شرکت ملی نفت ایران

شرکت پشتیبانی ساخت و تهیه کالای نفت تهران

آشنایی با توربین های گازی

مدیریت پشتیبانی ساخت و تعمیرات ماشین آلات دوار

بسم الله الرحمن الرحیم

شرکت ملی نفت ایران

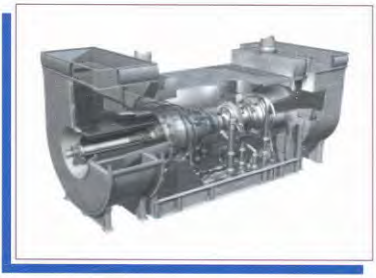
شرکت پشتیبانی
ساخت و تهیه
کالای نفت تهران

آشنایی با توربین‌های گازی

۱- مقدمه	۵
۲- انواع توربین‌های گازی	۷
۲-۱) توربین‌های گازی صنعتی بزرگ	۸
۲-۲) توربین گازی هوایی	۸
۳- کاربرد توربین‌های گازی	۹
۳-۱ توربین گازی در صنایع نفت و گاز	۹
۳-۱-۱- انتقال و پمپ کردن نفت و گاز	۹
۳-۱-۲- پشتیبانی فشار مخازن	۱۰
۳-۱-۳- تصفیه و پالایش	۱۰
۳-۲- توربین گازی در صنایع حمل و نقل	۱۱
۳-۳- توربین گازی در تولید انرژی الکتریکی	۱۲
۳-۴- توربین‌های گازی با تولید محدود انرژی الکتریکی	۱۲
۳-۵- توربین گازی در سیکل‌های ترکیبی	۱۳
۳-۶- کاربرد های احتمالی توربین گازی در آینده	۱۳
۴- قسمت‌های اصلی توربین گازی	۱۴
۴-۱- کمپرسور	۱۴
۴-۲- محفظه احتراق	۱۶
۴-۳- توربین	۱۷
۴-۴ روتور(Rotor)	۱۹
۴-۵ پره توربین (Blade)	۲۰
۴-۵-۱ پره‌های ثابت	۲۰
۴-۵-۲ پره‌های متحرک	۲۱
۵- مشخصات فنی توربین	۲۱

۱- مقدمه

الکساندریا (Alexandria) اولین کسی بود که ۱۵۰ سال پیش ازمیلاد از توربین گازی استفاده‌کرد. وی ازدود حاصل از آتش استفاده کرد و توانست توربین را به حرکت در آورد. در همان زمان چینی‌ها از آسیاب‌های بادی استفاده می‌کردند. تا سال ۱۷۹۱ میلادی در این روش و مدل تغییر چندانی صورت نگرفت، تا اینکه جان‌باربر (John Barber) طرح توربینی گازی را ارائه‌کرد که دارای کمپرسور، محفظه احتراق و توربین بود.در سال ۱۸۰۸ اولین نوع توربین گازی انفجاری که در مراحل بعدی شیرهایی در ورودی سوخت و خروجی محفظه احتراق آن، برای کنترل انفجار فضای بسته نصب شده بود ارائه گردید. فشار حاصل از گاز، توربین را با کارآیی بسیار پایین،امابه شکلی موفقیت‌آمیز و رضایت‌بخش به‌حرکت درآورد. خط تولید این توربین گازی در سال ۱۹۳۹ برچیده شد زیرا مدل جدیدی از توربین گازی توسط براون باوری (Brown Bowery) به بازار آمده بود.



شکل ۱ - نمائی از یک توربین نسل اول

در اوایل قرن گذشته Elling نروژی توانست اولین توربین گازی را بسازد که با تکیه بر قدرت تولیدی خود کار می‌کرد و شامل یک ردیف کمپرسور و توربین بود. که در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

شکل۲- توربین گازی Elling

اولین کمپرسور از نوع گریز از مرکز (سانتریفیوژ) پره‌دار بود (شکل ۳) و می‌توانست نسبت فشاری برابر چهار را تولیدکند. دود خروجی صرف تولید بخاربا فشار پایین می‌شد و این بخار به مصرف خنک‌کردن پره‌ها و افزایش قدرت تولید می‌رسید. این نوع توربین دارای‌کارآیی پایین (حدود ۳ درصد) و دمای شعله‌ای برابر ۵۵۰ ºC بود. کوشش برای افزایش کارآیی اجزای توربین گازی ادامه یافت تا اینکه در سال ۱۹۳۹، توربین گازی صنعتی پا به عرصه وجود گذاشت. با توجه به دمای‌گاز خروجی، موارد استفاده توربین گازی در رشته‌های مختلف صنعت، توسعه بیشتری یافت.

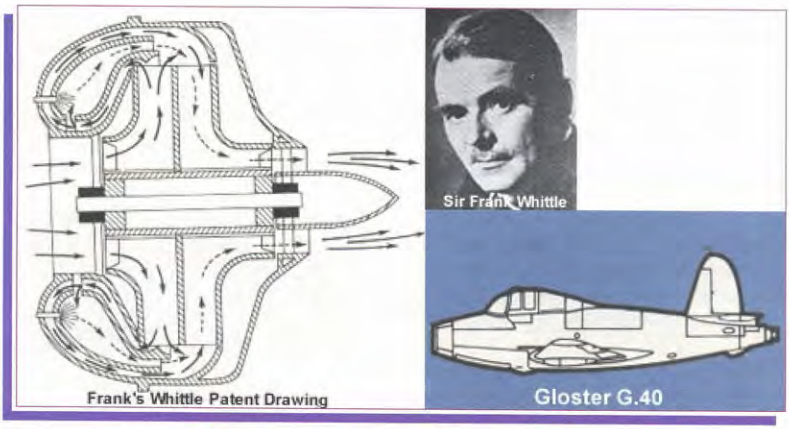
شکل۳- یک کمپرسور از نوع گریز از مرکز (سانتریفیوژ)

از سال ۱۹۳۰ با افزایش کارآیی، توربین گازی به عنوان موتور هواپیما مورد استفاده قرار گرفت و اولین نمونه آن را در سال ۱۹۳۷ یستون(Yestone) انگلیسی ساخت. در این نمونه، کمپرسور گریز از مرکز (سانتریفیوژ) دو طرفه‌ای در امتداد محفظه احتراق قرار داشت. این موتور جت قدرت، نوع U نام گرفت. عدم توانایی در دستیابی به فشار بالا در کمپرسور، کارآیی پایین توربین وعدم‌کنترل محفظه احتراق در حجم کوچک، مشکلات عدیده‌ای بود که در این طرح به چشم می‌خورد.

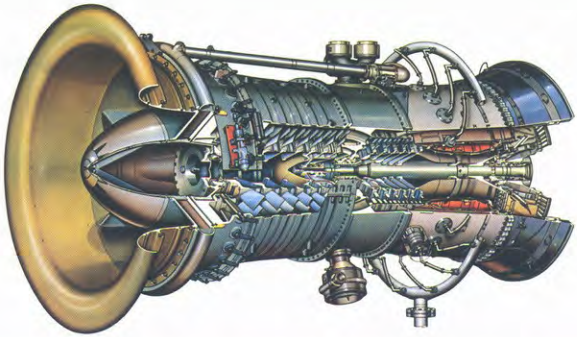
Sir Frank Whittle را خیلی‌ها بعنوان پدر موتور جت می‌شناسند. (شکل ۴) در سال ۱۹۳۰ وی کاربرد توربین گازی بعنوان موتور هواپیما را به جهان معرفی نمود.اولین موتور Whittle پس از تولید Power jet W.1 نام گرفت و در ۱۵ می۱۹۴۱ در حالیکه روی british Gloster G.40 نصب شده بود به‌پرواز درآمد.

هنکل(Henkle) موتور جت آزمایشی خود را در سال ۱۹۳۹ و جنرال الکتریک (General Electric) مدل W.1 را در سال ۱۹۴۱ به پرواز در آوردند. فن‌آوری‌های بدست آمده در صنعت توربین گازی در سال‌های بعد توسعه فراوانی یافت به طوری که توربین‌های گازی که هم اکنون به بازارهای جهانی عرضه می‌شوند قابلیت تولید ۴۰۰ مگاوات توان را دارند. در گذشته توربین گازی در مقایسه با سایرمنابع تولید قدرت به عنوان مولدی که دارای راندمان خوبی نیست قلمداد می‌شد. زیرا راندمان آن حدود ۱۵، بود ، ولی علیرغم پائین بودن راندمان مزایایی چون کوچک بودن، وزن کم و سرعت نصب بالا، در بسیاری از موارد کاربرد توربین گازی را توجیه می‌کرد. عمده‌ترین عامل محدود کننده در مورد اغلب توربین‌های گازی، درجه حرارت ورودگاز به توربین می‌باشد. با طرح‌های جدیدی که در رابطه با خنک کاری ابداع گردیده و همچنین پیشرفت‌هایی که در زمینه متالورژی‌پره‌ها حاصل شده دماهای بالاتری برای گازها درتوربین بدست آمده است. همچنین جهت بهبود راندمان امکان کاهش حرارت مصرفی، به کمک بازاریاب فراهم شده است و این میزان از 18.000 But/Kwh -20.000 به حدود 12.000 But/Kwh کاهش یافته است.

امکان پائین آوردن بیشتر میزان حرارت مصرفی با استفاده



شکل۴ - اولین کاربرد توربین گازی بعنوان موتور یک هواپیما (۱۹۴۱)



شکل۵

از بازیاب‌ها محدودیت‌های زیادی دارد و براین اساس روش‌های دیگری مورد توجه قرار گرفته که از آن جمله با ترکیب سیکل توربین گازی و توربین بخار، میزان حرارت مصرفی به 8000 But/Kwh کاهش یافته است و با پیشرفت تکنولوژی در حال کاهش بیشتر می‌باشد.

توربین گاز کمترین هزینه تعمیرات و سرمایه‌گذاری را دارد، همچنین‌سریعتر از هرمولد یا نیروگاه دیگری اتمام می‌پذیرد و به مرحله کامل بهره برداری می‌رسد. از عیب‌های عمده توربین‌های گازی اتلاف حرارتی زیاد در آنها می‌باشد که ترکیب سیکل‌های نیروگاهی چاره مناسبی برای رفع نقیصه فوق و سایر نقایص توربین‌ها بنظر می‌رسد.

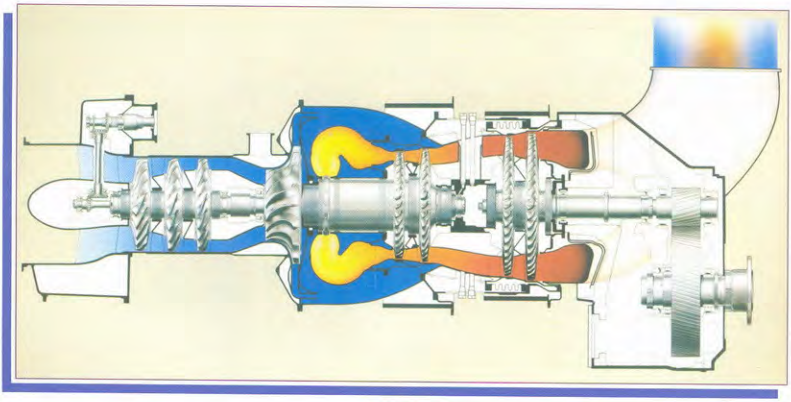
۲- انواع توربین‌های گازی

پس از توضیح مختصری که در رابطه با تاریخچه توربین‌های گازی گفته شد، حال به معرفی توربین‌های گازی می‌پردازیم. بطور کلی در صنعت، توربین‌های گازی به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

۱ توربین‌های گازی صنعتی بزرگ (شکل ۶)که مصرف عمده آنها درنیروگاه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ مربوط به خط لوله انتقال نفت و ... است.

۲ توربین‌های گازی مربوط به صنایع هوایی

شکل ۶- توربین صنعتی



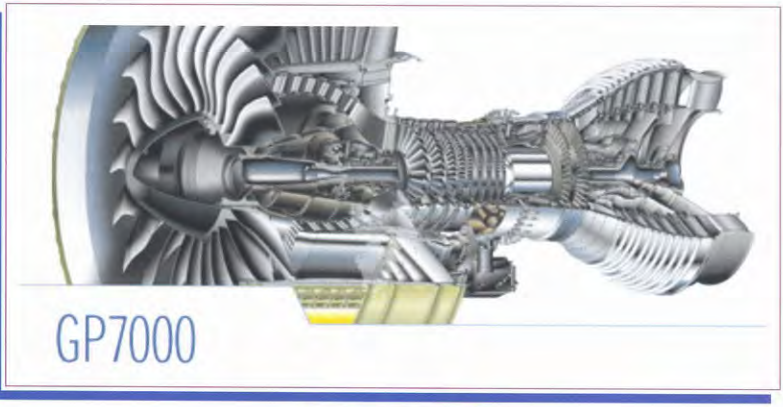
شکل۷

۲-۱) توربین‌های گازی صنعتی بزرگ

این نوع توربین‌ها مدت کوتاهی پس از جنگ جهانی دوم یعنی در اوایل دهه ۱۹۵۰ به بازارعرضه شدند و در ابتدا چون روی زمین نصب می‌شدند از لحاظ ابعاد و وزن محدودیت خاصی برای آنها وجود نداشت. به همین دلیل توربین‌های اولیه دارای پوسته‌های (Casings) ضخیم، محفظه احتراق خیلی بزرگ، ایرفول‌های ضخیم و ... بودند. بعدها با پیشرفت تکنولوژی ضریب نسبت فشار از ۵/۱ تا ۳۰/۱ و درجه حرارت ورودی تا 1260?C افزایش یافت که باعث پیشرفت چشمگیری در راندمان این نوع توربین‌ها گشت. (شکل ۷)

۲-۲) توربین گازی هوایی

این نوع توربین‌ها همانگونه که از اسمشان مشخص است دارای یک موتور جت هستند که گاز با دما و فشار بالا ایجاد می‌کنند و سپس با عبورگاز از یک توربین قدرت انرژی مورد نیاز را تأمین می‌نماید.(شکل ۸) پس در این نوع توربین‌ها موتور جت در حقیقت مولد گاز (Gas Generator) می‌باشد. از این نوع توربین‌ها می‌توان موتور هواپیما را نام برده در آنها چند مرحله (Stage) به کمپرسور اضافه می‌شود تا بتواند فشار بالای مورد نیاز را تأمین نماید. در این نوع توربین‌ها برای بالا بردن فشار گاز خروجی از محفظه احتراق و ورودی به توربین قدرت، تا فشارهای ۴۵-۷۵ psi و درجه حرارت ۹۰۰-۱۲۰۰F از ژنراتور گاز استفاده می‌شود. ژنراتور گازی در مقایسه با توربین گازی خیلی سبکتر است. این ژنراتورها دارای محفظه‌هایی با دیواره خیلی نازک پره‌هایی با نسبت طول به عرض بالا (aspect ratio)، که در مورد پره‌ها همان نسبت طول به ضخامت پره است، یاتاقان‌های غلطکی، محفظه احتراق دایروی و وزن پائین می‌باشند. در این نوع توربین‌ها، قدرت آزاد می‌باشد، یعنی از نظر فیزیکی توربین قدرت به ژنراتور گازی کوپل نشده است بلکه از طریق یک داکت که گاز را از ژنراتور گازی به توربین قدرت انتقال می‌دهد بهم متصل شده اند.



شکل۸- نمونه یک موتور هوایی

۳- کاربرد توربین‌های گازی

۳-۱ توربین گازی در صنایع نفت و گاز

از توربین‌های گازی به عنوان نیروی محرکه یا پمپ یا کمپرسور استفاده می‌شود و این نکته را نیز باید در نظر داشت که انتقال فرآورده‌های نفتی از طریق خطوط لوله در مقایسه با دیگر راه‌های انتقال مثل جاده یا راه‌آهن هزینه کمتری در بر دارد. در مقایسه با انواع دیگر توربین‌ها، توربین‌های‌گازی نیاز به سرمایه‌گذاری و هزینه تعمیرات کمتری دارد و در مدت زمان کوتاه‌تری به بهره‌برداری می‌رسد. تلفات حرارتی از عیوب عمده در این توربین‌ها می‌باشد که ترکیب سیکل‌های نیروگاهی از راه حل‌های پیشنهاد شده برای رفع این نقیصه است.
صرف نظر از کاربردهای نظامی این توربین‌ها، موارد کاربرد مهم آنها در صنایع نفت و گاز به شرح زیر است:

۳-۱-۱- انتقال و پمپ کردن نفت و گاز

اکتشاف نفت و گاز معمولاً در صحرا یا دریا و به دور از مراکز تولید برق انجام می‌گیرد. در این حالت، توربین گازی به عنوان محرک پمپ یا محرک کمپرسور برای انتقال نفت و گاز از صحرا، دریا یا مناطق دورافتاده به مراکز مورد نیاز مانند مراکز صنعتی یا بندرها به کار می‌رود. (شکل ۹) در ابتدای خط لوله ، حدود ۷ تا ۱۰ درصد کل گاز، در توربین ، برای افزایش فشار مصرف می‌شود . در سال های اخیر به دلیل افزایش مصرف گاز، سیستم‌های پمپ کردن با کارآیی بالاتری طراحی شده است. در این سیستم‌ها از توربین‌هایی برای انتقال و پمپ‌کردن استفاده می‌شودکه دارای قابلیت مصرف سوخت تصفیه نشده باشند، استفاده ازاین توربین‌ها در مقایسه با انتقال سوخت از طریق جاده و راه‌آهن هزینه کمتری در بردارد.

شکل۹ - استفاده از توربین در پمپاژ خطوط لوله

شکل۱۰ - استفاده از توربین جهت پشتیبانی و حفظ فشار مخازن

۳-۱-۲- پشتیبانی فشار مخازن

از قدرت توربین گازی برای گرداندن کمپرسورهای فشار قوی در هنگام استخراج استفاده می‌شود.(شکل ۱۰) با توجه به اینکه فشاردرونی چاه‌های نفت درطی سال‌ها برداشت به مرور افت پیدا می‌کند ، لذا با استفاده از تزریق گاز یا آب مجدداً فشار چاه افزایش یافته و میزان دبی چاه بالا می‌رود. برای این کار می‌توان از قدرت توربین برای گرداندن پمپ و کمپرسورها استفاده نمود.

نوع خاصی از توربین گازی محرکه پمپ که دارای حجم کمتر و مشخصاتی ویژه است، در سکوهای نفتی و برای استخراج نفت حتی در عمق‌های بسیار زیاد به کار می‌رود.

۳-۱-۳- تصفیه و پالایش

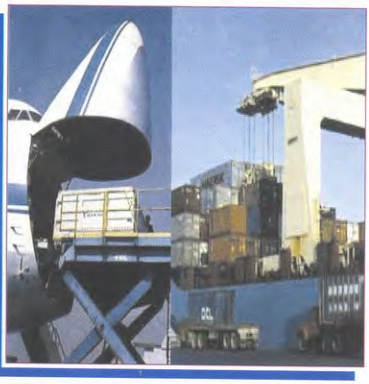
استفاده از توربین گازی که قدرت محرکه ژنراتور، کمپرسور و پمپ را تامین می‌نماید دربخش تصفیه و پالایش چندین مزیت دارد. به عنوان مثال توربین گازی را به عنوان موتور

شکل۱۱ - استفاده از توربین گازی در بخش پالایش و پتروشیمی

دستگاه‌های مکانیکی در این صنعت به کار می‌برند. هوای فشرده‌ای که از کمپرسور خارج می‌شود در سیستم‌ها به مصرف می‌رسد. انرژی حرارتی گازهای خروجی توربین، در بخش‌های مختلف به مصرف می‌رسد که این عمل باعث می‌شود راندمان سوخت مصرفی به حدود ۸۰، برسد. علاوه بر موارد فوق، به دلیل قابلیت مصرف سوخت‌های مختلف، به ویژه گازهای حاصل از واکنش‌ها که معمولاً تلف می‌شود در توربین گازی استفاده می‌گردد. در نتیجه، استفاده از واحدهای توربین گازی در صنعت پالایش، توسعه دارد. (شکل۱۱)

۳-۲- توربین گازی در صنایع حمل و نقل

از توربین‌گازی درانواع کشتی‌های بزرگ و کوچک مسافربری و باربری استفاده می‌شود. (شکل۱۲) در دهه ۱۹۷۰ به دلیل افزایش‌قیمت سوخت، کشتی‌های بزرگ باربری، سیستم‌های توربین گازی خود را با موتورهای دیزلی جایگزین کردند. از



شکل۱۲ - کاربرد توربین گازی در صنایع حمل و نقل دریایی و هوایی

آنجا که سرعت در این نوع کشتی‌ها مشخصه مهمی نبود، این نوع کشتی‌ها، سرعت و ظرفیت باربری خود را از دست دادند. در ناوهای جنگی که سرعت بسیار حائز اهمیت بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، از توربین‌گازی استفاده می شود.

آمریکا، کانادا و انگلستان در این صنعت تجربه فراوانی دارند. در قایق‌های سریع و قایق‌های گشت نظامی نیز از موتور مجهز به توربین گازی استفاده می‌شود. این نوع موتورها سرعت و توان بالایی دارند. در این نوع قایق‌ها، توربین معمولاً از طریق چرخ‌دنده، پروانه کشتی را به حرکت در می‌آورد. کشتی‌های جنگی نیز به دلیل نیاز مبرم به قدرت و سرعت، از توربین گازی به جای توربین بخار استفاده می‌کنند. در این موارد، انرژی الکتریکی موردنیاز کشتی نیز از طریق توربین‌گازی تهیه می‌شود. در نتیجه، حجم قسمت تولید قدرت، کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد.

توربین گازی در صنعت هاورکرافت نیز بکار گرفته می‌شود، به طوری که در بعضی از هاورکرافت‌ها، قسمت تولید هوای زیر هاورکرافت، که با توربین گازی کار می‌کند می‌تواند کل وسیله نقلیه را حدود ۸۰ تا ۹۰ سانتی‌متر از روی زمین بلند کرده و به جلو حرکت دهد. این نوع هاورکرافت در سطوح آبی ناآرام و زمین‌های ناصاف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

توربین‌گازی در صنایع حمل و نقل زمینی مانند راه‌آهن نیز به‌کار می‌رفت، اما پس از یکی دو دهه جای خود را به موتور دیزلی داد. اگر چه بعدها قطارهایی با سرعت بالا و مجهز به موتور توربین گازی به بازار عرضه شد، اما در نهایت، قطار الکتریکی از نظر سرعت و قابلیت‌های مختلف، برتری خود را به اثبات رسانده است. در حمل و نقل جاده‌ای و اتومبیل‌ها، توربین گازی با توان پایین‌تر مورد نیاز است، اما تا عملی شدن این طرح، در عمل راهی طولانی در پیش است. مهم‌ترین مشکل در این نوع وسایل نقلیه، تنظیم مصرف سوخت‌در بارهای‌پایین است‌که به سیستم‌کنترل پیچیده‌ای نیاز دارد.

۳-۳- توربین گازی در تولید انرژی الکتریکی

توربین‌گازی به طور گسترده‌ای اولاً در تولید انرژی الکتریکی بویژه در زمان اوج مصرف و هم چنین در بار پایه و ثانیاً به عنوان واحد پشتیبان واحدهای بزرگ بخار، در مواقع اضطراری به کار می‌رود. در آمریکا و انگلستان از این سیستم‌ها فقط در اوج مصرف استفاده می‌شود، در حالی که درعربستان‌سعودی، به دلیل فراوانی سوخت، در بار پایه نیز بهره‌برداری قرارمی‌گیرد.علت دیگر این موضوع، نیاز نداشتن به آب برای سیستم‌های خنک کننده است که در مناطق صحرایی و کم آب، موجب بهره‌برداری راحت می‌گردد. در انگلستان، نوعی از این واحدها با سیستم موتور هوایی که مجهز به توربین‌های توا ن بالا بوده و در مدت دو دقیقه، به قابلیت تولید صددرصد بار می‌رسد، استفاده می‌شود. اگرچه این قابلیت‌حائز اهمیت است، اما به دلیل تنش‌های حرارتی، عمرمفید بین تعمیرات اساسی را کوتاه می‌کند، بدین جهت لازم است فقط در شرایط اضطراری از این توربین‌ها استفاده شود.

خاموشی بزرگی‌که درسال۱۹۶۵ درآمریکا رخ داد سازندگان توربین‌گازی را بر آن داشت‌که توربین‌های گازی را با قابلیت راه‌اندازی مستقل و بدون استفاده از منبع الکتریکی دیگر طراحی کنند. این نوع توربین‌های گازی در اغلب کشورهای دارای شبکه مطمئن تولید برق، نصب شده و در حال بهره‌برداری است.از این نوع سیکل‌های توربین گازی باید در شرایط اضطراری برای تولید برق اصلی و فقط در مدت چند ساعت استفاده شود. در این رابطه، توربین‌های‌گازی با طرح تک محوری، می‌توانند توا نی در حدود ۱۳۰ تا ۱۵۰ مگاوات تولیدکنند،که البته هر روزه مدل‌های‌جدیدی با توان‌تولیدی بالاتر ساخته می‌شود. لازم به ذکر است که حد تولید بالاتر، ناشی از حداکثر ابعادی است که به دلیل حمل و نقل با راه‌آهن، باید درنظر گرفته شود. در کنار واحدهای الکتریکی با توان بالا، واحدهای کوچک توربین گازی قابل حمل نیز، برای مناطقی که دسترسی به انرژی الکتریکی میسر نیست، ساخته می‌شوند.

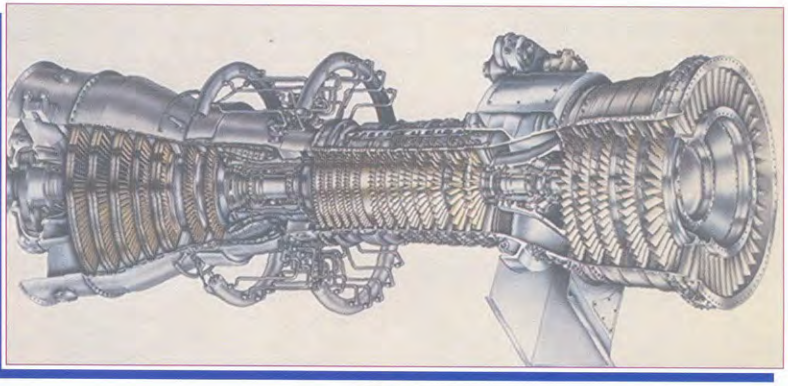
۳-۴- توربین‌های گازی با تولید محدود انرژی الکتریکی

بیشترین کاربرد این نوع توربین‌های گازی در سکوهای دریایی است که بار پایه را برای بخش‌های مصرف کننده اصلی تأمین می‌کنند. (شکل۱۳) سطح تولید این واحدها معمولاً حدود۳ تا ۴ مگاوات است.در بعضی‌از سکوهای نفتی که مصرف انرژی الکتریکی به ۱۲۵ مگاوات می‌رسد، استفاده از واحدهایی با توان تولیدی بالاتر ضروری است. در این صورت به دلیل محدودیت سطح و فضای سکو، در انتخاب توربین گازی، توجه به ویژگی‌های سطح و حجم، در اولویت قرار می‌گیرند.

شکل ۱۳ - توربین‌های گازی مورد استفاده در سکوهای نفتی

۳-۵- توربین گازی در سیکل‌های ترکیبی

سیکل‌های ترکیبی نوع دیگری از واحدهای گازی برای تولید الکتریسیته با کارآیی در حدود ۵۰ درصد است که برای استفاده در بار پایه در نظر گرفته می‌شود. در کشورهایی‌که از منابع نفتی محدودی برخوردارند، استفاده از واحدهای ترکیبی بهینه‌سازی شده باکارآیی‌حرارتی بالاتر، اقتصادی‌تر از واحدهای بخاری یا دیزلی است. هدف از سیکل‌های ترکیبی، استفاده از حداکثر انرژی حاصل از سوخت است. برای‌این منظور، توربین‌گازی، ژنراتورتولید برق را به حرکت درآورده و انرژی حرارتی موجود در دود خارج شده از اگزوز توربین، برای مصارف دیگری استفاده می‌شود. موارد مصرف به سرعت و درجه حرارت دود خروجی بستگی دارد و می‌تواند انرژی محدوده وسیعی از مصرف‌کنندگان را تأمین نماید. به عنوان مثال از آن می‌توان برای واکنش‌های مختلف در مناطق صنعتی، یا گرم کردن محیط‌های مسکونی و شهری استفاده کرد. در بعضی از نیروگاه‌ها، دود حاصل از توربین گازی، از داخل بویلر بازیاب می‌گذرد و حرارت دود خروجی توربین گازی، به سیکل آب و بخار منتقل می‌شود.



شکل۱۴

بخار خروجی توربین فشار ضعیف را برای مصارف صنعتی و خانگی می‌توان استفاده‌کرد. در این نوع سیستم‌ها معمولاً از چند واحد توربین‌گازی به منظور پایداری‌یا افزایش‌اطمینان از کارآیی سیستم استفاده می‌شود. دود خروجی از این توربین‌ها نیز، سیستم بویلر بازیاب را تغذیه می‌کند. در صورت بروز اشکال فنی در یکی از واحدهای توربین گازی و خارج شدن آن از مدار، بهره‌برداری از سیکل ترکیبی ادامه یافته و تولید در بقیه مجموعه توربین‌های گازی انجام می‌شود. در بعضی ازکشورها، از انرژی حرارتی دود خروجی از اگزوز توربین گازی در مبدل‌های حرارتی استفاده شده و انرژی حرارتی، به صورت قابل مصرف در محیط‌های شهری و صنعتی مانند مدارس، اداره‌ها، ساختمان‌های عمومی، بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌ها و غیره به صورت آب گرم یا هوای گرم توزیع می‌شود. به این روش، افزایش کارآیی حرارتی توربین‌گازی تا حدود ۶۰ درصد امکان‌پذیر است.

۳-۶- کاربردهای احتمالی توربین گازی در آینده

افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی تمیز، ضرورت استفاده از سوخت‌های فسیلی سنگین را مطرح کرده است. اگر چه از این نوع سوخت‌ها در واحدهای بخاری که هزینه‌های تعمیراتی سنگینی دارند استفاده می‌شود، اما تا به حال از آنها درتوربین‌های‌گازی به صورت عملی استفاده نشده است. یکی از روش‌های عملی، به کارگیری محفظه‌های احتراق با بسترهای متخلخل است. در این روش، قسمتی از هوای خروجی کمپرسور از مبدلی که در داخل محفظه احتراق با بستر متخلخل قرار گرفته و ضریب انتقال حرارت بالایی دارد عبور می‌کند. قسمت باقی مانده هوای‌خروجی، از طریق‌خود محفظه احتراق که درجه حرارت بالاتری دارد جریان پیدا کرده و پس‌از تصفیه و جدا شدن ذرات موجود در دود توسط صافی، با هوای خروجی از مبدل مخلوط و وارد توربین گازی می‌شود.دراین صنعت، مسائل‌خوردگی فیزیکی هنوز مطرح است، اما در صورت برطرف شدن مشکلات، استفاده از ذغال سنگ یا سوخت‌های سنگین، امکان‌پذیر خواهد شد. در این فن‌آوری، به جای استفاده از سوخت‌های سنگین در محفظه احتراق با بستر متخلخل، از زباله‌های غیرفلزی که درجه حرارت کافی را برای توربین گازی تولید می‌کند می‌توان استفاده کرد. البته لازم است دود حاصل از احتراق از صافی‌های مناسبی عبور کند تا موجب فرسایش فیزیکی توربین نشود. در این فن آوری، آلودگی محیط زیست از موارد مهمی‌است که باید بر طبق استانداردهای مربوط از آن جلوگیری شود.

روش دیگر، تبدیل سوخت‌های سنگین به سوخت‌های‌گازی تمیز، از طریق واکنش تبدیل به گاز است. در این روش نیز ناخالصی‌های حاصل از احتراق مانند سدیم و وانادیم، برای جلوگیری ازخوردگی توربین گازی، باید تصفیه شود. علت دیگرتصفیه‌گازهای حاصل از احتراق همراه با ترکیبات گوگرد،خوردگی مسیرهای دود خروجی است که علاوه بر آسیب رساندن به دستگاه، موجب آلودگی محیط زیست می‌شود.

۴- قسمت‌های اصلی توربین گازی

بطور کلی در یک سیکل ساده توربین گازی تشکیل شده است از:

۱ **کمپرسور:** که وظیفه فشرده کردن هوا را برعهده دارد و خود ممکن است بصورت کمپرسور محوری و یا سانتریفوژ باشد.

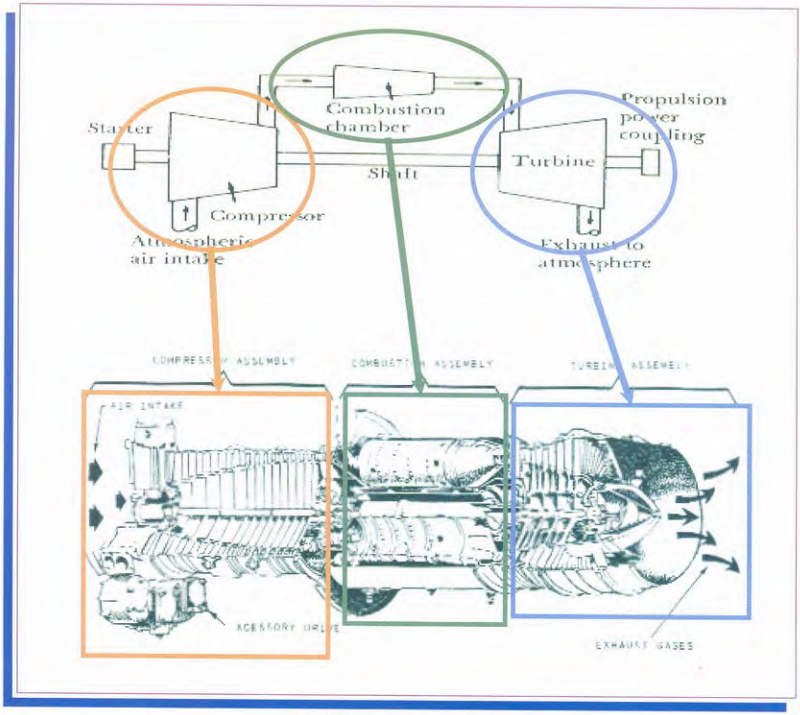
۲ **محفظه احتراق:** که بوسیله آن هوا در فشار ثابت گرم می‌شود.

۳ **توربین:** یکی از قسمت‌های اصلی توربین گازی است که با منبسط کردن گازی که در کمپرسور فشارش و در محفظه احتراق دمایش افزایش‌یافته، قدرتی برای به حرکت درآوردن‌کمپرسور و اجزاء متحرک دستگاه ایجاد می‌نماید.(شکل۱۵)

یکی از نکاتی که در توربین‌های گازی وجود دارد اینست که قدرتی‌که برای فشرده‌کردن گاز در کمپرسور مورد نیاز است تقریباً بین ۴۰-۶۰ ، کلی توانی است که بوسیله توربین تولید می‌شود.

۴-۱- کمپرسور

بیش از ۹۵، از کمپرسورهایی که در توربین گازی مورد استفاده قرار می‌گیرند از نوع کمپرسورهای محوری هستند در این نوع کمپرسورها، جریان گاز هم در ورود و هم در خروج در جهت محور می‌باشد. کار کمپرسورها بالا بردن فشار گاز در این نوع کمپرسورها، جریان گاز هم در ورود و



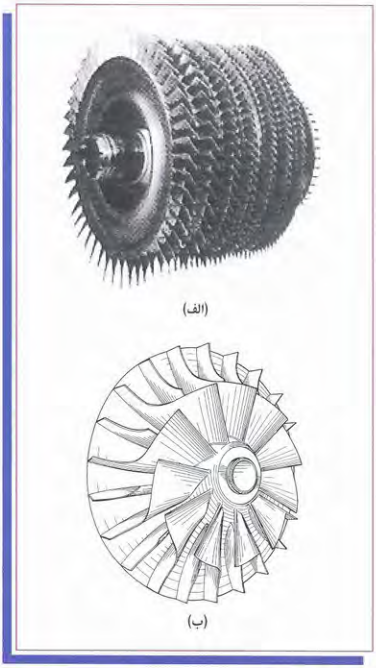
شکل۱۵- بخشهای اصلی یک توربین

هم در خروج در جهت محور می‌باشد. کار کمپرسورها بالابردن فشار گاز در توربین گازی می‌باشد و برای این ابتدا هوا را به وسیله اجزاء مشخصی شتاب داده و سپس دیفیوز می‌نمایند و با این عمل ابتدا هوا را فشرده کرده و باعث افزایش فشار در آن می‌گردند.

شتاب دادن هوا در این نوع کمپرسورها بوسیله یک ردیف از ایرفویل‌های دوار یا یک سری از پره‌های متحرک (روتور) و عمل دیفیوز کردن بوسیله یک سری از پره‌های استاتور، افزایش سرعت حاصل شده در روتور را به یک افزایش فشار تبدیل می‌نماید.

هر طبقه (Stage) از کمپرسور تشکیل گشته است از یک سری پره‌های متحرک (روتور) و یک سری پره‌های ثابت (استاتور) که تعداد طبقات (Stage) در کمپرسورها در توربین‌های گازی معمولاً بین ۱۷–۱۰ عدد می‌باشد. معمولاً در این نوع کمپرسورها در ورودی کمپرسور یک ردیف پره ثابت وجود دارد که برای حصول اطمینان از ورود

هوا به پره‌های مرحله اول در یک زاویه مناسب تعبیه شده همچنین در خروجی کمپرسور یک دیفیوزر اضافی وجود دارد که هوا را بیشتر دیفیوز کرده تا سرعت آن را در هنگام ورود به محفظه احتراق کنترل نماید.

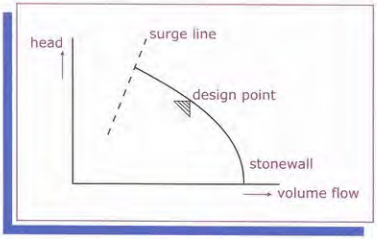


شکل۱۶- شماتیک دو نوع کمپرسور (الف) کمپرسور جریان محوری (ب) کمپرسور جریان شعاعی

در کمپرسورهای محوری(شکل۱۶) فشار هوا پس از عبور از یک طبقه (Stage) و وارد شدن به مرحله بعدی کمی افزایش می یابد.

نکته‌ای که باید در رابطه با این نوع کمپرسورها مورد توجه قرارگیرد اینست که در مواقعی که افزایش فشار نسبتاً پائین، حدوداً بین ۱/۱۱ تا ۱/۱۴ مد نظر باشد می‌توان راندمان ۸۵-۹۰، بدست آورد. اما امروزه با استفاده از کمپرسورهای چند طبقه افزایش فشار تا نسبت ۱/۳۰ نیز در کمپرسورها ایجاد کرده اند. محدوده یا رنج کاری کمپرسورهای محوری خیلی کوچک است.

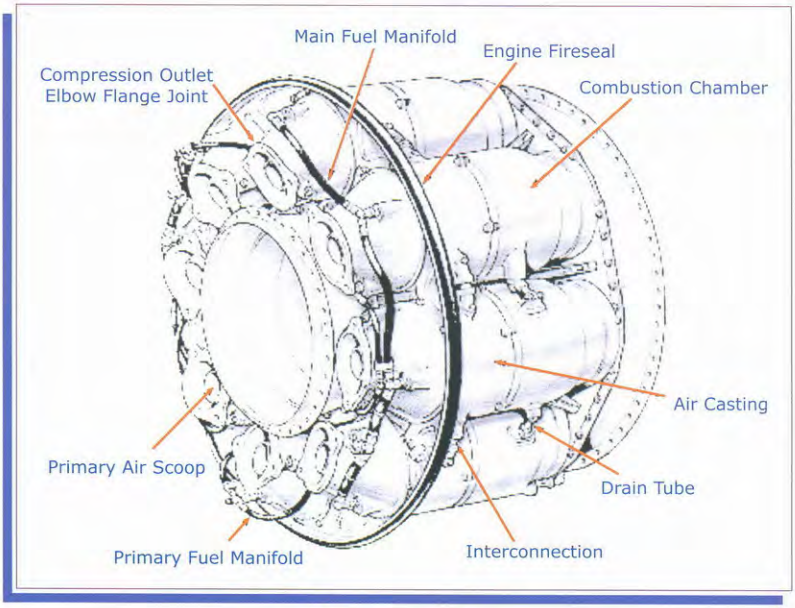
محدوده‌کاراین کمپرسورها بین نقطه Surge و نقطه Stone Wallمی‌باشد. نقطهSurgeبه نقطه‌ای می گویندکه کمپرسور با حداقل جریان در حال تعادل باشد و برعکس آن Stone Wall به نقطه‌ای گفته می‌شودکه کمپرسور با حداکثر جریان در حالت تعادل قرارگیرد. (شکل۱۷) لذا چنانچه کمپرسور خارج از این دو محدوده مورد بهره‌برداری قرارگیرد از حالت تعادل خارج شده ایجاد لرزش و صدا می‌کند و اگر بصورت طولانی در هریک از این دو محدوده کار کند صدمات زیادی به کمپرسور وارد می‌شود.



شکل ۱۷

۴-۲- محفظه احتراق

محفظه احتراق در تمام توربین‌های گازی کار یکسانی انجام می‌دهد. وظیفه محفظه احتراق افزایش درجه حرارت گاز ورودی در فشار ثابت است. (شکل۱۸) در پروسه احتراق که در محفظه‌صورت می‌گیرد تنها ۱۵، از کل هوایی که از بیرون جذب‌می‌شود صرف عمل احتراق می‌گردد و بقیه آن صرف خنک‌کاری مخلوط می‌گردد. هوایی که از طرف کمپرسور وارد محفظه احتراق می‌گردد، ابتدا باید دیفیوز شده سپس وارد محفظه‌گردد.بطوری‌که سرعت هوا درخروجی کمپرسور معمولاً بین (130-Ft/Sec500-400(m/Sec140 می باشد، در حالیکه سرعت هوا در محفظه احتراق باید حدود 10-30 Ft/Sec نگه داشته شود.



شکل۱۸- محفظه احتراق

یکی از نکاتی که در محفظه احتراق باید مورد توجه قرارگیرد اینست که شعله به قسمت پائین دست جریان نفوذ کنند و برای رسیدن به این هدف یک بفل (Baffle) قرار داده است که باعث ایجاد گردابه‌های کوچک می‌شود و شعله را پایدار می‌نماید و همچنین باعث می‌شود عمل احترا ق پیوسته گردد.

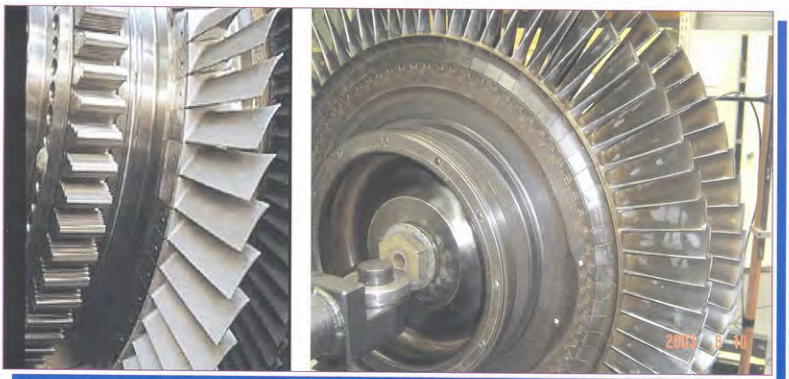
۴-۳- توربین

توربین‌هایی که در توربین‌های گازی مورد استفاده قرار می‌گیرند از نظر شکل هندسی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱ توربین‌های جریان محوری (Axial Flow Turbines)

۲ توربین‌های جریان شعاعی (Radial Flow Turbines)

بیشترین استفاده را در توربین‌های گازی، توربین‌های نوع اول یعنی توربین‌های جریان محوری‌دارند.(شکل۱۹)در این توربین‌ها همانند کمپرسورهای جریان محوری، جریان هم در ورود و هم در خروج در جهت محوری حرکت می‌کند.
این نوع توربین‌ها از پرمصرفترین توربین‌هایی هستند که از سیال متراکم استفاده می‌نمایند و از نظر راندمان نیز نسبت به توربین‌های شعاعی بهتر می‌باشند.
راندمان‌توربین‌های جریان محوری در حدود ۸۸ تا ۹۲درصد بوده حال آنکه راندمان توربین‌های جریان شعاعی پائین‌تر است. توربین‌های جریان محوری خود به سه دسته تقسیم



شکل ۱۹ - بخش‌های مختلف توربین جریان محوری

می‌شوند:

۱ توربین‌های جریا ن محوری ضربه ا ی (Impulse Type Turbines)

۲ توربین‌های جریان محوری واکنشی (Reaction Type Turbines)

۳ ترکیبی از توربین‌های ضربه‌ای و واکنشی

در توربین‌های جریان محوری ضربه‌ای کل افت پتانسیلی در هر طبقه در نازل ایجاد می‌گردد و به همین دلیل گاز با سرعت بالایی وارد روتور می‌شود بطوری‌که سرعت گاز در ورود به روتور تقریباً دو برابر سرعت چرخ است. اما در توربین‌های جریان محوری واکنش افت آنتالپی در دو ناحیه ایجاد می‌گردد:

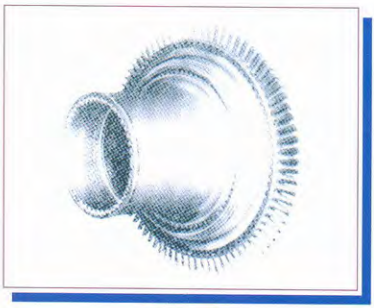
۱ در نازل

۲ در روتور

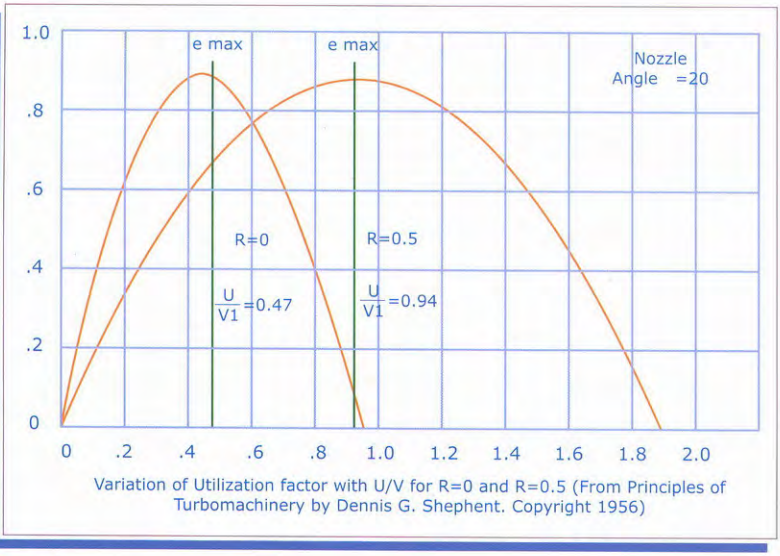
در حقیقت ، توربین‌های جریان محوری ضربه‌ای را می‌توان توربین واکنشی صفردرصد به حساب آورد.درشکل(شکل ۲۱) اثرنسبت سرعت چرخ (u) به سرعت گاز ورودی (v) در راندمان را درهر دو مدل توربین مشاهده می‌نمائید.

همانگونه که در شکل مشخص است در توربین‌های جریان محوری ضربه‌ای راندمان توربین با افزایش نسبت u\v از صفرتا = 0.47u\v، مقدار راندمان ماگزیمم شده و به حدود ۹۲، می‌رسد و از آن به بعد با افزایش نسبت u\v راندمان کاهش می‌یابد.

در توربین‌های جریان محوری واکنشی همانگونه که در مشاهده می‌گردد مقدار راندمان با افزایش نسبت u\v از صفر تا =94.0u\v، افزایش یافته و از آن به بعد با افزایش نسبت u\v راندمان کاهش یافته تا در = 9.1u\v راندمان به صفر می‌رسد.



شکل ۲۰



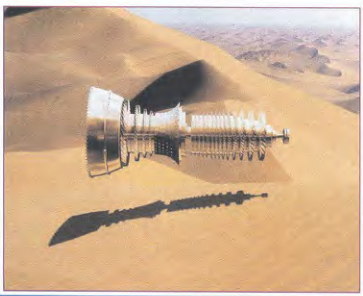
Variation of Utilization factor with U/V for R=0 and R=0.5 (From Principles of Turbomachinery by Dennis G. Shephent. Copyright 1956)

شکل ۲۱

۴-۴ روتور(Rotor)

بخشی از توربین که پره‌های متحرک و دیسک‌ها روی آن نصب می‌شوند و وظیفه انتقال کار و انرژی مکانیکی بین قسمت‌های مختلف توربین را بر عهده دارند روتور نامیده می‌شود. (شکل ۲۲ و ۲۳)

همانطور که گفته شد یک توربین گازی دارای سه ناحیه اصلی می‌باشد. ناحیه کمپرسور که وظیفه آن تراکم سیال است، ناحیه احتراق که وظیفه آن بالا بردن‌دمای سیال است و ناحیه توربین که وظیفه آن‌ایجاد توان می‌باشد.در توربین‌ها یک مسیر برای عبور گازها تعبیه شده است که گازها درحین عبور از این مسیر در ناحیه کمپرسور متراکم شده و بوسیله سوخت در ناحیه احتراق می‌سوزند. بدین ترتیب انرژی آنها بالا می‌رود. گاز داغ و پر فشار در توربین منبسط شده و ایجادکار می‌نمایند. ازکار مفید تولید شده قسمتی به ناحیه کمپرسور انتقال پیدا کرده و صرف راه اندازی آن می‌گردد و بقیه آن به عنوان کار خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



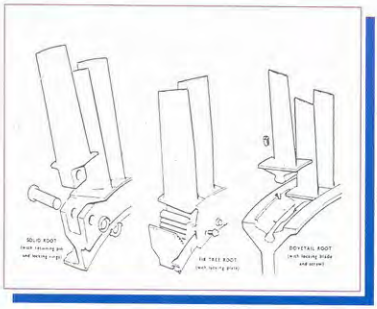
شکل۲۲ - نمای کامل روتور یک توربین گازی

روتور از یک شفت تشکیل شده که دارای یک محور دوران می‌باشد و بصورت طولی در توربین گازی از ناحیه کمپرسور تا ناحیه توربین امتداد یافته است. روتور کمپرسورها معمولاً به صورت دیسکی یا استوانه‌ای است. البته نوع استوانه‌ای آن به علت وزن زیاد، بیشتر در توربین‌های صنعتی (زمینی) بکار گرفته می‌شود. فضای بین روتور و پوسته که ارتفاع پره‌ها را تشکیل می‌دهد، به طرف انتهای پرفشار کمپرسور کاهش می‌یابد و این کاهندگی حتی اگر کمپرسور بر پایه سرعت محوری ثابت هم طراحی شده باشد، صادق است. کمپرسور از تعدادی طبقه تشکیل شده است که فشار هوای ورودی درعبور از هر یک ازطبقات به تدریج افزایش می‌یابد. طبقاتی که در ابتدای ورودی هوا قرار دارند و هوای ورودی در آنها دارای فشار کمتری است،کمپرسور فشار پایین (LP) و طبقاتی را که در انتهای کمپرسور واقع هستند و فشار هوا بالطبع در آنها بیشتر است، کمپرسور فشار بالا (HP) می‌گویند. روتور و شفت در کمپرسورها طوری طراحی می‌شوند که تنش‌های گریز از مرکز و بار چرخشی پره روی شفت حداقل باشد، یعنی دقت ساخت و همگن بودن مواد باید طوری باشد که مرکز جرم مجموعه تقریباً روی محور باشد، و نیروهای گریز از مرکز که در دورهای بالامخرب هستند و ناشی از انحراف مرکز جرم شفت از محور آن است حداقل شود.

شکل۲۳ - تصویر یک روتور کامل

۴-۵ پره توربین (Blade)

پره‌ها از سه قسمت اصلی تشکیل شده‌اند. قسمت ریشه که قسمت پایین پره را تشکیل می‌دهند و برای اتصال پره به دیسک می‌باشند. قسمت میانی پره که برای اتصال پایه به ایرفول می‌باشد و ناحیه بالایی آن به شکل ایروفویل می‌باشد. (شکل ۲۴) ناحیه ایروفویل جهت بهینه کردن خواص جریان هوا و خواص استحکامی می‌باشد. جنس این پره‌ها از فولاد ضدرنگ حاوی ۱۲ درصد کرم و دیگر آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت می‌باشد که تحت عملیات حرارتی قرار گرفته است.



شکل ۲۴ - انواع پره توربین و انواع جفت شدن آنها بر روی دیسک

پره‌های ثابت و متحرک، اصلی‌ترین بخش توربین‌های گازی را تشکیل می‌دهندکه در ناحیه کمپرسور، وظیفه آنها تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی پتانسیل است و باعث افزایش فشار گاز در طول مسیر کمپرسور می‌شوند.

۴-۵-۱ پره‌های ثابت

در زمینه جوشکاری پره‌های ثابت(شکل۲۵) نیز با توجه به امکانات داخلی،محدودیتی احساس نمی‌شود. جهت پوشش پره‌های ثابت و متحرک محدودیت تکنولوژیکی وجود دارد. اما در صورت استفاده ازآلیاژ GTD-405 در پره‌های ثابت و متحرک نیازی به پوشش دهی نخواهد بود. در مجموعه‌های توربین‌گازی، محور و یا شفت توربین و کمپرسور به‌صورت پیوسته است یعنی در یک طرف این محور روتورکمپرسور و درطرف دیگر آن روتور توربین نصب شده است، که در روی روتور

شکل۲۵ - پره‌های نصب شده بر روی استاتور

کمپرسور و روتور توربین، دیسک‌ها و بر روی آنها پره‌های متحرک نصب می‌گردند و در روی پوسته این قسمت‌ها که Vane نامیده می‌شوند پره‌های ثابت نصب می‌شوند.

۴-۵-۲ پره‌های متحرک

از آنجایی‌که پره‌های متحرک توربین تحت بارهای دینامیکی و حرارتی بسیار بالایی قرار دارند، لذا از اساسی‌ترین قطعات توربین به‌شمار می‌رود. مناطق پره را می‌توان به ایرفویل، شانک، ریشه، شرود و سوراخ‌ها یا کانال‌های خنک‌کاری تقسیم نمود.

سوپر آلیاژهای پایه نیکل ، پیچیده‌ترین و پر مصرف‌ترین آلیاژهای مورد استفاده د ر ساخت پره‌های متحرک توربین گازی می‌باشند. پیچیدگی این سوپرآلیاژها به دلیل وجود عناصر مختلف در آنهاست. برخی از عناصر اضافی در این آلیاژها نظیر سلنیم، بیسموت و سرب باید در حداقل مقدار ممکن باشند. همچنین عناصر مضر نظیر فسفر، گوگرد، اکسیژن و نیتروژن نیز باید در مرحله ذوب، به حداقل مقدار خود کاهش یابند. درشکل۲۴ قسمت‌های مختلف یک پره که در بالا به آنها اشاره شد نشان داده شده است.

۵- مشخصات فنی توربین

طراحی هر موتور توربین گازی باید در برگیرنده معیارهای اساسی براساس ملاحظات بهره برداری باشدکه بعضی از این معیارها عبارتند از:

۱ راندمان بالا

۲ قابلیت اطمینان بالا

۳ سهولت سرویس

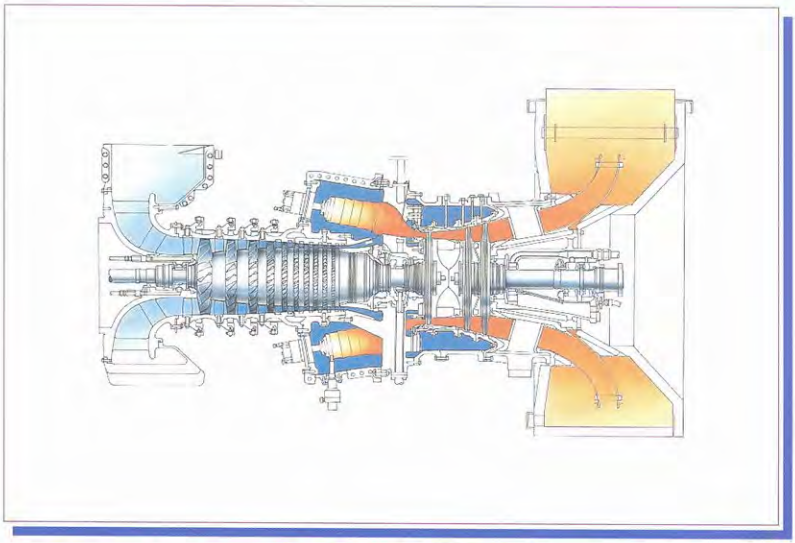
۴ سهولت نصب و راه اندازی و تست

۵ تطابق با استانداردهای مربوط به شرایط محیط

۶ ترکیب سیستم‌های کمکی و کنترل

۷ قابلیت تطابق با انواع مختلفی از سرویس و نوع سوخت

شکل ۲۶ - انواع دیگر پره توربین‌ها



شکل۲۷: شماتیک کلی اجزاء یک توربین گازی

با توجه به موارد فوق، برای تولید انرژی به سه جزء اصلی یعنی کمپرسور، محفظه احتراق و توربین، که در یک سیکل قرار می‌گیرند، نیاز است. در عمل به دلیل وجود اصطکاک و تلفات در کمپرسور و توربین، کار تلف شده در محور افزایش یافته و مقدار انرژی تولیدی و همچنین کارآیی سیستم کاهش می‌یابد. با افزایش مصرف سوخت، اگر چه انرژی تولیدی خالص در خروجی توربین افزایش می‌یابد، اما این افزایش انرژی تولیدی، دارای محدودیتی است که به نسبت هوا / سوخت که تعیین کننده دمای کارکرد ورودی توربین است، بستگی دارد. از طرفی کارکرد دما نباید از حد بحرانی دمای استحکام خزشی که مقدار معینی است، تجاوز کند زیرا تاثیرات نامطلوب بسزایی درساختمان و طول عمر توربین می‌گذارد. اما در حال حاضر با روش‌های جدید خنک‌کاری و پیشرفت‌های چشمگیردر زمینه متالورژی پره‌ها، امکان کار توربین‌ها دردماهای بالاترفراهم شده است. بنابراین دوعامل اصلی در افزایش کارآیی توربین‌های گازی مؤثر است، یکی نسبت‌درجه حرارت به فشار و دیگری عملکرداجزای متشکله آن. در بدو تولد توربین‌های گازی، به دلیل استفاده از اجزاء و مواد نامناسب، تنها کار انجام شده می‌توانست محور را بچرخاند و توان اضافی قابل توجهی تولید نمی‌گردید. اما با گذشت زمان و توسعه علوم دینامیک و مواد، شرکت‌های سازنده موفق به ساخت توربین‌هایی پیشرفته شدند و امروزه توربین‌های گازی با نسبت فشار ۱:۳۵، در محدوده دمایی (۱۲۶۰°C) (۲۳۰۰°F) در حال کار و بهره برداری است. ضمن آنکه امکان بهبود راندمان و کاهش اتلاف حرارتی در توربین‌های‌صنعتی با استفاده از بازیاب نیز فراهم شده است، که از آن جمله می‌توان از سیکل ترکیبی توربین گازی– توربین بخار در نیروگاه‌های برق نام برد.مهمترین عامل‌مؤثر در راندمان توربین نسبت دما به فشار می‌باشدکه در این بین درجه حرارت از اهمیت مضاعفی برخوردار است. بطور مثال هر ۱۰۰°F افزایش دما باعث افزایش ۵.۱ درصدی راندمان می‌شود.

AN INTRODUCTION TO GAS TURBINES

Foreword 5
Large industrial gas turbines 6
Aerial gas turbines 7
Main components 7
Compressor 8
Combustion chamber 9
turbines 10

FOREWORD

Gas turbines have been frequently known as the power generators of relatively low yield. The numerical value of the yield is about 15%. Nevertheless, gas turbines offer many advantages far outweighing their drawbacks. They are neither spacious nor too much heavy, along with the tact that the installation can be carried out very quickly. On the other hand their usage can be faced with several restraints of which the input gas temperature is markedly important.

Nowadays, with the adventage of modern cooling systems and also the technical advances in the field of fin metallurgy, reaching to much higher temperatures of input gas has become possible. The yield also can be improved by careful control of the energy consumption and reduction of heat losses to an acceptable level.

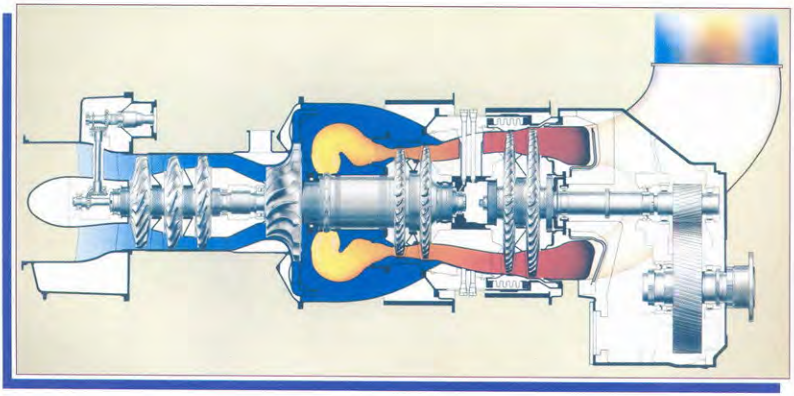
More recently the given value of 12000 BTU/KWH has been presented for energy consumption in gas turbines. When compared with the early figures of 18000-20000 BTU/KWH, the significant role of the heat recovery systems can be clearly distinguished.

It should be noted that such recovery systems can be encountered with many limitations when trying to reduce the energy consumption yet more. Thus new approaches have to be developed. Combination of gas turbine cycle with that of steam turbine is one of. those advances which has successfully reduced the energy consumption values to 8000 BTU/KWH. Such values are also hoped to be decreased yet more, using the auspicious
technical advances.

In case of gas turbines the investment and repair expenses are relatively low. Also the accomplishment of the plant to its fully operational level can be rendered very fast. Nevertheless the heat losses are fairly high. Although with combination of various cycles the problem can be effectively overcome.

The design of any gas turbine, must meet essential criteria based on operational considerations. Chief among these criteria are:

1. High yield
2. High level of reliability



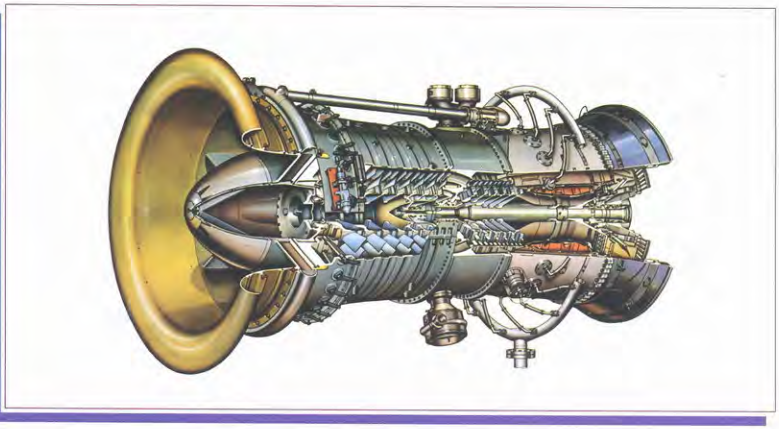
1 Ease of service.
2 Easy installation, start up and testing
3 Compatible with a broad range of operational conditions
4 Combination of supplementary and control systems
5 Compatible with a wide variety of service and fuel types

From the purely technical stand point, temperature and pressure ratios can strongly affect the yield. In this regard, the effect of the former is much higher This can be clearly identified if we know for each 100°F temperature build up, the output work value faces with an increase of approx. 10%, while the yield also rises by 1.5%.
With the modern technology being introduced, a very high gas temperature of 2300°F (1260°C) has been attained.
Pressure ratios as high as 30/l now is no more considered to be beyond the reach.
In fact that's because of such figures that the high values of yield (42- 45%) can be insured.

Technically, gas turbines fall within the two known categories:
Large industrial gas turbines used in power stations, petroleum industry and ... Aerial gas turbines.

LARGE INDUSTRIAL GAS TURBINES

Such turbines were introduced shortly after world war 2, during the early 1950's. when installing as they are to be put directly on the ground surface, the manufacturers will face no restraints in terms of weight and dimensions. Generally, they are equipped with heavy casing, capacious combustion chambers and thick airfoils.
As it was previously mentioned, we readily use pressure ratios as high as 30/1 while the input gas temperature exceeds 1260°C. These culminate in an acceptable level of gas turbine yield.



AERIAL GAS TURBINES

Such turbines are equipped with a jet engine, hence is the name. In other words they produce huge amounts of gaseous products under considerably high temperatures and pressures. With the gas being passed through a turbine, the mechanical energy is suitably supplied. Here the jet engine is merely used to generate hot gases, so it can be properly called a gas-generaior.
The jet engines of the type used in aircraft have several stages immediately followed after the compressor. These stages have a vital role in providing high pressures in this case. The gas generators can be effectively used to rise the output gas pressure to 45-75 Psi. under such conditions the gas temperature may reach 900-1200^{o}F. Gas generators are not so heavy, they commonly have thin-walled chambers, fins of aspect ratios (the ratio of the fm length to its diameter), roller bearings and circular combustion chambers. In this type of turbines the gas generator is linked to power turbine via a gas duct. So the power generator is not directly coupled with the gas generator.

MAIN COMPONENTS

Typically gas turbines are composed of three major parts:

Compressors

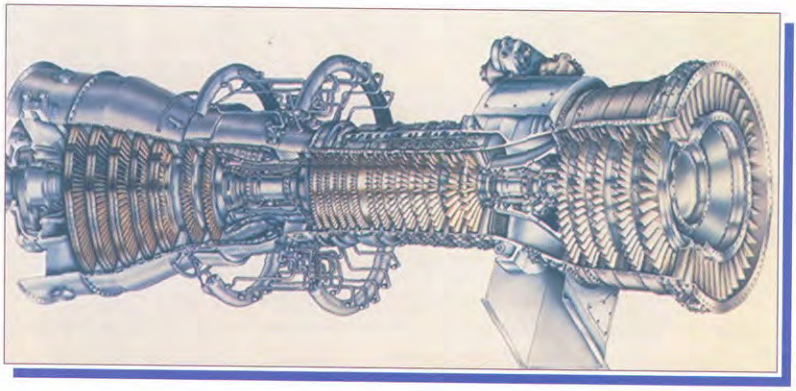
Compressors are mainly used to pressurize the air. Of the two widely known types of the compressors one is axial low compressor and the other is referred to as centrifugal compressor.

Combustion Chamber

In the Combustion Chamber air is heated up under constant pressure.

Turbine

Turbines is one of the major components of a gas turbine. Within the turbine, the pressurized high temperature air bears a rapid expansion, thus providing enough power for the operation of



compressor and other moving parts.
It should be noted that in case of gas turbine the power used by a compressor for the pressurizing the air is about 40 - 60% of the total power provided by the turbine.

Compressor

More than 95% of the compressors being used in gas turbines are of the axial flow type. The gas flow in such a compressor is axial both in input and output stages. Initially the air accelerates, this stage is promptly followed by diffusion which ultimately leads in sudden rise in gas pressure.
The gas acceleration is performed by a row rotating airfoils or series of movies fins (rotors). Fixed fins(rotors are used for diffusion purposes, as a matter of fact the kinetic energy of high velocity gas appears as a sudden pressure build up, when the gas bears diffusion. Worthy to know in each stage of a compressor, rotors and stator s are amongst the most vital parts. The number of the stages in a compressor varies between 10-17.
To insure the continuous air flow through the first row of fins there is series of stators properly angled at the input. Moreover at the output a diffuser is used to control the air velocity when entering combustion chamber. In axial flow

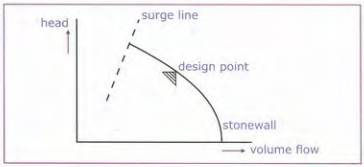


Fig. 1

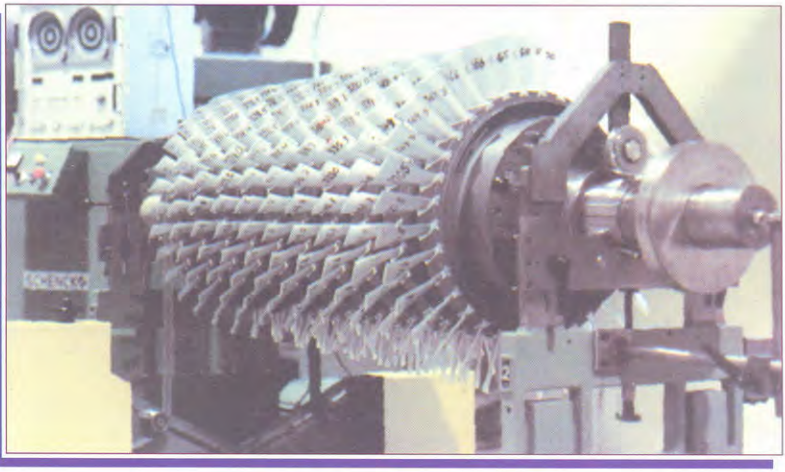


Fig. 2: An axial flow compressor

compressors the air pressure rises a little when passing through each stage.
It should be noted here that in case of such compressors, when fairly low pressure ratios is needed (11/1-14/1) a high value of yield (85-90%) can be achieved.
Nowadays with the aid of multi stage compressors high pressure ratios of about 30/1 has become more tangible. Axial flow compressors remain operationally dependable within extremes which are already known as choke and surge. Surge occurs when flow direction changes but in case of choke air flow Debby reaches its maximum. Both of them are equally undesirable, because of their detrimental effect on gas turbines.

Fig. 3:A centrifugal impeller

Combustion chamber

Combustion chambers act the same in all gas turbine types. It is used for heating up the gas under constant pressure. In combustion process which takes place within the chamber only 15% of the input air is consumed and the rest is used for cooling purposes. The pressurized air from the compressor when entering the combustion chamber, initially diffuses, so the high velocity air 400-500 ft/sec (130-140m/sec), enters the combustion chamber while the velocity does not exceed 10-30 ft/sec. In case of combustion chamber the most care should be taken the flame not to find way to lower part of the flow. To reach this goal a baffle is used. Such a baffle produces vortexes in gas flow, thus stabilizes the flame.

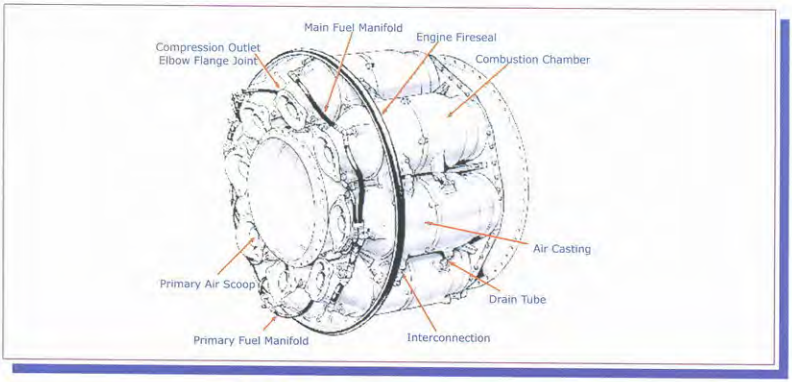


Fig. 4: A multiple combustion chamber

Moreover, it insures the continuity of combustion process.

Turbines

From the geometrical point of view, the turbines can be divided into two distinct type:

1. Axial flow turbine
2. Radial flow turbine

The first type has found more extensive usage. In such a turbine the flow remains axial in the whole process. They use compressed fluid and depict higher yields when compared with radial flow types. The given values for the yield vary between 88 - 92%.

Axial flow turbines can be found in three types:

1. impulse type turbine
2. Reaction type turbine
3. A combination of the aforementioned two types thermodynamically, in impulse type the overall enthalpy drop of each stage occurs in the nozzle So the gas in contact with rotors is in high velocity Surprisingly the velocity of gas in this stage is two times greater than the wheel velocity.

In reaction type the enthalpy drop occurs both in nozzles and rotors. In fact impulse type turbines can be considered as a 0% reaction type turbine.

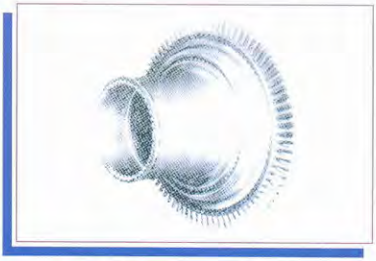
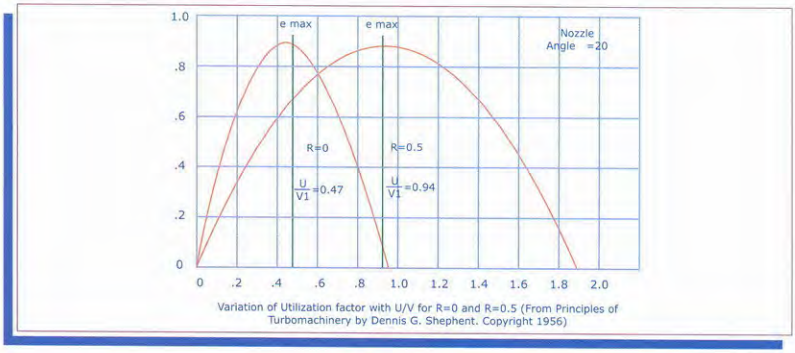


Fig. 5: A high-pressure turbine stage of a turbofan

In fig 6, the effect of wheel velocity (U) - input gas velocity ratio on yield values is depicted.

In impulse type turbine yield rises when U/V increases From 0 to (U/V)= 0.47. At this point the yield finds its max value, then it decreases when u/v increases yet further.

In reaction type turbines, the yield again rises when U/V increases from 0 to (U/V)=0.94. Then the yield decreases and in (U/V)=1.9, yield is equal to 0.



Variation of Utilization factor with U/V for R=0 and R=0.5 (From Principles of Turbomachinery by Dennis G. Shepherd. Copyright 1956)

Fig. 6