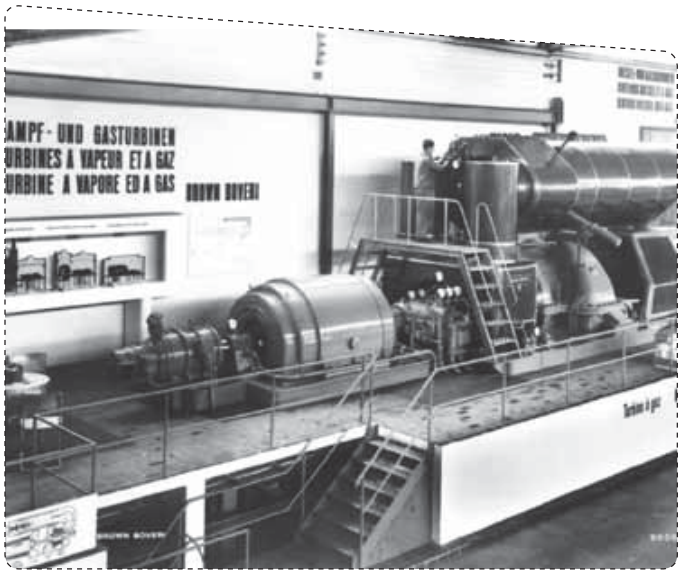
صنعت نفت
Oilindustry.ir
CLICK HERE

توربین گازی Gas Turbine

تهیه و تنظیم: مهندس مهدی دریجانی

درقرن اول میلادی ریاضیدان مصری، هرون الکساندریا (Heron of Alexandria)، اولین توربین بخار را اختراع نمود، این توربین ساختمان ساده‌ای، مشابه شکل ۱ داشت. او این توربین را Aeolipile نامید. این ریاضیدان مخترع اولین سازنده توربین بادی نیز محسوب می گردد، در همین دوران چینی‌ها نیز از توربین بادی (Wind Turbine) استفاده می کردند. علاوه برآن در سال ۱۲۳۲ میلادی، چینی‌ها راکت را اختراع کردند که در آن مشابه توربین گازی از نیروی عکس‌العمل برای ایجاد نیروی رانش استفاده می‌شد. لئوناردو داوینچی (Leonardo Da Vinci) در سال ۱۵۰۰ میلادی میلادی طرحی از یک توربین که در آن، چرخش توسط برخورد گازهای داغ به پره‌های متصل به یک صفحه، ایجاد می‌شد، را رسم کرد. درسال ۱۶۸۷ میلادی سر ایزاک نیوتن (Sir Isaac Newton) تئوری پیشرانش را با ارائه قوانین معروف خود بیان کرد، این قوانین و پیشرفت در حوزه فیزیک‌نظری کمک زیادی به پیشرفت طراحی و ساخت توربین‌های بخار و گازی نمود. در این دوره طولانی، تا سال ۱۷۹۱ میلادی ساخت توربین بخار (Steam Turbine) پیشرفت قابل توجهی داشت، اما پیشرفت زیادی در طراحی و ساخت توربین گازی روی نداد، تا اینکه جان باربر (John Barber) طرحی را پیشنهاد داد که آن طرح بسیار شبیه توربین‌های گازی امروزی می‌باشد و از کمپرسور، محفظه احتراق و بخش توربین تشکیل شده است. دراین میان (Benoît Fourneyron) در سال ۱۸۲۷ میلادی اولین توربین آبی عملی جهان را با توان ۴/۵ کیلو وات ساخت. درسال ۱۹۰۳ میلادی مخترع نروژی (Ægidius Elling)، اولین توربین و کمپرسورهم‌محور با توان ۱۱ اسب‌بخار را اختراع نمود. این اختراع مهم، پایه اختراعات سر فرانک ویتل (Sir Frank Whittle) در زمینه توربین می‌باشد، او که به عنوان پدر موتور جت شناخته می‌شود، اولین کسی است، که توربین گازی(موتورجت) را بر روی هواپیمای (British Gloster) نصب کرد و پایه‌گذار استفاده از این نوع موتور در هواپیما می‌باشد. در ادامه ساخت این نوع‌موتور، جنرال‌الکتریک [GE[General Electric درسال ۱۹۱۸میلادی بخش توربین گازی و موتورجت را تاسیس نمود، این شرکت به‌همراه (Rolls-Royce) و (Pratt & Whitney) از شرکت‌های پیشرو و بزرگ سازنده موتورهای هواپیما(جت) در سطح جهان می‌باشد. تا قبل از سال ۱۹۳۹ میلادی بازده توربین گازی در حد ۳ درصد بود. براون باوری (Brown, Bavery & Cie) در این سال مدل جدیدی از توربین گازی را ابداع کرد که با بازده مناسب و توان حدود ۴MW باعث تحول اساسی در ساخت توربین گازی شد و این تجهیز پرکاربرد را وارد عصر جدیدی کرد. این توربین در یک نیروگاه برق در کشور سوئیس نصب گردید. این نیروگاه اولین نیروگاه توربین گازی جهان به شمار می‌آید. در سال ۱۹۴۹ میلادی توربین گازی با قدرت ۱/۳۴MW توسط Westinghouse و توربین گازی با قدرت ۳/۵MW توسط General Electric در آمریکا برای تولید برق ساخته و به بهره‌برداری رسید. در ایران نیز توسط آلستوم در منطقه طرشت تهران در سال ۱۹۶۴ میلادی اولین نیروگاه گازی تاسیس شد. از دهه ۱۹۶۰ میلادی به بعد استفاده از توربین‌های گازی در صنعت نفت و گاز به سرعت گسترش یافت و با

شکل ۱

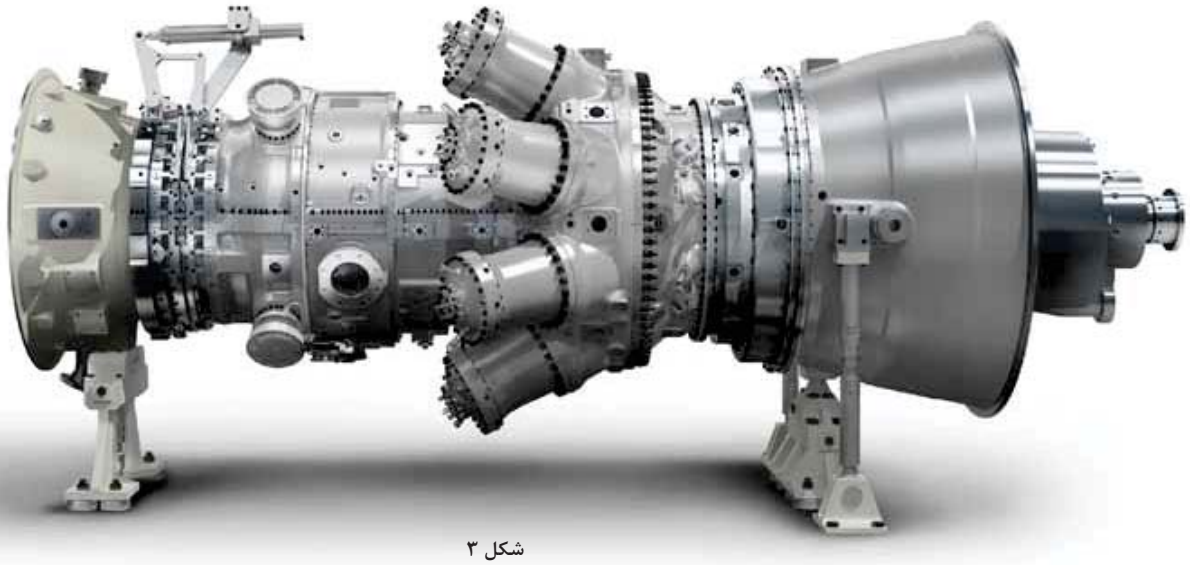


شکل ۲

پیشرفت در ساخت آلیاژهای فلزی و توسعه سرامیک‌ها و همچنین پیشرفت سیستم کنترل و تجهیزات ابزاردقیق و همچنین تکامل روش‌های پیشرفته احتراق، به تدریج ابعاد توربین‌های گازی کاهش یافتـه، راندمان آنها افزایش یافته و عمر تجهیزات اصلی نظیر پره‌ها افزایش یافته اسـت. ساخت توربین گازی با قدرت ۳۷۵MW توسط زیمنس اوج پیشرفت در این فناوری را نشـان می‌دهد، این درحالی است که توربین‌های با عمر بیش از ۴۰ سال هنوز به خوبی در صنعت نفت ایران در حال کار می‌باشـند. درسـال‌های اخیر تمرکز تلاش بخش توسـعه و تحقیق شـرکت‌های عمده تولیدکننده توربیـن گازی علاوه بر بهبود راندمان و افزایش عمر تجهیزات، معطوف کاهش تولیدگازهای آلاینده، اسـتفاده از سـوخت‌های جایگزین و افزایش نسـبت قدرت بـه وزن این تجهیز بوده اسـت. در سال‌های اخیر، توسعه فناوری‌هایی نظیر Dry Low Emissions (DLE) Combustion یا فناوری مشـابه Lean Burn Combustion باعث شـده میزان گازهای آلاینده به میزان زیادی از گازهای اگزوز توربین‌ها حذف گردد. نکته مهم در اهمیت استفاده از این فناوری‌ها این است که گاز فلر ممکن است حاوی مقدار زیادی H_2S و CO یا نیتروژن باشد. آزادسازی حجم زیادی از این ترکیبات برای محیط زیست بسیار خطرناک می‌باشند، این در حالی که سوخت توربین‌های اغلب CNG ، گازوئیل یا کروسـین می‌باشد، که در صورت سوختن کامل، آلایندگی زیادی نخواهند داشـت. یکی از توانایی‌های محفظه احتراق در نسل جدید توربین‌های، احتراق به روش DLE می‌باشـد. در این روش احتراق، با انتخاب دمای مناسب و تنظیم دمای محفظه احتراق در این درجه حرارت، کمترین میزان CO و NOx تولید می‌شـود. به عنوان مثال توربین بسـیار بـزرگ SGT-8000 به میزان ۲۵ppm اکسـیدنیتروژن و ۱۰ppm مونواکسیدکربن تولید می‌کند. امروزه هواپیماها، بالگردها، کشـتی‌ها نیروگاه‌های گازی، ایسـتگاه‌های انتقـال نفت و گاز، پالایشـگاه‌ها، مجتمع‌های پتروشیمی و ... بازار عظیمی برای این این تجهیز می‌باشـند. با اقتصادی شـدن مینی و میکروتوربین‌ها در سـال‌های آینده شاهد گسترش استفاده از این نوع توربین‌ها خواهیم بود.

توربین Turbine

توربین، ماشـین دواری اسـت که انرژی موجود در جریان یک سـیال را بـه کارمفید تبدیل می‌کنـد. Claude Burdin در سـال ۱۸۲۸ میلادی واژه (Turbine) را از واژه لاتیـن *turbo* بـه معنای «چرخنده» اسـتخراج و به کار برد. توربین‌ها قدرت چرخشی یا قدرت رانشی (Thrust) یا ترکیبی از این دو را تولید می‌کننـد. در حالت اول توربیـن از محفظه احتراق و تعـدادی پره و یک محور تشـکیل می‌شـود و در حالت دوم توربین از محفظه احتراق و یک مجرای خروج گازهای داغ تشکیل می‌شود. پره‌ها با اعمال نیرو توسط سیال‌های مختلفی می‌توانند حرکت کرده و محور را بگردانند. این سیال می‌تواند جریان آب، بخارآب، جریان داغ ناشـی از سوختن هیدروکربورها، جریان گازطبیعی و جریان باد باشد. از هریک از این سـیالات به ترتیب در توربیـن آبـی (Hydro turbine) توربین بخار (Steam turbine)، ، توربین گازی (Gas turbine) و توربین بادی (Wind turbine) اسـتفاده می‌شـود. از توربین‌های آبی، بخار و بادی عموماً برای تولید برق اسـتفاده می‌شود. از توربین گازی علاوه بر تولید برق، در هواپیماها، بالگردها، کشـتی‌ها وصنایع برای تولید نیروی محرکه به صورت گسـترده اسـتفاده می‌شـود. توربین‌های گازی اشـاره شـده ازجریان گازداغ حاصل از احتراق یک هیدروکربور مایع یا گاز استفاده می‌کنند و با نام توربیـن احتراقـی (Gas Combustion Turbine) نیز شـناخته می‌شـوند. نوع دیگری از توربین گازی را با نام توربین انبساطی (Gas Expansion Turbine) می‌شناسند و از جریان گازطبیعی برای چرخش استفاده می‌کند. این نوع توربین، مناسب ایستگاه‌های کاهش فشار گاز می‌باشـد. برخی از شرکت‌ها این نوع توربین را به همراه ژنراتورمتصل شده به آن ارائه می‌کننـد که ضمن کاهش فشـار گازطبیعی قادر به تولید انـرژی الکتریکی نیز خواهد بود. توربین‌های مورد اسـتفاده در صنعت یا تولیدبرق غالباً از گازطبیعی به عنوان سوخت استفاده می‌کنند ضمن آنکه این توربین‌ها می‌توانند از پروپان، سـوخت‌های مایع نظیر نفت سـفید یا گازوئیـل و سـوخت‌های تجدیدپذیر نظیـر Biodiesel, E85 و Eiogas نیز اسـتفاده نمایند. توربین‌هـای مورد اسـتفاده در صنعت هوانوردی غالباً از سـوخت‌مایع اسـتفاده می‌کنند. در سـال‌های اخیـر تـلاش فراوانـی برای

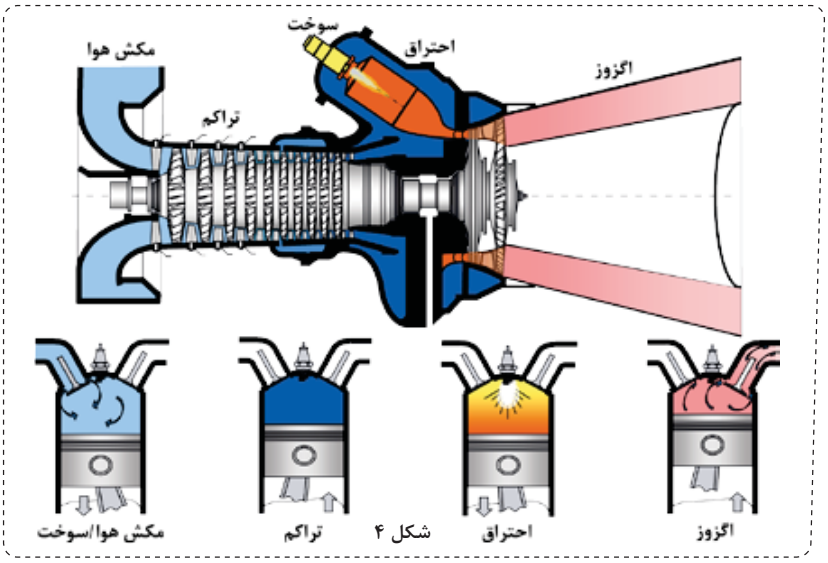


شکل ۳

استفاده از سایرسوخت‌ها نظیر GTL ، متانول و LNG شده است و به صورت آزمایشی در تعدادی هواپیما از این سوخت‌ها استفاده شده است. علیرغم پیشرفت و توسعه موتورهای گازسوز صنعتی، همچنان توربین‌های گازی در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی دارای کاربرد گسترده می‌باشند. نسبت توان تولیدی به وزن، دوام و قابل اعتماد بودن عملکرد به همراه پیشرفت در فناوری ساخت پره، بیرینگ‌ها، سیستم احتراق و سیستم کنترل و افزایش بازده باعث باقی‌ماندن توربین‌های گازی در صحنه رقابت با موتورهای گازسوز شده است.

توربین گازی، ماشین حرارتی است که انرژی حرارتی حاصل از احتراق یک سوخت مایع یا گاز را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند. در این ماشین ابتدا انرژی پتانسیل شیمیایی سوخت تبدیل به گرما شده و سپس این انرژی گرمایی به انرژی جنبشی مکانیکی تبدیل می‌شود. در توربین گازی و انواع دیگر ماشین‌های حرارتی فقط بخشی از انرژی گرمایی به مکانیکی تبدیل می‌شوند و مابقی آن به هدر می‌رود. شکل ۴ توربین گازی را با موتورچهار زمانه مقایسه نموده است. سیکل‌های این دو ماشین شبیه هم می‌باشد تفاوت اصلی آنها در پیوستگی این ۴ فرایند می‌باشد. پیوستگی این فرایندها باعث می‌شود تا کارکرد توربین گازی با لرزش و ضربه کمتری همراه باشد. راندمان در توربین‌های گازی، پایین و بین ۲۵ تا ۳۷ درصد می‌باشد. به عنوان مثال راندمان توربین ۶۰۰ SGT زیمنس با توان تقریبی ۲۵MW در حدود ۳۴/۲ درصد می‌باشد. اما توربین‌های نسل جدید به ویژه در سایزهای بالا دارای راندمان بهتری در حد ۳۹/۸ درصد می‌باشند. برای افزایش راندمان کلی توربین و جلوگیری از اتلاف انرژی این توربین‌ها را در سیکل ترکیبی توربین گازی (Combined Cycle Gas turbine) به کار می‌گیرند. در این حالت بازده تا حد ۶۰ درصد می‌تواند افزایش یابد، ضمن آنکه انرژی حرارتی باقی مانده نیز هنوز به مقداری است که می‌توان از آن در یک سیستم نظیر CHP[Combined Heat and Power] برای تولید الکتریسیته یا گرمایش استفاده نمود.

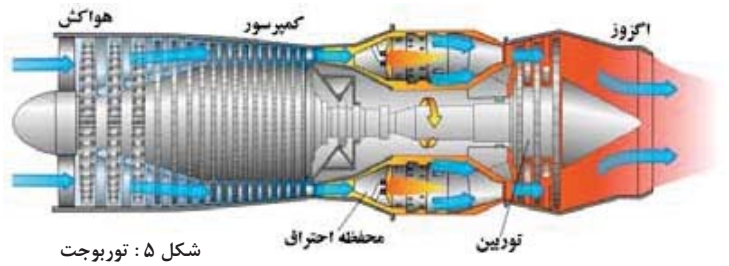
درگذشته وجود مولد مطمئن و اقتصادی برای تولید برق یا چرخش پمپ و کمپرسورها در انتخاب توربین یا موتورهای دیزلی/ گازی، عامل اصلی محسوب می‌شد. درسال‌های اخیر، آلایندگی و همچنین میزان مصرف سوخت فسیلی، عامل مهمی برای تغییر نگرش در طراحی این تجهیز می‌باشد. نشانه‌های این تغییر را می‌توان در توسعه نیروگاه‌های خورشیدی و بادی و توسعه CHP مشاهده کنیم. به جرأت می‌توان گفت که در سال‌های آینده تنها مولدهای در رقابت باقی خواهند ماند، که بتوانند همزمان در رقابت راندمان و کاهش گازهای آلاینده پیروز شوند.



شکل ۴

کاربرد توربین گازی در هوانوردی

گفتیم که دو نوع کلی توربین گازی داریم، در قسمت قبل به نوع اول اشاره کردیم. نوع دوم توربین‌هایی هستند،که با ایجاد نیروی جلوبرنده (Thrust) یا ترکیب نیروی جلوبرنده و نیروی چرخشی توان موردنیاز جهت حرکت هواپیماها و بالگردها را تأمین می کنند. هواپیماهای اولیه نیروی خود را از موتورهای دیزلی که به یک پروانه در جلو یا بر روی بال‌های هواپیما متصل بود، تأمین می کردند. با اختراع و توسعه توربین‌های گازی و امکان ایجاد نیروی جلوبرنده به صورت مستقیم به سرعت این موتورها جایگزین موتورهای دیزلی شدند.



شکل ۵ : توربوجت

هواپیماهایی نظیر ایرباس ۳۸۰ یا آنتونف ۲۲۵ با وزن حدود ۶۰۰ تن نیاز به حداقل ۸۰kN نیروی رانش جهت جداشدن از زمین دارند. موتورهای این هواپیماها با این توانایی، تنها ۶ تن وزن دارند و به نظر نمی‌رسد که بتوان نوع دیگری از موتورها را جایگزین این موتورهای توربینی نمود.

موتورهای مورد استفاده در صنعت هوانوری بسیار متنوع می‌باشند. توربین یک بالگرد تنها وظیفه تامین نیروی موردنیاز جهت شناوربودن و حرکت رو به جلو را دارد، درحالیکه موتور آنتونوف باید بتواند جسمی به

شکل ۶ : کاربرد توربوشفت در بالگرد

وزن ۶۴۰ تن را از زمین جدا و نهایت به سرعت نزدیک به ۲۵۰m/s برساند. این نوع موتور برای رانش فضاپیماها باید بتواند نیرویی در حدود ۱۲/۵MN یعنی بیش از ۱۵۰ برابر نیروی موردنیاز هواپیمای آنتونوف را تأمین نماید. توربوجت، توربوپراپ، توربوفن و توربوشفت، انواع معمول موتورهای توربینی مورد استفاده درهواپیما می‌باشند. موتورهای یادشده علیرغم تفاوت‌هایی که دارند، اما همگی دارای ساختمان مشابه می‌باشند و از بخش ورود هوا (Air Intake)، متراکم‌کننده هوا (Air Compressor)، محفظه احتراق (Combustion Chamber)، توربین (Turbine) و خروجی دود و هوای گرم (Exhaust) تشکیل شده‌اند. نوع دیگری از موتورهای جت شامل رام‌جت (Ram Jet)، پالس‌جت (Pulse Jet)، اسکرام‌جت (Scram Jet)، پرشرجت (Pressure Jet) و واترجت (Water Jet) نیز وجود دارند، که علیرغم تولید رانش، توربین محسوب نمی‌شوند و در ساخت هواپیماهای مافوق صوت (Super Sonic) و موشک‌ها کاربرد دارند.

الف- توربوجت Turbo Jet

ساده‌ترین موتور توربینی مورد استفاده در هواپیما، توربوجت می‌باشد. تفاوت اساسی این موتور با توربین‌گازی در میزان تراکم بالاتر کمپرسور می‌باشد. همچنین در توربوجت بخش کوچکی از انرژی صرف چرخاندن کمپرسور می‌شود و بخش بزرگتر آن به عنوان نیروی رانش از قسمت انتهایی خارج می‌شود، اما در توربین گازی سعی می‌شود که از حداکثر انرژی برای به حرکت در آوردن محور پمپ، ژنراتور و یا کمپرسورگاز استفاده گردد.

ب- توربوپراپ Turbo Prop

توربوپراپ نوعی موتور جت ملخ‌دار برای سرعت کمتر از سرعت صوت (Subsonic) می‌باشد. در این نوع از موتورجت، ۸۵٪ از توان تولید شده صرف گرداندن ملخ می‌شود و تنها ۱۵٪ توان به صورت مستقیم صرف ایجاد نیروی رانش می‌شود. موتورهای توربوپراپ معمولاً در هواپیماهای با سقف پروازی پایین، هواپیماهای آموزشی، هواپیماهای آماتوری و هواپیماهای باری کاربرد دارند.

ج- توربوفن Turbo Fan

این نوع از موتورجت شبیه موتورهای توربوپراپ می‌باشد، با این تفاوت که در این موتور، ملخ به صورت فن به طور کامل در داخل پوسته موتور قرار گرفته است. این نوع از موتورجت دارای بازده خوبی بوده و آلودگی صوتی کمی تولید می‌کند. به همین دلیل در بسیاری از هواپیماهای مسافربری و ترابری که با سرعت کمتر از صوت (Subsonic) حرکت می‌کنند، از این موتور استفاده می‌شود.

د- توربوشفت Turbo Shaft

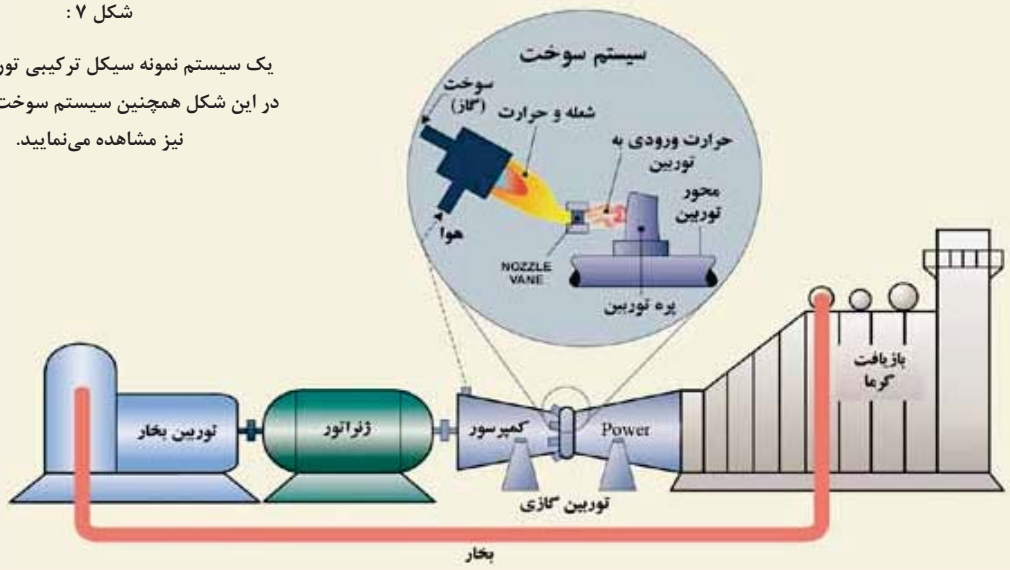
این نوع از موتورجت، تأمین‌کننده توان حرکتی هلیکوپترها می‌باشد. تفاوت اصلی این موتور با توربوجت عدم تولید رانش مستقیم توسط موتورجت می‌باشد. توان به صورت غیرمستقیم و از طریق یک محور (Shaft) و به صورت عمودی به پره‌های هلیکوپتر منتقل می‌شود.

سایر کاربردها

توربین‌گازی در انواع صنعتی و موتورهواپیما تولید می‌گردد، در صنعت هرکجا که به نیروی محرکه بزرگ و مطمئن نیاز داشته باشیم، غالباً از توربین‌گازی استفاده می‌کنیم. توربین‌های گازی برای کار طولانی بدون توقف بسیار مناسب می‌باشند. دربرخی از کاربردها به صورت غیر مستقیم از این تجهیز استفاده می‌کنیم به عنوان مثال درکشتی‌های بسیار بزرگ، نیروی محرکه اصلی توسط موتورهای دیزل به همراه موتورالکتریکی تامین می‌گردد اما انرژی الکتریکی مورد نیاز ازطریق توربوژنراتورها تأمین می‌شود. در گذشته در لوکوموتیوها و تانک‌های جنگی نیز از توربین‌گازی استفاده می‌شد، اما در سال‌های اخیر، لوکوموتیوهای سیستم مترو غالباً به انواع موتورهای برقی تجهیز شده‌اند و بیشتر تانک‌های جنگی جدید نیز از موتورهای دیزلی یا بنزینی استفاده می‌کنند. اما باید توجه کرد که با تولید مینی و میکروتوربین‌ها شرایط درحال تغییر می‌باشد. این تغییر نگرش را در ساخت آزمایشی اتومبیل‌های توربینی می‌توان مشاهده نمود. به هرحال در صورتی می‌توان به موفقیت توربین‌های گازی دراین حوزه امیدوار بود، که سازندگان بتوانند راندمان این توربین‌ها را افزایش دهند.

شکل ۷ :

یک سیستم نمونه سیکل ترکیبی توربین گازی در این شکل همچنین سیستم سوخت توربین را نیز مشاهده می‌نمایید.



کاربرد توربین گازی در صنعت

به دلیل قابلیت اطمینان بالا و دوره کارکرد نسبتاً طولانی، سهولت سرویس و نگهداری، نسبت هزینه ساخت و راه‌اندازی به دوره استفاده، همچنین راندمان مناسب (باتوجه به کاربرد)، رعایت شرایط زیست محیطی در توربین‌های نسل جدید، امکان استفاده از سوخت‌های مختلف نظیر گازطبیعی، گازوییل و مازوت در مجموع باعث استفاده گسترده انواع توربین گازی از گذشته تا کنون شده است. در ادامه این قسمت برخی از کاربردهای توربین گازی را به صورت مختصر بررسی می کنیم:

۱- از توربین گازی به عنوان محرک پمپ و کمپرسور در خطوط انتقال نفت و گاز استفاده می‌شود. این خطوط اغلب از دریاها، کویر و مناطق یخبندان و قطبی عبور می‌نمایند و دسترسی به خطوط انتقال برق امکان پذیر نمی‌باشد، یا هزینه انتقال انرژی الکتریکی به ایستگاه اقتصادی نمی‌باشد. به همین دلیل در ایستگاه‌های تقویت فشار گاز و تلمبه‌خانه‌های نفت از گذشته به صورت گسترده از توربین‌های گازی استفاده می‌شده و امروزه نیز کاربرد گسترده‌ای در این زمینه دارند.(شکل ۹)

۲- تولید انرژی الکتریکی با استفاده از محرک توربین گازی امری متداول می‌باشد. این موضوع در کشورهایی که تولیدکننده نفت وگاز می‌باشند، علی‌رغم پایین بودن بازده(حدود ۳۷٪)، به دلیل ارزان بودن سوخت، توربین‌های گازی دارای کاربرد فراوانی می‌باشد. البته همانگونه که اشاره کردیم درسیکل ترکیبی بازده این سیستم تا حدود ۶۰ درصد افزایش می‌یابد و درسیستم‌های نوین با استفاده همزمان گرما و برق (CHP) امکان افزایش بازده تا بیش از ۸۰ درصد امکان‌پذیر می‌باشد.

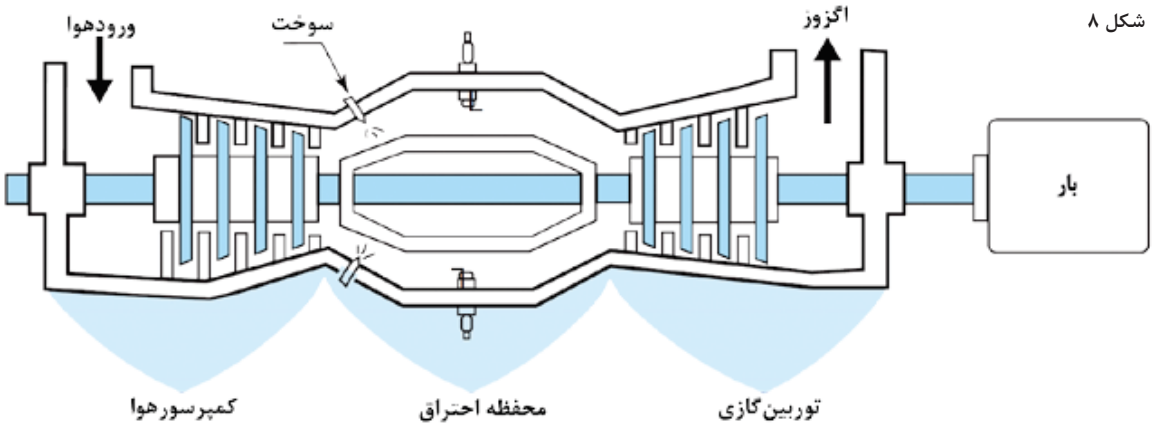
۳- کاربرد دیگر توربین‌های گازی استفاده از آن در صنایع پالایش و پتروشیمی می‌باشد. در این صنایع به دلیل امکان استفاده از هوای فشرده شده و همچنین گرمای اگزوز به عنوان یوتیلیتی، می‌توان بازده کلی را تا حدود ۸۰٪ بالا برد و از اتلاف انرژی جلوگیری کرد.

۴- افزایش فشار در مخازن نفت از دیگر کاربردهای توربین‌های گازی می‌باشد. اغلب در اثر برداشت حجم زیادی از ذخیره مخازن نفت، فشار این مخازن به شدت افت کرده است. برای حل این مشکل حجم زیادی گاز یا آب را به داخل این چاه‌ها تزریق می کنند و فشار افت کرده این چاه‌ها را افزایش داده و در اصطلاح چاه را احیاء می کنند. این عمل از یک طرف باعث افزایش فشار مخزن شده و نفت‌خام با فشار از چاه خارج می‌شود و از طرف دیگر بخشی از نفت‌خام که به طور معمول قابل استحصال نمی‌باشد، را نیز با فشار به سمت دهانه چاه روانه می کند. در سال‌های اخیر از دی‌اکسیدکربن که در مرحله پالایش از گازطبیعی یا گاز همراه نفت جدا می‌شود، برای تزریق استفاده می‌شود. با این عمل از یک سو فشار چاه افزایش می‌یابد و از سوی دیگر از اضافه شدن این گاز به جو جلوگیری می کند[این گاز یکی از گازهای گلخانه‌ای می‌باشد و باعث افزایش دمای جو و آسیب رساندن به لایه‌ازن می‌شود]، به دلیل لزوم جداسازی این گاز از گازطبیعی، تزریق این گاز به مخازن نفت کاملاً اقتصادی می‌باشد. درکشورهایی که خود را متعهد به حفاظت از محیط‌زیست می‌دانند، دی‌اکسیدکربن جدا شده از گازطبیعی را با توجه به اینکه مخازن گاز نیازی به افزایش فشار ندارند، به منظورجلوگیری از اضافه شدن این گاز به جو، آن را به حفره‌های مخزنی زیرزمینی تزریق می کنند.

۵- در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با بکارگیری توربین بخار و استفاده از گرمای حاصل از توربین گازی می‌توان بازده مجموعه را به بالا ۵۰٪ افزایش داد. به همین دلیل در نیروگاه‌های گازی که از توربین گازی به عنوان نیروی محرکه ژنراتور استفاده می‌شود، سعی می گردد با استفاده از گرمای اگزوز توربین، گرمای مورد نیاز واحد بخار تأمین گردد. دراین نیروگاه‌ها در صورت نیاز به بخار بیشتر، بخاراضافی ازطریق بویلر و مصرف سوخت جداگانه تامین می گردد. در برخی از شهرک‌ها نزدیک مجتمع‌های صنعتی از گرمای اضافی توربین‌های گازی برای گرم‌کردن آب و استفاده از آن در سیستم گرمایی شهر استفاده می‌شود. اخیراً با توجه به میزان آلایندگی، هزینه نگهداری کمتر و همچنین بازدهی بالاتر الکتروموتورها[بازدهی توربین گازی در حدود ۳۷٪ و الکتروموتور سایز بالا در حدود ۹۵٪ می‌باشد]، در مجتمع‌های صنعتی، الکتروموتورها، موتورهای دیزل و موتورهای گازسوز، گزینه‌های مناسبی برای جایگزینی به جای توربین‌های گازی می‌باشند و از توربین‌های گازی غالباً در نیروگاه‌های برق و واحدهای تولید انرژی الکتریکی مجتمع‌های صنعتی استفاده می‌شود.

۶- همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد از توربین‌های گازی علاوه بر هواپیما، نیروگاه‌ها و صنایع نفت و گاز، در بالگردها، کشتی‌ها، تانک‌های جنگی، لوکوموتیو و هاورکرافت نیز استفاده می گردد. درهواپیما، توربین استفاده شده باید دارای حداکثر بازدهی بوده و حداقل وزن را داشته باشد. در هواپیما به دلیل آنکه توربین هم نیروی محرکه را تولید می کند و هم رانش، مستقیماً توسط هوای خروجی از اگزوز، انجام می‌شود، بازده توربین به میزان قابل توجهی نسبت به سایر توربین‌ها افزایش پیدا می کند. کمترین میزان بازده متعلق به توربین‌های صنعتی می‌باشد که با کمک CHP می توانیم بازده را به میزان قابل توجهی افزایش دهیم. حد وسط این بازده در نیروگاه‌های برق دیده می‌شود،در اینجا هم سیکل ترکیبی و CHP، بازده را افزایش می‌دهند.

شکل ۸



شکل ۹

اجزاء توربین گازی

شکل ۸، بخش‌های اصلی توربین گازی را نشان می‌دهد. کمپرسور، محفظه احتراق و توربین، بخش‌های اصلی سیستم توربین گازی را تشکیل می‌دهند. برای عملکرد مناسب این سیستم علاوه بر بخش‌های اشاره شده توربین گازی، دارای متعلقات دیگری نظیر سیستم کنترل، سیستم روغن‌کاری، فیلتر هوا، خفه‌کننده صدا، اگزوز، سیستم خنک‌کننده نیز می‌باشد. در ادامه این قسمت، کمپرسور، محفظه احتراق و بخش پره‌های توربین را به صورت مختصر توضیح می‌دهیم و تصویری از یک توربین کامل شامل سایر بخش‌های توربین را نیز ارائه خواهیم کرد.

۱» کمپرسور

در ابتدا باید هوا متراکم شود، برای تراکم هوا می‌توان از کمپرسور گریزازمرکز یا کمپرسورمحوری استفاده نمود. هرکدام از این کمپرسورها دارای محاسن و معایبی هستند، اما به دلیل هم راستا بودن کمپرسورمحوری با توربین این کمپرسور مناسب‌تر از کمپرسور گریزازمرکز می‌باشد. تقریباً تمامی موتورهای هواپیما و توربین‌های صنعتی از این نوع کمپرسور استفاده می‌کنند. در برخی هواپیماهای قدیمی از کمپرسور گریزازمرکز استفاده شده است. کمپرسور برای تامین تراکم مورد نیاز از چندین طبقه[معمولاً بیش از ۱۵ طبقه] تشکیل می‌شود و در هرطبقه به نسبت ۱/۱ تا ۱/۲ هوارا متراکم می‌کند. دلیل کوچک بودن نسبت تراکم جلوگیری از واماندگی (Stall) کمپرسور در اثر فراز و فرود هوا بر روی پره‌ها می‌باشد. به دلیل افزایش چگالی هوا در طول محور کمپرسور و به منظور ثابت نگه داشتن مولفه محوری سرعت باد، لازم است به تدریج فضای حلقوی میان محور کمپرسور و پوسته کاهش یابد. نکته قابل تأمل دیگر در مورد کمپرسور امکان چندمحور شدن کمپرسور می‌باشد یعنی در صورت لزوم کمپرسور می‌تواند به بخش‌های پرفشار، فشارمتوسط و کم فشار تقسیم شود.

۲» محفظه احتراق

این بخش از توربین وظیفه احتراق ماده سوختنی و تولید گاز با فشار زیاد را برعهده دارد. درتوربین‌های ابتدایی محفظه احتراق از طراحی بسیارساده‌ای برخوردار می‌باشد. اما با توجه به اینکه راندمان توربین، پیوستگی در عملکرد توربین و همچنین میزان تولید گاز NOx و کامل سوختن سوخت بستگی کامل به نحوه سوختن ماده سوختنی دارد، در توربین‌های جدید این بخش توسعه یافته و از فناوری بالایی برخوردار شده است. محفظه احتراق در تمام مدت کار توربین تحت دمای بالا درحال فعالیت می‌باشد. بنابراین باید محفظه و اجزاء آن از مواد مقاوم درمقابل گرما ساخته شوند.

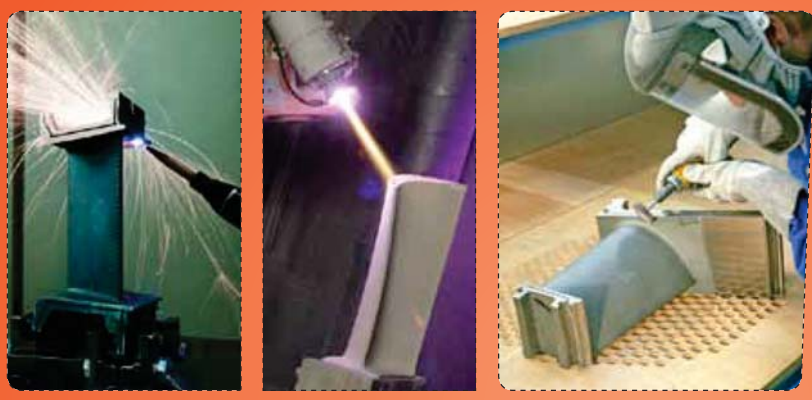
محفظه احتراق از لوله شعله (Flame tube) و لوله هوا (Air casing) و منطقه احتراق (Combustion zone) تشکیل شده است. هوای خروجی از کمپرسور دارای سرعت زیادی در حدود ۱۵۰m/s می‌باشد. این سرعت مناسب سوخت سوخت‌های مایع و گازطبیعی نمی‌باشد بنابراین به وسیله دیفیوزر سرعت آن تا ۱۵m/s پایین آورده می‌شود. هوای ورودی به محفظه احتراق تنها وظیفه تامین اکسیژن سوخت را برعهده ندارد بلکه این هوا با توجه به نحوه ورود به محفظه احتراق، دمای شعله را تا حد مناسب کاهش داده و همچنین شعله را هدایت می‌کند تا همواره در محل مناسب در حال سوختن باشد. محفظه احتراق توربین‌های گازی به صورت چندتائی (Multiple)، حلقوی (Annular) و همچنین به صورت چندتایی- حلقوی (Can-Annular, Cannular) ساخته می‌شوند هرکدام از این طرح‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند. اما در مجموع نوع چندتایی- حلقوی مناسب‌تر و دارای بازده بیشتری می‌باشد.

۳» توربین

اگرچه ما به کل مجموعه موردبحث توربین گازی می‌گوییم، اما درواقع توربین‌گازی مجموعه پره‌هایی می‌باشد که در برخورد گازبا فشار زیاد به چرخش در می‌آیند. توربین مشابه کمپرسور می‌تواند از نوع شعاعی یا محوری باشد. نوع شعاعی مناسب کاربردهای موضوع این بحث نمی‌باشد و اغلب توربین‌ها از نوع محوری می‌باشند. برای به حرکت در آوردن پره‌های توربین روش‌های مختلفی وجود دارد. توربین ضربه‌ای (Impulse turbine) و توربین عکس‌العملی (Reaction turbine) دو نوع اصلی توربین می‌باشند. در توربین عکس‌العملی همانند آب‌پاش‌های روی چمن سیال از داخل یک لوله دارای انحناء عبور می‌کند و نتیجه مطابق قانون سوم نیوتن توربین در جهت عکس خواهد چرخید. نوع دیگر توربین از چندین ردیف پره تشکیل شده که این پره‌ها یک درمیان ثابت و حرک می‌باشند. پره‌های ثابت به بدنه و پره‌های متحرک به روتور توربین متصل می‌باشند. یک ردیف پره ثابت به همراه یک ردیف پره متحرک را یک طبقه (Stage) می‌گویند. تعداد طبقات به توان توربین بستگی دارد. وظیفه پره‌های ثابت، سرعت‌دهی و جهت دهی به گازهای ورودی به توربین می‌باشد. این پره‌ها به همراه پره‌های متحرک، انرژی سیال را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. محصول احتراق که دارای فشار بالایی می‌باشند، در مسیر ایجادشده توسط پره‌های ثابت، دراثرافت فشار، افزایش سرعت پیداکرده و همچنین جهت مناسب برای برخورد به پره‌های متحرک را پیدا می‌کند. پره‌ها عموماً از سه قسمت اصلی، ایرفویل (Air foil)، شنک (Shank) و ریشه (Root) تشکیل شده‌اند. شکل ۱۳ اجزاء اصلی

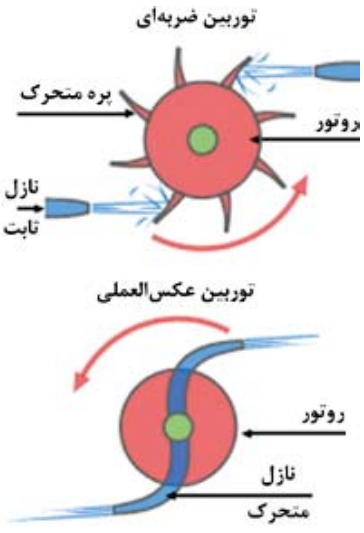
توربین گازی برحسب فلزات و آلیاژهای مورد استفاده در ساخت توربین را نشان می‌دهد. به این نکته باید توجه کنیم که پره‌های توربین، در ساخت یک توربین گازی بسیار مهم و اساسی می‌باشند. پره‌های توربین به طور دائم تحت فشار زیاد[۵۰۰۰-۱۰۰۰۰psi] و دمای[۷۰۰-۱۰۰۰°C] می‌باشند. ضمن آنکه با سرعت زیاد مولکول‌های گاز به سطح پره‌ها برخورد می‌کنند. این موضوع باعث خوردگی سریع یا شکست پره‌ها می‌شود. البته باید دقت نمود ریشه پره‌ها تحت فشاربسار بالاتری قرار می‌گیرد و ممکن است این فشار به ۸۰،۰۰۰psi نیز بالغ شود. به همین دلیل ساخت پره توربین از فناوری پیشرفته‌ای برخوردار می‌باشد و برای ساخت پره‌های مقاوم از آلیاژهای ویژه‌ای استفاده می‌شود. آلیاژهای مناسب برای ساخت پره علاوه بر دارا بودن مقاومت خزشی، مقاومت خستگی حرارتی و مقاومت اکسیداسیون و خوردگی داغ باید قابلیت ریخته‌گری در اندازه‌های بزرگ و پیچیده را داشته باشند.

سوپرآلیاژهای پایه کبالت غالباً در شرایط کاری پره‌های ثابت به خوبی مقاومت کرده و علاوه بر آن مقاومت خوبی در مقابل خوردگی داغ و خستگی حرارتی داشته و جوش‌پذیری و قابلیت ریخته‌گری خوبی دارند. افزودن مواد دیرگداز نظیر تنگستن و تانتالیم از طریق محلول جامد و همچنین تشکیل کاربیدهای کروم و زیرکونیوم استحکام پره‌ها را افزایش می‌دهد. میزان کروم همچنین تاثیر زیادی درمقابل اکسیداسیون برجای

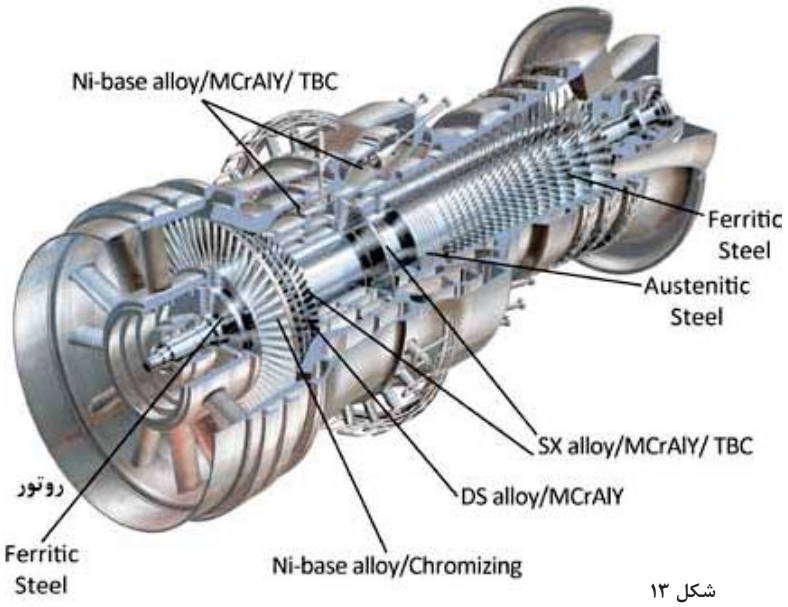


شکل ۱۲

می‌گذارد. ازطرف دیگر درساخت پره‌های متحرک از آلومینیوم بالا و کروم پایین استفاده می‌شود. البته این آلیاژ در برخی از محدودهای دمایی مناسب نمی‌باشد و از آلیاژهای پایه نیکل با کروم بالا استفاده می‌شود. در ساخت پره‌های توربین باید دقت کردکه قیمت تمام شده پره‌ها بالا می‌باشد و غالباً به وسیله جوشکاری پره‌ها را تعمیر می‌کنند، تعمیر منظم پره‌ها عمر آنان را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. علاوه بر مواد اشاره شده برای افزایش عمرپره‌ها از پوشش‌های فلزی یا سرامیکی بر روی سطح آنها استفاده می‌شود. استفاده از پوشش‌های با پایه آلومنیوم، کروم، سیلیس به صورت دیفوزیون و استفاده از پوشش آلومینیدی با استفاده از کروم یا پلاتین، رودیم و پوشش‌های سیلیسیدی با استفاده از کروم، تانتالیم و تیتانیوم به صورت پوشش مرکب معمول می‌باشد. درسال‌های اخیر تحقیقات زیادی پیرامون پره‌های سرامیکی و پوشش‌های سرامیکی انجام شده است. مواد غیرفلزی نسل جدید ضمن برخورداری از دوام و عمرطولانی نسبت به انواع فلزی از وزن کمتری نیز برخوردارمی‌باشند. شاید توجه بیشتر به سرامیک‌ها و سایر مواد مرکب و درنتیجه کاهش وزن، تنها راه افزایش ظرفیت توربین‌های گازی به ظرفیت فراتر از آنچه که امروزه در اختیار داریم، باشد. در این قسمت به صورت مشخص با تمرکز بیشتری پره‌های توربین را شرح دادیم اما علاوه بر پره، ساخت محفظه احتراق و کمپرسورنیز فناوری پیشرفته‌ای را دارا می‌باشد.



شکل ۱۱



شکل ۱۳

۴» سایراجزاء توربین

شکل ۱۴ یک سیستم کامل توربین گازی شامل بخشهای مکانیک، برق، ابزاردقیق، کنترل و ایمنی را نشان می‌دهد. در این شکل علاوه بر قسمت‌های اصلی اشاره شده، بخش‌های دیگر توربین را نیز مشاهده می‌نمایید. ایـن بخش‌ها عبارتنداز: مجـرای ورود هوا، فیلترهوا، کاهنـده صدای توربین، مجرای خروج گاز، سیسـتم روغن‌کاری، سیسـتم تهویه، سیستم خنک‌کاری روغن، سیستم آشکارسازی و اطفاء حریق، سیستم صافی و تامین سوخت، سیستم سوخت پایلوت، سیستم مشـتعل کننده، تجهیزات ابزاردقیق، موتورالکتریکی راه‌انداز توربین، سیستم لرزش‌گیر، برق اضطراری، سیستم کنترل مرکزی، گیربکس و سیستم آنتی‌سرج و همچنین سیسـتم هوای فشرده و خشـک برای پاک کردن پره‌های توربین و پره‌های کمپرسور، مجموعه تجهیزات توربین می‌باشـند که برای عملکرد صحیح توربین گازی باید به صورت مناسـب طراحی و در کنار توربین قـرار بگیرنـد. همچنین باید توجه کرد که اغلب توربین‌های صنعتی از سیسـتم سـوخت دوگانه اسـتفاده می‌کنند بنابراین لازم است در هنگام طراحی به این موضوع نیز به صورت کامل دقت شود.

مشخصات توربین

سـرعت چرخش، راندمان، نسـبت تراکم، وزن، ابعاد، مدت زمان راه‌اندازی و توان توربین از دیگر پارامترهـای مهمی می‌باشـد که در برگه مشـخصات توربین ذکر می‌شـوند. بیـن توربین‌های صنعتی و توربین‌هـای نیروگاهـی تفاوت‌های زیادی وجود دارد. اغلب توربین‌هـای صنعتی دارای توانی کمتر از ۴۰MW می‌باشـند، سـرعت چرخش توربین بین ۵ تا ۸ هزار دور در دقیق می‌باشد. نسبت تراکم نزدیک ۱۵ و راندمـان نیز در حدود ۳۵٪ می‌باشـد. درحالیکـه توربین‌های نیروگاهـی دارای توان خیلی بالاتر [تا ۳۷۵ مگاوات]، سرعت چرخش بالاتر[۱۵۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰ دوردردقیقه]، نسبت تراکم نزدیک ۲۰ و راندمان در حدود ۴۰٪ می‌باشند.

آینده توربین‌گازی

از گذشـته تولیـد نیـروی محرکه صنعـت هوانوردی، صنعـت برق و همچنین تولید انـرژی مکانیکی موردنیاز در ایسـتگاه‌های انتقال نفـت و گاز، پالایشـگاه‌ها، مجتمع‌های پتروشـیمی و ده‌ها نـوع کارخانه و مجتمـع صنعتی دیگر بر عهده توربین گازی بوده اسـت. آیـا آینده این صنایع نیز در دسـت توربین‌های گازی و پیشرفت‌های آن خواهد بود؟ این سـوال را نمی‌تـوان بدون بررسـی و دقت کافی پاسـخ داد. اگرچه تصور می‌شـود به این زودی نتوان جایگزین مناسـبی بـرای توربین گازی پیدا نمود. اما پیشـقراول این جایگزنی را می‌توانیـم به خوبی در تولید انرژی خورشـیدی و بادی ببینیم. حتـی در صنعـت هوانـوری نیـز دیـری نخواهـد پاییـد که موتورهـای الکتریکی جایگزین توربین‌ها شوند.

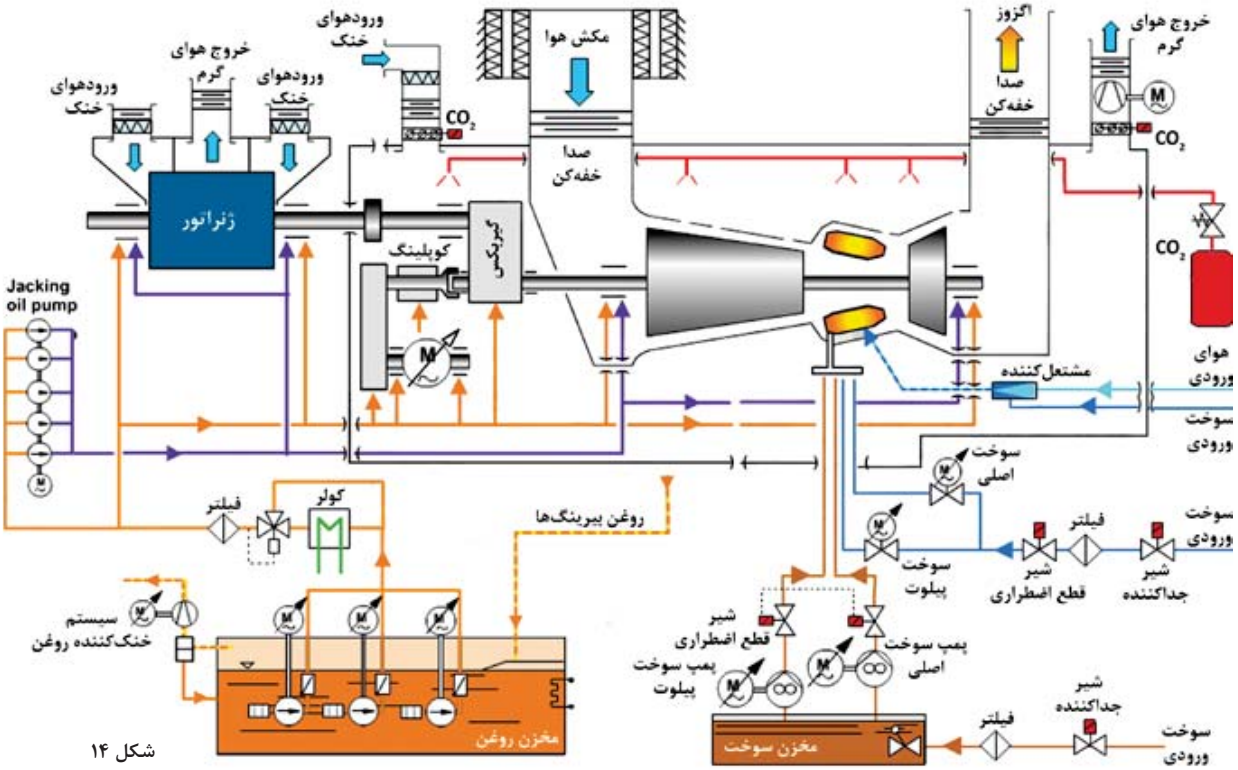
منابع

1: GAS Turbine Combustion, CRC press, Arthur H. Lefebvre and Dilip R. Ballal

2: Gas Turbines and Rockets, AIAA, Jack D. Mattingly and Hans von Ohain

3: Gas Turbine Handbook: Principles and Practices, CRC press, Tony Giampaolo, MSME, PE

4: Gas Turbine Engineering Handbook, GPG prees, Mehrwan P. Boyce



شکل ۱۴