مقدمه

صنایع مختلف به جهت تامین نیازهای بشر امروزی منابع بسیار زیادی از انرژی را مورد استفاده قرارمی دهند . از این میان انرژی الکتریکی و مکانیکی انواعی از انرژی هستند که در گستره وسیعی از جنبه های زندگی انسان امروزی، به جهت تسهیل روند زندگی، بکار گرفته م یشوند .انسان ها برای تامین انواع مختلف انرژی مورد نیاز، منابع انرژی را که عمدتاً شامل سوخت های فسیلی، باد، آب، خورشید، زمین گرمایی و ... هستند، مورد استفاده قرار می دهند .غالباً این منابع انرژی به همان شکلی که وجود دارند،تامین کننده نیازهای ما نبوده و باید به نحوی متناسب با نیاز ما، تبدیل گردند .به همین منظور، بشر ازابتدا به دنبال راههایی برای تبدیل انواع منابع انرژی به انرژی جنبشی، مکانیکی، گرمایی و ... مورد نیازخود بوده است

اسباب بازی ساده ای مثل فرفره را در نظر بگیرید که می توانیم با فوت کردن به آن، سبب چرخش آن شویم ؛ در واقع با دمیدن هوا به پر ههای فرفره سبب گردش آن شده ایم .در این فرایند ساده، دو عامل اصلی سبب ایجاد گردش فرفره یا به عبارت دیگر نیروی مکانیکی شده است .عامل اول هوای دمیده شده است که سیالی با انرژی جنبشی بالا می باشد و عامل دوم خود فرفره می باشد که می تواند انرژی جنبشی را به مکانیکی تبدیل نماید .از این قاعده ساده در صنعت برای تولید انرژی مکانیکی استفاده می شود .درواقع در صنعت دستگاههایی به نام توربین هستند که با استفاده از انرژی جنبشی سیال، انرژی مکانیکی تولید می کنند و سیال پر انرژی مورد استفاده، عموماً آب، باد، بخار، گازهای داغ حاصل از احتراق می باشد .البته بر اساس نوع سیال به کار گرفته شده توربین های آبی، بادی، بخاری و گازی طراحی وبوجود آمده اند .

آب های جاری و باد دو سیال با انرژی جنبشی بالا هستند که در طبیعت وجود دارند و بشر توانسته با ساختن توربینهای آبی و بادی از این انرژی پاک استفاده کند .اما بخار و گازهای حاصل از احتراق دوسیال پر انرژی هستند که توسط انسان با استفاده از منابع انرژی تولید میشوند تا به کمک آنها کارمکانیکی در توربین های بخار و گاز حاصل شود .تولید بخار در بویلرها و گازهای حاصل از احتراق درمحفظه احتراق توربین گاز صورت می گیرد.انرژی مکانیکی تولید شده در توربینها معمولاً به صورت دورانی می باشد و لذا در صنعت برای چرخاندن دستگاههای مختلف مورد استفاده قرار میگیرد .به عنوان مثال توربین های بادی و آبی معمولاً برای چرخاندن ژنراتور و تولید برق در نیروگاههای بادی و آبی استفاده می شوند .توربین های گازی در صنایع هواپیمایی به عنوان موتور محرک، در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی به عنوان محرک ژنراتور، کمپرسور و پمپ؛ و در نیروگاههای حرارتی به عنوان محرک ژنراتور استفاده می شوند .توربین بخار نیز در ابعاد مختلف و در بسیاری از صنایع به عنوان محرک ژنراتور، کمپرسور، پمپ و ... استفاده می شود.لازم به ذکر است در ابتدا، توربین های گازی، عمدتاً در صنعت هواپیمایی مورد استفاده قرار می گرفت؛ اما با افزایش تقاضا برای انرژی الکتریکی و لزوم استفاده از ماشی نهایی با حجم کوچک، سرمایه اولیه کم وزمان را ه اندازی کوتاه برای تبدیل انرژی گرمایی به کار مکانیکی، استفاده از توربینهای گازی در صنایع دیگر، بالاخص صنعت برق، روز به روز افزایش یافت.

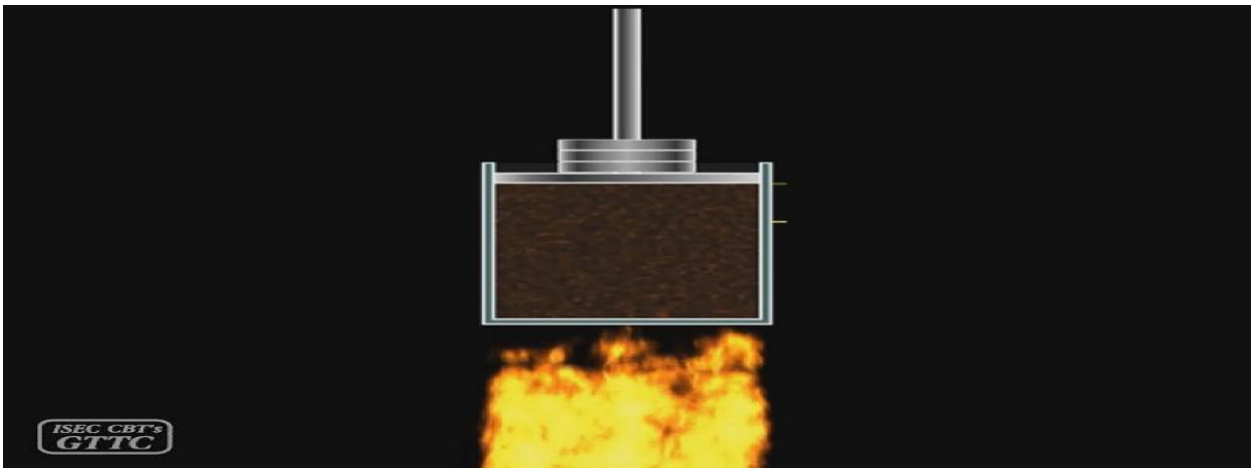
اصول عملکرد توربین های گازی

طبق تعریف، کار مکانیکی عبارت است از حاصل ضرب نیروی مقاوم در جابه جایی برای استخراج کار مکانیکی از انرژی ذخیره شده در گاز، باید به نحوی آن را منبسط کرد، اما این انبساط تنها در شرایط خاصی می تواند تولیدکار نماید .فرض کنید به گاز داخل یک سیلندر، که در فشار اتمسفر قرار دارد، گرما دهیم؛ دراثر گرم شدن، گاز منبسط میشود و بخشی از آن سیلندر را ترک مینماید، بدین ترتیب چون هیچ نیروی مقاومی در برابر این انبساط وجود ندارد تا جابجا گردد، کاری هم تولید نمیشود .به عبارت دیگر، برای اینکه بتوان از این انبساط حجم، کاری بدست آورد، باید یک نیروی مقاوم در برابر انبساط گاز وجود داشته باشد.

برای ایجاد این نیروی مقاوم می توانیم با یک پیستون، گاز را محبوس کرده و وزنه ای روی پیستون قراردهیم . با این کار، گاز در داخل سیلندر فشرده می شود .مقدار کار صرف شده برای ایجاد این فشرد ه سازی،برابر با $mgx1$می باشد.چنانچه در زیر این سیلندر شعله ای قرار گیرد، در اثر بالا رفتن دمای سیلندر، گاز شروع به انبساط می کند،ولی سنگینی وزنه بر خلاف نیروی انبساط گاز، فشار وارد می کند .با حرارت دهی بیشتر، نیروی حاصل ازانبساط گاز، بر سنگینی وزنه غلبه کرده و وزنه را بالا میبرد .در نهایت بر اثر انبساط گاز،

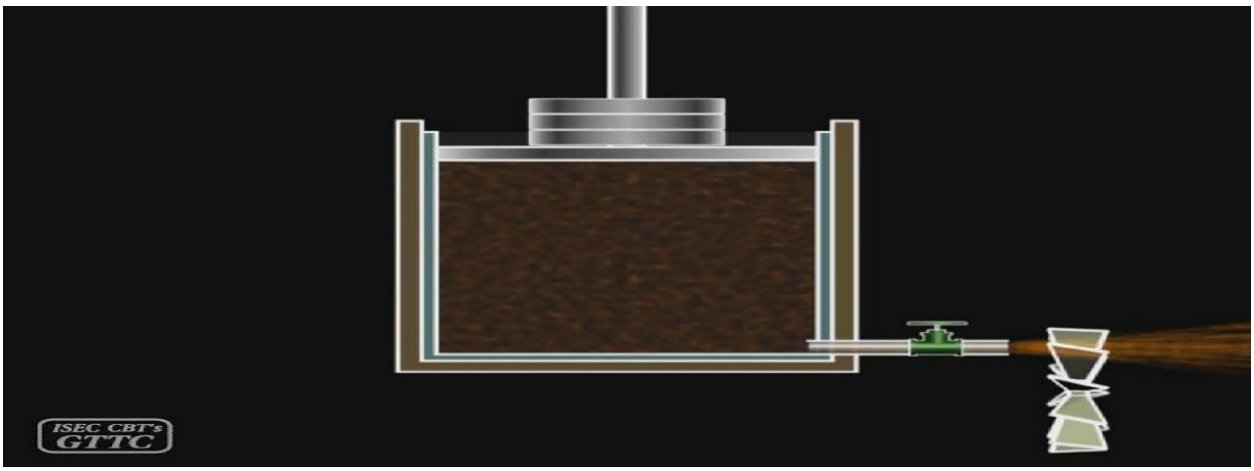
www.prozhe.com

جابجایی بوجود می آید که به مفهوم انجام کار می باشد .مقدار این کار، برابر است با میزان نیروی مقاوم وزنه در مقدارجابجایی آن یعنی . $mgx2$ این مقدار کار را می توان از طریق پارامترهای مربوط به سیلندر تعریف کرد .به عبارت دیگر کار انجام شده برابر است با حاصل ضرب فشار در تغییر حجم سیلندر.



اگر از اتلاف انرژی در این سیستم صرفنظر نماییم، با خاموش شدن شعله زیر سیلندر، دیگر وزنه بالاترنرفته و در ارتفاعی ساکن می ماند .در این حالت فشار درون سیلندر برابر با P می ماند.

حال از پایین این سیلندر و بوسیله یک شیر، مجرایی به بیرون باز می کنیم و پره ای را در مقابل مسیر خروج گازها قرار می دهیم .

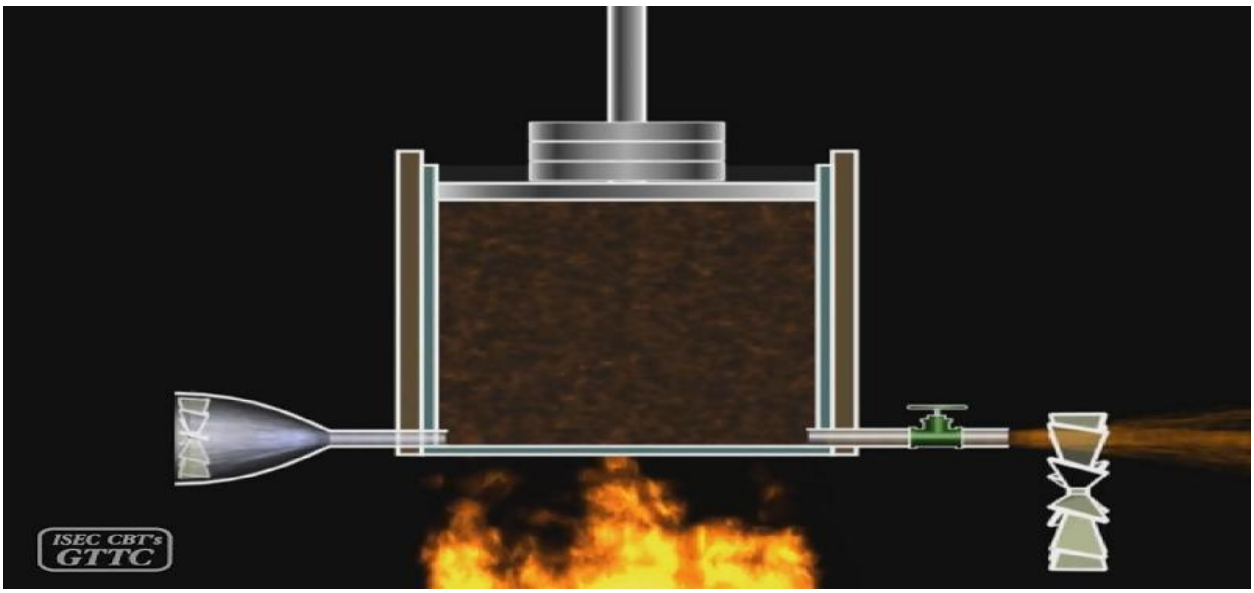


با بازشدن شیر، جریانی از گاز تحت فشار به بیرون از سیلندر جریان می یابد .در حین خروج گاز از شیر، سرعت آن افزایش یافته و پس از برخورد با پره، سبب چرخش آن می شود .به عبارت دیگر با حرکت پره، انرژی جنبشی گاز به کار مکانیکی تبدیل می گردد .با فرض ثابت بودن سرعت حرکت پیستون، فشار داخل سیلندر تقریباً ثابت می ماند .به مرور زمان و با خروج گاز، پیستون پایین می آید تا جاییکه همه گاز درون سیلندر تخلیه گردد و دیگر گازی، برای خارج شدن باقی نماند .در این زمان فشار درون نیز برابر فشار محیط

www.prozhe.com

می شود .با صفر شدن اختلاف فشار محیط و درون سیلندر، دیگر جریان هوایی با انرژی جنبشی بالا برای چرخاندن پره وجود نخواهد داشت و لذا پره از حرکت باز می ماند.

برای آنکه بتوانیم در پره حرکت مستمر داشته باشیم، باید مقدار انرژی جنبشی مورد نیاز را در مقداری خاص حفظ نماییم .به عبارت دیگر اختلاف فشار هوای درون و بیرون سیلندر باید ثابت باشد .فشار محیط برابر اتمسفر و ثابت است، در نتیجه فشار درون سیلندر نیز باید حفظ شود تا اختلاف فشار ثابت بماند .به همین دلیل با خارج شدن هوا از داخل سیلندر، باید به شکلی آنرا جبران نمود .برای حصول این مقصود، ازنقطه ای دیگر در سیلندر، مقدار هوای معادل با هوای خارج شده، وارد م یگردد .برای اینکه بتوانیم دائماً به سیلندر هوای جایگزین وارد نماییم، باید هوای ورودی دارای فشاری بالاتر از فشار سیلندر باشد .لذا بایدانرژی صرف شود تا هوایی با فشار بالاتر تولید و درون سیلندر تزریق شود .این انرژی را می توان از کار تولید شده در پر ه ها تامین نمود.همان گونه که مشاهده شد، با گرم کردن هوای فشرده شدهٔ درون سیلندر، حجم آن افزایش یافته و انرژی پتانسیل آن نیز افزایش می یابد .این انرژی افزوده شده، با گرداندن پره به انرژی مکانیکی قابل استحصال تبدیل می شود .در نتیجه برای استمرار کارکرد پایدار سیستم باید به طور مداوم انرژی گرمایی به هوای فشرده شده، تزریق شود.



این مثال ساده اساس کارکرد توربین های گازی می باشد .ابتدا هوا در بخشی به نام کمپرسور فشرده می شودتا وارد محفظه احتراق گردد .در محفظه احتراق با سوزاندن سوخت فسیلی، هوای فشرده تزریقی گرم می شودو تولید سیال با انرژی جنبشی بالا می نماید .این سیال به سمت پره های توربین هدایت می شود تا به کمک آن

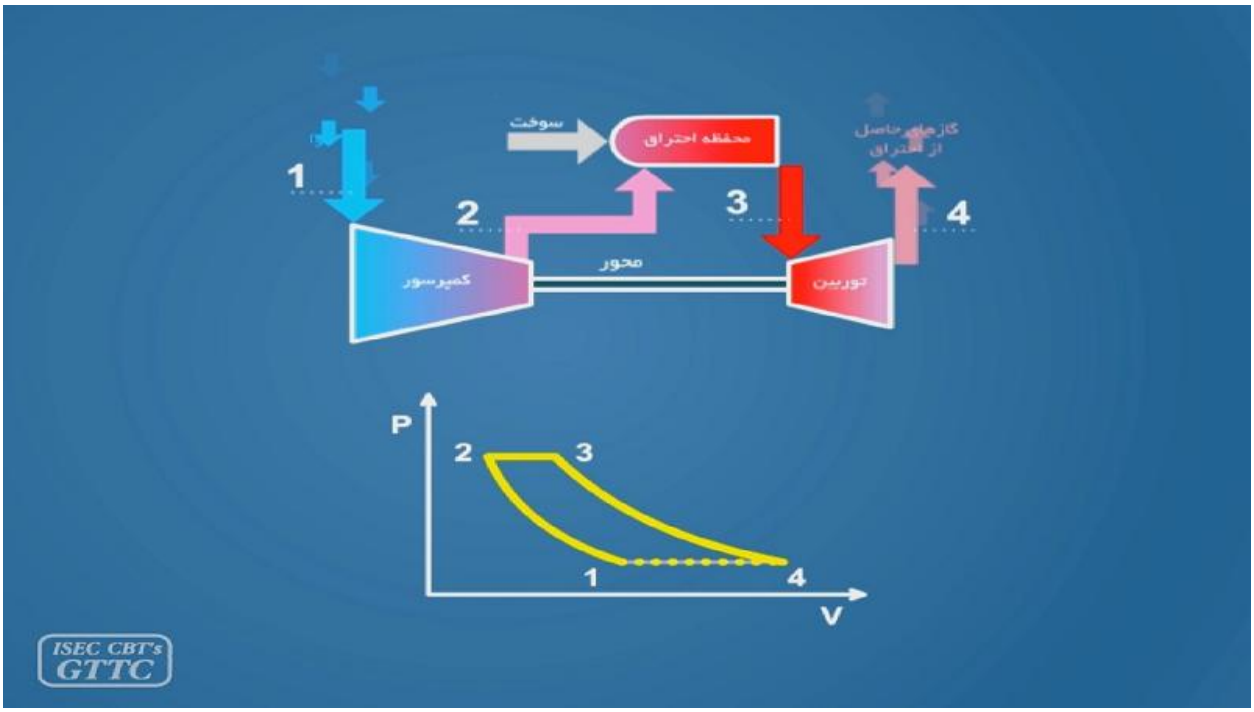
کار مکانیکی تولید نماید .کار تولید شده صرف چرخاندن کمپرسور هوا و دستگاههای دیگر مانند ژنراتورمی گردد.

به طور کلی می توان گفت که یک توربین گازی دارای سه بخش اصلی می باشد؛

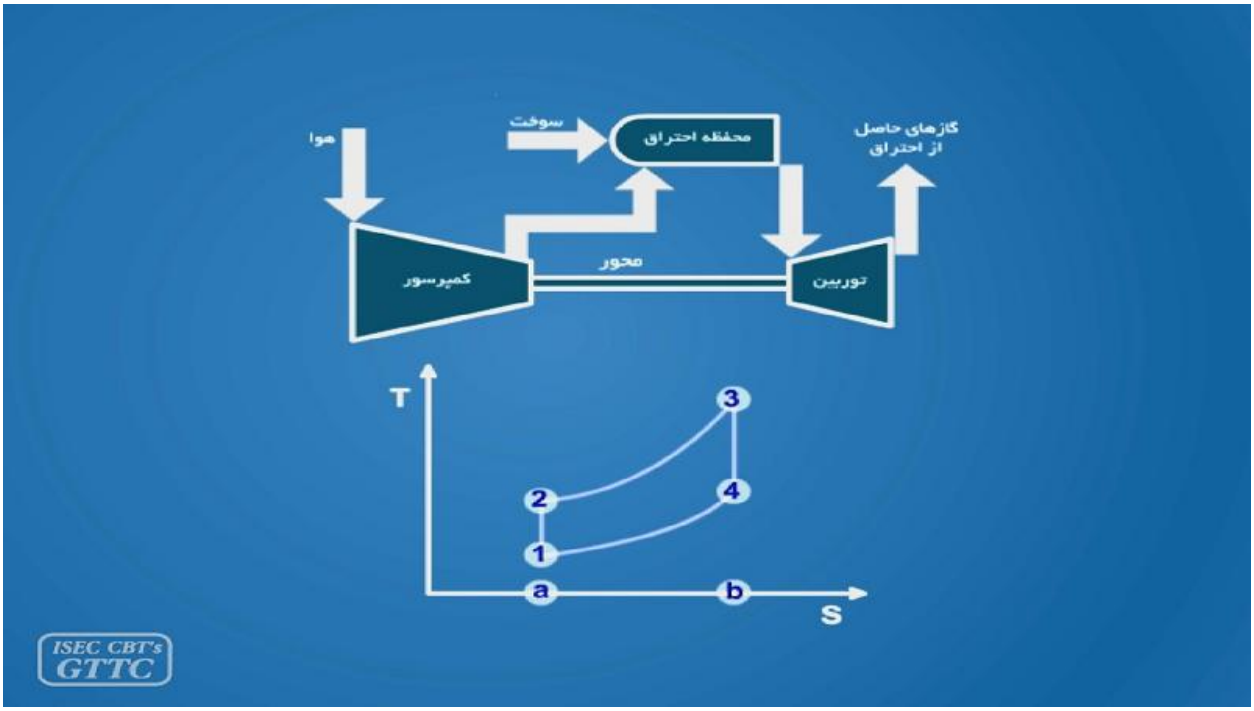
1)وسیله ای برای فشرده کردن هوا یا کمپرسور،

2) بستری برای انجام واکنش احتراق یا محفظه احتراق و

3)وسیله ای برای استخراج کار یا توربین.



www.prozhe.com



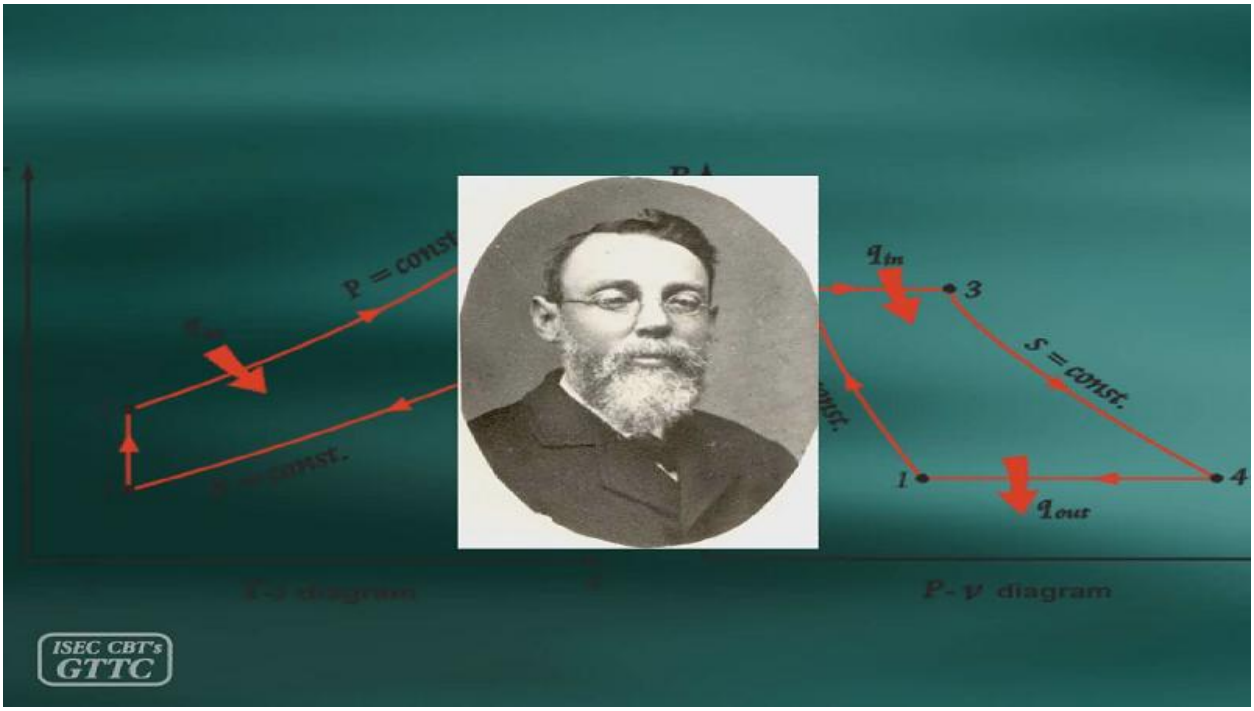
از اینرو فرآیند گردش هوا و گازهای حاصل از احتراق یا همان سیال عامل در توربین گازی را میتوان در3 مرحله اصلی بررسی کرد.

مرحله اول :هوا در نقطه یک یعنی نقطه ای با فشار اتمسفر و دمای محیط به داخل کمپرسور مکیده میشود. این هوا درون کمپرسور فشرده شده و در پی این فرآیند، دمای آن افزایش می یابد .همانطور که دیده می شود همزمان با افزایش فشار، حجم هوا نیز کاهش م ییابد .این هوا با شرایط نقطه دو یعنی نقط های با فشار بالا ودمای بالا، از کمپرسور خارج میشود.

مرحله دوم : در این مرحله، هوای فشرده شده با شرایط نقطه دو، وارد اطاق احتراق می شود .در این بخش وبا تزریق سوخت، عمل احتراق در فشار ثابت صورت گرفته و شعله تشکیل می شود .در عمل احتراق با انبساط حجمی گازها روبه رو هستیم .این هوا با شرایط نقطه سه یعنی نقطه ای با فشار بالا و دمای بسیار بالا اطاق احتراق را ترک می کند.

مرحله سوم :در این مرحله سیال عامل وارد بخش توربین می گردد . این بخش متشکل از مراحلی است که هر مرحله نسبت به مرحله قبلی خود دارای حجم بیشتری است .برای آنکه سیال عامل بتواند از یک مرحله عبور کرده و وارد مرحله بعدی گردد، باید بتواند نیروی مقاوم که همان پر ه های توربین هستند را به حرکت درآورد . غلبه بر نیروی مقاوم و انجام کار، سبب کاسته شدن فشار و دمای سیال عامل و انبساط آن می گردد .سیال حداکثر م یتواند تا رسیدن به فشار محیط، منبسط شود .سیال عامل با شرایط نقطه چهاریعنی نقطه ای با فشار اتمسفر و دمای بالا از توربین خارج میگردد.

برای تداوم کار توربین گاز، لازم است که سیال عامل نقطه چهار به شرایط هوای نقطه یک، رسانده شود تا مجدداً توسط کمپرسور وارد دستگاه گردد .در شکل مقابل، مراحل ارائه شده، در یک سیکل ترمودینامیکی نشان داده شده است .این سیکل توسط یک مهندس آمریکایی به نام جرج برایتون در سال 1872 ارائه شده است و بر همین اساس و به افتخار وی، سیکل برایتون نامیده شد.



به کمک آن میتوان رفتار سیستم، شرایط عملیاتی و میزان کار و انرژی مصرف شده و یا تولید شده را محاسبه کرد، لذا اساس توربین های گازی بر این سیکل بنا شده است.

با توجه به اینکه در نمودار فشار-حجم، تغییرات دمایی بخشهای مختلف سیکل قابل مشاهده نمیباشد، ازاینرو از نمودار دما-آنتروپی این سیکل استفاده می گردد .سطح زیر نمودار *a-2-3-b* معرف مقدار انرژی است که توسط سوخت به توربین گاز وارد شده است .سطح زیر نمودار *a-1-4-b* معرف مقدار انرژی است که بصورت حرارت از اگزوز خارج می گردد .با این تعریف م یتوان نتیجه گرفت که سطح زیر سیکل برایتون یا 1- 2- 3- 4معرف کار تولید شده توسط توربین است .راندمان توربین های گازی بصورت کار تولید شده به ازاء انرژی حرارتی ایجاده شده توسط سوخت تعریف می شود.

دمای احتراق سوخت در محفظه احتراق در حدود 1600 درجهٔ سانتیگراد میباشد که اگر گازهای حاصل از احتراق بخواهد با همین دما وارد بخش توربین شود، باعث آسیب زدن بخش های مختلف توربین می شود به همین دلیل، دمای گازهای حاصل از احتراق، باید با تزریق هوای اضافی پایین آورده شود .با توجه به اینکه

برای تهیه این هوای اضافی، کمپرسور باید هوای بیشتری را فشرده سازد، بخشی از کار تولیدی توربین نیز صرف تامین انرژی مورد نیاز کمپرسور می شود تا بدین صورت، مشکل آسیب دیدگی دستگاهها در دمای بالا رفع گردد .هرچند که صرف انرژی برای فشرده کردن هوای اضافی باعث کاهش راندمان توربین گاز می شود اما در عمل به خاطر محدودیت های ساخت، گریزناپذیر می باشد.بدین ترتیب، دمای محصولات احتراق با تزریق هوای اضافی به محفظه احتراق، در حدود 1060 درجه سانتیگراد کنترل می شود

البته طراحان و سازندگان توربین های گازی تلاش می کنند تا با بالا بردن مقاومت تنشی و حرارتی بخشهای مختلف توربین گاز، اجازه دهند تا گازهای حاصل از احتراق با دمای بیشتری وارد توربین شده و به این شکل با بالابردن دمای گازهای ورودی به توربین وکاستن از مقدار هوای اضافی موردنیاز، راندمان توربین افزایش یابد.از آن جایی که خنک کردن گازهای خروجی تا دمای اولیه، هزینه های زیادی به سیستم تحمیل م یکند و با توجه به اینکه هوای مورد نیاز با شرایط نقطه یک در محیط موجود است، لذا گازهای سوخته به اتمسفر رها میشود و هوای تازه توسط کمپرسور از محیط مکیده میشود .علاوه بر آن در گازهای حاصل از احتراق، میزان اکسیژن کاهش یافته و مناسب برای احتراق مجدد نمی باشد.بدین ترتیب، حجم عظیمی از انرژی نیز به همراه گاز سوخته از دست می رود .البته با اتخاذ رو شهای خاصی چون استفاده از بویلرهای بازیافت حرارتی می توان بخشی از این حرارت را بازیافت کرد .نمونه چنین سیستمی در پتروشیمی فجر و مبین وجود دارد.

www.prozhe.com

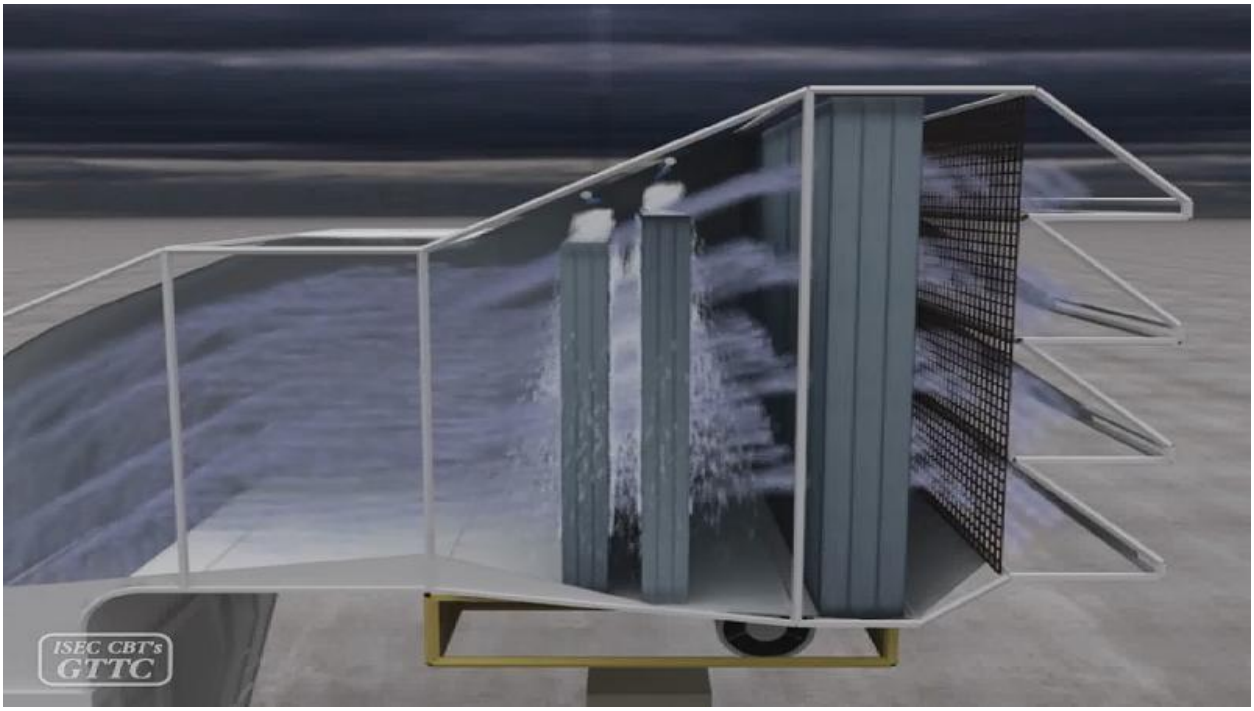
ورودی هوا

هوای مورد نیاز جهت توربین گاز می بایست کاملاً تمیز بوده و از ذرات معلق در فضای اطراف خود پاک باشد .در محیط، معمولاً ذرات معلق زیادی وجود دارد که به نسبت ارتفاع از سطح زمین قطر آنها کمترمی شود . وجود این ذرات در مسیر عبور خود از توربین گاز مشکلات زیادی را برای کارکرد دستگاه بوجود می آورند . در مواقع طوفانی و در حالی که گرد و خاک زیادی در هوای اطراف ما بوجود می آید مقدار وتعداد این ذرات بسیار بیشتر خواهد شد .با توجه به اینکه ورود این ذرات به توربین گاز می تواند مشکلاتی را در کارکرد آن به همراه داشته باشد، تمامی توربین های گاز مجهز به سامانه های فیلتر متعددی جهت تمیز کردن این هوای ورودی هستند که به مجموعه آنها *Air Intake* گفته می شود.در این سامانه ها چند ردیف فیلترهای مختلف جهت جلوگیری از ورود قطعات بزرگ تا کوچک وجود دارد.

در ابتدای سامانه ورودی هوا از توری هایی با مش بزرگ جهت جلوگیری از ورود قطعات بزرگ مانند پرنده ها و خس و خاشاک استفاده می شود .عموماً طراحی این فیلترها به شکلی است که در صورت وجود باران از مکیدن آب به داخل *Air Intake* جلوگیری می شود.

در مرحله دوم فیلترهای فلزی قرار می گیرد که درآن ذرات عبوری در اثر دوران داخل فیلترها به اطراف کانال عبور هوا منتقل شده و از مسیر جریان خارج می شوند.

مرحله سوم، مرحله فیلتر اصلی است که در آن عموماً از فیلتر های کاغذی و یا پارچه ای استفاده می شود، تا از عبور ذرات دارای قطر بزرگتر از $50\ \mu$ جلوگیری کند این فیلترها عموماً بعد از مدتی جرم گرفته وکثیف می شوند و به علت ایجاد اختلاف فشار زیاد در مسیر جریان هوا، تعویض و یا تمیز کردن آنها الزامی می شود.



در صورت کثیفی بیش از حد فیلترهای هوا و عدم تمیز کردن آنها برای مدت طولانی ممکن است کمپرسور دچار کمبود هوا یا خفگی شود .بنابراین بعد از فیلترهای اصلی دریچه های اضطراری تعبیه میشود که با افزایش اختلاف فشار دو طرف فیلترها به شکل وزنی باز شده و هوای محیط بطور مستقیم وارد کانال ورودی کمپرسور می شود .در این حالت ، همزمان دستور توقف واحد نیز صادر می گردد.با توجه به آنچه گفته شد تمیز کردن به موقع فیلترهای هوا از اهمیت ویژه ای برخوردار است، به همین منظور برای تمیز کردن فیلتر های *Air Intake* از روش های دستی و یا خود کار استفاده می شود.

در روش های دستی پس از ظهور آلارم مربوطه، واحد متوقف شده و فیلترهای کثیف خارج و فیلترهای تمیز جایگزین می شود.

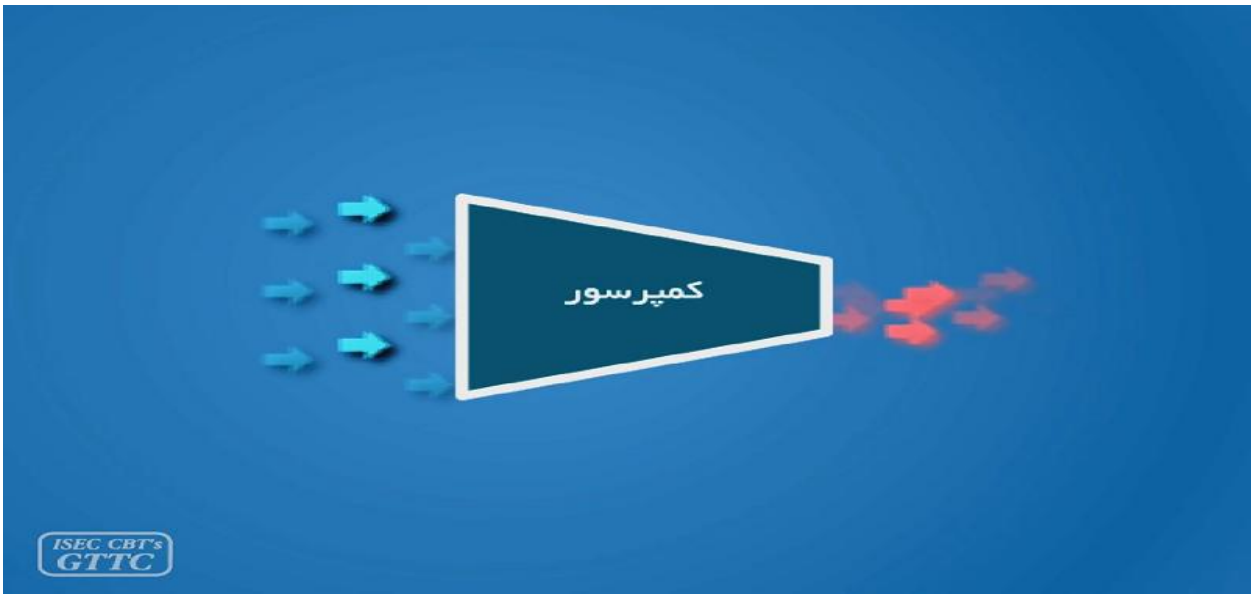
در بعضی از توربین ها با استفاده از یک کمپرسور هوا با فشار بالا به پشت فیلترهای فلزی وارد شده و با اعمال ضربه های منظم سبب جدا شدن ذرات گرد و خاک از فیلترها می گردد .نهایتاً این گرد و خاک توسط مجاری ویژه و با استفاده از یک فن به نام *pulse filter fan* ، از منطقه فیلترها خارج می شود.

در سامانه های ورودی هوا به علت عبور هوا صدای زیادی تولید می شود که باید توسط صداگیرها مقداری از صدای اضافی جذب و صدا در حد شنوایی باقی بماند بدین ترتیب در نهایت این سامانه هوای مورد نیاز کمپرسور را تامین می نماید.

در صورتیکه هوای ورودی به توربین گاز، گرم بوده و دمای بالایی داشته باشد، بازده توربین گاز پایین خواهدآمد .از اینرو در بعضی از واحدهای توربین گاز و در شرایط گرمی هوا، از یک پمپ که آب DM را بر روی فیلترهای کاغذی می پاشد، استفاده می گردد .اینکار سبب خنک شدن هوای ورودی به کمپرسور می گردد.برای آنکه فیلترهای کاغذی بر اثر پاشش آب خراب نشوند، در ترکیب آب DM از مواد شیمیایی خاصی استفاده می گردد، این مواد در یک مخزن با آب مخلوط شده و آماده استفاده می شوند.در مواقعی که دمای هوا پایین می آید، ممکن است در بخش ورودی هوا یا Air Intake یخ زدگی ایجاد گردد .در این شرایط ورودی هوا به کمپرسور محدود شده و در نهایت بر بازده کمپرسور اثر می گذارد. برای جلوگیری از بروز این مشکل در توربین های گاز از سیستمی به نام Anti Icing استفاده می گردد .دراین سیستم بخشی از هوای خروجی از کمپرسور که گرم شده را به ورودی آن تزریق مینمایند تا از یخ زدن جلوگیری نماید.

کمپرسور

با توجه به وظیفه اصلی یک توربین گاز که عبارت است از تبدیل انرژی نهفته در سوختهای فسیلی به انرژی مکانیکی و کار، به منظور فراهم نمودن شرایط ایده ال برای واکنش های احتراق و ترکیب کامل اکسیژن با سوخت، اطاق احتراق، نیاز به حجم زیادی از هوای فشرده دارد، که این هوا توسط یک کمپرسور تامین می گردد.کمپرسورهای مورد استفاده در توربین گاز هوا را از اتمسفر مکیده و فشار آن را تا چندین برابر فشار اتمسفر بالا می برند.



www.prozhe.com

دو نوع متداول از کمپرسورها، برای فشرده سازی هوا در توربینها استفاده می شوند که عبارتند از:

- کمپرسور سانتریفوژ
- کمپرسور جریان محوری

تفاوت ظاهری این دو نوع کمپرسور، مربوط به جهت جریان هوای عبوری از درون آنها می باشد .در کمپرسور سانتریفوژ، جهت حرکت هوا عمود بر امتداد ورود هوا و در کمپرسورهای جریان محوری، این جریان موازی جریانهای ورودی می باشد.

1)کمپرسور سانتریفوژ:

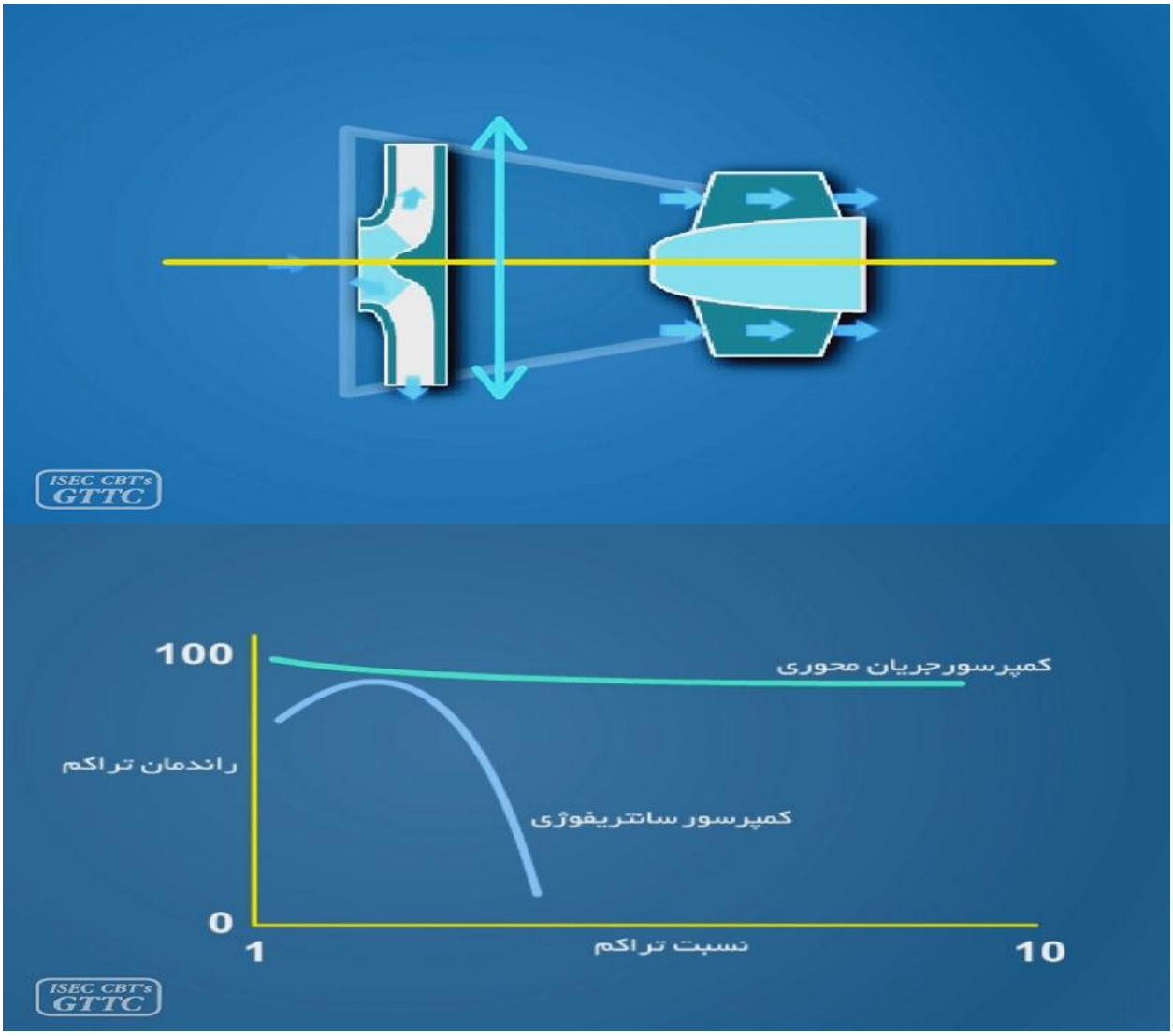
در این نوع کمپرسورها، هوا از مرکز پروانه یا چشم آن، به درون کشیده می شود و پروانه، هوا را به اطراف پرتاب میکند .بخشهای اساسی این نوع کمپرسورها شامل چشمه ورودی، پروانه، دیفیوزر ومجرای خروج می باشد .به طور کلی در اینگونه کمپرسورها، هوا از میان پروانه عبور کرده و بوسیله چرخش سریع پره های پروانه، سرعت، فشار و به عبارت دیگر انرژی آن افزایش می یابد . فشار هوا پس از خارج شدن از پروانه و در طی عبور از دیفیوزر به مقدار قابل توجهی افزایش م ییابد .در واقع نقش دیفیوزر کاستن سرعت هوا و افزایش فشار آن می باشد.

پروانه کمپرسور ممکن است هوا را از یک جهت و یا از دو جهت بمکد.

2)کمپرسور جریان محوری

در کمپرسورهای جریان محوری، هوا موازی با محور چرخنده کمپرسور، وارد آن شده و هم جهت با آن، ادامه مسیر داده و از آن خارج می شود .کمپرسورهای محوری ضمن داشتن ضریب تراکم بالا می توانند حجم بسیار زیاد هوا را فشرده کرده و از این نظر، جهت تهیه هوا در توربین های گاز بزرگ، بیشتر مورد استفاده قرار میگیرند.

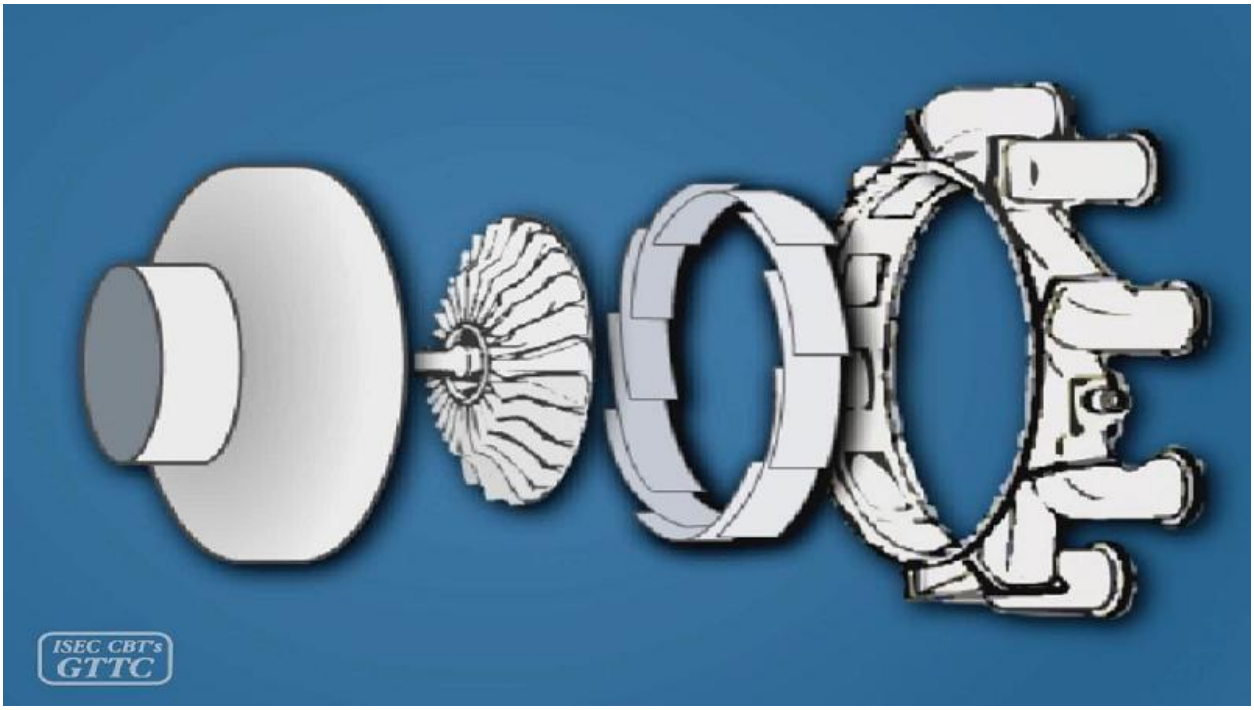
www.prozhe.com



دو عنصر اصلی کمپرسورهای محوری، روتور و استاتور آن می باشد .بر روی روتور و استاتور پره هایی وجود دارند که به پره های روتور یا متحرک و استاتور یا ثابت موسوم هستند .در کنار هر ردیف پر ه های متحرک یک ردیف پره های ثابت وجود دارد .به مجموع یک ردیف پره های متحرک و یک ردیف پره های ثابت، یک مرحله کمپرسور می گویند .عموماً این کمپرسورها دارای چندین مرحله می باشند .درهر مرحله هوای ورودی در ابتدا با پر ه های متحرک برخورد میکند .پره های متحرک ضمن به جلو راندن هوا، باعث افزایش سرعت و فشار آن نیز می گردند .هوای خروجی از پر ههای متحرک وارد پره های ثابت می گردد .پره های ثابت دارای شکل واگرا بوده و علاوه بر تصحیح مسیر حرکت هوا در جهت محورکمپرسور، سبب تبدیل سرعت سیال به فشار می گردد .تعداد این مراحل با توجه به مقدار هوا و فشار نهایی مورد نیاز توربین، تعیین می شود، عموماً بیشتر کمپرسورهای امروزی، دارای 8 تا 16 مرحله می باشند.

www.prozhe.com

در هر مرحله همزمان با ایجاد فشار در گاز، از طرف گاز نیز بر پره ها و به عبارتی بر شفت کمپرسور،نیرو وارد خواهد شد در بعضی از کمپرسورهای محوری، یک یا چند ردیف پره های ثابت با زاویه متغیر وجود دارد که اصطلاحاً Nozzle Guide Vane (NGV) یا Inlet Guide Vane (IGV) نامیده میشوند .این پره ها در هنگام عملیات عادی با تغییر زاویه، میزان هوای ورودی به توربین را جهت ثابت نگه داشتن دما کنترل می نماید .تغییرات دما در محفظه احتراق به دلایل زیادی از جمله تغییر ارزش حرارتی سوخت،تغییر دمای محیط، تغییرات میزان بار و ... می تواند اتفاق بیافتد.همچنین باز شدن این پره ها در حین را هاندازی توربین گاز و همزمان با بالا رفتن دور، سبب افزایش مقدار هوای ورودی به درون کمپرسور می گردد.



در کمپرسورها علاوه بر پره های با زاویه حمله متغیر از بلید ولوها یا بلوآف ولوها نیز برای جلوگیری ازبروز پدیده های سرج و استال بهره برده می شود.

در مرحله را ه اندازی توربین گاز، هنوز پره های توربین به دمای ثابت نرسید هاند و با گرمای گازهای حاصل از احتراق، در حال گرم شدن می باشند .از اینرو دمای گازهای حاصل از احتراق در حال عبور از مراحل مختلف توربین، به شدت پایین م یآید .بر اثر پایین آمدن دما، دانسیته گاز نیز زیاد می شود .از اینرو دربین مراحل توربین تجمع گاز، بوجود می آید .در این حالت جریانهای بعدی گاز با مسیری که در آن مقداری گاز تجمع کرده روبرو می گردند .این امر باعث بالارفتن فشار شده و بدین ترتیب تمامی هوای خروجی از کمپرسور نمی توانند از توربین عبور کنند و ممکن است بخشی از گازها به سمت کمپرسور برگردند و پدیده سرج اتفاق بیفتد .

در این روش و با استفاده از شیرهای مخصوص، مقداری از هوای وارد شده به کمپرسور در زمان راه اندازی و توقف، از مراحل مختلف کمپرسور به بیرون هدایت م یگردد، به این ترتیب سرعت سیال،کنترل می شود .محل قرارگیری این شیرها در مراحل کمپرسور بستگی به کمپرسور دارد و عموماً درمراحل فشار بالا یا HP ، فشار متوسط یا IP و فشار پایین یا LP وجود دارند .به عنوان مثال ممکن است از این شیرها در کمپرسورهای محوری بزرگ که شانزده مرحله دارند، در مراحل چهارم و دهم استفاده گردد .این شیرها، در زمان راه اندازی و تا رسیدن به حدود 95 % دور و در زمان توقف از 95 % دور به پایین، باز بوده و هوای کمپرسور را به بیرون از کمپرسور و عموماً به بعد از توربین و در مسیر هوای عبوری از توربین گاز هدایت می کنند .این شیرها، توسط سامانه کنترل باز و یا بسته می شوند.

محفظه ی احتراق

در حقیقت وظیفه اصلی یک اطاق احتراق دریافت هوای فشرده شده از خروجی کمپرسور و انجام عمل احتراق کامل روی سوخ تهای وارد شده به آن، به شکل مداوم است.

به منظور دستیابی به این هدف، طراحان اطاقهای احتراق در توربین های گاز مدلهای مختلفی را طراحی می کنند .در طراحی یک اطاق احتراق متغیرها و پارامترهای متعددی چون اطمینان از احتراق کامل سوخت، ایجاد فضای مورد نیاز در کوچکترین حجم ممکن، افت فشار کم، توزیع درجه حرارت یکسان در خروجی اطاق احتراق، کنترل دمای قطعات بکار رفته در ساختمان یک اطاق احتراق، پایداری شعله، عدم تشکیل کک و سایر اکسیدهای سوخت، حداقل بودن میزان گازهای سمی در محصولات احتراق و غیره درنظر گرفته می شود.
محفظه های احتراق با طراحی های مختلف در توربین های گازی مورد استفاده قرار می گیرد .عموماً انواع متداول آنها در صنعت شامل موارد ذیل می باشند:

1)نوع اول محفظه احتراق، از یک اطاق احتراق بزرگ که به شکل عمودی نسبت به شفت قرار دارد،استفاده می شود .بخشی از هوای خروجی از کمپرسور وارد آن شده و صرف انجام عمل احتراق می گردد وبقیه صرف رقیق کردن محصولات احتراق و رساندن دمای آنها به مقدار قابل تحمل پره های توربین می شود.

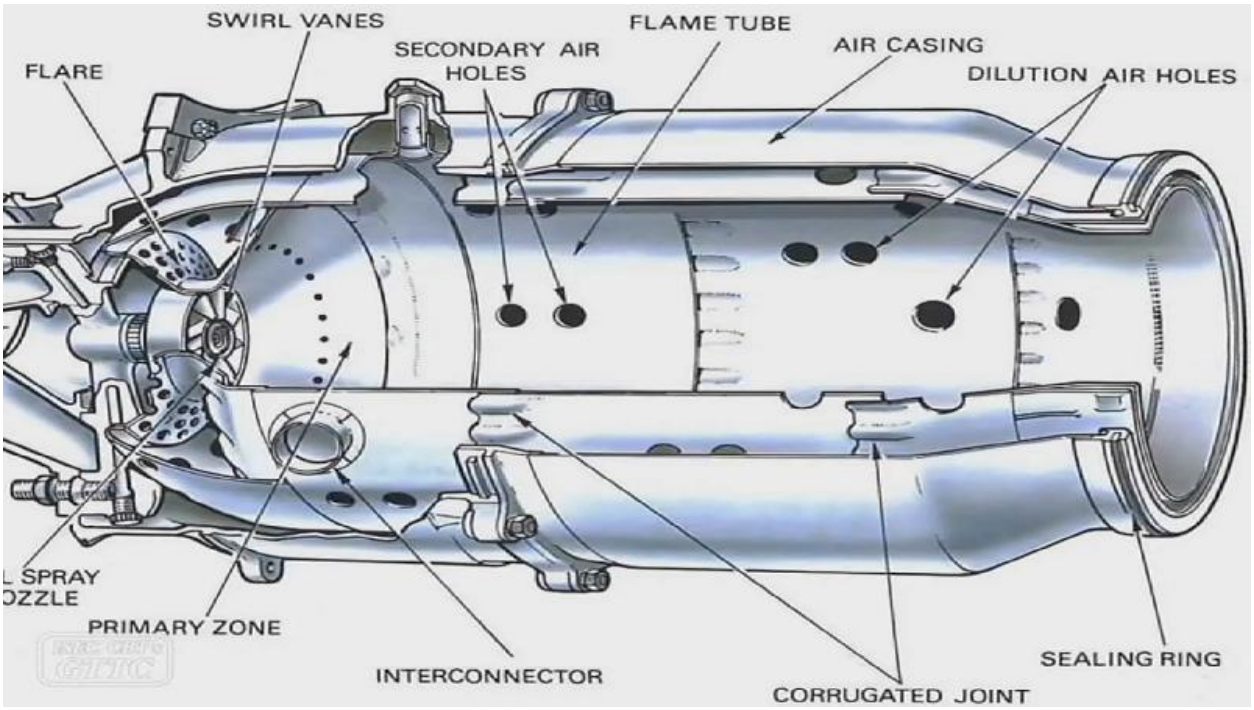
2)در نوع دوم، دو اطاق احتراق نسبتاً بزرگ در دو طرف توربین و بصورت افقی نسبت به زمین قرار دارند .در این مدل هوای خروجی از کمپرسور در اطراف اطاقهای احتراق جریان یافته و سوخت در هر اطاق احتراق توسط هشت نازل سوخت به داخل آن پاشیده می شود، محصولات احتراق وارد یک محفظه مخلوط کن، mixing chamberشده وسپس به سمت توربین هدایت می شوند.

3)در نوع سوم، یک محفظه احتراق بزرگ و مشعل در مرکز قرار گرفته است .هوای خروجی از کمپرسوراز مجاری مختلف به منظور احتراق، اختلاط و رقیق سازی وارد آن م یشود .عموماً این دسته به نام Annular Typeمعروف هستند.

4) در این نوع از توربین های گاز که عموماً به Can Type یا محفظه احتراق چندتایی موسوم هستند، از تعدادی اطاق احتراق حلقوی در دورتادور کمپرسور با تعداد زیاد نازل سوخت پاش استفاده م یشود .در نوعی این مدلها، هوای خروجی از کمپرسور در کناراطاقهای احتراق در مسیری کاملاً برعکس حرکت کرده و در نهایت از مجراهای در نظر گرفته شده برای
عمل احتراق و رقیق سازی وارد اطاقهای احتراق می شود، این نوع به whittle موسوم است.

بطور کلی یک اطاق احتراق از سه قسمت اصلی تشکیل شده است.

1)نازلهای سوخت:یک نازل سوخت که برای پاشش سوخت به داخل اطاق احتراق در نظر گرفته میشود، میتواند برای سوخت گاز و یا گازوییل و یا هر دو و با ارزش های حرارتی متفاوت مورد استفاده قرار بگیرد . برای ورود گازوییل و یا سوخت های سنگین به داخل اطاق احتراق باید کاملاً دقت کرد که سوخت بطور کامل پودر و یا اتمایز شود.



2)محفظه احتراق:در هر محفظه احتراق سه منطقه قابل تشخیص است.

- منطقه مخلوط کردن سوخت و هوا یا Mixing Zone
- منطقه اشتعال یاCombustion Zone
- منطقه رقیق کردن گازهای حاصل یا Dilution Zone.

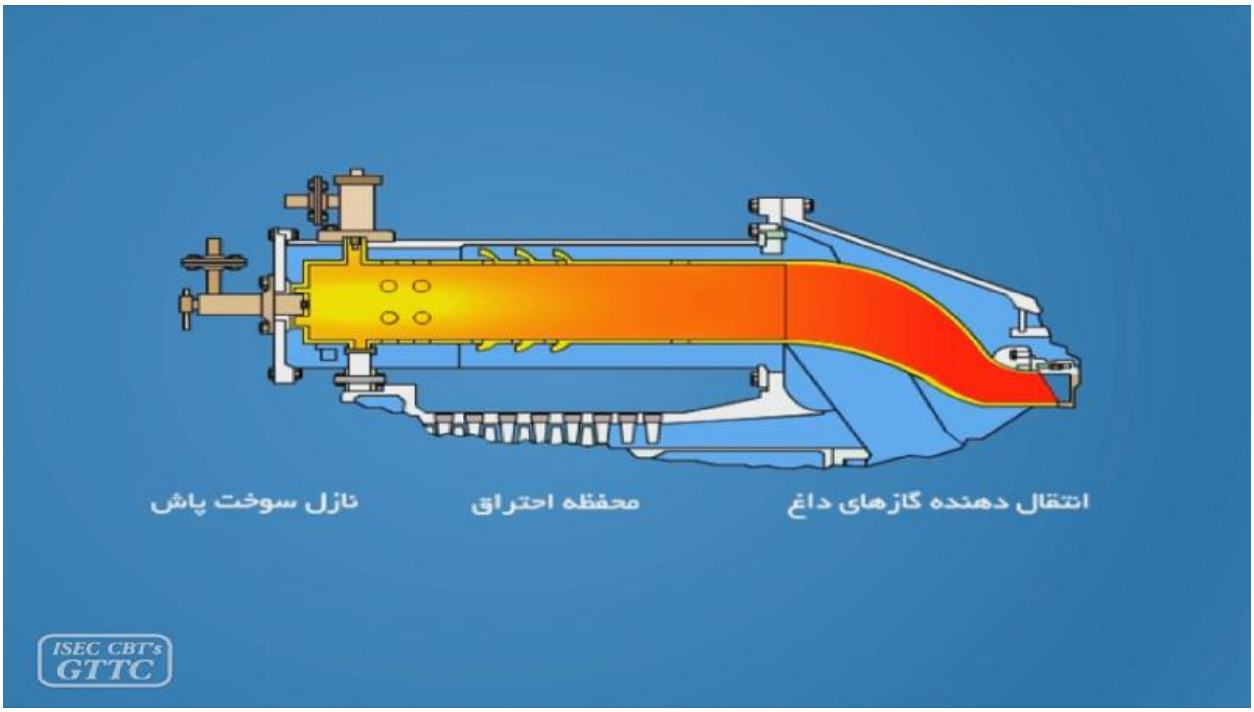
وظیفهٔ اصلی نواحی اختلاط و اشتعال، تشکیل و برقراری شعله و تأمین همزمان، دما و تلاطم مناسب جهت رسیدن به احتراق کامل در حضور مخلوط سوخت و هوا است .در این ناحیه، چرخش دربخشی از گازهای داغ به منظور اشتعال پیوسته در سوخت و هوای ورودی صورت می پذیرد پس از مخلوط شدن هوا و سوخت توسط هوای به دوران در آمده، شعله توسط جرقه زنهای ثابت و یا موقت بر قرار می شود .پس از برقراری شعله، مخلوط هوا و سوخت بطور کامل مشتعل شده و دمای سیال بشدت بالامی رود.در صورتیکه سوخت در منطقه احتراق بطور کامل نسوزد، ممکن است مقداری از سوخت وارد بخش رقیق سازی شده و در آنجا احتراق یابد .بر اثر این عمل، دمای گازهای احتراق در این بخش بالا رفته و دمای گازهای ورودی به بخش توربین افزایش میابد .این افزایش دما سبب ایجاد صدمات جدی به پره های ثابت و متحرک توربین خواهد شد.نسبت هوا به سوخت برای احتراق کامل سوخت های گازی 10 به 1 و برای سوخت های مایع برابر 16 به 1 است .در طرح هایی که تعدادی اطاق احتراق، در اطراف کمپرسور برای احتراق وجود دارد، دو عدد

جرقه زن نیز در دو اطاق احتراق مجاور هم قرار گرفته و در نقطه مقابل هم دو شعله بین تعبیه می گردد.این اطاقهای احتراق توسط لوله های رابط به یکدیگر متصل شده و پس از برقراری شعله در یکی از آنها،شعله از این لوله های رابط به سایر اطاقهای احتراق منتقل می شود تا شعله بین در طرف مقابل شعله را ببیند و اجازه ادامه کار را بدهد.

برای حفظ محفظه های احتراق از سوختن در این درجه حرارت بالا، باید آنها را بطور مرتب خنک نمود .

3) قطعه و یا قطعات انتقال دهنده گازهای داغ

دمای بالای محصولات احتراق می بایست تا حد تحمل پره های ثابت و متحرک ردیف اول کاهش یابد.این عمل در انتهای اطاق احتراق و یا در قطعه و یا قطعات انتقال دهنده گازهای داغ انجام میشود .عموماً در این منطقه، مقدار زیادی از هوای خروجی کمپرسور تحت عنوان هوای ثانویه به شکل مستقیم و با وجود یک سامانه کنترل مقدار، وارد اطاق احتراق شده و دمای آنها را تا حد مجاز پایین می آورد.

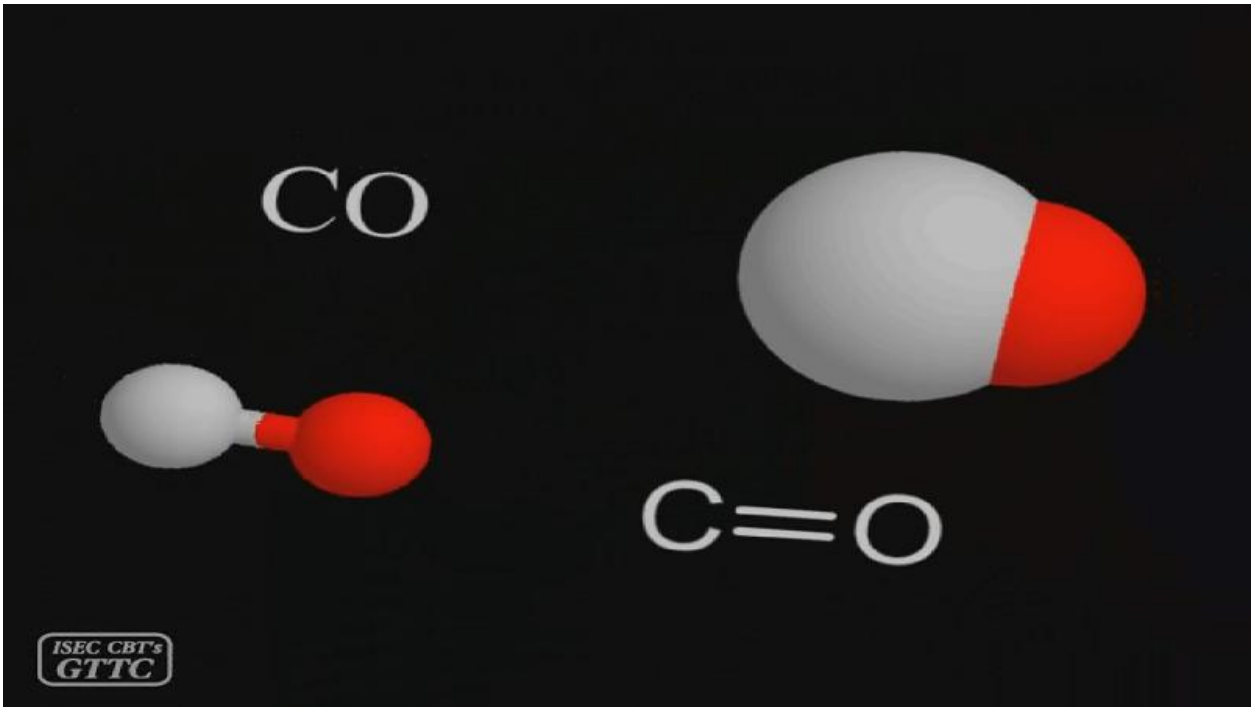


www.prozhe.com

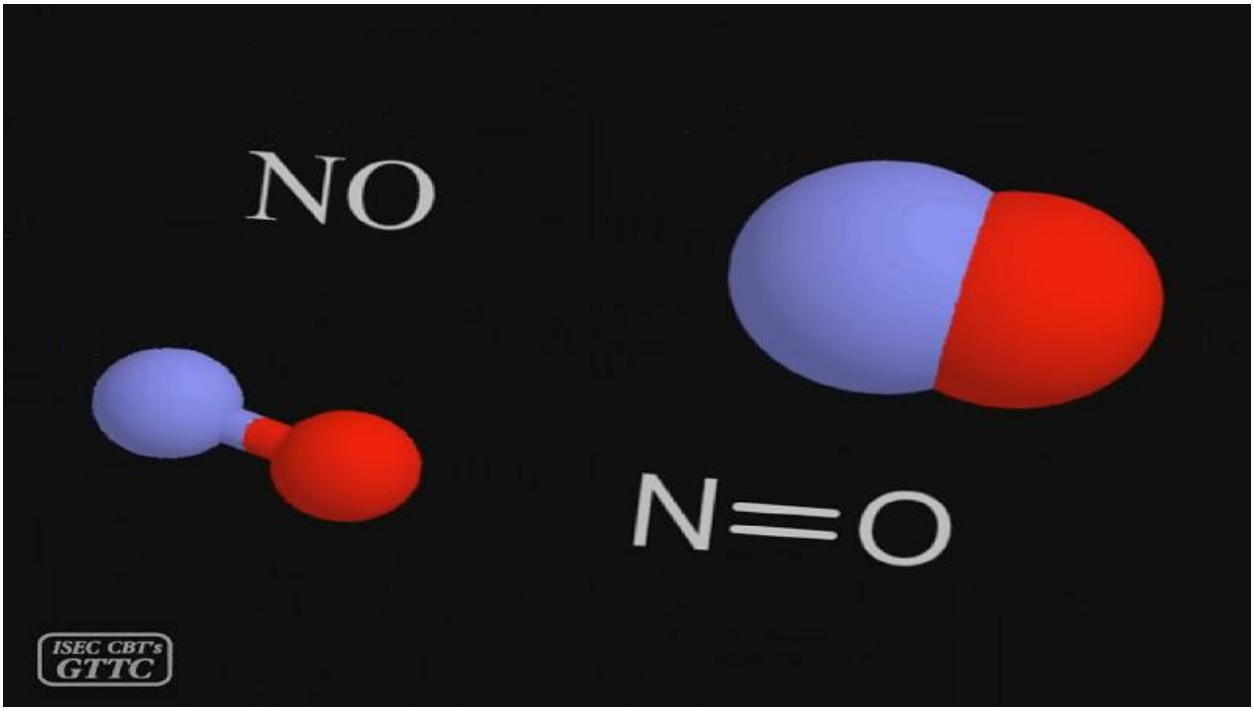
معمولاً گازهای حاصل از احتراق دارای ترکیبات چون منو اکسید کربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن(NOx) ، اکسیدهای سولفور (SOx)هستند که آلاینده محیط زیست و مضر برای انسان میباشند .لذا تمهیداتی به منظور حذف آنها از گازهای خروجی در نظر گرفته می شود.

مونو اکسید کربن، گازی بی رنگ و بی بو است که در اثر سوختن ناقص، کربن موجود در سوخت پدید می آید .استنشاق این گاز سبب کاهش یافتن میزان اکسیژنی که هر یک از اندامهای مهم بدن مانند مغز،قلب و بافت ها دریافت می کنند، شده و می تواند باعث بروز مخاطرات فراوان برای انسان شود .میزان انتشار مونو اکسید کربن در توربین گازی بیشتر تابعی از نحوه و چگونگی طراحی محفظه احتراق می باشد

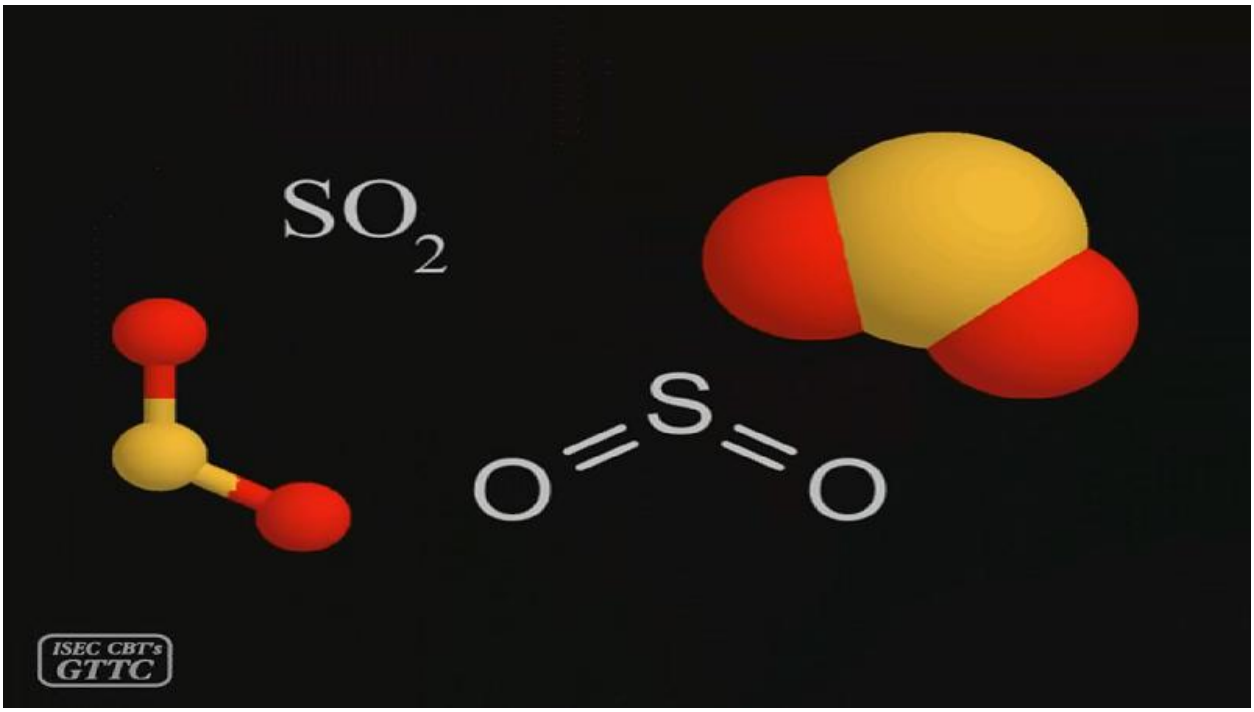
.



اکسیدهای نیتروژن نیز گستره وسیعی از ترکیبات نیتروژ ن دار را شامل میشوند که اثرات زیان آوری برسلامت انسان و محیط زیست از خود برجای میگذارند .این ترکیبات نیتروژن دار در صورت واکنش با برخی عناصر و ترکیبات موجود در جو باعث بوجود آمدن ترکیبات جدید و بسیار خطرناکی خواهند شد.اکسیدهای نیتروژن در فرآیند احتراق توربین های گازی بیشتر به صورت مونو اکسید نیتروژن (NO) تولید می شوند .به طور کلی ازدیاد انتشار اکسیدهای نیتروژن نسبت مستقیم با ازدیاد دمای محفظه احتراق و نیز چگونگی طراحی محفظه احتراق دارد.



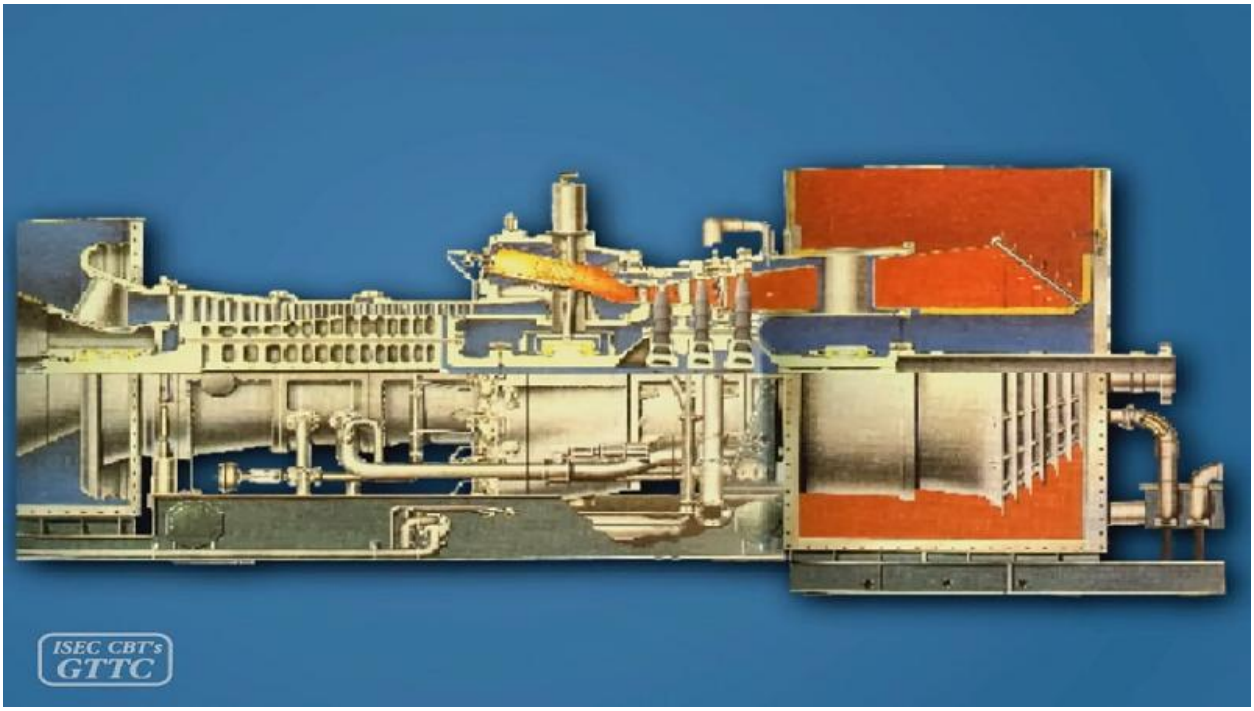
اکسیدهای سولفور هم بیشتر زمانی پدید می آیند که سوخت مورد استفاده حاوی سولفور باشد .این گاز نیز به خوبی در آب حل شده و تشکیل اسید داده و یا با سایر ترکیبات در هوا ایجاد سولفات می کند که در هر دو حالت برای سلامت انسان مضر است



بمنظور کاهش انتشار مواد آلاینده فوق، امروزه توربین هایی به بازار عرضه شد هاند که در آنها بهینه سازی طراحی محفظه های احتراق جهت تولید و انتشار کمتر ترکیبات مضر، مد نظر قرار گرفته است .لزوم استفاده ازمحفظه های احتراق با قابلیت بالای کاهش ترکیبات مضر احتراق در توربین های گازی، اینک در حال تبدیل شدن به یک استاندارد و الزام برای سازندگان توربین می باشد و توربین های گازی برخوردار از این تکنولوژی اصطلاحا dle(dry low emission) "نامیده می شوند .در بعضی از توربین ها با استفاده از سیستمی به نام سیستم *NOX* مقداری آب با فشار بالا و به شکل پودر شده، به داخل محفظه احتراق تزریق میگردد .این امر سبب کاهش و حذف انتشار آلاینده ها می گردد.

توربین

هدف اصلی در یک توربین گاز، تبدیل انرژی نهفته در سوخت های فسیلی به انرژی مکانیکی و کار می باشد . این تبدیل در قسمتی از توربین گاز به نام توربین اتفاق می افتد .در این قسمت بخش اعظمی از انرژی گازهای حاصل از احتراق گرفته می شود و این انرژی به محور توربین گاز انتقال داده م شود .در واقع، توربین قسمتی است که بعد از محفظه احتراق قرار گرفته و وظیفه تبدیل انرژی گرمایی گازهای خروجی از محفظه احتراق را به انرژی مکانیکی و کار برعهده دارد.



دو نوع متداول از این توربینها وجود دارند :توربینهای با جریان گردشی و توربین های با جریان محوری که تفاوت اصلی آنها در جهت عبور سیال از آنها می باشد .در واقع در توربین های با جریان گردشی جهت

www.prozhe.com

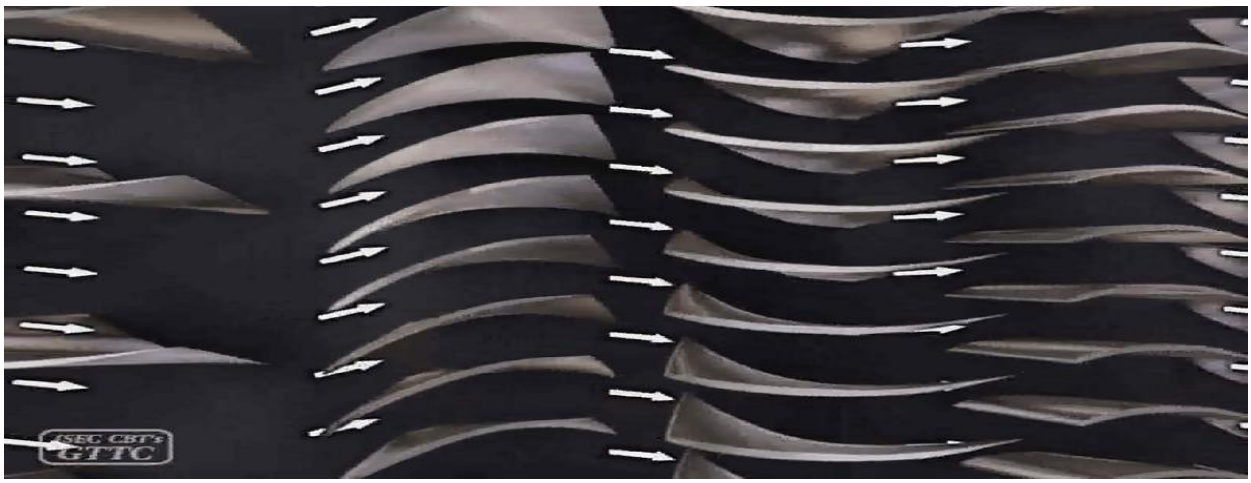
حرکت گازهای خروجی عمود بر امتداد ورود گازهای داغ و در توربین های با جریان محوری، این جهت،موازی گازهای داغ ورودی می باشد .به عبارت دیگر در توربین های با جریان گردشی، جریان گازها از مرکز محور توربین به سمت بیرون و شعاعی میباشد که باعث حرکت و چرخش توربین می شود .درحالیکه در توربین های با جریان محوری، گازها در موازات محور مرکزی توربین وارد میشوند و با برخورد به پره ها باعث چرخش آنها شده و سپس بدون تغییر مسیر از توربین خارج میشوند.

توربین های با جریان گردشی:

این توربین ها در مقایسه با توربین های با جریان محوری، بسیار ساده تر و ارزان تر میباشند .این نوع توربین به جهت طراحی و ساخت، بسیار شبیه به کمپرسورهای سانتریفیوژ هستند که در بخش کمپرسورهای اینترم افزار آورده شده است .از این نوع توربین ها، معمولا در توربین های گاز کوچک که برای فشرده کردن سیالات گوناگون و یا سایر سامانه های انتقال دهنده سیالات کاربرد دارند، استفاده می شود.

توربین های با جریان محوری:

توربین های محوری از دو قسمت اصلی پر ههای ثابت و پره های متحرک تشکیل شده اند .توربین های محوری میتوانند، یک مرحله و یا چند مرحله داشته باشند .در هر مرحله از توربین، دوجزء اصلی وجود دارد که عبارتند از :ابتدا پره های ثابت وسپس پره های متحرک .در هر مرحله از توربین، گازهای داغ حاصل از احتراق پس از برخورد به پره های ثابت که به شکل نازل نیز هستند، تغییر مسیر می دهند وعلاوه بر کاهش فشار گازهای عبور و افزایش سرعت آنها، در زاویه ای مناسب به پره های روتور برخورد می کنند و باعث چرخش آن میشوند .این چرخش باعث حرکت و گردش محور توربین شده و تولید کارمیکند.



www.prozhe.com

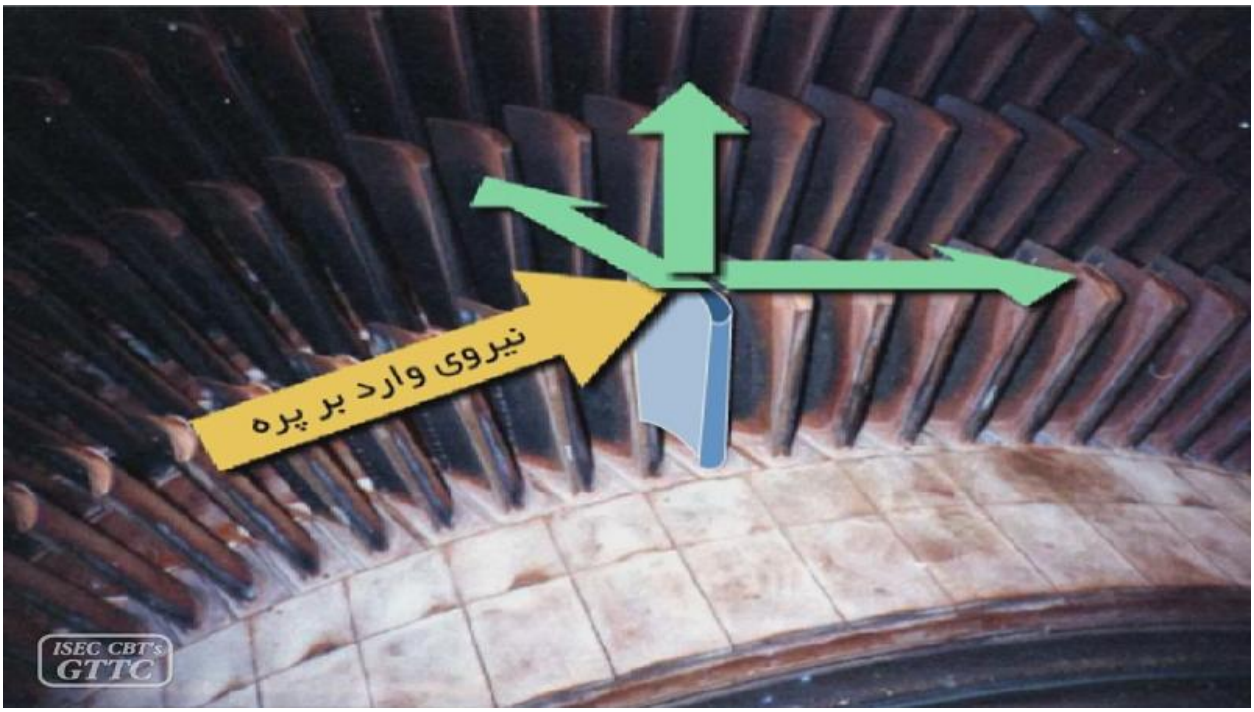
ساختمان توربین:

در حال حاضر قسمت توربین در توربین های گازی حداقل دارای دو مرحله و حداکثر دارای پنج مرحله هستند که هر مرحله از یک ردیف پره ثابت و یک ردیف پره متحرک تشکیل شده است . مجموع مراحل توربین تمامی انرژی فشاری و درصدی از انرژی گرمایی گازهای حاصل را به انرژی دورانی و کار تبدیل می کنند، جریان گاز داغ پرفشار وارد بخش توربین می گردد، پره های توربین به نوعی طراحی شده اند که سبب کاهش فشار و افزایش سرعت جریان گاز می گردند. گازهای داغ پس از عبور از پره های ثابت از طریق لبه حمله وارد پره های متحرک توربین شده و هم به شکل ضربه ای و هم به شکل عکس العملی به پره های متحرک نیرو وارد م یکنند.

در روش ضربه ای، گازهای داغ و پرسرعت از طریق لبه حمله وارد گودی پره های متحرک شده و با تغییر مسیر خود در عبور از سطح مقطع پره، تغییر اندازه حرکت پیدا می کنند و از لبه فرار از پره متحرک خارج می شوند .علت تغییر اندازه حرکت گازهای حاصل وجود نیروی بین پره و سیال است در روش عکس العملی، عبور گازهای حاصل از دو طرف یک پره و وجود انحنای بیشتر در یک طرف، باعث ایجاد اختلاف سرعت در طرفین پره ، در نتیجه اختلاف فشار بین دو طرف سطح مقطع پره می شود.وجود اختلاف فشار در دو طرف پره نیز باعث ایجاد نیروی عمود بر پره می شود.

مجموع نیروهای ضربه ای و عکس العملی باعث به وجود آمده یک نیروی نسبتاً زیاد به پره توربین می شود.

این نیرو دارای سه مولفه است که یکی از آنها مماس بر دیسک توربین و باعث دوران آن می شود . یکی دیگر از این مولفه ها در امتداد شعاع دیسک است که می بایست توسط اتصالات قوی بین پره و دیسک خنثی شود . مولفه سوم این نیرو در امتداد محور توربین اثر می کند، به همین خاطر در هر توربین گاز شاهد در نظر گرفتن مکانیسم جلوگیری کننده از حرکت طولی محور توربو کمپرسور هستیم.



گازهای داغ پس از عبور از مرحله اول و از دست دادن مقداری از انرژی فشاری و گرمایی خود وارد مراحل بعدی توربین می شوند.با توجه به برخورد مستقیم گازهای داغ با پره های توربین گاز، بخصوص پره های مرحله اول، این پره ها می بایست از آلیاژها و مواد بسیار مقاومی در مقابل درجه حرارت ساخته شده باشند . پره های ردیف اول توربین از جمله مهمترین و گرانترین قسمت هر توربین گاز حساب می آیند .جنس این پره ها از فلزات مقاوم در مقابل درجه حرارت های بالا و از آلیاژهای مقاوم در مقابل تنشهای استاتیک و دینامیک بالا انتخاب می شود .در حال حاضر بیشتر این پره ها دارای فلز پایه نیکل هستند که با عناصری شبیه کروم وکبالت و تیتانیوم طیف سوپر آلیاژ های مقاوم در مقابل حرارت های بالا را تشکیل می دهند .در عین حال روشهای ساخت و عملیات تولید و روشهای حرارتی مورد نیاز برای رسیدن به حد تحمل تنش های موجود نیز از پیچیده ترین اعمال مکانیکی روی قطعات به کار رفته در صنعت است.

www.prozhe.com

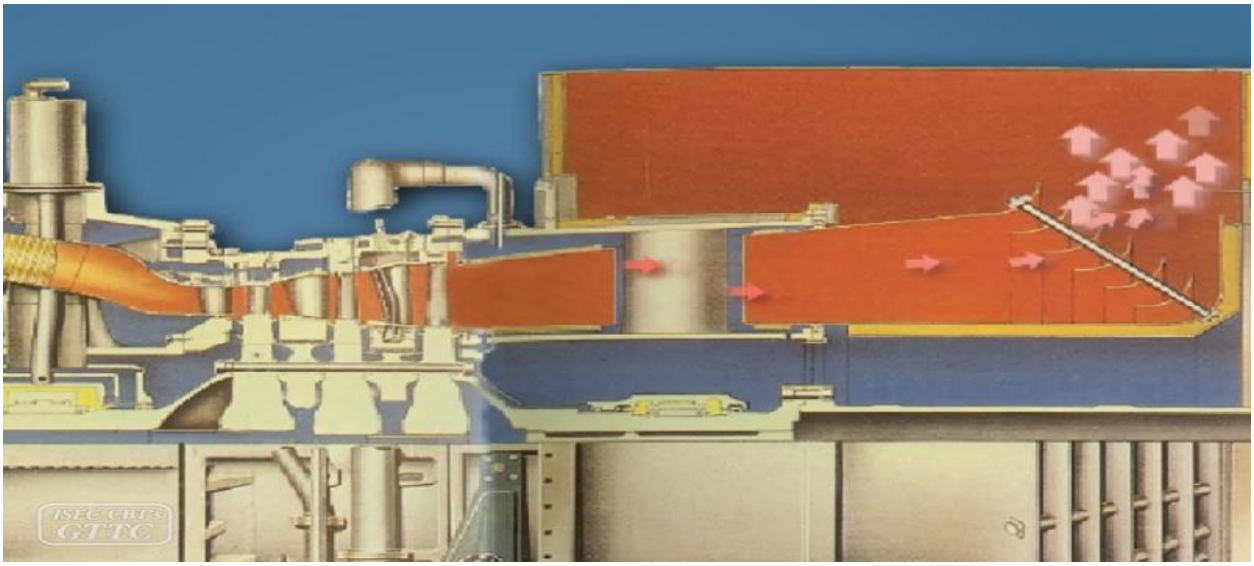
در بسیاری از توربین های گازی موجود برای محافظت از پره های توربین در مقابل درجه حرارت بالا از روش خنک کاری در داخل پره استفاده می شود، به این ترتیب که مقداری از هوای نسبتاً خنک خروجی کمپرسور از طریق مجراهای در نظر گرفته شده در میان محور روتور و عبور از دیسک ها به ریشه پره متحرک وارد شده و پس از عبور از امتداد پره از نوک و یا لبه فرار گازهای داغ که دارای ضخامت کمی نیز هست، خارج می شود . پره های ثابت مرحله اول نیز با ارسال هوای نسبتاً خنک خروجی کمپرسور به فضاهای در نظر گرفته شده در درون آنها نیز، خنک می شوند.

ورود هر گونه جسم خارجی به بخش توربین می تواند سبب ایجاد خسارت و شکستگی پره های توربین گردد، از اینرو سعی بر این است که در مسیر گازهای داغ ورودی به توربین، از حداقل لوازم و تجهیزات اندازه گیری استفاده شود، چراکه ممکن است با کنده شدن این تجهیزات نصب شده در مسیر گازهای داغ و ورود به

بخش توربین، مشکلاتی بوجود آید . با همه این دلایل، باید بتوان به منظور کنترل توربین، از وضعیت دمای مسیر گازهای داغ اطلاع پیدا کرد . از اینرو در تمامی توربین های گاز در انتهای توربین و پس از آخرین پره های متحرک، یک سری ترموکوپل برای اندازه گیری و حفاظت توربین در نظر گرفته می شود .این ترموکوپل ها دمای گازهای داغ را اندازه گرفته و به رویت بهره بردار و به اطلاع سیستم کنترل و حفاظت می رسانند. در صورت بروز اختلاف درجه حرارت روی این ترموکوپ ل ها عموماً اعداد خوانده شده را در روی یک نمودار دایره ای رسم کرده و با یکدیگر مقایسه می کنند .در حالت عادی کار توربین، این نمودار باید به دایره شبیه باشد . نقص در دایره، نشاندهنده گرفتگی نازل و یا افزایش پاشش سوخت، در یک و یا چند مشعل می باشد.

اگزوز

گازهای داغ در عبور از مراحل مختلف توربین تمامی انرژی فشاری و مقدار زیادی از انرژی حرارتی خود را از دست می دهند .توربین های گازی عموماً به شکلی طراحی می شوند که فشار گازهای داغ در خروجی توربین و پس از آخرین پره متحرک اندکی از فشار اتمسفر کمتر است .لذا برای غلبه بر فشار محیط وخروج از طریق اگزوز یک مجرای واگرا در خروجی توربین گاز، بین توربین و اگزوز، وجود دارد .در این مجرای واگرا با استفاده از سرعت سیال و تبدیل آن به فشار، بر فشار محیط غلبه کرده و از این طریق گازهای خروجی که دارای دمای نسبتاً بالایی هستند از طریق اگزوز به اتمسفر اطراف فرستاده می شود.



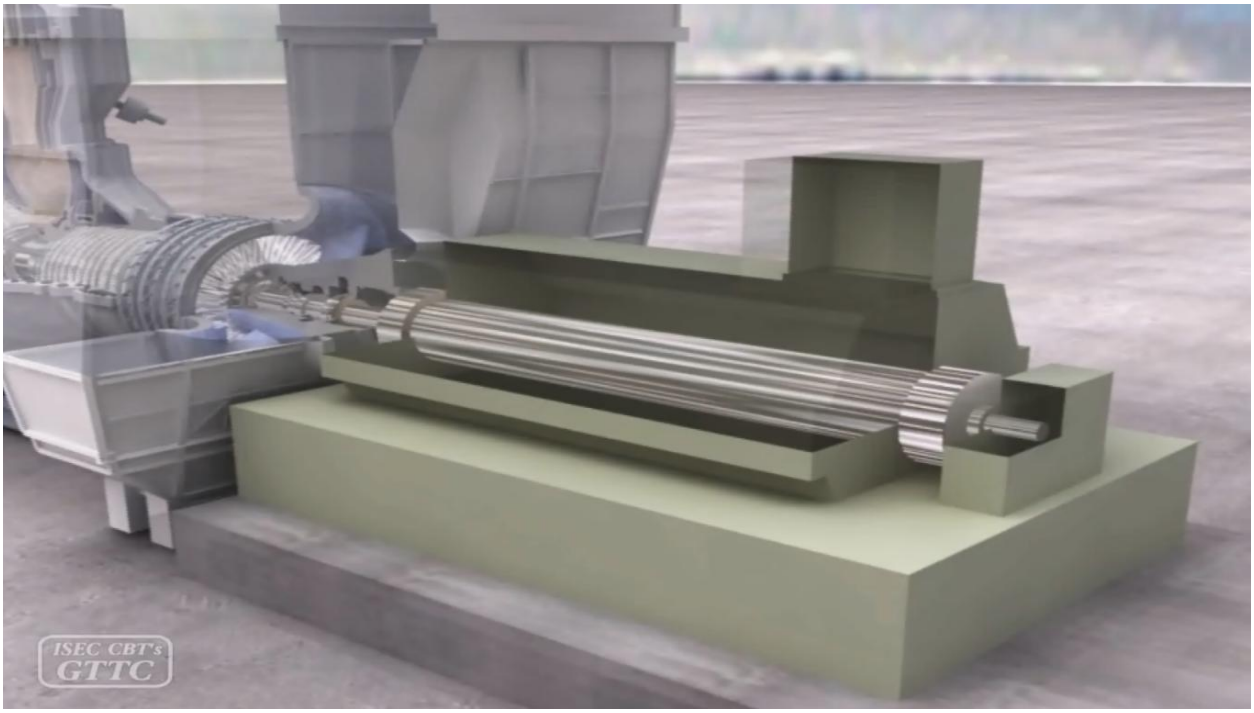
www.prozhe.com

سیستم را ه اندازی اولیه

به منظور راه اندازی یک توربین گاز می توان از سیستم های مختلفی استفاده کرد . طراحی و اجرای سیستم راه اندازی یک توربین گاز بر اساس نوع توربین و یا سفارش کارفرما می تواند متفاوت باشد.

در بسیاری از توربین های گازی موجود، از یک الکترومو تور برای را ه اندازی اولیه توربین استفاده می شود . این الکتروموتور از طریق برق شبکه یا واحدهای مجاور راه اندازی شده و به تدریج دور توربین گاز را بالا می برد .پس از رسیدن دور به دور مجاز، شیر سوخت باز شده و همزمان جرقه زن نیز د ر داخل اطا ق یا اطاق های احتراق فعال می شود . با ایجاد شعله و انتقال انرژی حرارتی به توربین، این قسمت شروع به تولید کار مکانیکی می نماید .به تدریج، توان تولید شده در توربین با اضافه کردن سوخت افزایش یافته و در ادامه گشتاور تولید شده در توربین به آن اندازه می رسد که دیگر نیازی به الکتر وموتور راه انداز نمی باشد و این دستگاه توسط کلاچ های مکانیکی، از محور اصلی جدا می شود . در این حالت هنوز دور توربین به دور نامی نرسیده و توربین در حالت بدون بار یا " Full speed no load " قرار دارد . برای رسیدن به دور نامی باید میزان احتراق افزوده شود، با ادامه کار و رسیدن به دور نامی، توربین گاز آماده بارگذاری خواهد بود.

www.prozhe.com



برای راه اندازی توربین گاز، وجود یک منبع انرژی الکتریکی خارجی ضروری است . توربین های گازی که در یک جزیره و دور از شبکه های الکتریکی قرار دارند را نمی توان با روش های ارائه شده قبلی راه اندازی نمود . در این شرایط روش های دیگری مورد استفاده قرار می گیرد. در بعضی از مدلهای توربین گاز نسبتاً سنگین ، از یک دیزل راه انداز برای راه اندازی توربین استفاده می شود. برای راه اندازی توربین گاز، ابتدا دیزل راه انداز در مدار قرار گرفته و پس از تکمیل عملیات راه اندازی دیزل، گشتاور تولید شده توسط یک کوپلینگ هیدرولیک و یا یک کلاچ الکتریکی به محور اصلی ژنراتور منتقل می شود .با افزایش دور توربین، جرقه زده شده و به تدریج توربین خودکفا می گردد، در این زمان ارتباط هیدرولیکی بین دیزل راه انداز و محور توربین قطع شده و دیزل راه انداز مراحل بدون باری و خنک کاری را طی کرده و متوقف می شود . در نوعی از مدل های پیشرفته توربین گاز از ژنراتور خود توربین گاز برای راه اندازی استفاده می گردد. از آنجایکه ژنراتور نیز همانند یک الکتروموتور شامل یک روتور و یک استاتور است و سیستم تحریک آن شبیه سیستم تحریک در الکتروموتورها است، لذا طراح این نوع توربین گاز، با استفاده از یک سیستم کنترل پیشرفته، ابتدا با دریافت انرژی الکتریکی از شبکه، از ژنراتو به عنوان یک موتور الکتریکی استفاده کرده و توربین گاز را راه اندازی می کند . پس از برقراری شعله و خودکفا شدن توربین، تحریک راه انداز (ژنراتور اصلی واحد) توسط سیستم کنترل قطع شده و پس از رسیدن توربین به دور نامی، ژنراتور به عنوان تولید کننده انرژی الکتریکی، در مدار قرار میگیرد.

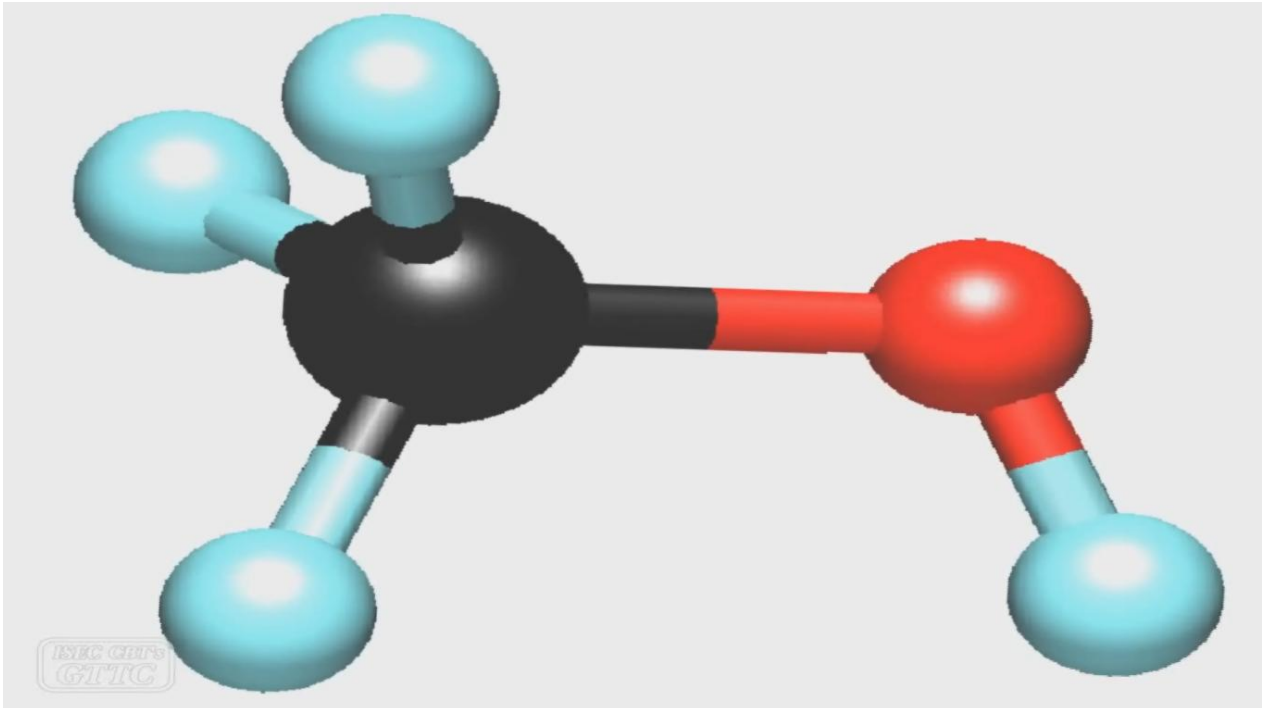
سیستم سوخت

سیستم سوخت یکی از حساسترین و کلید ی ترین سیستم های یک توربین گاز می باشد . سوخت متداول

توربین های گاز، گاز طبیعی است . اما امروزه اکثر توربین های گاز به گونه ای طراحی شده اند که قابلیت استفاده از سوخت های مایع را نیز دارا هستند .عموماً عمده ترین سوخت های مایع مورد استفاده عبارتند از:

1-نفتای بدست آمده از میعانات گاز طبیعی

2-متانول، که سوخت موتورهای جت است



3-کروزین یا نفت سفید

www.prozhe.com

4-گازوئیل

5-نفت کوره

سیستم سوخت مایع

در توربینهای گاز با محفظه احتراق can type ، سیستم سوخت مشابه حالت قبل بوده با این تفاوت که در انتها برای هر مشعل یک شیر کنترل سوخت و یک واحد تقسیم کننده نیز قرار داده شده است.

در صورتیکه شعله های ایجاد شده در محفظه احتراق دارای تقارن نباشند، در محفظ ه احتراق ایجاد تنش های حرارتی می کنند و سبب ارتعاش دیواره ها می شوند .در محفظه های احتراق annular بدلیل اینکه همه شعله ها درون یک محفظه بوجود می آیند کنترل میزان جریان سوخت و تقارن شعله ها با یک شیر کنترل کننده امکان پذیر است، اما در محفظه های احتراق can type بایستی برای هر مشعل یک شیر جریان سوخت قرار داد تا به کمک آنها بتوان تقارن شعله ها را حفظ نمود.

یکی از پارامترهای اصلی در توان خروجی هر توربین گاز، مقدار یا دبی سوخت تزریق شده به آن است . از طرف دیگر میزان سوخت تزریقی اثر مستقیمی بر روی درجه حرارت خروجی قسمت توربین دارد . لذا افزایش دبی سوخت باعث افزایش درجه حرارت محصولات احتراق شده که این امر سبب کاهش عمر قطعات توربین خواهد شد . بنابراین واحد سوخت رسان یکی از حساس ترین وظایف را در توربین گاز به عهده دارد و در صورت بروز اختلال در عملکرد آن آسیب های جدی به مجموعه وارد خواهد شد. عموماً این سیستم شامل قسمت های ذیل می باشد:

1-واحد تمیز ساز و پیش گرم کننده

2-پمپ جریان دهنده

3-پمپ تزریق

4-شیر کنترل جریان سوخت

5-واحد تقسیم کننده سوخت

6-انژکتور سوخت

7-سیستم تولید جرقه

1-واحد تمیز ساز و پیش گرم کننده

وظیفه اصلی این واحد تمیزسازی سوخت از ذرات معلق موجود در آن و در صورت نیاز پیش گرم کردن سوخت برای رساندن ویسکوزیته آن به حد مطلوب است . در مواردی که از سوخت هایی مانند گازوئیل استفاده می شود بایستی درجه حرارت آن به حدود 17 تا 21 درجه سانتیگراد رسانده شود که این عمل توسط واحد پیش گرم کننده انجام می شود . انجام این عمل می تواند توسط گرم کن های الکتریکی و یا گرمکن های بخاری انجام پذیرد.

نکته مهمی که در اینجا بایستی ذکر شود این است که راه اندازی توربین گاز با سوخت های سنگین مانند نفت سفید و یا گازوئیل عموما با مشکل انجام می شود، لذا در هنگام راه اندازی، استفاده از سوخت های سبک تر الزامی است . پس از راه اندازی و رسیدن توربین به شرایط کاری پایدار، به آرامی سوخت دوم جایگزین سوخت سبک اولیه می شود.

www.prozhe.com

یکی از مشکلات واحد تمیز ساز سوخت مایع، کثیفی فیلترها و گرفتگی نازل های ورودی و خروجی این قسمت در اثر آلودگی های همراه سوخت بوده که بایستی طبق یک برنامه منظم، فیلترها و نازلها تمیز شده و پس از شستشو مجدداً در جای خود نصب گردند.

2-پمپ جریان دهنده

وظیفه اصلی پمپ جریان دهنده، دریافت سوخت از مخزن ذخیره سوخت و جریان دادن آن به سمت سیستم سوخت توربین می باشد .این پمپ ها، عموماً به شکل یک مجموعه دوتایی بعد از فیلترهای اصلی سوخت نصب می شوند .در صورت از کار افتادن یکی از آنها، از پمپ دوم در مدار سوخت استفاده می گردد.

3-پمپ تزریق

این پمپ، سوخت را با فشار مناسب به درون انژکتورهای سوخت پاش اطاق های احتراق تزریق می نماید

در توربین های صنعتی، عموماً از پمپ های دو یا چند مرحله ای استفاده می شود تا بتوانند فشار لازم برای پاشش سوخت به درون اطاق و یا اطاقهای احتراق را فراهم نمایند . فشار خروجی پمپ تزریق عموماً در حدود 120 بار بوده و بوسیله یک الکتروموتور دو یا چهار قطبی گردانده می شود.

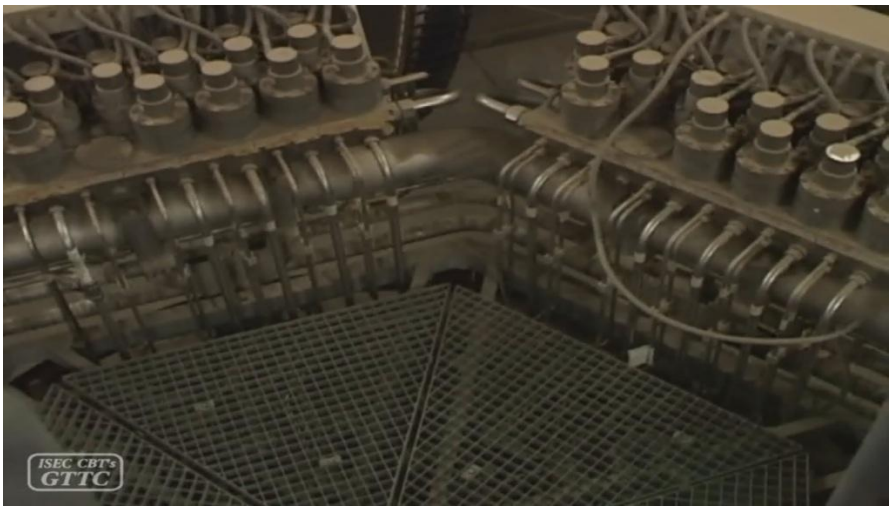
4-شیر کنترل جریان سوخت

وظیفه اصلی این شیر کنترل دبی سوخت است . با تغییر میزان دبی سوخت، میزان توان خروجی از توربین گاز کنترل می گردد، لذا ا ین شیر یکی از مهمترین وظایف را در توربین بر عهده داشته و کنترل آن بوسیله سیستم کنترل و به صورت تمام خودکار انجام می شود .در سیستم های کنترل قدیمی، از گاورنرها و در سیستم های کنترل جدید از شیرهای با تحریک الکتریکی، برای کنترل دبی سوخت استفاده می شود.

5-واحد تقسیم کننده سوخت

وظیفه این واحد تقسیم سوخت خروجی از پمپ اصلی به میزان تعیین شده بین انژکتورهای سوخت پاش می باشد .سوخت پس از عبور از واحد تقسیم کننده سوخت، وارد محفظه احتراق توربین گاز می شود.

6-انژکتور سوخت



در این بخش، سوخت های سنگین مایع، به شکل پودر در آمده تا عملیات احتراق بهتر صورت گیرد .عموماً انژکتورهای به دو نوع اصلی پودرکننده مکانیکی و پودرکننده با استفاده از هوای کمکی تقسیم می شوند.

7-سیستم تولید جرقه

این سیستم شبیه شمع جرقه زن اتومبیل بوده و جهت محترق کردن جریان مخلوط سوخت و هوای ورودی در داخل اط اق احتراق مورد استفاده قرار می گیرد .بعد از آنکه سرعت توربین به سرعت cranking رسید و عملیات پرجینگ در مسیر عبور گازهای حاصل از احتراق انجام شد، جرقه زن فعال شده و بدین وسیله شعله برقرار می گردد .در این زمان وجود شعله در اطاق احتراق توسط شعله بین ها حس میشود .با حس شدن شعله در اطاق احتراق، جرقه زن غیرفعال می گردد .برای تولید جرقه ای با قابلیت اشتعال سوخت تزریق شده به

www.prozhe.com

داخل اطاق احتراق، نیاز به ولتاژی در حدود 25000 ولت است که توسط یک منبع تغذیه الکتریکی تامین می گردد.

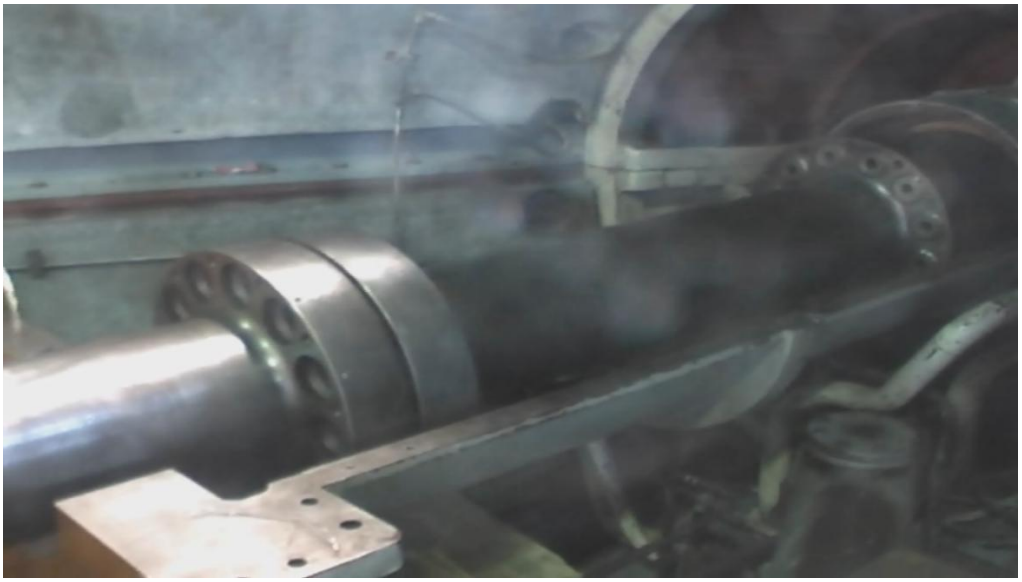
سیستم سوخت گاز

سوخت گاز به سهولت در تو ربین های گاز سوزانده می شود .سوخت گاز از لوله های اصلی سوخت وارد فیلترهای مخصوص گاز شده و در ادامه از بخش های مختلفی چون فیلترهای جداکننده مایعات گازی،شیرهای قطع و وصل کننده اصلی و شیر کنترل کننده میزان مصرف عبور کرده و در نهایت از مسیرهای توزیع کننده سوخت و عبور از انژکتورهای سوخت گاز وارد محفظه احتراق می گردد.

به منظور اطمینان از ملاقات کامل سوخت گاز با ملکولهای هوا، ناز لهای سوخت مجهز به پره های موربی به نام swirler در مجاورت لوله ورودی سوخت گاز هستند که مخلوط سوخت و هوا، پس از عبور از آنها به دوران در می آید.

سیستم کوپلینگ

www.prozhe.com



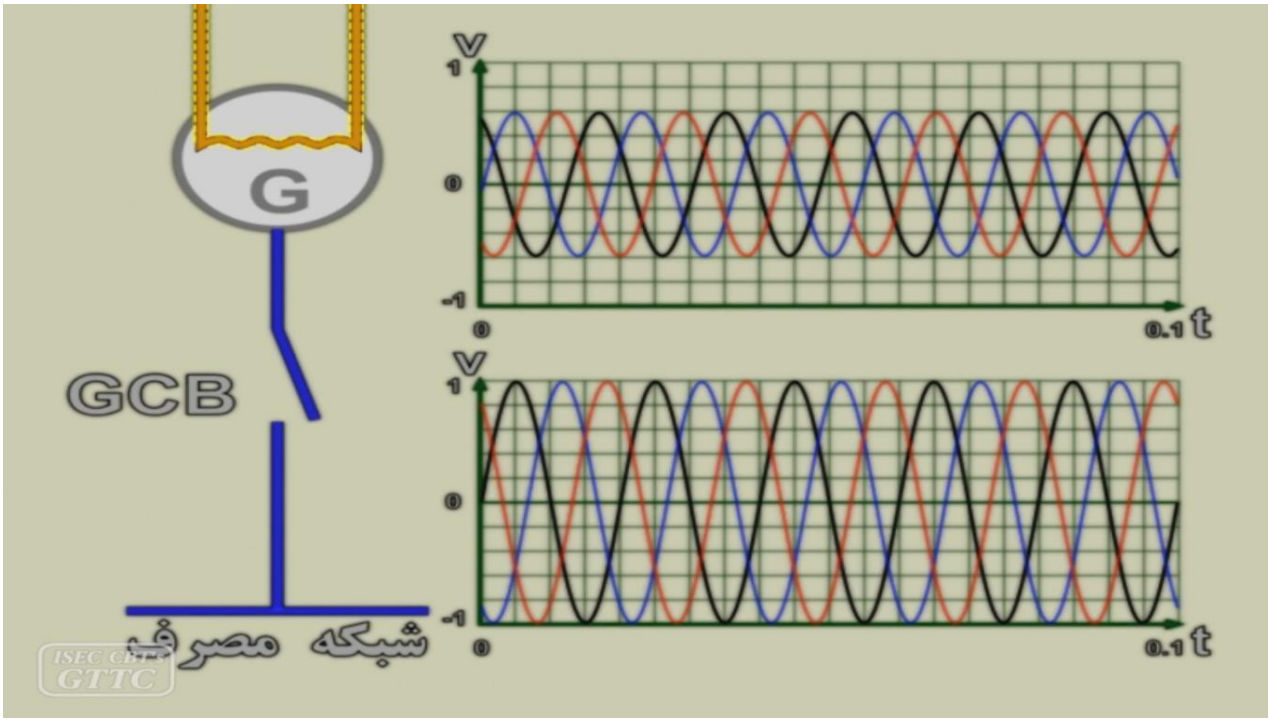
اتصال گشتاور تولیدی در یک توربین گاز به بیرون از این دستگاه توسط کوپلینگ انجام می پذیرد .بر اساس نوع کاربردی که به آن منظور توربین گاز مورد استفاده قرار می گیرد، نوع کوپلینگ متفاوت خواهد بود. ساده ترین نوع این اتصال توسط یک کوپلینگ صلب صورت می گیرد .در انواعی دیگر از کوپلینگ انعطافی استفاده می گردد .در این نوع کوپلینگ، لرزش های موجود در توربین به سایر بخش ها منتقل نمی گردد .این نوع کوپلینگ دارای قابلیت حرکت زاویه ای اندکی در محور طولی خود هستند ولی استفاده از آنها مستلزم روغنکاری در دو انتهای کوپلینگ است .در توربینهای کوچکتر که قابلیت کارکردن در دورهای بالاتر را دارند، عموماً بعد از کوپلینگ از یک گیربکس برای تبدیل دور توربین به دور مورد نیاز استفاده می شود .

اگر هدف از بکار بردن توربین گاز، گرداندن یک کمپرسور و یا یک پمپ باشد، در این صورت کوپلینگ مورد نظر باید به شکلی طراحی شود که قابلیت را ه اندازی کمپرسور و یا پمپ مورد نظر را از دور صفر تا دور طراحی داشته باشد .یکی از بهترین را ه حل ها، استفاده از مبد لهای گشتاور است .این مبدل های گشتاور عموماً از مجموعه پمپ، استاتور و توربین که درون یک محفظه بسته قرار دارند، تشکیل شده اند. در صورتیکه توان بالای خروجی از توربین گاز مستقیماً به پمپ یا کمپرسور منتقل می شود، از روغن در داخل مبد ل گشتاور استفاده می گردد، به دلیل گرم شدن روغن داخل مبدل گشتاور، عموماً از یک مدار بسته روغن شامل پمپ و کویل جهت ثابت نگه داشتن دمای روغن استفاده می گردد. در صورتیکه احتیاج به توان قابل کنترل و مشخص در خروجی توربین گاز باشد، با استفاده از یک سیستم کنترل، حجم روغن درون محفظه مبدل گشتاور کم و زیاد شده تا توان مورد نیاز توسط این کوپلینگ هیدرولیک به کمپرسور و یا پمپ منتقل شود.

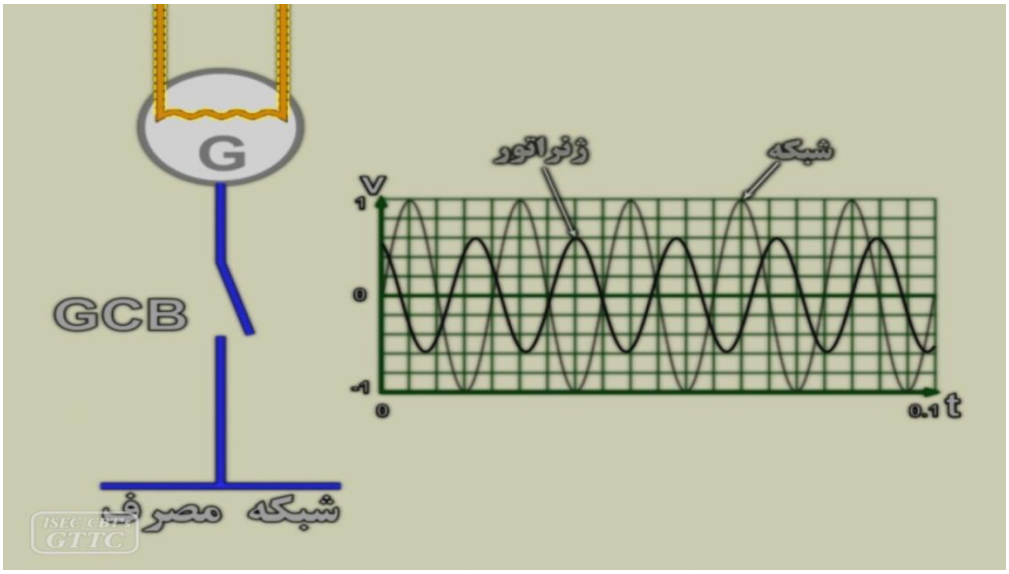
بارگذاری

www.prozhe.com

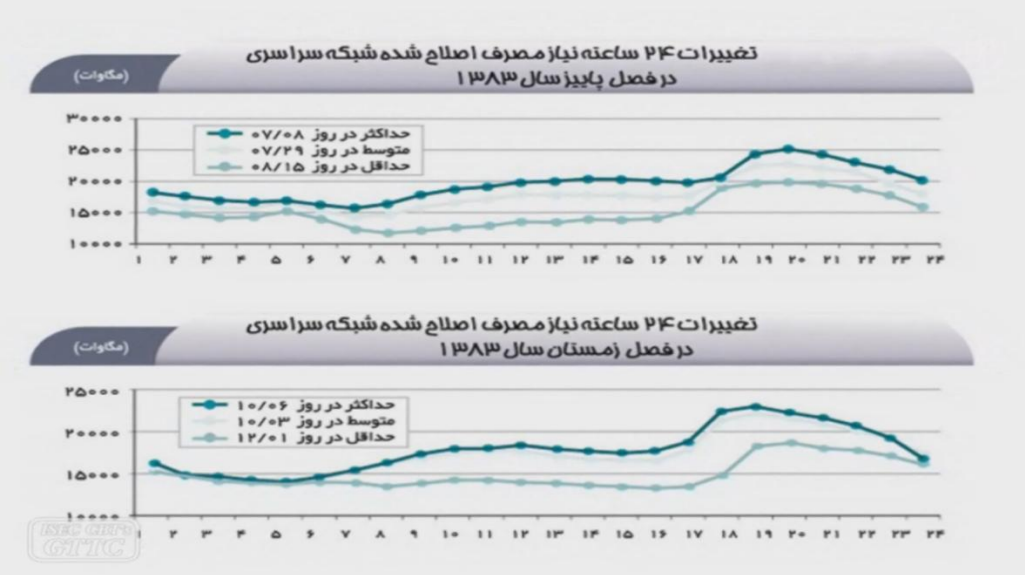
پس از اتمام مراحل راه اندازی و رسیدن به حالت دور نامی بدون بار، توربین گاز آماده بارگذاری خواهد بود .در این وضعیت، سیستم راه اندازی از توربین جدا شده است و ژنراتور بصورت بدون بار، همراه محور توربوکمپرسور در حال دوران است .با تحریک روتور ژنراتور میتوان ژنراتور را فعال نموده و در مدار قرار داد . پس از تحریک ژنراتور، در خروجی ژنراتور و قبل از کلید اصلی ژنراتور ولتاژ سه فاز متقارن با سرعت دوران، معادل 50 هرتز بوجود خواهد آمد .در طرف دیگر این کلید، شبکه مصرف الکتریکی قرار دارد .در توربین های گازی که در یک شبکه الکتریکی قرار دارند، خروجی سه فاز ژنراتور شبکه الکتریکی میبایست با یکدیگر کاملاً همسان سازی شوند .



این همسان سازی و یا سنکرونایزکردن، توسط سیستم کنترل انجام می شود .در هر همسا نسازی، علاوه بر اندازه ولتا ژهای هر سه فاز خروجی ژنراتور با اندازه ولتاژ سه فاز شبکه، سرعت دوران ولتاژهای آنها (فرکانس) و فاز آنها نیز باید کاملاً با یکدیگر برابر باشد .



پس از همسا نسازی این دو ولتاژ که در دو طرف کلید اصلی ژنراتور قرار دارند، این کلید بسته شده و ژنراتور با شبکه موازی خواهد شد.بارگذاری روی ژنراتور با افزایش جریان تحریک ژنراتور امکان پذیر است .با افزایش جریان تحریک، توان تولیدی ژنراتور نیز افزایش می یابد .سیستم کنترل نیز همزمان شیر کنترل سوخت را باز کرده تا این توان در توربین ایجاد شود .هرچه قدر بتوان بار خروجی از یک توربین گاز را ثابت حفظ کرد، طول عمر قطعات گرانقیمت توربین نیز، افزایش می یابد .بهترین حالت، تولید بار ماکزیمم در توربین است .ولی عموماً شبکه های الکتریکی، نیاز خود را به ژنراتور توربین گاز تحمیل میکنند و بدلیل اینکه نیاز مصرف در ساعت های مختلف روز بسیار متفاوت است، تقاضای تغییرات زیادی را در خروجی توربین گاز، دارند .



به این ترتیب بهره برداری با بار پایه و به شکل ثابت امکان پذیر نیست .با این وجود برای حفاظت از قطعات داغ توربین، تغییرات توان تولیدی توربین نباید به شکلی باشد که منحنی تولید در یک شبانه روز تفاوت زیادی

داشته باشد . در مواقعی که نیاز به تولید، کم می شود، تولید در حداقل مقدار نگه داشته می شود .درتوربین های گاز حالتی را در نظر گرفته اند، که به تولید در بار پیک، شناخته می شود .در این حالت با ورود سوخت بیشتر به توربین، و پذیرفتن درجه حرارت بیشتر در توربین به مجموعه توربوژنراتور اجازه تولید بیشتر داده می شود .این اضافه تولید عموما بین 5 تا 10 درصد توان تولیدی توربین در بار پایه است .در این حالت بهره برداری، تنشهای بسیار زیادی به قطعات توربین وارد می شود، بطوریکه ساعت کارکرد معادل در این نوع بارگیری تا 10 برابر ساعت کارکرد عادی محاسبه می شود .لذا به شدت توصیه می شود به منظور کاستن از هزین ههای نگهداری و تعمیرات توربین گاز و افزایش عمر توربین ، از این حالت بهره برداری کمتر استفاده شود. در مواقعی که عدم نیاز اعلام می شود، با فرمان بهره بردار، از بار تولیدی برق واحد کاسته شده و توربین در حالت دور نامی و بدون بار قرار میگیرد و در واقع توربین گاز از مدار خارج می شود .ممکن است شبکه مصرف در ساعات آتی ، مجدداً نیاز به را هاندازی توربین داشته باشد، که این نیاز براساس تجربه و بررسی وضعیت بارگیری روزهای گذشته به سادگی قابل پیش بینی است. استهلاک ناشی از هر مرحله راه اندازی و توقف، از نقطه نظر فواصل زمانی بین تعمیرات اساسی، معادل چند روز کاری محسوب می گردد .این اطلاعات توسط سازندگان توربین گاز در اختیار واحد های بهره برداری قرار داده میشود .از اینرو هر توقف و راه اندازی، زمان تعمیرات اساسی را به جلو می اندازد، لذا سعی بر این این است که تا حد امکان از توقف هایی که پس از زمانی کوتاه باید مجدداً توربین را در سرویس قرار داد، جلوگیری شود .معمولاً ترجیح داده می شود در این شرایط توربین گاز با مصرف سوخت و بدون بار در سرویس باشد، چراکه هزینه های استهلاک و سوخت در این زمان کوتاه، بسیار کمتر از هزینه های توقف ها و راه اندازی های متوالی است که به شدت سبب کاستن از عمر قطعات توربین می گردند .فرض کنید اگر یک مرحله توقف و راه اندازی معادل 5 روز کاری استهلاک به همراه خواهد داشت، فقط در زمانیکه حداقل به مدت دو برابر این مقدار یعنی 10 روز نیاز به تولید برق نداشته باشیم، می توانیم توربین را متوقف سازیم، برای مدت های کمتر از 10 روز بهتر است توربین بدون بار در سرویس بماند.

از سرویس خارج کردن

توربین های گاز به دو شکل کلی از مدار خارج می شوند.

الف -توقف عادی

پس از صدور دستور توقف به توربین گاز، سیستم کنترل براساس دستورات از قبل تنظیم شده، شروع به کاستن از بار واحد یا به عبارت دیگر توان تولید برق مینماید و پس از رسیدن به کمترین تولید، دستور

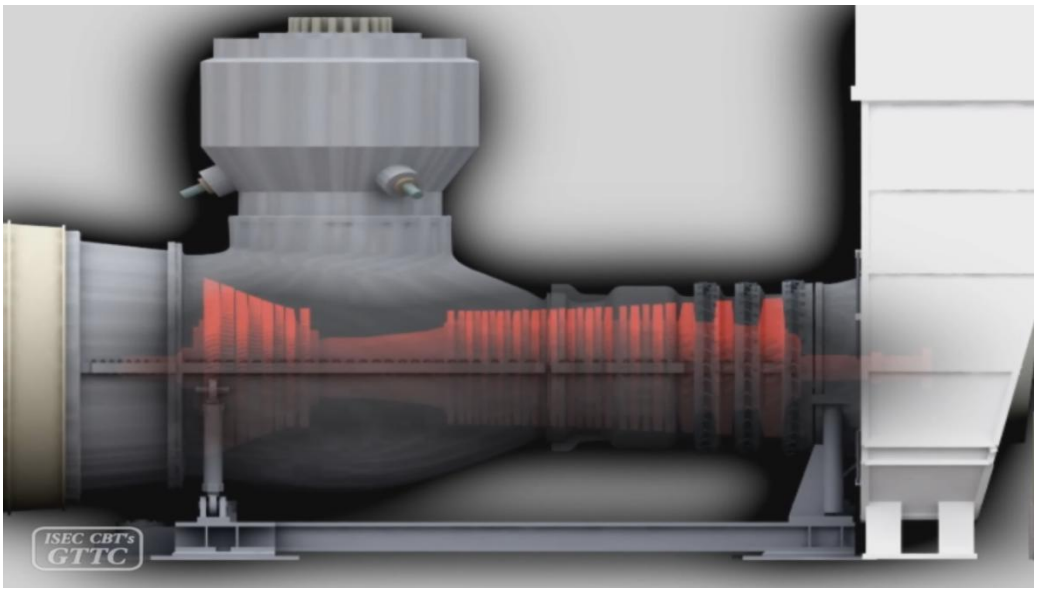
www.prozhe.com

باز شدن کلید اصلی ژنراتور را صادر می کند .سپس با قطع جریان تحریک و قطع جریان سوخت، دور توربین شروع به کاهش کرده و تا رسیدن به دور صفر، شرایط واحد کاملاً تحت کنترل قرار میگیرد.

ب -توقف اضطراری

در صورتیکه به هر دلیل مشکلی در بهره برداری عادی واحد بوجود بیاید ، از طرف سیستم کنترل دستور توقف واحد، صاد ر می شود .عوامل صدور دستور توقف اضطراری، از قبل برای سیستم کنترل تعریف شده است و منطق آن نیز بر اساس حفاظت از سیستم های مختلف توربین و ژنراتور می باشد .در این وضعیت بطور همزمان شیر اصلی سوخت بسته شده و جریان تحریک نیز قطع می شود .دور توربین کم شده و در نهایت توربین متوقف می شود .پس از هر Trip توربین، بهره بردار و تیم تعمیراتی باید یک بازدید کلی از توربین و متعلقات آن انجام داده و پس از حصول اطمینان از صحت کارکرد توربین، ژنراتور، سیستم کنترل و حفاظت، واحد را آماده بهره برداری اعلام می کنند.

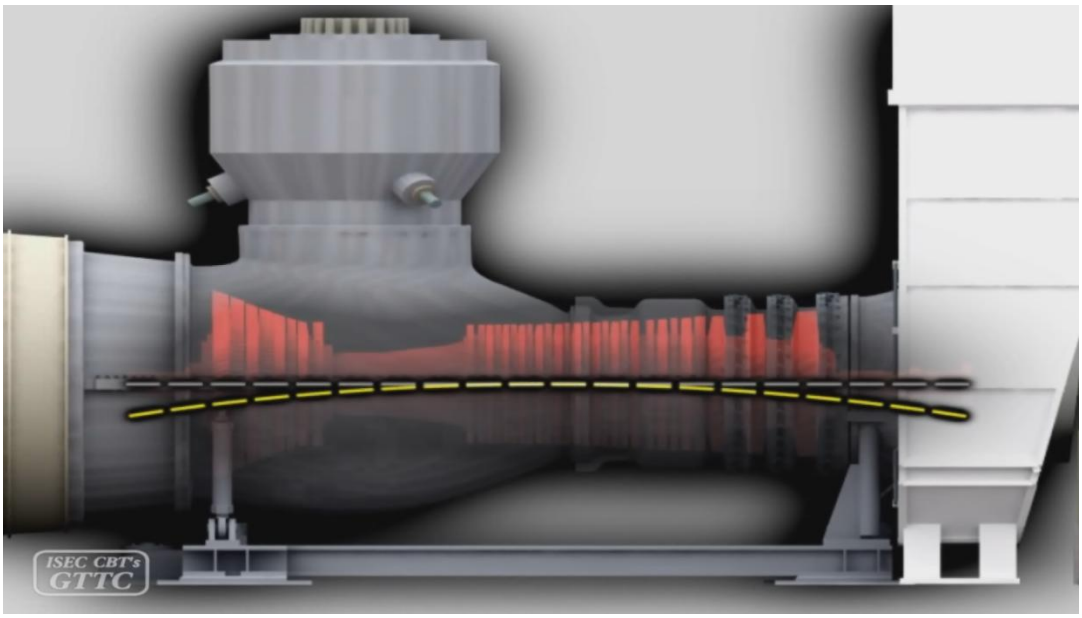
در هنگام توقف عادی و یا اضطراری، پس از صفر شدن دور توربین، جریان سیال عامل در عبور از کمپرسور و توربین نیز متوقف میشود .پس از توقف محور، دمای قطعات توربین هنوز به شدت بالا است و جهت جلوگیری از تغییر شکلهای غیر عادی، و خمش محور توربین، این محور می بایست به آرامی خنک شود .به این منظور طراحان توربین گاز، تمهیدات ویژه ای را تدارک دید ه اند که این تجهیزات به آرامی و با دور کند، روتور توربین را به دوران در آورده و تا زمان رسیدن دمای مجموعه به دمای محیط، از صفر شدن دور توربین جلوگیری می کنند .علت بوجود آمدن خمش به این دلیل است که :



روتور با دمای بالا و بدون حرکت در داخل استاتور قرار گرفته است و بوسیله جابجایی طبیعی در حال سرد شدنمی باشد .بعد از مدتی گرما که تمایل به حرکت به سمت بالا دارد، سبب می شود تا نیمه بالایی روتور از نیمه پایینی گرمتر شود یا به عبارتی سرعت سرد شدن در نیمه پایینی بیشتر از سرعت سرد شدن نیمه بالایی

www.prozhe.com

گردد .در این حالت نیمه پایینی تمایل به انقباض و نیمه بالایی تمایل به انبساط دارد .این امر سبب بروز تنش در روتور و تغییر شکل آن میگردد و روتور به شکلی که جهت محدب آن به سمت بالا می باشد، خم می گردد .



در چنین شرایطی راه اندازی واحد مجاز نمی باشد .بهره برداری از این واحد در این شرایط، سبب بروز خرابی بیشتر و ایجاد خسارت های جدی به آب بندهای محور و ایجاد سایش شدید در سر پر ههای توربین و کمپرسور می شود.

در طرح های دیگر از یک سیستم روغن هیدرولیک استفاده می شود که روغن را بطور مستقیم به پره های کوچکی که به همین منظور در منطقه یاطاقان کمپرسور و روی محور توربین، تعبیه شده است، می پاشد و به این ترتیب محور را به آرامی به دوران در می آورد. به هر شکل دوران محور تا رسیدن دمای قسمت های داغ، به دمای محیط اجتناب ناپذیر است و بدلیل اهمیت این مساله بهره بردار میبایست قبل از راه اندازی از صحت کارکرد این بخش در توربین گاز مطمئن باشد.

به هر شکل اگر پس از توقف واحد به دلیل قطع برق شبکه و خروج دیزل اضطراری از مدار و همچنین خرابی باطری شارژر و باطری های اضطراری و یا حتی عیب مکانیکی این سیستم دور آرام در مدار قرار نگیرد، ممکن است خمش محور توربوکمپرسور در هنگام توقف کامل بوجود آید.

در هر صورت اگر چرخاندن واحد پس از توقف، غیر ممکن شود، محور توربین گاز میبایست حداقل به مدت 48 ساعت در وضعیت توقف کامل باقی مانده تا در اثر وزن محور و سرد شدن آن ، اندکی از خمش آن کمتر شده و تنشهای حرارتی موجود کاهش یابد و سپس در این وضعیت باید به مدت چند ساعت به آرامی

www.prozhe.com

محور را به دوران در آورد . در این حالت، محور تقریبا به شرایط عادی برگشته و واحد آماده راه اندازی خواهد بود.

بعد از این توربین گاز می تواند به صورت عادی ر اه اندازی شده و بهره برداری شود .

عموماً مراحل توقف یک توربین گاز دارای مراحل ذیل می باشد:

1-تولید در حال کار بار پایه م یباشد، با دریافت دستور توقف توربین Trip عملیات از سرویس خارج کردن آغاز می شود .در حالت اضطراری سوخت به یکباره قطع می گردد ولی در توقف در حالت عادی در ابتدا سوخت قطع نمی شود.

2-بار توربین تدریجاً کاهش می یابد و مقدار اشتعال به تدریج کاهش می یابد.

3-کلید اصلی ژنراتور باز شده و توربین بدون بار میگردد.

4-توربین در حالت بدون بار و در دور نامی، مرحله خنک شدن را طی می کند.

5-شیر اصلی سوخت بسته می شود، در حالت اتوماتیک عملیات خنک کاری و کاهش سرعت به صورت خودکار انجام خواهد شد.

6-زاویه پره های ثابت با زاویه متغیر کمی بسته می شوند.

7-بلوآف مراحل کم فشار، فشار متوسط و پرفشار به ترتیب باز می گردد.

8-کاهش دور ادامه مییابد.

9-سیستم دور آرام یا Rotor Turning در مدار قرار میگیرد.

10-دمای توربین به آرامی کاهش پیدا می کند.

11-دور توربین صفر می شود.

12-سیستم روغنکاری از مدار خارج می گردد(البته با تجهیزاتی دمای روغن را در محدوده خاصی کنترل می نمایند)

13-سیستم های حفاظت در زمان طولانی در مدار قرار می گیرد .به عنوان مثال می توان سیستم گرم کن در ورودی هوای توربین جهت جلوگیری از ایجاد رطوبت در مسیر هوای ورودی به توربین گاز و یا هیترهای ژنراتور برای جلوگیری از رطوب گیری ژنراتور را نام برد.