

توربوشفت چیست و چگونه عمل میکند؟

ساختار یک موتور توربوشفت ساده

توربوشفت (به انگلیسی: Turboshift) نوعی موتور توربینی گازی است که جهت تولید نیرو برای

استفاده در واحد تولید قدرت انواع ماشین آلات استفاده می شود. ساختار موتورهای توربوشفت

بسیار شبیه به موتورهای توربوپراپ می باشد، اما سرعت چرخش ملخ موتور توربوشفت از سرعت

چرخش ملخ موتور توربوپراپ بسیار کم تر است. در موتور توربوشفت، هدف تولید قدرت

زیاد، اطمینان پذیری بالا، اندازه کوچک و وزن سبک است اما با سرعت چرخش کم. برخی کاربردهای

موتور توربوشفت عبارتند از: بالگردها، قایق ها و کشتی ها، تانک ها، هوانا، و تجهیزات ثابت.

بیشتر هواپیماهای مدرن امروزی جهت تولید نیروی تراست (نیروی جلوبرنده) لازم برای حرکت، از

موتورهای توربین گازی استفاده میکنند.

اصطلاح "Gas Turbine" به عنوان یک واژه ی عمومی برای انواع موتورهای توربینی مورد

استفاده قرار میگیرد و در محدوده ی موتورهای جت شامل: توربوجت، توربوفن، توربوپراپ،

توربوشفت و کلیه موتورهای توربینی که با مکانیزم جت کار میکنند میشود. از سایر سیستم های

پیشرانشی که با شتاب سیال، تراست تولید میکنند ولی توربینی نیستند میتوان به: رمجت،

اسکرمجت، پالس جت، پرشرجت، واترجت و موتورهای راکتی اشاره کرد که هر کدام با مکانیزم و اصولی جدا کار میکنند و ساختمانی متفاوت از یکدیگر دارند.

موتورهای توربینی گونه های مختلفی دارند و با وجود اینکه هر یک از آنها متفاوت از دیگری است اما دارای قسمتهای مشترکی هستند. همه ی موتورهای توربینی دارای یک مجرای ورود هوا، یک کمپرسور یا متراکم کننده، یک بخش احتراق، یک توربین و یک مجرای خروجی هستند. همه ی این موتورها با یک اصول اساسی کار میکنند ولی هر کدام از آنها دارای مزایا و اشکالات مجزایی هستند.

همه موتورهای توربینی جت با این قاعده کار میکنند: هوا به داخل لوله مانندی کشیده و فشرده شده، با سوخت مخلوط و سوخته شده با سرعت بالایی خارج میشود.

کلید ساختن یک موتور جتی که کار کند در فشرده سازی هوای ورودی آن است. چنانچه کمپرس صورت نگیرد، مخلوط هوا و سوخت قادر نخواهد بود هیچ ازدیاد حجم و تراستی تولید کند. بیشتر جت ها دارای کمپرسوری هستند شامل پره های گردنده و در قسمتی که کمپرس صورت میگیرد حرکت هوا جهت ایجاد فشار زیاد، کند میشود. این هوای کمپرس شده به داخل محفظه ای که در آن احتراق صورت میگیرد رانده شده و با سوخت مخلوط شده و سوزانده میشود. در حین اینکه گازهای پرفشار در حال خارج شدن هستند از میان توربینی شامل پره های قوس دار زیادی میگذرند. در اینجا گازهای خروجی پره های توربین را به حرکت در می آورند و این توربین نیز از طریق یک شفت (محور) به کمپرسور در قسمت جلوی موتور متصل است و باعث گرداندن پره های کمپرسور میشود. به این طریق گازهای خروجی محفظه ی احتراق، توربین را و توربین نیز کمپرسور را گردانده تا هوای بیشتری گرفته و فشرده شود و موتور به سیکل کاری خود ادامه دهد. کارکرد موتورهای توربینی مداوم است یعنی بدون وقفه کار میکنند و هیچ وقفه ای ندارند.

انواع موتورهای جت توربینی

توربوجت

توربوجت اولین و ساده ترین شکل از یک موتور جت جهت تولید تراست است. همانطوری که در تصویر شماتیک آن دیده می شود دارای کمپرسور، محفظه ی احتراق، توربین و سایر قسمت های استاندارد یک موتور توربین گازی میباشد. تفاوت بارزی که بین یک توربوجت و یک موتور توربین گازی ساده وجود دارد در کمپرسور توربوجت است که دارای ضریب تراکم بسیار بالاتری نسبت به یک توربین گاز ساده است. تفاوت اساسی دیگر در توربین آن است که در توربوجت توربین تنها به کمپرسور متصل است و تنها میزان بسیار کمی از قدرت همان توربین جهت سایر موارد فرعی مانند پمپ ها استفاده میشود و در توربوجت پر انرژی بودن گازهای خروجی یک موضوع بسیار مهم و قابل توجه است، در حالی که در یک موتور توربین گازی به غیر از توربینی که به کمپرسور متصل است توربین دیگری نیز جدا از آن در قسمت خروجی محفظه ی احتراق قرار دارد که در واقع به شفت خروجی موتور متصل است و جهت استفاده در مواردی از قبیل تولید برق و سایر موارد مشابه مورد استفاده قرار میگیرد. نکته ی قابل توجهی که در مورد موتورهای توربین گازی وجود دارد این است که از گازهای خروجی آنها هیچ استفاده ای نمیشود به همین جهت سعی میشود که تمام حرارت و انرژی قابل استفاده ی گازهای محترق قبل از خروج جهت بازدهی بیشتر گرفته شود

توربوفن

بسیاری از هواپیماهای مسافربری مدرن از موتور های توربوفن استفاده میکنند بخاطر اینکه آنها بازده بیشتری نسبت به سوخت دارند. اگر میزان مصرف سوخت یک توربوجت با تورفن و میزان

تراست تولیدی آنها را مقایسه کنید میبینید که توربو فن با همان میزان مصرف سوخت، مقدار تراست خیلی بیشتری تولید میکند. یک موتور توربو فن شکل تغییر یافته و پیشرفته ی یک موتور توربین گازی ساده است. همانند سایر موتورهای جت، توربو فن هم دارای هسته ی موتوری توربو جت است. در یک توربو فن مرکز موتور توسط یک لایه شامل یک فن در جلو و توربین اضافی در کنار آن احاطه شده است. فن و توربین فن از تعداد زیادی تیغه همانند کمپرسور و توربین هسته تشکیل شده اند که به یک شفت اضافی متصل اند. شفتی که به فن متصل است از وسط هسته ی شفت مرکزی عبور میکند و به این صورت اگر موتور دارای سه شفت باشد، فن جلویی به درونی ترین شفت و آن نیز به آخرین طبقه ی توربین در انتهای موتور (مرکز) متصل است.

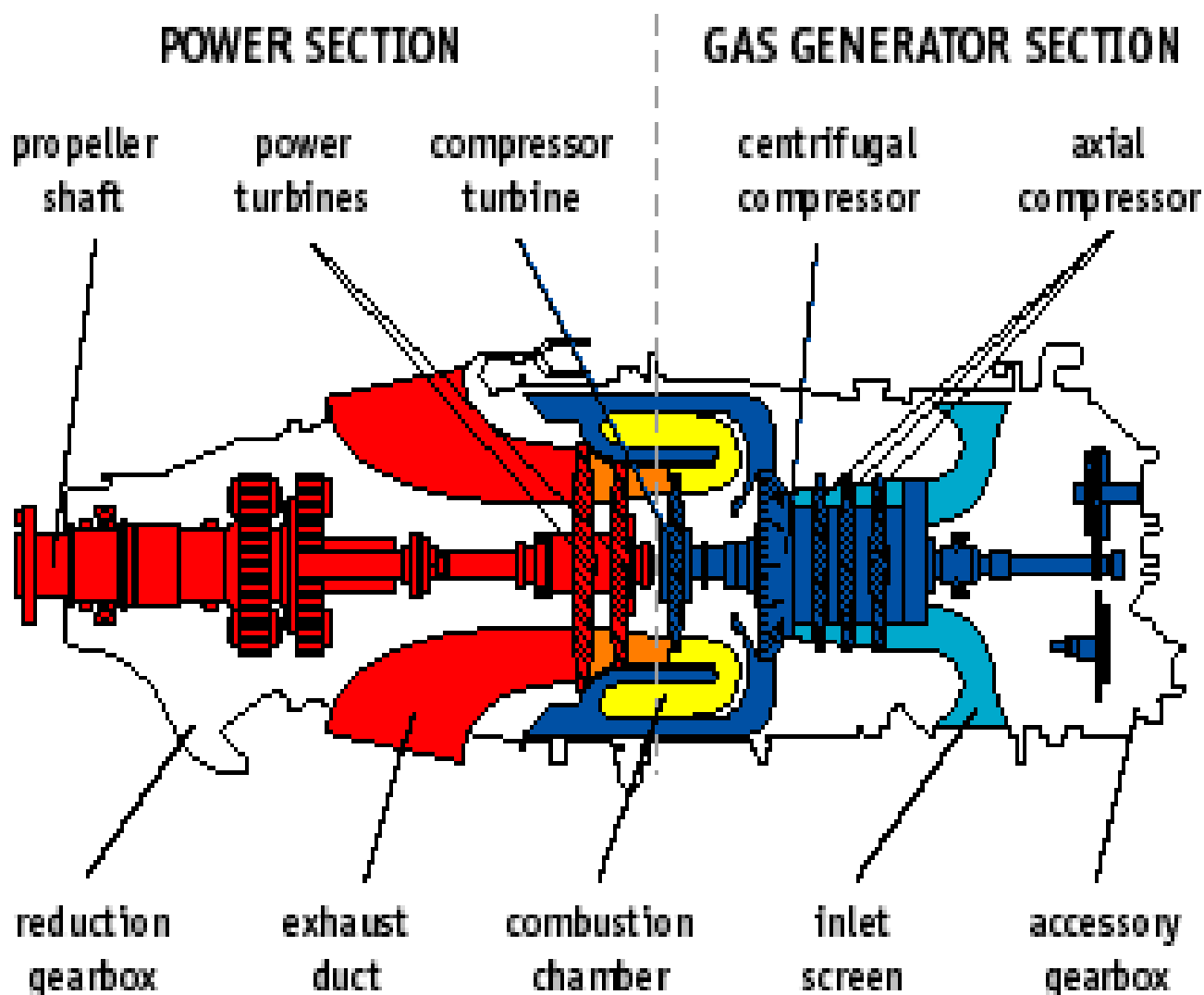
توربوپراپ

بسیاری از هواپیماهای ترابری و پر مصرف کوچک از پیشرانش توربوپراپ استفاده میکنند. موتورهای توربوپراپ از هسته ی یک موتور توربین گازی برای گرداندن ملخ استفاده میکنند. موتورهای ملخ دار با حرکت دادن حجم بالایی از هوا و تغییر کمی در سرعت آن، تراست تولید میکنند. این پیشرانها بسیار کارآمد هستند و از هر نوع نیروی محرکه ای (موتور) برای به گردش در آوردن ملخ میتوانند استفاده کنند.

در پیشرانش توربوپراپ دو قسمت اصلی و برجسته وجود دارند؛ یکی موتور و دیگری ملخ یا پروانه. هسته ی موتور در این نوع پیشرانش بسیار مشابه یک توربو جت ساده است، با این تفاوت که به جای رانش قوی گازهای خروجی به بیرون برای تولید تراست، بیشتر انرژی گازهای خروجی صرف گرداندن توربین میشود. این قسمت در بیشتر موتورها شامل چند طبقه از توربینهای کاملاً مجزا است که

نیروی آنها از طریق یک شفت دیگر به جعبه دنده و بعد به ملخ انتقال میابد. سرعت گازهای اگزوز در یک توربوپراپ پایین است و تراست کمی تولید میکند، چون بیشتر انرژی گازهای اگزوز صرف به گردش در آوردن توربین میشود. بطور میانگین در یک توربوپراپ، تراست تولیدی توسط هسته ی جت حدود ۱۵٪ است در حالی که تراست تولیدی توسط ملخ آن مقدار باقیمانده یعنی ۸۵٪ است.

توربوشفت



توربوشفت گونه ای از موتورهای جت است که تقریباً تمام بالگرد هایی که امروزه ساخته میشوند، از آن نیرو میگیرند. همانطور که در تصویر مشاهده می کنید توربوشفت از بسیاری قسمتهای توربو جت استفاده میکند. یک تفاوت اساسی بین توربوشفت و سایر موتور هایی که در بالا معرفی شدند این است که توربین تنها به کمپرسور متصل نیست. البته همانند توربوپراپ در اکثر موتور های توربوشفت چند طبقه از توربینهای مجزا از کمپرسور، وجود دارند که انرژی آنها از طریق شفتی مجزا به جعبه دنده جهت تغییر به گشتاور مناسب انتقال میابد و بعد مورد استفاده قرار میگیرد. بطور نمونه تیغه های روتور بالگرد را میچرخاند. از طرفی بالگردها در ارتفاعی بسیار پایین تر از هواپیماها جایی که گرد و خاک، ماسه و دیگر آشغالهای ریز به راحتی میتوانند به داخل موتور مکیده شوند، کار میکنند. جهت برطرف کردن این مشکل، بیشتر موتور های توربوشفت به یک دستگاه تجزیه ی ذره ها که جریان ورودی را صاف کرده و قبل از رسیدن آن به کمپرسور، گرد و خاک را بیرون میریزد، مجهزند.

موتور توربوشفت

از موتور های توربو شفت میتوان برای چرخاندن ملخ هلیکوپتر یا به عنوان یک موتور توربین گازی برای تولید نیرو جهت استفاده در واحد تولید قدرت انواع ماشین آلات استفاده کرد. به عنوان مثال m-1-1 برای چرخاندن فن یک تونل باد یا استفاده جای موتور دیزلی در بعضی تانکها (مثلاً تانک آبرامز با توان ۱۵۰۰ اسب بخار استفاده می کند atg-1500 آمریکایی از یک موتور توربین گازی به نام a-1 محصول مشترک هانی ول و جنرال lv100-5 از موتور توربین گازی m-1-a-2 یا در مدل جدید تر الکتریک استفاده می کند.) . موتور توربوشفت ، نوعی موتور توربینی و از نظر نحوه ی کار بسیار

شبيه به موتور توربوپراپ است ، ولی سرعت چرخش ملخ موتور توربوشفت از سرعت چرخش ملخ موتور توربوپراپ بسيار كم تر است . در موتور توربوشفت ، هدف ، توليد قدرت زياد در دور كم است . از اين موتور معمولاً در هليكوپتر و كشتي استفاده مي شود . ملخ هليكوپتر و كشتي مانند ملخ موتور توربوپراپ وظيفه ي توليد نيروي جلوبرنده را به عهده دارد ؛ ولی با سرعت چرخش بسيار كم تر . گاز خروجی از موتور توربوشفت هيچ نقشی در توليد نيرو ندارد

افزودن ملخ به موتور واستفاده از تمام انرژی گازهای خروجی برای چرخاندن آن باعث افزایش دبی (جرمی موتور ودر پی آن افزایش بازده در سرعتهای پایین می شود)مثل موتور توربوفن

تقریباً تمام بالگرد هایی که امروزه ساخته میشوند، از توربوشفت نیرو میگیرند

همانطور که در تصویر مشاهده میشود توربوشفت از بسیاری قسمتهای توربوجت استفاده میکند. یک تفاوت اساسی بین توربوشفت و سایر موتورها این است که توربین تنها به کمپرسور متصل نیست. البته همانند توربوپراپ در اکثر موتورهای توربوشفت چند طبقه از توربینهای مجزا از کمپرسور، وجود دارند که انرژی آنها از طریق شفتی مجزا به جعبه دنده جهت تغییر به گشتاور مناسب انتقال میابد و بعد مورد استفاده قرار میگیرد. بطور نمونه تیغه های روتور بالگرد را میچرخاند. از طرفی بالگردها در ارتفاعی بسیار پایین تر از هواپیماها جایی که گرد و خاک، ماسه و دیگر آشغالهای ریز به راحتی میتوانند به داخل موتور مکیده شوند، کار میکنند. جهت برطرف کردن این مشکل، بیشتر موتورهای توربوشفت به یک دستگاه تجزیه ی ذره ها که جریان ورودی را صاف کرده و قبل از رسیدن آن به کمپرسور، گرد و خاک را بیرون میریزد، مجهزند

مزایا: در سرعتهای زیر صوت(تقریباً بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر بر ثانیه) بسیار کارآمد و پر بازده است

معایب: محدوده سرعت آن کوچک است، کمی پر سر و صدا و دارای سیستم انتقال قدرت پیچیده

تفاوت:

توربین تنها به کمپرسور متصل نیست. البته همانند توربوپراپ در اکثر موتورهای توربوشفت چند طبقه از توربینهای مجزا از کمپرسور، وجود دارند که انرژی آنها از طریق شفتی مجزا به جعبه دنده جهت تغییر به گشتاور مناسب انتقال میابد و بعد مورد استفاده قرار میگیرد. بطور نمونه تیغه های روتور بالگرد را میچرخاند. ا طرفی بالگردها در ارتفاعی بسیار پایین تر از هواپیماها جایی که گرد و خاک، ماسه و دیگر آشغالهای ریز به راحتی میتوانند به داخل موتور مکیده شوند، کار میکنند. جهت برطرف کردن این مشکل، بیشتر موتورهای توربوشفت به یک دستگاه تجزیه ی ذره ها که جریان ورودی را صاف کرده و قبل از رسیدن آن به کمپرسور، گرد و خاک را بیرون میریزد، مجهزند

اختراع موتورهای توربوشفت یکی از پی آمدهای تکنولوژی موتورهای جت بود. بدین طریق که با قراردادن یک توربین در پشت موتور جت می توان از آن نیروی دورانی لازم را برای چرخاندن ملخ یک هلیکوپتر به دست آورد. زمانیکه اینگونه موتورها با سرعت با قدرت مشابه بوده و می تواند جایگزین آن گردد. به لحاظ همین ملاحظات بود که موتور های توربوشفت برای طراحان هلیکوپتر جاذبه بخصوصی پیدانمود در نتیجه از سال ۱۹۶۰ به بعد تمامی هلی کوپترهای نظامی و پیشرفته به موتورهای توربوشفت مجهز شدند. مزایای موتورهای توربوشفت را می توان چنین بیان کرد

۱- سبکی موتور یعنی بالا بودن نسبت توان به وزن موتور (the engine light high power-to-weight ratio engine)

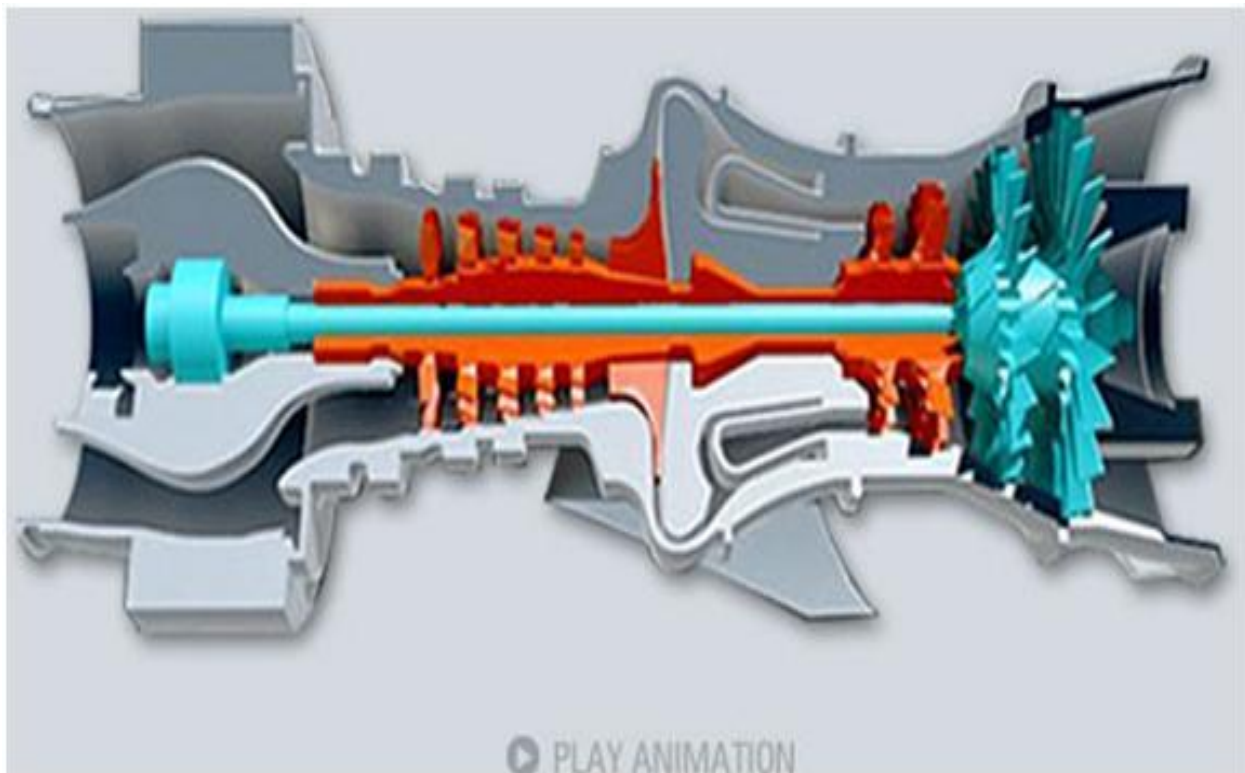
۲- کاهش میزان ارتعاشات (2 - reducing vibrations)

۳- سادگی هدایت هلی کوپتر (امکان نصب وسائل خودکار سرعت روی موتور) (3 - simply driven)

(helicopter (automatic devices installed on motor speed)

۴- بازدهی خوب هلی کوپتر در ارتفاعات خیلی بالا (4 - A good performance from high-)

(altitude helicopter



انتقال گشتاور در حین راه اندازی و در طول کار پمپ و ایجاد تکیه گاهی برای پروانه و دیگر اجزاء دوار پمپ از وظایف اصلی محور می باشد شافت پمپ تحت تاثیر ۵ عامل مخرب قرار دارد:

۱- تنش پیچشی (torsion stress)

۲- تنش خمشی (bending stress)

۳- تنش محوری (axial stress)

۴- ارتعاش (vibration)

۵- سرعت بحرانی (critical speed)

برای مقابله با عوامل مخرب ذکر شده، روشهای مختلف اتخاذ می شود. به طور مثال نیروی محوری وارد بر شافت با استفاده از سوراخ های متعادل کننده در پروانه، استفاده از پره هایی در پشت پروانه، صفحه موازنه، پیستون موازنه و ... حذف می شود. علاوه بر روشهای ذکر شده، جهت حذف نیروی محوری در پمپ های سانتریفوژ همیشه از یاتاقانهای کف گرد یا همان همان trust bearing ها استفاده می شود که هدف اصلی به کارگیری این یاتاقانها محافظت از شافت در برابر بارهای محوری می باشد.

پوسته

پوسته پمپ، محفظه ای است که سیال را از محیط پروانه جمع آوری می کند. پروانه در داخل پوسته قرار گرفته و برای این که که سوار کردن آن امکان پذیر باشد معمولاً دو طرف پوسته به صورت باز ساخته شده و توسط درپوش های جلو و عقب بوسیله پیچ و مهره بسته می شود.

الف) تقسیم بندی پوسته از لحاظ شکل هندسی :

پوسته حلزونی شکل (volute)

این نوع پوسته، حلزونی شکل بوده بطوریکه سطح مقطع آن از زبانه تا لوله خروجی افزایش می یابد. سیال پس از خروج از پروانه به داخل پوسته تخلیه می شود. سطح مقطع حلزونی از نقطه شروع تا انتهای آن طی ۳۶۰ درجه دوران به دور پروانه زیاد می شود تا این که در انتهای سطح مقطع حلزونی به اندازه سطح مقطع دهانه discharge می رسد. همانطور که در قسمت اساس و عملکرد نیز اشاره شد پوسته به نحوی طراحی می شود که افزایش دبی قادر به جبران کاهش سرعت ناشی از افزایش سطح مقطع شده و سرعت در پوسته ثابت باقی بماند. هدف از ثابت نگه داشتن سرعت در پوسته، ثابت نگه داشتن فشار استاتیکی در پوسته و جلوگیری از ایجاد نیروی شعاعی بر پروانه می باشد که به علت توزیع غیر یکنواخت فشار در اطراف پروانه ایجاد می شود. در عمل باز هم در پوسته حلزونی شکل، سرعت تا حدودی کاهش می یابد و توزیع فشار حتی در راندها بهینه در اطراف پروانه یکنواخت نخواهد بود. بنابراین می توان گفت که در صدی از فشار ایجاد شده در پمپ های سانتریفوژ حلزونی شکل توسط پوسته ایجاد می شود. نیروی شعاعی که به علت توزیع غیر یکنواخت فشار در پوسته اطراف پروانه بوجود می آید radial force نامیده می شود. وجود

force radial ممکن است منجر به فرسایش پروانه و پوسته، خرابی یاتاقانها و مکانیکال سیل و پاره ای مشکلات دیگر در پمپ شود .

در پاره ای از موارد برای خنثی کردن نیروی شعاعی یا همان radial force از یاتاقانهای بزرگتر که تحمل بار شعاعی بیشتری راداشته باشند، استفاده می کنند. روش دیگر برای خنثی کردن radial force استفاده از پوسته دو جداره یا double volute می باشد Volute Double از دو حلزون با قوس ۱۸۰ درجه تشکیل شده که نقطه شروع حلزونی دوم، ۱۸۰ درجه بعد از نقطه شروع حلزون اصلی است .

پوسته افشان

پوسته از لحاظ شکلی دایره ای می باشد و در داخل آن پرده های ثابتی وجود دارد که به آنها دیفیوزر یا افشاننده می گویند. سیال عبوری از پروانه وارد پرده های راهنما شده و چون مقطع جریان بتدریج بازتر می شود سرعت افت می یابد و فشار افزایش پیدا می کند. پره های افشان به ندرت در پمپ های جریان شعاعی یک طبقه استفاده می شود و بیشترین کاربرد آنها در پمپ های چند طبقه فشار قوی و پمپ های توربینی قائم است .

(ب) تقسیم بندی پوسته از لحاظ تعداد برش ها:

پوسته یک پارچه

پوسته بدنه اصلی اغلب پمپ ها سانتریفوژ یک طبقه به صورت یکپارچه ریخته می شود. به منظور سوار کردن پروانه و قطعات داخلی پمپ، معمولا دو طرف و یا حداقل یک طرف پوسته باز است و بوسیله در پوش های جلو و عقب، بوسیله پیچ و مهره بسته می شود .

پوسته چند تکه

پوسته در جهت های مختلفی می تواند برش داشته باشد. اگر صفحه برش در امتداد محور باشد پوسته را با برش افقی می گویند چون هر دو دهانه ورودی و خروجی پمپ در یک نیمه پوسته واقع هستند نیمه دیگر را برای بازرسی و تعمیرات داخلی پمپ بدون بر هم زدن یاتاقانها و لوله ها می توان برداشت. اگر صفحه برش، در انتداد قائم باشد، پوسته را با برش قائم گویند. اگر پوسته بوسیله دو صفحه متقاطع در امتداد شعاعهای پوسته برش بخورد به آن، برش اریب گویند .

بوش شافت (shaft sleeve)

شافت یکی از اجزاء گران قیمت پمپ می باشد و بنابراین باید از خرابی آن جلوگیری به عمل آورد برای محافظت شافت در مقابل ساییدگی، زنگ زدگی و خوردگی در قسمت های کاسه نمد و یاتاقانهای از بوش شافت که قابل تعویض می باشد، استفاده می کنند. بنابراین شافت سالم باقی می ماند و خرابی ایجاد شده تنها تاثیر خود را بر روی بوش شافت خواهد گذاشت .

رینگهای سایشی پروانه و پوسته (wear ring)

از رینگ های سایشی در نواحی که امکان تماس مستقیم پروانه و پوسته با هم وجود دارد استفاده می شود . در صورت فرسایش سطوح تماس، با تعویض رینگ ها می توان مشکل را حل کرد و نیاز به تعویض پروانه و پوسته نخواهد بود مهمترین کاربرد رینگ های سایشی پروانه و پوسته، جلوگیری از فرسایش مستقیم این دو قطعه است .

رینگ های سایشی استفاده شده در جلوی پروانه امکان بازگشت سیال را از دهانه discharge به دهانه suction به حداقل می رساند به پدیده برگشت سیال از دهانه discharge به دهانه recirculation , suction گویند. چون فشار discharge از فشار suction بیشتر است، سیال تمایل دارد که از فاصله ما بین پروانه و پوسته عبور نموده به دهانه suction وارد شود .

لقی مابین پروانه و پوسته در پشت پروانه باعث جریان یافتن سیال از discharge به پشت پروانه می شود . با تجمع سیال در پشت پروانه، فشار وارد به پشت پروانه (فشار discharge) از فشار وارد به جلوی پروانه (فشار suction) بیشتر شده و بنابراین نیروی محوری بر آن وارد خواهد شد. هر چه این gap کمتر باشد، میزان تجمع سیال کمتر خواهد بود. برای این منظور در پاره ای از موارد در پشت پروانه از رینگهای سایشی استفاده می شود. بنابراین دلیل دیگر استفاده از رینگ های سایشی، حداقل رساندن gap بین پشت پروانه و پوسته می باشد .

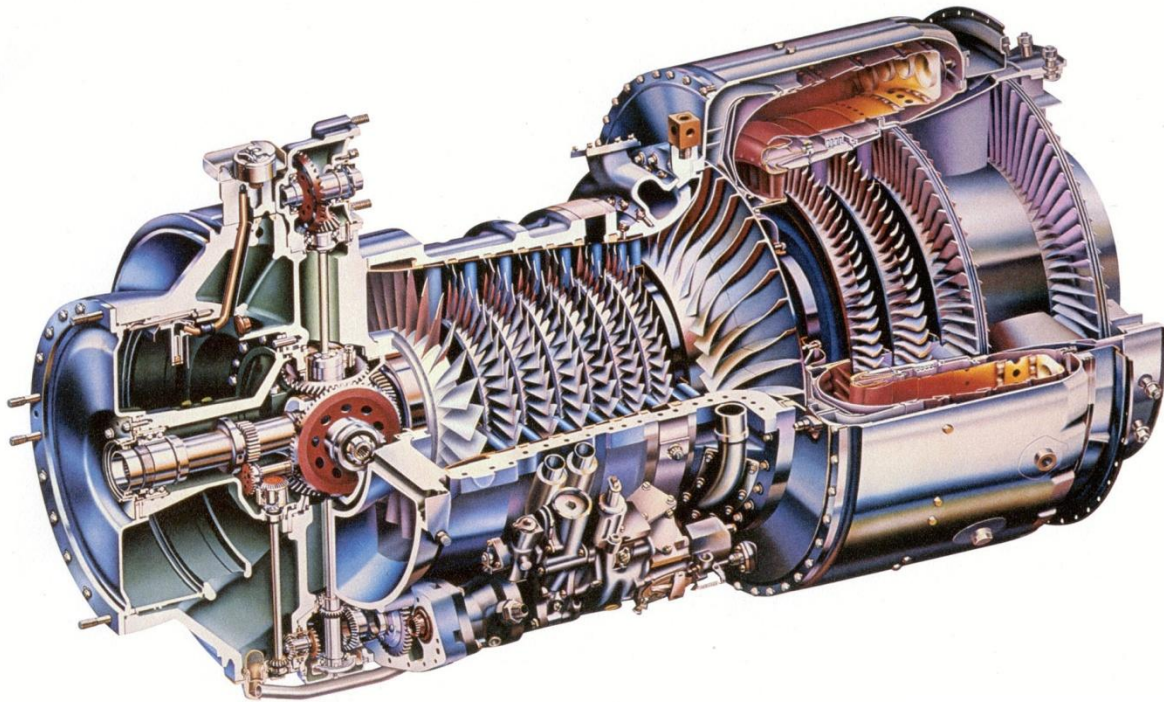
رینگهای سایشی پروانه و پوسته (wear ring)

رینگ های سایشی از نظر شکل ظاهری به سه دسته تقسیم می شوند:

۱- رینگهای سایشی ساده : این رینگها برای پمپ هایی با فشار کاری پایین استفاده می شود .

۲-رینگهای سایش L شکل: برای پمپ هایی با فشار کاری متوسط استفاده می شود .

۳-رینگهای سایشی پله ای: برای پمپ هایی با فشار کاری بالا استفاده می شود .



T55 TURBOSHAFT ENGINE
ALLIED SIGNAL ENGINES

A turboshaft engine is a form of gas turbine which is optimized to produce shaft power, rather than jet thrust.

In concept, turboshaft engines are very similar to turbojets, with additional turbine expansion to extract heat energy from the exhaust and convert it into output shaft power. They are even more similar to turboprops, with only minor differences and often a single engine is sold in both forms.

Turboshaft engines are commonly used in applications which require a sustained high power output, high reliability, small size, and light weight. These include helicopters, auxiliary power units, boats and ships, tanks, hovercraft, and stationary equipment.

Overview

A turboshaft engine may be made up of two major parts assemblies: the 'gas generator' and the 'power section'. The gas generator consists of the compressor, combustion chambers with ignitors and fuel nozzles, and one or more stages of turbine. The power section consists of additional stages of turbines, a gear reduction system, and the shaft output. The gas generator creates the hot expanding gases to drive the power section. Depending on the design, the engine accessories may be driven either by the gas generator or by the power section.

In most designs, the gas generator and power section are mechanically separate so they can each rotate at different speeds appropriate for the conditions, referred to as a 'free power turbine'. A free power turbine can be an extremely useful design feature for vehicles, as it allows the design to forego the weight and cost of complex multiple-ratio transmissions and clutches.

The general layout of a turboshaft is similar to that of a turboprop. The main difference is a turboprop is structurally designed to support the loads created by a rotating propeller, as the propeller is not attached to anything but the

engine itself. In contrast, turboshaft engines usually drive a transmission which is not structurally attached to the engine. The transmission is attached to the vehicle structure and supports the loads created instead of the engine. In practice, though, many of the same engines are built in both turboprop and turboshaft versions, with only minor differences.

An unusual example of the turboshaft principle is the Pratt & Whitney F135-PW-600 engine for the STOVL F-35B - in conventional mode it operates as a turbofan, but when powering the LiftFan, it switches partially to turboshaft mode to send power forward through a shaft (like a turboprop) and partially to turbojet mode to continue to send thrust to the rear nozzle.

Early turboshaft engines were adaptations of turboprop engines, delivering power through a shaft driven directly from the gas generator shafts, via a reduction gearbox. Examples of direct-drive turboshafts include marinised or industrial Rolls-Royce Dart engines.

History

The first gas turbine engines used for armoured fighting vehicle GT 101 were installed in Panther tanks in mid-1944.^[1] The first true turboshaft engine for helicopters was built by the French engine firm Turbomeca, led by the founder, Joseph Szydlowski. In 1948, they built the first French-designed turbine engine, the 100-shp 782. Originally conceived as an auxiliary power unit, it was soon adapted to aircraft propulsion, and found a niche as a powerplant for turboshaft-driven helicopters in the 1950s. In 1950, this work was used to develop the larger 280-shp Artouste, which was widely used on the Aérospatiale Alouette II and other helicopters.

Basics

A jet engine can be divided into several distinct sections: intake, compressor, diffuser, combustion chamber, turbine, and exhaust. These sections are much like the different cycles in a four-stroke reciprocating engine: intake, compression, power and exhaust. In a four-stroke engine a fuel/air mixture is brought into the engine (intake), compressed (compression), and finally ignited and pushed out the exhaust (power and exhaust). In it's most basic form, a jet engine works in much the same way.

- * Air comes in the front of the engine where it enters the compressor. The air is compressed by a series of small spinning blades aptly named compressor blades and leaves at a high pressure. The pressure ratio between the beginning and end of the compressor can be as much as 48:1, but almost always 12:1 or more.
- * The air now enters the diffuser, which is nothing more than an area where the air can expand and lower it's velocity, thus increasing its pressure a little bit more.
- * The high pressure air at the end of the diffuser now enters the combustion chamber where it is mixed with fuel, ignited and burned.
- * When the fuel/air mixture burns, the temperature increases (obviously) which makes the air expand.
- * This expanding gas drives a set of turbine blades located aft of the combustion chamber. At least some of these turbine blades are connected by a shaft to the compressor blades to drive them. Depending on the type of engine,

there may be another set of turbine blades used to drive another shaft to do other things, such as turn a propeller or generator.

* The left over energy not extracted by the turbine blades is pushed out the back of the engine (exhaust section) and creates thrust, usually used to drive an airplane forward.

The types of jet engines include:

- * Turbojet
- * Turbofan
- * Turboprop
- * Turbo shaft

Turbojet

The turbojet is the simplest of them all, it is just as described in "The basics" section. This style was the first type of jet engine to be used in aircraft. It is a pretty primitive style used mostly in early military jet fighters such as the F-86. Its use was discontinued, for the most part, in favor of the more efficient turbofans. Actually, I should clarify that. Each type of engine is most efficient under certain conditions. Turbojets are most efficient at high altitudes and speeds above the speed of sound. See the diagram at the end of this page for relative efficiencies of each style engine.

Turbofan

Turbofans make up the majority of jet engines being produced and used today. A turbofan engine uses an extra set of turbine blades to drive a large fan, typically on the front of the engine. This fan differs from a propeller in that there are many small blades and they are inside of a duct. The fan sits just in front of the normal intake, some of the air driven by this fan will enter the engine, while the rest will go around the outside. The amount of air that bypasses the engine is different for each type of airplane. The different styles are called high and low bypass engines. Bypass ratio is the ratio of how much air goes through the fan, to how much goes through the engine. Typical bypass ratios would be 1:1 for a low bypass and 5:1 or more for a high bypass. Low bypass engines are more efficient at higher speeds, and are used on planes such as military aircraft, while high bypass engines are used in commercial airliners.

Turboprop

Turboprops are similar to turbofans in that they incorporate an extra set of turbine blades used to drive the propeller. Unlike the turbofan engines, nearly all the thrust produced by a turboprop is from the propeller, hardly any thrust comes from the exhaust. These engines are used mostly on smaller and slower planes such as commuter aircraft that fly to the smaller airports. As you can see from the efficiency chart below, turboprops are very efficient over a fairly wide range of speeds. They would probably be used more often on large transport aircraft, except for one problem: they have propellers. The general public does not like propellers, as they appear to be old-fashioned and unsafe. However, the military knows better and uses them on several large

transport aircraft.

Turbo shaft

Turbo shaft engines are very similar to turboprop engines, but instead of driving a propellor, they are used to drive something else. Many helicopters use them to drive their rotors, and airliners and other large jets use them to generate electricity. Also, the Alaska Pipeline uses them at the pump stations to pump oil.

Overall

Overall the big difference between these engines is how they take a chunk of air and move it. Newton's third law states that Force equals mass times acceleration. Applying this to turbine engines: the turboprop takes a large chunk and accelerates it a little bit, while the turbojet takes a small chunk and accelerates the heck out of it, and the turbofan is somewhere in between these two.

These different methods of moving air also have to do with how much noise each engine makes. The turbojet makes the most noise because there is a large difference in velocities of the blast of air coming out the exhaust and the surrounding air. The air from the fan on a turbofan engine "shields" the blast in the center by having the slower moving air from the fan surround it. Then the turboprop is the quietest of all because the air it's moving is relatively slow.

A pressure - volume diagram (or a P-V diagram) is a useful tool in thermodynamics. In this case, it relates the pressure and volume of the gas moving through the engine at different stages. A P-V diagram can also be helpful in finding the work output of an engine. Work equals the integral of pressure with respect to volume. Or in simpler form, work equals the area enclosed in the diagram above. The above cycle is the Brayton cycle, or the cycle used by aircraft gas turbine engines.

Explanation of the above cycle:

- * Air enters the inlet at point 1 at atmospheric pressure.**
- * As this air passes through the compressor (from point 1 to 2), the pressure rises adiabatically (no heat enters or leaves the system).**
- * Now the air enters the combustion chamber (from point 2 to 3), is mixed with fuel, and burned at a constant pressure.**
- * Finally, the air goes through the turbine and out the exhaust (point 3 to 4) where the gases expand and do work. Thus, the pressure drops and the volume increases.**

The Compressor

There are two main styles for turbine compressors: the axial and the centrifugal.

The Axial Compressor

- * The axial type compressor is made up of many small blades, called rotor vanes, arranged in rows on a cylinder whose radius gets larger towards the back (as can be seen from the above picture). These blades act much like small propellers.**
- * In between these rotor vanes are stator vanes which stay in a fixed spot and straighten the air coming out of the previous stage of rotor vanes before it enters the next stage.**
- * On some newer engines, the angle of these stator vanes can be adjusted for optimum efficiency.**
- * Each stage (1 row of rotor and stator vanes) generally provides for a pressure rise of about 1.3:1 (so after the first stage, the pressure would be 1.3 above atmospheric, after the second it would be 1.69, 2.2, etc...).**

The Centrifugal Compressor

- * Air enters the centrifugal compressor at the front and center. The blades then sling the air radially outwards where it is once again collected (at a higher pressure) before it enters the diffuser.**
- * Pressure rise per stage is usually about 4 to 8:1 (higher than axial). These can be combined in series (that is the exit of the first leads to the entrance of the next) to produce a greater pressure rise. But more than two stages is not practical.**

Misc. Compressor Stuff

- * The axial and centrifugal compressor described above can be combined together with the axial compressor in front.**

- * The horsepower required to drive a compressor is very large. The formula for figuring this out is:

$$HP = C_p \times (T_2 - T_1) \times W_a \times 1.414$$

Where C_p is the specific heat of air, $(T_2 - T_1)$ is the change in temperature across the compressor, and W_a is the airflow through the compressor in pounds /sec.

A typical example is the JT-9 used on 747's.

$$HP = .24 \times 670(\text{deg F}) \times 247(\text{lbs/sec}) \times 1.414$$

$$HP = 56160 \text{ horsepower, assuming 100 percent efficiency}$$

- * The compressor can be tapped near the end to provide pressurized heated air to other systems of the airplane. Most planes use this "bleed air" for pressurizing and heating the cabin. Also, many pump it through the leading edge of the wings to melt ice during icing conditions. This reduces the efficiency of the compressor some, but is usually not much of a factor.
- * An engine running at take off power can consume more than 2000 pounds of air per second. That's about 27000 cubic feet of air/second (at atmospheric pressure and 70 deg F). $PV = mRT \Rightarrow V = mRT / P = (2000\text{lbm} \times 0.3704(\text{psia} \times \text{ft}^3/\text{lbm} \times R) \times (70 + 460)\text{deg R}) / (14.7 \text{ psia}) = 26709 \text{ ft}^3$.

Miscellaneous

- Jet engines are rated in "pounds of thrust," while turboprops and turboshaft engines are rated in "shaft horsepower" (SHP). This is because it is difficult to hook up a dynamometer (power measuring device) to the column of air coming out of a jet engine, while it is easy to hook one to the shaft of a

turboprop.

- An equivalent measure to horsepower is thrust horsepower (THP). $THP = (\text{Thrust} \times \text{MPH}) / 375$. or $THP = SHP \times 80\%$ in the case of turboprop engines (the 80% is because the propeller "slips" a little in flight).
- Exhaust gases exit the exhaust at upwards of 1000 mph or more and can use 1000 gallons of fuel/hour or more.
- Turbine engines run lean. Unlike gasoline engines, turbines take in more air than they need for combustion.
- Fuel can be injected into the exhaust section to burn with this unused air for extra thrust. This is called an afterburner.
- A water/methanol mixture can be injected into the intake to increase the air density, and thus increase thrust.
- Turbine engines can be built on a small scale as well. The turbine pictured below has a diameter of 4mm and runs at 500,000 rpm. It was built by at MIT for purposes of powering an aircraft with a wing span of about 5 inches that was projected to fly about 35 - 70 mph with a range of about 40 - 70 miles.

micro turbine

- The ignition system on turbine engines is only necessary for starting, afterwards it is self sustaining. In jets, the ignition system is also turned on for

added safety in "critical" stages of flight, such as takeoff and landing.

- A device similar to a spark plug is used for the ignition process, but it has a larger gap. The spark is about 4 to 20 Joules (watts/second) at about 25000 volts and occurs between 1 and 2 times per second.

- Turbine engines will run on just about anything, they prefer Jet-A (AKA diesel, kerosene, or home heating oil), but can burn unleaded, burbon, or even very finely powdered coal!

- The above snowmachine uses an Allison turbine engine, a very common engine in helicopters (such as the Bell 206 Jet Ranger shown below). A lot of horsepower can be put into a small package! Note the intake and compressor are at the front of the engine, then the two side tubes take the compressed air and bring it around back to the combustion chamber and turbine and the exhaust exits out the middle. There are many engines out there with strange configurations like this.

Not only connected to the compressor turbine. Like turboprop engines, the most turboprop several distinct classes of turbines, compressors, which are more energy through separate Shfty gear to change to the proper torque is transferred will then be used. For example, the helicopter rotor blades rotate.

Helicopters or other aircraft at much lower altitudes where dust, sand and other small garbage can easily be sucked into the engine, will work. To resolve this problem, most Turboprop engines to parse an incoming stream of particles that are smooth and before the compressor, dust pours out, equipped

Pump torque transfer during launch and during the creation and implementation support for the propeller shaft is rotating pump shaft pump of the main tasks is detrimental affect 5 factors:

1 - tension, torsion (torsion stress)

2 - bending stress (bending stress)

3 - axial stress (axial stress)

4 - vibration (vibration)

5 - critical speed (critical speed)

To counteract the damaging factors, different methods are adopted. The axial force Brshaft example using the License balancing holes, using impeller blades on the back plate, balance, and balance piston is removed. Also listed Brrvshhay to eliminate axial force Drpmp Rotary bearings are always round or trust bearing is used as the primary purpose of using these bearings is to protect the shaft against axial loads.

Crust

Bolts are closed.

A) dividing the shell geometry:

Conch shell forms (volute)

The shell of the snail-shaped cross-section so that the tab to pipe output increases. Syalps exit permit to be discharged into the shell.pressure is created around the propeller. Again, in the form of snail shells, a somewhat reduced rate, even pressure distribution around the impeller optimize Drrandman not uniform. So we can say that the percentage of the pressure generated by the pumps helix-shaped shell is created. The radial force due to the uneven distribution of pressure Crust Radial force is called the butterfly comes around. There radial force may lead to erosion Vpvsth propeller, bearings and mechanical seal failure or some other problem is the pump.

In some cases, radial or radial force to counteract the force of the larger bearings withstand higher radial load can be injection molded, are used. Methods for radial force to thwart the use of double hull or double volute are two Volute Double Snail Tshkti 180 degree arc from the starting point of the second helix, 180 degrees from the original starting point Asht snails.

Inkjet shell

a. spokes radial flow jet Drpmp rarely used and most widely used of a class in a class of high-pressure pumps are vertical turbine pumps.

B) divided by the number of shell sections:

Crustal accretion

Crust

Centrifugal pumps are often integrated into the main body of a floor is poured. In order to mount the pump impeller and internal parts, usually at least two sides or one side of the shell is covered by the front and rear by the bolt is Mhrhbsth.

Some shell fragments

pressing bearings and tubes can be removed., if the shear plane, the vertical Antdad is called vertical skin incision. though shell by shell radii along two cross-sections down to it, say an oblique incision.

Bush shaft (shaft sleeve)

Component of the pump shaft is expensive and therefore the failure to prevent the shaft to protect against wear, rust and corrosion, part of a replaceable shaft seal and bearings from Bush is to use. Therefore remain healthy shaft Vkhrraby created will only impact Rabrrvy Bush shaft.

Impeller and casing wear rings (wear ring)

The possibility of direct contact between the impeller and casing wear Azryng areas are used together. If erosion surfaces, Batvyz rings can solve your problem and will need to replace the impeller and casing wear rings and

impeller main application shell, to avoid direct ablation of the two pieces.

Impeller wear rings are used on the front allowing the fluid to discharge from the mouth to the mouth of the suction phenomena back to minimize the discharge of fluid from the mouth of the bay recirculation, suction say. Such as discharge pressure, suction pressure is higher, the distance between the impeller and casing fluid tends to flow into the suction nozzle.

Clearance between the impeller and the casing behind the impeller discharge flow of fluid from the back of the license. Fluid accumulation behind impeller, the impeller back pressure (pressure (discharge Azfsharvard the front fan (pressure (suction will be greater and so the axial force on it. Matter what the gap is less than the amount of fluid accumulation., For the In some cases, used to wear back Azryng·hay butterflies. so another reason to wear the ring, minimizing the gap between the impeller and the casing is.

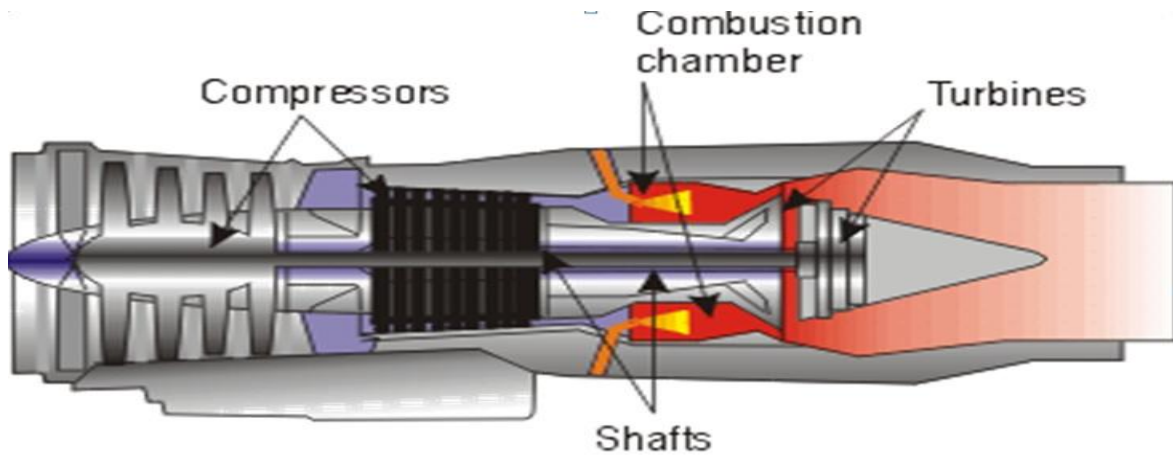
Impeller and casing wear rings (wear ring)

Wear rings the shape are divided into three categories:

1 - the simple fricative rings: the ring for the pump working pressure is low.

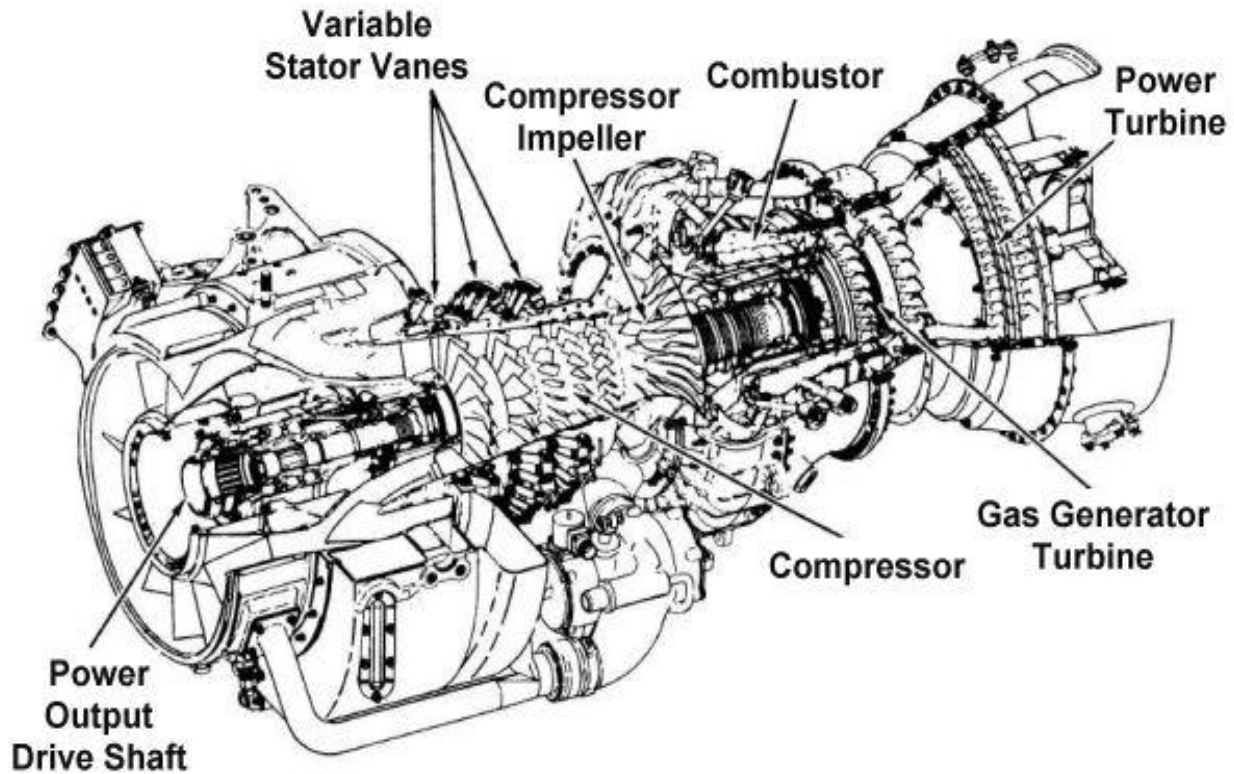
2 - L-shaped wear rings for pump with pressure medium used.

3 - Step-wear rings for pump with high pressure is used



Turboshaft and Turboprop

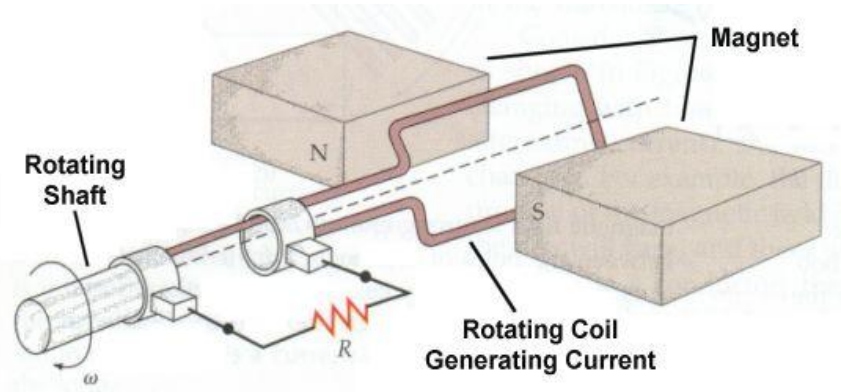
This question makes reference to two past articles discussing the types of jet engines and the turboprop. We have seen that both the turboprop and the turboshaft are types of jet engines because they use the gas turbine cycle. A gas turbine engine works by combusting a mixture of air and fuel to generate a high-speed exhaust. As this exhaust escapes, it passes through a series of blades called a turbine causing the blades to rotate. This rotation converts the thermal energy of the exhaust gases into mechanical energy.



Schematic of a turboshaft engine

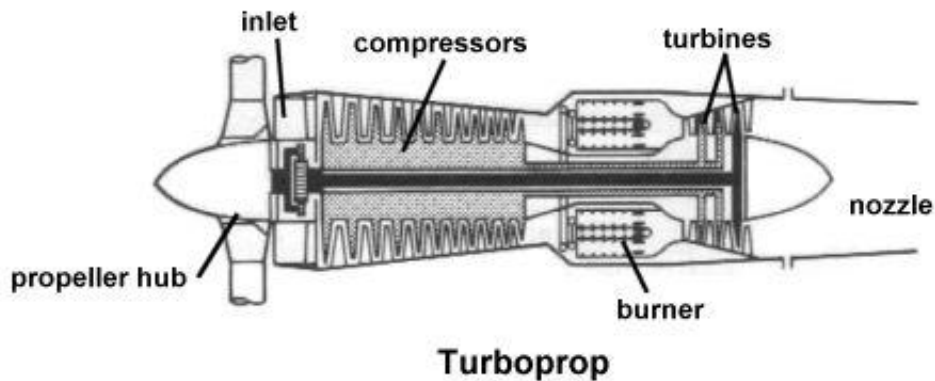
The turboshaft engine receives its name from the fact that this rotation is used to turn a shaft of some kind. In the aerospace field, the turboshaft engine is used on helicopters. The rotating shaft of the engine is used to turn the rotor blades that provide lift and forward motion of the vehicle. However, this application is only one of many to which the turboshaft has been applied. The power industry also makes use of turboshaft engines to generate electricity. In this case, the rotating shaft is used to rotate a coil through a magnetic field to generate electrical current. Turboshafts are also used in ships and boats

where the rotating shaft turns the vehicle's propeller. Turboshfts can even be used on ground vehicles, particularly military tanks and some racecars.



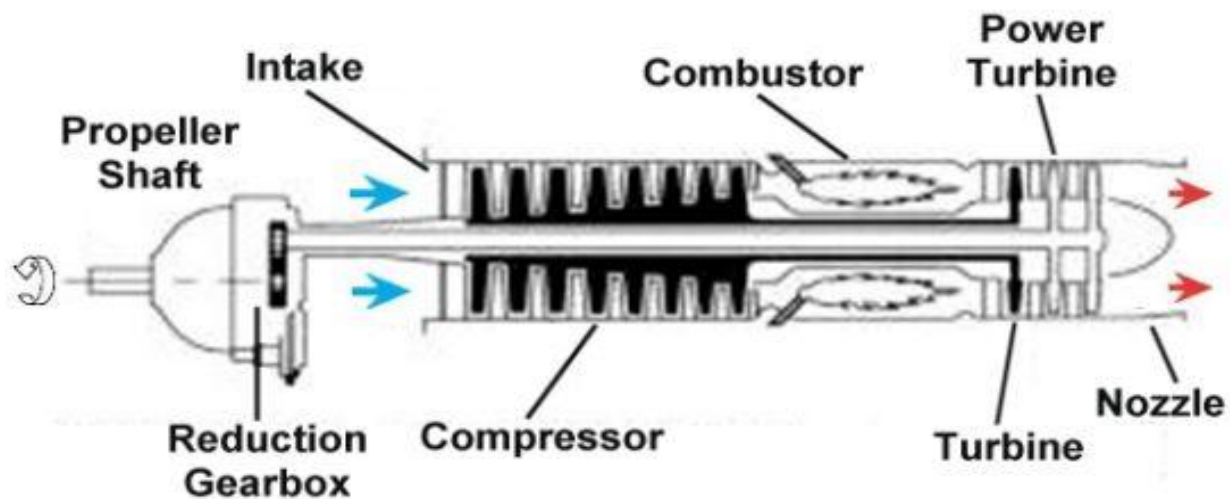
Schematic of an electrical generator

You are correct that there is a strong relationship between the turboshaft and another type of jet engine called the turboprop. The turboprop also uses a gas turbine core to turn a shaft. However, the turboprop gets its name from the fact that the shaft is connected to an aircraft propeller causing it to turn. Nevertheless, you are incorrect in saying that a turboprop must have a direct connection to the propeller. Perhaps your confusion is based on the following example provided in one of our previous explanations about this subject. This particular design does indeed illustrate a propeller that is directly connected to the engine shaft.



Schematic of a turboprop engine

However, most turboprops, like that below, are not directly connected. The engine shaft is instead attached to a gearbox that is connected to the propeller. This system includes reduction gears that allow the engine shaft and propeller to spin at different rates.



Schematic of a turboprop engine with a gearbox

It would be incorrect to call these engines turboshafts just because of how the engine shaft and propeller are connected. Any jet engine that turns a

propeller is called a turboprop for that reason. However, it is correct to say that the turboprop is a subcategory or variant of the more generic class of engines known as turboshafts. In fact, a turboshaft is defined as any type of gas turbine engine that turns a shaft connected to something other than an aircraft propeller.

Jet Engine Types

Can you explain how various jet engines work, including the turbojet, turbofan, turboprop, and turboshaft?

In particular, what is the difference between a turbojet and a turbofan and which is more efficient?

The term "jet engine" is often used as a generic name for a variety of engines, including the turbojet, turbofan, turboprop, and ramjet. These engines all operate by the same basic principles, but each has its own distinct advantages and disadvantages. All jet engines operate by forcing incoming air into a tube where the air is compressed, mixed with fuel, burned, and exhausted at high speed to generate thrust.

The key to making a jet engine work is the compression of the incoming air. If uncompressed, the air-fuel mixture won't burn and the engine can't generate any thrust. Most members of the jet family employ a section of compressors, consisting of rotating blades, that slow the incoming air to create a high pressure. This compressed air is then forced into a combustion section where it is mixed with fuel and burned. As the high-pressure gases are exhausted, they are passed through a turbine section consisting of more rotating blades.

In this region, the exhausting gases turn the turbine blades which are

connected by a shaft to the compressor blades at the front of the engine. Thus, the exhaust turns the turbines which turn the compressors to bring in more air and keep the engine going. The combustion gases then continue to expand out through the nozzle creating a forward thrust. The above explanation describes a simple turbojet, as illustrated below.

Diagram of an axial-flow turbojet

The turbojet (and the turbofan) can also be fitted with an afterburner. An afterburner is simply a long tube placed in between the turbine and the nozzle in which additional fuel is added and burned to provide a significant boost in thrust. However, afterburners greatly increase fuel consumption, so aircraft can only use them for brief periods.

Comparison of a turbojet and a turbojet with an afterburner

A further variation on the turbojet is the turbofan. Although most components remain the same, the turbofan introduces a fan section in front of the compressors. The fan, another rotating series of blades, is also driven by the turbine, but its primary purpose is to force a large volume of air through outer ducts that go around the engine core. Although this "bypassed" air flow travels at much lower speeds, the large mass of air that is accelerated by the fan produces a significant thrust (in addition to that created by the turbojet core) without burning any additional fuel. Thus, the turbofan is much more fuel efficient than the turbojet. In addition, the low-speed air helps to cushion the noise of the jet core making the engine much quieter.

Comparison of a low-bypass turbofan with long ducts and a high-bypass turbofan with short ducts

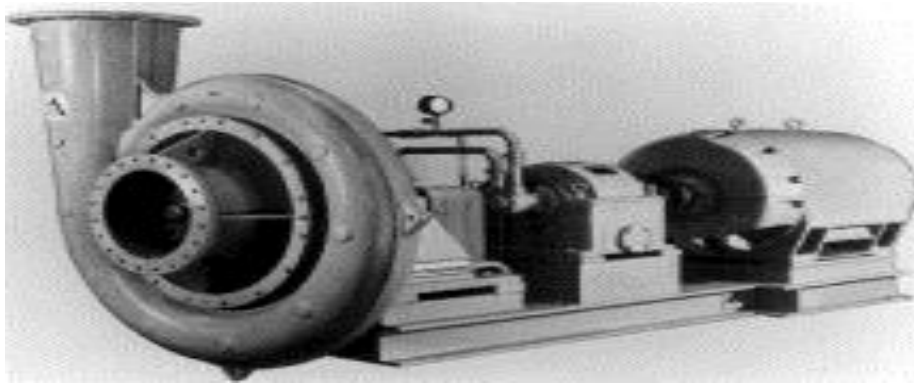
Turbofans are typically broken into one of two categories--low-bypass ratio and high-bypass ratio--as illustrated above. The bypass ratio refers to the ratio of incoming air that passes through the fan ducts compared to the incoming air passing through the jet core. In a low-bypass turbofan, only a small amount of air passes through the fan ducts and the fan is of very small diameter. The fan in a high-bypass turbofan is much larger to force a large volume of air through the ducts. The low-bypass turbofan is more compact, but the high-bypass turbofan can produce much greater thrust, is more fuel efficient, and is much quieter.

A concept similar to the turbofan is the turboprop. However, instead of the turbine driving a ducted fan, it drives a completely external propeller. Turboprops are commonly used on commuter aircraft and long-range planes that require great endurance like the P-3 Orion and Tu-95.

Schematic of a turboprop engine

The turboprop is attractive in these applications because of its high fuel efficiency, even greater than the turbofan. However, the noise and vibration produced by the propeller is a significant drawback, and the turboprop is limited to subsonic flight only. In a typical turboprop, the jet core produces about 15% of the thrust while the propeller generates the remaining 85%.

Another noteworthy variation on the turbojet is the ramjet. The idea behind this type of engine is to remove all the rotary components of the engine (i.e. fans, compressors, and turbines) and allow the motion of the engine itself to compress incoming air for combustion.



Simple schematic of a ramjet

However, the price of this simplicity is that the ramjet can only produce thrust when it is already in motion. Instead of using a compressor to draw in air and compress it for combustion, the ramjet relies on the motion of the aircraft to ram air into the engine at high enough speed that it is already sufficiently compressed for combustion to occur. Since ramjets typically cannot function until reaching about 300 mph (485 km/h) at sea level, they have been rarely used on manned aircraft. However, the ramjet is more fuel efficient than turbojets or turbofans starting at about Mach 3 making them very attractive for use on missiles. Such missiles are typically launched using rocket motors that accelerate the vehicle to high-subsonic or low-supersonic speeds where the ramjet is engaged.

Finally, let us talk briefly about the turboshaft, a version of the jet engine that powers nearly every helicopter built today. As the below image illustrates, the turboshaft utilizes many of the same components as a turbojet.

Schematic of a turboshaft engine

Air is drawn in through an inlet, compressed by low- and high-pressure compressor blades, mixed with fuel and burned in a combustion chamber, passed through turbine blades, and exhausted through a nozzle. The key difference between the turboshaft and previously discussed engines is that the turbine not only drives the compressors, but the shaft is also connected to a gear box that drives a helicopter's rotor blades. Although the engine shaft rotates about the horizontal, the gear box contains a sequence of gears that transform that motion to a rotation about the vertical axis as required by a helicopter main rotor. Helicopters also typically operate at much lower altitudes than aircraft where dust, sand, and other debris can easily be sucked into the engine. To address this problem, most turboshaft engines are equipped with a particle separator that filters out and expels the unwanted dust before the air flow reaches the compressor.

Schematic of a turboshaft engine particle separator

While the turboprop is still popular on aircraft where low fuel consumption is vital, nearly all aircraft today employ some version of the turbofan, usually high-bypass turbofans. The high thrust, low fuel consumption, and low noise levels of these engines make them well-suited to both military and commercial applications. Today, about the only use for turbojets and ramjets is in missiles. Air-breathing, long-range, subsonic missiles like the Tomahawk use turbojets since these are small, relatively low-cost systems that provide much greater range than is possible with a rocket of comparable size. Ramjets find

applications on air-breathing, long-range, supersonic missiles for similar reasons. Turboshfts, of course, have displaced the piston engine as the primary powerplant used on helicopters. To continue learning more about aircraft propulsion, be sure to check out NASA's Learning Guide on Propulsion for a wealth of information, animations, and interactive applets about rockets, propellers, ramjets, and gas turbine engines.

The End