مرحله نخست سیکل هنگامی آغاز می شود که با پایین رفتن پیستون، فشار گاز محصور شده در clearance با فشار گاز ورودی برابر شود بنابراین دریچه ورودی سیلندر، تا زمانی که فشار گاز درون سیلندر برابر فشار گاز ورودی شود، باز نخواهد شد. این عمل باعث کاهش حجم گاز ورودی می شود.

عمل کمپرس گاز فقط در مرحله بالا رفتن پیستون انجام می گیرد. استفاده از کمپرسورهای Double acting موجب می شود، عمل کمپرس، بین دو مرحله رفت و برگشت پیستون تقسیم شده و در نتیجه نیروی محرکه چرخشی بصورت متعادل در آید.

در یاتاقان اصلی که قسمت انتهایی آن بزرگتر است، پین یاتاقان همیشه یک چرخش کامل را انجام می دهد. در نتیجه با چرخش کامل پین، روغن به تمامی سطح یاتاقان منتقل می شود. اما در یاتاقان کوچکتر، پین یاتاقان نمی تواند چرخش کامل انجام دهد و بنابراین عمل انتقال روغن به تمامی سطح یاتاقان غیر ممکن میشود.

همه دریچه هایی که در کمپرسورهای رفت و برگشتی استفاده میشود از چهار قسمت اصلی تشکیل شده اند که عبارتند از valve sit ، valve plate ، valve shutter ، فنرها، Valve stop .

Valve sit قطعه ایست که روی آن شیارهای عبور گاز تعبیه گردیده است. این قسمت بوسیله valve shutter مسدود می شود. Valve sit و valve shutter بصورت مکانیکی اختلاف فشار را حفظ می کنند. Valve sit درون محفظه ای در روی بدنه سیلندر واقع شده است. Valve shutter قسمتی است که بطور متناوب شیارهای عبور گاز را مسدود و باز می کند. وظیفه فنرها برگرداندن valve shutter روی valve sit در هنگام قطع جریان گاز می باشد. Valve stop تعیین کننده میزان تخلیه ایست که shutter می تواند داشته باشد. در بدنه کمپرسورهای بزرگ از یک ساختار باز مورد استفاده قرار گرفته است. نشیمنگاه میل لنگ، بصورت U شکل ساخته شده است تا میل لنگ بتواند به راحتی از جای خود خارج شود. همانطور که می

بینید کشیده شدن سیلندر به دو طرف، باعث باز شدن نشیمنگاه میل لنگ می شود. برای محافظت نشیمنگاه میل لنگ در برابر این نیرو، از میله هایی بنام Crass piece در بالای آن استفاده می شود.

در هنگام عبور گاز، دریچه کمپرسور بوسیله نیروی جریان گاز باز می شود. این دریچه تا زمانیکه نیروی وارد شده از طرف جریان گاز از نیروی فنرها که در جهت مخالف اعمال می شود، بیشتر باشد، باز می ماند. در هر حال، دریچه بایستی فقط در زمان پایان مراحل مکش و تراکم مربوطه، بسته شود و این عمل در مورد هر دو دریچه ورودی و خروجی یکسان است.

در صورتیکه مقاومت فنرها و سرعت گاز، متناسب با هم انتخاب نشوند، عملکرد دریچه نامتعادل نخواهد بود. فنرها باید به گونه ای انتخاب شوند که به دریچه ها اجازه دهند تا در برابر نیروی وارد شده از طرف جریان گاز، بدون لرزش باز شود. همچنین فنرها باید به اندازه کافی سفت باشند تا از بسته شدن دریچه، پس از پایان نقطه مرگ اطمینان حاصل شود.

اگر دریچه، بعد از پایان نقطه مرگ هنوز باز بماند، در اثر برگشت جریان گاز و نیروی وارد شده از طرف آن، ضربه شدیدی به دریچه وارد شده و احتمالاً موجب صدمه دیدن آن خواهد شد.

حال یک کمپرسور یک مرحله ای را در نظر بگیرید اگر فشار خروجی بیشتر شود، نسبت فشار خروجی به ورودی یا نسبت تراکم کمپرسور افزایش می یابد و بازده حجمی کاهش می یابد. در نتیجه حجم گاز خروجی کمتر شده و ظرفیت کمپرسور کاهش می یابد. در این منحنی، تغییرات توان خروجی بر حسب فشار خروجی نشان داده شده است.

ابتدای این منحنی را که دارای کمترین مقدار نسبت تراکم می باشد، در نظر بگیرید. اگر فشار خروجی کم کم افزایش یابد، ابتدا توان خروجی، متناسب با نسبت تراکم افزایش می یابد. با ادامه افزایش فشار در خروجی، توان خروجی به یک مقدار ماکزیمم رسیده و سپس سیر نزولی پیدا خواهد کرد.

در سیستمی که مشاهده می کنید، بخشی از گاز خروجی مرحله اول، توسط عمل recycle به ورودی آن برگشت داده می شود و در نتیجه ظرفیت کمپرسور بصورت پیوسته کنترل می شود. این سیستم برای کمپرسورهای چند مرحله ای مناسب می باشد. در این سیستم، مقداری از گاز عبوری از مرحله اول، برگشت داده شده و در نتیجه میزان گاز عبوری از مرحله دوم کمتر از مرحله اول می باشد.

نخست تمامی جریان گازی که تحت سیستم کنترل ظرفیت قرارداد از مرحله اول عبور می کند. سپس مقداری از آن برگشت داده شده و ما بقی آن از مراحل بعدی عبور می کند. از خصوصیات این سیستم عبارتند از،

1- کنترل آن پیوسته است.

2- برای کمپرسورهای چند مرحله ای بکار می رود.

3- بازده آن مناسب است.

4- ساختمان آن ساده است.

5- از نظر هزینه، ارزان می باشد.

