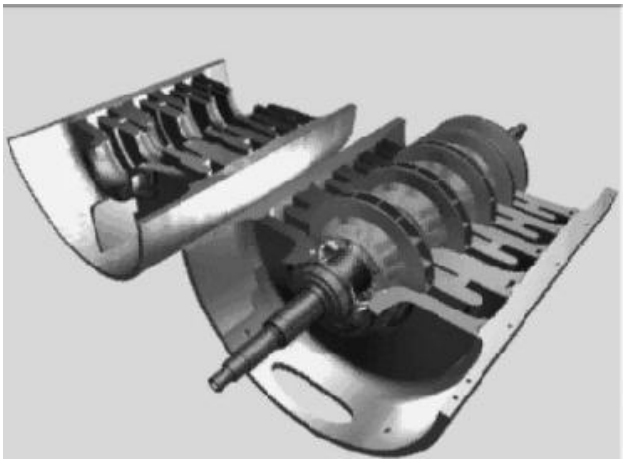
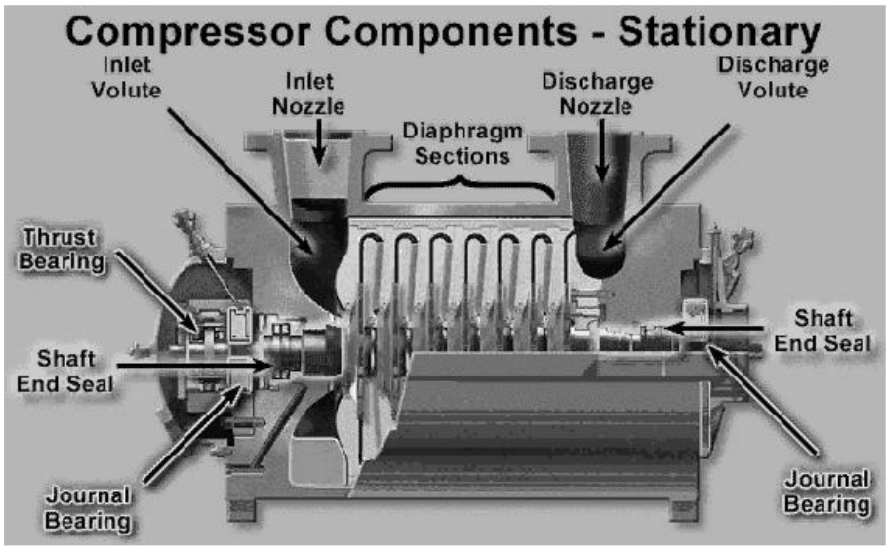
www.package118.ir

کمپرسور گاز

کمپرسور وسیله و یا ماشینی است که برای انتقال و افزایش فشار گاز به کار مـی رود. (کمپرسور دقیقاً همان نقش پمپ را در مورد گازها ایفا مـی کنـد) کمپرسـورها گـاز را انتقال می دهند و در ضمن انتقال گاز، فشار سیال در خروجی از کمپرسور افزایش مـی یابد. البته با توجه به نوع کمپرسورها و میزان فلوی عبوری، اخـتلاف فشـار ورودی و خروجی در کمپرسورها متفاوت می باشد.

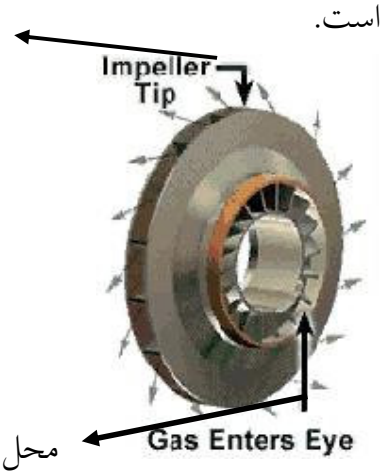
کمپرسـورهای گـاز در ایسـتگاههای تقویـت فشـار عمـدتاً از نـوع گریـز از مرکز(centrifugal) می باشند. این نوع کمپرسورها می توانند از نوع دو مرحله ای یا بیشتر و یا یک پروانه و یا تعداد پروانه بیشتری داشته باشـند. در شـکل زیـر یـک نـوع کمپرسور چند مرحله ای نمایش داده شده است.





www.package118.ir
اشکان تهویه

گاز پس از ورود به کمپرسور به سمت پروانه هدایت می شود سپس بر اثر چرخش پروانه و ایجاد خلا نسبی، گاز به سمت داخل مکیده می شود. در این پروسه انرژی مکانیکی کمپرسور به انرژی جنبشی در گاز تبدیل می شود. (البته قسمتی از انرژی مکانیکی به انرژی حرارتی تبدیل می شود که منجر به افزایش دمای گاز می شود و قسمتی دیگر از این حرارت به بدنه کمپرسور سرایت می کند) سپس گاز با سرعت بالا(حاصل از افزایش انرژی جنبشی) وارد دیفیوزر شده و در این مرحله، مقداری از انرژی جنبشی به فشار تبدیل می شود. در شکل زیر پروانه کمپرسور نشان داده شده است.



علت افزایش فشار در دیفیوزر:

هرگاه در مسیر عبور گاز یا سیالی تغییر مقطع وجود داشته باشد با افزایش سطح، سرعت کاهش یافته و در عوض فشار افزایش می یابد و بالعکس با کاهش سطح مقطع، سرعت افزایش و فشار کاهش می یابد.

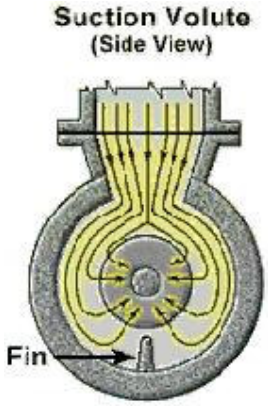
مطابق فرمول $Q = \rho * A * V$ (در اینجا Q (دبی) مقدار ثابتی است و با تغییر مقطع تغییر نمی کند) تغییر جرم حجمی(ρ) که فقط در مورد سیالات قابل تراکم صادق است ناچیز است ولذا با کاهش سطح مقطع (A) سرعت(V) افزایش می یابد و بالعکس.

مقدار انرژی در داخل کمپرسور در تمام نقاط یکسان می باشد و لذا معادله برنولی را بین دو نقطه(ابتدای دیفیوزر و انتهای دیفیوزر) در نظر می گیریم.

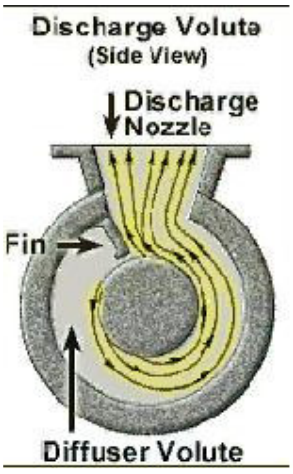
www.package118.ir
اشکان تهویه

طبق معادله برنولی $\frac{P1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$

طرف چپ معادله را برای ابتدای دیفیوزر وطرف راست را برای انتهای دیفیوزر در نظر می گیریم. مطابق با فرمول قبلی ملاحظه شد که با افزایش سطح مقطع سرعت کاهش می یابد پس در دیفیوزر هرچه به طرف انتها برویم سرعت کاهش می یابد و چون طبق معادله برنولی و قانون بقای انرژی، انرژی در دوطرف معادله یکسان است و لذا با کاهش سرعت، (V) در طرف دوم فشار (P) افزایش می یابد. (البته قصد پرداختن به مسائل تئوری را نداریم و فرمول فوق فقط جهت درک بهتر برای کسانی که رشته ای غیر از مکانیک خوانده اند می باشد) در شکل زیر ورودی و خروجی کمپرسور و تغییر مقطع آن نشان داده شده است.



قسمت ورودی



قسمت خروجی

به طور کلی کمپرسور در مرحله اول انرژی مکانیکی را از مولد (الکتروموتور، دیزل و یا توربین) می گیرد و به انرژی جنبشی تبدیل می کند (البته کمی هم به صورت انرژی حرارتی تلف می شود.) و در مرحله بعد انرژی جنبشی گاز به فشار تبدیل شده و در نهایت گاز با فشار بیشتر خارج می شود.

در تمامی ایستگاههای تقویت فشار کمپرسورها از این نوع بوده و به کمک همین کمپرسورها افت فشار گاز در شبکه را جبران می کنند.

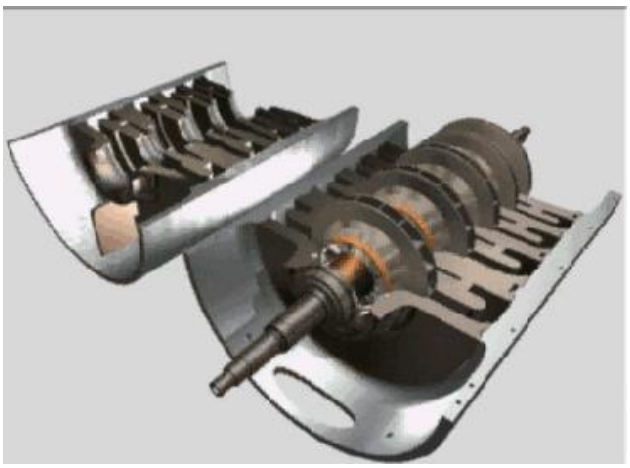
لازم به ذکر است فشار گاز در خروج از پالایشگاه در حدود ۱۰۰۰ psi می باشد ولیکن به علت مصرف گاز در طول مسیر وتلفات واصطحکاک در خط لوله، فشار گاز

www.package118.ir

دچار افت می شود ولذا حدود هر ۸۰-۱۰۰ کیلومتر ایستگاه تقویت فشاری جهت جبران این افت طراحی شده است.

با توجه به ظرفیت ایستگاه و حجم گاز عبوری(flow rate)، تعداد کمپرسورها در ایستگاههای مختلف متفاوت است. بطور مثال بر روی خط سراسری اول تا ایستگاه قم در هر ایستگاه ۵ کمپرسور و بعد از آن ۳ کمپرسور نصب شده است.

خود کمپرسورها نیز با توجه به ظرفیت آن ممکن است چند مرحله ای و یا چند پروانه ای باشند. شکل زیر یک کمپرسور چند مرحله ای را نشان می دهد.



در کمپرسورهای دو یا چند مرحله ای اختلاف فشار گاز ورودی و خروجی بیش از کمپرسورهای یک مرحله ای است که با ΔP نمایش داده می شود.

www.package118.ir

در مشخصه هر کمپرسور سه آیتم بسیار مهم است:

۱- توان کمپرسور:

میزان توانی که کمپرسور مصرف می کند و یا به عبارتی میزان توانی که به hp(اسب بخار) و یا kw (کیلو وات) برای گرداندن کمپرسور مورد نیاز است.

۲- ظرفیت کمپرسور:

میزان گازی که در روز و یا ساعت قادر به عبور دادن از خود(و یا پاس کردن) می باشد که اغلب به میلیون متر مکعب در روز بیان می شود. کمپرسورهایی که تعداد پروانه های بیشتری در یک مرحله دارند ظرفیت بالاتری دارند.(لازم به ذکر است در تصویر صفحه قبل کمپرسور از نوع چند مرحله ای بوده اما در هر مرحله فقط یک پروانه دارد و لذا در اینگونه کمپرسورها با افزایش تعداد مراحل، فقط اختلاف فشار افزایش می یابد).

۳- اختلاف فشار(rate):

میزان اختلاف فشاری که کمپرسور قادر به ایجاد آن است یعنی نسبت فشار خروجی به فشار ورودی در دور نرمال. البته این میزان به نوع کمپرسور(اعم از اینکه یک مرحله ای و یا چند مرحله ای باشد) و دور آن وابسته است. اکثر کمپرسورهایی که در حال حاضر در ایستگاههای تقویت فشار گاز در حال کار هستند rate در حدود ۱،۲-۱،۴۴ دارند.

توربین:

اختراع اولین توربین را به فردی از اهالی اسکندریه مصر در ۱۵۰ سال قبل از میلاد مسیح به نام هیرو نسبت می دهند. دستگاهی که هیرو ساخته بود فرفره بخاری نام داشت که جریان بخار داغ از طرفین یک جسم کروی توسط لوله های وارد می شد و از دو لوله کوتاه زانویی شکل که در طرفین جسم کروی قرار داشت، خارج می شد و خروج بخار داغ با سرعت زیاد باعث گرداندن جسم کروی به دور یک میله (که از مرکز جسم کروی عبور کرده بود) می شد. این ساده ترین نوع یک توربو جت بود که در اثر ایجاد نیروی عکس العمل کار می کرد.

www.package118.ir
اشکان تهویه

در سال ۱۵۰۰ میلادی لئوناردو داوینچی که در تمامی حرفه ها دست داشت دستگاهی را طرح ریزی کرد که در آن حرکت روبه بالای گـاز مـی توانسـت پروانـه روی سـیخ کباب را بچرخاند.

در سال ۱۶۲۹ جیووانی برانکا ایتالیایی دیگر، یک توربین بخـار سـاخت کـه در آن از نیروی عکس العمل جت استفاده شده بود و میتوانست ماشین ساده را به کـار بینـدازد. اما اولین کارخانه ساخت توربین گازی متعلق به جـان بـاربر انگلیسـی در سـال ۱۷۹۱ بود. این توربین دارای تمام اجزاء اساسی یک توربین مدرن امـروزی بـوده امـا بـا ایـن تفاوت که در آن یک کمپرسور با حرکت رفت و برگشتی بکار رفته بود. تغییر و تکامل در ساخت توربین های گاز در سالهای بعد به جایی رسید که در حـال حاضـر تـوربین هایی با توان ۶۰۰ MW و بیشتر ساخته می شود. تقریباً در تمامی هواپیماهای امروزی اعم از باری، جنگی، مسافربری و هلیکوپترها از توربین گازی استفاده می شود و حتـی در بسیاری از کشتی ها، نیروگاههای برق و ... از توربین گازی و یا بخـار اسـتفاده مـی شود.

در شرکت نفـت از تـوربین در تلمبـه خانـه هـای خطـوط لولـه نفـت و تـأمین بـرق اضطراری سایر تأسیسات نفتی و پتروشیمی استفاده فراوانی می شود. در شـرکت ملـی گاز در تمامی ایستگاههای تقویت فشار برای گرداندن کمپرسور گاز، از تـوربین گـازی استفاده می شود.

کارکرد توربین ها بر اصل جذب انرژی از گاز، از طریـق کـاهش تـدریجی انـرژی بـا فشار بالا و تبدیل آن به انرژی جنبشی است. این عمل توسط عبـور گـاز از روی یـک سری تیغه های ثابت و متحرک انجام می شود. انرژی جنبشی در تیغه های متحرک کـه روی محور نصب شده اند کاهش می یابد و در تیغه های ثابت که روی محفظه نصـب شده اند بازیابی می شوند. هرچه گاز در توربین پیش می رود لازم می شـود کـه جـرم مخصوص به تدریج کاهش یابد و لذا ارتفاع تیغه در قسمت کم فشار افزایش می یابد.

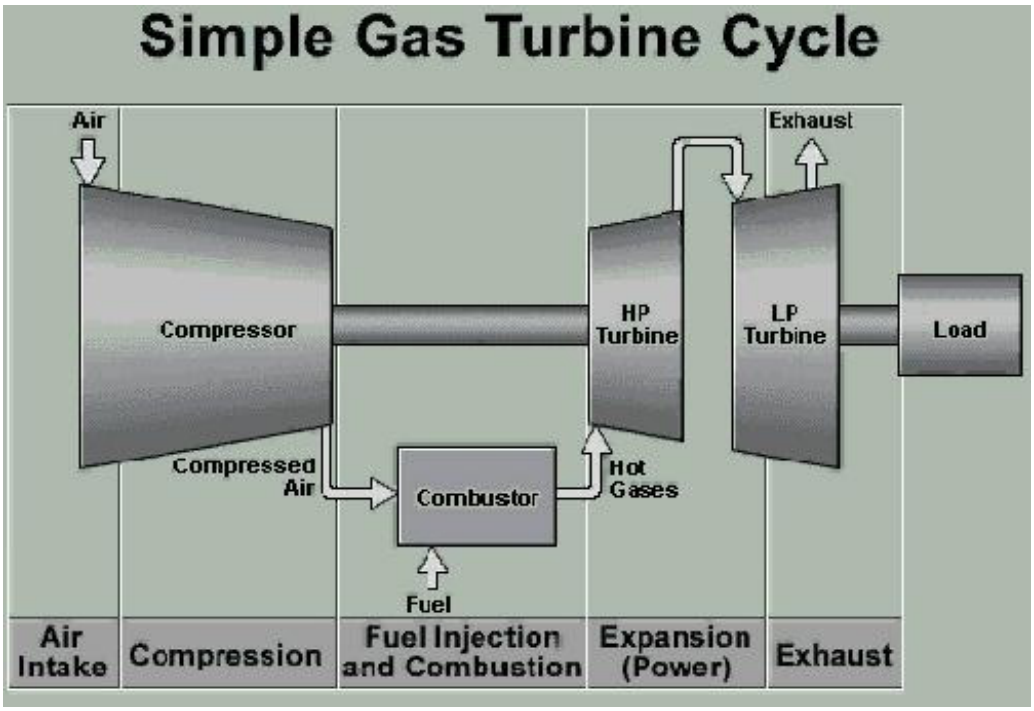
برای چرخاندن کمپرسورها در ایستگاههای تقویت فشار می توان از هر نـوع مولـدی اعم از الکتروموتور، دیزل و یا توربین استفاده کرد اما با توجه به در دسترس بودن گـاز طبیعی و مقرون به صرفه بودن، از توربین برای چرخاندن کمپرسورها استفاده می شود.

توربینها و مخصوصاً توربینهای گازی راندمان پایینتری نسبت به موتورهای دیزل دارند. اما به علت فراوانی و ارزانی گاز و توان تولیدی بالا (از۲ تا۶۰۰ MW) از توربینها استفاده فراوانی می شود.

اگر پروانه پنکه کوچکی را در معرض وزش باد قرار دهید خواهید دید پروانه شروع به گردش می کند زیرا برخورد جریان هوا با پره های پروانه باعث تبدیل انرژی جنبشی هوا به انرژی مکانیکی شده و در نهایت باعث گرداندن پروانه می شود.

در توربین های گاز و بخار نیز به همین ترتیب انرژی همراه بخار سوپر هیت(فوق داغ) و گاز داغ به انرژی مکانیکی تبدیل می شود.

به تعبیری عملکرد توربین برعکس کمپرسور می باشد. زیرا در کمپرسورها با اعمال نیروی مکانیکی انرژی جنبشی به گاز داده می شود اما در توربین، انرژی جنبشی گاز (بخار داغ یا مخلوط هوا و گاز) به انرژی مکانیکی تبدیل می شود. شکل زیر یک طرح شماتیکی از یک توربین ساده دو محوری را نشان می دهد.



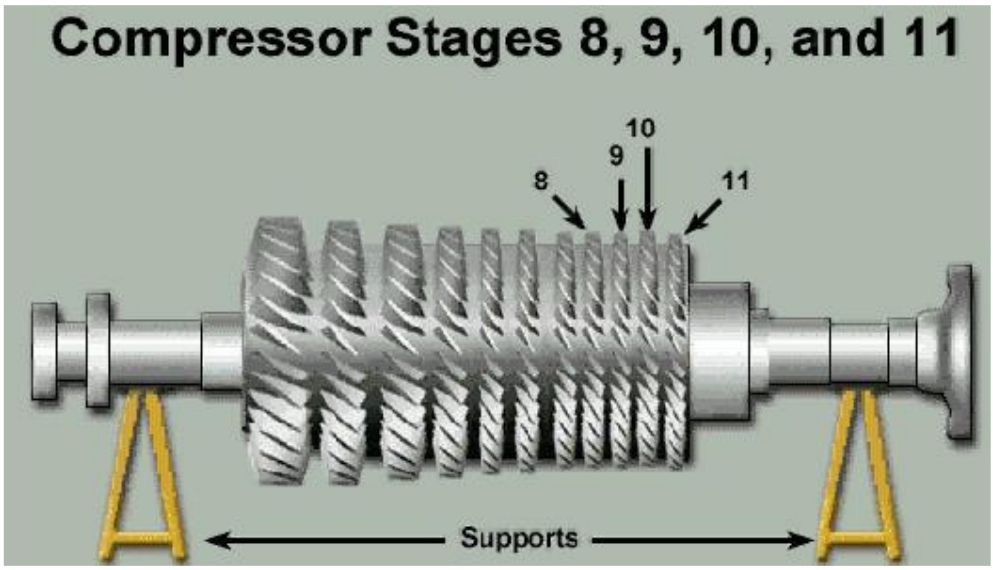
توربین های گاز به طور کلی از سه قسمت اصلی تشکیل می شوند.

www.package118.ir

۱- توربو کمپرسور:

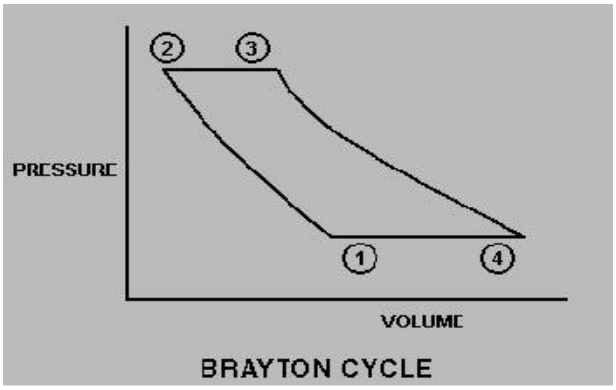
همانطور که اشاره شد هوای داغ فشرده شده باعث گرداندن توربین می شود. اما تولید هوای داغ با فشار بالا مراحلی را طی می کند که اولین مرحله، فشرده کردن هوا توسط توربوکمپرسور می باشد.

شکل زیر یک توربوکمپرسور یازده مرحله ای را نشان می دهد.



چرخش توربوکمپرسور باعث ایجاد خلاء نسبی و یا فشار منفی در ورودی می شود که همین امر به ورود هوا کمک می کند ولذا هوا پس از عبور از فیلتر به داخل توربین هدایت می شود.

پره های متحرک در توربوکمپرسور باعث افزایش انرژی جنبشی گاز می شوند. سپس گاز با انرژی جنبشی زیاد به تیغه های ثابت برخورد کرده و انرژی جنبشی آن به فشار تبدیل می شود. این حالت در طی چند مرحله تکرار می شود تا جاییکه بعد از ۹-۱۶ مرحله (stage) هوا با فشار بالاتر از فشار اتمسفر و دمای بالا وارد محفظه احتراق می شود. همانطور که اتومبیل ها بر اساس سیکل کارنو یا اتو کار می کنند، توربین های گازی نیز تابع سیکل برایتون می باشد. شکل صفحه بعد سیکل برایتون را نمایش میدهد



از نقطه ۱-۲ هوا در توربوکمپرسور فشرده می شود و لذا با کاهش حجم و افزایش فشار همراه است. از نقطه ۲-۳ حجم هوا در فشار تقریباً ثابت(با کاهش خیلی کم) در اثر احتراق و انفجار به کمک سوخت (اعم از گاز طبیعی یا سوخت دیگر) در محفظه احتراق افزایش می یابد. از نقطه ۳-۴ در قسمت توربین انرژی گاز گرفته می شود و لذا فشار گاز کاهش یافته و حجم آن افزایش می یابد و در نهایت هوای منبسط شده از اگزوز خارج می شود.

دمای ورود در توربوکمپرسور تقریباً همان دمای محیط می باشد ولی دمای خروجی توربوکمپرسور با توجه به نوع توربین، بین ۲۰۰-۴۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. (مشخصاتی از این قبیل را می توان از کاتالوگ هر توربین پیدا کرد)

شکل زیر پره های ثابت روی بدنه توربوکمپرسور را نشان می دهد.

www.package118.ir
اشکان تهویه

۲- محفظه احتراق:

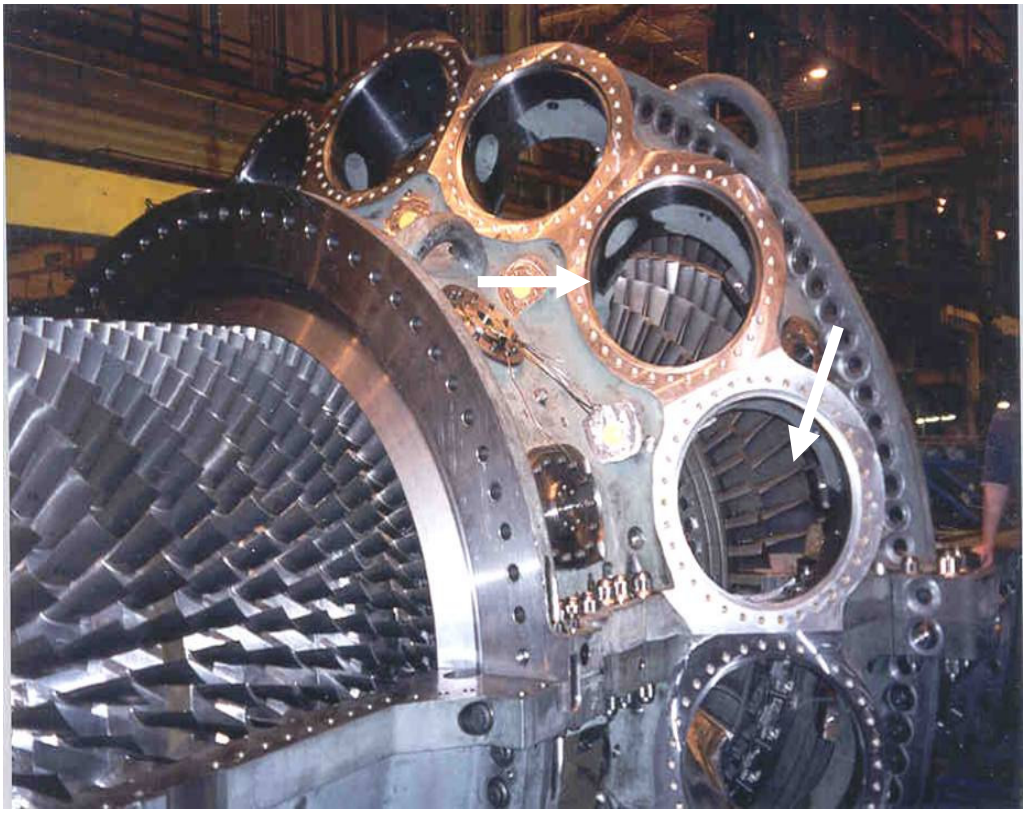
هوای فشرده شده در توربوکمپرسور، وارد محفظه احتراق شده و در مجاورت گاز و یا ماده سوختنی دیگر چون مازوت و گازوئیل مخلوط و محترق می شود و در اثر احتراق، دما و حجم گاز افزایش می یابد. در شکل زیر چند محفظه احتراق نشان داده شده است.

تمامی هوای خروجی از توربوکمپرسور در محفظه احتراق با سوخت نمی سوزد، بلکه درصدی از هوا با سوخت مخلوط شده و احتراق شکل می گیرد و سپس هوای بسیار داغ (تا ۲۰۰۰ درجه نیز می رسد) با مابقی هوا مخلوط شده و در نهایت با دمای خروجی بین ۸۰۰-۱۰۰۰ درجه از محفظه احتراق خارج می شود.(البته هر چه دمای گاز بالاتر باشد انرژی مکانیکی که از توربین می توان گرفت افزایش می یابد اما محدودیت متالوژیکی در ساخت پره ها(blade) باعث شده است که دمای خروجی از محفظه احتراق در یک محدوده معینی باشد.)

در بعضی از توربین ها محفظه احتراق به عنوان یک قسمت مجزا در کنار توربین قرار دارد و گاز از طریق کانالهایی وارد آن و خارج می شود ولی در اکثر توربینهای جدید محفظه احتراق بلافاصله پس از توربوکمپرسور بر روی بدنه سوار است. در این مدل تعدادی محفظه احتراق مانند انباره دور تا دور بدنه توربین قرار دارند و هوای خروجی

www.package118.ir

از توربوکمپرسور بلافاصله وارد محفظه احتراق می شود. در شکل زیر محل نصب محفظه احتراق بر روی بدنه نشان داده شده است.



شمعکهای التریکی برای ایجاد جرقه، ترمومترهایی برای اندازه گیری دما و سنسورهای احساس کننده شعله، از تجهیزات جانبی محفظه احتراق می باشند.

۳- چرخ توربین:

هوای داغ با فشار بالا (خروجی از محفظه احتراق) توسط نازلهای راهنما(nozzle guide vane)به پره توربین دمیده می شود و در این اثنی انرژی جنبشی خود را از دست می دهد.

هرچه تعداد پره های توربین بیشتر باشد و به اصطلاح چند مرحله باشد، راندمان توربین افزایش می یابد. زیرا هرچه مقدار انرژی جنبشی و حرارتی گاز در خروجی پایین باشد حاکی از افزایش راندمان توربین است.

www.package118.ir

(ماکزیمم راندمان توربین های گاز ۳۱ درصد است که این نسبت در توربین های بخار به ۴۲ درصد نیز می رسد)

در بعضی از توربین های گاز ، توربین چند مرحله ای می باشد که در ساده ترین نوع آن، از دو توربین فشار قوی و فشار ضعیف تشکیل می شود. هر کدام از توربین های فشار قوی یا فشار ضعیف نیز می تواند خود چند مرحله ای(stage) باشد. در شکل زیر یک توربین فشار قوی چهار مرحله ای نشان داده شده است.

هوای داغ خروجی از محفظه احتراق باعث گرداندن توربین فشار قوی شده(H.P.T) (high pressure turbine) و سپس هوا از طریق نازل های راهنما به توربین فشار ضعیف دمیده می شود. این دو توربین محورهای مجزا داشته و از هم جدا هستند. توربین فشار قوی(H.P.T) به محور توربوکمپرسور متصل بوده و نیروی گردش توربوکمپرسور را تأمین می کند و توربین فشار ضعیف(L.P.T) به مولد و یا کمپرسور گاز کوپل شده و توان خروجی را ایجاد می کند.

لازم به ذکر است در تمامی توربین های گاز، ۵۵- ۶۵ درصد انرژی گاز صرف گرداندن توربوکمپرسور می شود (یکی از علت های پایین بودن راندمان توربین های گاز همین علت می باشد).

البته مقداری از توان توربین فشار قوی صرف گرداندن پمپ های روغن، هیدرولیک و یا سایر تجهیزات جانبی نیز می شود.

در بعضی از توربین ها، نازل های راهنما (که بین توربین فشار قوی و فشار ضعیف قرار دارند) متحرک هستند و می توان با تغییر دادن جهت تیغه نازل، مقدار هوای دمیده شده به توربین فشار ضعیف را کنترل کرد و در نهایت دور توربین فشار ضعیف را کم یا زیاد کرد. اغلب نازل های متحرک با فشار روغن هیدرولیک به حرکت در می آیند. در توربین هایی که نازل های راهنما ثابت هستند، دور خروجی توربین با کم و زیاد کردن میزان سوخت، کنترل می شود. در توربین هایی که نازل های راهنما متحرک هستند دور H.P.T ثابت بوده با حرکت دادن تیغه های راهنما سرعت L.P.T را کنترل می کنند. شکل زیر نازل های راهنما از نوع ثابت را نشان می دهد.