مقدمه :

توربین گازی یک موتوراحتراق داخلی چرخشی ازخانواده توربوماشینهااست که درذهن عموم موتورجت هواپیما بعنوان پرمصرف ترین کاربردآن شناخته شده است اساساً این نوع موتورباحتراق اختلاف هوای فشرده وسوخت وعبورماحصل آن ازیک سری دیسکهای چرخندهٔ توربین کارمی کند که موجب بروز قدرت چرخشی یک شافت ویاایجاد نیروی عکس العمل رانشی ویاترکیبی ازاین دوپدیده می شود .

بطور کلی توربینهای صنعتی را می توان به صورت زیر تقسیم بندی نمود:

۱- توربنهای بخار (STEAM TURBINES)

توربینهای بخارآب قدیمی ترین توربینها درصنعت می باشند وازنیروی بخارآب برای بحرکت درآوردن توربینها استفاده می شود .

۲- توربینهای گازی انبساطی GAS,EXPANSIONTURBINE

توربینهایی که گازطبیعی بافشاروحرارت معینی وارد توربین شده به تیغه ها برخوردکرده وسبب چرخش توربین می شود .

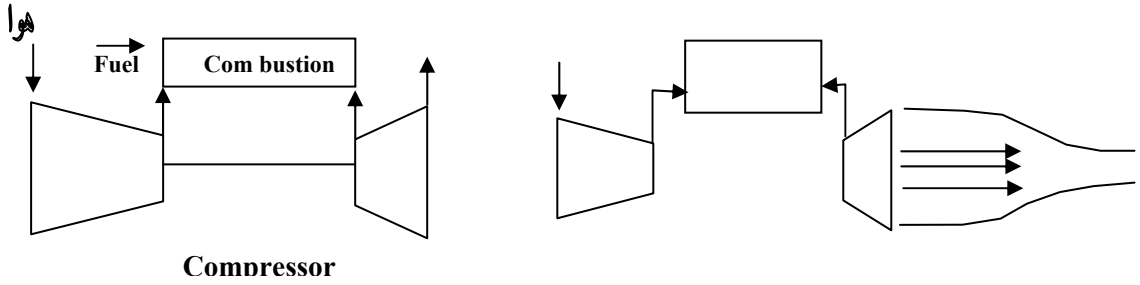
۳- توربینهای احتراقی GAS COMBUSTION TURBINE

دراین توربینها مقداری گازطبیعی وهوای فشرده درمحفظه احتراق می سوزد ودراثرسوختن حرارت ایجادشده حجم گاززیاد می شود وگازباحجم زیادوفشارودرجه حرارت معینی به تیغه‌های توربین برخورد کرده وسبب چرخش توربین می شود .

فصل اول : کمپرسور هوا

۱-۱سیکل اساسی توربین گازی :

پایه واساس توربین گازی یک کمپرسورهوا – یک اتاق احتراق ویک توربین است که پشت سرهم وبه صورت سری دریک مجموعه قرارگرفته اند . شکل ساده آن در زیر رسم شده است . بدواً هوای ورودی فشرده می شود وسپس وارد اتاق احتراق می گردد . که دراثرمکانیزم احتراق همراه باسوخت موجب افزایش فشارودرجه حرارت هوا (گاز) می شود . نهایتاً این گازدریک توربین منبسط می شود که موجب چرخش آن می شود . توربین کمپرسوررامی چرخاند ومازاد انرژی آن به صورت عکس العمل رانشی یاقدرت مکانیکی وتلفیقی ازاین دودرانتهای شافت خروجی ظاهرمی شود .

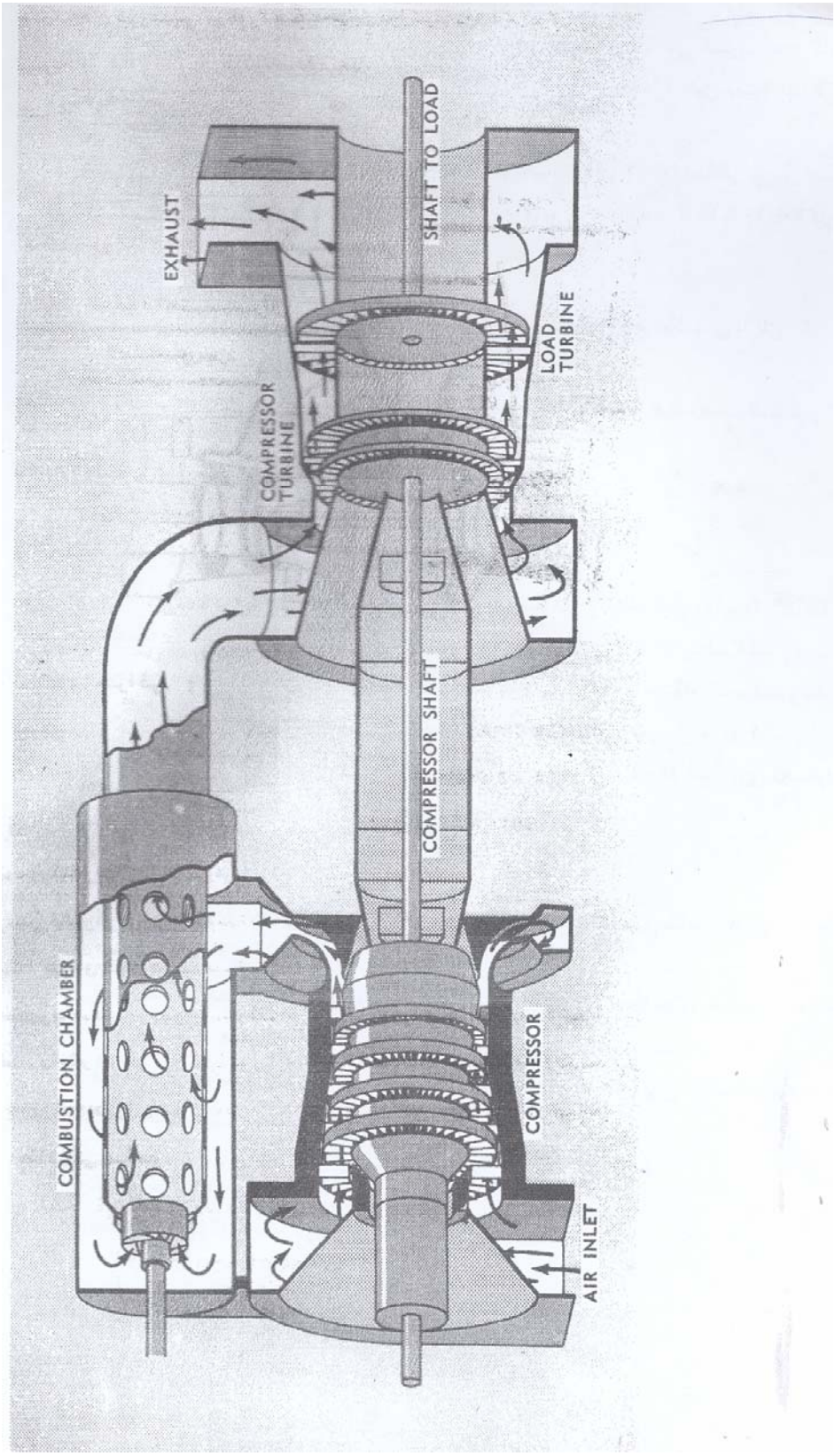


شکل۱-۱

هرتوربین گازی برهمین اساس ولی بامتغیرهای متفاوت کارمی کند تعداد مراحل ویاآرایش آن می تواند تغییر کند ولی همواره مراحل فشارافزائی احتراق (گرما افزائی) ودرانتها انبساط سیال (هوای داغ فشرده) بدنبال هم وبه صورت همسان درتمامی تورینها موجب تولید قدرت می‌شود . این مجموعه ممکن است ابتدا کمی پیچیده به نظربرسد ولی باتشریح موارد ضمن آشنایی بااجزاءِ مختلف تمامی رفتارآن مشخص خواهد شد .

۱-۲اجزاء توربین گازی :

توربین گازی بانسبت عددی بالای قدرت به وزن (درمقابل سایرانواع موتورهای احتراق داخلی) عدم نیازبه آب قابل بهره برداری بدون حضورنیروی انسانی کنترل ازراه دورودارای توانایی‌های راه‌اندازی‌سریع‌است که‌عدم‌حضورقطعات‌باحرکت‌رفت‌وبرگشتی‌موجب‌کاهش‌هزینه‌تعمیر و نگهداری وافزایش عمرآن می شود دریک‌جمله‌توربین گازی یک ماشین ساده وقابل توجه است . کمپرسورهوا – اتاق احتراق وتوربین سرعنصراصلی یک توربین گازی است کاربرد وانتظارازکارآیی دستگاه نوع ومشخصه آنراتعیین می کند برای افزایش قدرت خروجی وراندمان درمقابل پیچیدگی افزایش وزن وهزینه مجموعه ممکن است تجهیزاتی دراشکال مختلف به آن اضافه شود .


EXHAUST
SHAFT TO LOAD
LOAD TURBINE
COMPRESSOR TURBINE
COMPRESSOR SHAFT
COMBUSTION CHAMBER
COMPRESSOR
AIR INLET

شکل۱-۲

۱-۳کمپرسورهوا : AIR COMPRESSOR

دونوع کمپرسورهوا درتوربینهای گازی مورد استفاده قرارمی گیرد . این دونوع عبارتنداز:

۱- گریزازمرکز (جریان شعاعی)

۲- جریان محوری

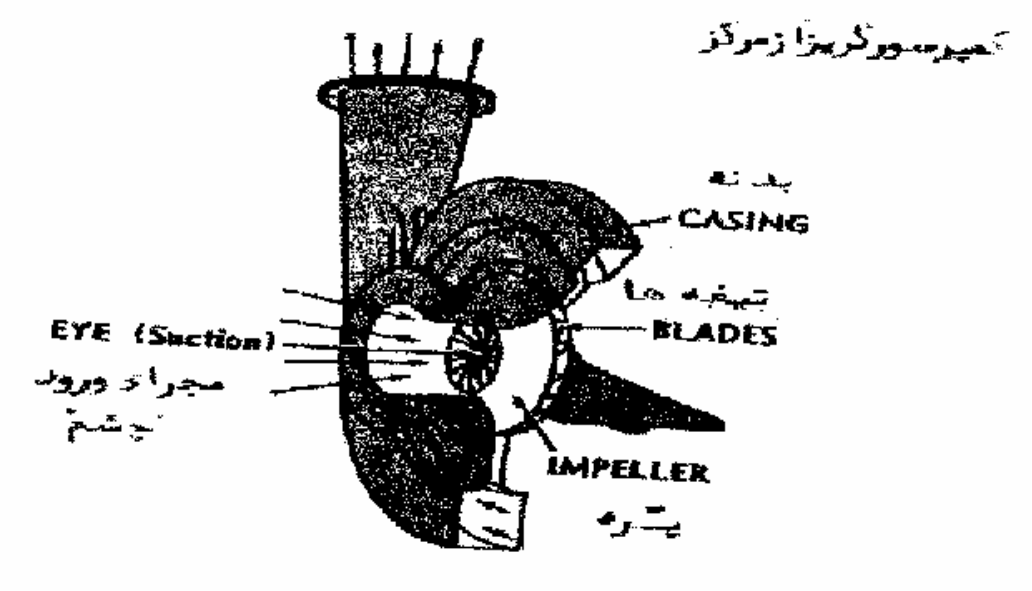
درکنارتوجه به راندمان اندازه وعمرکمپرسورازعوامل مهم انتخاب انواع کمپرسوراست درمقام مقایسه کمپرسورجریان محوری باکمپرسورجریان شعاعی ، قطرکمپرسورجریان محوری کوچکتروطول آن بیشترازکمپرسورجریان شعاعی است . هم محوری جریان سیال درکمپرسورهای جریان محوری آنرابخصوص برای کاربرد درموتورهواپیما موثرترساخته است ازطرف دیگرکمپرسورجریان شعاعی درشرایط نامناسب عملیاتی عکس العمل نامناسب تری ازخود نشان می دهد . هواپیما های بزرگ وموتورهای زمینی صنعتی تقریباً وتماماً ازکمپرسورهای جریان محوری استفاده می کنند . بدلیل راندمان نسبتاً بالای کمپرسورهای جریان شعاعی ونیزملاحظات ابعادی وهم چنین دربعضی اوقات درعملیات مدالهای صنعتی ازاین کمپرسورها استفاده می شود .

۱-۴کمپرسورهای گریزازمرکزCENTRIFUGAL COMPRESSOR (جریان‌شعاعی)

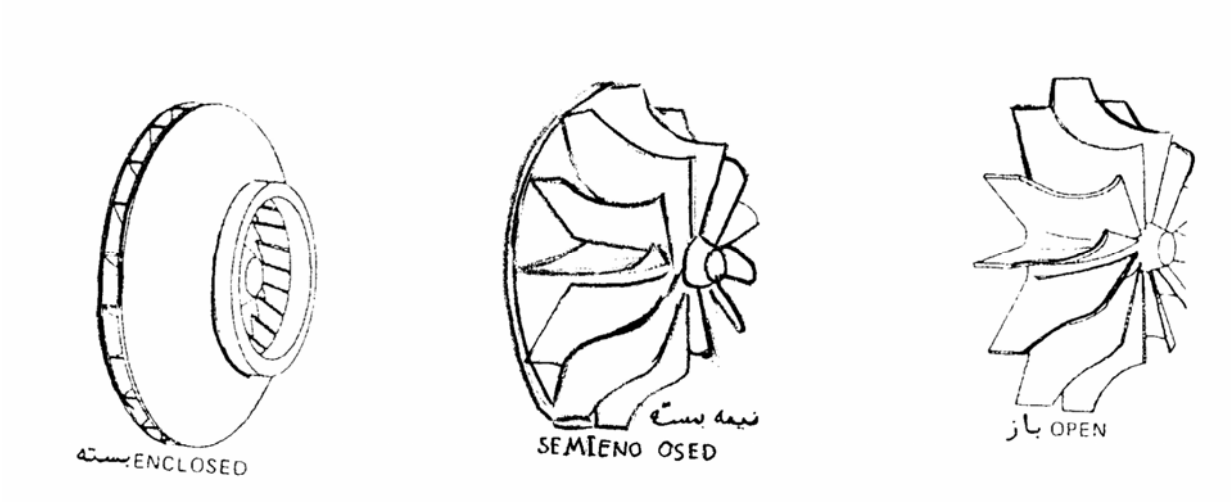
این نوع کمپرسورها که درهواپیماهای اولیه توربین بکارمی رفتند نسبت به کمپرسورهای جریان محوری ازنظرساختمان ساده ترمی باشند .

یک کمپرسورگریزازمرکز انرژی تامین شده ازطریق محرکه آنرابه سیال منتقل می کند . این انرژی به سرعت سیال ، فشار سیال و یا تلفیقی ازاین دوتبدیل می شود . چگونگی تغییر وتبدیل

انرژی درتمامی کمپرسورهای گریزازمرکز تقریباً یکسان است . عامل تبدیل انـرژی کـه بوسـیله موتوربه چرخش درمی آید پروانه نام دارد . که انواع آن در شکل ۱- ٤ نمایش داده شده است.



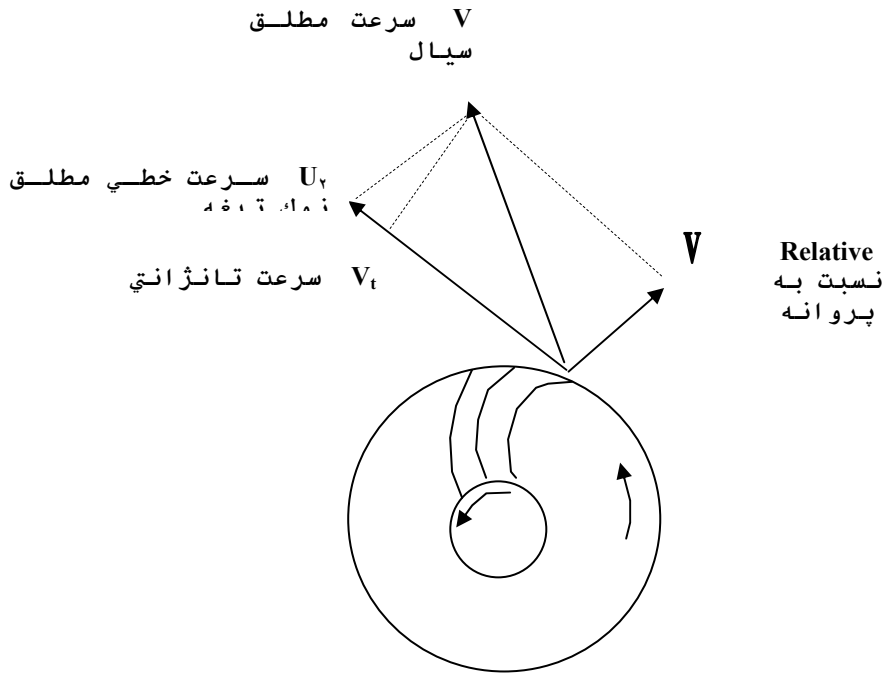
شکل۱-۳ کمپرسور گریز از مرکز به همراه اجزای آن



شکل ۱- ٤ انواع پروانه در کمپرسور گریز از مرکز

نیروهای وارد بر سیال ، یکی درجهت شعاعی وموازی راستای تیغه سمت بیـرون ازمرکـز پروانـه که به نیروی گریزازمرکزمعروف است ودیگـری ممـاس بـرمحیط پروانـه درنقطـه نـوک تیغـه

ودرجهت چرخش پروانه است . برآیند عملی این دومؤلفه سومی است که سیال راباسرعت وفشاروبازاویه معینی ازنوک تیغه پروانه خارج می کند . البته میزان افزایش سرعت دراین مقطع به مراتب بیشترازافزایش فشاراست . شکل ذیل وضعیت مؤلفه های پیش گفته رانشان دهد .



V_{rel} : همان مؤلفه گریزازمرکز است که دراصل معرف سرعت سیال (شرح جریان سیال) نسبت به تیغه است

$U_۲$: معرف سرعت خطی مطلق نوک تیغه است برآیند این دوسرعت سرعت مطلق سیال V است .

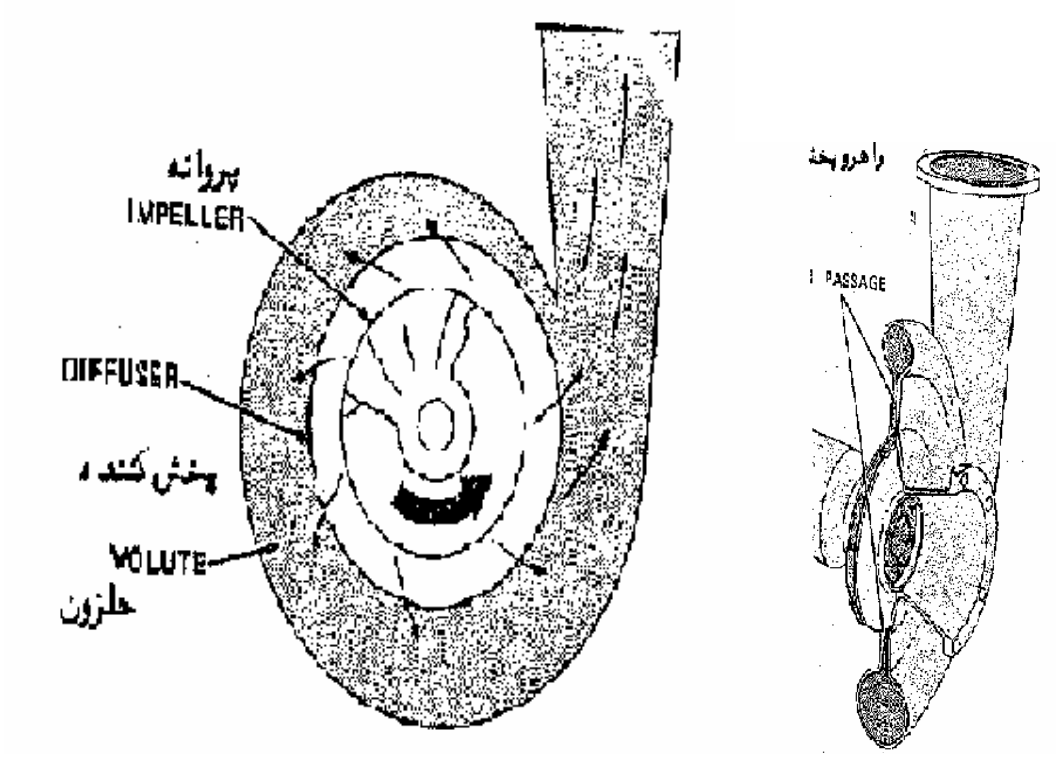
شکل۱-۵ مولفه های سرعت روی پره

۱-۵شیپوره VOLUTE

اجازه بدهید لحظه ای به چگونگی وضعیت سیال درهنگام خروج از نوک تیغه های پروانه برگردیم . جمع شدن سیال ازتمامی نقاط به اطراف پورانه رابیادداریدد . همچنین به یادداردید که این سیال درجهتی خارج ازمرکز پروانه به حرکت درمی آید . هم اکنون باید به طریقی این سیال پرانرژی (جنبشی) رابرای تبدیل به انرژی پتانسیل ازمجاری خاص به بیرون هدایت کنیم . وظیفه این عمل به عهده بخشی ازپوسته است . پوسته طوری طراحی شده است که دریک نقطه

به نوک تیغه بسیارنزدیک است . این نقطه زبانه پوسته TONGNE OF COSING مـی گوینـد ، شکل زیرطراحی عمومی یک پوسته رانشان می دهد

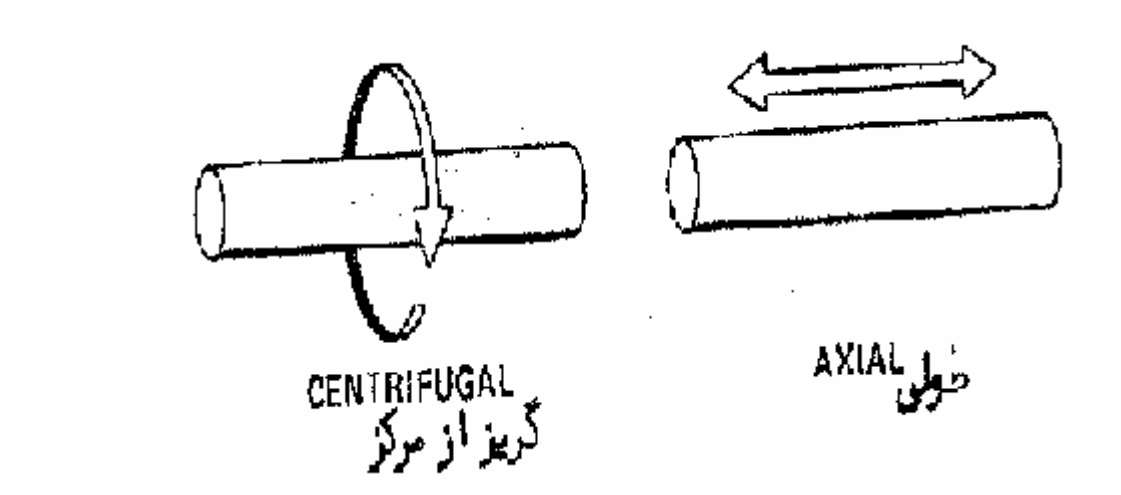
ازنقطه زبانه تانقطه خروجی ازپوسته سطح مقطع مجرای ورودی روبه افزایش است به طوریکـه شکل شیپوره رابه خودگرفته است . درهنگام چرخش پروانه سیال بلافاصله پس اززبانه پوسته بـه سمت چپ درصورتیکه جهت چرخش پروانـه عکـس عقربـه هـای سـاعت باشـد ازپروانـه خـارج می‌شود . این روند ادامه دارد که به موجب آن سیال بیشتروبیشتری درحدفاصله پروانه وپوسـته VOLUTE جمع می شود و سپس از پوسته خارج می‌شود . در عبور از این مسیر بخش عمده‌ای از انرژی جنبشی سیال به لحاظ ورود به سطح مقطع وسیعتر بـه انـرژی پتانـسیل (فـشار) تبـدیل می‌شود .



شکل ۱-٦

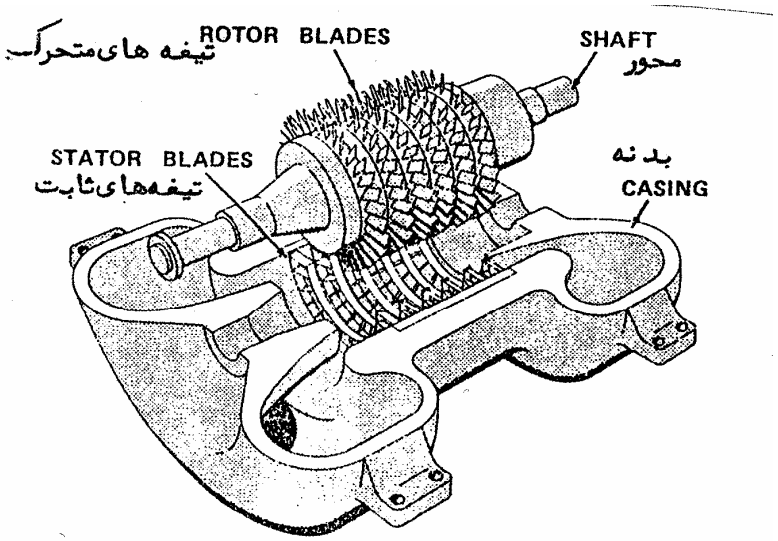
۱-۶کمپرسورجریان محوری AXIAL COMPRESSORS

حرکت درطول یک محوررا(**AXIAL MOTION**) گویند واین حرکت بصورت یک خط مستقیم می باشد .



شکل ۱-۷

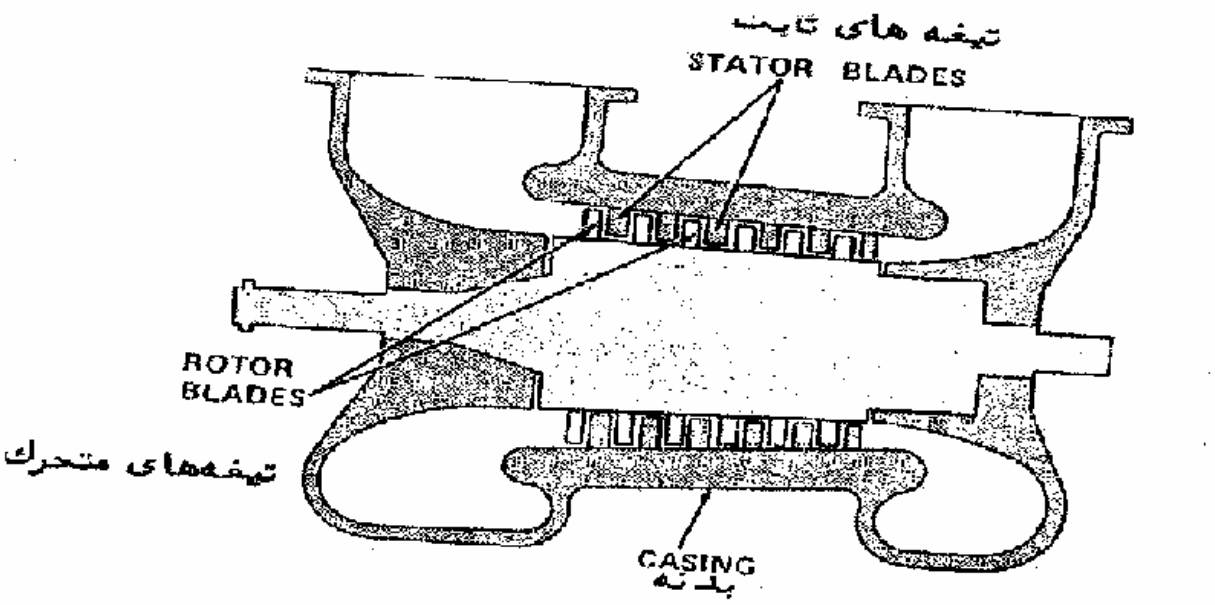
کمپرسوری که جریان گازرابموازات محورحرکت دهد کمپرسورجریان محوری AXIAL FLOW COMPRESSOR گویند .



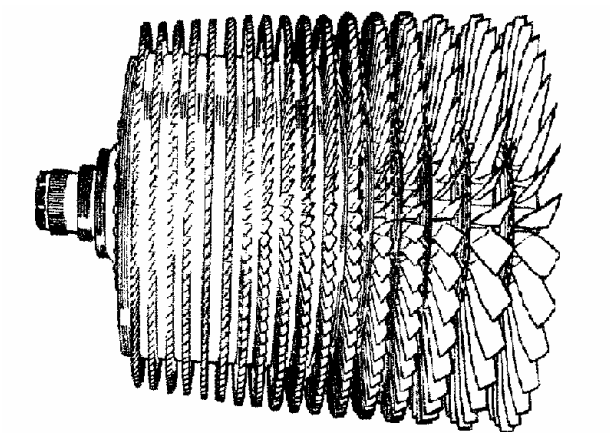
شکل ۱-۸

این کمپرسورها دارای تعدادی تیغه ثابت (STATOR BLADS) وهمچنین تعدادی تیغه متحرک (ROTOR BLADS) می باشند . تیغه های ثابت درون بدنه (CASING) نصب می‌گردند و تیغه های متحرک برروی محور(SHAFT) قراردارند وبامحورمی چرخند . توجه کنید که ترتیب قرارگرفتن تیغه ها بدین صورت می باشد که یک ردیف تیغه متحرک دربین دوردیف تیغه های ثابت قراردارد . ضمن اینکه هیچگونه تماسی بایکدیگرندارند .

تیغه های متحرک همانند پره های پنکه عمل می کنند وباعث افزایش فشاروسرعت هوا می‌گردند دراثربرخورد هواباتیغه های ثابت هوا ازبین فاصله تیغه که همانند پخش کننده عمل می کنند عبورکرده ودرنتیجه کم شدن سرعت وافزایش فشارهواراحاصل می نمایند . پس ازافزایش فشاردراین کمپرسورها بدین صورت است که هوا رابتدریج به فضای تنگ تری می‌رانند ودرنتیجه کم شدن حجم فشارهوا بالا می رود .

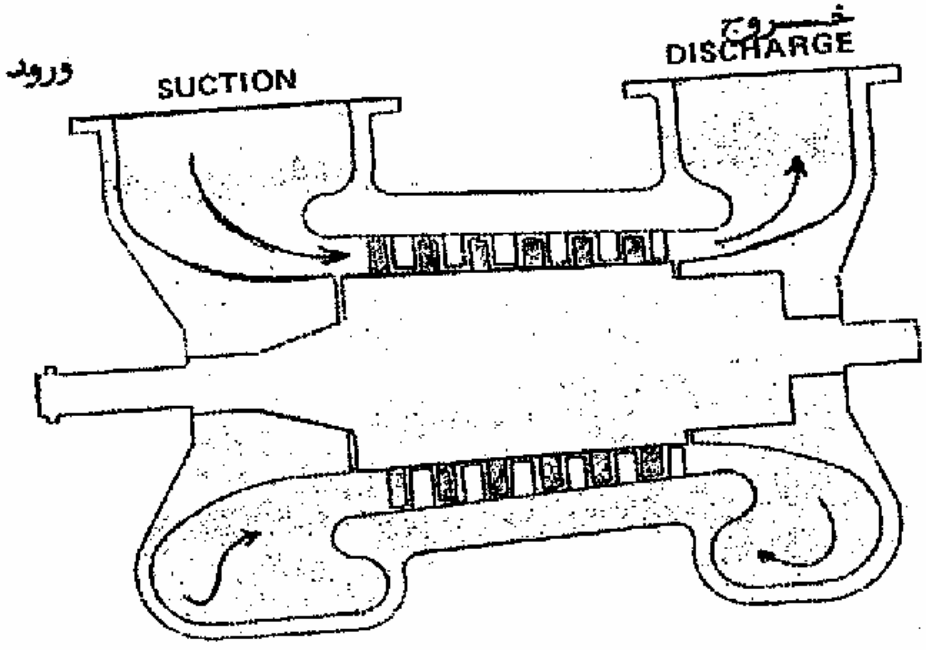


شکل ۱-۹



شکل۱-۱۰محور کمپرسور هوای توربین Rolles – Royce

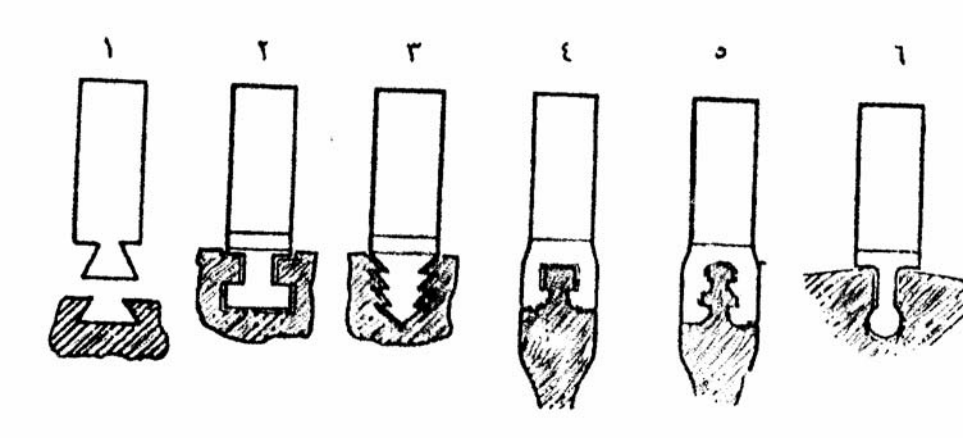
شامل هفده ردیف تیغهٔ متحرک



شکل۱-۱۱

۱-۷انواع تیغه های کمپرسوجریان محوری :

ریشه تیغه های متحرک وتیغه های ثابت کمپرسورمعمولاً شبیه دم چلچلـه یانمونـه هـای دیگـری است که درشکل ذیل نمایش داده شده ،شـیارهای مـشابهی درمحـیط دیـسک هـا وداخـل بدنـه استاتورها ساخته شده که ریشه تیغه ها (**BLADE ROOTS**) بخوبی دراین شیارها قرارمی‌گیرند .



شکل ۱-۱۳

اسامی تیغه ها در ذیل آورده شده است

۱- دم چلچله ای

۲- سه راهی

۳- ریشه صنوبری

٤- سه راهی معکوس

۵- ریشه صنوبری معکوس

۶- ته گرد

فصل دوم

ویژگیهای کمپرسورهواوسرج
SURGING

۲-۱ویژ گیهای کمپرسور:

ویژگیهای مهم کارکرد کمپرسورعبارت است ازنسبت تراکم ، نرخ جریان هـوا سـرعت چرخـشی موتوریکدستگاه نسبتاً نودارای توانایی های فیزیکی معینی است که معمولاً شاخص بهترین وضعیت طراحی آن توربین است . ازطرفی درجه حـرارت وفـشارهوای ورودی نقـش مهمـی دروضـعیت کارکردی نهایی کمپرسوربازی می کند . بنابریان این برای ارزیـابی وضـعیت کمپرسوردرشـرایط عملیاتی مختلف انتخاب یک مأخذ معین ضروری است . تشریح وضعیت کلـی عملیـاتی کمپرسـور درگیر و تحلیل یک سری اعداد وارقام یامنحنی های خاص است .

بدین ترتیب ارزیابی شرایط عملیـاتی مختلـف کمپرسـورپس ازانجـام محاسـبات وتبـدیل آن بـه شرایط معادل شرایط استاندارد مأخذ (که بـه آن نـرخ جریـان معـادل ، سـرعت معـادل) گفتـه می‌شود ازمنحنی های موسوم بـه منحنـی کـارکرد کمپرسـور (**PER FERMANCE CURVE**) قابل دسترسی است .

۲-۲سرج (SURGING) درکمپرسور:

فرض کنید یک کمپرسوردرسیستم بزرگی که احتیاج به حجم هوای زیاد دارد تعبیه شده است چون این کمپرسوربه منظور تهیه هوا درنظر گرفته شده درلحظه استارت مقدارکمی مقاومت درقسمت خروجی هوا ایجاد می گردد . همین مقاومت کم درقسمت خروجی کمپرسورظرفیت آنرادرلحظه اول استارت بالامی برد .

- ❖ زمانیکه کمپرسورهوا رابطرف سیستم می فرستد ولی سیستم پرباشد ، احتیاج سیستم به حجم هواکمترمی شود وچنانچه دراین شرایط مصرف کننده ها باندازه هوای تحویلی کمپرسورمصرف نداشته باشند . باعث می شود که فشارسیستم بالابرود ودرنتیجه افزایش فشارمقاومت خروجی کمپرسورزیاد می گردد . این امرخودباعث کم شدن ظرفیت کمپرسورمی شود . همچنین باافزایش فشارسیستم کارکمپرسوربرحسب پوند هوا بیشتر می گردد .

اگرهمچنان ازهوا استفاده نشود فشاردرسیستم آنقدرافزایش پیدا می کند تاحدی که فشارش بیشترازتوان کمپرسورگردد ودراین حالت است که جریان هوا متوقف می شود وچون فشارسیستم بیشتزازفشارکمپرسورمی گردد این امرباعث می شود که جریان هواازدرون سیستم بطرف کمپرسوربرگردد .

بعدازمدتی که مقداری ازفشارهوا به طرف کمپرسوربرگشت ویااینکه درون سیم مصرف شد وفشارسیستم ازماکزیمم فشارکمپرسورکمترگردید کمپرسوردومرتبه شروع به فشرده کردن هوابداخل سیستم می کند دراین مرحله کمپرسورباظرفیت بیسارناچیزولی فشارزیاد بایستی کارکند .

❖ اگراستفاده ازسیستم هنوز بمقدارکم ادامه داشته باشد کمپرسوردومرتبه بازمی ایستد واین رفت وبرگشت سریع هوابه کمپرسورراموج زدن یا (SURGING) گویند .

اگرعمل (SURGING) ادامه داشته باشد باعث ایجادلرزش شدید خرابی برینگها ، نشت بندها ، محور، فاندیشن وبطور کلی خسارتهای جبران ناپذیرمنجر خواهد شد .

لذابرای جلوگیری ازسرج درکمپرسورها بااستفاده ازشیرهای تخلیه BLEED VALVE وتیغه های متغییر دورودی کمپرسورINLET GUID VANE استفاده می کنند .

۲-۳تبدیل انرژی درکمپرسورهوا :

کمپرسورهوا دوبخش متمایز فشاری هوا راازهم جدامی کند . دریک سمت فشار قراردارد ودرسمت دیگرنتیجه کارکرد کمپرسورکه توان فشارافزایی معین قرارگرفته است به محض ورود هوا به داخل کمپرسورانرژی ازطریق چرخش تیغه های موجود روی دیسک کمپرسوربه هوا منتقل می شود . مشخصه فیزیکی کمپرسور، نرخ جریان هوا ، نسبت تراکم ، راندمان آنراتعیین می کند واین عوامل مقداری انرژی راکه کمپرسورمی تواند به هوا منتقل کند تعیین می کند . میزان انرژی ذخیره شده درکمپرسورازرابطه ذیل محاسبه می شود .

$$\Delta h = C_P.\Delta \mathrm{T}$$

C_P گرمای ویژه درفشارثابت

$\Delta \mathrm{T}$ تغییرات درجه حرارت

$\Delta \mathrm{T} = T_۲ - T_۱$

$C_P = ۰.۲۴ BTU/Lb^\circ F$ هوا

مثال : اکثرتغییرات درجه حرارت هوا درحین فشارافزایی کمپرسوریک توربین $۶۰۰^{\circ}\mathrm{F}$ باشد

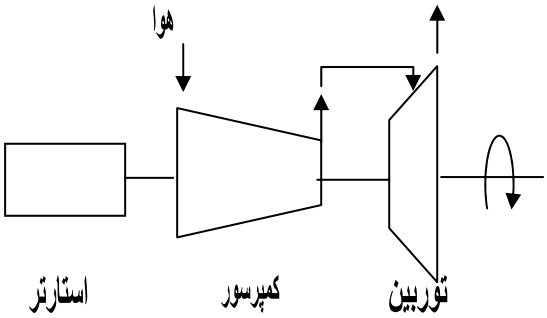
میزان تغییرانرژی هوادرمسیرعبورازکمپرسورچقدراست . $\Delta h = C_P.\Delta \mathrm{T}$

$$\Delta h = ۰.۲۴ \times ۶۰۰ = ۱۴۴ BTU/Lb^\circ F Air$$

فصل سوم
محفظهٔ احتراق

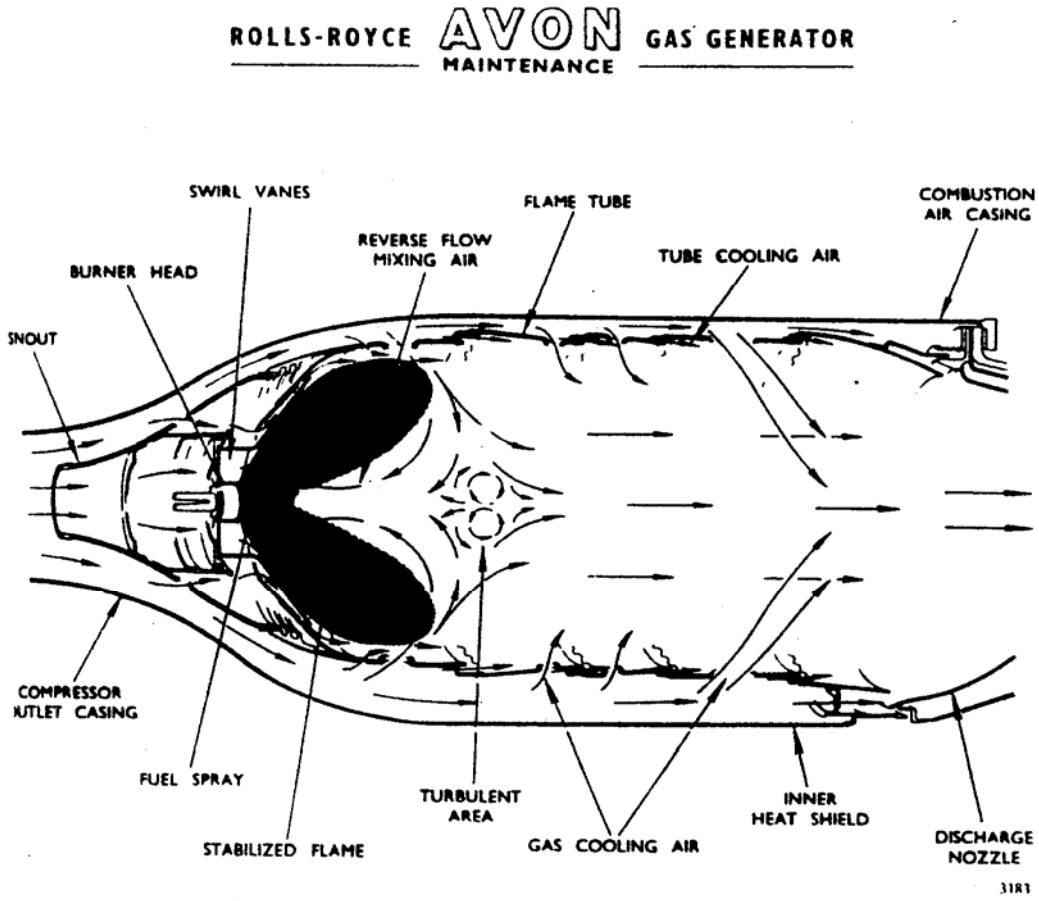
۳-۱محفظه احتراق COMBUSTION CHAMBER

اگر بعد از فشارافزایش هوا بوسیله کمپرسور هوا مستقیماً وارد توربین شود (توربینی که کمپرسور را می چرخاند) وهیچ انرژی درایـن میان ازبین نرود انرژی حاصل شده درمحورخروجی توربین تقریباً معادل انرژی مورد نیازبرای چرخش کمپرسورمی بود وهیچ توان اضافی درخروجی شافت توربین باقی نمی ماند .



شکل۳-۱ توربین گازی بدون محفظه احتراق

پس کاری صورت نگرفته جزهرزرفت انرژی منتقل شده توسط استارتر. لذامی بایست کاری کرد که انتالپی هوای خروجی کمپرسوررابه مقدارزیاد افزایش داد که این افزایش بااستفاده ازسوخت FUEL درمحفظه احتراق صورت می گیرد . در شکل ۳-۲ یک محفظه احتراق آورده است.



شکل۳-۲ محفظه احتراق – توربين Rolls - Royce

درتوبین های گازی چند نکته مهم درطراحی سیستم احتراق درنظر گرفته می شود بـه جزبعـضی کاربردهای خاص فـضای احتـراق نـسبتاً کوچـک وتوزیـع حـرارت هـوای خروجـی ازاتـاق احتـراق تاحدامکان یکدست است تاکارایی خوبی داشته باشد همچنـین جهـت جلـوگیری از ایجـاد حـرارت اضافه نقطه ای (HOT SPOT) احتراق می بایستی مـستمر و پایـدار باشـد ، اگرفرآینـد احتـراق کامل نباشد موجب تشکیل ذرات کربنی شده که به لحاظ سرعت بالای این ذرات سایش وکندگی تیغه توربین وبطبع آن کاهش عمرمفید تیغه ها وتوربین رابدنبال دارد . پیامد دیگر مـسائل اتـاق احتراق فشارودرجه حرارت زیاد خستگی مصالح . تنش حرارتی وارده به اجزاءِ آن است کـه توجـه به آنها اهمیت بسیاری دارد . توزیع هوا دراتاق احتراق به شـرح ذیـل اسـت . ۱۵ تـا ٪۲۰ (هـوا) ازتیغه‌های شکل دهنده جریان SWIR/ RANE عبورمی کند عبورهوا ازاین بخش موجب افـشان شدن کامل سوخت (که معمولاً بعضی اوقات باقطرات سوخت همراه است) می شود . که نتیجـه آن اختلاط کامل سوخت وهواونیزاحتراق آن دردرجه حرارت بالا است حدود ٪۳۰ هوا از مجـازی خاص به بخش دوم اتاق احتراق هدایت می شود تا عمل سوختن کامل شود . بقیه هـوا در بخـش سوم اتاق احتراق برای همگن کردن محصول اختراق ونیزخنک کردن اتاق احتراق مصرف می‌شود . تابرای ورود به تیغه های ثابت توربین آماده شود . دراین بخش همگن کردن محـصول احتـراق درحدی بایستی صورت گیـرد کـه ازایجـاد نقطـه هـای داغ HOT SPOT درمـسیرعبوری خـود جلوگیری کند .

تعداد محفظه احتراق بستگی به طراحی ساخت وقدرت مورد نیازمی باشد که ممکن است توربین دارای یک محفظه احتراق یاچندین محفظه احتراق مجزا باشد .

۳-۲تبدیل انرژی دراتاق احتراق :

دومین مرحله ذخیره سازی انرژی دردرون اتاق احتـراق اتفـاق مـی افتـد . اگربعدازفـشارافزایی هوامستقیماً وارد توربین شـود وهـیچ انـرژی درایـن میـان ازبـین نـرود انـرژی تـرخیص شـده درمحورتوربین معادل انرژی مورد نیازبرای چرخش کمپرسورمی بود وهـیچ تـوانی درخروجـی شافت توربین باقی نمی ماند . هدف ازاحتراق هوا افزودن انرژی حرارتی درهوابوسـیله افـزودن درجه حرارت آن است باید به این نکته توجه کرد که افزایش درجه حـرارت ورودی بـه تـوربین (خروجـی اتـاق احتـراق) عمومـاً بـاافزایش فـشارخروجی کمپرسـورهمراه اسـت وحـدنهایی فشارمقداری است که به کمپرسورتوانایی تـامین آنـرادارد دراتـاق احتـراق انـرژی شـیمیایی بـه افزایش انتالپی هوا تبدیل می‌شود . به فرض احتراق کامل انـرژی موجـود دریـک تـوربین گـازی برای تعدادی سوخت درجدول ذیل نشان داده شده است .

سوخت	ارزش حرارتی
Fuel	HEAT VALUE (BTU/ Lb)
JP_{LP}	۱۸٤۰۰
METHAN	۲۳۹۰۰
PROPAN	۲۱۷۰۰
GAS OIL	۱۹٤۰۰
$JP_{۵}$	۱۸۳۰۰

میزان تغییرانتالپی هوادراتاق احتراق ازرابطه ذیل محاسبه می شود .

$$\Delta h = \dot{m} \times H.V$$

$\dot{m}$ = جرم سوخ Lb

مثال : محصول احتراق کامل Lb ۱۰ پوندازسوخت $JP_٤$ میزان انرژی خواهد داد

$$\Delta h = \dot{m} \times H.V$$

$$\Delta h = ۱۰ \times ۱۸۴۰۰ = ۱۸۴۰۰۰ BTU$$

بنابراین موتورتوربین گازی وسیله ای است که نهایتاً انرژی شیمیایی سوخت رابه انرژی مکـانیکی قابل‌استفاده‌تبدیل می کند .کمپرسورانرژی راازچرخش محورخود به انتالپی هوا تبدیل می کنـد . محفظه احتراق تسهیلات لازم رابرای ترخیص انرژی شیمیایی ازسوخت فراهم مـی کنـد وموجـب افزایش انتالپی هوا دراتاق احتراق می شـود ونهایتـاً تـوربین انـرژی جنبـشی وانتـالپی راازسـوخت محترق شده بازیافت می کند وانرژی بیشازنیازمندی چرخش کمپرسورراتولید می کند . انـرژی باقی مانده درشافت خروجی معمولاً بین ۲۰ تا ٤۰ درصد انرژی شمیایی سوخت مصرفی است .

فصل چهارم
توربين نيرو

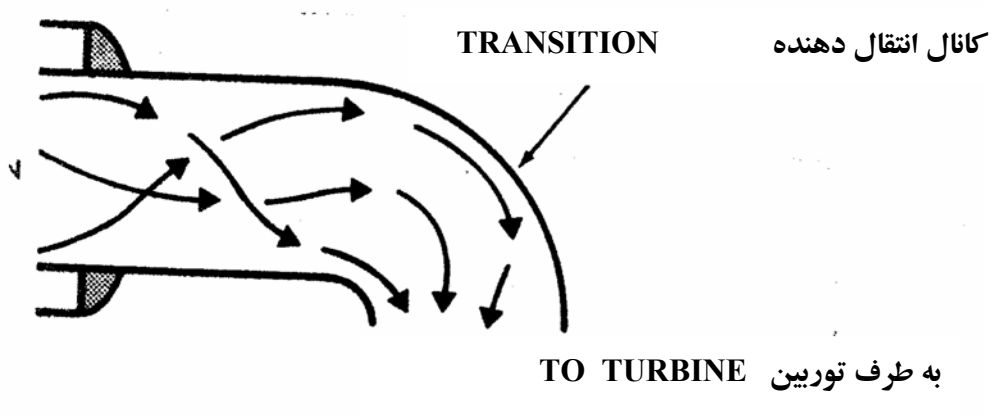
۴-۱توربین TURBINE

اساساً دونوع توربین همچون انواع کمپرسورها وجود دارد . جریان شعاعی وجریان محوری به لحاظ امکان ایجاد تنش های حرارتی ناشی ازدرجه حرارت زیاد توربینهای جریان شجاعی معمولاً برای توربینهای گازی بادرجه حرارت بالا قابل استفاده نیستند . همچون کمپرسورهای جریان محوری هوای داغ فشرده درون اتاق احتراق ازیک سری مراحل توبین عبورمی کند . هر مرحله شامل یک ردیف تیغه های ثابت است که در بدنه قراردارد(نازلNOZZLE)

ویک ردیف تیغه های متحرک که روی یک دیسک قرارگرفته اند به محض آنکه گازداغ به تیغه‌های ثابت برسد منبسط می شود وفشارگازآن به انرژی جنبشی تبدیل می شود ، این فرآیند کاملاً برعکس فرآیند فشارافزایی است .

طرح وپروفیل تیغه های ثابت ومتحرک ، دردرجه حرارت وفشارهوای ورودی توربین وتعداد مراحل آن میزان انرژی میکانیکی قابل استحصال رامشخص می کند .

هـــوای داغ ازقـــسمت خروجـــی محفـــظ احتـــراق بوســـیله کانـــال انتقـــال دهنـــده هـــوا (TRANSITION PIECE) به طرف توربین هدایت می شود .

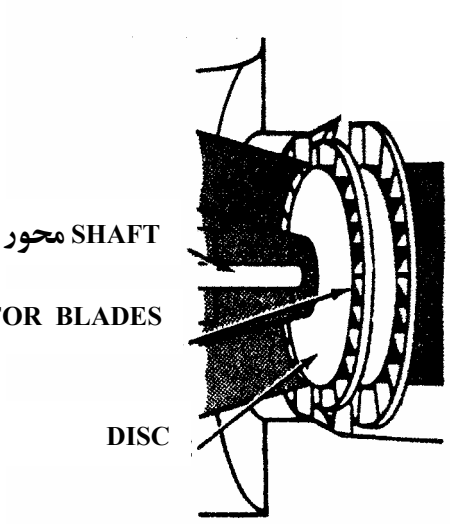


شکل ٤-١ شکل یک انتقال دهنده هوا در توربین گاز را نشان می دهد

درکانال انتقال هوای داغ (TRANSITION PIECE) هواکاملاً مخلوط شده بطوری توده های گازداغ وجود نداشته باشد .

دســتگاه چرخنــده تــوربین (TURBINE ROTOR) مثــل دســتگاه چرخنــده کمپرســور COMPRESSOR – ROTOR شامل تعداد ، صفحه (DISC) می باشد که بـرروی هرصـفحه تعدادی تیغه قراردارد صفحه ها هم روی محور محکم شده اند (شکل ٢٠)

بین هرمرحله ازتیغه هـای دسـتگاه چرخنـده تـوربین ، هـوای داغ ازطریـق یـک مرحلـه ازثابـت (STATOR) عبورمی کند . برای چرخاندن صفحه چرخنده هـوا بایـد جریـان داشـته ، بنـابراین فشارگازداغ باید به سرعت وجریان بیشتر تبدیل گردد .

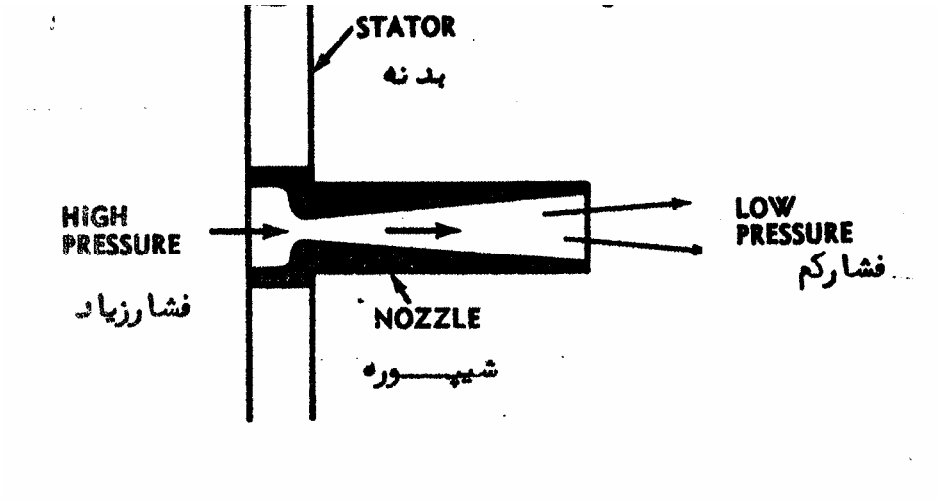


شکل ٤-٢

هوای فشرده نیروی خودرادرتمام جهـات وارد مـی کنـد ولـی جریـان سـریع هـوا بیـشترنیروی خودرادریک جهت بکارمی برد (شکل ٤-٣) .

شکل ٤-٣

هنگامیکه فشاربه سرعت تبدیل می گردد بیشترنیروی آن دریک جهت بکارمی روید ونیروی آن درجهت دیگر کمترمی شود ، هرگاه سرعت هوازیاد شود فشارآن کم می گردد . بهمین منسظورازشیپوره (NOZZLE) برای ازدیاد سرعت هوا است زده می شود . (شکل ٤-٣)

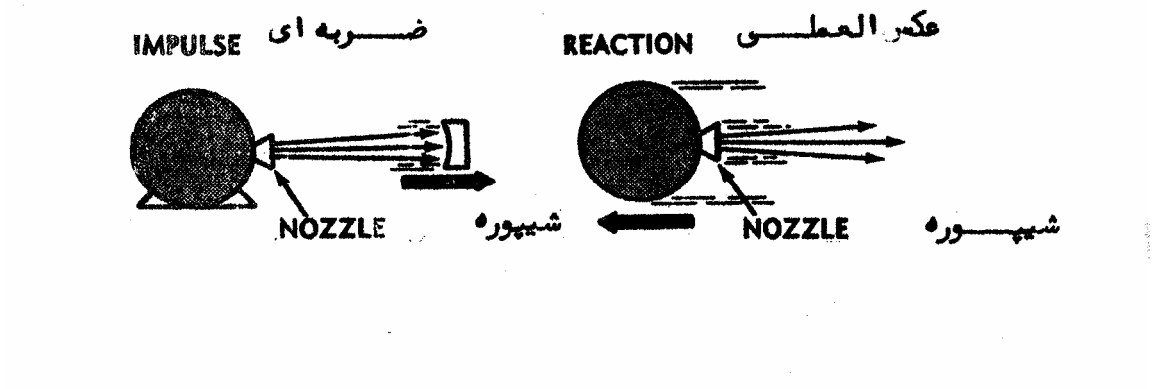


شکل ٤-٣

شیپوره (NOZZLE) هوا راازیک سمت هدایت می کند ، هواباسرعت زیادازشیپوره خارج می‌شود وانرژی فشاری به انرژی جنبشی تبدیل می گردد .

شیپوره طریق ازهوای داغ باسرعت زیادبرای چرخاندن محورچرخنده توربین استفاده می شود .

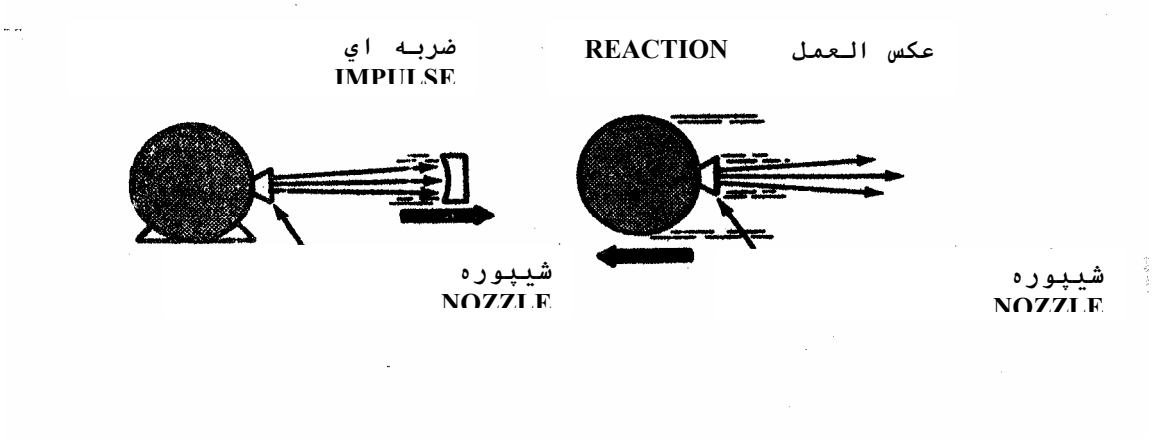
(شکل ٤-٤)



شکل ٤-٤

طریقه اول : ضربه ای (IMPLUSE EFFECT) که شیپوره ثابت است ودرحالیکه هواباسرعت ازدهانه آن خارج می شود به مانع ضرب زده ومانع درجهت هوا حرکت می کند .

طریقه دوم : عکس العملی (REACTION EFFECT) . شبیه یک موشک جسم برخلاف جهت خروج حرکت می کند ازنیروهای ضربه ای وعکس العملی برای حرکت دادن تیغه‌ها استفاده می شود . (شکل ٤-٥)

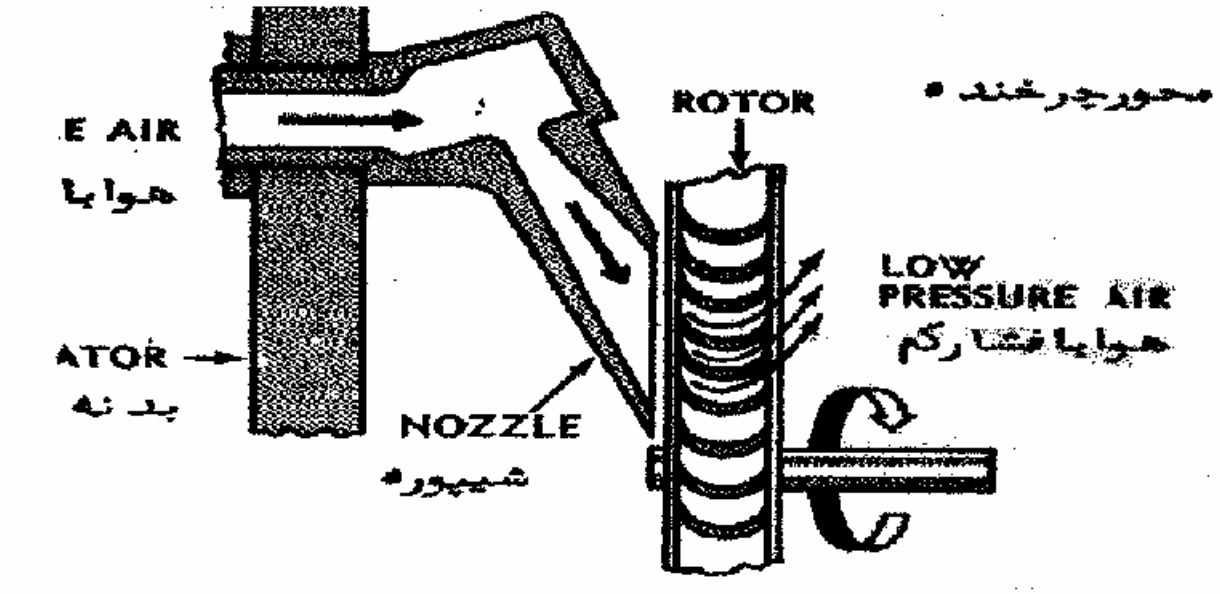


شکل٤-٥

۴-۲توربین ضربه ای IMPLUSE TURBINE

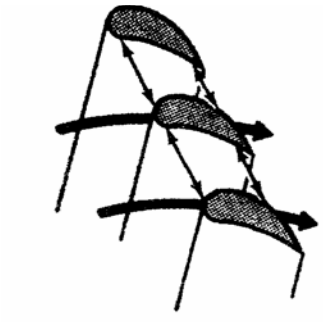
دراین نوع توربین ها ازخاصیت ضربه ای برای حرکت دادن تیغه ها استفاده می شود .

(شکل ٤-۶)



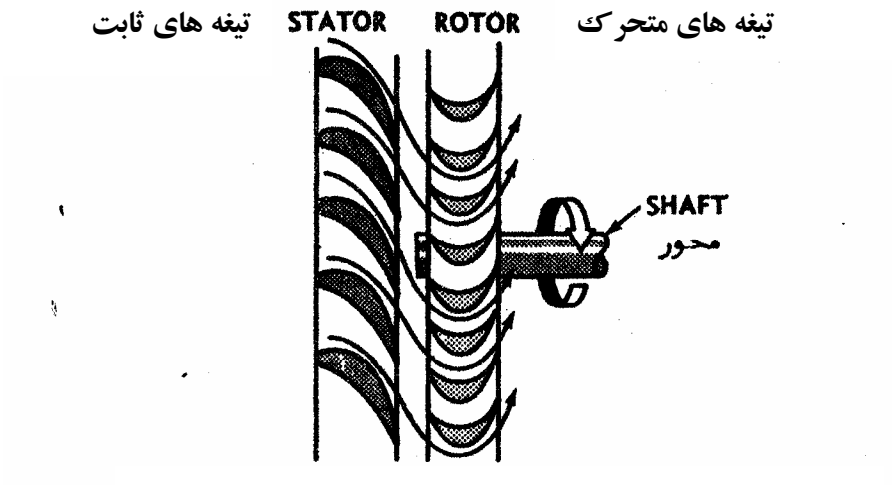
شکل ٤-٦

یک شیپوره بزرگ درقسمت جلوی تیغه ها قراردارد وفشارگازداغ ورودی به شیپوره بیشترازفشارداغ خروجی ازشیپوه است . شیپوره برای زیاد شدن شرعت گازبکارمی رود جهت سریع گاز (HIG H VELOCITY JET) ازشیپوره به تیغه های محورچرخنده ضربه وارد می‌آورد وباحرکت تیغه ها مکانیکی بوجود می آید وچون گازداغ به تیغه های توربین ضربه زده ودراثرضربه ها تیغه ها بچرخش درمی آیند ، این نوع توربین راضربه ای نامند . شکل (٤-٧) .



شکل ٤-٧ تیغه های ثابت

درتوربین بجای یک شیپوره بزرگ می توان ازتیغه های ثابت کوچک یک سری شیپوره تشکیل داده شکل (٤-٧) یک سری ازتیغه های ثابت که کارشیپوره راانجام می دهند نشان داده‌شده‌اند . صحرای شیپوره همان فاصله بین دوتیغه ثابت می باشد .



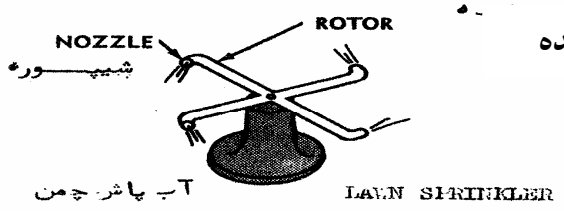
شکل٤-٨

درشکل (٤-٨) مجرای ورودی گازداغ به شیپوره بزرگترازمجرای خروجی گازازشیپوره است به همین جهت هوا باسرعت خارج می شود .

توربینهای ضربه ای درمواردیکه اختلاف فشارزیاداست بکارمی روند ، بنابراین درتوربین های ضربه ای فشارورودی توربین باید خیلی زیاد باشد . درتوبینهای احتراقی گازی ، کمپرسورهوای بافشارزیاد تولید نمی کند وبه همین علت دربین نوع توربینها کمترازاصل ضربه ای (IMPLUSE PRINCIPLE) استفاده می شود .

۴-۳توربینهای عکس العملی REACTION TURBINE

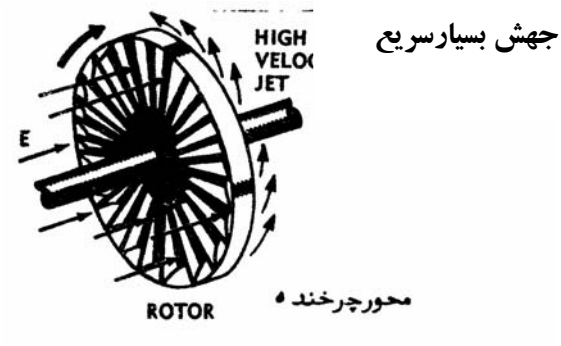
دستگاه آب پاش چمن روی اصل عکس العمل می چرخد . (شکل ٤-٩)



شکل٤-٩

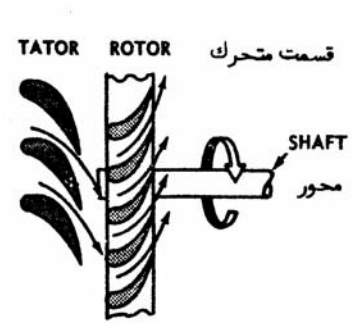
حرکت محورچرخنده آن برعکس جهت جریان آب است .

این شکل یک توربین عکس العملی رانشان می دهد . شکل (٤-١٠)



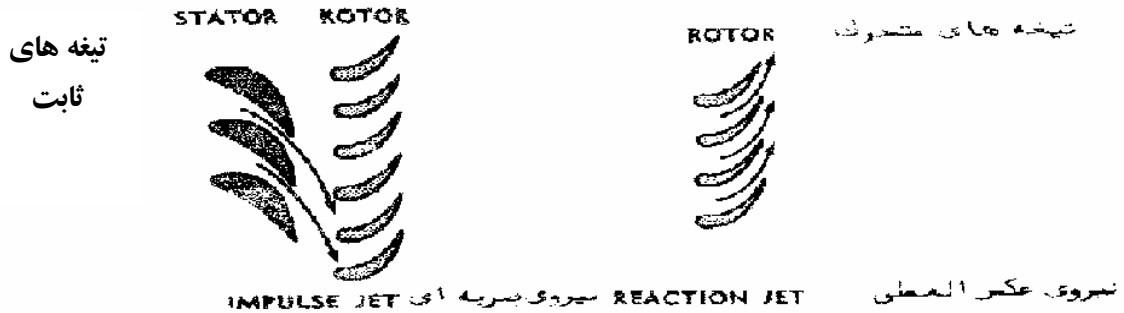
شکل٤-١٠

هوابافشارزیاد دربین تیغه ها منبسط می شود ودراثرانبساط فشارش کم وسرعتش ووقتیکه هوا به انتهای تیغه می رسد ، سرعتش زیاد ترگشته ومحورچرخنده درخلاف جهت خروج هوا حرکت می‌کند ، بیشتر توربینهای عکس العملی ازهردواصل ضربه ای و استفاده می کنند . (شکل ٤-١١)



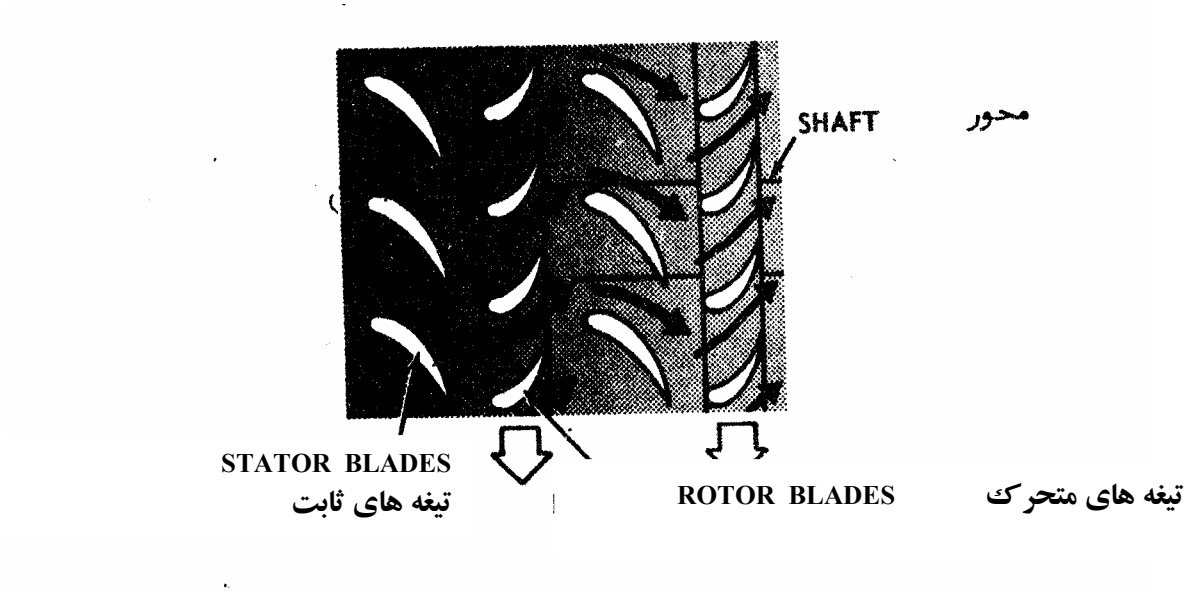
شکل٤-١١

تیغه های ثابت درتوبینهای عکسل العملی وضربه ای یک شکل هستند ، اما تیغه ها فرق می کنند ،



شکل٤-١٢

تیغه ای ثابت هوا باسرعت زیاد رابه تیغه متحرک هدایت می کنند .سریع جهت هـوا بـه تیغـه هـا برخورد کرده وشروع بچرخاندن محورچرخنده می کنند ، هوا ، تیغه هـا منبـسط شـده ونیـروی عکس‌العملی برتیغه ها وارد می کند وفشارهوا کم شده وچرخنده افزونی می یابد (شکل٤-۱۲) هوا حین عبورازلابلای تیغه هـا زیـادمی گـردد وپدیـده عکـس العملـی باعـث ادامـه ایـن جریـان وبیشترتوربینهای عکس العملـی ، دسـتگاههای چرخنـده وثابـت طـوری طـرح ریـزی کـه ازتـاثیر ضربه‌ای وعکس العملی جهت دوران دستگاه چرخنده استفاده شود ، توربین بـیش ازیـک دسـتگاه چرخنده وثابت دارد ، وقتیکه هوا ازیک سری تیغه های متحرک عبور یک سری تیغـه هـای ثابـت می شود والبته فشارهوادرتیغه ثابت سری دوم کمتر از فشارثابت سری اول است .

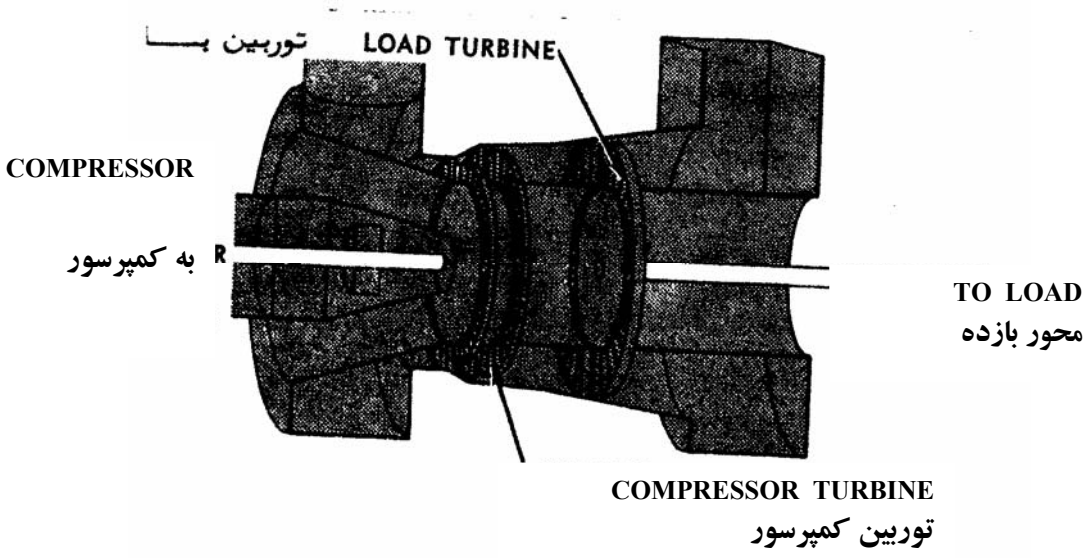


شکل٤-۱۳

نام توربین رابرحسب طریقه ای که نیروروی آنها اثرمی کند نامگـذاری مـی کننـد . نـام تـوربین نشان می‌دهد که کارتوربینی براساس نیروی عکس العملی است .

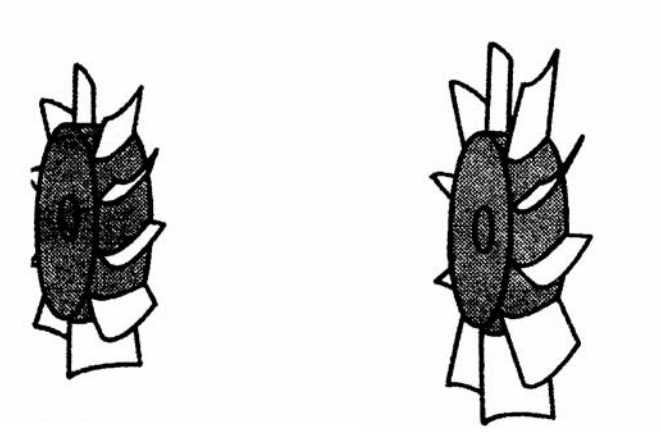
۴-۴کمپرسوروتوربین بار THE COMPRESSOR TURBINE AND LOAD TURBINE

کمپرسور توربینی است که کمپرسورهوا را می چرخاند تا کمپرسورهوای مورد لزوم توربین (شکل٤-١٣)



شکل٤-١٣

بازده توربین کمپرسورتقریباً دوبرابر بازده توربین باریانیرواست ودراغلب توربین ها صفحات دستگاه چرخنده توربین کمپرسورازتوربین نیرویاباربیشتراست ، هوای داغ محفظه احتراق خارج می شود ابتدابه تیغه های توربین کمپرسوربرخورد کرده وآنرا بحرکت درمی آورد سپس به سمت توربین باریانیروهدایت شده وگازداغ بافشارکمتربه تیغه ها ی باربرخورد کرده وسبب چرخش توربین بارمی گردد ، نظر باینکه درکمپرسورهوا که فشرده می شود آن کم می گردد ودرقسمت توربین فشارهوا کم شده وحجم آن زیاد می گردد پس برای اینکه ازهوا به تیغه های توربین باربرخورد کند ، تیغه های توربین باررابزرگترمی سازند . (شکل ٤-١٤)



COMPRESSOR TURBINE

LOAD TURBINE

توربین کمپرسور

توربین بار

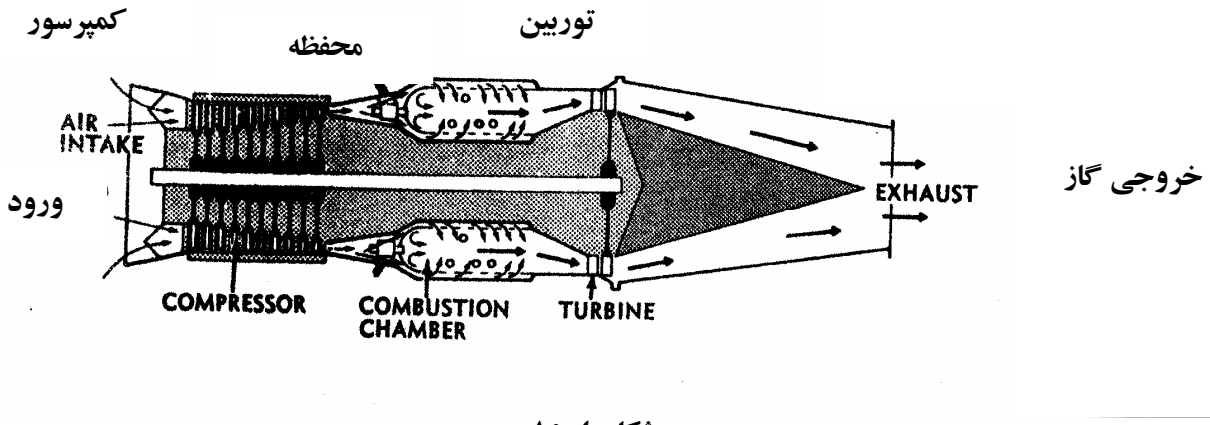
شکل ٤-١٤

چون تیغه های توربین باربلندترهستند ، پس شکستن آنها هم آسانتراست ، بنابراین تیغه ها باید قویتربوده وکاملاً محکم به صفحه چرخنده وصل شده باشند وبرای کاهش فشاربرتیغه ها وجلوگیری ازشکستن آنها ، سرعت توربین نیرواغلب کمترازسرعت توربین کمپرسورمی باشد ، همانطورکه حرارت هوادرکمپرسوردراثرفشردن بالامی رود ، درتوربین چون هوا منبسط می‌شود حرارت هوا کم می شود ، این درجه حرارت هوای داغ ورودی به توربنی کمپرسوربیشترازدرجه حرارت هوای داغ ورودی سه توربین باراست وهمچنین جنس ونوع فلز توربین کمپرسورباید دربرابرحرارت مقاومت بیشتری داشته باشد .

پس اکثراً توربینها دارای دومحورچرخنده توربین می باشند که یکی کمپرسورهوارامی چرخاند ودیگری توربین نیرویاباراست که محوربازده یعنی محوری که به تلمبه نفت یاژنراتوربرق وصل است می چرخاند .

۴-۵دستگاه مولد گاز THE HOT GAS GENERATOR

هرگاه توربین باربرداشته شود ، گازداغ خروجی ازتوربین کمپرسوردارای مقدارزیادی انرژی حرارتی قابل استفاده است . فشاروحرارت گازخروجی چنین توربینی زیاد است بعضی اوقات توربینهای احتراقی گازی فقط به منظور تهیه حرارت برای خشک کردن ، تولید بخارآب ویاکاردیگردرنظرگرفته می شوند ، پس اگر دریک توربین قست توربین باراجداکنیم مشاهده می کنیم که توربین می تواند هوای فوق العاده داغ تولید نماید . توربین بارازهمین فشارهوای داغ وانرژی آن بعنوان منبع انرژی استفاده می کند .

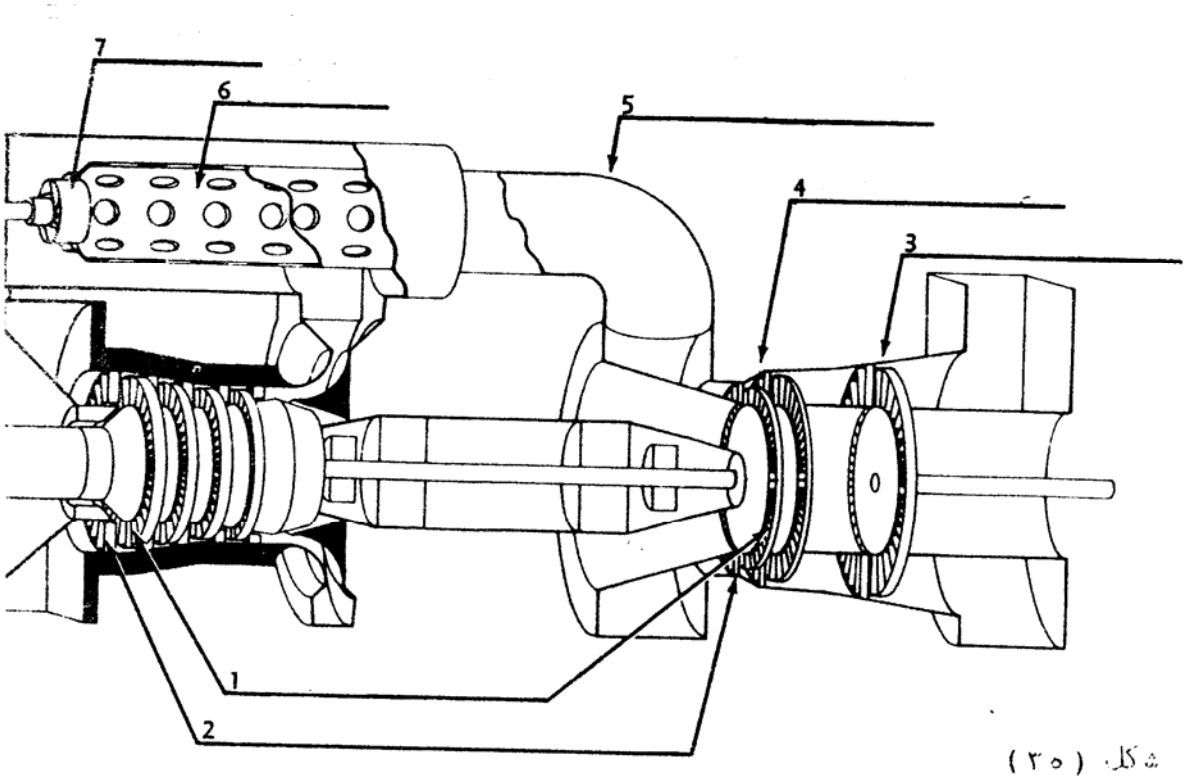


شکل ٤-١٥

درموتورهای جت کمپرسورهوا ، محفظه احتراق وتوربین کمپرسوروجود دارد وهنگامیکه هوا ازتوربین کمپرسورخارج می گردد فشارزیاد تبدیل به سرعت می شود .

وقتیکه توربین جهت تولید گازگرم بکاررود ، توربین مولد گازگرم (شکل٤-١٥)نامیده می شود .

در شکل ٤-١۶ قطعات یک توربین گازیآورده شده است:



شکل ٤-١٦

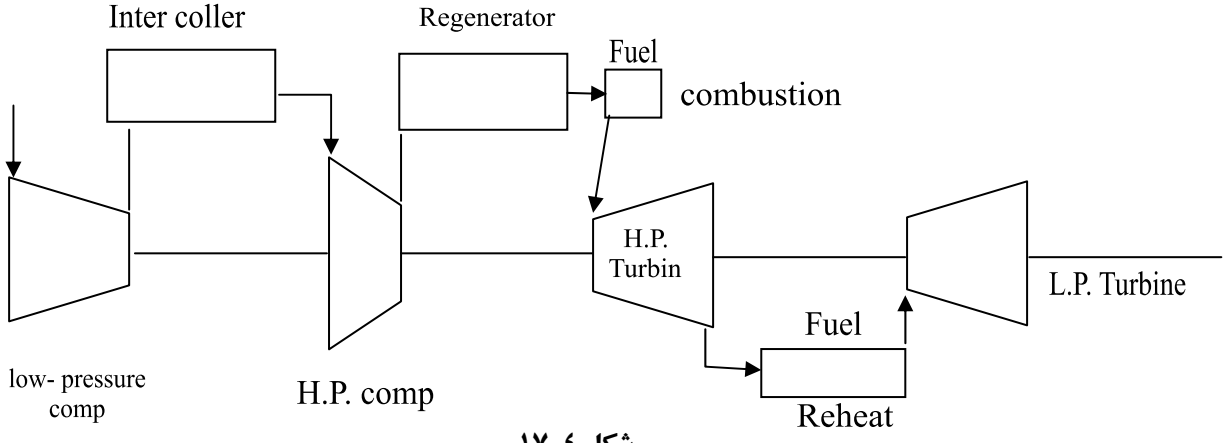
۱- ROTOR BLADES
۲- STATOR BLADES
۳- LOAD TURBINE
٤- COMPRESSOR TURBINE
۵- TRANITION PIECE
۶- BASKET
۷- BURNER

۱- تیغه های محورچرخنده
۲- تیغه های ثابت
۳- توربین بار
٤- توربین کمپرسور
۵- کانال انتقال گازداغ
۶- مجرای داخلی (زنبیلی شکل) محفظه احتراق
۷- مشعل

۴-۱۶اجزاء کمکی (Accessery Components)

در جائی که فشردگی ابعادی توربین گازی مد نظر نباشد . اصلاح سیستم احتراق (از دیدگاه اقتصادی) با نصب خنک کنندۀ بین مرحله ای کمپرسور ، پیش گرم کن احتراق برای گرم کردن هوای بین مراحل توربین بر افزایش قدرت خروجی توربین مورد استفاده قرارمی گیرد .

قدرت مورد نیاز برای فشار افزائی یک پوند هوا مستقیماً با درجه حرارت ورودی آن متناسب است بنابراین اگر بتوان بین دو مرحله فشارافزائی هوا را خنک کرد دراین صورت قدرت مورد نیاز برای فشار افزایی کاهش می یابد . براین اساس ممکن است یک خنک کننده بین مراحل کمپرسور برای کاهش قدرت موردنیاز آن نصب گردد . به همین ترتیب درجه حرارت بیشتر هوای ورودی توربین موجب استحصال بیشتر قدرت می گردد . بنابراین افزودن درجه حرارت هوای داغ بین مراحل توربین از طریق تزریق سوخت اضافی دریک بازگرم کن Reheaet می‌تواند به افزایش قدرت خروجی توربین منجر شود . هم چنین از آنجائیکه گازهای اگزوزتوربین دارای حرارت زیادی است با استفاده از یک سیستم بازیافت Re.Generator می‌تواندحرارت‌مازاداگزوزرابرای‌گرم‌کردن‌هوای‌ورودی محفظۀ احتراق بکار برد . به این طریق وبا استفاده از امکانات مشروحه فوق قدرت خروجی توربین را به حداکثر ممکن می توان رساند .



شکل ٤-۱۷

شکل فوق شماتیک یک مجموعه کامل تجهیزات جانبی برای افزایش قدرت خروجی را نشان می‌دهد بدیهی است افزایش تجهیزات اضافی به مجموعه اگرچه موجب بالا رفتن راندمان حرارتی توربین می شود ولی موجب افزایش هزینه تعمیرات وزن و ابعاد نیز می گردد . به هرحال تحت شرایط مناسب نصب یک یا تعداد بیشتری از تجهیزات جانبی پیش گفته توجیه پذیر است .

۴-۷تبدیل انرژی در توربین :

عمل تبدیل انرژی در توربین اساساً عکس کمپرسور است ، به محض ورود جریان گاز (هوای داغ) پر فشار بداخل توربین انرژی به تیغه های توربین منتقل می شود . افت درجه حرارت در توربین ، قدرت خالص در شافت خروجی و راندمان حرارتی (راندمان کلی) از روابط ترمودینامیکی بدست می آید .

$$\Delta T_t = \eta_t \times T_3 \left[1 - \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{2/7} \right]$$

$$\dot{\omega} = \dot{m} CP \Delta T_t - \frac{1}{\eta_m} \dot{m} . CP \Delta T_C$$

$$\eta = \frac{\Delta h_t - \Delta h_c}{\Delta h_b} \times 100$$

هم چنین تغییر درجه حرارت هوا در کمپرسورهوا از رابطه ذیل تبعیت می کند .

$$\Delta T_c = \frac{T_1}{\eta_c} \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/7} - 1 \right]$$

۴-۸تشریح روابط بالا :

درجه حرارت مطلق ورودی توربین	T_3	گرمای ویژه هوا درفشارثابت	CP
درجه حرارت مطلق اگزوز	T_4	اتتالپی	h
تغییرات درجه حرارت	ΔT	تغییرات اتتالپی	Δh
تغییر درجه حرارت کمپرسور	$\Delta T_C = T_2 - T_1$	تغییرات اتتالپی درکمپرسورهوا	Δh_C
تغییرات‌درجه‌حرارت‌اطاق‌احتراق	$\Delta T_b = T_3 - T_2$	تغییرات اتتالپی‌درمحفظه‌احتراق	Δh_b
تغییرات‌درجه‌حرارت توربین	$\Delta T_t = T_4 - T_3$	تغییرات اتتالپی‌درتوربین	Δh_t
قدرت‌خالص‌خروجی‌شافت‌توربین	$\dot{\omega}$	جریان وزنی هوا	$\dot{m}$
قدرت مصرفی کمپرسور هوا	$\dot{\omega}_C$	فشار مطلق	P
قدرت خروجی توربین	$\dot{\omega}_t$	فشار مطلق ورودی به کمپرسور	P_1
راندمان کلی توربین	η	فشارمطلق‌خروجی‌به‌کمپرسورهوا	P_2
(کل‌توربین)راندمان‌مکانیکی‌مجموعه‌توربین	η_m	فشارمطلق ورودی به توربین	P_3
راندمان مکانیکی کمپرسور	η_c	فشار مطلق اگزوز	P_4
راندمان مکانیکی توربین	η_t	درجه حرارت مطلق ورودی کمپرسور	T_1
چگالی هوا	ρ	درجه حرارت مطلق ورودی کمپرسور	T_2

بایدتوجه‌کرد‌که‌برخلاف‌کمپرسورهرقدرراندمان‌توربین‌افزایش‌یابدافت‌درجه‌حرارت‌بیشتراست بدین معنی که در راندمان بالاتر در هنگام انبساط عوامل ایجاد افت انرژی از قبیل اصطحکاک ، اغتشاش جریانی موجب بازگرمایی کمترگاز می‌گردد . راندمان مکانیکی توربینها بین ۸۵ تا ۹۵% است با مشخص شدن تغییرات درجه حرارت هوای داغ عبوری از توربین انرژی ترخیص شده از رابطه $\Delta h = C\rho\Delta T$ قابل‌محاسبه‌است .

مثال : حساب کنید انرژی ترخیص شده بوسیلهٔ انبساط هوای داغ در عبور از توربین درحالیکه افت درجه حرارت $۹۲۵^{\circ}F$ است چقدر است ؟ $\Delta h = ۰.۲۴ \times ۹۲۵ = ۲۲۲ BTU/Lb \quad of\ Air$

گرمای ویژه هوا $= C\rho = ۰.۲۴$

فصل پنجم
فیلتراسیون هوای ورودی

۵-۱تاریخچه فیلتراسیون درمقطع هوای ورودی به مولدهای پره دار گازی

آن چه مسلم است مـصرف فیلتـر در هـوای ورودی بـه تـوربین هـا و کمپرسـورها در گذشـته وجودنداشته است . در آغاز تنها از توری های مخصوص جهت گرفتن ذرات درشت و هم چنـین استفاده از برجهای بلند جهت ارسال هوای نسبی به داخل سیستم احتراق استفاده می شـده اسـت که نهایتاً به دلیـل وجـود رطوبـت ، ذرات ، غبـار و بـسیاری از عوامـل دیگـر امکـان جلـوگیری از خوردگی پره ها و کاهش بازدهی توربین به مرور زمان میسر نبوده است . پـس از آن اسـتفاده از تکنیکهایی همچون مصرف حوضچه های روغنی و فیلترهای رلی در وردی هوا باب می گـردد . در این سیستم ذرات درشت قابل کنترل هستند و خوردگی کاهش می یابـد ولـی کماکـان ذرات زیر ۵ میکرون در هوا وجود دارد ، ضمن اینکه وجود روغن همراه با هوا در اطاقک احتـراق خـود از عوامل مشکل زا بوده است .

استفاده از سیستمهای جداکننده اولیه (Inertial spin filter) که قابل شستشو نیز هستند قبل از فیلترهای رل به گرفتن ذرات درشت (درمقایسه با پـیش فیلترهـای قبلـی) کمـک بیـشتری مـی نمایند . با توجه به اینکه این فیلترها قابل شستشو و مصرف مجدد باشند و از نظر محیط زیـست ایجاد مشکلـی نمی کنند ، لـذا در سیستـم بطور دائم مستقر می شوند و تا حدودی بحـث هـوای ورودی را کنترل می نمایند ، اما یکی از دلایل حذف این سیستم ها از هوای ورودی به جنس آن و آتش سوزیهای احتمالی در یونیت ها می باشد .

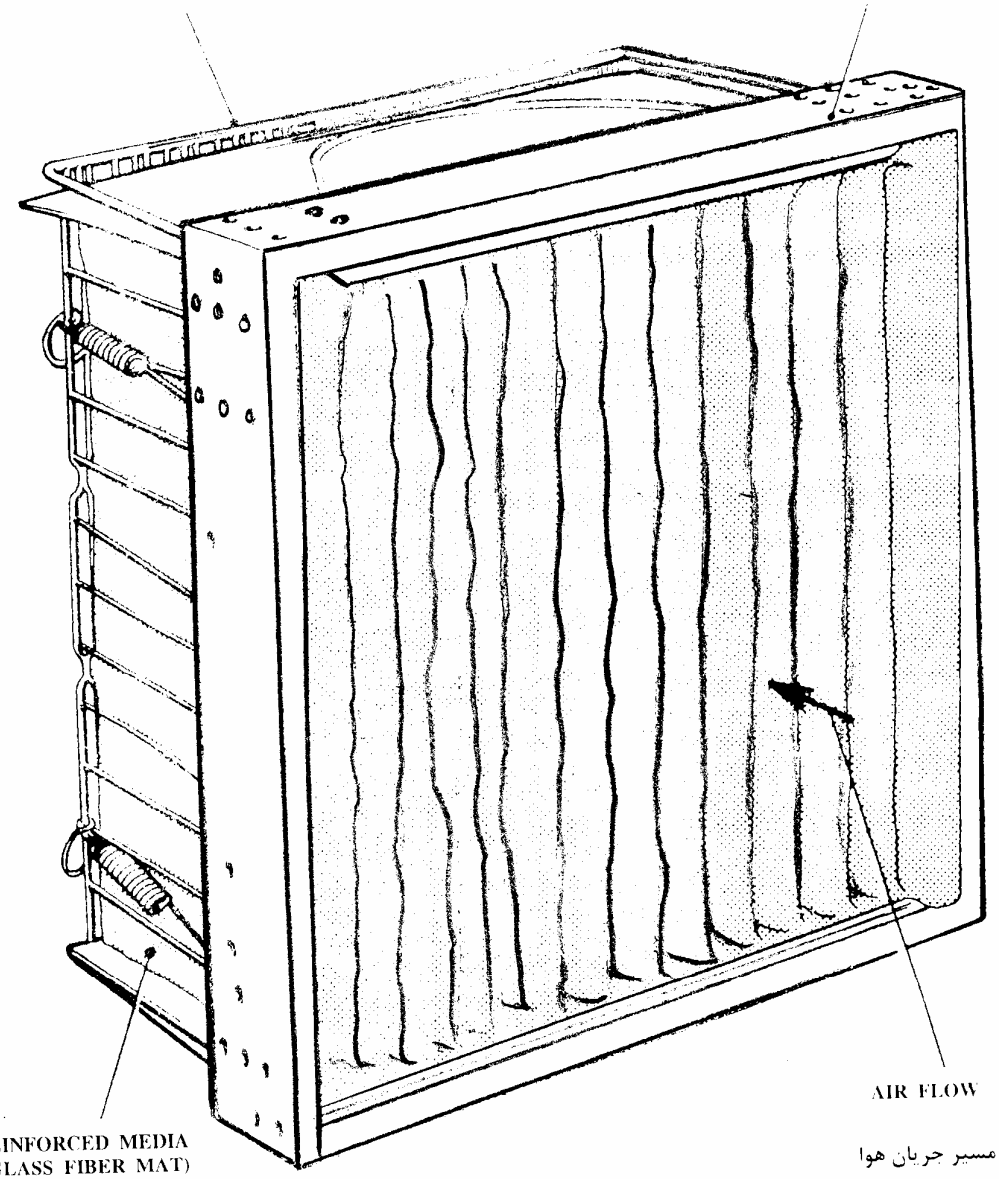
ازآن جایی که سیستم رل‌وسیستم Spin به تنهایی قادربه حل مسئله ذرات ریز و غبار نمی‌باشـند . لذا فیلترهای کیسه ای با بازدهی بالا و سطح فیلتراسیون زیاد پس از پیش فیلترها در جهت جذب ذرات ریزتر در هوای ورودی به توربین تعبیه می گردند .

آن چه در این سیستم فیلتراسیون چند مرحله ای بیش ازهرچیز نظرکارشناسان را جلب می‌کند ، افت فشاری است که در طول مسیر فیلتراسیون ایجاد می شود .

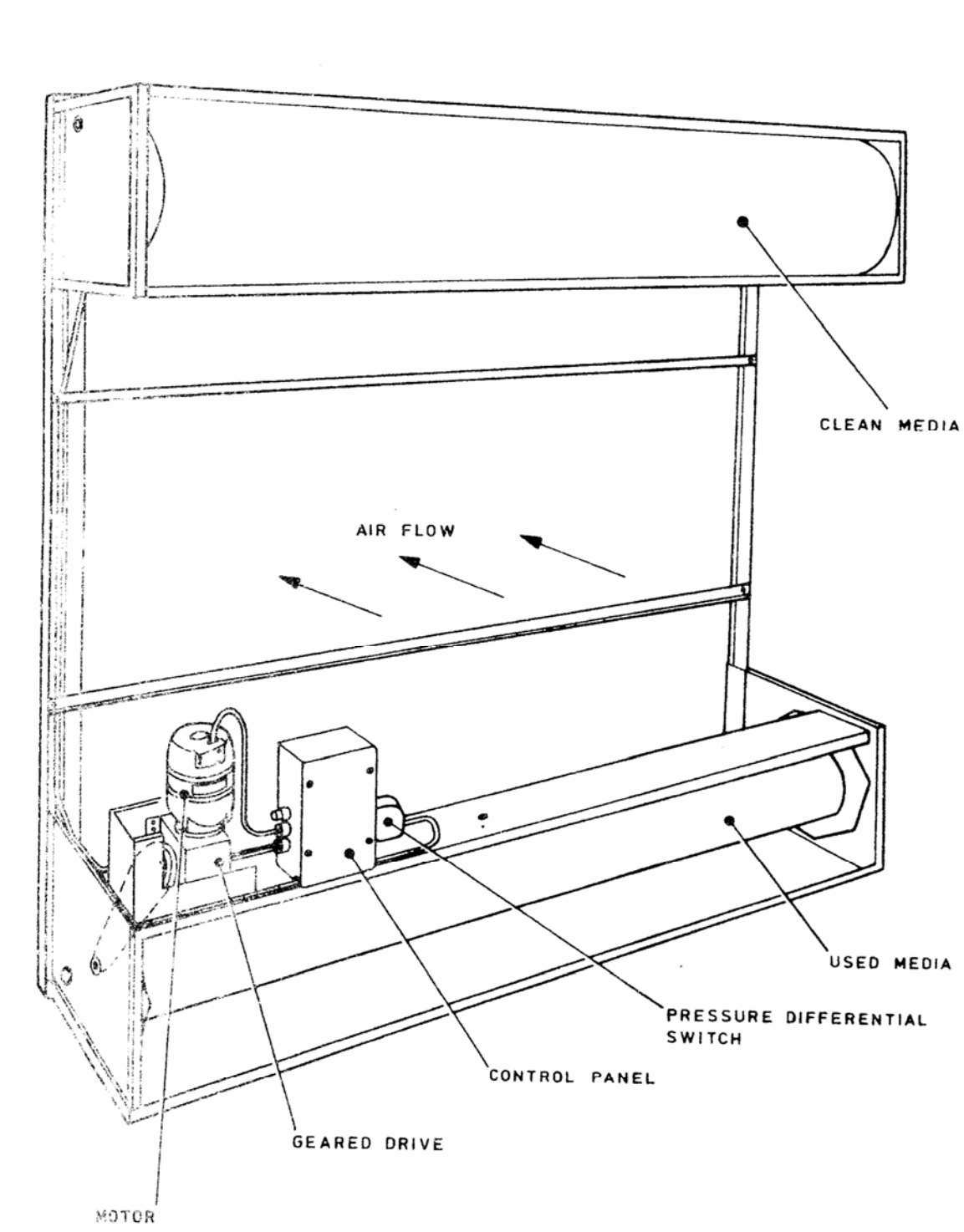
در مجموع آن چه در پایان پس از سالها تلاش بر سر راه هوای ورودی در حال حاضر موجود می‌باشد در بسیاری از مراکز و پالایشگاههای کشورمان ترکیبی از چندین نوع فیلتر ذکر شده فوق است که علاوه بر هزینه های بالای خرید و زمانهای کوتاه تعویض و انبارداری پر هزینه کماکان از نظر کیفی قادر به حل معضل فیلتراسیون جهت جلوگیری از انواع خوردگی و افت تولید نمی باشد و کماکان نیاز به شستشوی زود هنگام و پی در پی پره های توربین ، تعویض‌های متوالی فیلترها و هزینه های بالای خرید و نگهداری وجود دارد .

در اغلب تعویض های سالیانه که به کرات انجام می شود ، سیستم را خاموش نموده و متوقف می‌سازندکه‌درطول سال به معنای افت بازدهی موثرونیز ضررهای اقتصادی بی شمارمی باشد .

هم چنین در بسیاری از موارد به دلیل گرفتگی زود هنگام فیلترها سیستم فیلتراسیون توسط یک مسیر انحرافی از خط خارج می گردد ، لذا هوای فیلتر نشده به طرف توربین ارسال می گردد که علاوه بر تاثیرگذاری براحتراق ، درخوردگی پره ها نیز نقش موثر داشته و درنهایت به وقایعی با هزینه های میلیون دلاری منجر می گردد . شکلهای صفحه بعد نمونه های مختلف فیلتر را به همراه اجزای آن نشان می دهد.


STEEL RETAINER
سبد فلزی
HOLDING FRAME
پوسته نگهدارنده
AIR FLOW
مسیر جریان هوا
REINFORCED MEDIA
(GLASS FIBER MAT)
تقویت کننده

شکل ٥-١


CLEAN MEDIA
AIR FLOW
USED MEDIA
PRESSURE DIFFERENTIAL SWITCH
CONTROL PANEL
GEARED DRIVE
MOTOR

شكل ٥-٢

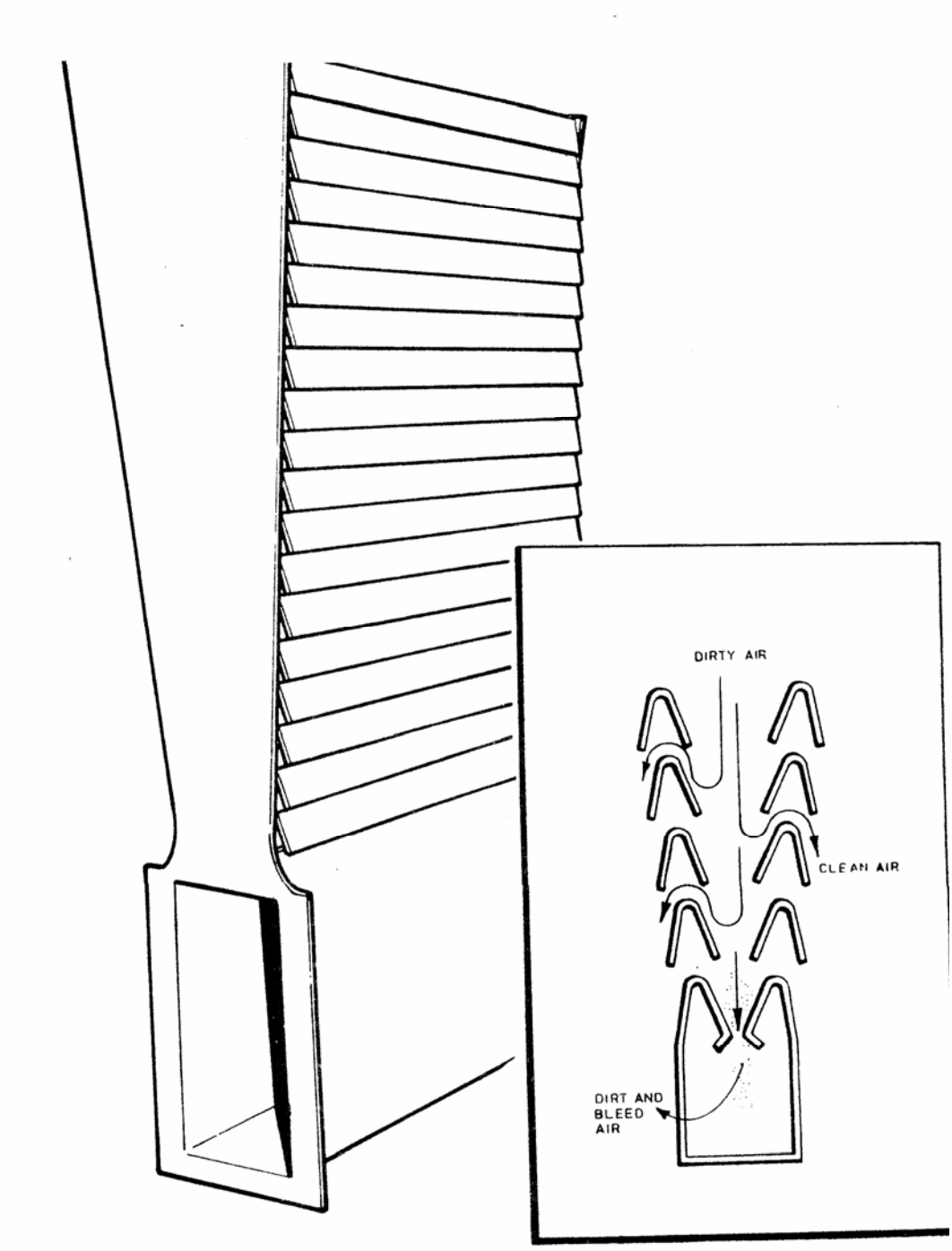
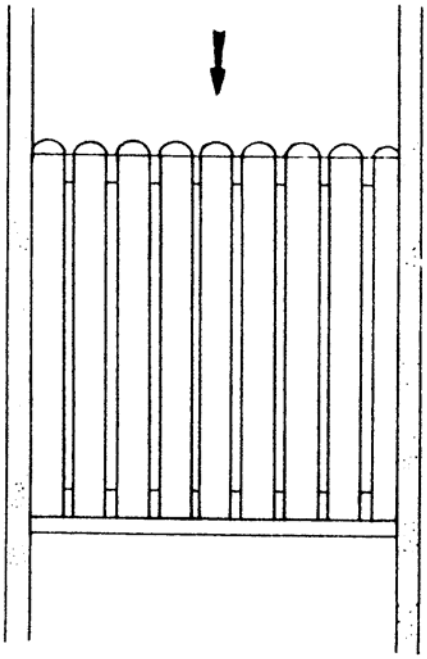
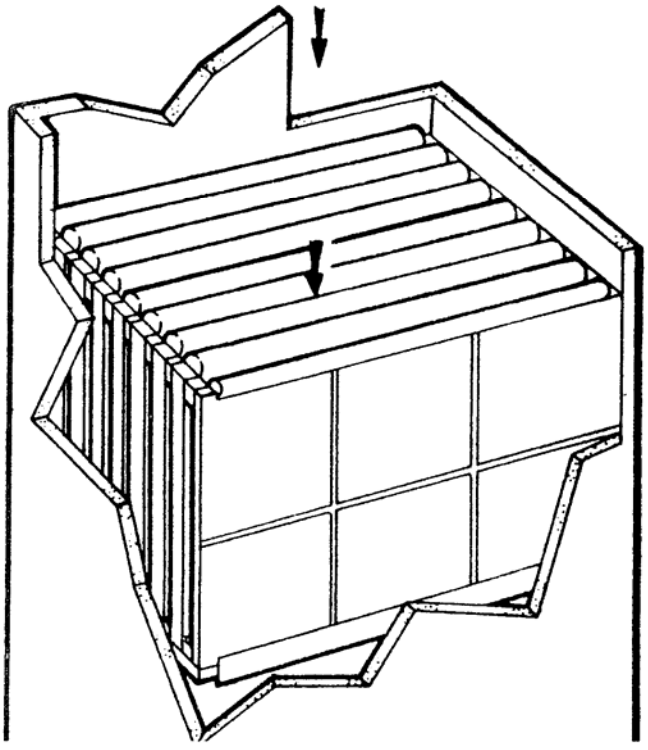


FIG 1 SINGLE CELL DYNAVANE

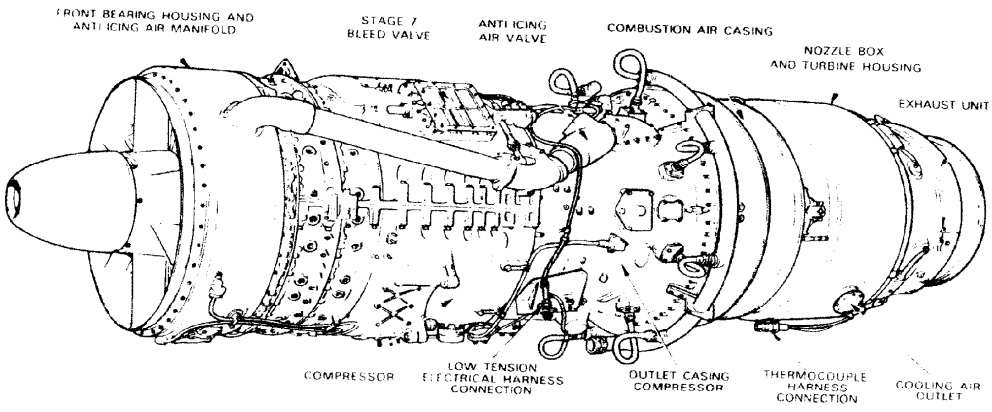
شكل ٥-٣



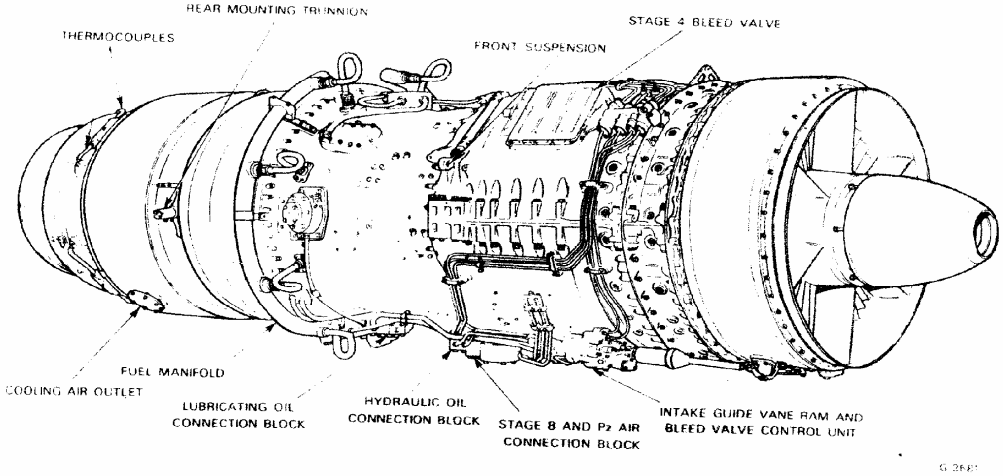


شكل ٥-٤

ROLLS-ROYCE AVON GAS GENERATOR
MAINTENANCE

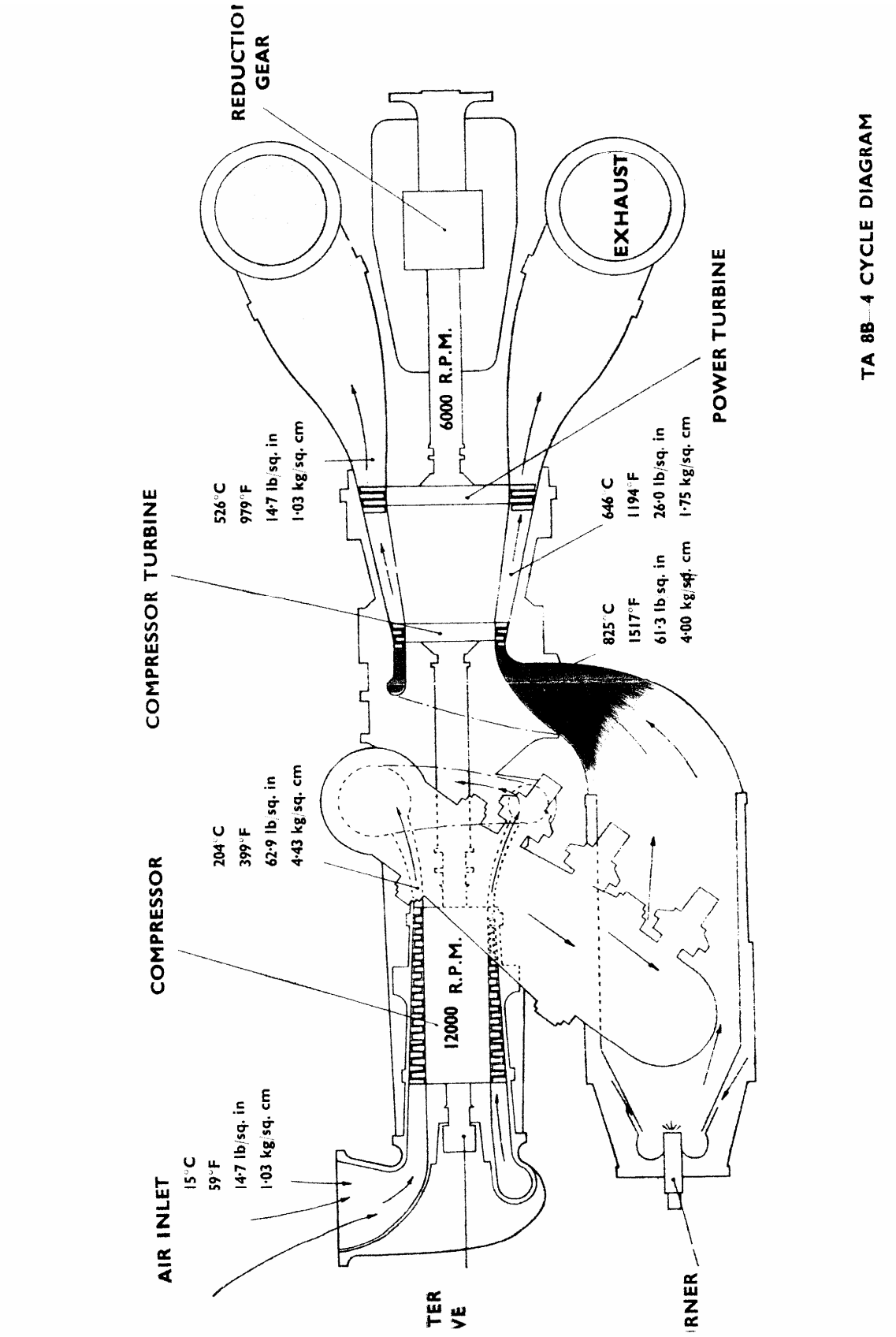


Gas generator - Left-hand view
Fig.2

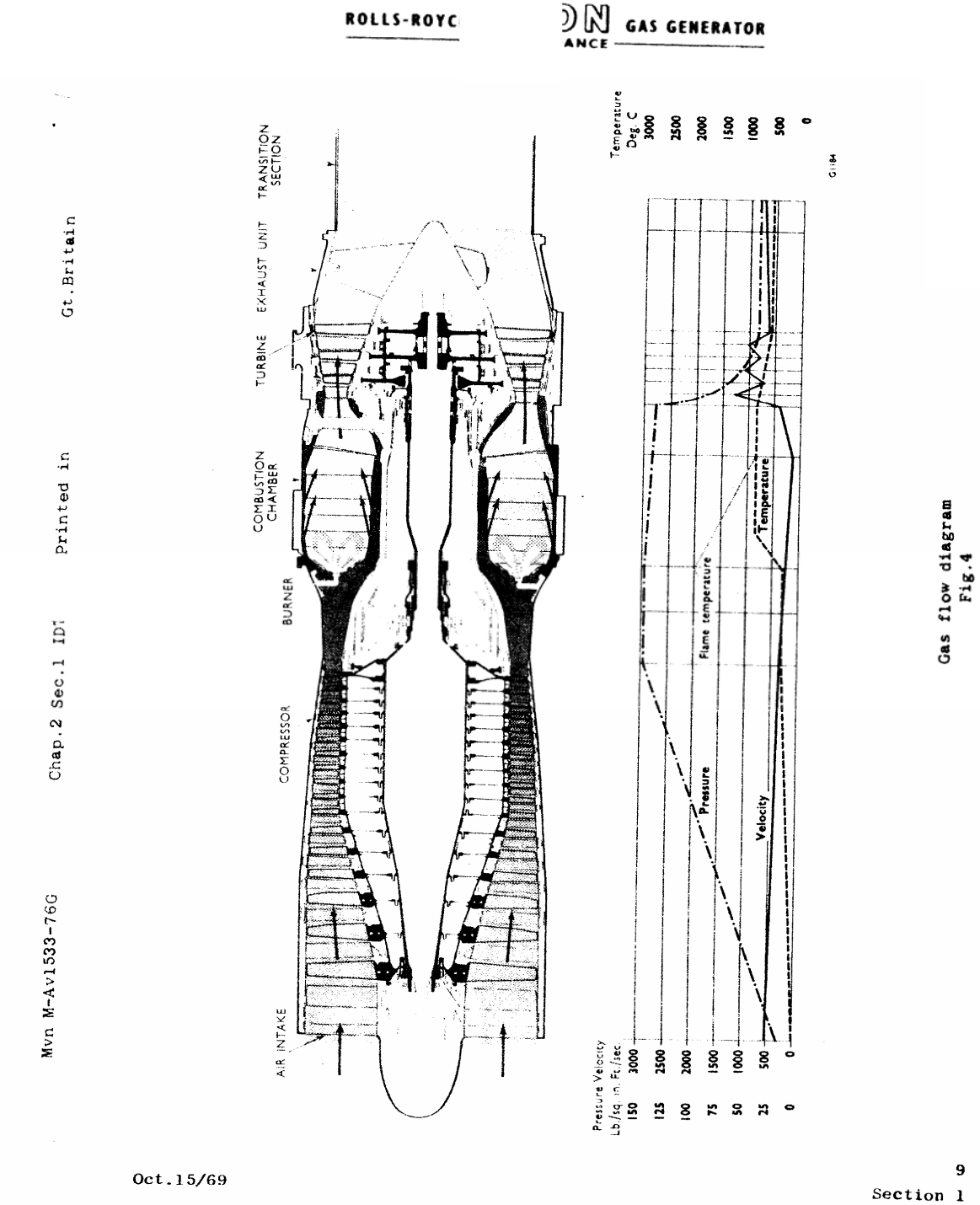


Gas generator - Right-hand view
Fig.3

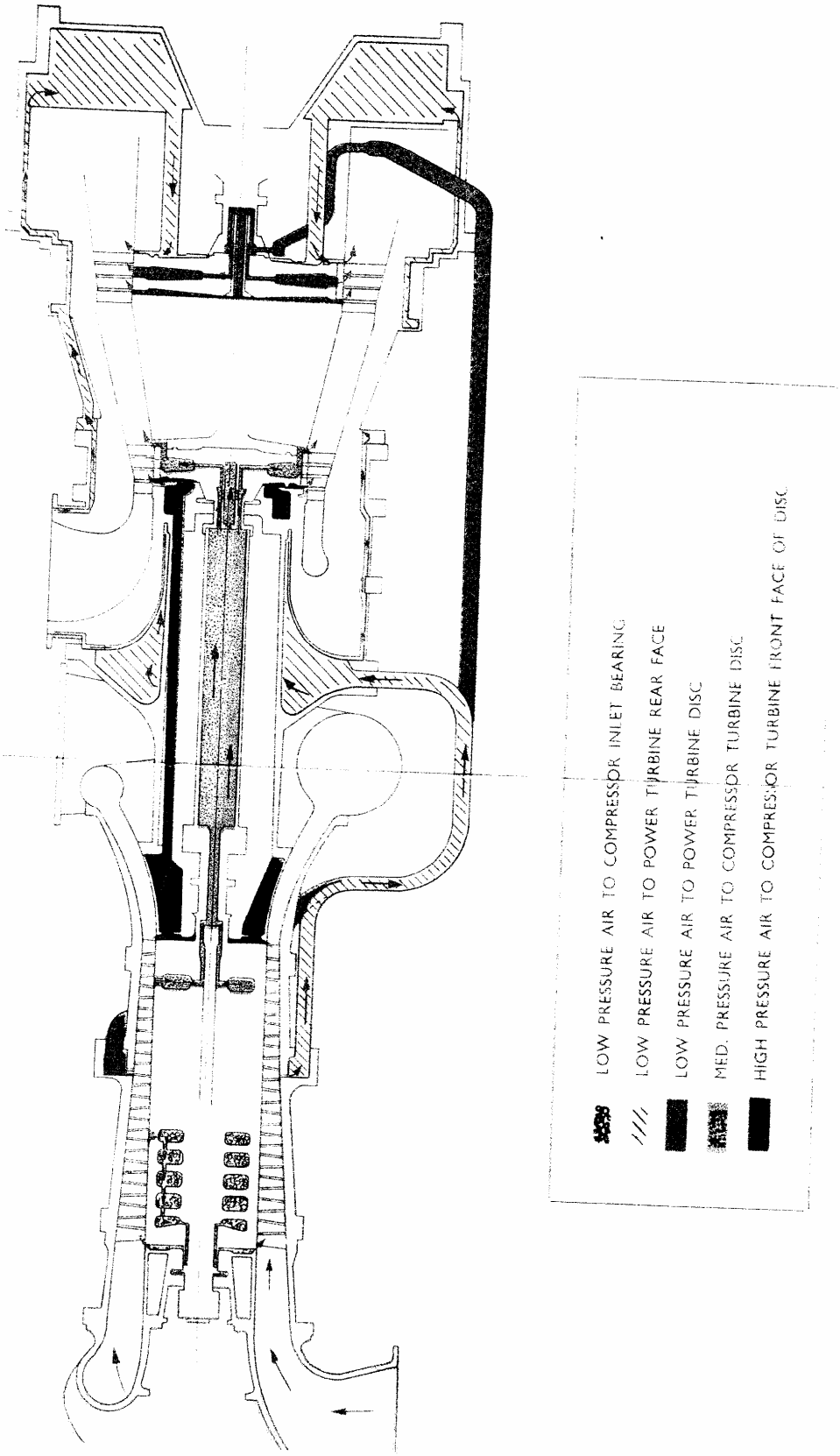
شكل ٥-٥



شکل ٥-٦مقايسه درجه حرارت و فشار هواى داغ در توربين راستون



شكل ۵-۷ دياگرام تغيرات جريان گاز ، فشار و سرعت


LOW PRESSURE AIR TO COMPRESSOR INLET BEARING
LOW PRESSURE AIR TO POWER TURBINE REAR FACE
LOW PRESSURE AIR TO POWER TURBINE DISC
MED. PRESSURE AIR TO COMPRESSOR TURBINE DISC
HIGH PRESSURE AIR TO COMPRESSOR TURBINE FRONT FACE OF DISC

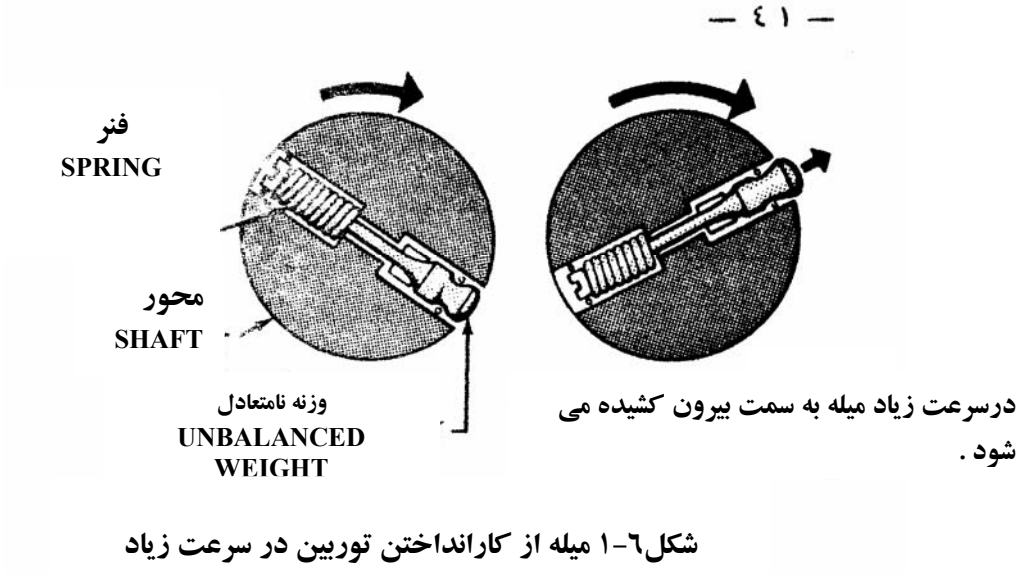
شکل ۵-۸

فصل ششم
دستگاه از کار انداختن توربين در دور بيش از حد

۶-۱دســـتگاه از کارانـــداختن تـــوربین در دور بـــیش از حـــد OVER SPEED TRIP MECHANISM

گاورنر دروضع عادی سرعت توربین را تنظیم می کند ، اگر بطور ناگهانی بـار تـوربین برداشـته شود سرعت توربین زیاد می شود ، بعضی اوقات گاورنر بکندی عمل کرده و یا اصلاً دراین حالت ناگهانی عملی انجام نمی دهد ، هرگاه گاورنر سوخت ورودی بـه تـوربین را قطـع نکنـد ، ممکـن است سرعت توربین بحدی رسد که قطعات چرخنده آن متلاشی و از هم جدا گردند .

در حالت اضطراری میله از کار انداختن توربین در دور بیش از حد ، جریان سـوخت بـه محفظـه احتراق را قطع کرده تا از خطـرات سـرعت بـیش از حـد ، تـوربین محافظـت شـود میلـه از کـار انداختن توربین در دور بیش از حد وزنه ایست که در محـور گـاورنر (یـا تـوربین) قرارگرفتـه است (شکل ۶-۱) .



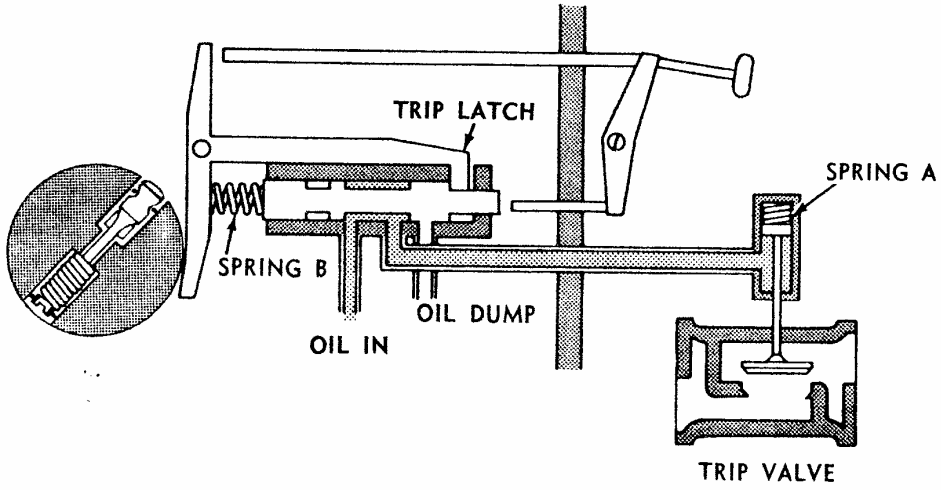
شکل٦-١ میله از کارانداختن توربین در سرعت زیاد

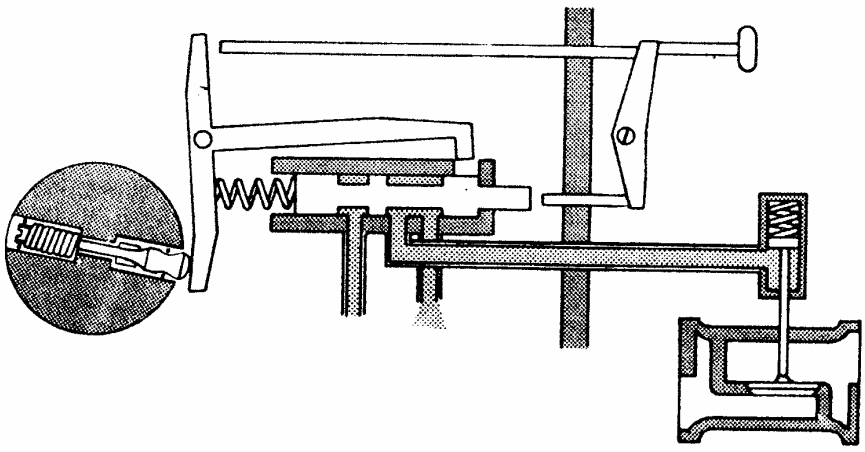
در سرعت عادی میله از کار انداختن توربین در سرعت بیش از حد در داخل محور گاورنر یا توربین باقی می ماند ، وقتیکه محور می چرخد نیروی گریز از مرکز بطرف بیرون کشیده می شود ولی نیروی کشش فنر تا اندازه ای از این حرکت جلوگیری می کند .

شکل (۶-۲) یکدستگاه از کار انداختن توربین در دور بیش از حد را نشان می دهد .در سرعت عادی فشار روغن کنترل فنر (A) را فشرده کرده و شیر از کار انداختن را در حالت باز نگه می دارد ، زمانی که سرعت توربین بیش از حد می شود ، میله از کار انداختن به اهرم از کار انداختن (TRIP LATCH) فشار وارد آورده و آنرا آزاد می کند و در نتیجه فنر (B) شیر سر راه روغن کنترل راباز کرده و روغن تخلیه می شود و وقتیکه روغن کنترل از دستگاه خارج شود فشار کم می گردد و فنر (A) ولو را می بندد و راه سوخت قطع می شود دستگاه از کار انداختن توربین در دور بیش از حد مثل گاورنر جریان سوخت به محفظه احتراق را قطع می کند و برعکس گاورنر که خودش دوباره بحالت تعادل برمی گردد ، دستگاه از کارانداختن توربین در دور بیش از حد را باید بوسیله دست دوباره آماده بکار کرد (RESET) .

میله های از کار انداختن توربینها در دور بیش از حد طوری میزان شده اند که ۱۰ الی ۱۵ درصد بیش از سرعت عادی توربین را از کار می اندازند . برای مثال هرگاه سرعت توربین به ۸٪ از سرعت عادی بیشتر شود دستگاه از کار انداختن توربین در دور بیش از حد بکار نمی افتد .

EXHIBIT 4





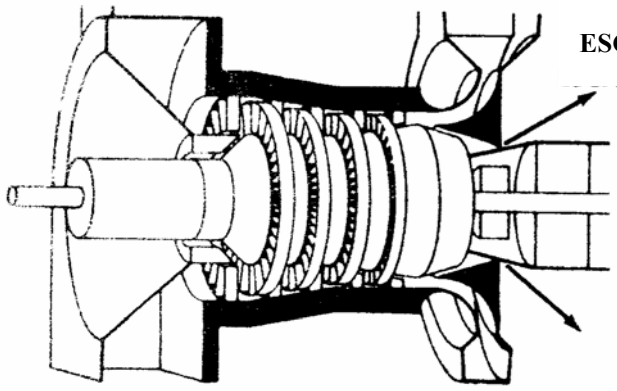
شکل۶-۲

فصل هفتم

نشت بندی و یاتاقانها

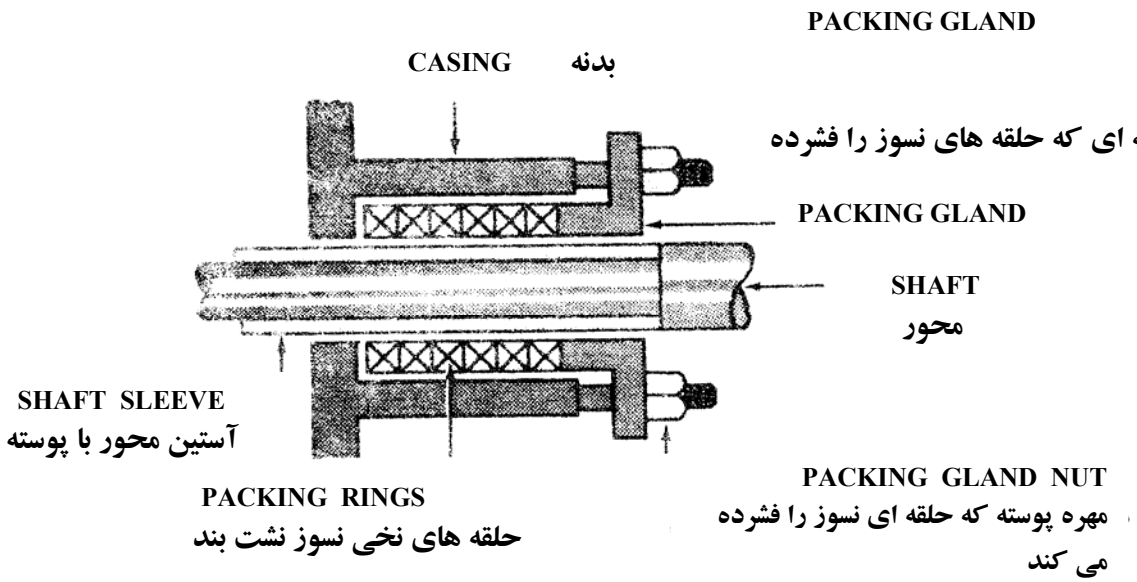
۷-۱نشت بندهای بدنه CASING SEAL

محور چرخنده کمپرسور و توربین از میان بدنه ثابت عبور می کنند ، بنابراین باید فاصله کمی بین محور چرخنده و بدنه ثابت و تیغه ها وجود داشته باشد تا بهم سائیده نشوند ، هرگاه این فاصله زیاد شود هوا با فشار زیاد از آن خارج می شود (مطابق شکل ۷-۱) .



شکل۷-۱

هرگاه هوای زیاد ازتوربین به فضای اطراف خارج شود ، قدرت توربین کم شده و راندمان آن کاهش می یابد و نیز اگر فاصله کم باشد ، محور چرخنده و بدنه ثابت یا تیغه ها با هم تماس پیدا کرده و حرارت زیاد تولید می شود و این حرارت ممکن است باعث کجی یا خوردگی محور ، تیغه های ثابت و بدنه ثابت گردد .



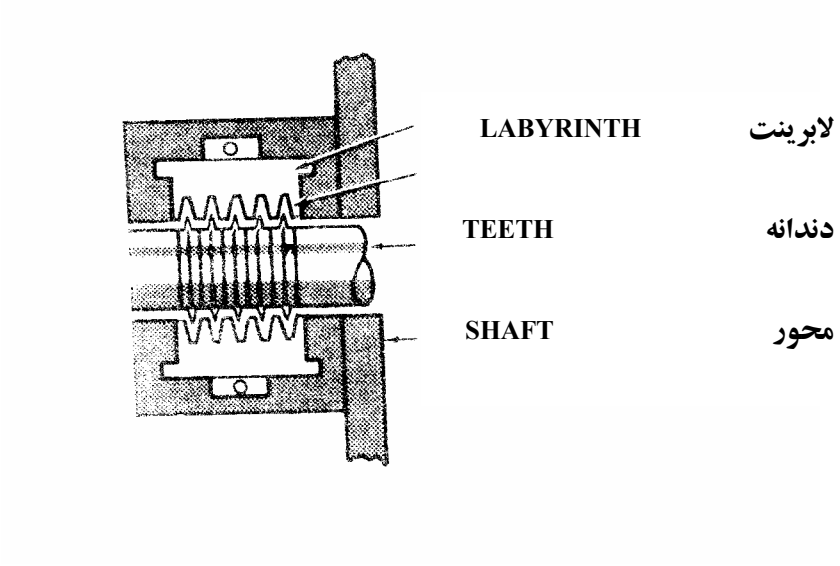
شکل۷-۲

شکل (۷-۲) یک نشت بند نسوز را که در یک توربین کوچک بخار آب که سرعتش کم است نشان می دهد نشت بند طوری قرارگرفته که از خروج بخار آب بین محور چرخنده و بدنه ثابت جلوگیری می کند و از تعدادی حلقه های نخی نسوز نرم که در تماس با محور به آن صدمه نمی زنند تشکیل شده است توربینهای احتراقی با سرعت زیاد می چرخند و اگر نشت بند نخی نسوز در آنها بکار رود در مدت کوتاهی نشت بندها خورده می شوند بنابراین در توربینهای احتراقی نشت بندهای نرم نمی توانند بطور موثر از خروج گاز به بیرون جلوگیری کنند .

در توربین های احتراقی از نوعی نشت بند لابرنیت سیل (LABYRINTH SEAL) که از فلز نرم ساخته شده و مانند نشت بند نخی زود سائیده نمی شود، استفاده می کنند .(شکل۷-۳)

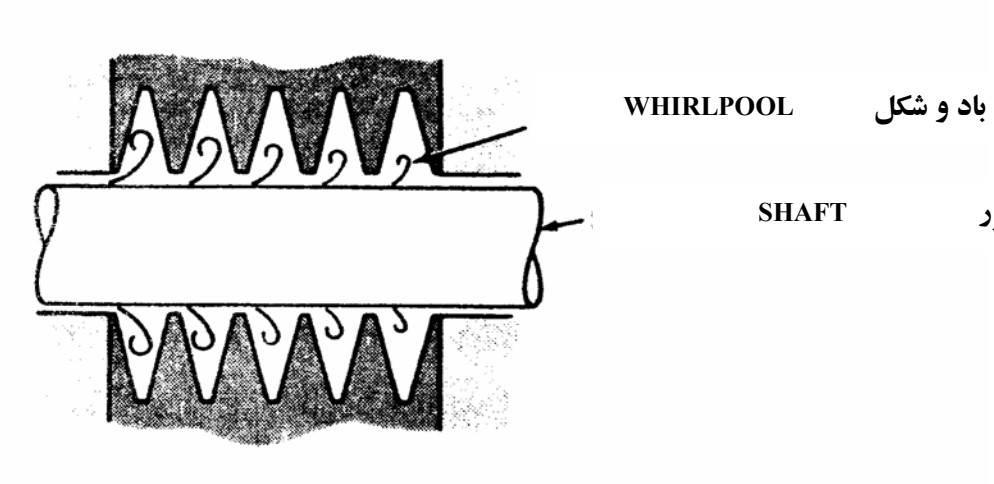
لابرینت سیل حلقه ای است که در آن شیارهائی کنده شده و بین هر دو شیار یک دندانه تیز وجود دارد و این دندانه ها از نشت گاز از بین محور و بدنه ثابت جلوگیری می کنند .

(شکل ۷-٤)



شکل ۷-۳

دندانه ها از فلز نرم ساخته شده اند که اگر احیاناً با محور چرخنده تماس پیدا کنند باعث خوردگی زیاد محور نشوند ، لابرینت سیل نشت هوا را در امتداد محور چرخنده به حداقل می‌رساند .



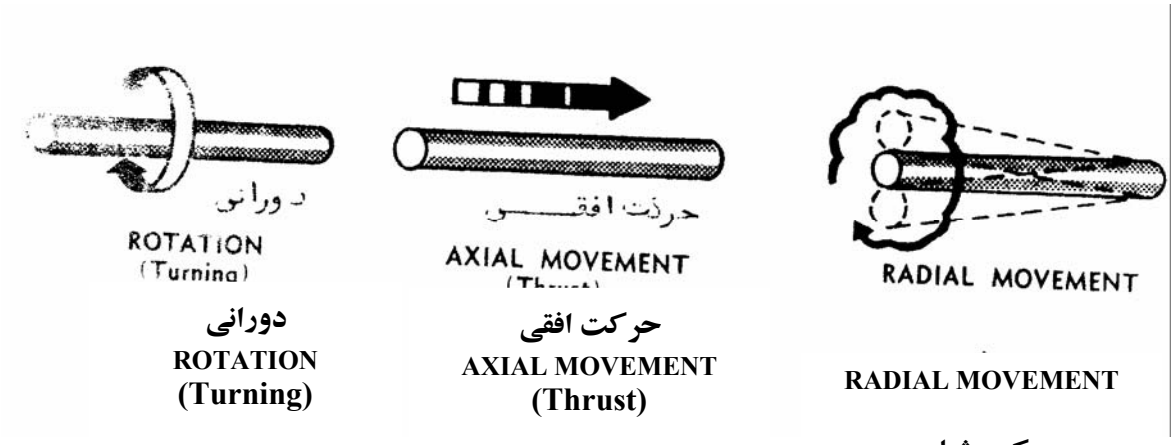
شکل ۷-٤ چگونگی عملکرد لبیرنت جهت نشت بندی

طبق شکل (٤-٧) حفره هائی بین لابرنیت سیل و محور تشکیل می شود که گاز داغ در حین عبور در هر شیار حالتی شبیه به گردباد پدید می آید و این عمل باعث می شود که مقدار خیلی کمی هوا از بین آنها خارج گردد .

هرگاه در اثر سائیدگی یاطاقانها محور با لابرینت سیل کمی تماس پیدا کند ، لبه های تیز لابرینت سیل خورده می شوند .

۷-۲یاطاقانها BEARINGS

محورهای چرخنده کمپرسور و توربین باید در حین چرخش در محل و وضع معینی قرار بگیرند محوربرای‌چرخیدن‌بایدآزادبوده‌وبراحتی بچرخدولی نه آنقدر که حرکت افقی زیاد داشته باشد



دورانی
ROTATION
(Turning)

چرخشی

حرکت افقی
AXIAL MOVEMENT
(Thrust)

نیروی افقی

RADIAL MOVEMENT

حرکت شعاعی

شکل۷-۵

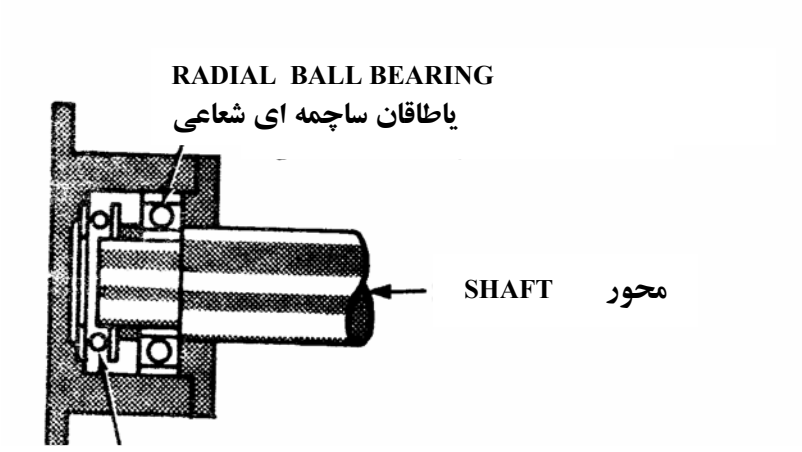
در شکل (۷-۵) سه حالت مختلف از حرکتهای یک محور دیده می شود . غیر از حرکت دورانی ، محوربه حالت دیگر می تواند حرکت کند ، زمانیکه گاز داغ به تیغه های توربین برخورد می کند ، نیروئی افقی بر آن وارد شده و آنرا بیک سمت می کشد و این نوع حرکت را محوری یا افقی نامند (AXIAL MOVEMENT) .

محـــور ممكـــن اســـت خـــارج از خـــط مركـــزی دور بزنـــد ، ايـــن نـــوع حركـــت را شـــعاعی (RADIAL MOVEMENT) نامند .

ياطاقانها (BEARINGS) محور را نگهداشته و باعث می شـوند كـه محـور بـا حـداقل اصـطكاك بچرخد و حركات شعاتی يا افقی محور را كنترل می كنند .

يک قشر مايع روغنكاری بين محور و ياطاقان قـرار مـی گيـرد .ياطاقـان شـعاعی (JOURNAL BEARING) حركت شعاعی محور را كنترل كرده و همچنـين وزن محـور را تحمـل مـی كنـد .ياطاقان صفحه گرد محوری (THRUST BEARING) حركت افقی محور را محدود می كند در توربين های كوچک گازی از ياطاقانهای سـاچمه ای بـرای كنتـرل حركـت شـعاعی و محـوری استفاده می شود .

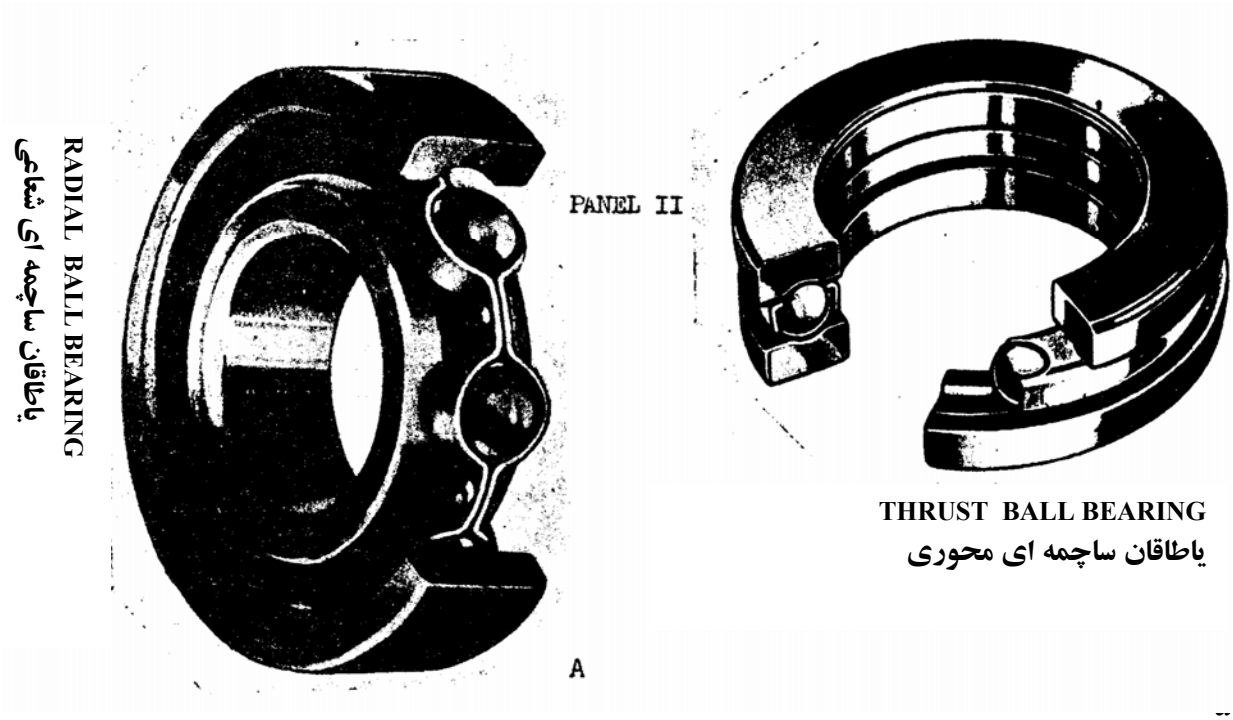
مطابق شكل محور اين توربين دارای ياطاقان شعاعی و محوری ازنوع ساچمه ای می باشند .



شكل٧- ٦ ياطاقان ساچمه ای محوری THRUST BALL BEARING

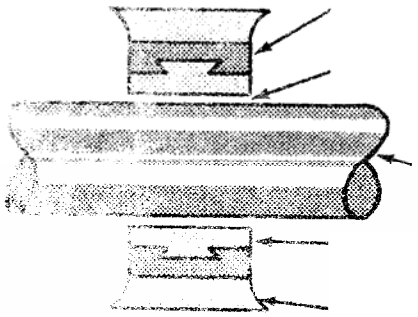
یاطاقانهای ساچمه ای روغنکاری شده و غالباً اصطکاکی بین گلوله ها و دیگر قسمت ها نمی باشد و محور که می چرخد یاطاقانهای ساچمه ای هم براحتی دور می زنند .

یک یاطاقان ساچمه ای را در محلی که بار آن زیاد باشد می توان بعنوان یاطاقان شعاعی یا محوری بکار برد یاطاقانهای ساچمه ای در توربینهای کوچک بکار می روند .



شکل۷-۷

توربین ها و کمپرسورهای بزرگ از یاطاقانهای استوانه ای یا بوشی (SLEEVE BEARING) که برای تحمل بار سنگین ساخته شده اند استفاده می کنند ، یاطاقانهای استوانه ای می توانند محورهای خیلی سنگین و بزرگ را نگهدارند .



محفظه یاطاقان BEARING CONTAINER
روغن با فشار OIL UNDER PRESSURE

محور SHAFT

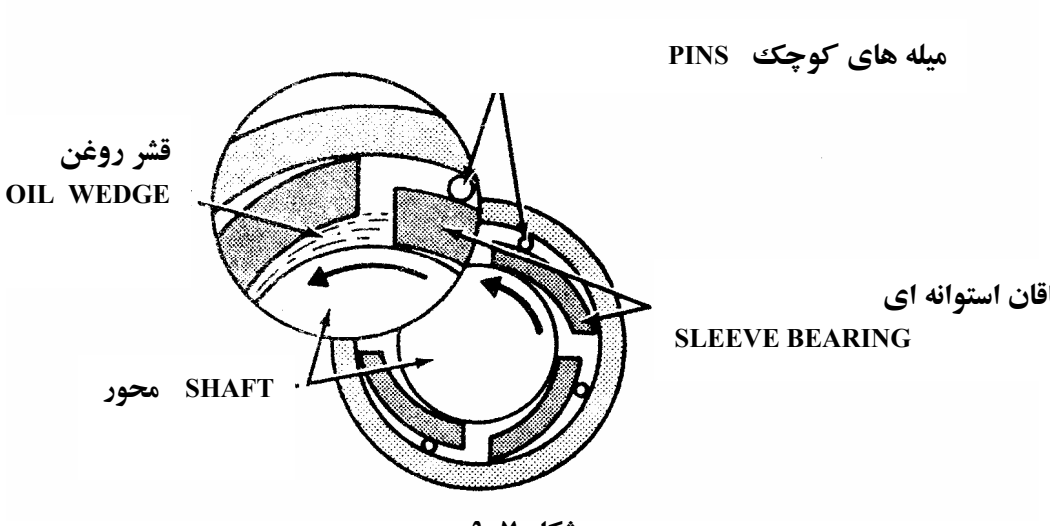
یاطاقان با بیتی BABBITT BEARING
تحمل گاه یاطاقان BEARING BAACKET

شکل ۷ - ۸

در شکل (۷-۸) یک یاطاقان استوانه ای دیده می شود ، این یاطاقان از فلز کم اصطکاک ساخته شده (BABBITT) و با لایه از روغن آنرا روغنکاری می کنند .

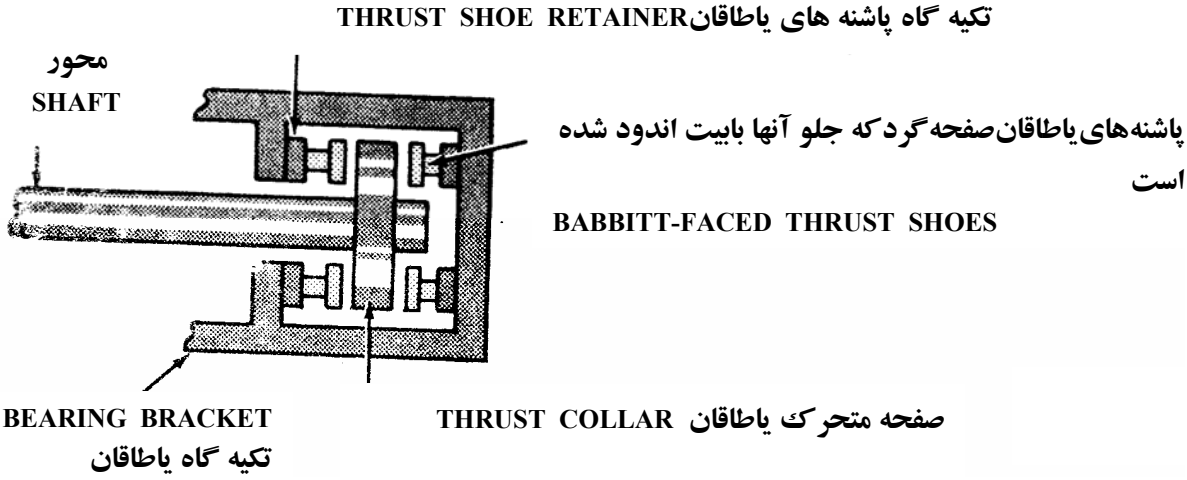
روغن با فشار از میان شیارهایی که در سطح یاتاقان است به یاطاقان وارد شده و آنرا روغنکاری می کند، علت اینکه روغن با فشار به یاطاقان وارد می شود این است که اطمینان حاصل شود که محور با بارسنگین نتواند قشر روغن را از یاطاقان خارج کند .

بعضی ازیاطاقانهای استوانه ای از چند قطعه ساخته شده اند که می توانند کج شده و به مقدار کمی باز یا بسته شوند ، وقتی که محور می چرخد بعلت اینکه یاطاقان از چند قطعه تشکیل شده شیارهائی بین قطعات و محور بوجود می آید که بوسیله روغن با فشار پر می شوند و در نتیجه محور و یاطاقان بهتر روغنکاری و میزان می شوند . (شکل ۷-۹)



شکل ۷-۹

شکل (۷-۹) یک نمونه از یاطاقان صفحه گرد است که در بیشتر توربینهای گازی بکار می رود .

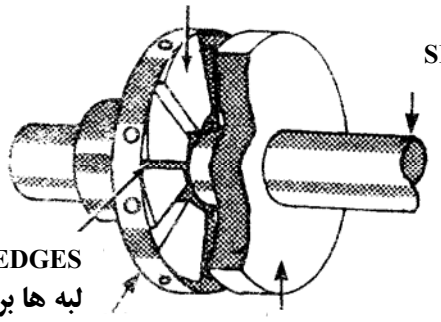


شکل۷-۱۰

همانطوریکه در شکل بالا مشاهده می کنید یک یاطاقان صفحه گرد شامل یک تکیه گاه ثابت (THRUST) که قطعات پاشنه ای مانند بابیت اندود شده بطور شعاعی روی آن قرارگرفته اند و یک صفحه محوری (COLLAR THRUST) که روی محور قراردارد و با محور می چرخد .

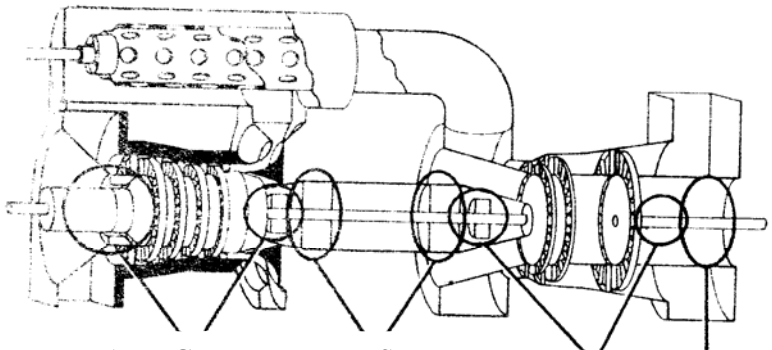
روغن‌بافشاربه‌یاطاقان صفحه‌گردواردمی‌شود(THRUST BEARING) وقتیکه‌محوردرهرجهت درامتدادطولی حرکت‌می‌کند ، صفحه محوری متحرک (MOVING THRUST COLLAR) و قطعات پاشنه ای ثابت (STATIONARY THRUST PADS) بهم فشرده می شـوند ، روغنـی که بین این دو سطح قرارگرفته مانع از اصطکاک و تماس مستقیم آنها می شود .

دربعضی ازتوربینهای گازی ، قسمت ثابت یاطاقان صفحه‌گردازقطعاتی‌تشکیل‌شده که در وقتی که محور میچرخد آن قطعات کمی کج شده و شیارهائی بوجود می آورند و ایـن شـیارها از روغـن پرفشار پرشده و مانع ازخروج روغن بین قسمتهای ثابت و متحرک می گردند . (شکل ۷-۱۱) .



شکل۷-۱۱

شکل (۷-۱۲) نمونه ای از محل قرارگرفتن یاطاقانها در یک توربین گازی می باشد .



شکل ۷-۱۲

یاطاقان هـای اسـتوانه ای از (SLEEVE BEARINGS) وزن کمپرسـور ، کمپرسـور تـوربین و توربین بار یا نیرو را تحمل کرده و حرکت شعاعی آنرا کنترل می کنند (یعنی محـور زیـاد بـالا و پایین نمی تواند بشود) .

یاطاقان صفحه گرد (THRUST BEARING) حرکت افقی محور کمپرسور توربین ، کمپرسـور و توربین بار را محدود می کند .

فصل هشتم

روغنکاری

۸-۱دستگاه گردش روغن THE OIL CIRCULATION SYSTEM

در دستگاه روغنکاری روغن با فشار برای یاطاقان ها تامین می شود ، هرگاه فشار روغن کم شود یاطاقانها روغنکاری نمی شوند .

اغلب دستگاههای کنترل سرعت وحرارت توربین ازدستگاههای تقویتی هیدرولیکی استفاده می‌کنند .

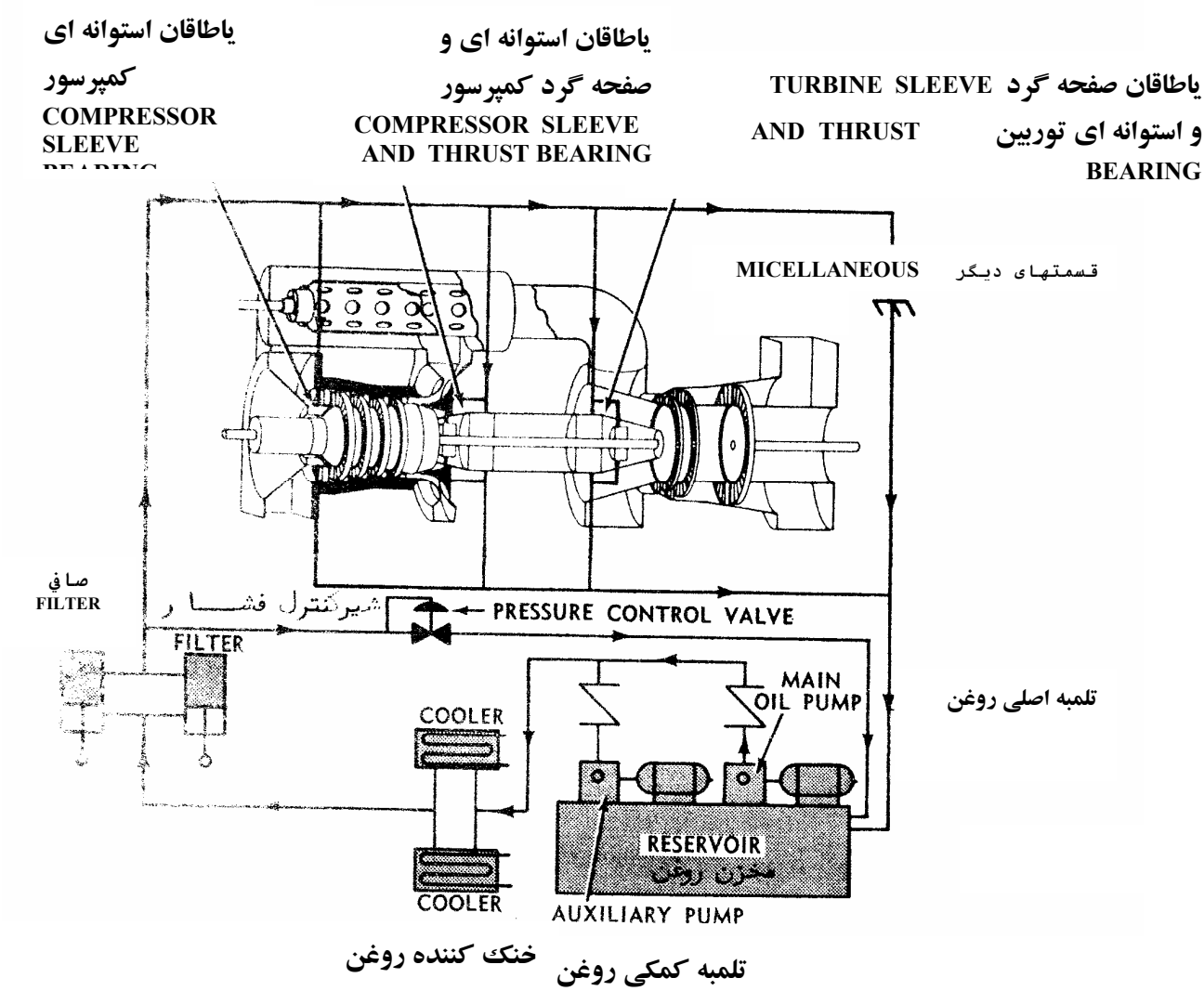
دستگاه گاورنر احتیاج به روغن پرفشار برای حرکت گاورنر ولو دارد .

پس روغن در توربینها به دو منظور بکار می رود :

۱- روغنکاری یاطاقانها

۲- برای کنترل توربین

شكل(٨-١) نمونه ای از دستگاه گردش روغن می باشد :



شكل(٨-١)

روغن در مخزن بزرگی ذخیره می شود و بوسیله پمپ اصلی روغن (MAIN OIL PUMP) از مخزن كشيده شده و بافشار به ياطاقانها و دستگاههای كنترل هيدروليكی می رود .

هرگاه حرارت روغن زياد شود ، خاصيت روغنكاريش از بين می رود (تجزيه می شود) و ديگر قشری از روغن بين قطعات فلزی تشكيل نمی شود ، بنابراين روغن بايد خنک باشد تا بتواند ياطاقانها را خنک كند ، برای سرد كردن روغن آنرا از دستگاه خنک كننده COOLER

عبورمی‌دهند . همچنین هرگاه روغن خیلی سردباشد غلیظ شده و روغـن بخـوبی در یاطاقانهـا جریان پیدا نمی کند و یاطاقانها کاملاً روغنکاری نمی شوند .

روغن پس از عبور از دستگاه خنک کننده از یک صـافی گذشـته و ذرات کثیـف و ناخالـصیهای آن گرفته می شود ، هرگاه دستگاه روغنکاری نتواند روغن به یاطاقانها برساند آسیب شـدید دراثـر اصطکاک و حرارت به آنها وارد شده و ممکن است ذوب یا سوخته شـوند ، بنـابراین تـاوقتی کـه توربین کار می کند باید روغن دریاطاقانها بافشار معین جریان داشته باشد ، اگر فیلتر یـا دسـتگاه خنک کننده روغن گرفته شود یا تلمبه روغن خراب شود و جریان روغن قطع گردد ، توربین بـه احتمال قوی باید بسته شود ، پس درچنین وضع اضطراری یک صافی و دستگاه خنک کننده روغـن تلمبه کمکی باید وجود داشته باشند تا جریان روغن را در این حالت برقرار کنند .

از آنجائیکه هرگاه دستگاه روغن دچار اشکال شود باید توربین بسته شود . اغلب توربینهای گازی دارای دو عدد تلمبه روغن می باشند .

پمپ اصلی روغن در وقتی که توربین کار می کند روغن مورد لزوم را تامین می کند و درمواقع اضطراری تلمبه کمکی روغن بکار افتاده و جریان روغن را در دستگاه برقرار می کند .

تلمبه اصلی روغن بوسیله محور توربین می چرخد ، در وقت بکار انـداختن تـوربین چـون محـور توربین سرعت ندارد .

پمپ اصلی روغن کار نمی کند ، در چنین وقتـی ، تلمبـه کمکـی روغـن بوسـیله دسـتگاه جداگانـه دیگری مستقل از توربین کار می افتد .

در وقت بکار انداختن توربین روغن مورد لزوم برای یاطاقانها بوسیله تلمبه کمکی روغن تامین می شود تا زمانیکه سرعت توربین به اندازه عادی برسد و همیچنین وقتی که توربین از کار می‌افتد ، تلمبه اصلی روغن هم کار نمی کند در این هنگام دوباره تلمبه کمکی روغن بکار افتاده و روغن به یاطاقانها جریان پیدا می کند .

همچنین دو عدد صافی روغن (فیلتر) و دستگاه خنک کننده روغن در دستگاه گردش روغن وجود دارند .

هرگاه فشار روغن روغنکاری کم شود بعضی از توربینها ممکن است بوسیله دستگاه هیدرولیکی از کار بیفتند و دستگاه خودکار بوسیله شیرتخلیه ، روغن هیدرولیک را به مخزن تخلیه کرده و سبب ازکار افتادن توربین می گردد ، بعضی از توربین ها مجهز به دستگاه اعلام خطر فشار کم روغنکاری می باشند و همچنین دستگاه اطلاع دهنده که حرارت زیاد روغن را نشان داده یا بوسیله سوت مسئول مربوطه خبر می شود ، بنابراین دستگاه خبرکننده هرگاه فشار روغن کم شده یا حرارت روغن زیاد شود مسئول دستگاه را مطلع می سازد .

مراجع:

۱- توربینهای گازی،مجتمع آموزش مجد زاده اهواز،

۲-Marks Standard Handbook for Mechanical Engineers E, ugene A.Avallone