

توربین

ماشین

۲

فصلنامه علوم، فنون و مدیریت توربین ماشین؛ شماره ۲، زمستان ۹۲ و بهار ۹۳، قیمت: ۱۵/۰۰۰ تومان

تخمین عمر باقیمانده در پره‌های ناحیه داغ توربین‌های گازی
معرفی ترمزهای آبی و استفاده از آنها در صنایع
مروری بر آزمون‌های استاندارد تحویل‌گیری توربین‌های گاز صنعتی
ساخت پروانه‌های کمپرسور گریز از مرکز به روش لحیم‌کاری سخت



TURBINE NO.2
Science, Technology & Management MACHINE

فصلنامه

سرمقاله

با درود و سلام حضور خوانندگان محترم نشریه علوم، فنون و مدیریت توربین ماشین،

در ابتدا پروردگار بزرگ را شاکریم که عنایات و الطافش نصیب خانواده نشریه توربین ماشین شده است و پس از چاپ شماره اول این نشریه که البته به زعم ما مورد استقبال مخاطبان خود نیز قرار گرفته، اکنون در شماره دوم نیز می توانیم سهم بسیار کوچکی در حوزه اطلاع رسانی در زمینه صنعت ماشین های دوار داشته باشیم و بخشی از دستاوردهای منحصر به فرد فعالان این صنعت در کشور را انعکاس دهیم.

همچنین بسیار خوشحال و خرسندیم از اینکه در مدت کوتاهی که از چاپ شماره نخست این نشریه می گذرد پذیرای نظرات گرانقدر و پیشنهادات ارزشمند شما از طریق ایمیل و نامه بوده ایم که این خود گواه آن است که این نشریه توانسته با اولین شماره مخاطبان خود را یافته و خوانندگان محترم نیز به صورت دقیق مطالب شماره اول را مطالعه کرده اند. شورای سیاست گذاری نشریه ضمن تشکر فراوان از شما مخاطبان گرامی، بر خود لازم می دانست که تمامی نظرات خوانندگان محترم را بررسی کرده و از آنها در جهت ارتقای کیفیت این شماره بهره برداری کند.

در این شماره نیز مانند قبل تلاش شده است که به صورت علمی به نشر مطالب تخصصی و کاربردی صنعت ماشین های دوار پرداخته شود و در این خصوص چالش ها، تنگناها و مسائل مبتلا به این صنعت در کشور نیز بخصوص از نقطه نظر فعالان این حوزه مانند بهره برداران و سازندگان داخلی در نظر گرفته شود. به همین منظور مصاحبه ای با یکی از افراد بسیار با تجربه و فعال در این صنعت انجام گرفته که مطالعه این مصاحبه خالی از لطف نخواهد بود.

مطابق با منشور انتشار این نشریه مطالب منتشره در این شماره همگی در جهت اطلاع رسانی، افزایش آگاهی و دانش و همچنین ایجاد پنجره ای برای انعکاس دستاوردهای صنعتگران کشور عزیزمان در حوزه انرژی و ماشین های دوار تهیه شده است. در این شماره ضمن انتشار مقالات علمی، به روز، معتبر و مرتبط با این صنعت که احتمالاً مورد توجه دانشگاهیان و پژوهشگران فعال در این حوزه قرار خواهد گرفت، تلاش شده است که مطالبی نیز در مورد محصولات صنعتی در این حوزه، مباحثی در مورد اقتصاد انرژی در زمینه تولید برق و همچنین مطالبی در ادامه سلسله مطالب منتشره در شماره قبلی در زمینه تاریخچه توربین گاز، سیستم کنترل توربین گاز و استانداردهای مرتبط با این صنعت فراهم شود تا مطالب منتشره برای فعالان این صنعت مفید به فایده باشد. در تولید نشریه علوم، فنون و مدیریت توربین ماشین تلاش بر آن است تا در بلند مدت، آرشيو نشریه تبدیل به مجموعه ای ارزشمند از موضوعات صنعتی کاربردی شود.

همان طور که پیشتر نیز بیان شد هر اثر چاپی همراه کاستی هایی است که ضمن عذرخواهی از عزیزان خواننده آرزو مندیم که این بار نیز پیشنهادات و انتقادات ارزشمند خود را با ما در میان بگذارند تا باشد که در کنار هم و با همیاری شما خوانندگان عزیز شماره های آتی این نشریه پربارتر و کم نقص تر از گذشته باشد انشاء الله.

دکتر پدram حنفی زاده
سردبیر

تاریخچه توربین های گازی

سارا جوادزاده، کاوه قربانیان

مصاحبه با مهندس قنوازی

امکان سنجی ارتقای کمپرسور محوری در توربین های صنعتی

محمد رضا امینی مقام، ارشیا تافته، کاوه قربانیان

تخمین عمر باقیمانده در پره های ناحیه داغ توربین های گازی

نوذر انجبین، امیر آگهی

معرفی ترمز های آبی و استفاده از آنها در صنایع

افشین بنازاده، شمس تواب نیا

توربین های گاز مینیاتوری

سهیل نظری

جایگزینی پوشش الکترو پلیت کادمیوم در قطعات ثابت ناحیه سرد

علی رضا سیفی، مهدی خرمی، مهدیه صفیاری

اولویت بندی استفاده از سیستم های تولید همزمان در سطح کشور

ترنم پرهیزگار، پدram حنفی زاده

مرور ی بر آزمون های استاندارد تحویل گیری توربین های گاز صنعتی

افشین بنازاده، ندا تیمورتاش

پارامتر های مؤثر در انتخاب توربین گاز صنعتی

کاوه قربانیان

کاربرد مواد با قابلیت تحمل دمای بالا در توربین های گازی

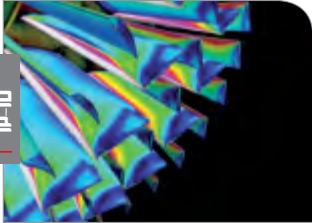
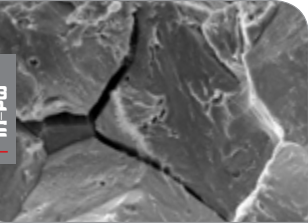
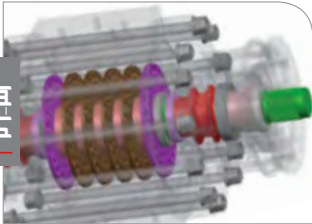
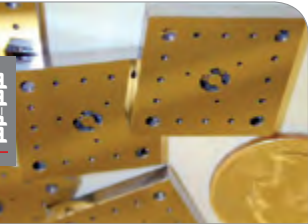
نوذر انجبین

ساخت پروانه های کمپرسور گریز از مرکز به روش لحیم کاری سخت

شفاالدین حسین نژاد، مرتضی گرجی

مدیریت استراتژیک در سازمان ها و نگاه های اقتصادی

مجتبی صدیق



TURBINE MACHINE

Science, Technology & Management

فصلنامه توربین ماشین

علوم، فنون و مدیریت

شماره ۲: زمستان ۹۲ و بهار ۹۳

شماره بیایی: ۲، قیمت: ۱۵/۰۰۰ تومان

صاحب امتیاز: توربین ماشین خاورمیانه

مدیر مسئول: حسن هلالی

سردبیر: پدram حنفی زاده

مدیر اجرایی: حسن مجیدپور

گروه اجرایی: سارا جوادزاده، حامد محدث دیلمی

همکاران تحریریه در این شماره:

امیر آگهی، محمد رضا امینی مقام، نوذر انجبین، افشین بنازاده،

امیر بی اسدی، ترنم پرهیزگار، ارشیا تافته، شمس تواب نیا،

ندا تیمورتاش، سارا جوادزاده، شفاالدین حسینی نژاد،

پدram حنفی زاده، مهدی خرمی، علیرضا سیفی،

مجتبی صدیق، مهدیه صفیاری، جوانشیر فولادوند،

کاوه قربانیان، مرتضی گرجی، حسن مجیدپور، سهیل نظری

گرافیک و صفحه آرایی: خانه نو، تلفن: ۸۸۰۵۹۰۰۷

مدیر هنری: سعید آقاموسی

تلفکس: ۵-۸۸۵۶۲۲۹۴

کد پستی: ۸۳۷۴۱-۱۴۶۶۹

صندوق پستی: ۱۱۵۴-۱۴۶۶۵

آدرس: تهران، سعادت آباد، بلوار دریا، خیابان رامشه،

کوچه توحید ۵ غربی، پلاک ۱۱۸

ارسال مقالات:

از نویسندگان و پژوهشگران محترم تقاضا

می شود مقالات خود در حوزه محتوایی نشریه

را به آدرس الکترونیکی:

magazine@turbinemachine.com

ارسال کنند. بدیهی است که نشریه در

انتخاب و تلخیص مطالب آزاد است.

اشتراک:

برای اشتراک فصلنامه توربین

ماشین با شماره تلفن ۵-۸۸۵۶۲۲۹۴

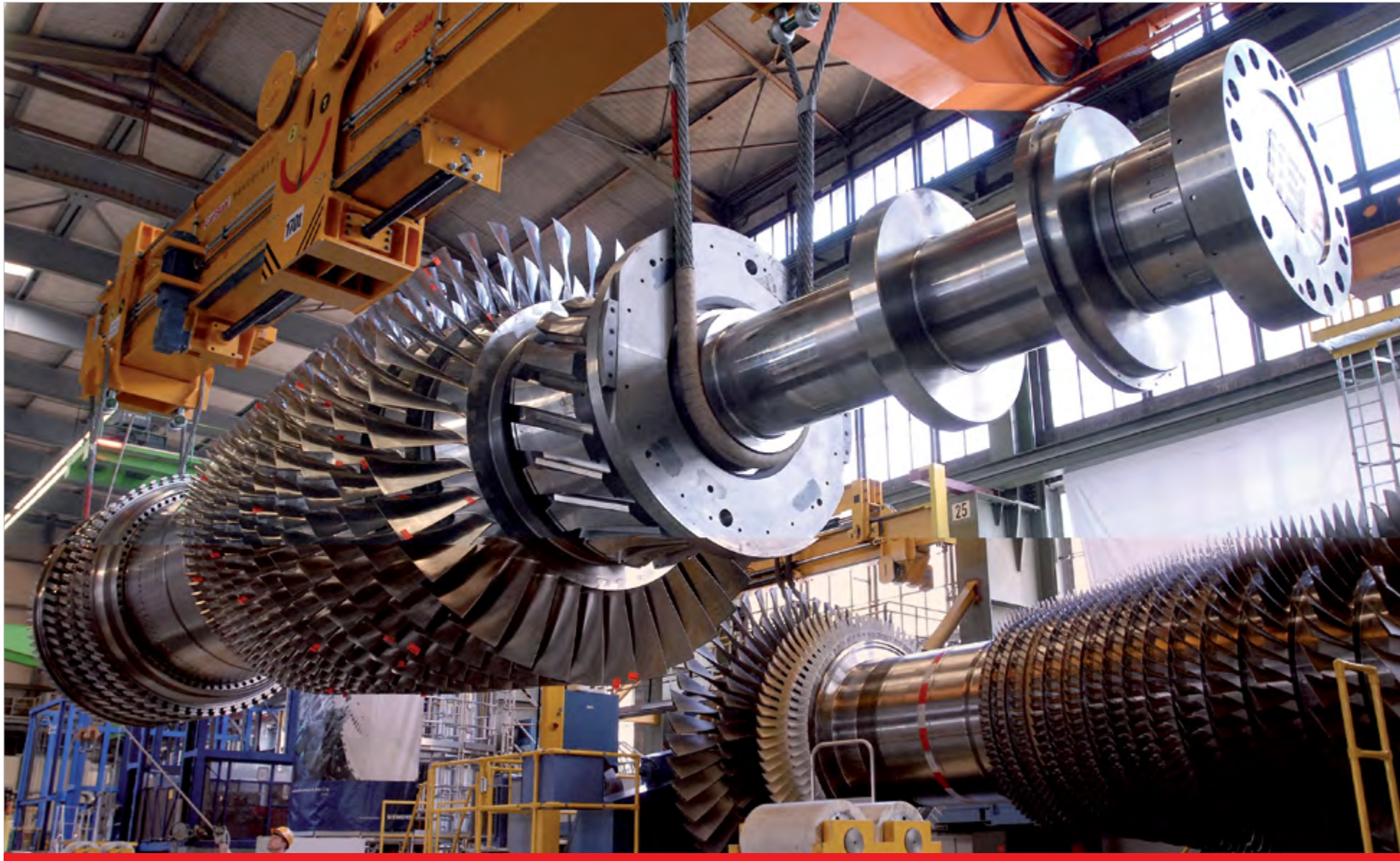
تماس بگیرید و یا با آدرس پست الکترونیک

info@turbinemachinemagazine.com

مکاتبه فرمایید. همکاران ما نشریه را

بلافاصله پس از انتشار در هر دوره برای شما

ارسال خواهند کرد.



تاریخچه توربین‌های گازی

در شماره قبل به تاریخچه تولید توربین در انگلستان به عنوان یکی از اولین کشورهای تولید کننده توربین های گازی پرداخته شده است. به دلیل حجیم بودن این تاریخچه، در شماره قبل به بخش اول سیر تحول شرکتهای تولید کننده ی توربین گاز پرداختیم و ادامه ی آنرا در این شماره دنبال خواهیم نمود. دنبال کردن روند تدریجی سیر تکامل شرکت‌های می‌تواند برای علاقه‌مندان به این صنعت بخصوص صاحبان صنایع بسیار مفید باشد.

سارا جواد زاده^۱، کاوه قربانیان^۲

شرکت جنرال الکتریک در انگلستان

شرکت های Fraser و Chalmers در آمریکا توسط دو مرد جوان اسکاتلندی بنا شد که پیش از آن نیز در سال ۱۸۹۰ یک شرکت را در لندن پایه گذاری کرده بودند که این شرکت انگلیسی به یک نیروگاه بخار، ماشین آلات آسیاب و مهندسی توسعه یافت. شرکت‌های Fraser و Chalmers توسط شرکت General Electric خریداری شدند. پیوندهای قدیمی میان این شرکت و Alstom کشف شده که نشان دهنده وجود یک گواهی توافق بین Fraser, Chalmers و Rateau است.

در سال ۱۹۶۵، GEC امتیاز ژنراتورهای توربینی خود را به CA Parsons فروخت. در سال ۱۹۶۷ شرکت GEC شامل AEI بود و پس از آن با شرکت English Electric ادغام شد. با قرار داشتن پایگاه این شرکت

در Leicester, Whetstone به عنوان GEC Gas Turbine Limited شناخته شد.

شرکت John Brown & Co/John Brown Engineering

این شرکت در Clydebank اسکاتلند پایه گذاری شد. در سال ۱۹۴۸ جان براون با داشتن یک ماشین بر پایه طراحی Pametrada وارد حوزه توربین گاز شد. در همین حین، او وارد قرار داد

۷۰۰۰ کیلوواتی با سیکل بسته در Folesill Coventry works به کار گرفته شده است.

در سال ۱۹۶۲ به دلیل مشکلات موجود در اسکاتلند، تولید توربین‌های گاز در Clydebank متوقف گردید. در سال ۱۹۶۵ شرکت JBE امضای قراردادی با جنرال الکتریک آمریکا تولید توربین‌های گاز را از سر گرفت. قرارداد GE منجر به تولید ۵۵۲ ماشین توسط شرکت جان براون در Clydebank پیش از اتمام فعالیت های این شرکت در سال ۱۹۹۹ با خرید آن توسط GE گردید.

در ابتدا قرارداد بین GE و جان براون به صورت ساخت فریم‌های ۳ و ۵ توربین‌های گاز برای یک مدت ۷ ساله بود. این مدت سپس به ۱۰ سال و نهایتاً به ۳۴ سال افزایش پیدا کرد. این قرارداد امکان تولید توربین‌های GE و صادر کردن آنها به آمریکا و سایر بازارها را فراهم می‌ساخت.

اولین ماشین‌های شرکت Clydebank GE را در سال ۱۹۶۷ ترک کردند و بین سال‌های ۱۹۶۷ تا ۱۹۹۹ این شرکت مدل‌هایی نظیر MS1002-09، 2Ms5001 و MS5002 را به منظور استفاده به صورت محرک مکانیکی (Mechanical Drive) تولید می‌کرد. در همین حین شرکت، مدل‌های MS1002-4، MS15001-265، MS5002-1، MS6001-92 و MS7001-4 را برای ایجاد توان، تولید کرد. در کل ۵۵۲ توربین گاز GE در Clydebank ساخته شد. در سال ۱۹۹۹ تجارت توربین‌های گازی جان براون به GE فروخته شد و بدین ترتیب ساخت توربین‌ها در Clydebank پس از ۵۱ سال متوقف گردید.

شرکت (Gas Turbine Equipment) Joseph Locus

این شرکت علاوه بر کارهایی که در زمینه موتورهای هوایی انجام داده است، از سال ۱۹۴۰ نقش زیادی در توسعه توربین‌های صنعتی داشته است. شرکتی با نام جوزف لوکاس، برای توربین‌های گازی، محفظه احتراق تولید می‌کرد. در سال ۱۹۴۸ نامه‌ای از CA Parsons وجود داشت که در آن به مشمول کردن شرکت لوکاس در آزمایش‌ها اشاره شده است.

شرکت British Leyland Gas Turbines

در سال ۱۹۶۸ شرکت Leyland Motor با جذب و ادغام دو شرکت Austin و Rover اقدام به تأسیس شرکت British Leyland Gas Turbines کرد. مهندس ارشد طراح در این زمینه Noel Penny بود که پیش از آن در Rover مشغول به تحقیقات بود. شرکت Leyland تولید موتورهای ۲۵۰ اسب بخار Austin را تا سال ۱۹۶۹ ادامه داد. طراحی Rover با موفقیت بیشتری مواجه شد و تولید توربین گازهای Rover تا سال ۱۹۷۳ ادامه پیدا

فاز اول کسب و کار توربین‌های گاز جان براون، جذاب‌ترین بخش بود چرا که آنها توربین‌های گاز با سیکل بسته برای حرکت بر روی Peat را می‌ساختند

۱- سارا جوادزاده؛ واحد مهندسی حرارت، سیالات و فرایند شرکت مدیریت پروژه‌های توربین اراکان ایرانپان

۲- کاوه قربانیان؛ نائب رئیس هیات مدیره شرکت توربین ماشین خاورمیانه

کرد. در سال ۱۹۶۸ این شرکت کامیون‌ها با موتور توربین گازی را در Earl Court معرفی کردند. موتور این وسایل، توانی برابر با ۳۵۰ اسب بخار داشت. در ادامه نیز از توربین های گاز این شرکت برای تولید توان در خط آهن های سرعت بالا در انگلستان استفاده شد که در سال ۱۹۷۲ برای آزمایش به کار گرفته شد.

در سال ۱۹۷۳ شرکت British Leyland تولید توربین‌های گاز را متوقف کرد.

دلیل اصلی این موضوع اقبال عمومی موتورهای دیزل در بازار به جهت تولید توان بیشتر (با به کارگیری توربوشارژ) و مقرون به صرفه بودن آنها بود. پس از این موضوع Noel Penny تصمیم بر تاسیس شرکتی برای خودش گرفت و در حوالی سال های ۱۹۷۳ و ۱۹۷۴ به آن جامه عمل پوشاند.

شرکت

Metropolitan Vickers (**Metrovick**)

این شرکت به عنوان بخشی از AEI در Trafford Park در منچستر پایه گذاری شد. شرکت Metrovick در سال ۱۹۴۷ شروع به کار بر روی توربین‌های گازی نمود. در این میان، فرانک هریس یکی از اعضای تیم توربین گاز در Trafford Park بود. اولین موتور جت با جریان محوری Merrovick F2 با نام مشهور موتور Beryl بود. این موتور با طراحی Sapphire دنبال شد. نهایتا شرکت MV به اعلام برتری طراحی Beryl/ Sapphire نسبت به Armstrong Siddeley رضایت داد. در سال ۱۹۴۷ نصب توربین گاز بر روی کشتی MGB2009 آن را به اولین کشتی با پیشرانش توربین گاز مبدل ساخت. توان این کشتی با یک موتور ساخت شرکت Metropolitan Vicker تامین می‌شد.

این کشتی سلطنتی در ماه جولای سال ۱۹۴۷ به آب انداخته شد. توربین کشتی با توان ۲۵۰۰ اسب بخار کار می کرد و این توربین را Gatric، نام گذاشته بودند.

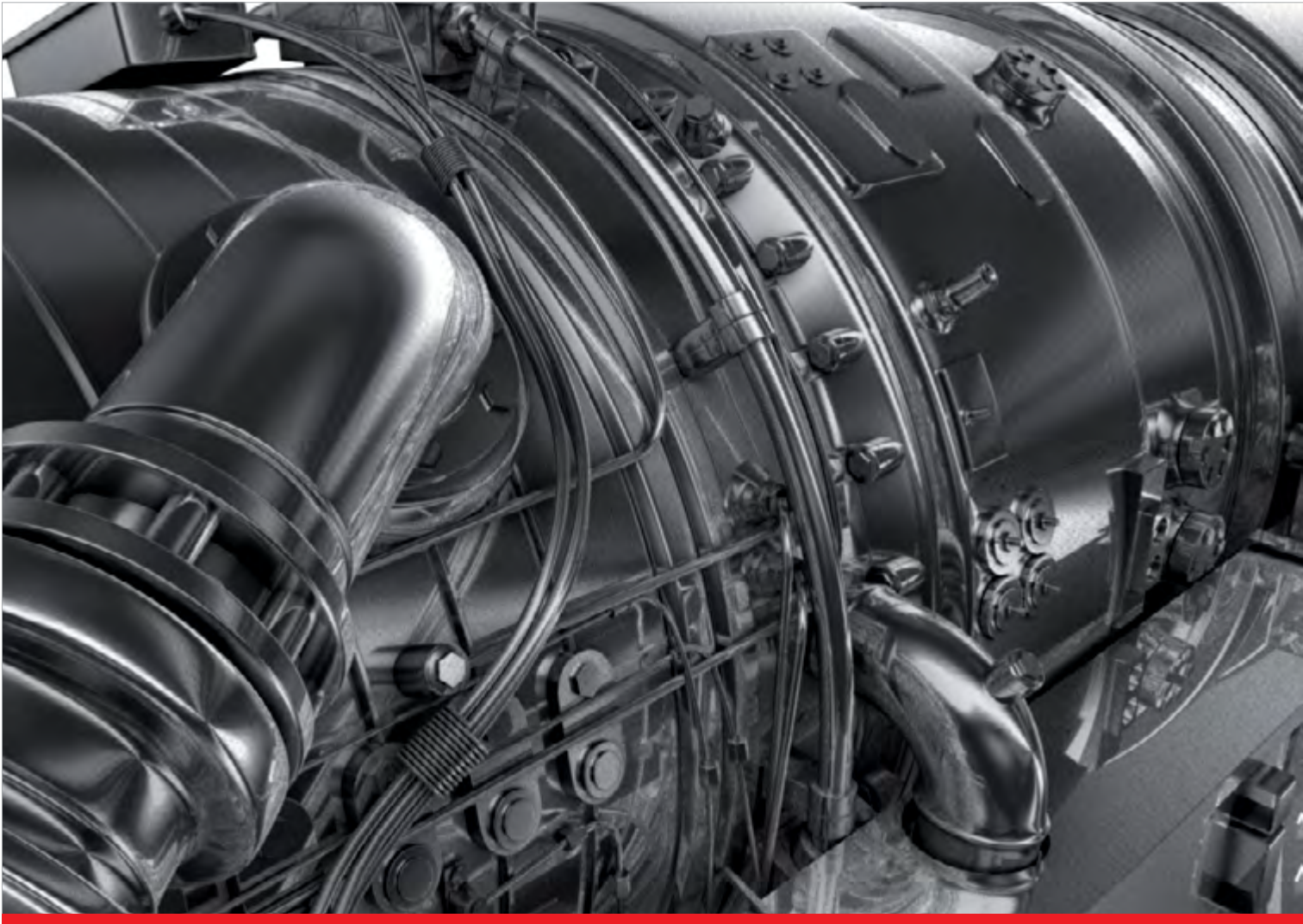
توربین گاز، ساخت سال ۱۹۴۸ توسط شرکت Metrovick، اولین نسل از مجموعه موتورهای موازی با سیستم شبکه‌ای انگستان بود. یک موتور توربوجت که یک توربین توان ۲۰۰۰ کیلووات را می‌چرخاند.

در سال ۱۹۵۲ شرکت Metrovick یک توربین گاز ۱۵۰۰۰ کیلوواتی تولید کرد که در ایستگاه تامین توان Trafford نصب شد و اولین نمونه برای استفاده در BEA شد. این، یکی از دو توربین شبیه به هم بود که در یک زمان سفارش داده شده بودند. توربین دیگر از CA Parsons بود.

تفاوت این موتور با موتور قبلی در این بود که در این جا یک چیدمان دو شفته (یکی برای حرکت کمپرسور توان بالا و دیگری برای چرخاندن کمپرسور توان پایین که شفت متصل به

کمپرسور فشار بالا با سرعت بیشتری در حال چرخش است) داشتیم. در سال ۱۹۵۲ شرکت Metrovick یک نمونه با توان ۳۰۰۰ اسب بخار تولید کرد که به منظور ایجاد حرکت بود و در خطوط راه آهن انگلستان در آوریل ۱۹۵۲ به کار گرفته شد (این موتور از نفت به عنوان سوخت استفاده می کرد). این سیستم که برای مقاصد راه آهن‌های خارج از کشور در نظر گرفته شده بود، از توان بیشتری در مقایسه با لوکوموتیوهای مورد استفاده در انگلستان در آن زمان برخوردار بود.

در سال ۱۹۵۴ یک توربین گاز با توان ۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلووات توسعه داده شد که اولین نمونه آن در ایستگاه پمپ Metropolitan Water Board Ashford مورد استفاده قرار گرفت. ماشین دیگری با توان خروجی کمی کمتر، توسط اداره نفت انگلستان سفارش داده شده و به ونزوئلا فرستاده شد. این شرکت تا سال ۱۹۵۸ به صورت مستقل عمل می کرد اما در این زمان این شرکت با شرکت BTH در راگی ادغام و بخشی از شرکت جنرال الکتریک شد.



شرکت Power Jets

این شرکت در سال ۱۹۳۶ توسط فرانک ویتل پایه گذاری شد. پس از ثبت شرکت، ویتل از وزارت نیروی هوایی اجازه خدمت به عنوان مشاور شرکت را به مدت ۵ سال دریافت کرد. پس از آن ویتل با شرکت BTH، قراردادی برای ساخت یک WU (whittle unit) امضا کرد که اولین موتور جت آزمایشی او بود.

موتور WU در راگیی ساخته شد و برای اولین بار در ۱۲ آوریل سال ۱۹۳۷ در پایگاه Power Jets در Lutterwort به کار افتاد. در ادامه این شرکت به یک سایت جدید در Whetstone منتقل شد. در سال ۱۹۴۴ شرکت Power jets دولتی شد و گروه ویتل نیز به یک گروه مشاوره‌ای تحت مالکیت دولت انگلستان تبدیل شد.

شرکت Rolls–Royce

از دهه ۴۰ میلادی تا دهه ۶۰، شرکت R-R و شرکت‌های اولیه ادغام شده با آن، قدم در راه تولید قدرت برای مصارف صنعتی گذاشته بودند. در مقابل، از آنجایی که چنین حوزه‌ای در محدوده

تخصص شرکت R-R قرار نمی‌گرفت، این مسئولیت به منظور توسعه ماشین‌های صنعتی، به شرکت‌های Ruston، English Electric و AEI داده شده بود.

در سال ۱۹۵۳ شرکت رولز رویس موتور توربین گاز RM60 را برای استفاده‌های دریایی با توان خروجی ۶۰۰۰ اسب بخار تولید کرد. این ماشین یک قطعه نسبتاً سبک بود که با تکنولوژی موتورهای هوایی ساخته شده بود. موتور RM60 بر روی Royal HMS Grey Goose که دارای دو موتور از همین نوع بود، سوار می شد. از این موتور تنها دو عدد ساخته شد.

شرکت رولز رویس از تعدادی شرکت تولید موتور هوایی تشکیل شده است که بر اساس تصمیمات سیاسی در دهه ۶۰ در شرکت های BS و RR ادغام شدند. در سال ۱۹۶۶ شرکت BS و شرکت رولز رویس ادغام شدند. با این حال شرکت رولز رویس، رویه‌ای متفاوت در ساخت توربین‌های گاز صنعتی به کار گرفته بود. این شرکت تنها ژنراتورهای گازی خود را به طرف قراردادهای اصلی خود نظیر AEI، شرکت English Electric، GEC و Stall Laval

شرکت رولز رویس از

تعدادی شرکت تولید

موتور هوایی تشکیل

شده است که بر اساس

تصمیمات سیاسی در

دهه ۶۰ در شرکت های

BS و RR ادغام شدند. در

سال ۱۹۶۶ شرکت BS و

شرکت رولز رویس ادغام

شدند

می‌فروخت. هنگامی که شرکت رولز رویس مالک شرکت BS شد، شرکت Ansty به عنوان بخش صنعتی و دریایی شناخته شد و تمامی قراردادهای غیر از کارهای دریایی فسخ شد.

شرکت رولز رویس در دو مقطع در پروژه‌های پیشرانه‌ای ریلی درگیر شد. یکی از این پروژه‌ها در مورد موتور M45 (همکاری میان رولز رویس و SNECMA) بود. فرصت دوم این شرکت هنگامی بود که شرکت BR با موتورهای Rover در قطارهای سرعت بالای خود دچار مشکل شدند.

البته این دو زمینه ادامه داده نشدند.

شرکت رولز رویس بزرگترین نوع موتور (Avon (Mk533 را صنعتی کرد. اولین واحد در سال ۱۹۶۴ در لوله‌های گاز با تولید توان ۱۰ مگاوات توسط شرکت TransCanada در ایستگاه Caron نصب شد. تعداد زیادی از این موتورها در خارج بریتانیای کبیر توسط شرکت جنرال الکتریک فروخته شدند. در طول ۴۰ سال پس از تولید، این موتور چندین بار به‌روز رسانی شده است (البته بیشتر برای مقاصد مربوط به صنایع نفت و گاز تا به منظور ایجاد قدرت). تمامی موتورهای Avon همانند Mk1533B بودند که با یک نازل نهایی با قطر ۲۴/۵ اینچ تطبیق شده بودند. فروش‌های این موتور از سال ۱۹۶۳ تا سال ۱۹۶۷ در CEGB ادامه پیدا کرد.

موتور توربین گاز صنعتی RR501 توانی در حدود ۵۰۰۰ کیلووات دارد. این موتور در ابتدا با سفارش شرکت TriStar تولید و در سال ۱۹۷۲ به خدمت گرفته شد. طراحی این موتور به صورت سه شفته است. در سال ۱۹۷۴ ورژن صنعتی این موتور با مقاصد استفاده در صنایع نفت و گاز به کار گرفته شد. این واحدها برای تولید قدرت در محدوده ۲۵۰۰۰ تا ۴۴۰۰۰ کیلووات نیز مورد استفاده قرار گرفته اند. موتور RB211 امروزه نیز در بازار مورد استفاده بوده و در حال به روز رسانی است. موتور Trent 800 یک موتور سه شفته است که

اولین بار برای استفاده در هواپیمای بویینگ ۷۷۷ در آگوست ۱۹۹۰ به کار گرفته شد.موتور صنعتی Trent نیز مشتقی از این موتور بوده که برای مقاصد ایجاد قدرت و ایجاد حر کت مورد استفاده قرار می گیرد. این موتور توان ۶۴۰۰۰ کیلووات را با بازدهی ۴۲ درصد انتقال می‌دهد.

موتور Trent در یایی نیز یک مشتق دیگر از موتور Trent 800 مجهز به یک جعبه دنده است که توان ۳۶۰۰۰ کیلووات تولید می کند. این موتور بر روی نسل آینده حمل کننده های هواپیمای نیروی دریایی سلطنتی انگلستان نصب خواهد شد.

موتور WR-21 در سال ۱۹۹۰ معرفی شد. این موتور با توان تولیدی ۲۱ مگاوات (با داشتن سیستم Intercooling) برای مقاصد پیشرا نه های دریایی مورد استفاده قرار می گیرد. هم چنین این موتور برای ایجاد توان در کشتی های نوع ۴۵ نیروی دریایی سلطنتی انگلستان مورد استفاده قرار می گیرد. شرکت رولز رویس ۵۲۰۰ توربین گاز به کشورهای مختلف جهان صادر کرده است.

❏ شرکت Rover

شرکت Rover در Solihull (West Midlands) بریتانیای کبیر با اصالت تولید موتورهای اتومبیل در سال ۱۸۷۸ پایه گذاری شد. شرکت Rover، بر خلاف تصور بسیاری تنها به ساخت توربین های گاز برای اتومبیل ها اکتفا نکرده و توربین های گاز صنعتی نیز تولید می کرد. توربین های گاز Rover برای مصارف ایستگاهی مختلفی نظیر پمپ های اضطراری، استفاده های دریایی به منظور دریافت سریع قدرت مورد نظر تولید می شدند.

موتور هوایی ویتل W2B توسط Power Jets تولید شد و مجموعه ای از نقشه های آن به چند شرکت منتقل شد. اولین و دومین نوع W2B که توسط Power Jets تست شدند، در واقع توسط شرکت Rover در تاسیسات توربین گاز Barnoldswick در Lancashire در سال ۱۹۴۲ تولید شدند. همچنین شرکت Rover در تغییرات ایجاد شده در طراحی W2 تا پیش از انتقال آن به رولز رویس در سال ۱۹۴۳ حضور داشت. شرکت Rover برای تولید توربین های گاز Rover در دهه ۵۰ شهرت زیادی پیدا کرد. در سال ۱۹۵۰ طراح، Rover، F.R.Bell و مهندس ارشد طراح، Maurice Wilks، اولین اتومبیل با توان تغذیه شده توسط توربین گاز را معرفی کردند. اولین مدل توربین گاز این شرکت در فوریه ۱۹۴۷ به حرکت افتاد. موتور توربین گاز Rover JET1 با توان ۱۰۰ اسب بخار به معرض نمایش عموم در آمد و توانست به سرعت ۸۵ مایل در ساعت دست پیدا کند. ورژن به روز رسانی شده با توان ۲۳۰ اسب بخار به سرعت ۱۵۲ مایل بر ساعت دست پیدا کرد.

توربین گاز مورد استفاده در JET1، شامل یک کمپرسور گریز از مرکز یک طبقه با بیشینه

سرعت ۵۲۰۰۰ دور بر دقیقه است. این کمپرسور نیز با یک توربین محوری یک طبقه می چرخید که توان مورد نیاز را از جریان گاز برای چرخاندن کمپرسور و پمپ های سوخت و روغن تامین می کرد. همچنین یک توربین اضافه دیگر با یک طبقه به سیستم اضافه شد تا با جذب توان از جریان گاز، دیفرانسیل های جلو و عقب را به حرکت در آورد. این شرکت یک مدل آموزشی با نام IS60 را تولید کرد که به تمامی دانشگاه های مهم جهان و انستیتوهای تحقیقاتی و کالج ها فروخته شد و تاثیر زیادی در آینده توربین های گاز و موارد استفاده از آنها ایفا می کرد.

در نوامبر ۱۹۵۰ یک RAF ۶۰ فوتی نجات دریایی با نام Torquil با دو توربین گاز روور کار می کرد. در سال ۱۹۵۴ شرکت Rover یک واحد ۱۶۰ اسب بخاری با نام Neptune تولید کرد. شرکت روور همچنین توربین های گاز دریایی ۱۲۰ اسب بخاری Aurora و ۳۰۰ اسب بخاری Snowdown را تولید کرد.

در سال های ۱۹۵۴ تا ۱۹۷۳ تعداد ۱۰۵۲ توربین گاز روور تولید شدند که ۷۷۷ عدد از آن ها توان ۶۰ اسب بخار داشتند. ۲۰۰ واحد از آن ها برای مصارف پمپ آب، ۴۷۴ واحد، برای تولید توان کمکی و ۲۵۰ واحد، برای اهداف آموزشی مورد استفاده قرار گرفتند. در این میان خرید ۱۹۹ عدد ژنراتور تولید توان کمکی Rover، توسط نیروی هوایی سلطنتی جالب توجه است.

در سال ۱۹۶۸، Rover پس از تلفیق با Austin Turbines بخشی از شرکت Leyland شد. این شرکت تولید توربین های گاز را برای وسایل جاده ای، تولید قدرت، پمپ و مصارف ریلی دنبال کرد. تولید توربین گاز های ساخت شرکت Rover در سال ۱۹۷۳ متوقف شد.

❏ شرکت Ruston & Hornsby

این شرکت در Lincoln بریتانیای کبیر در سال ۱۹۱۸ پایه گذاری شد. از ابتدای پیدایش، این شرکت در طراحی و ساخت واحدهای تولید قدرت گازی، بخار و دیزل و همچنین از سال ۱۹۴۶، در ساخت توربین گاز درگیر بوده است.

در سال ۱۹۴۶ با پیروی از کارهای انجام شده توسط فرانک ویتل، شرکت Ruston یک تیم تخصصی کوچک با نام گروه توسعه احتراق داخلی تشکیل داد. وظیفه این گروه بررسی امکان طراحی توربین های گازی بود. مدت کوتاهی پس از تکمیل Power Jets، شخصی به نام Bob Ruston برای عهده گیری مسئولیت شرکت Ruston در حوزه توربین های گاز به این شرکت دعوت شد. در ادامه تیمی از مهندسین جوان و علاقه مند برای طراحی اولین توربین گاز صنعتی شرکت Ruston تشکیل شد. در اسناد مربوط آمده است که بدون هیچ گونه اغراقی، تک تک قطعات موتور اولیه ۳CT و توربین

TA به صورت جداگانه با دقت بالایی طراحی شده بودند. نهایتا خروجی توربین TA ر شدی ۵۰ درصدی داشت که دلیل این امر استفاده از مواد و تکنولوژی های نوظهور آن زمان بوده است. رویه ای مشابه توسط افراد در گیر در توسعه موتورهای جدید تر این شرکت اتخاذ شده است. البته این افراد از پیشرفت های صورت گرفته در متالورژی و تکنولوژی و رایانه ها در تسریع روند انجام محاسبات خود بهره بردند. در میان سال های ۱۹۵۴ تا ۱۹۸۰ بیش از ۹۰۰ عدد توربین گاز Ruston تولید شده است. این عدد به معنای ظرفیتی معادل ۲ میلیون اسب بخار یا ۱۴۵۰ مگاوات است. تعداد کل موتور ها برای این شرکت تا سال ۱۹۸۰ برابر است با ۵۶۳ توربین TA، ۲۳۱ توربین TB، ۳۶ توربین TD، ۶۵ توربین TE و ۱۲ توربین TF.

❏ موتور های Ruston 3CT

این ماشین ابتدا در سال ۱۹۴۹ مورد آزمایش قرار گرفت. این موتور به صورت دو شفته با سیکل باز بود. در سال ۱۹۵۰ این موتور در معرض نمایش مهندسین بر تر بریتانیایی و نشریات فنی خارج از بریتانیا قرار گرفت.

❏ موتور Ruston TA

این موتور ابتدا در سال ۱۹۵۴ با توان ۱۲۶۰ اسب بخار معرفی شد. پیش از طراحی کارهایی بر روی نمونه اولیه توربین اجرا شد و محفظه احتراق بسیار مورد توسعه قرار گرفت. سوخت های مورد بررسی عبارت بودند از نفت گاز، سوخت های پسماند، کریوزوت (creosote با نام CTF50)، TF 200، گاز شسته شده سواژ (Washed Sewage Gas) و هم چنین قیر تولید شده از گاز داخل شهر. طراحی تمام مقیاس TA در سال ۱۹۵۲ شروع شد و در همان سال اولین سفارش برای میدان نفتی از یک شرکت نفتی در خاورمیانه دریافت شد.

پیش از تعریف ایده انرژی کل (Total Eenergy) شرکت Ruston بر روی توربین های TA خود از سیستم های باز یافت گرمایی گاز خروجی استفاده می کرد. اولین توربین TA مورد خدمت گرفته شده در آمریکا بر این اساس، در مرکز خرید پارک Plaza آرکانزاس در ۱۹۵۶ قرار داشت.

❏ موتور Rutson TD

در سال ۱۹۶۷ طراحی یک موتور یک شفته ۳ مگاواتی با نام TD۴۰۰ کلید خورد. این موتور در سال ۱۹۷۰ با توان ۳۸۷۰ اسب بخار به عموم معرفی گردید. در طول پروسه طراحی، با معرفی ایده تشابه (Similarity) تصمیمات را به ساخت وسایل بزرگ تر متمایل ساخت تا بدین ترتیب، کاهش هزینه مناسبی در کمپرسورها وجود داشته باشد.

چیدمان استفاده از ۴ محفظه احتراق در اطراف

❏ موتور Ruston TD

از حوالی سال های ۱۹۶۵ تا ۱۹۹۹، شرکت Alstom

همکار تولیدی شرکت GE (جنرال الکتریک آمریکا) بود. شرکت GE پیمان نامه هایی با تامین کننده های بین المللی داشت. بر اساس این تعهد نامه ها، تامین کننده ها روتور و مسیر گاز داغ را از GE خریداری کردند

کمپرسور برای موتور TD۴۰۰ انتخاب شد که موجب کاهش اندازه موتور گردید. رویه مورد استفاده در طراحی کمپرسور، بر اساس کاهش هزینه های تولید بر اساس کم کردن تعداد پروفیل ها از ۱۴ به ۴ بود که این خود باعث کاهش هزینه در ساخت تیغه بدون به همراه داشتن هیچ گونه افتی در بازده آبرودینامیکی بود.

❏ موتور Ruston TB

این موتور در سال ۱۹۶۹ با توان ۳۰۰۰ اسب بخار معرفی گردید. با وجود این که تکنولوژی مورد استفاده در این موتور بسیار مشابه موتور های قدیمی تر بود، تغییراتی در اساس طراحی با استفاده از مواد و تکنوسوژی جدید در طبقات توربین صورت گرفت و این باعث شد که موتور از توان اولیه خود (۳۰۰۰ اسب بخار) طی چند گام (یعنی ۴۰۰۰، ۴۹۰۰، ۵۲۰۰ و ۵۴۰۰) به توان نهایی ۵۴۰۰ اسب بخار ارتقا پیدا کند. تولید این موتورها در دهه ۹۰ متوقف شد و واحدهای جدید در اوایل دهه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ به فروش رفت. افزایشی این چنبنی که از متالورژی ارتقا یافته، دماهای احتراق بالاتر و خنک سازی پره ها نشات می گرفت، همراه با مهندسی معکوس و پیشرفت های تکنولوژی در (Tornado SGT200) به کار گرفته شدند.

❏ موتور Ruston TE

این موتور با توان ۴۳۰ اسب بخار در سال ۱۹۶۰ معرفی شد..

❏ موتور Ruston TF

این موتور با توان ۱۹۶۰ اسب بخار در سال

۱۹۶۲ معرفی شد. امروزه شرکت زیمنس تمامی مدل های ساخت شرکت Ruston را که در بالا معرفی شده، پیشستیبانی کرده و حتی یک مدل جدیدتر با نام TB۵۰۰۰ (ژنراتور گاز) را با قطعات ۱۰۰ درصد جدید، برای یک مشتری تولید کرد.

❏ شرکت های اروپایی

در سال ۱۹۵۱ کتاب Industrial Gas Turbines نوشته دکتر E.C. Robertson، دوازده تولید کننده اروپایی مشغول به کار در حوزه تولید توربین های گاز هوایی را معرفی کرد. این شرکت های اروپایی در بسیاری از زمینه ها پیشتاز حوزه مربوط به خود بودند. شرکت های فعال در دوره بین سال های ۱۹۴۰ تا ۱۹۹۰ عبارت بودند از:

❏ شرکت Alstom/ Alsthom

این شرکت از ابتدای سال ۱۹۴۰ به اجرای کارهای تجربی در زمینه موتورهای پیستونی اقدام نموده بود. در گزارش ها آمده است که در سال ۱۹۵۱، این شرکت یک توربین گاز ۵۰۰۰ کیلوواتی در حال ساخت داشت. این پروژه در پایگاه این شرکت در Belfort در حال انجام بود. در سال ۱۹۶۸ شرکت آلستوم با شرکت GEC بریتانیای کبیر ادغام گردید و شرکت Alsthom GEC تشکیل شد. این شرکت شامل صنایع توربین گاز BTH و Metrovick، Ruston.English Electric، AEI می شد. تغییر نام از Alsthom به Alstom در سال ۱۹۹۸ صورت گرفت. از حوالی سال های ۱۹۶۵ تا ۱۹۹۹، شرکت Alstom همکار تولیدی شرکت GE (جنرال الکتریک آمریکا) بود. شرکت GE پیمان نامه هایی با تامین کننده های بین المللی داشت. بر اساس این تعهد نامه ها، تامین کننده ها روتور و مسیر گاز داغ را از GE خریداری کردند. در ادامه، این تامین کننده های بین المللی باقی ماشین را ساخته و به عنوان توربین گاز با نام GE می فروختند. شرکت Alsthom یکی از این تامین کننده های بین المللی بود. از آنجایی که ماشین فریم ۹ در Belfort ساخته شده بود، از اهمیت زیادی برخوردار بود. این ماشین در فرانسه ساخته شد و در سال ۱۹۷۷ نصب گردید. در سال ۱۹۹۹، Alstom کسب و کار توربین گاز ABB را که شامل تمامی انواع توربین های گاز می شد، تحت مالکیت داشت. در همان سال، GE تاسیسات ساخت GE، متعلق به Alsthom را خریداری کرد و سبب جدا شدن Alstom ABB از GE شد. در سال ۲۰۰۴، شرکت Alstom توربین های گاز صنعتی کوچک خود را (با توان ۳ تا ۱۵ مگاوات) در بریتانیای کبیر و سایر توربین های متوسط، GT را (با توان ۱۵ تا ۵۰ مگاوات) در سوئد فروخت. بنابراین برای شرکت زیمنس، Alstom با تعداد محدودی توربین گاز باقی ماند. این توربین ها عبارت بودند از GT24، GT26، GT13E2، و GT11N که همگی در ابتدا توسط ABB طراحی شده بودند.



❏ در سال ۱۹۴۶ با

پیروی از کارهای انجام شده توسط فرانک ویتل، شرکت Ruston یک تیم تخصصی کوچک با نام گروه توسعه احتراق داخلی تشکیل داد

شاید به این دیدگاه توجه کافی نشد. اعتقاد من بر این است که نیاز به یک شورای سیاست گذاری یا یک کنسرسیومی باشد که توربین سازها، بهره برداری های توربینس و تعمیرکاران توربین در گرایش های مختلف و آنهایی که می خواهند خدمات پس از فروش ارایه دهند را بتواند هماهنگ کند.

به نظر شما به عنوان متخصص توربین کدام یک از این دو گزینه مناسب تر است؟ این که ما سعی کنیم تجهیزات خودمان را نگه داریم و Upgrade کنیم یا این که برویم به سمت سیستم های جدید که به هر صورت مقتضیات و محاسن خودش را دارد؟

باید دید این آیتم های مختلف که نام بردید، چقدر به ما بهره برداری می دهند؟ گاهی در ارزیابی های خود به این نتیجه رسیده ایم که اگر برای آن توربین ها، تعمیرات معمول و روتین شده را داشته باشیم، خیلی به صرفه تر است. اولاً دانش فنی کار کرد آن توربین ها در کشور بومی شده و ما نیازی به ورود یک ناظر خارجی با دستورالعمل جدید نداریم. دوماً چون توربین های قدیمی هم چنان کار می کرده اند، در واقع، روند ساخت قطعات داخلی آن ها خیلی راحت انجام و بسیاری از قطعات بومی شده است و بالاخره رسوم آن که به تناسب نوع فعالیتی که انجام می دهند، اگر تعمیر و نگهداری شوند، راندمان خوبی هم به همراه خواهند داشت مگر توربین هایی که عمر فیزیکی شان به اتمام می رسد و چاره ای جز تعویض آن ها نیست که البته ما با آن توربین ها کمتر برخورد داشته ایم.

ما در واقع، برای همان توربین ها هم افزایش عمر پیشنهاد می کنیم؛ یعنی اعتقادمان بر این است که تغییر سیستم از یک توربین به توربین دیگر، نیاز به تغییر سیستم های جانبی نیز دارد که بسیار هزینه بر خواهد بود. اما این که اصلاً بیاایم توربینی که الان کار می کند را به تناسب نوع فعالیتش کلاً کنار بگذاریم و یک توربین جدید را به کار بگیریم، مسلماً باید هزینه های زیادی را متحمل شد. به نظر من، ارتقای دستگاه و در حقیقت، تغییراتی جدید و سیستماتیک کفایت می کند. ما عموماً به آن جایی که سیستم کلاً تغییر کند، کمتر وارد می شویم.

آیا یک توربین تا زمانی که می تواند، باید کار کند؟ معمولاً، پاسخ این پرسش، مثبت است. اصولاً در ماشین های صنعتی این شیوه یا برجاست؛ یعنی هیچگاه ماشینیی را که نصب کردیم و دارد کار می کند، پس از ۱۰، ۲۰ و یا حتی ۵۰ سال، به یژه اگر خوب نگهداری و تعمیر شده باشد، از کار کردن، خارج نمی کنیم. چرا که در دیگر کشورها، بسیار عادی است که توربین بخاری که مثلاً مربوط به زمان جنگ جهانی دوم است، هنوز در پالایشگاهی کار می کند و راندمان خوبی هم دارد، پس نیازی به تعویض آن نیست.

ساخت توربین نباشد. در دنیا شاید تنها پنج کشور سازنده توربین وجود دارند و بقیه کشورها نیازشان را از طریق آنها تأمین می کنند و از این رو نیازی نمی بینند که خودشان به دنبال بومی سازی و ساخت بروند. دنیا با ارزیابی های فنی اقتصادی به این نتیجه رسیده که ساخت توربین تنها در شرایط خاص به صرفه است. به عنوان مثال، کشورهایی مثل کشور ما که اقتصاد وابسته به نفت دارند و توربین، کمپرسور و خطوط انتقال یکی از اصولی ترین تجهیزات و دارایی های فیزیکی آن ها به شمار می رود، باید در این زمینه متولی باشند. از طرفی تحریم های بین المللی و وجود مانع در برقراری ارتباط و تعامل با شرکت های سازنده، سبب شد که ما به سمت بومی سازی توربین برویم، به طور خلاصه، پاسخ پرسش شما این است که اگر شرایط به گونه ای بود که به راحتی می توانستیم نیازمان را از خارج تأمین کنیم، به اعتقاد بنده، نیازی به ساخت توربین نبود.

همانطور که تجربه جنگ ما را و داشت تا در مقولات استراتژیکی مثل اقلام دفاعی یک سطحی از استقلال را داشته باشیم حتی اگر هزینه بر و غیر اقتصادی باشد تحریم های اقتصادی هم این تجربه را داشت که نمی توان فقط از منظر اقتصادی به مسائل نگاه کرد. به هر صورت حتی اگر توجیه اقتصادی نمی داشت ولی حسب ضرورت و نیاز در کشور صنایعی مثل صنعت توربین های گازی ایجاد شد و در این چند سال به توفیقاتی هم دست پیدا کرده است و البته هنوز جای کار زیاد دارد تا قابل رقابت با شرکتهای بزرگ خارجی شود در این شرایط باید چه تدبیری اتخاذ شود؟

من در این قسمت با شما موافق هستم که نیاز باعث می شود ما به این سمت برویم و این، یک امر اجتناب ناپذیر است ولی باز هم عرض می کنم که به سازمانی نیاز است که این سازوکار ساخت را با نیازهای داخلی و در آینده اگر بتواند به برند جهانی، به نحوی رقابت پذیر، تبدیل کند. شما اگر بتوانید اولاً نیازهای داخلی را پوشش دهید، در بخشی، شرکت، تولید نیرو گاهی را به مگاوات های بالا می رساند. در بخشی دیگر، شرکت توربین های ۲۵ تا ۳۰ مگاوات را می خواهد تولید کند، متناسب با نیاز بخش دیگر، شرکتی ۴ مگاوات و زیر ۴ مگاوات را تولید می کند. باید یک ارزیابی و نیازسنجی واقعی در کشور انجام شود. حالا یا سرمایه گذار این کار را انجام دهد یا...، ولی من فکر می کنم در کشور ما یک متولی باید باشد. پادم می آید در گذشته آقای زنگنه شورایعالی توربین تعریف کرده بودند که وظیفه اش این بود که بگوید تمام توربین های نفت گاز پتروشیمی چه دارند می کنند؟ وظیفه شان چیست؟ کمبودهای آنها چیست؟ نیازهایشان چیست؟ چطور باید دسته بندی شوند و چطور باید پشتیبانی شوند؟ پیمانکارانشان که هستند؟ این دیدگاه در آن زمان دیدگاه خیلی خوبی بود ولی بعد با تغییر سیستم و وزارت بعدی،

معیارهای انتخاب توربین های گازی و چالش های بهره برداری از آن هادر صنایع نفت و گاز



مهندس اسدالله قنواقی، معاونت مهندسی در امور ایستگاه های تقویت فشار گاز شرکت انتقال گاز ایران با سابقه ۲۶ ساله در بخش عملیات تالیسیسات تقویت فشار گاز علاوه بر تجربه زیادی که در بخش نگهداری و بهره برداری ایستگاه تقویت فشار گاز دارد، با انواع توربین هایی که در شرکت انتقال گاز در حال بهره برداری هستند، آشنایی کامل دارد که از میان آنها می توان به توربین های Avon، Nuovo Pignone، زیمنس SGT600، SGT400 و SGT 100، زوریا ۲۵ مگاواتی و دی جی ۵۹-۱۶ مگاوات (اوکراینی) و همچنین توربین Motorsich (اوکراینی-روسی)، اشاره کرد. تجربه و تخصص مهندس قنواقی در صنعت توربین (به عنوان یک تجهیز کاربردی در صنعت نفت و گاز)، ما را بر آن داشت که با او به گفت و گو بنشینیم که ماحصل آن در ادامه از نظر مخاطبان گران قدر می گذرد.



به عنوان پرسش نخست، در مورد معیار های انتخاب یک دستگاه توربین گازی توضیح دهید.

توربین گازی در وهله نخست باید بر طرف کننده نیازهای فرایندی در بخش عملیات باشد، به طوری که برای دستگاهی که به گردش در می آورد (کمپرسور گاز، پمپ و یا ژنراتور برق)، محرک (Driver) خوبی باشد. در ضمن معیارهای طراحی توربین باید منطبق با نیازهای عملیاتی باشد، عمر توربین از معیارهای مهم و مورد توجه بهره بردار (End User) است. معمولاً انتظار می رود که یک توربین حداقل تا ۱۲۰ هزار ساعت عمر مفید داشته باشد، هر چند ممکن است در طول این مدت به تعمیر و نگهداری ویژه هم نیاز داشته باشد. بهره بردار معمولاً توربینی را انتخاب می کند که سطوح کنترلی آسان، سریع و کم هزینه ای داشته باشد ضمن اینکه تأمین قطعات یدکی آن هم در کوتاه ترین زمان و با

کمترین قیمت، ممکن باشد. از دیگر معیارهای مهم می توان به کارکرد ساده و روان توربین اشاره کرد؛ بهره بردار ترجیح می دهد با توربینی که سیستم کنترلی خیلی پیچیده ای که با کوچکترین تغییر شرایط، اعلام خطر (Alarm) می کند، کار نکند. به بیان روشن تر، گاهی اوقات شاهد استفاده از توربین هایی با تکنولوژی بسیار پیچیده و سیستم ایمنی حساس هستیم که حتی با نوسان دمایی هم دستور توقف (Shut down) می دهد که این اصلاً به صرفه نیست. آخرین معیار ولی مهمترین آنها از منظر بهره بردار در انتخاب یک توربین، خدمات پس از فروش و امکان برقراری ارتباط با تأمین کننده های قطعات است.

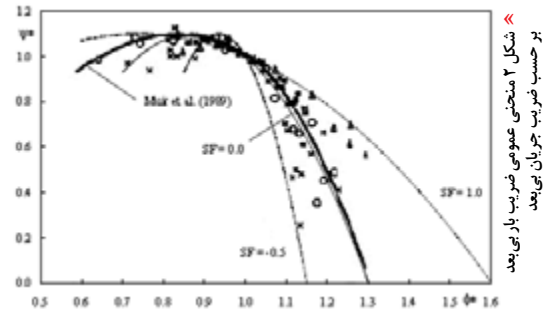
مورد اولی که اشاره کردید البته در تمام خرید های توربین های گازی مد نظر مجری پروژه و تیم طراحی است ولی بقیه موارد که عمدتاً دغدغه های بهره برداری

است کمتر مورد عنایت تیم طراحی قرار می گیرد. به نظر شما با چه راهکارهایی می توان دغدغه بهره برداران را کاهش داد؟

علت وجود این دغدغه ها، جدایی بخش طراحی و ساخت از بهره بردار است. علت این مساله هم آن است که معمولاً طراحان تمایلی ندارند که مورد نظارت بهره بردار باشند زیرا فکر می کنند ممکن است آن قدر معیارهای انتخابی را زیاد کنند که انجام کار به بن بست برسد، بنابراین ترجیح طراحان و سازندگان این است که با توجه به همان اصول اساسی و آکادمیک کار را پیش برند.

نیاز به سرمایه گذاری ساخت توربین تا چه اندازه برای کشور ما مهم است و باید مورد توجه قرار گیرد؟

اگر ما به یک سیستم اقتصاد جهانی وصل باشیم و بتوانیم نیازهای عملیاتی مان را به طور اصولی تأمین کنیم، شاید نیازی به سرمایه گذاری و



شکل ۲ منحنی عمومی ضریب بار بی بعد بر حسب ضریب جریان بی بعد

دارند، انتخاب می شوند. Attia و Hemerly جهت بررسی مقدماتی ارتقاء کمپرسور، از روش صفر بعدی و با توجه به مفهوم پارامترهای بی بعد، ارتقای کمپرسور را بررسی نموده اند. هر چند در روش مذکور تغییرات عدد ماخ جریان (تغییرات کمیت بدون بعد $N/\sqrt{\gamma}$) و همچنین حداکثر پتانسیل ارتقای طبقات مختلف کمپرسور لحاظ نگردیده است. در روش پیشنهادی در این مقاله، روش شبه یکی بعدی پیشنهاد شده توسط Spina مورد استفاده قرار گرفته است. برای بررسی روند ارتقای کمپرسور، روش مذکور به گونه ای تغییر یافته تا پتانسیل ارتقای طبقات مختلف کمپرسور و تاثیر آن را بر روی عملکرد کمپرسور شناسایی شود. ایده اولیه در روش جایگذاری طبقات استفاده از منحنی های عمومی ۱ برای پارامترهای عملکردی طبقات کمپرسور است. بررسی های تجربی انجام شده توسط Muir و Saravanamuttoo و Howell

شده برای طبقات کمپرسور در نقطه طراحی (در این مرحله منحنی عملکرد مخصوص هر طبقه شناسایی می شود)

• تعیین عملکرد کل کمپرسور در شرایط کاری مختلف بر اساس عملکرد طبقات مختلف با استفاده از این دو نقشه عملکردی و مشخصات جریان ورودی به طبقه، می توان تمام مشخصات طبقه و همچنین مشخصات جریان خروجی از طبقه را بدست آورد. در نتیجه تنها با داشتن مشخصات جریان ورودی به کمپرسور، خصوصیات عملکردی طبقه اول و متعاقب آن طبقات بعدی و در نهایت کل کمپرسور را محاسبه نمود. برای تعیین عملکرد طبقات علاوه بر مقادیر مرجع، اطلاعات اضافی دیگری نیز لازم است تا منحنی مخصوص هر طبقه بر اساس منحنی های عمومی تعیین شود. پارامترهای مورد نیاز منحنی عملکرد ضریب بار عبارتند از و $(\Psi_{\max}^*$ و $\Phi_{\max}^*)$ برای تعیین موقعیت قله نمودار و ضریب شکل (Factor Shape) برای تعیین میزان جمع شدگی نمودار. برای استفاده از منحنی عمومی بازده نیز پارامترهای

شناسایی عملکرد کمپرسور

در روش های رایج که از منطق ارائه شده توسط Spina برای شناسایی رفتار کمپرسور استفاده می شود، عملکرد طبقات کمپرسور مشخص نمی باشد. به همین دلیل با استفاده از الگوریتم های جستجوی مناسب کمیت های مورد نیاز برای مدل کمپرسور (نظیر Φ_{ref} و Ψ_{ref} هر طبقه) به گونه ای تعیین می شوند که عملکرد کلی کمپرسور (دبی جرمی هوای عبوری، نسبت فشار و راندمان ایزونتروپیک) با مشخصات طراحی کمپرسور یکسان باشد. بدیهی است که با توجه به تعداد طبقات زیاد کمپرسور محوری در توربین های گازی و کم بودن تعداد پارامترهای کلی کمپرسور در نقطه طراحی احتمال خطا در شناسایی عملکرد طبقات وجود دارد. در شکل ۳ مشخصات عملکردی طبقات در نقطه طراحی یک کمپرسور نشان داده شده است.

روند کلی شناسایی عملکرد کمپرسور توسط این روش شامل دو مرحله اصلی است:

- تعیین مقادیر مرجع و پارامترهای مدل ارائه

شده، در صورت دسترسی به مدل های دقیق تر هندسی از کمپرسور می تواند با محاسبات دقیق عددی جایگزین شوند.

$$\Psi_{\max}^* = 1.115 \quad ; \quad \phi_{\max}^* = 0.835$$

$$\left(\frac{\Psi^*}{\phi^*}\right)_{\min} = 0.04 \quad ; \quad \left(\frac{\Psi^*}{\phi^*}\right)_{\max} = 1.46$$

$$\eta_{\left(\frac{\Psi^*}{\phi^*}\right)_{\min}}^* = 0.20 \quad ; \quad \eta_{\left(\frac{\Psi^*}{\phi^*}\right)_{\max}}^* = 0.92$$

در دسته معادلات پایین روش تعیین مشخصات جریان در ورودی هر طبقه ارائه شده است. در نتیجه با حل این دستگاه مقادیر ۵ مجهول (C_{ax}, C, ρ, P, T) به طور همزمان محاسبه می گردد.

نکته قابل توجه در این قسمت، محاسبه چگالی استاتیکی جریان و استفاده از آن در معادلات است.

$$\dot{m} = \rho A C_{ax} \quad \text{در اکثر بررسی های صورت}$$

$$C_{ax} = C \cos \theta \quad \text{گرفته به روش جایگذاری}$$

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad \text{طبقات به علت موجود}$$

$$T = T_0 - \frac{C^2}{2c_p} \quad \text{نبودن اطلاعات مورد}$$

$$P = P_0 \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad \text{نیاز، در رابطه پیوستگی از}$$

$$\quad \text{چگالی کل استفاده گردیده}$$

$$\quad \text{که منجر به محاسبه سرعت}$$

$$\quad \text{محوری و در نتیجه ضریب}$$

$$\quad \text{جریان متفاوت با واقعیت}$$

می گردد. اما در این تحقیق با در اختیار داشتن زوایای پره ها و صرف نظر کردن از تفاوت زاویه جریان و زاویه لبه فرار پره، می توان سرعت محوری را با دقت مناسب تری محاسبه نمود:

$$U = RPM * \frac{2\pi}{60} * r_{mea}$$

$$\phi = \frac{C_{ax}}{U}$$

$$\phi^* = \frac{\phi}{\phi_{Des}}$$

بازده طبقه می توان مشخصات جریان خروجی از طبقه را به کمک معادلات زیر محاسبه کرد:

$$h(T_{0(i+1)s}) = h(T_{0i}) + U_i^2 \Psi_i = h(T_{0i}) + U_i^2 F_{\Psi}(\phi_i)$$

$$h(T_{0(i+1)}) = h(T_{0i}) + \frac{U_i^2 \Psi_i}{\eta_i} = h(T_{0i}) + \frac{U_i^2 F_{\Psi}(\phi_i)}{\eta_i(\phi_i)}$$

$$PR_i = \frac{P_{0(i+1)}}{P_{0i}} = \left(\frac{T_{0s(i+1)}}{T_{0i}}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\phi_{i+1} = \phi_i \frac{U_i}{U_{i+1}} \frac{A_i}{A_{i+1}} \frac{P_{0i}}{P_{0i+1}} \frac{T_{0(i+1)}}{T_{0i}} \left(\frac{1 - \frac{V_i^2}{2C_p T_{0i}}}{1 - \frac{V_{i+1}^2}{2C_p T_{0i+1}}}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

به کمک خصوصیات جریان در ورودی و خروجی تمامی طبقات می توان خصوصیات عملکردی کمپرسور را نیز محاسبه نمود. بنابراین عملکرد کمپرسور در شرایط خارج از طراحی نیز با استفاده از مجموعه این معادلات، تنها با استفاده از دبی ورودی به کمپرسور، خصوصیات عملکردی کمپرسور و طبقات آن محاسبه می گردد.

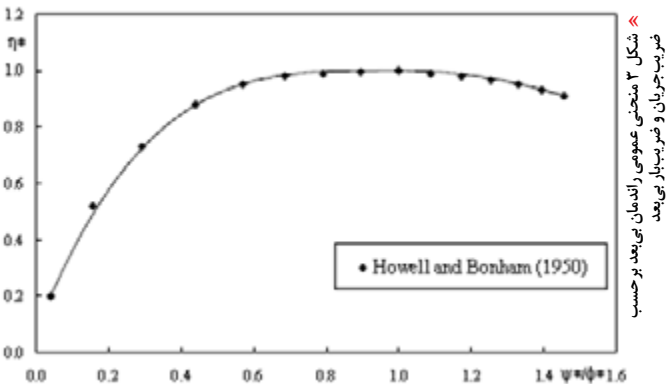
$$PR = \frac{P_{0(Nstg+1)}}{P_{01}} = \left(\frac{T_{0s(Nstg+1)}}{T_{01}}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

$$\eta = \frac{T_{0s(Nstg+1)} - T_{01}}{T_{0(Nstg+1)} - T_{01}}$$

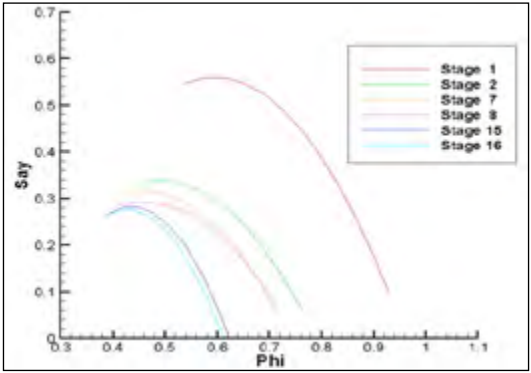
انتخاب طبقات قابل ارتقا

در این مرحله طبقاتی که لازم است ارتقا یابند بر اساس مشخصات کلی طبقات مختلف کمپرسور انتخاب می شوند. در ادامه به طریقی میزان پتانسیل ارتقای هر طبقه تخمین زده می شود که می تواند از طریق مقایسه سطح تکنولوژی طراحی روز و توربین تحت بررسی و یا نوعی از محاسبات عددی انجام گردد.

- طبقات ابتدایی: این طبقات بیشترین تاثیر را بر روی افزایش دبی جرمی کمپرسور دارند.
- طبقات میانی: این طبقات تاثیر محدود بر روی دبی جرمی و نسبت فشار کمپرسور دارند.
- طبقات انتهایی: این طبقات بیشترین تاثیر را بر



شکل ۳ منحنی عمومی راندمان بی بعد بر حسب ضریب جریان و ضریب بار بی بعد



شکل ۴ نموداری از نقشه عملکرد شده طبقات یک کمپرسور

روی افزایش نسبت فشار کمپرسور دارند.

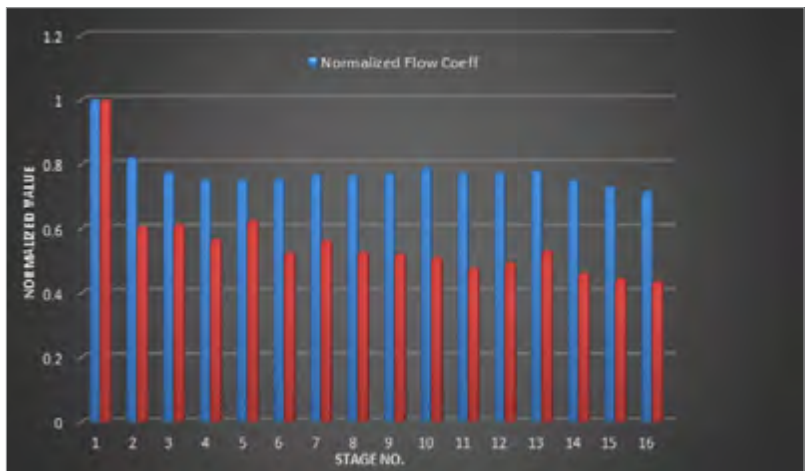
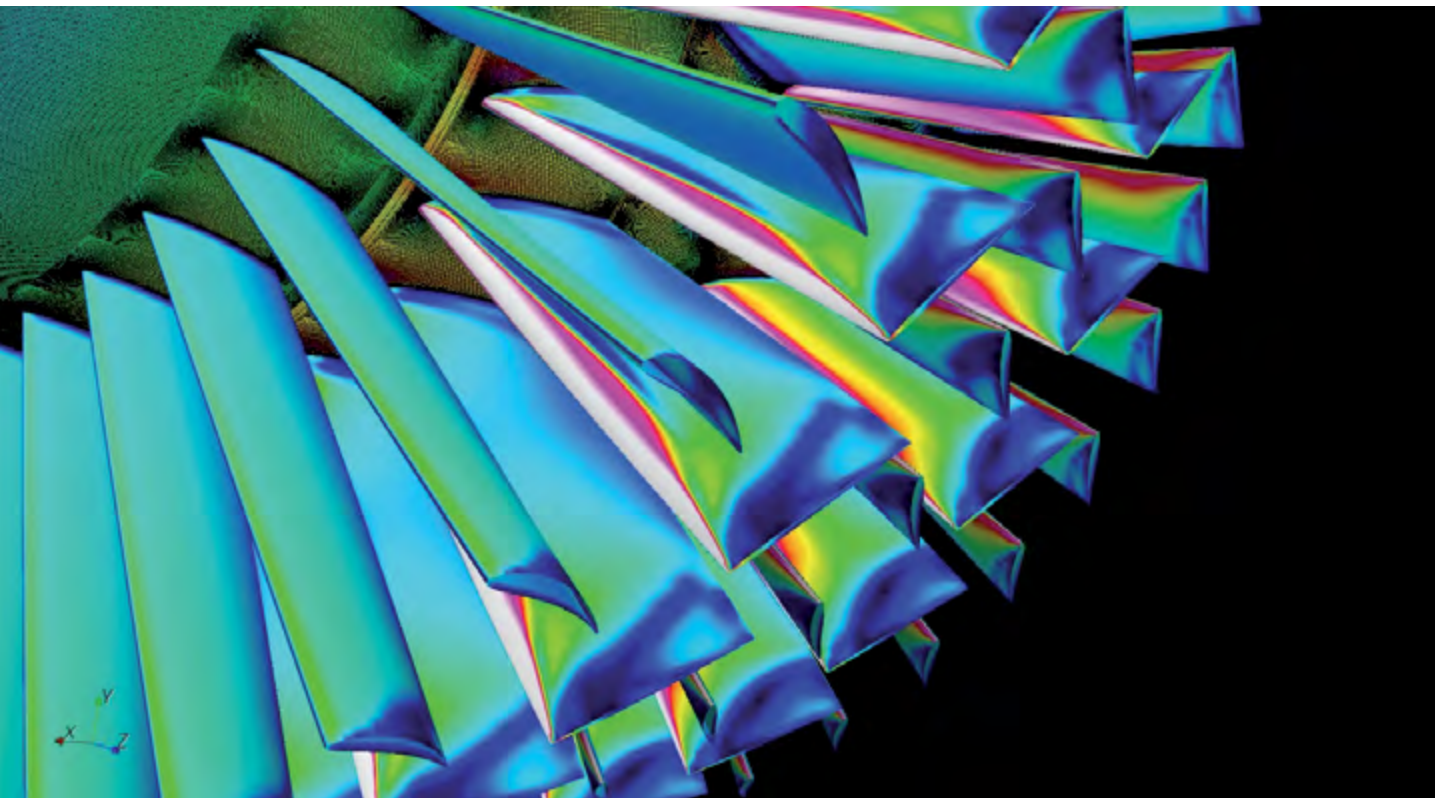
در نتیجه معمولاً سناریوهای ارتقا در سه دسته ارتقای طبقات ابتدایی، ارتقای طبقات انتهایی و یا ترکیبی از این دو خواهند بود. پس از تعیین طبقات قابل ارتقا، مقدار دبی کمپرسور در طی گام های متوالی، افزایش داده می شود. یک انتخاب مناسب پس از افزایش دبی جرمی کمپرسور، انتخاب ضریب بار طبقات قابل ارتقا به نحوی است که ضریب بار جریان ورودی به اولین طبقه بعد از طبقات ارتقا یافته ثابت بماند. به عبارتی دیگر سعی شده است که در فرایند ارتقا هیچ تغییری برای طبقه Interface نیاز نباشد.

شبیه سازی عملکرد توربین گاز به منظور سنجش

میزان ارتقا

ممکن است اعمال ارتقای فرضی در یک طبقه در مجموع منجر به افت سطح عملکرد کل کمپرسور گردد! چرا که با تغییر طراحی یک طبقه، ردیف های پس از آن به حالت خارج از طراحی می روند که به طور معمول با بازده کمتری کار می کنند. از سویی دیگر ممکن است یک سناریوی ارتقا منجر به کاهش جزئی بازده کمپرسور شود، اما به علت افزایش مناسب نسبت فشار، در مجموع منجر به بهبود بازده گرمایی سیکل توربین گاز شود! همچنین اعمال تغییرات در کمپرسور بدون توجه به تطبیق با توربین به دور از واقع بینی است. چرا که پس از بازطراحی کمپرسور، نقطه طراحی جدید با توجه به شرایط خفگی جریان در گلوگاه توربین، سرعت شفت و بارگذاری ژنراتور در مکانی دیگر به تعادل می رسد. برای مثال در صورتی که نسبت فشار کمپرسور در نقطه طراحی پیشین ۵ درصد افزایش یابد، دلیل بر افزایش نسبت فشار سیکل به میزان ۵ درصد پس از نصب کمپرسور ارتقا یافته نیست!

موارد اشاره شده لزوم استفاده از یک شبیه ساز عملکرد توربین گاز را در کنار ابزار جایگذاری طبقات ضروری می سازد، تا اثر تغییرات در طراحی کمپرسور به طور مستقیم در عملکرد



شکل ۵. توزیع مقادیر ضریب بارگذاری و ضریب جریان

در این صورت می‌بایست گام‌های مورد نیاز برای طراحی یک توربین گاز از ابتدا، برای فرآیند ارتقا نیز طی شوند که به معنی شروع از انتخاب سیکل نقطه طراحی توربین گاز در سطح محاسبات سیکل و ادامه مسیر با باز طراحی تمامی اجزای آن است. در صورتی که در سناریوهای دسته اول تنها نیاز به ایجاد تغییر در نقشه عملکرد کمپرسور، به عنوان تنها جزئی که با تغییر هندسی مواجه شده است، حس می‌شود.

روش انجام محاسبات

حل مساله خارج از طراحی در الگوریتم استفاده شده مبتنی بر تشکیل ماتریس مشتقات خطا نسبت به متغیرهای مجهول مساله است. در مورد پیکربندی توربوشفت تک محوره از سه شرط فیزیکی برای ایجاد پارامترهای خطا استفاده می‌شود:

- برقرار بودن تعادل انرژی در شفت
- پایداری جرمی جریان در عبور از هسته
- تعادل فشار استاتیک جریان خروجی با فشار محیط

در غیر این صورت کمپرسور ارتقا یافته پس از نصب نه تنها در ناحیه‌ای با بازده بیشینه عمل نمی‌کند، بلکه با توجه به شیب تند خطوط سرعت ثابت نقشه عملکردی کمپرسور در دورهای بالا، نقطه کارکرد آن، بسته به کوچک‌تر یا بزرگ‌تر شدن نسبت دبی به فشار خروجی کمپرسور در مقایسه با قبل از ارتقا، به سرعت به سمت دو مرز ناپایداری یا خفگی پیش می‌رود. البته مدل‌سازی میدان جریان پیچیده در ورودی توربین با این رابطه یک بعدی خطایی به همراه دارد که با توجه به سادگی استفاده از مدل ارائه شده، به عنوان ابزاری برای مقایسه و امکان‌سنجی سناریوهای ارتقا و نه طراحی مجدد اجزای توربین گاز قابل قبول است. با استفاده از رابطه بالا می‌توان به‌طور مستقیم نتیجه گرفت، در ازای تغییرات محدود در دبی و نسبت فشار کمپرسور و همچنین دمای خروجی از محفظه احتراق، میزان تغییرات پارامترهای فوق می‌بایست از رابطه پائین پیروی کنند.

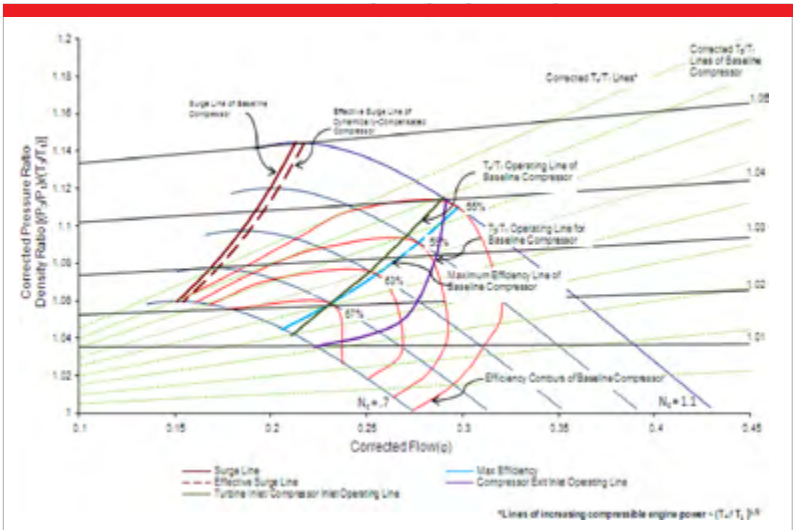
$$\frac{\dot{m}_c \sqrt{T_0}}{P_0 A^*} = \sqrt{\frac{\gamma}{R} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}}$$

توربین گاز دیده شده و به ازای آن مقایسه سناریوها انجام پذیرد. استفاده از مدل صفر بعدی ترمودینامیکی برای مدل‌سازی و محاسبه عملکرد توربین گاز روشی شناخته شده است که در کنار ساده‌سازی‌های فراوان، در اکثر مواقع نتایج رضایت‌بخشی به همراه داشته است. چراکه می‌توان با به کارگیری ابزاری سریع، با تقریب قابل قبولی مقادیر میانگین پارامترهای ترمودینامیکی را در مقاطع میانی اجزای توربین گاز بدست آورد و در پی آن عملکرد توربین گاز را شبیه‌سازی نمود. در چنین ابزاری اجزای تشکیل دهنده توربین گاز با ارائه نقشه‌های عملکردی مدل‌سازی می‌شوند.

می‌توان سناریوهای ارتقای توربین گاز را به دو دسته کلی تقسیم نمود. در دسته اول تنها تغییر در طراحی کمپرسور مد نظر است و سعی بر این است که تغییرات به گونه‌ای انجام گیرند که نیاز به تغییرات کلی در اجزای دیگر موتور نباشد. اما در دسته دوم محدودیت دست نخوردن طراحی اجزای اصلی توربین گاز مد نظر نیست و می‌توان با آزادی بیشتری به تغییر در طراحی کمپرسور پرداخت. محدودیت اصلی در سناریوهای ارتقای دسته اول مربوط به خفگی جریان در گلوگاه توربین است. در نتیجه در صورتی که تنها تغییر در طراحی کمپرسور مد نظر باشد، می‌بایست نسبت فشار و دبی جرمی آن به گونه‌ای تغییر کنند که رابطه زیر پس از تغییر در طراحی کمپرسور همچنان برقرار باشد:

$$\frac{d\dot{m}_5}{\dot{m}_5} + \frac{1}{2} \frac{dT_5}{T_5} - \frac{dP_5}{P_5} = 0$$

در دسته دوم سناریوهای ارتقا، تغییر طراحی در توربین گاز به صورت عمومی مطرح است که



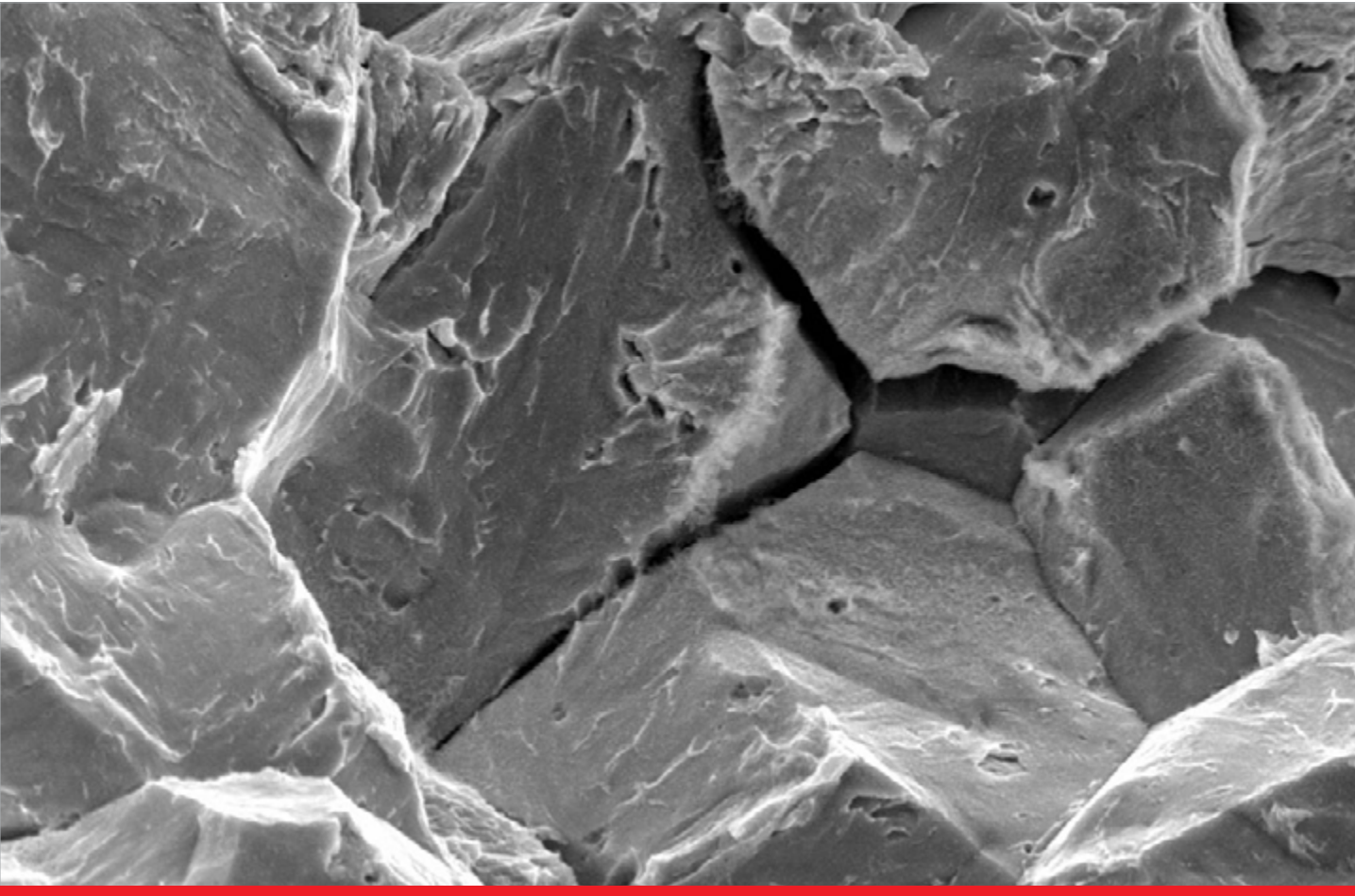
در اتمام فرآیند آزمون و خطا، مقدار دبی جرمی خوانده شده از نقشه عملکرد توربین برابر با دبی نقشه کمپرسور به علاوه سوخت اضافه شده در محفظه احتراق است. همچنین اندازه کار توربین برابر با کار مورد نیاز کمپرسور به علاوه توان استخراج شده از شفت است. فشار استاتیک جریان خروجی نیز که به عنوان تابعی از فشار کل توربین (بدست آمده از نقشه عملکرد) و مساحت آخرین مقطع توربین گاز بدست می‌آید، مقداری برابر با فشار محیط دارد.

طراحی هندسی طبقات منتخب

پس از سنجش پتانسیل ارتقا و انتخاب سناریوهای منتخب، گام بعدی محاسبه تغییرات هندسی لازم به منظور نیل به مقادیر ارتقای پیش‌بینی شده در هر طبقه است. این مرحله به منظور کامل ساختن روند طراحی از امکان‌سنجی به طراحی اولیه و دقیق انجام می‌گیرد. محاسبات سیالاتی در این مرحله از طریق ابزارهای شبیه‌سازی سطح بالا (Curvature Streamline یا CFD-3D) صورت می‌گیرد که با کدهای بهینه‌سازی کوپل شده و مسئله طراحی معکوس (Inverse Design) در دست‌را حل می‌کنند. در نهایت به منظور تأیید نتایج حاصله می‌بایست تمامی کمپرسور ارتقا یافته با استفاده از نرم‌افزارهای تجاری محاسبات سیالات عددی مورد آزمون قرار گیرد تا در صورت نیاز محاسبات از ابتدا تکرار شوند.



تخمین عمر باقیمانده در پره‌های ناحیه داغ توربین‌های گازی

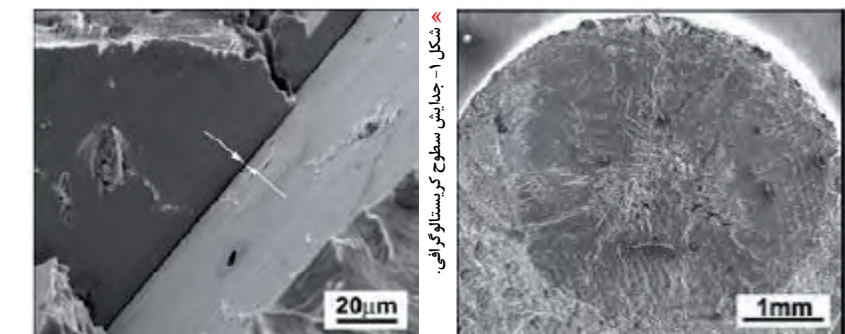


پدیده خستگی کم دامنه که عبارت است از فرایند سایش بین دو سطح با حرکت نوسانی کم دامنه، می تواند به ایجاد تخریب در ناحیه مربوط به ریشه پره ها منجر شود



نوذر انجبین^۱، امیر آگهی^۲
پره ها و نازل های مورد استفاده در بخش داغ توربین های گازی، به دلیل تحمل دماهای خیلی بالا و متغیر و نیز شرایط بار گذاری دینامیکی ناشی از سیال و چرخش پره ها، در معرض شرایط کاری بسیار سختی قرار دارند. مواد به کار رفته در ساخت این قطعات که عموماً سوپر آلیاژهای پایه نیکل و یا پایه کبالت هستند ضمن کارکرد توربین دچار یک تنزل در خواص می شوند، که منشا آن وجود عیوب ریزساختاری ماده، خطاهای هندسی و یا بار گذاری نامناسب می باشد. این تنزل در خواص با ایجاد تغییر در مشخصات متالورژیکی ماده حین کارکرد همراه است که در اثر آن ممکن است خواص خزشی، خستگی، ضربه و یا خوردگی آلیاژ تضعیف شود. به گونه ای که هر نقطه از پره در معرض ترکیبی پیچیده از مکانیزم های مختلف تخریب قرار می گیرد. در حالت کلی این خرابی ها را می توان به دو گروه زیر تقسیم کرد:

- خرابی سطوح ناشی از خوردگی، اکسیداسیون، تشکیل ترک خستگی، سایش و فرسایش
- خرابی های داخلی ریزساختار، نظیر وقوع پدیده درشت شدن جهت دار فاز گاما پریم در سوپر آلیاژهای



شکل ۲- ساختار چشم ماهی در سطح شکست

۱: نوذر انجبین: واحد مهندسی شرکت توربین ماشین خاورمیانه

۲: امیر آگهی: مدیر واحد مهندسی شرکت توربین ماشین خاورمیانه

در شکل ۳، نشان داده شده است. توزیع عیوب در قطعات ریختگی دارای ماهیت آماری است، بدین معنا که در نمونه های مختلف، اندازه، شکل و نحوه توزیع آنها ممکن است متفاوت باشد لذا منجر به ایجاد پراکندگی در نتایج عمر خستگی می شود. به طوریکه بخاطر وجود پراکندگی زیاد در داده های به دست آمده از آزمون های تجربی جهت تعیین خواص خستگی ماده، عمر قطعات به جای اینکه یک مقدار قطعی داشته باشد، عموماً به صورت یک تابع توزیع آماری بیان می شود. البته آثار نامطلوب عیوب فوق را تا حدودی می توان با استفاده از روش فشار همه جانبه داغ (HIP) برطرف کرد.

مدل های خستگی

به طور کلی برای تخمین عمر باقیمانده در حضور خستگی می توان از مدل های پایه تنش، مدل های پایه کرنش و یا مدل های مبتنی بر مکانیک شکست استفاده کرد. مدل سازی بر مبنای تنش، عمدتاً برای بررسی پدیده خستگی پر چرخه مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش تعداد سیکل منجر به شکست خستگی (N_f) از رابطه زیر قابل محاسبه است.

می شود که تمام دانه را طی کرده و در امتداد آنها ماده از هم جدا می شود. همچنین در شکل ۲، یک سطح مقطع شکست خستگی نشان داده شده است که در آن ترک از یک عیب درونی و بزرگ ریختگی شروع شده و هندسه شبیه به یک چشم ماهی بزرگ عیب را احاطه کرده است. همچنین به وضوح مشخصات ماکروسکوپی ساختار دندردی در داخل هندسه چشم ماهی قابل رویت است. بخش عمده عمر خستگی در مواد مهندسی به تشکیل و گسترش اولیه ترک (شامل گسترش ترک در امتداد صفحات لغزشی بابتشترین مقدار تنش برشی تفکیک شده که به سطح یک و یا چند دانه محدود می شود) مربوط است. هر دو مرحله تشکیل و گسترش اولیه ترک وابستگی زیادی به ریزساختار ماده دارند. به طوری که پراکندگی زیادی که به صورت معمول در داده های عمر خستگی مشاهده می شود را می توان به وجود تغییرات موضعی در مشخصات ریزساختاری ماده، نظیر عیوب ریختگی، حفرات انقباضی ریز و دیگر ناهمگنی هایی که به عنوان مکان هایی برای شروع ترک محسوب می شوند، مرتبط ساخت. به عنوان نمونه توزیع غیر یکنواخت عیوب ریختگی در سطح مقطع یک پره از سوپر آلیاژ پایه نیکل،

پایه نیکل، رشد دانه، تشکیل حفرات خزشی مرزدانه های، رسوب گذاری کاربیدها و تشکیل فازهای ترد.

در ادامه به اختصار، به بررسی مهم ترین مکانیزم های تخریب در پره های ناحیه داغ توربین های گازی پرداخته می شود.

خستگی

ضمن روشن و خاموش شدن توربین یک تنش حرارتی متغیر به پره ها اعمال می شود، که این امر به همراه وجود لرزش در حین کار و ارتعاشات ایجاد شده توسط جریان گاز، می تواند منجر به پدیده خستگی ترمومکانیکال در قطعات گردد. همچنین پدیده خستگی کم دامنه که عبارت است از فرایند سایش بین دو سطح با حرکت نوسانی کم دامنه، نیز می تواند منجر به ایجاد تخریب در ناحیه مربوط به ریشه پره ها گردد. در حالت کلی پدیده خستگی شامل جوانه زنی و رشد ترک خستگی است. در شکل ۱ نحوه تشکیل ترک خستگی در اثر ایجاد ناپیوستگی در امتداد باندهای لغزش کریستالوگرافی قابل رویت است. در واقع بار گذاری سیکلی منجر به توسعه باندهای لغزش ضعیف

$$(\frac{\sigma_a}{\sigma'_f(2N_f)^b})^n + (\frac{\sigma_m}{\sigma_{UTS}})^n = 1$$

که در آن σ'_f و b ثوابت ماده برای شرایط

بارگذاری سیکلی می‌باشند، σ_{UTS} استحکام

نهایی، σ_m و σ_a بترتیب دامنه تنش و تنش متوسط می‌باشند. توان n مقدار ۱ و یا ۲ را بخود می‌گیرد. زمانی که مقدار تنش سیکلی زیاد باشد، یا به عبارتی مقداری نزدیک به تنش تسلیم ماده داشته باشد، در این صورت قطعه در یک تعداد سیکل کم دچار شکست خواهد شد. در این شرایط عمر قطعه بیشتر با مولفه کرنش پلاستیک کنترل می‌شود. در چنین شرایطی عموماً از مدل‌های پایه کرنش به صورت زیر استفاده می‌شود.

$$\varepsilon_a = \frac{(\sigma'_f - \sigma_m)}{E} (2N_f)^b + \varepsilon'_f (2N_f)^c$$

که در آن ε'_f و C ثوابت ماده برای شرایط

بارگذاری سیکلی می‌باشند، E مدول یانگ و ε_a دامنه کرنش کل می‌باشد. از آن جایی که درصد بسیار بالایی از خرابی‌های مربوط به خستگی از سطح قطعه شروع می‌شود، لذا شرایط سطحی قطعه سهم عمده‌ای در تعیین عمر خستگی دارد. وجود هر گونه ناپیوستگی سطحی نظیر خراش و یا حفرات ریز، به دلیل ایجاد مناطقی با تمرکز تنش بالا که باعث تسهیل فرآیند جوانه‌زنی ترک می‌شوند، بر عمر خستگی اثر می‌گذارد. عملیات سطحی نیز مشابه با میزان صافی سطح، می‌تواند دارای اثر قابل توجهی بر خواص خستگی و به‌ویژه حد خستگی داشته باشد. اثر عملیات سطحی بر رفتار خستگی بستگی به نوع تنش پسماندی (کششی یا فشاری) دارد که در اثر آن عملیات در لایه‌های سطحی قطعه ایجاد می‌شود. در روش متداول برای ایجاد تنش پسماند سطحی مطلوب در قطعات، استفاده از روش ساچمه‌زنی و نورد سرد سطحی است. برای در نظر گرفتن اثر صافی سطح و نیز اثر عملیات سطحی در عمر خستگی، عموماً استحکام خستگی ماده را در یک فاکتور اصلاح که خود می‌تواند تابع مشخصات سطح از جمله مقدار زبری باشد ضرب می‌کنند.

در روش مکانیک شکست به بررسی نحوه رشد ترک در اثر بارگذاری سیکلی پرداخته می‌شود. در این روش بر اساس میدان تنش نوک ترک، سه مود مختلف برای بیان جابجایی‌های مربوط به سطوح ترک معرفی شده است که عبارتند از: مود بازشدگی (مود I)، مود سرشی (مود II) و مود پارگی (مود III). مشخصه میدان تنش در نوک



شکل ۵- تصویر SEM از درشت شدن جهت دار گاما پریم در یک سوپر آلیاژ پایه نیکل تک کریستال

عملیات سطحی نیز

مشابه با میزان صافی

سطح

می‌تواند دارای اثر

قابل توجهی بر خواص

خستگی و به‌ویژه حد

خستگی داشته‌باشد. اثر

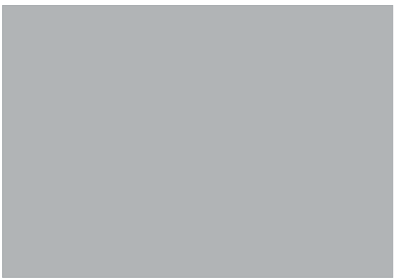
عملیات سطحی بر رفتار

خستگی بستگی به نوع

تنش پسماندی(کششی

یا فشاری) دارد

شکل ۲- توزیع عیوب ریختگی در یک سوپر آلیاژ پایه نیکل



شکل ۴- ریز ساختار معمول یک سوپر آلیاژ پایه نیکل تک کریستال (CMSX-4)

ترک با فاکتورهای شدت تنش تعریف می‌شود. در این روش معمولاً سرعت رشد ترک (در ناحیه رشد آهسته ترک) به محدوده ضریب شدت تنش (ΔK) مرتبط می‌شود:

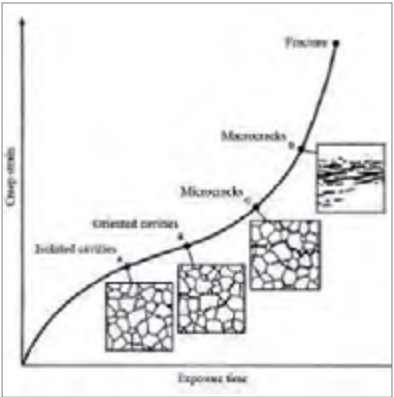
$$\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^m$$

که در آن m و A ضرایب مادی هستند که تابعی از هندسه ترک و نوع بارگذاری می‌باشند. برای مود I گسترش ترک که معمول ترین مود گسترش ترک در قطعات صنعتی می‌باشد، محدوده ضریب شدت تنش به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\Delta K_I = F \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$$

F یک فاکتور هندسی است، a طول ترک و $\Delta \sigma$ دامنه تغییرات تنش است. در رابطه فوق، عمر خستگی بصورت تعداد سیکل‌های لازم برای افزایش طول ترک اولیه به یک مقدار بحرانی در نظر گرفته شده است. در رابطه فوق اصلاحاتی برای در نظر گرفتن اثر نسبت تنش‌ها در سینتیک

شکل ۶- از زنگینی عمر خزشی بر اساس تشکیل و توسعه حفرات



رشد ترک توسط محققین مختلف، صورت گرفته است. عوامل مختلفی نظیر ایجاد تنش پس ماند در نوک ترک، تشکیل لایه‌های اکسیدی در سطوح آزاد ترک، ناصافی سطح و سیال محصور شده، می‌توانند سبب بسته شدن ترک شوند، که این اثر نیز در رابطه فوق در نظر گرفته نشده است. همچنین در خصوص ترک‌های کوچک نشان داده شده است که مکانیزم رشد متفاوت از ترک‌های طویل است و فرض مکانیک محیط‌های پیوسته برای ترک‌های در مقیاس ریزساختاری صادق نمی‌باشد، لذا به مدل‌های پیچیده‌تری برای این نوع ترک‌ها نیاز می‌باشد.

خزش

کرنش پلاستیک وابسته به زمان که در دماهای بالا در ماده تحت تنش رخ می‌دهد را خزش می‌گویند. میزان پایداری متالورژیکی فلزات و آلیاژها بعد از نگهداری طولانی مدت در دماهای بالا، به‌عنوان یک پارامتر مهم در تعیین خواص مکانیکی ماده در دماهای بالا محسوب می‌شود. به عنوان مثال در یک سوپر آلیاژ پایه نیکل، این تغییرات ریزساختاری می‌تواند شامل درشت

شدن جهت دار ذرات γ' و تشکیل کاربیدها در مرز دانه‌ها و نیز زمینه، باشد. تشکیل فیلم‌های کاربیدی پیوسته در مرز دانه‌ها، سبب تردی مرز دانه‌ای شده و لذا تشکیل و گسترش ترک را تسریع می‌کند. در شکل ۴، ذرات مکعبی شکل گاما پریم (γ') که به‌صورت معمول در تک کریستال‌های پایه نیکل وجود دارد، نشان داده شده است. در اثر قرارگیری این آلیاژ در معرض تنش در دماهای بالا، ذرات مکعبی گاما پریم بصورت ترجیحی درشت شده و ساختاری مشابه شکل ۵ را ایجاد می‌کند که به آن پدیده درشت شدن جهت‌دار و یا ایجاد ساختار لایه‌ای، گفته می‌شود. بطور کلی در شرایط خزشی در یک سوپر آلیاژ پایه نیکل، تغییرات

مخرب ریزساختاری شامل کاهش داکتیلیته و تافنس آلیاژ بخاطر رسوب‌گذاری کاربیدها در مرز دانه‌ها، تغییر در میزان، توزیع و ترکیب کاربیدها،

تغییر در تعداد، شکل و اندازه ذرات فاز γ' و نیز تشکیل فازهای فشرده هندسی (λ , μ , σ) می‌باشد. حضور ذرات مرز دانه‌ای نظیر سولفیدها، جوانه‌زنی حفرات را ترغیب می‌کنند. به‌طور کلی عوامل محیطی به‌طورک مختلف می‌توانند سبب ایجاد تغییر در رفتار خزشی یک آلیاژ شوند، که از آن جمله می‌توان به حساس کردن و ایجاد تردی در مرز دانه‌ها، کاهش سطح مقطع خالص و لذا افزایش مقدار تنش اعمالی و نیز ایجاد تغییرات موضعی در ترکیب شیمیایی آلیاژ اشاره کرد.

بررسی‌های ریزساختاری نشان داده است که میان عمر خزشی مصرف شده اجزاء با توزیع حفرات در ریزساختار یک ارتباط مستقیم وجود دارد. بر این مبنا، تشکیل و توسعه حفرات خزشی مطابق شکل ۶ در چهار مرحله شامل: مرحله A: تشکیل حفرات منفرد، مرحله B: تشکیل حفرات جهت‌دار، مرحله C: تشکیل میکروتُرک‌ها و مرحله D: تشکیل ترک‌های ماکروسکوپی، در نظر گرفته شده است. بر مبنای این روش، در مرحله A قطعه سالم است. در مرحله B، دوره‌های بازرسی ۱ تا ۳ سال برای قطعه پیشنهاد می‌شود. در مرحله C قطعه بایستی حداکثر بعد از حدود ۶ ماه جایگزین شود و در مورد قطعات D بایستی بلافاصله جایگزینی صورت گیرد. علاوه بر این روش روش‌های محاسباتی مختلفی نیز برای پیش بینی عمر قطعات در شرایط خزش ارائه شده است. در این میان استفاده از پارامتر لارسون- میلر و مدل مانکنم گرانت کاربرد بیشتری دارند. پارامتر لارسون- میلر (LMP) در یک تنش ثابت بصورت زیر تعریف می‌شود:

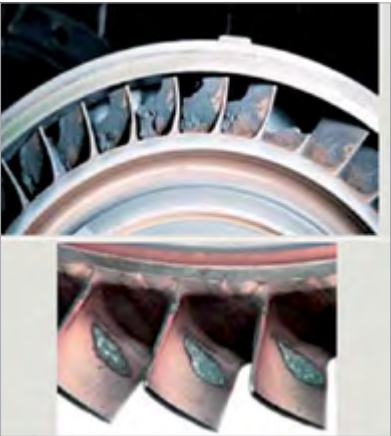
$$LMP = T(C + \log t_f)$$

C یک ثابت مادی است که برای تعداد زیادی از مواد مقداری نزدیک به ۲۰ دارد.

رابطه مانکنم گرانت که برای مرحله دوم خزش ارائه شده است، به صورت زیر می‌باشد:

$$t_f \times \dot{\varepsilon}_m^n = C_m$$

که در آن توان n مقداری میان ۰/۸ تا ۰/۹۵ دارد و ثابت C_m بسته به ماده، مقداری میان ۲ تا ۱۵ را بخود می‌گیرد. علاوه بر این مدل‌ها که عمر کلی خزش شامل عمر جوانه‌زنی و رشد ترک خزشی را پیش‌بینی می‌کنند، یک‌سری مدل‌های ریز ساختاری مبتنی بر جوانه‌زنی حفرات خزشی، ضخیم شدن فازهای ثانویه و تغییرات دانسیته



شکل ۷- خوردگی سولفیداسیون بره‌های توربین

در خصوص ترک‌های

کوچک نشان داده شده است

که مکانیزم رشد متفاوت

از ترک‌های طویل است و

فرض مکانیک محیط‌های

پیوسته برای ترک‌های

در مقیاس ریزساختاری

صادق نمی‌باشد، لذا به

مدل‌های پیچیده‌تری برای

این نوع ترک‌ها

نیاز می‌باشد



نابجایی هانیز برای تخمین عمر خزشی ارایه شده است. همچنین مدل هایی برای بررسی نرخ رشد ترک خزشی ارایه شده است که بسته به مکانیزم خزش و اندازه ناحیه تغییر شکل نوک ترک در مقایسه با اندازه نمونه، به صورت تابعی از پارامتر ضریب شدت تنش و یا انتگرال های مستقل از مسیر J و C ، در نظر گرفته می شوند.

✻ خوردگی

به دلیل قرار گرفتن پره های توربین در معرض گاز داغ، مواردی نظیر اکسیداسیون دمای بالا، سولفیداسیون، خوردگی داغ و راسب شدن ذرات بر روی سطح پره، دارای اثرات قابل توجهی بر عمر مفید پره می باشند. راسب شدن ذرات بسیار ریز همراه گاز داغ در قسمت نوک پره می تواند باعث کاهش فاصله میان پره و پوسته شده و پدیده سایش بین این دو جزء را تشدید نماید. از طرفی به دلیل اصطکاک بالا، دما در قسمت نوک پره به صورت موضعی افزایش می یابد. همچنین به دلیل قرار گرفتن آلیاژ پایه

نیکل در معرض گاز داغ، اکسید نیکل در سطح قطعه تشکیل می شود، که در حین روشن و خاموش شدن توربین و در اثر سیکل های حرارتی وارده، ممکن است این پوسته ها کنده شوند، که برای کارکرد توربین بسیار خطرناک است. همچنین تشکیل این پوسته ها در مسیرهای هواخنک پره، ممکن است سبب بسته شدن این مسیرها شود، و لذا سبب کاهش میزان خنک کنندگی می شود. علاوه بر تشکیل پوسته ها در حین اکسیداسیون، بحث نفوذ مرز دانه ای اکسیدها نیز مطرح می باشد، که به ضعیف شدن مرز دانه ها می انجامد. همچنین واکنش گوگرد موجود در سوخت با پوشش محافظ (سولفیداسیون) می تواند منجر به شکسته شدن لایه محافظ گردیده، که در نتیجه آن زیر لایه در معرض محیط خورنده قرار می گیرد. همین طور تشکیل نمک های قلیایی مذاب (ناشی از ناخالصی های موجود در سوخت و هوای ورودی) بر روی اجرای توربین سبب ایجاد پدیده خوردگی داغ می شود، که ترکیبی است از اکسیداسیون دمای بالا و سولفیداسیون



با استفاده از روش های محاسباتی، آزمون های تجربی مخرب و غیر مخرب می توان تخمین خوبی از طول عمر مفید قطعات به دست آورد

(شکل ۷). بطور کلی، میزان خوردگی در قطعات ناحیه داغ در توربین های گازی بر اساس نوع سوخت مصرفی متفاوت خواهد بود. چنانچه قطعه بدون پوشش محافظ باشد، علاوه بر خوردگی، بحث از دست رفتن عناصر آلیاژی سطحی در دماهای بالا نیز حائز اهمیت است. همچنین امکان ایجاد و گسترش ترک با مکانیزم خوردگی تنشی SCC وجود دارد. بعلاوه اینکه چنانچه بارگذاری به صورت تناوبی باشد بحث خستگی خوردگی اهمیت می یابد. برای محافظت پره ها در برابر اکسیداسیون و نیز خوردگی داغ، معمولاً از پوشش بر روی پره ها استفاده می شود. برای ماده بدون پوشش، در حضور خوردگی، ضخامت قطعه بصورت موضعی و یا سراسری کاهش می یابد، لذا مقدار این تغییر ضخامت می تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی عمر باقیمانده مورد استفاده قرار گیرد. چنانچه قطعه دارای پوشش باشد، بایستی اثر موارد فوق بر روی عمر پوشش مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به مطالب فوق، می توان از روش های محاسباتی برای تخمین عمر باقیمانده و تعیین نقاط حساس و مستعد تخریب در هر پره استفاده کرد. برای استفاده از روش های محاسباتی، در

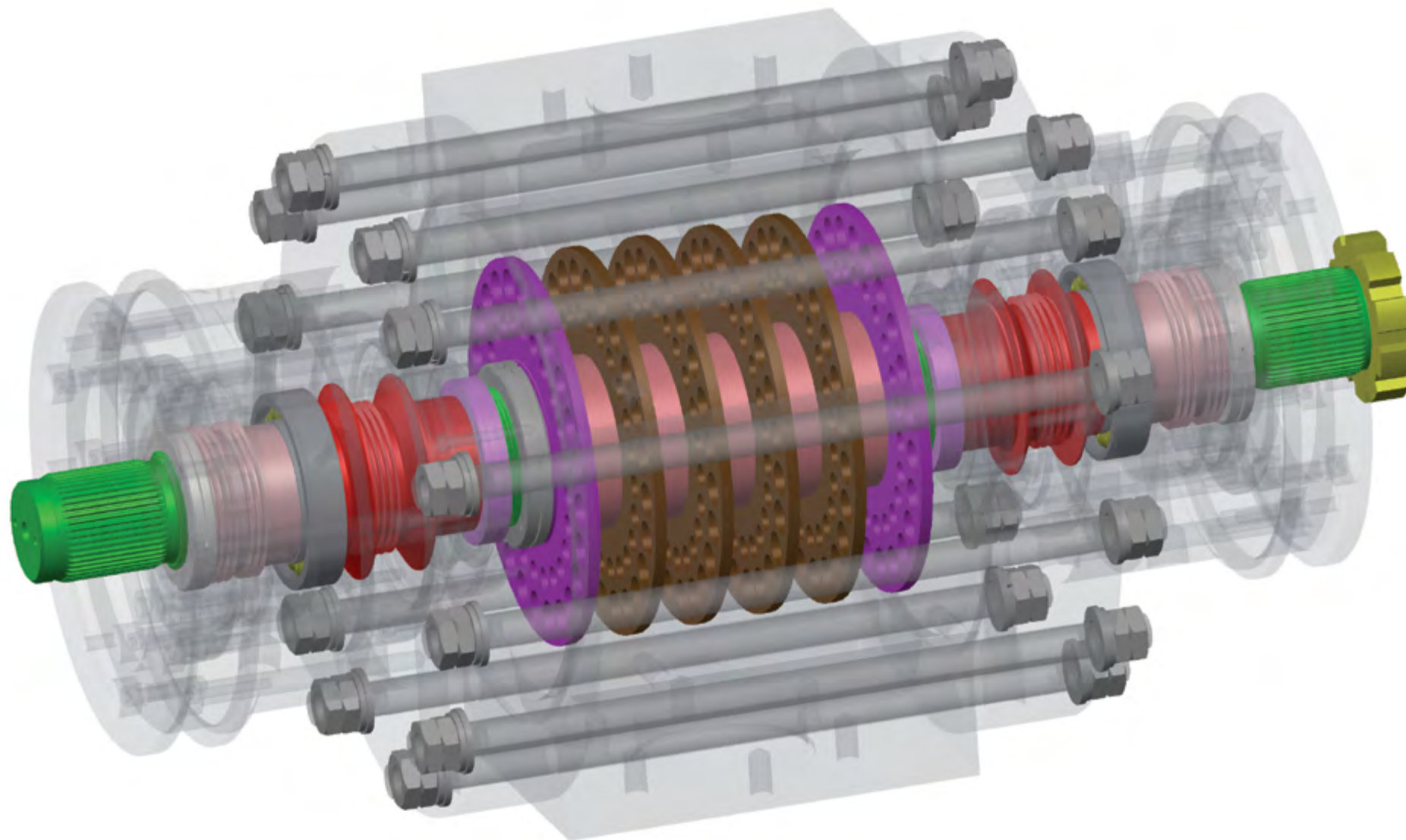
اولین قدم بایستی شرایط بارگذاری شامل بارهای مکانیکی و حرارتی وارد بر قطعه مورد نظر در حین کارکرد، تعیین شود. برای این منظور می توان از نتایج به دست آمده از اندازه گیری های تجربی و یا شبیه سازی های عددی، استفاده کرد. در این خصوص انجام آنالیز مودال و هارمونیک جهت تعیین شرایط منجر به رخ دادن پدیده رزونانس نیز ضروری می باشد. در کنار روش محاسباتی، استفاده از انواع مختلف بازرسی های غیر مخرب، جهت ارزیابی وضعیت فعلی قطعات و شناسایی نوع و شدت خرابی در آنها بسیار مفید است. این آزمون ها شامل بازرسی های چشمی (VT)، آزمون های ذرات مغناطیسی (MT)، مایع نافذ



معمولاً با در نظر گرفتن نوع ماده و شرایط کاری تعیین می شوند. از آنجایی که در شرایط واقعی معمولاً چند مکانیزم تخریب بطور همزمان در شروع و گسترش ترک دخیل می باشند، لذا بهتر است از آزمون های تلفیقی در صورت امکان استفاده گردد. به عنوان مثال در حالیکه گسترش ترک با مکانیزم خستگی انجام می شود، شروع ترک می تواند ناشی از خوردگی در سطح باشد. یا اینکه هر دو مکانیزم در گسترش ترک نقش داشته باشند. بعنوان مثال برای در نظر گرفتن اثر هر دو مکانیزم، می توان اندازه گیری منحنی S-N و یا آزمون رشد ترک را در یک محیط خورنده انجام داد. همچنین اینکه در موارد زیادی خستگی حرارتی و مکانیکی توأمان رخ می دهند و لذا به داده های خستگی غیر هم دما نیاز است. به طور خلاصه، عمده ترین مکانیزم های

(PT)، امواج التراسونیک (UT)، رادیوگرافی (RT) و ... می باشند. همچنین استفاده از بررسی های ریزساختاری با روش رپلیکا، جهت اندازه گیری کمی اجزای ریزساختاری مثل رسوبات و نیز بررسی کیفی تغییرات ریزساختار، بسیار سودمند است. در این راستا همچنین می توان از آزمون های سختی سنجی و تعیین ترکیب شیمیایی غیر مخرب، برای بررسی تغییرات احتمالی در خواص مکانیکی و یا ترکیب شیمیایی قطعه استفاده نمود. علاوه بر آزمون های غیر مخرب، در صورت امکان از آزمون های مخرب برای به دست آوردن خواص مکانیکی دمای اتاق، خواص خزش، خستگی و خوردگی می توان استفاده کرد. آزمون های مخرب

خرابی در پره ها عبارتند از: خستگی، خزش و خوردگی. میزان خرابی در هر یک از پره ها، تابع فاکتورهای مختلفی از جمله تاریخچه بهره برداری، شرایط کاری پره، مشخصات هندسی و متالورژیکی پره می باشد. با استفاده از روش های محاسباتی، آزمون های تجربی مخرب و غیر مخرب می توان تخمین خوبی از طول عمر مفید قطعات به دست آورد، به علاوه اینکه عوامل محدود کننده طول عمر قطعات نیز با این روش ها قابل شناسایی است. با استفاده از نتایج به دست آمده، دوره های بازرسی غیر مخرب برای قطعه مورد نظر تنظیم می شود و بعد از طی شدن عمر مفید قطعات، در صورت امکان با استفاده از روش های بازسازی و یا مقاوم سازی قطعات، طول عمر مفید آنها افزایش داده می شود و یا اینکه با قطعات جدید جایگزین می شوند.



معرفی ترمزهای آبی و استفاده از آنها در صنایع

افشین بنازاده^۱، شمس تراب نیا^۲

یکی از مهم ترین مراحل توسعه در صنعت قوای محرکه، آزمون و صحنه گذاری محصولات طراحی و ساخته شده است. چه بسا در بسیاری از عملیات مرتبط با تعمیرات اساسی و یا تغییرات کلی و جزئی، آزمون و صحنه گذاری محصول امری اجتناب ناپذیر است. در این راستا آزمون و صحنه گذاری موتورهای توربینی که به شدت مورد نیاز صنایع مادر کشور ماست، بسیار حائز اهمیت است. وابستگی شدید صنایع اصلی به موتورهای توربینی و شرایط ویژه کشور در ارتباط با عدم دسترسی به فناوری های نو در این زمینه، تعمیرات اساسی این تجهیزات را امری ضروری کرده است. آزمون توربین ها پس از تعمیرات اساسی و یا جزیی برای حصول اطمینان از صحت تعمیرات و یا تغییرات بر عهده تجهیزاتی به نام دینامومتر است. دینامومترها دارای انواع مختلفی

اجزا گردنده برای اندازه گیری این مشخصاتند. دینامومترها به مولدهای نیرو متصل (کوپل) می شوند و نیروی مقاومی در برابر حرکت دورانی مولد اعمال می کنند. تا به امروز انواع مختلفی از دینامومتر ساخته شده است که بر مبنای اصول فیزیکی مختلفی کار می کنند و در مجموع ابزارهای متفاوت و مختلفی را برای جذب توان در شرایط عملکردی مختلف ایجاد می کنند. به طور کلی دونوع دینامومتر وجود دارد: ۱- نوع جذبی یا انفعالی و ۲- چرخشی و یا محرک. از دیناموترهای جذبی برای جذب توان و از دیناموترهای چرخشی (محرک) برای دو هدف رانش و جذب استفاده می شود. انواع دیناموترهای

- عبارتند از:
- ۱- دینامومتر Eddy Current (جذبی)
 - ۲- دینامومتر هیسترسیس (جذبی)
 - ۳- دینامومتر موتور الکتریکی / ژنراتور (جذبی / محرک)
 - ۴- دیناموتر هوایی (جذبی)
 - ۵- دینامومتر هیدرولیکی (جذبی)
 - ۶- دینامومتر اصطکاکی (جذبی)
 - ۷- دینامومتر آبی (جذبی)

انواع دینامومترها

در این بخش به شرح هریک از انواع دینامومترهای ذکر شده می پردازیم.

دینامومتر Current Eddy

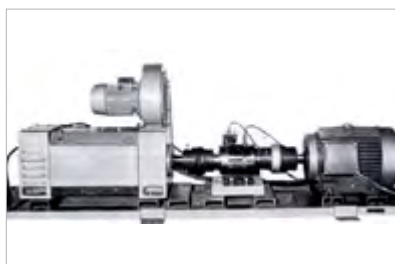
از این دسته عموماً برای جذب قوای محرکه در شاسی دینامترها استفاده می شود. این دینامومترها قابلیت سریع تغییر بار براساس شرایط مختلف را دارا هستند. اغلب هواخنک هستند ولی برخی نیز دارای مدار جداگانه آب برای خنک کاری هستند. اجزا آنها شامل یک هسته رسانا، محور یا دیسکند که در یک میدان مغناطیسی برای اعمال نیروی مقاوم حرکت می کند. آهن بیشترین استفاده را در این تجهیزات داشته ولی از مس، آلومینیوم و برخی دیگر از رساناها نیز در این دینامومتر استفاده می شود. در دینامومترهای جدید از دیسک های چدنی استفاده می شود و نیروی متغیر الکترومغناطیسی برای تغییر و کنترل نیروی



شکل ۱: دینامومتر Eddy current



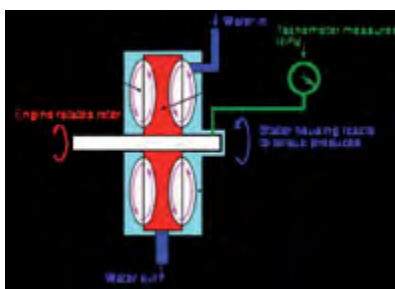
شکل ۲: دینامومتر Hysteresis



شکل ۳: دینامومتر موتور الکتریکی / ژنراتور



شکل ۴: دینامومتر هیدرولیکی

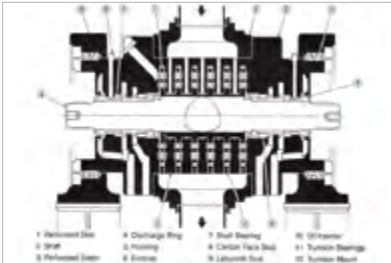


شکل ۵: شماتی از دینامومتر آبی

۱: افشین بنازاده: مشاور واحد مهندسی کنترل، تست و دینامیک شرکت مدیریت پروژه های توربین ارکان ایرانیان
۲: شمس تراب نیا: واحد مهندسی کنترل، تست و دینامیک شرکت مدیریت پروژه های توربین ارکان ایرانیان



شکل ۶: نمایی از ترمز آبی حجم متغیر



شکل ۷: ساختار ترمز آبی حجم متغیر با صفحات سوراخ دار



شکل ۸: نمونه‌های از ترمز آبی حجم متغیر با صفحه‌های صاف

به طور خلاصه، موتور به دور نیاز رسانده می شود و شیر تنظیم به صورت پله‌ای بسته می شود. با محدود شدن جریان خروجی پمپ، بار افزایش می‌یابد و دریچه شروع به بازشدن می کند تا به بار مورد نیاز رسانده شود

مقاوم استفاده می‌شود. ولتاژ الکترومغناطیس عموماً توسط کامپیوتر کنترل شده و برای ایجاد نیروی مقاوم مناسب در برابر نیروی مولد تغییر می‌کند.

دینامومتر Hysteresis

این دینامومترها از یک روتور فولادی که در میدانی مغناطیسی تولیدشده توسط قطب های مغناطیسی حرکت می‌کند، تشکیل شده‌است. این دینامومترها همانند نوع دیسکی دینامومترهای Current Eddy می‌تواند در حالت گشتاور کامل در سرعت صفر و ی‌سا ماکزیمم عمل کند. دفع حرارت با گرم‌شدن هوای میانی دینامومتر صورت می‌گیرد. دینامومترهای Hysteresis و نوع دیسکی دینامومترهای Current Eddy مناسب ترین تجهیزات برای جذب توان‌های کم هستند. در این نوع دینامومترها بر خلاف دیناموترهای دیسکی Current Eddy، کویل‌های الکترومغناطیسی داخل سیلندرهایی قرار داده می‌شود و این سیلندرها به جای دیسک‌ها در میدان مغناطیسی گردش می‌کنند. این امر موجب کوچکتر شدن اندازه دینامومتر و افزایش سرعت دورانی آن می‌گردد.

دینامومتر موتور الکتریکی / ژنراتور

این نوع دینامومترها برای سرعتهای مشخص طراحی شده‌اند. قسمت جاذب و یا متحرک دینامومتر می‌تواند شامل یک مولد جریان متناوب (AC) و یا یک مولد جریان مستقیم (DC) باشد. هر نوعی از آنها می‌تواند به صورت یک موتور محرک برای رانش قوای محرکه و یا ژنراتور برای جذب قوای محرکه مورد تست استفاده شود. با مجهز کردن این موتورها به سیستم کنترلی انعطاف پذیر، این دینامومترها می‌توانند به هر دو صورت جذب و یا محرک تجهیزات مورد استفاده قرار گیرند. به علت این قابلیت، این نوع از دینامومترها از پیچیدگی و در عین حال هزینه زیادی برخوردارند.

دینامومتر هوایی (Brake Fan)

برای تامین نیروی مقاوم در ایـن دینامومتر از جریان هوای تولید شده توسط یک فن استفاده می‌شود. برای تنظیم گشتاور جذب شده توسط این نوع دینامومتر، دور فن توسط گیربکس و یا دبی هوای عبوری از فن تغییر می‌نماید. شایان ذکر است که با توجه به لزجت پایین هوا، گشتاور جذب شده در این دینامومتر بسیار محدود است.

دینامومتر اصطکاکی

این نوع دینامومتر از قدیمی‌ترین تجهیزات اندازه گیری توان و گشتاور هستند. دارای صفحات همراه با کفشک بوده که با گردش صفحات روی

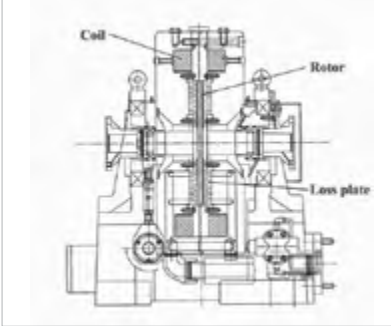
هم و ایجاد اصطکاک توان مولد جذب می‌شود. در برخی دیگر صفحات با تسمه به هم مربوط بوده و با حرکت روتور دستگاه صفحات متصل شده توسط تسمه باعث جذب گشتاور می‌شوند. دینامومتر هیدرولیکی شامل یک پمپ هیدرولیکی (پمپ دنده‌ای)، یک مخزن سیال و لوله‌های بین این دو است. یک شیر تنظیم کننده در مسیر لوله کشی وجود داشته و در مسیر بین پمپ و شیر تنظیم تجهیزات اندازه گیری فشار هیدرولیکی نصب می‌شود. به طور خلاصه، موتور به دور نیاز رسانده می‌شود و شیر تنظیم به صورت پله‌ای بسته می‌شود. با محدود شدن جریان خروجی پمپ، بار افزایش می‌یابد و دریچه شروع به بازشدن می‌کند تا به بار مورد نیاز رسانده شود. بر خلاف سایر سیستم‌ها، توان جذب شده از حاصل ضرب دبی (محاسبه‌شده براساس مشخصات پمپ)، فشار هیدرولیکی و دور به دست می‌آید. دینامومترهای هیدرولیکی امروزه به علت تغییرات سریع نسبت به بار از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و در حال پیشی گرفتن از دینامومترهای Current Eddy هستند. تنها نقطه ضعف آنها، حجم زیاد روغن داغ در فشار بالا به همراه یک مخزن روغن است.

دینامومتر آبی (Brake Water)

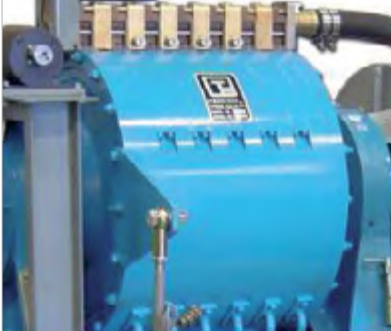
در بسیاری مواقع دینامومتر آبی با دینامومتر هیدرولیکی مشابه در نظر گرفته می‌شود، حال آنکه این دو نوع کاملاً متفاوت هستند. دینامومترهای هیدرولیکی انواع مختلفی دارند. یکی از انواع آن در واقع رفتاری همانند پمپ دارند که سیال ورودی با دما و فشار پایین را با گردش شفت به هد بالاتر رسانده و به این ترتیب موجب جذب توان از مولد می‌شوند. نوع دیگری از دینامومترهای هیدرولیکی، دینامومترهای آبی هستند که در واقع از قسمت دوار و محفظه تشکیل شده‌اند. در بسیاری از منابع عل می و فنی از دینامومترهای هیدرولیکی به جای دینامومترهای آبی به علت گستردگی استفاده می‌شود. از این رو در این گزارش نیز چنانچه نامی از دینامومترهای هیدرولیکی برده شود، مقصود همان دینامومتر آبی است.

کاربرد دینامومترهای آبی از گذشته مرسوم بوده و با توجه به قابلیت جذب توان بالا، حجم کم، وزن سبک و هزینه کم ساخت، نسبت به سایر دینامومترها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از مشکلات آنها، صرف زمان نسبتاً زیاد برای پایدار شدن و جذب توان است . همچنین این دینامومترها نیاز به حجم ثابتی از آب برای خنک کاری و عملکرد مناسب دارند. در شکل (۶) نمایی از این دستگاه نشان داده شده است. به اندازه‌ای که شرایط موتور در بار مشخص ثابت شود به دینامومتر آب اضافه می‌شود. سپس حجم

شکل ۱۰: ساختار ترمز آبی از نوع Froude (حجم ثابت)



شکل ۱۲: ترمز آبی دیسکی به همراه منیغولد ورودی آب



آب در این شرایط ثابت نگه داشته می‌شود و مقدار مشخص آب به دینامومتر وارد و برای دفع حرارت جذب شده همان دبی از آن خارج می‌شود. اجزا گردنده موجود در محفظه، با گردش خود موجب جذب گشتاور موتور می‌شوند. با توجه به ساختار دینامومتر آبی و روتور آن مقدار مشخصی از گشتاور از جذب می‌شود.

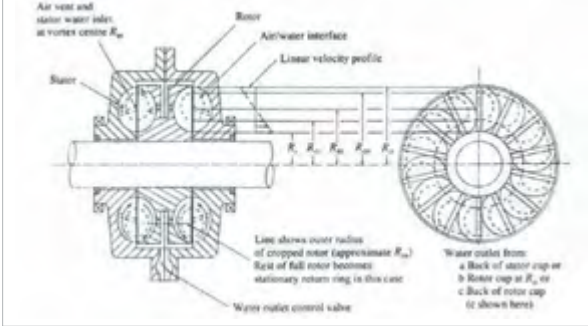
انواع دینامومتر آبی

دینامومتر آبی نیز انواع مختلفی دارد که در این بخش متداول ترین آن‌ها را معرفی می‌کنیم:

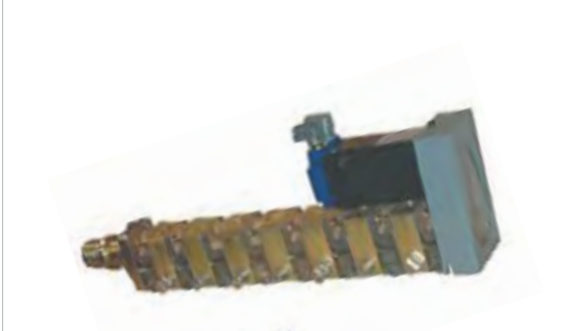
ترمز آبی حجم متغیر

اولین و عمومی‌ترین نوع ترمز آبی، مدلی است که میزان آب آن متغیر است . همان طور که از نام آن مشخص است، در این دستگاه میزان بار با مقدار آب محتوی دینامومتر کنترل می‌شود. تغییر میزان آب با شیر ورودی و شیر خروجی کنترل می‌شود. شیرهای سوزنی به جای شیرهای ساچمه‌ای برای کنترل دقیق‌تر در این نوع ترمز آبی استفاده می‌شوند. میزان بار با گشوده‌شدن و یا بسته‌شدن تدریجی شیر ورودی به طور آهسته و با باز و بسته‌شدن شیر خروجی به سرعت تغییر می‌کند. این امر موجب امکان ایجاد مقاومت کم در برابر تغییرات کم گشتاور را با کنترل شیر ورودی میسر می‌سازد. این فرآیند به سادگی می‌تواند توسط کنترل دستی و یا رایانه‌ای برای رسیدن به گشتاور مطلوب انجام داد.

شکل ۹: ساختار ترمز آبی حجم متغیر با سیلندرهای چنبره‌ای (Froude)



شکل ۱۱: منیغولد ورودی برای کنترل جریان ورودی



ساختار داخلی این نوع از ترمزهای آبی از یک شفت (محور) و تعدادی صفحه (سوراخ دار و یا صاف) و یا سیلندرهای چنبره‌دار تشکیل شده‌است. ترمزهای آبی حجم متغیر با سیلندرهای چنبره‌دار که توسط محور مرکزی گردش می‌کنند، به ترمزهای آبی «فرو (Froude)» معروفند.

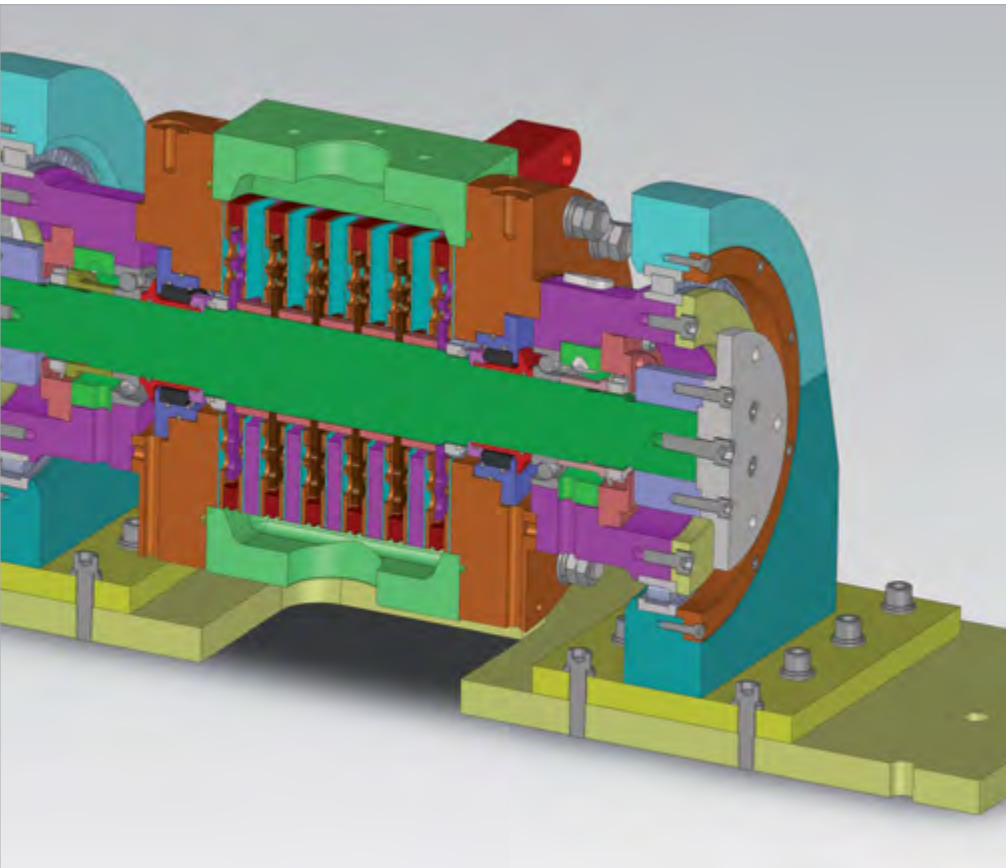
ترمز آبی حجم ثابت

نوع دوم ترمز آبی، ترمز آبی حجم ثابت و یا «ترمز آبی صفحه‌ای» نامیده می‌شود. در این دستگاه مقدار مقاومت در برابر بار با میزان آب تغییر نمی‌یابد، بلکه با قرار دادن صفحات نازک بین روتور و محفظه میزان بار تغییر می‌کند. این امر موجب تغییر (کاهش) فاصله میان روتور و محفظه شده و مقاومت بیشتری در برابر جریان آب ایجاد می‌کند که موجب جذب گشتاور بیشتری می‌شود. برای کاهش گشتاور جذب شده، این صفحات از روتور و محفظه خارج می‌شوند تا جریان آب با مقاومت کمتری روبه‌رو گردد. هر چیدمان محدوده گسترده ای از گشتاور و کنترل بار را نمی‌تواند پوشش دهد. برای تغییر محدوده عملکرد باید دینامومتر باز و مجدداً مونتاژ گردد. این کار در نوع خود زمان‌بر و با صرف انرژی زیادی همراه خواهد بود.

ترمز آبی دیسکی

در این نوع ترمز آبی، کنترل بار علاوه بر میزان متغیر آب با تعداد صفحات داخل جریان نیز کنترل می‌شود. فضای بسیار کم میان روتور و

شکل ۱۴: مقطع دینامومتر، روتور و صفحات



با چرخش روتور، آب به علت نیروی گریز از مرکز به سمت خارج پرتاب می‌شود. آب میان روتور و صفحات ثابت با سرعتی معادل نصف سرعت زاویه‌ای روتور چرخش می‌کند

ساختمان و عملکرد دینامومتر TMC5016

این دینامومتر از صفحات سوراخ‌دار که داخل محفظه‌ای قرار گرفته و بین صفحات سوراخ‌دار دیگری (ثابت) می‌چرخند، تشکیل شده‌است. آب سرد پس از عبور از اوریفیس به صورت شعاعی از اطراف وارد قسمت‌های مختلف روتور می‌گردد. با چرخش روتور آب به علت نیروی گریز از مرکز به سمت خارج پرتاب می‌شود. آب میان روتور و صفحات ثابت با سرعتی معادل نصف سرعت زاویه‌ای روتور چرخش می‌کند. نیروی گریز از مرکز ایجادشده موجب خروج آب از دو شیار مماسی و ورود به یک مجرای داخلی می‌گردد. سپس آب گرم‌شده از قسمت پایین دینامومتر خارج می‌شود. توان مولد توسط گر دابه‌هایی که بین روتور و

صفحات ثابت ایجاد می‌شود جذب می‌گردد. نیروی مقاوم ایجادشده به عنوان مانعی در برابر گردش روتور اعمال شده و تمایل به چرخاندن دینامومتر دارد. مقدار توان جذب شده توسط دینامومتر تابعی از سرعت روتور و مقدار آب داخل محفظه است. بیشترین توان زمانی جذب می‌شود که فضای بین روتور و محفظه کاملاً پر از آب باشد. آب ورودی پس از عبور محفظه از فواصل موجود میان plate backing (صفحات ثابت سبزرنگ) به محفظه میان روتورها و جریان پیدا می‌کند. سپس از فضای موجود میان استاتور و plate backing وارد فضای بین روتورها و استاتورها می‌شود. با چرخش روتور و جذب انرژی توسط لایه‌های سیال، آب گرم‌شده از فواصل موجود در

قسمت تحتانی دستگاه خارج می‌شود.

میزان آب داخل دینامومتر توسط شیرهای کنترلی نصب‌شده در مسیر ورودی و خروجی کنترل می‌شود. باز شدن شیر ورودی و یا بسته شدن شیر خروجی موجب افزایش سطح آب در دینامومتر می‌شود. بالعکس بستن شیر ورودی و باز کردن شیر خروجی موجب کاهش سطح آب می‌گردد. توان جذب شده در دینامومتر به حرارت تبدیل می‌شود. برای خارج کردن این حرارت از تجهیز باید جریان مشخص و ثابتی از آب به صورت مداوم (در زمان کار کرد دستگاه) وجود داشته باشد. به‌عنوان یک معیار جریان حدوداً ۱۵ لیتر بر ساعت برای جذب یک واحد توان (اسب بخار) با فرض افزایش دمای حدوداً ۴۲ درجه سانتی‌گراد نیاز است.

جدول ۱ مشخصات فنی ترمز آبی TMC 5016

محدوده‌ی عملکردی	
بیشترین ظرفیت	5400 HP
بیشترین سرعت	18000 RPM
بیشترین گشتاور	1800 FT.LBS

محفظه نیروی برشی شدیدی در برابر جریان آب ایجاد می‌نماید و با تنظیم شیرهای سوزنی ورودی و خروجی مقدار کنترل گشتاور دقیق تر خواهد شد. در این مدل تجهیزات برای ایجاد فاصله محدود میان روتور و محفظه از صفحات سوراخ دار استفاده می‌شود. سوراخ دار بودن صفحات موجب افزایش مقدار جذب گشتاور می‌گردد. هیچ یک از چیدمان‌های فوق قابلیت جذب بازه زیادی از گشتاور را ندارند، حال آنکه دینامومترهای حجم متغیر، به علت تغییر حجم آب می‌توانند کنترل بار دقیق تری داشته باشند.

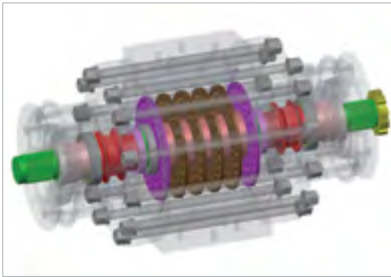
در نوع اخیر ترمز آبی نیز برای تغییر محدوده گشتاور، باید دستگاه باز و تعداد صفحات آن تغییر یافته و مجدداً مونتاژ شود که به نوبه خود زمان زیادی به خود اختصاص می‌دهد. اخیراً در برخی از ترمزهای آبی برای کنترل میزان جذب توان از بخش‌های مختلف تجهیز استفاده می‌کنند. به این صورت که با استفاده از یک توزیع کننده سیال (شکل ۱۱) و بر اساس میزان جذب توان، آب وارد بخش‌هایی از محفظه شده و در برابر حرکت روتور مقاومت ایجاد می‌نماید و سایر بخش‌های روتور به صورت آزادانه گردش می‌کنند (شکل ۱۲).

دینامومترهای ترمز آبی نسبت به سایر دینامومترهای هم کلاس از لحاظ جذب گشتاور، از قیمت کمتری برخوردارند. ترمزهای آبی در اندازه‌های مختلفی موجودند. ترمزهای آبی می‌توانند در تست و اندازه گیری توان موتورهای کوچک (۳۰ KW) تا موتورهای پرتوان (۶۰ MW) کاربرد داشته باشند.

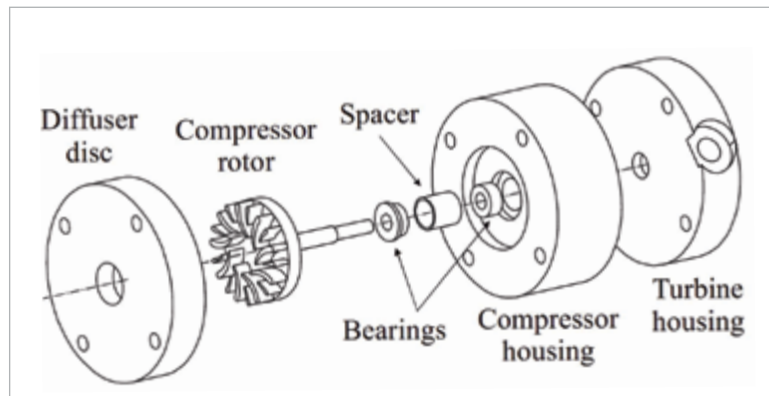
معرفی طرح و محصول

امروزه توسعه هر محصول جدید با بررسی مشخصه‌های محصولات موجود، رفع نقاط ضعف، ارتقای مشخصه‌های مفید و طراحی برای رفع نیازهای موجود است. طراحی و ساخت یک

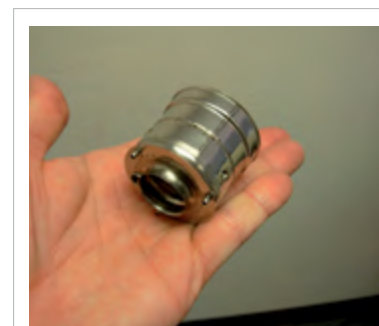
شکل ۱۳: دینامومتر آبی TMC 5016



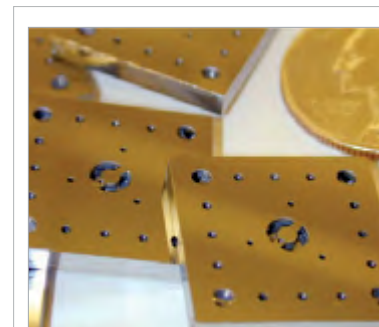
برای اطمینان از
صحت تعمیرات
اساسی و ساخت
آن‌ها، آزمون آن‌ها
گریزناپذیر بوده و
یکی از مناسب‌ترین
این تجهیزات
دینامومتر آبی است



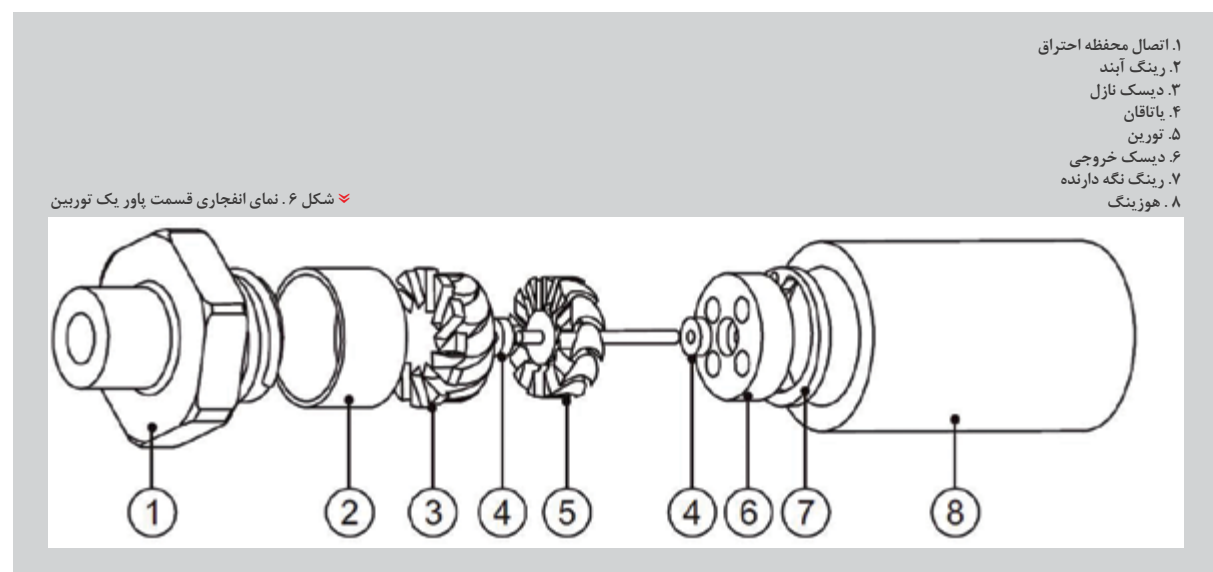
شکل ۵. نمای انفجاری کمپرسور یک میکرو توربین توربین



شکل ۱. کوچکترین میکرو توربین عملیاتی جهان (فاتی شده) - توسعه یافته توسط سازمان تحقیقات پیشرفته نظامی آمریکا (DARPA)



شکل ۲. نمونه توربین ساخته شده در دانشگاه MIT ساخته شده به روش مشابه تولید مدارات مجتمع الکترونیکی



شکل ۶. نمای انفجاری قسمت پاور یک توربین

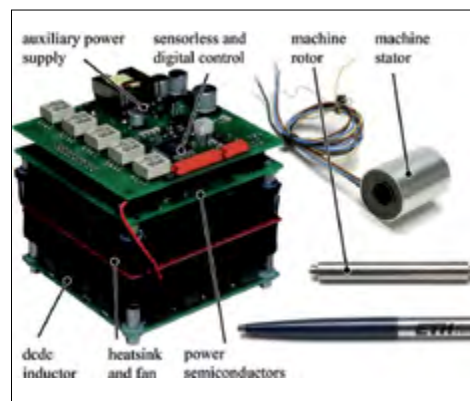
۱. اتصال محفظه احتراق
۲. رینگ آبد
۳. دیسک نازل
۴. یاتاقان
۵. توربین
۶. دیسک خروجی
۷. رینگ نگه دارنده
۸. هوزینگ

در شکل فوق نمای انفجاری یک میکرو توربین با توان بالا آورده شده است. قطعات این توربین با دقت بالا و از طریق فرایندهای EDM دقیق ساخته شده است. با توجه به سرعت بسیار بالای میکرو توربینها، ژنراتورهای راه اندازی شده توسط آنها، الکتریسیته ایی با فرکانس بسیار بالا (200KHz) تولید کرده که می بایست توسط سیستم های پشتیبان به برق DC و یا برق AC با فرکانس 50 Hz تبدیل شوند که توسط سیستم الکترونیکی پشتیبان توربین انجام می شود.

در جدول زیر مشخصات چند نمونه کاربردی از این توربین ها آورده شده است.

	Model 1	Model 2	Model 3
Pressure ratio	2.91	2.91	2.91
Turbine Inlet Temp [K]	1223	1223	1223
ROTATIONAL Speed [rpm]	2.4×10^5	1.9×10^5	2.4×10^5
Mass Flow Rate [kg/s]	0.030	0.019	0.020
Nozzle Outer Dia. [mm]	52	52	52
Rotor Outer Dia. [mm]	40	40	40
No. of Blades (nozzle)	17	17	17
(rotor)	15	16	16
Blade Height [mm]	4.8	3.2	5.4
Output [kW]	7	4	5

جدول ۱ - مشخصات سه نمونه میکرو توربین ساخته شده در دانشگاه توکیو



شکل ۳. قسمت کمپرسور میکرو توربین ساخته شده در دانشگاه توکیو قطر روتور ۸ میلیمتر



شکل ۴. قسمت های مختلف یک میکرو توربین (قطر روتور ۱۰ میلیمتر)

توربین های گاز مینیاتوری

سپیل نظری^۱

افزایش شدید تقاضا برای سیستم های الکترونیکی قابل حمل باعث گسترش سریع فن آوری باتری ها در دهه اخیر شده است اما با تمام این پیشرفت ها بهترین باتری ها نیز در مقابل سیستم های مبتنی بر انرژی شیمیایی سوخت های فسیلی صدها بار ضعیف ترند. لذا امروزه توجه زیادی به کوچک نمودن ادوات مکانیکی لازم جهت تولید انرژی به صورت مسقیم از سوخت های فسیلی جلب شده است. در این میان توربین های گازی به دلیل سادگی کلی طراحی در مقابل سیستم های مانند موتورهای احتراق داخلی و یا توربین های بخار دارای قابلیت کوچک سازی بسیار بالایی می باشند.

با توجه به استفاده از ادوات الکترونیکی در تجهیزات نظامی، نیاز به منبع انرژی با بازدهی بالا و قابل حمل و نقل بسیار احساس شده و لذا مهمترین کاربرد میکرو توربین ها در تجهیزات نظامی پیشرفته از جمله انواع پهپاد های جاسوسی، لباس های هوشمند، اسکلت های خارجی و سیستم های جنگ الکترونیک سیار می باشد. اخیرا تحقیقات گسترده ایی توسط مراکز مختلف برای ساخت میکرو توربین های گازی صورت گرفته است. از جمله می توان به طراحی و ساخت توربین های بسیار کوچک در دانشگاه توکیو ژاپن و دانشگاه MIT ایالات متحده آمریکا اشاره کرد که این توربین ها با قطر روتور ۸ میلیمتری و سرعت بیش ۱,۲ میلیون دور در دقیقه می توانند ده ها وات برق تولید کنند.

البته در مورد توربین های با سرعت های بیشتر از ۱ میلیون دور در دقیقه راه درازی تا کاربردی شدن وجود دارد ولی هم اکنون توربین کوچک با سرعت حد اکثر ۳۰۰,۰۰۰ دور دقیقه به صورت کاملاً کاربردی با توان چند کیلوواتی قابل تولید بوده و استفاده می شوند.

۱: سپیل نظری: واحد مهندسی شرکت توربین ماشین خاورمیانه

جایگزینی پوشش الکتروپلیت کادمیوم در قطعات ثابت ناحیه سرد

علی رضا سیفی^۱، مهدی خرمی^۲، مهدیه صفیاری^۳

پوشش کادمیوم سال‌هاست به عنوان یک پوشش محافظ خوردگی و فداشونده و دارای خواص مکانیکی مفید به طور گسترده در صنایع هوا و فضا و توربین‌سازی کاربرد دارد. از ویژگی‌های پوشش کادمیوم، ذرات حاصل از خوردگی و فیلم‌های کدر حاصل از آن است که اندازه به نسبت کوچکی دارد و لذا بر مقاومت به سایش و خواص الکتریکی تأثیر بسیار اندکی می‌گذارد. کاربرد عمده پوشش‌های کادمیوم در سطوحی است که دارای تلورانس ابعادی بسیار حساسی هستند. زیرا این لایه نازک هم روانکار بسیار مناسبی است و هم پوششی فداشونده ایجاد می‌نماید. اما با توجه به مطالعات انجام گرفته توسط واحد مهندسی شرکت تامین کالا، که بخشی از نتایج آن در زیر آورده شده است، طرح جایگزینی این پوشش با پوشش دیگری نظیر Ni-Zn پیشنهاد می‌شود.

دلایل این جایگزینی به شرح ذیل است:

- کادمیوم و نمک‌های آن به شدت سمی هستند و طبق توافقنامه ROHS استفاده از آن در بسیاری از کشورهای پیشرفته اروپایی و آمریکا ممنوع است.
- استفاده از حمام‌های سیانیدی برای پوشش‌دهی است که به شدت سمی و خطرناکند.
- ایجاد تردی هیدروژنی که در فولادهای کم و متوسط کربن با پوشش کادمیوم اجتناب‌ناپذیر است.
- پوشش‌های کادمیومی که در ایران انجام می‌شوند دارای کیفیت مطلوبی نیستند.
- نداشتن صرفه اقتصادی پوشش‌های کادمیوم.

۱: علیرضا سیفی: مدیر واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالا، توربین ماشین خاورمیانه

۲: مهدی خرمی: واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالا، توربین ماشین خاورمیانه

۳: مهدیه صفیاری: واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالا، توربین ماشین خاورمیانه

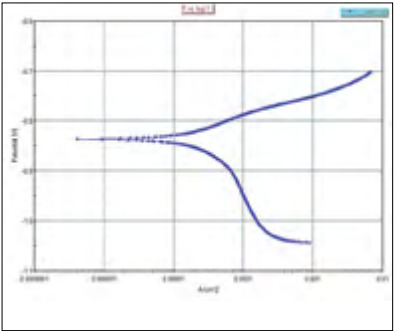
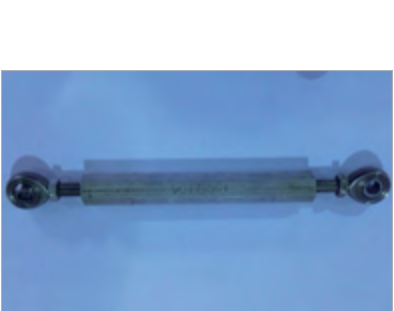
معرفی پوشش جایگزین روی – نیکل

پوشش جایگزین باید دارای خواص مشابهی با پوشش کادمیوم در شرایط مختلف سرویس دهی باشد. یکی از ویژگی‌های مهم کادمیوم این است که زمانی که سطح دچار خراش شود و پوشش سطح در ناحیه خراش از بین برود، پوشش اطراف خراش از فولاد در معرض قرار گرفته محافظت می‌کند. روی در این زمینه می‌تواند مشابه کادمیم رفتار کند ولی اندازه ذرات حاصل از خوردگی روی بزرگتر هستند که سبب بروز مشکلاتی در روند کار کرد توربین می‌شود. به منظور کاهش اثرات ناشی از حفاظت عنصر روی، استفاده از این عنصر به همراه یک عنصر پشتیبان مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالعات نشان داده که توانایی مقاومت در برابر خوردگی در پوشش‌های نیکل-روی که حاوی ۱۵-۲۰ درصد نیکل باشند تا ۴ برابر پوشش‌های کادمیوم است. اما در عمل معمولاً مقدار نیکل موجود در پوشش بین ۵ تا ۱۰ درصد است و افزایش محتوی نیکل در حالت صنعتی با دشواری‌هایی روبروست که هزینه انجام عملیات را افزایش می‌دهد.

در بسیاری از منابع و مراجع از پوشش‌های الکتروپلت روی – نیکل به عنوان جایگزین پوشش‌های کادمیومی نام برده شده است. پوشش‌های روی -نیکل به عنوان یک پوشش غیر سمی با یک حمام اسیدی است که از نظر مقاومت به‌خوردگی می‌تواند معادل یا بهتر از پوشش‌های کادمیومی عمل کند.

مکانیزم عملکرد این پوشش در برابر حملات خوردگی بر پایه حفاظت کاتدی فلز روی استوار است و نقش فداشوندگی در مقابل آهن دارد .



حضور نیکل به عنوان یک عنصر مقاوم در برابر خوردگی که مکانیزم عملکرد آن تشکیل فیلم اکسیدی محافظ NiO است، موجب افزایش مقاومت به خوردگی آهن می‌شود، از تشدید کوپل گالوانیک روی-آهن جلوگیری می‌کند و در نتیجه کاهش چشم‌گیری در فداشوندگی روی و اثرات ناشی از تشکیل محصولات خوردگی آن دارد.

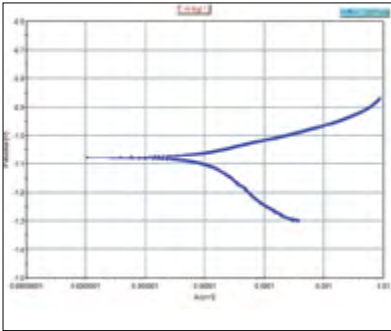
ضعف این پوشش‌ها در عدم ایجاد روانسازی و تولید سطوح بسیار نرم است. لذا در قطعات ثابت این پوشش می‌تواند جایگزین مناسبی برای پوشش کادمیوم باشد.

مقاومت به خوردگی پوشش‌های نیکل-روی وابستگی شدیدی به مقدار نیکل دارد. در گزارش‌ها ترکیبات متنوعی از این پوشش آلیاژی با مقدار متغیر نیکل از ۵ تا ۲۰ درصد گزارش شده است. ترکیباتی که حاوی ۵ تا ۸ درصد نیکل باشند مقاومتی برابر پوشش‌های کادمیومی و پوشش‌هایی که بیش از این مقدار نیکل داشته باشد مقاومت به خوردگی تا ۴ برابر قطعات کادمیومی را تضمین می‌نمایند. مشکلی که در این زمینه وجود دارد اکثر نتایج آزمایشگاهی از این پوشش‌ها در شرایط الکترولیت آزمایشگاهی فراهم شده است و در محیط‌های صنعتی، وان‌های بزرگ و در قطعاتی که دارای پیچیدگی‌های ظاهری هستند پارامترهای غیر قابل پیش‌بینی و موثری بر روند کار تاثیر گذار است. در این پروژه برای اولین بار ترکیب آلیاژی پوشش نیکل-روی به جای پوشش کادمیوم پلیت در شرایط کاملاً صنعتی اعمال شد و نتایج مورد آزمون قرار گرفت.

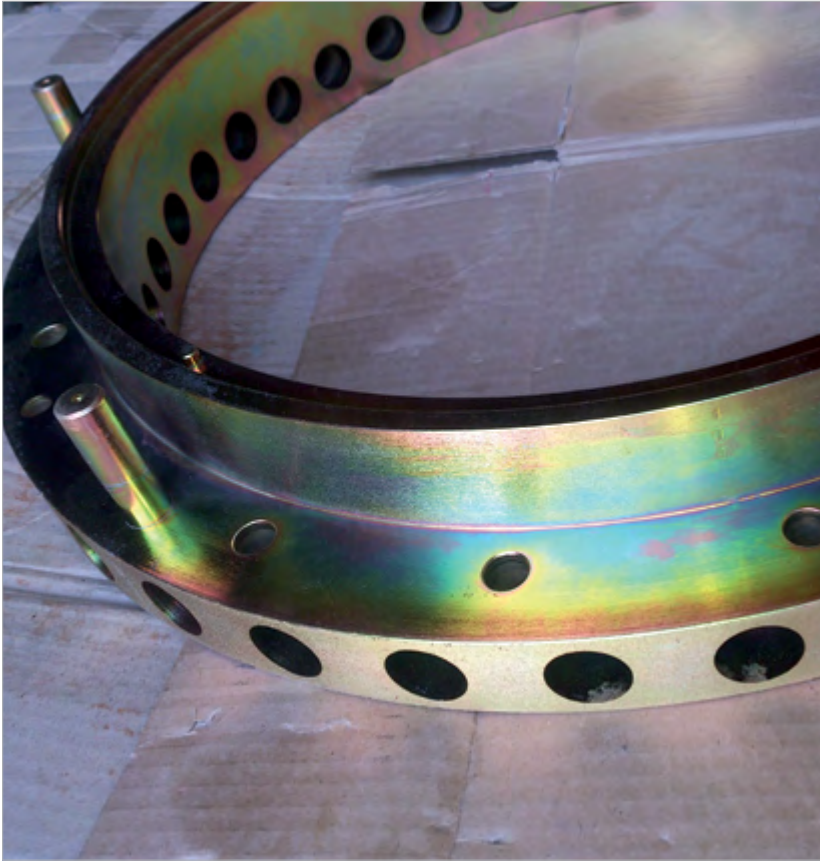
روش انجام کار:

قطعات مورد استفاده به عنوان زیر لایه

قطعه رینگ ورودی هوا متعلق به ناحیه سرد



شکل ۳: تصویر قطعات پس از پوشش دولایه



جدول ۲: مقادیر سرعت خوردگی و نرخ خوردگی استخراج شده از دیاگرام پلاریزاسیون

نام قطعه	نرخ خوردگی mm/year	جریان خوردگی μA	پتانسیل خوردگی mV/dec
کادمیوم پلت	0.11	13.2	-835
نیکل-روی	0.08	8.1	-1082

- اسید شویی به منظور حذف اکسیدهای سطحی مجدداً آبکشی قطعات با آب مقطر.
- خشک کردن قطعات

- پوشش دهی: قطعات در زوایای مخصوص که پوشش دهی تمامی نقاط و فضاها را تضمین درون حمام به صورت آویز قرار می‌گیرند. عملیات پوشش دهی با چگالی جریان پالسی متوسط انجام می‌پذیرد. زمان تقریبی برای ضخامت متوسط ۲۰ میکرون حدود یک ساعت وسی دقیقه است. پس از اعمال پوشش مدت ۴۸ ساعت زمان می‌برد تا پوشش چسبندگی نهایی خود را بیابد.

پوشش‌های مورد مطالعه

پوشش کادمیوم پلیت به همراه یک پوشش کروماته زرد روی نمونه اول

پوشش آلیاژی نیکل-روی در مرحله اول و سپس یک لایه کروماته زرد روی نمونه دوم
تصویر قطعات پس از دو لایه پوشش دهی در شکل ۳ نشان داده شده است.

مراحل اعمال پوشش

- آماده سازی سطح توسط برس سیمی و سنباده برای ایجاد سطحی کاملاً تمیز
- شستشو توسط آب و صابون برای پاک کردن اثرات چربی و آبکشی با آب مقطر

Element	Zn	Ni	Fe
value	93.4	5.55	1.05

جدول ۱: ترکیب شیمیایی پوشش آلیاژی نیکل-روی

ترکیب شیمیایی پوشش آلیاژی

ترکیب شیمیایی پوششش آلیاژی با استفاده از دستگاه میکروسکپ الکترونی – پروب EDS انجام گرفت. این روش آنالیز برای اندازه گیری مقادیر عناصر در لایه‌های نازک و مقاطع کوچک مناسب است. اندازه گیری نقطه‌ای پوشش در مرکز پژوهش متالورژی رازی انجام شد. نتیجه آزمون آنالیز پوشش در جدول ۲ و شکل ۴ نشان داده شده است.

محیط کاری قطعات

قطعاتی که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته اند در قسمت ورودی هوای توربین قرار دارند که از نظر ناحیه بندی ناحیه سرد توربین به شمار می‌آیند. هوای ورودی به این بخش معمولاً از لایه‌های فیلتر هوا عبور می‌کند تا آلودگی‌های فیزیکی مانند ذرات گرد و غبار و شن و موارد مشابه گرفته شود. عوامل خورنده در این محیط عموماً اتمسفر، رطوبت موجود که در مناطق شرجی اثر گذاری بیشتری دارد و آلودگی‌های صنعتی مانند ترکیبات سولفوری است. دمای کاری این بخش توربین تا ۱۲۰ در جه سانتیگراد است.

آزمون خوردگی و نتیجه گیری

در این پروژه آزمون پلاریزاسیون تافل مورد استفاده قرار گرفت. اندازه گیری سرعت خوردگی توسط روش پلاریزاسیون تافل در مرکز پژوهش متالورژی رازی انجام شد. نتایج این آزمون به همراه گراف‌های مربوطه در شکل ۵ و جدول ۴ مشاهده می‌شود.

نتیجه گیری

همان‌گونه که از نتایج آزمون خوردگی معلوم می‌شود نرخ خوردگی پوشش‌های نیکل روی کمتر از پوشش‌های کادمیومی است. از آنجایی که در این پروژه بحث جایگزینی پوشش مطرح است لذا این نتایج صحت انجام کار را تایید می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که پوشش‌های نیکل-روی از نقطه نظر خوردگی حتی اندکی بهتر از پوشش‌های کادمیوم می‌توانند عمل کنند. سختی این پوشش‌ها به علت اینکه لایه کروم سخت یکسانی روی هردو پوشش اعمال شده با یکدیگر برابر است. اما از نظر چسبندگی بر مبنای آزمون‌های تجربی چسبندگی پوشش‌های نیکل-روی به مراتب بهتر از پوشش‌های کادمیوم است. بنابراین آنچه گفته شد جایگزینی پوشش کادمیوم با پوشش روی-نیکل قابل اجراست و از آنجا که این جایگزینی بر اساس اقدامات انجام شده، برای نخستین بار در محیط صنعتی در شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه انجام پذیرفته، که به نوع خود عملیاتی نوین به حساب می‌آید.



اولویت‌بندی استفاده از سیستم‌های تولیدهمزمان در سطح کشور و بررسی سیاست‌های حمایتی قابل اعمال

ترنم پرهیزگار^۱، پدرام حنفی زاده^۲

تداوم رشد مصرف انرژی در کشور به همراه بهره‌وری پایین تولید، انتقال و توزیع انرژی سبب شده است تا آینده نامطلوبی برای این بخش در حال وقوع باشد، به گونه‌ای که حتی در صورت تحقق کلیه برنامه‌های توسعه بالادستی ظرف مدت ده سال آینده، مصرف انرژی از تولید انواع انرژی اولیه از جمله نفت و گاز فراتر رفته و کشور به واردکننده انرژی تبدیل خواهد شد. این امر قطعاً اثرات اقتصادی و اجتماعی بسیار نامطلوبی را به همراه خواهد داشت. این در حالی است که با اجرای برنامه و سیاست‌های اجرایی مدیریت با هدف جلوگیری از اتلاف انرژی در بخش‌های مختلف عرضه و تقاضا و صیانت از محیط زیست می‌توان انتظار داشت اقدامی عملی و اجرایی برای مقابله با بحران پیش رو در کشور محقق شود. مدیریت کارایی انرژی به تنهایی و تحت تأثیر تعادل میان عرضه و تقاضای انرژی به وجود نخواهد آمد و لازم است دولت‌ها و مراجع سیاست‌گذار و تصمیم‌گیر از راه کارهای مناسب برای نیل به آن استفاده کنند. از جمله راه کارهای در حال استفاده در کشورهایی که پیشرفت‌های بسیاری را در این زمینه برای آن جوامع به همراه آورده است، تولید همزمان برق و حرارت در محل مصرف است. به‌طور مثال کشورهایی نظیر فنلاند، استرالیا و سوئد تمام

ظرفیت تولید نیروگاه‌های حرارتی خود را با روش تولید همزمان برق و حرارت استفاده می‌نمایند. همچنین کشورهای دانمارک، هلند، آلمان، روسیه، اتریش، ژاپن، انگلستان و آمریکا حداکثر ظرفیت تولید برق حرارتی خود را به استفاده از روش مذکور اختصاص داده‌اند و کشورهای کانادا، هندوستان، آفریقای جنوبی، ایرلند، کره جنوبی، مکزیک و یونان نیز به میزان قابل توجهی به این روش روی آورده‌اند. از سال ۱۹۷۳ میلادی، مصادف با وقوع اولین شوک نفتی در جهان مسئله کارایی انرژی در کشور ما مطرح شد، اما هیچ‌گاه در برنامه‌ریزی‌ها به‌صورت جدی مورد توجه قرار

نگرفته است. متأسفانه در حال حاضر ایران در استفاده از روش تولید همزمان برق و حرارت برای تولید انرژی، سهم بسیار ناچیزی دارد. استفاده از سیستم تولید پراکنده شاید در بعضی مواقع دارای صرفه اقتصادی نباشد اما علاوه بر صرفه اقتصادی مسائل دیگری نیز در استفاده از این مولدها دخیل هستند که باعث استفاده روز افزون از این تکنولوژی تولید توان شده است که تعدادی از این مزایا عبارتند از:

- مهمترین کاربرد سیستم تولید پراکنده، استفاده از این سیستم به‌منظور تولید برق اضطراری برای مصرف کنندگان خاص مانند بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌ها و حتی هتل‌هایی باشد که برای آن‌ها مسائل اقتصادی در مقابل مسائلی چون عدم قطعی برق در درجه دوم قرار دارد.
- سیستم تولید پراکنده کیفیت توان را بهبود می‌بخشد و قابلیت اطمینان را افزایش می‌دهد. IEA تهیه توان قابل اطمینان را به عنوان مهم‌ترین چهره آینده بازار برق برای مولدهای پراکنده نام برده است. زیرا این مولدها از شبکه انتقال استفاده نمی‌کنند و بنابراین از حوادثی که در شبکه انتقال می‌تواند موجب قطع برق مشترک شود در امان است. چنان‌چه این واحدها مستقیماً به مشترک وصل شده باشند در صورت قطع برق شبکه توزیع نیز می‌تواند برق مشترک را به صورت جزیره‌ای تامین نماید. همچنین در حالت اتصال به شبکه

می‌توان با شرکت برق بر مبنای نرخ مصوب تبادل انرژی داشت.

• افزایش قابل توجه راندمان در کشورهایی که انرژی دارای قیمت واقعی می‌باشد بسیار قابل توجه است و انگیزه‌ای بسیار قوی برای استقرار واحدهای تولید پراکنده در محل مصرف است. اضافه کردن مبدل حرارتی به واحد مولد برق، قیمت مجموعه را بالا می‌برد اما در عوض همراه با هر کیلووات انرژی الکتریکی تولیدی حدود دو کیلووات انرژی حرارتی برای مصارف گرمایشی و سرمایشی برداشت می‌شود و این خود هزینه سرمایه‌گذاری و نیز هزینه سوخت و نگهداری واحدهای سنتی تاسیسات حرارتی و تهویه مطبوع را کاهش می‌دهد. ضمناً همراه با گازهای خروجی از میکروتوربین‌ها مقداری گرما و گاز کربن دی‌اکسید نیز به محیط زیست آزاد می‌شود که می‌توان کربن دی‌اکسید را مستقیم وارد گلخانه‌ها کرده و از گاز تولیدی توسط مولدها نیز استفاده نمود.

• اغلب تولید برق در ساعات پیک مصرف، توسط تولید پراکنده‌ها در کشورهایی که سیاست چند نرخی در شبکه برق اجرا می‌گردد برای مصرف کنندگان مقرون به صرفه است، که این مسئله باعث کاهش بار شبکه در ساعات اوج مصرف می‌شود. این امر علاوه بر صاحبان تولید پراکنده برای مصرف کنندگان شبکه که از تولید پراکنده استفاده می‌کنند نیز مفید می‌باشد.

• کاربرد واحدهای کوچک توسط مصرف کنندگان، صنعت برق را عملاً بتدریج خصوصی می‌کند و این خصوصی سازی از اهداف دولت و وزارت نیرو می‌باشد و از سرمایه‌گذاری ملی در زمینه تولید می‌کاهد. نصب تولید پراکنده در پایدار نگه داشتن ولتاژ، اصلاح قدرت راکتیو، تزریق قدرت اکتیو و حفظ فرکانس و نهایتاً بهبود کیفیت برق شبکه تأثیر مثبت دارد.

اولین سابقه تاریخی استفاده از گرمایش مکرزی به قرن‌های سوم و چهارم پیش از میلاد بازمی‌گردد. در آن زمان امپراتوری‌های یونان و روم که از نظر فن‌آوری پیشرفته بودند، برای اولین بار آب گرم خروجی از لایه‌های آهکی را با حفر کانال به حمام‌های عمومی، ورزشگاه، قصرها و قلعه‌های نظامی منتقل نمودند. در سال ۱۸۸۸ اولین تولید کننده همزمان برق و حرارت در آلمان شروع به کار نمود. در این سال در شهر هامبورگ از حرارت حاصل از تولید برق به‌منظور تامین حرارت تالار شهر استفاده شد. هم‌اکنون در بسیاری از نقاط جهان از سیستم‌های تولید همزمان استفاده می‌شود. جدول ۱ لیست ۱۰ کشور جهان و درصد تامین حرارت بوسیله سیستم‌های تولید همزمان به نسبت کل حرارت مصرفی در این کشورها را نشان می‌دهد. در سیستم‌های تولید همزمان از انواع تجهیزات

مهمترین کاربرد سیستم تولید پراکنده، استفاده از این سیستم به‌منظور تولید برق اضطراری برای مصرف کنندگان خاص مانند بیمارستان‌ها آزمایشگاه‌ها و حتی هتل‌هاست

۱: ترنم پرهیزگار: واحد مهندسی حرارت، سیالات و فرایند شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان

۲: پدرام حنفی‌زاده: مشاور واحد مهندسی حرارت، سیالات و فرایند شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان

استفاده شده و ممکن است برای رفع نیاز بخصوص در یک محل مشخص طراحی گردند. از طرف دیگر، بسیاری از واحدها دارای احتیاجات مشابه بوده و سیستم‌های تولید همزمان پکیج (از قبل طراحی شده) می توانند این احتیاجات را رفع کرده واز جهت اقتصادی بر سیستم‌های مهندسی طراحی از ابتدا ترجیح داده می‌شوند. به طور کلی، در واحدهایی که به‌طور همزمان به حرارت و توان نیاز دارند، پتانسیل ایجاد تولید مشترک وجود دارد. البته در صورتی که سیستم مصرف انرژی خصوصیات زیر را داشته باشد، صرفه جویی قابل توجهی در هزینه انرژی به دست آمده و سیستم تولید مشترک جذاب‌تر و مقرون به صرفه‌تر خواهد بود.

- نیاز حتمی به توان الکتریکی
- بیشتر بودن تقاضای انرژی حرارتی نسبت به انرژی الکتریکی
- الگوهای بار پایدار و ثابت تقاضای انرژی حرارتی

والکتریکی

- طولانی بودن ساعات تقاضا و بهره‌برداری فرآیند به علاوه قیمت بالای برق شبکه یا عدم دسترسی به شبکه‌انرژی حرارتی مورد نیاز به منظور اهداف مختلفی مورد استفاده‌قرار می‌گیرداز قبیل خشک کردن، پیش گرم نمودن، تولید بخار فرآیند، محرک تجهیزات باز یافت حرارت و تولید آب سرد، آب گرم، سیال داغ و غیره. به طور کلی بعضی از دامنه‌های کاربرد کاملاً مؤثر سیستم تولید مشترک عبارتند از:

- تولید مشترک در سرمایش و گرمایش منطقه‌ای تولید مشترک در صنعت، از قبیل: صنایع غذایی، صنایع دارو سازی، صنایع کاغذ و مقوا، پالایشگاه و پتروشیمی، صنایع نساجی، صنایع فولاد، صنایع سیمان، صنعت شیشه، صنعت سرامیک
- تولید مشترک در مؤسسات و واحدهای تجاری، مانند: بیمارستان، دانشگاه، هتل

برای تأمین برق و نیاز گرمایشی واحدهای مسکونی مانند آپارتمان‌ها، برج‌ها و حتی برای واحدهای مسکونی تک خانوار می‌توان از آن استفاده کرد. برای واحدهایی که نیاز توام به برق و حرارت داشته باشند سیستم تولید همزمان مفید است. به‌عبارتی دیگر برای راحتی عمل، سیستم‌های تولید همزمان را در یکی از ۴ گروه زیر تقسیم‌بندی می‌کنند. این دسته‌بندی بر اساس بخش‌های تعرفه گذاری برق صورت گرفته است. انواع و اندازه‌های سیستم‌های تولید همزمان در این ۴ بخش تا اندازه‌ای با یکدیگر تطابق دارند ولی برای تشریح انواع کاربردها این تقسیم‌بندی کار را راحت می‌کند.

❑ خانگی

بخش خانگی به‌دلیل نیاز به بارهای حرارتی و برقی توام و همچنین به توجه به مقدار تقاضای

آن، از بخش‌های مورد توجه برای بهره‌گیری از تکنولوژی تولید همزمان است.از آنجایی که نسبت تقاضای برق به حرارت بخش خانگی تقریباً مقدار مشخصی است، غالباً استفاده از سیستم‌های تولید همزمان به صورت پکیج در این بخش، امکان‌پذیر می‌باشد. استفاده از واحدهای پکیج ارزان‌تر از حالتی است که در آن طراحی از ابتدا صورت گرفته باشد. سیستم‌های مورد استفاده در بخش ساختمان معمولاً با سوخت گاز طبیعی کار می‌کنند، هر چند که فعالیت با سوخت‌های مایع نیز امکان پذیر است. گاز طبیعی به‌دلیل تمیزی، ارزانی نسبی و عدم نیاز به ذخیره‌سازی از اولویت استفاده در این سیستم‌ها بر خوردار است.

❑ عمومی

در بخش عمومی، واحدها غالباً به‌طور پیوسته کار کرده و در آن‌ها نیازهای برقی و حرارتی همزمان وجود داشته و پیشاپیش دارای نیروگاه و پرسنل متخصص مربوطه می‌باشند. بسیاری از این بخش‌ها دارای ظرفیت تولید همزمان چند صد مگاوات نیروی برقی در محل هستند. به‌علاوه بخش‌های با ظرفیت متوسط و کوچک نیز می‌توانند از تولید همزمان استفاده کنند.

بخش عمومی، شامل بخش‌های مختلفی بوده که مهم‌ترین این بخش‌ها که دارای تقاضای بالای انرژی است، بخش صنعت می‌باشد. صنایعی که مشخصاً مصرف کننده بالای انرژی هستند مثل صنایع پتروشیمی، خمیر و کاغذ بهترین موارد برای تولید همزمان هستند. در بسیاری از فرآیندهای صنعتی جهت تکمیل فرآیند به حرارت نیاز است. در واقع می‌توان فرآیندها را بر اساس درجه حرارت گرمای مورد نیاز به شکل ذیل

نام کشور	درصد حرارت تأمین شده به روش متمرکز به کل تقاضای حرارت	سهم CHP	طول خطوط انتقال آب گرم (km)
ایسلند	۸۵ درصد	---	---
روسیه	۷۰ درصد	---	---
لهستان	۵۲ درصد	---	۱۶۳۹۲
فنلاند	۵۰ درصد	۳۶ درصد	۲۳۹۰۰
دانمارک	۵۰ درصد	۶۲ درصد	۲۳۹۰۰
سوئد	۴۲ درصد	۶ درصد	۱۱۱۸۰
جمهوری چک	۲۲ درصد	---	۲۵۰۱
اتریش	۱۴ درصد	۲۵ درصد	۲۶۴۶
آلمان	۱۲ درصد	۸ درصد	۱۷۴۹۶۹
کره	۴ درصد	۲۵ درصد	۲۶۴۶

❖ جدول ۱- اطلاعات مربوط به ۱۰ کشور استفاده کننده عمده سیستم‌های تولید همزمان

طبقه‌بندی کرد.

- فرآیندهای با دمای پایین مانند خشک کردن محصولات کشاورزی، گرمایش و سرمایش محیط و یا تأمین آب گرم

- فرآیندهای با دمای متوسط مانند فرآیندهای صنعت چوب، کاغذ، نساجی، کارخانجات قند، برخی از صنایع شیمیایی و ... در چنین مواقعی، گرما عمدتاً به‌صورت بخار مورد نیاز است.

- فرآیندهای با دمای بالا مانند برخی از صنایع شیمیایی
- فرآیندهای با دمای بسیار بالا مانند کارخانجات سیمان، فلزات اساسی و صنعت شیشه.

❑ آموزشی

این بخش شامل طیف گسترده‌ای از مراکز شامل دانشگاه‌ها، مدارس و مجتمع‌های آموزشی می‌باشد. بسیاری از این مراکز اگر هم به‌طور پیوسته مورد استفاده نباشند، در قسمت عمده‌ای از روز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

❑ تجاری

بخش تجاری شامل طیف گسترده‌ای از مراکز شامل هتل‌ها، متل‌ها، رستوران‌ها، مراکز خرید، خشک شویی‌های صنعتی و آزمایشگاه‌ها می‌شود. در اوایل دهه ۹۰ این بخش کوچک‌ترین استفاده کننده از سیستم‌های تولید همزمان را شامل شده و مزایای اقتصادی در این بخش در مقایسه با دیگر بخش‌ها کمتر بود. از آنجائیکه بسیاری از این مراکز خصوصیات مشابهی را دارند، غالباً استفاده از سیستم‌های تولید همزمان به صورت پکیج امکان پذیر می‌باشد. همانطور که ذکر شد، استفاده از این

واحدها ارزان‌تر از حالتی است که در آن طراحی از ابتدا صورت گرفته باشد.

طبق مطالعات انجام شده، اولویت استفاده از سیستم‌های تولید همزمان با محرک‌های اولیه مختلف بر اساس کاربری مطابق با جدول ۲ می‌باشد. در کشورهای مختلف پتانسیل استفاده از سیستم تولید همزمان با توجه به موقعیت جغرافیایی، دمای محیط و تقاضای انرژی متفاوت می‌باشد. در جداول زیر پتانسیل استفاده از این سیستم‌ها به تفکیک کاربری در چند کشور به عنوان نمونه ارائه شده است.

در کشور ما بهره‌گیری از سیستم‌های تولید همزمان، رواج چندانی نداشته است جهت استفاده از هر سیستم جدیدی باید سیاست گذاری رواج استفاده از سیستم تدوین

گردد. در سیستم‌های تولید همزمان، باید سیاست‌گذاری‌هایی در زمینه بومی‌سازی و قوانین حمایتی برای کاربران این تکنولوژی در برنامه دولت قرار گیرد تا کاربران با توجه به جنبه‌های تشویقی موجود به سرمایه‌گذاری در زمینه این تکنولوژی جدید روی آورند. در کشورهای مختلف با تدوین اهداف مشخص، سیاست گذاری بهره‌گیری از سیستم‌های تولید همزمان مطرح می‌گردد.

کمیسسیون انرژی اتحادیه اروپا برای صنعت برق این اتحادیه تا سال ۲۰۳۰ سندی راهبردی تدوین کرده است. سه وجه برای سند راهبردی اتحادیه اروپا در نظر گرفته شده است. وجه اول بازار یابی است. با این توجه که اتکا صرف، به منابع دولتی جوا یگوی حجم سرمایه مورد نیاز نیست. وجه دوم

روش سنتی	بخش خانگی
مینی توربین	
موتور احتراق داخلی	
میکرو توربین	
پیل‌های سوختی	بخش عمومی
مینی توربین	
روش سنتی	
موتور احتراق داخلی	
میکرو توربین	بخش آموزشی
پیل سوختی	
مینی توربین	
روش سنتی	
موتور احتراق داخلی	بخش آمزشی
میکرو توربین	
پیل سوختی	
مینی توربین	
موتور احتراق داخلی	بخش تجاری
میکرو توربین	
پیل سوختی	
روش سنتی	



قابلیت اطمینان شبکه است. قابلیت اطمینان شبکه در کشور ما رقم ۰/۹۹۹۹ است که در اروپا این رقم به حدود۰/۹۹۹۹۹۹ رسیده است و خاموشی سالانه یک مشترک هلندی تنها ۷دقیقه است، اما در کشور ما این رقم به حدود ۷۰۰ دقیقه میرسد. با وجود قابلیت اطمینان بالای شبکه در اروپا باز هم یکی از وجوه سیاست‌گذاری‌های آنها بالا بردن این پارامتر است. وجه سوم این سند راهبردی مباحث زیست محیطی است. در این استراتژی استفاده از سیستم‌های تولید همزمان جهت نیل به هدف پیشنهاد گردیده است.

کشور ژاپن با بیش از ۹۰۰۰۰ واحد نصب شده سیستم تولید همزمان توان و حرارت در مقیاس میکرو تا سال ۲۰۰۹، از کشورهای پیشتاز در استفاده از این فناوری محسوب می‌شود که بیشتر این سیستم‌ها از نوع Will-Eco هستند. در حال حاضر، شش شرکت انرژی فعال در ژاپن سیستم‌های میکرو.سی.اچ.پی. با محر که پیل سوختی 300W – 1kW تولید می‌کنند که تا سال ۲۰۰۸ تعداد ۳۰۰۰ واحد نصب شده داشتند و برنامه تولید ۲/۵ میلیون واحد تا سال ۲۰۳۰ را دارند. دولت ژاپن سالانه حدود ۳۱۰ میلیون دلار آمریکا صرف حمایت از توسعه فناوری میکروسی.اچ.پی. با محر که پیل سوختی می نماید و سیاستگذاران انرژی این کشور در نظر دارند تا سال ۲۰۲۰ حدود ۲۵ درصد از خانوارها (۱۰ میلیون خانوار) از این فناوری بهره‌مند شوند. تخمین زده شده است که تا سال ۲۰۰۲ فقط تعداد ۱۰۰۰ واحد میکرو.سی.اچ.پی. در کشور انگلستان نصب و استفاده شده است که عموما از دستگاه‌های تولیدی شرکت Whispergen با نیروی محر که موتور استرلینگ و شرکت Dachs Senertec با نیروی محر که موتور احتراق داخلی بودند. با حمایت دولت و کارهای نظارتی که در بازار خرید و فروش محصولات این فناوری انجام شد، توسعه استفاده از آن افزایش یافت. دولت بودجه‌های تحقیقاتی زیادی برای شرکت‌های سازنده این محصولات در جهت افزایش بهره‌وری انرژی، بالا بردن میزان صرفه جویی در هزینه‌ها و کاهش تولید کربن توسط سیستم‌های میکروسی.اچ.پی. در نظر گرفت. به‌طور موثر از هفتم آوریل سال ۲۰۰۵، دولت انگلستان

کاربرد	پتانسیل (مگا وات)
هتل /مسافر خانه	۶,۷۰۳
خانه های پرستاری	۷,۹۹۳
بیمارستان ها	۸,۸۷۸
مدارس	۱۴,۸۸۴
دانشگاه ها	۴,۲۵
مراکز تجاری	۴۸۵
ماشین شویی ها	۲۸۱
مراکز درمانی	۳,۵۵۲
مراکز گلف	۲,۲۰۸
موزه ها	۳۹۸
تصفیه آب/ بهداشتی	۹۴۹
رستوران ها	۳,۳۹
سوپر مارکت ها	۱,۱۸۴
اتاق های کنترل	۷۹۲
ساختمان های کاری	۱۸,۶۱۴
کل	۷۷,۲۸۲

جدول ۳- پتانسیل استفاده از سیستم تولید همزمان در آمریکا

صنعت	پتانسیل (مگاوات)
آلومینیوم	۵۹
سود سوز آور	۳۹۴
سیمان	۷۸
الیاف کتان	۵۰۶
آهن و استیل	۳۶۲
فیبرهای مصنوعی	۱۴۴
کاغذ	۵۹۲
تصفیه کننده ها	۲۳۲
شکر	۵۱۳۱
اسید سولفوریک	۷۴
کل	۷۵۷۴

جدول ۳- پتانسیل استفاده از سیستم تولید همزمان در کشور هند

برای حمایت از تقاضای استفاده از فناوری نوظهور میکروسی.اچ.پی، مالیات بر ارزش افزوده این سیستم‌ها را از ۱۷/۵ درصد به ۵ درصد کاهش داد. کاهش مالیات بر ارزش افزوده سبب شد که قیمت میکروسی.اچ.پی. به عنوان یک محصول سازگار با طبیعت با سایر فناوری‌های تامین انرژی قابل رقابت باشد. از حدود ۲۴ میلیون خانوار در انگلستان، ۱۴ الی ۱۸ میلیون برای نصب و راه‌اندازی این فناوری مناسب هستند

در کشور آلمان ۳۰۰۰ واحد از محصولات شرکت Ecopower با موتور احتراق داخلی نصب و استفاده می‌شود و از سال ۲۰۰۹ برنامه تولید ۱۰ هزار دستگاه با نیرو محر که پیل سوختی آغاز شده است. در این کشور دولت مشوق‌های مالی مانند کاهش تعرفه‌های انرژی و پرداخت پاداش برای استفاده‌کنندگان از محصولات تولید همزمان مقیاس کوچک در نظر می‌گیرد. در کشور آمریکا ۱۰ درصد اعتبار مالیاتی برای خریداران این محصولات در نظر گرفته شده است. کشور کره جنوبی در سال ۲۰۱۰ سیاست اجرایی کارآیی برای گسترش استفاده از این فناوری را شروع کرده است. دولت این کشور در نظر دارد ۸۰ درصد از هزینه خرید و نصب محصولات میکروسی.اچ.پی. تولید داخل با محر که پیل سوختی را به خریداران این محصولات بپردازد. مقدار

این یارانه از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ به ۵۰ درصد و از ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ به ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت. هزینه خرید و نصب یک سیستم میکرو سی.اچ.پی. با محر که پیل سوختی تولید داخل در کشور کره جنوبی معادل ۴۰ هزار دلار آمریکاست. دولت این کشور امیدوار است با تمهیدات در نظر گرفته شده و حمایت‌های مالی، سبب گسترش شرکت‌های سازنده این محصولات و حرکت آنها به سمت کاهش هزینه‌ها شده و قیمت این سیستم‌ها را تا ۸۰۰ دلار تا سال ۲۰۱۵ و فقط ۴۰۰ دلار تا سال ۲۰۱۸ کاهش دهد. در حال حاضر دو شرکت FuelCellPower و GS CellFuel در این کشور در زمینه تولید میکرو سی.اچ.پی. فعالیت می‌کنند و امیدوارند تا سال ۲۰۱۳، تقاضای سالیانه ۱۰۰۰ دستگاه برای نصب و استفاده از میکرو سی.اچ.پی. داشته باشند.

به طور کلی مشکلاتی در زمینه توسعه سیستم‌های تولید همزمان در کشور ما وجود دارد و سرمایه‌گذاران با تغییر سیاست‌ها و قوانین، نرخ بهره بالا و اخذ مجوز برای اتصال به شبکه روبرو هستند. بانک‌ها وام‌هایی با سود بالا می‌دهند که سرمایه‌گذاری را غیراقتصادی می‌کند و شبکه‌های توزیع، علاقه‌چندانی به صدور مجوز اتصال به شبکه ندارند. همچنین در دستورالعمل وزارت نیرو آمده که قیمت خرید برق از این سیستم‌ها به

جدول ۵- پتانسیل استفاده از سیستم تولید همزمان در قبرس

کاربرد	پتانسیل (مگا وات الکتریکی)
کشاورزی	۷۰,۷
تهیه غذا-نوشیدنی ها	۴۹,۴
تولیدات مواد معدنی غیر فلزی	۱۰۰,۹
فلزات غیر آهنی	۲۲
کل صنایع	۲۴۳
هتل ها	۳۳,۲
بیمارستان ها	۵,۶
دیگر ساختمانهای غیر مسکونی	۲۶,۱

صورت سالانه از سوی این وزارت تعیین می‌شود. اما دولت قوانینی را تصویب کرده که قیمت برق این قراردادها مشروط به تایید وزارت‌های بازرگانی و اقتصاد دارایی است. حتی قوانین تصویبی وزارت نیرو نیز دارای شرایط بسیار سختی است. در حالت کلی، جهت گسترش یک فناوری نوظهور مانند میکروسی.اچ.پی. که مزایای استفاده از آن در بخش تامین انرژی خانوارها چشمگیر است، نیازمند حمایت جدی دولت در جهت تامین مالی برای گسترش استفاده از این محصولات است. به‌طوریکه حتی کشورهای توسعه یافته نیز که سطح معیشتی و درآمد سرانه بالایی دارند، در راستای گسترش استفاده از این سیستم‌ها به مشوق‌های مالی به عنوان یک گزینه مناسب نگاه می‌کنند. مقایسه قیمت یک نمونه از محصول میکرو سی.اچ.پی. تولید داخل با نمونه‌های خارجی نشان می‌دهد که در صورت توجه دولت به حمایت مالی از شرکت‌های سازنده داخلی، علاوه بر افزایش سطح کیفی محصولات، موجب تشویق بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری در این بخش و کاهش قیمت تمام شده این محصولات برای مصرف‌کنندگان خواهد بود. این امر به نوبه خود صرفه اقتصادی استفاده از محصولات میکرو سی.اچ.پی. را کاهش داده و در نتیجه سبب کاهش دوره بازگشت سرمایه و گسترش استفاده از این فناوری می‌شود.

البته در سال‌های اخیر تا حدودی حمایت از سیستم‌های تولید همزمان در مصوبات به چشم می‌خورد. به عنوان نمونه، اصل ۴۴ قانون اساسی بخش برق را ملزم کرده تا امکان حضور بخش غیردولتی را در این صنعت تسهیل کند که این امر خود جنبه حمایتی داشته و بخش‌های خصوصی را به سمت سرمایه‌گذاری در قسمت‌های تولید همزمان تشویق می‌کند. سیاست‌های اصل ۴۴ و قانون اجرایی آن، بندهای قانون برنامه چهارم توسعه دستورالعمل توسعه مولدهای مقیاس کوچک، زمینه‌های قانونی و اجرایی حضور بخش خصوصی در این صنعت را فراهم کرده‌اند. همچنین وزارت نیرو توسعه مولدهای مقیاس کوچک را به شیوه‌های متفاوتی حمایت می‌کند. به عنوان مثال به حمایت مالی و همچنین تضمین خرید برق می‌توان اشاره کرد که طی یک قرارداد بلند مدت ۵ ساله متعهد به خرید برق از تولیدکننده می‌شود. البته در ساختار موجود امکان تمدید قرارداد تا ۵ سال دوم نیز وجود خواهد داشت. تضمین تامین سوخت، ارایه خدمات انشعاب پشتیبان و بازگرداندن حق امتیاز انشعاب به تولیدکننده از دیگر حمایت‌های وزارت نیرو از این بخش‌ها است. همچنین امکان استفاده از فضای فیزیکی پست‌های موجود برای تولید پراکنده نیز فراهم است. امکان استفاده از تسهیلات صنعتی و پرداخت پیش پرداخت به سرمایه‌گذاران مولدهای کوچک نیز از دیگر اقدامات انجام شده از سوی وزارت نیرو است. وزارت نیرو برای مولدهای گازی، تضمین ارایه سوخت ۹ ماهه و برای مولدهای CHP تضمین تحویل سوخت در تمام سال را می‌دهد. خلاصه حمایت‌های ویژه وزارت نیرو در راستای



تحقق سیاست‌های کلی اصل ۴۴ قانون اساسی و به منظور ترغیب و تسهیل مشارکت بخش خصوصی در بخش برق، باهدف احداث مولدهای کوچک تولید برق در مراکز مصرف و تسهیل ورود به بازار خرده فروشی برق، به استناد ماده ۲۰ قانون برنامه چهارم توسعه به شرح زیر می‌باشد:

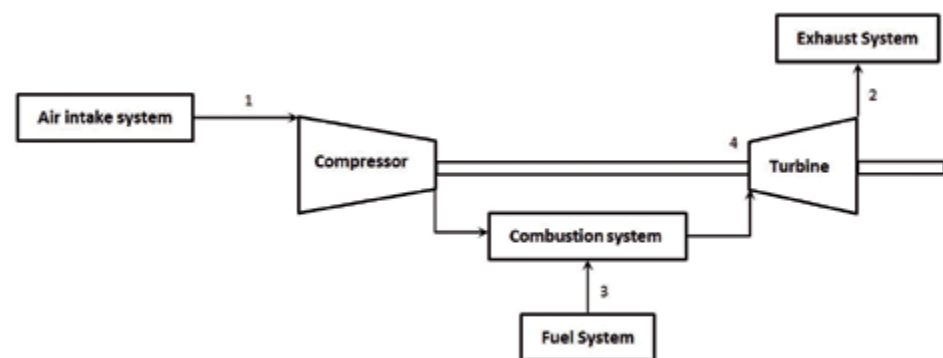
- پرداخت پیش پرداخت خرید برق
- تسهیلات بانکی ریالی و ارزی.
- بازگرداندن حق انشعاب به قیمت روز(در حدود ۱۰ درصد تامین مالی پروژه را شامل می‌شود)
- اجاره بلندمدت زمین‌های پست برق
- عقد قرارداد تضمینی
- تضمین تامین سوخت مولد مقیاس کوچک، برای ۹ ماه در سال
- تضمین تامین سوخت مولد تولید همزمان، کل ایام سال (۱۲ ماه)

- عرضه مستقیم برق
- تضمین تعهد تامین برق مصرف کننده طرف قرارداد سرمایه‌گذار از طریق عقد قرارداد تضمین تأمین برق مصرف کننده با مدیریت شبکه تضمین خرید برق از مصرف کننده خود تامین (مصرف‌کننده‌های که در تاسیسات خود مولد نصب می‌کند)
- فروش به مدیریت شبکه
- فروش برق به نرخ تضمینی
- فروش برق به نرخ رقابتی
- حمایت از تعاونی‌ها
- مشارکت توانیر با تعاونی‌های احداث مولد مقیاس کوچک و تامین بخشی از کل منابع مالی آن
- امکان اجاره به شرط تملیک مولدهای دیزلی شرکت‌های توزیع نیروی برق /شرکت برق منطقه‌ای به تعاونی‌ها
- امکان واگذاری توربین‌های گازی کوچک شرکت‌های برق منطقه‌ای به تعاونی‌ها (به شرط استفاده از آنها برای تولید همزمان برق و حرارت)
- معرفی تعاونی‌ها مولد مقیاس کوچک به صندوق تعاون و یا نظام بانکی کشور برای دریافت وام
- اعطای ۲۰۰۰ متر زمین از طریق شرکت‌های شهرک‌های صنعتی بصورت بلاعوض به پروژه‌های احداث مولد مقیاس کوچک (تفاهم‌نامه با شهرک‌های صنعتی)
- تعمیم هر کدام از این موارد به سیستم‌های تولید همزمان به بومی‌سازی هر چه بیشتر این تکنولوژی کمک خواهد کرد.

سناریو	ظرفیت پتانسیل (مگا وات الکتریکی)
صنایع یا دمای کم تا متوسط	۵۲۸۹
صنایع یا دمای بالا	۱۳۰
دیگر صنایع (پالایشگاه و LNG)	۱۳۰۰
ساختمان ها (فقط در بریتانیا)	۱۲۶۸
ساختمان ها (در ایرلند شمالی)	۴۵
کل	۸۱۳۰

جدول ۶- پتانسیل استفاده از سیستم تولید همزمان در انگلستان

❖ شکل ۱ - نقاط اندازه گیری در آزمون عملکرد حرارتی



افشین بنازاده^۱، ندا تیمورتاش^۲

معیارهای ارزیابی، تماماً مربوط به سنجش شرایط عملکردی پایای توربین بوده و شامل فازهای گذرا مانند راه‌اندازی و خاموشی نمی‌شود. در ادامه به بررسی هریک از این آزمون‌ها پرداخته می‌شود.

🔴 آزمون عملکرد حرارتی

آزمون عملکرد حرارتی با هدف اندازه‌گیری و ارزیابی اصلی‌ترین پارامترهای عملکردی توربین‌های گاز شامل توان خروجی (مکانیکی یا الکتریکی) و بازده حرارتی انجام می‌شود. همچنین در این آزمون جهت بررسی صحت عملکرد، پارامترهایی نظیر فشار، دما و دبی در نقاط خاصی از توربین اندازه‌گیری می‌شوند. جهت اطمینان از درستی نتایج، پیش از شروع آزمون، باید فرایند کالیبراسیون ابزارهای اندازه‌گیری انجام شده و بیشینه عدم قطعیت هریک از آنها مشخص شود. بیشینه عدم قطعیت مجاز برای برخی ابزارهای اندازه‌گیری مورد استفاده در آزمون، در استاندارد مرجع ذکر شده است. محاسبه توان خروجی توربین‌های گاز، به‌صورت الکتریکی و مکانیکی قابل انجام است. جهت محاسبه توان مکانیکی باید ابتدا گشتاور و سرعت دورانی شفت خروجی توربین مطابق با الزامات استاندارد اندازه‌گیری شود. به‌طور واضح توان مکانیکی از حاصل ضرب این دو مقدار محاسبه خواهد شد.

پس از محاسبه توان مکانیکی، جهت محاسبه بازده حرارتی توربین‌های گاز، باید حرارت ورودی به سیستم ناشی از سوخت‌های مایع و گاز به‌طور

با توجه به گسترش روزافزون استفاده از توربین‌های گاز مگاواتی در مصارف صنعتی، تدوین آزمون‌های استاندارد در فرآیند تحویل‌گیری این توربین‌ها به‌ویژه پس از انجام تعمیرات اساسی، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. این آزمون‌ها علاوه بر مشخص نمودن وضعیت پذیرش یا عدم پذیرش توربین، معیار مناسبی جهت مقایسه عملکرد آن با شرایط ایده‌آل خواهد بود.

در متن حاضر، مجموعه آزمون‌های لازم جهت سنجش صحت عملکرد و تحویل‌گیری توربین‌های گاز صنعتی بر اساس استانداردهای بین‌المللی ISO طراحی و به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است. آزمون‌های پذیرش در چهار گروه مجزا شامل آزمون‌های سنجش راندمان حرارتی، ارتعاش، آلودگی صوتی و ارزیابی آلودگی حرارتی طبقه‌بندی شده‌اند. مجموعه این آزمون‌ها و

**آزمون‌های پذیرش
در چهار گروه مجزا
شامل سنجش راندمان
حرارتی، ارزیابی
ارتعاش، آلودگی صوتی
و آلودگی حرارتی طبقه
بندی شده‌اند**

۱: افشین بنازاده: مشاور واحد مهندسی کنترل، تست و دینامیک شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان

۲: ندا تیمورتاش: واحد مهندسی کنترل، تست و دینامیک شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان

مروری بر آزمون‌های استاندارد تحویل‌گیری توربین‌های گاز صنعتی

آزمون اول مربوط به اندازه‌گیری ارتعاش روی شفت‌های دوار و آزمون دوم جهت ارزیابی ارتعاش روی قطعات ثابت سازهای انجام می‌شود

جداگانه محاسبه شوند. برای محاسبه حرارت سوخت، پارامترهای چگالی، ارزش حرارتی، لزجت سینماتیکی و درصد هیدروژن که قبلاً در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شده‌اند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته جهت صحت‌سنجی این نتایج، طی دو مرحله در طول آزمون باید نمونه‌گیری از سوخت انجام شده و جهت آنالیزهای حرارتی به آزمایشگاه‌های استاندارد ارسال شود. علاوه بر این پارامترها، دبی حجمی سوخت نیز باید مستقیماً در طول آزمون اندازه‌گیری شود. پس از محاسبه حرارت ورودی، با تقسیم توان خروجی به نرخ حرارت ورودی، بازده عملکردی توربین محاسبه خواهد شد. نهایتاً بازده محاسبه شده باید با استفاده از نمودارهای عملکردی موتور به شرایط استاندارد تبدیل شده و به‌عنوان بازده استاندارد توربین گاز ثبت شود. شرایط استاندارد مطابق با تعریف ISO، دمای ۱۵ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی ۶۰ درصد، فشار ۱۰۱,۳۲۵ کیلوپاسکال و عدم وجود افت فشار در دهانه‌های ورودی و خروجی توربین است. همان‌طور که در ابتدای این بخش نیز ذکر شد، جهت بررسی صحت عملکرد توربین گاز باید پارامترهای فشار و دما در بازه‌های زمانی مشخص و مورد توافق، در نقاط خاصی از توربین اندازه‌گیری شوند. این اندازه‌گیری‌ها شامل موارد زیر است: (شکل ۱)

- فشار و دمای هوای ورودی کمپرسور
- فشار و دمای خروجی توربین
- فشار و دمای سوخت
- دمای ورودی توربین

جهت پذیرش در این مرحله، بایستی داده‌های ثبت شده در زمان‌های خاصی در طول آزمون، در محدوده مجاز نسبت به یک میانگین قابل قبول از هریک از پارامترها قرار داشته باشند. محدوده تغییرات مجاز و مورد قبول استاندارد، برای برخی پارامترها در جدول ۱ ذکر شده است.

پارامترهای اندازه گیری	بیشینه عدم قطعیت
فشار بارومتريک	± ۰.۵ %
دمای محیط	± ۲K
دمای سوخت (مایع و گاز)	± ۳K
فشار سوخت (گاز و مایع)	± ۱ %
دمای خروجی توربین	± ۲K

جدول ۱- بیشینه محدوده مجاز تغییرات در اندازه‌گیری پارامترها

ارزیابی ارتعاش مکانیکی

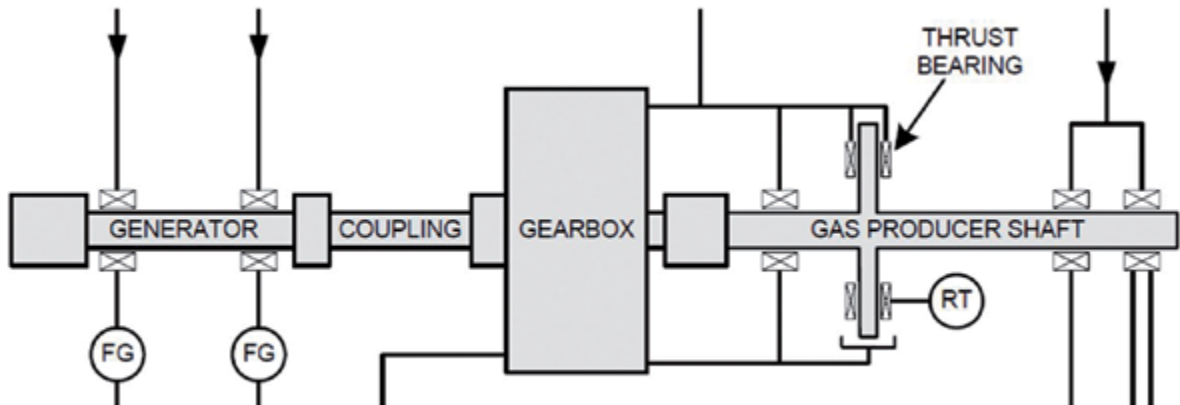
ارزیابی ارتعاش در توربین‌های گاز صنعتی در دو آزمون مجزا انجام می‌شود. آزمون اول مربوط به اندازه‌گیری ارتعاش روی شفت‌های دوار و آزمون دوم جهت ارزیابی ارتعاش روی قطعات ثابت سازه‌ای انجام می‌شود. معمولاً در دستگاه‌هایی که جرم سازه ثابت آن‌ها در مقایسه با جرم روتور بسیار زیاد باشد، اندازه‌گیری ارتعاش روی شفت‌های دوار اهمیت بیش‌تری پیدا می‌کند. هم‌چنین در دستگاه‌هایی مانند توربین‌های بخار، توربین‌های گاز و توربو کمپرسورها که می‌توانند مودهای ارتعاشی متفاوتی در محدوده سرعت کاری خود داشته باشند، اندازه‌گیری ارتعاش روی سازه‌های ثابت به تنهایی کافی نیست.

اندازه‌گیری ارتعاش روی شفت‌های دوار می‌تواند با اهداف متفاوتی از جمله مانیتورینگ شرایط عملکردی و آزمون‌های پذیرش، اهداف تشخیصی و بررسی‌های تحلیلی انجام شود. آزمون طراحی شده برای هریک از این اهداف، دارای روش‌ها و معیارهای ارزیابی متفاوتی است. در این مقاله تنها به آزمون طراحی شده جهت مانیتورینگ عملکرد و آزمون‌های پذیرش پرداخته می‌شود. این آزمون مختص توربین گازهای صنعتی با توان خروجی بالاتر از ۳ مگاوات و دور نامی بین ۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ دور بر دقیقه است.

کمیت مورد ارزیابی در این آزمون جابجایی ارتعاشی نسبی است که با واحد میکرومتر اندازه‌گیری می‌شود. جابجایی نسبی به‌صورت جابجایی ارتعاشی بین شفت و یک سازه مناسب تعریف می‌شود که معمولاً محفظه بیرینگ به‌عنوان سازه ثابت انتخاب می‌شود.

در صورتی که هدف آزمون، مانیتورینگ شرایط عملکردی باشد، سیستم

شکل ۲ - محل قرارگیری سنسورهای ارتعاش روی بیرینگ های ژورنال



اندازه‌گیری باید تا محدوده‌ی فرکانس معادل ۲/۵ برابر بیشینه سرعت کاری توربین را پوشش دهد. با توجه به دور بسیار بالای شفت، اندازه‌گیری ارتعاش نسبی باید با استفاده از ترانسدیوسرهای غیر تماسی انجام شود. بهتر است در محل هر بیرینگ از دو ترانسدیوسر جهت اندازه‌گیری ارتعاش، استفاده شود. به‌طور مثال در یک مجموعه توربین گاز با دو شفت، که در شکل ۲ نشان داده شده است، اندازه‌گیری ارتعاش در پنج نقطه (محل هریک از بیرینگ‌های ژورنال) انجام می‌شود.

دو ترانسدیوسر باید به‌صورت شعاعی و عمود بر محور شفت به‌گونه‌ای قرار گیرند که در محدوده ۵ درجه بر هم عمود باشند. هم‌چنین ترانسدیوسرها باید حداکثر در محدوده ۵ درجه از راستای خط شعاعی بیرینگ‌ها قرار بگیرند. ترانسدیوسرها یا در سوراخ‌هایی روی محفظه بیرینگ و یا در بست های صلبی که در محل محفظه بیرینگ تعبیه شده است قرار می‌گیرند.

سطح شفت در نقاط اندازه‌گیری باید صاف و بدون هر گونه ناپوستگی هندسی (مانند سوراخ، زوه، مسیر روغن کاری) باشد. چنین مواردی باعث می‌شود شفت حرکت‌های غیر ارتعاشی نیز داشته باشد، که باید اندازه‌گیری جداگانه‌ای جهت ارزیابی آن‌ها انجام شود. زمانی که سرعت شفت در حال کاهش است، در سرعت تقریباً ۱۰ تا ۱۵ درصد مقدار نامی، باید مقدار اندازه‌گیری ششده توسط ترانسدیوسرها ثبت شود. با توجه به سرعت پایین شفت، ارتعاش اندازه‌گیری شده در این زمان تقریباً صفر است و فقط وجود نقص‌های مکانیکی (مانند رنگ شفت، عدم تقارن کامل، خروج از مرکز) و نقص‌های الکتریکی (نویز سیگنال، خاصیت نفوذپذیری شفت ناشی از پسماندهای مغناطیسی) منجر به بروز خطا در سیگنال اندازه‌گیری ارسال شده توسط ترانسدیوسرها خواهد شد. مقدار خطای اندازه‌گیری شده، نباید بیش از ۲۵ درصد مقدار جابجایی ارتعاشی مجاز و یا بیش از ۶ میکرومتر باشد (هر کدام که بزرگ‌تر بود).

اندازه‌گیری ارتعاش برای آزمون‌های پذیرش باید پس از رسیدن توربین به شرایط پایدار از نظر سرعت و دما انجام شود. پیش از اندازه‌گیری ارتعاش در شرایط عملکرد پایای توربین، باید آزمونی با هدف تست سیستم اندازه‌گیری و بررسی وجود ارتعاش محیطی انجام شود. در این آزمون جابجایی ارتعاشی در شرایط غیر عملکردی توربین اندازه‌گیری می‌شود. در صورتی که ارتعاش اندازه‌گیری شده بیش از یک سوم مقدار ارتعاش مجاز در سرعت عملکردی باشد، باید اقدامات لازم جهت حذف اثر ارتعاشات محیطی انجام شود. نهایتاً اندازه‌گیری جابجایی ارتعاشی با رعایت تمام الزامات فوق، در محل هریک از بیرینگ‌های توربین انجام شده و نتایج ثبت می‌شود.

معیارهای مورد نظر در ارزیابی ارتعاش شفت در

این آزمون، اندازه‌ی ارتعاش و تغییر در اندازه آن، صرف نظر از کاهشی یا افزایشی بودن آن است. در ادامه به شرح هریک از این دو معیار پرداخته شده است.

معیار اول محدوده‌ای برای اندازه‌ی ارتعاش قابل قبول شفت تعریف می‌کند. اندازه ارتعاش به صورت مقدار بزرگتر بین جابجایی نوک‌به‌نوک اندازه‌گیری شده در دو جهت متعامد انتخاب شده، تعریف می‌شود. جهت ارزیابی اندازه ارتعاش ثبت شده، نموداری با چهار ناحیه ارزیابی در نظر گرفته شده است:

● ناحیه A: ارتعاش توربین‌هایی که پس از ساخت یا مونتاژ برای اولین بار مورد استفاده قرار می‌گیرند باید در این ناحیه قرار داشته باشد.

● ناحیه‌ی B: توربین‌هایی که ارتعاش ثبت شده آن‌ها در این ناحیه قرار می‌گیرد، برای عملکرد طولانی مدت و بدون محدودیت قابل استفاده هستند.

● ناحیه C: توربین‌هایی که ارتعاش ثبت شده آن‌ها در این ناحیه قرار می‌گیرد، برای عملکرد پیوسته و طولانی مدت قابل پذیرش نیستند و فقط برای مدت محدود تا زمان انجام تعمیرات لازم می‌توانند کار کنند.

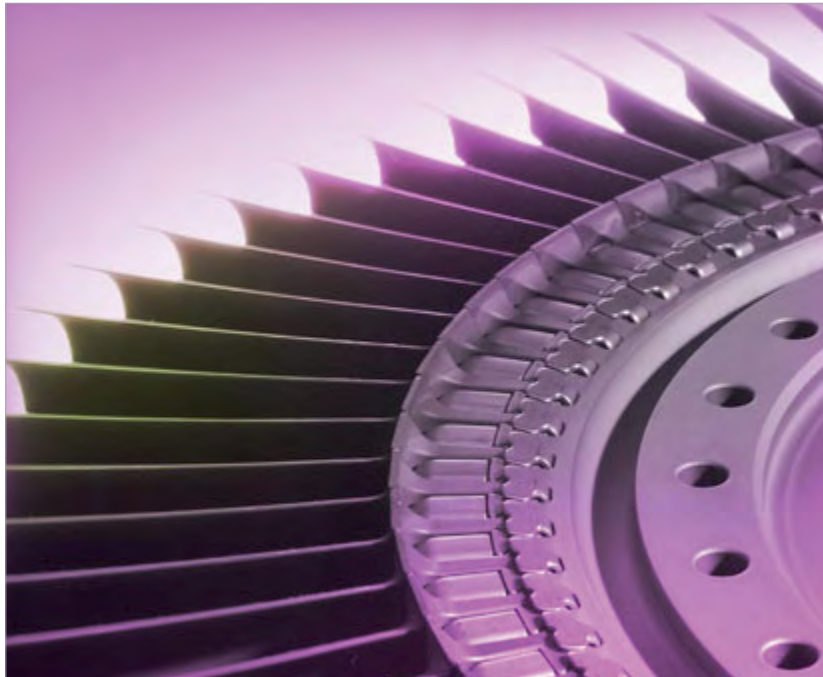
● ناحیه D: در صورتی که ارتعاش ثبت شده در این ناحیه قرار داشته باشد، نقص فنی جدی در عملکرد توربین ایجاد می‌شود. بنابراین قرار گرفتن در این ناحیه منجر به عدم پذیرش توربین خواهد شد.

با توجه به آزمایشات تجربی بسیاری که بر روی

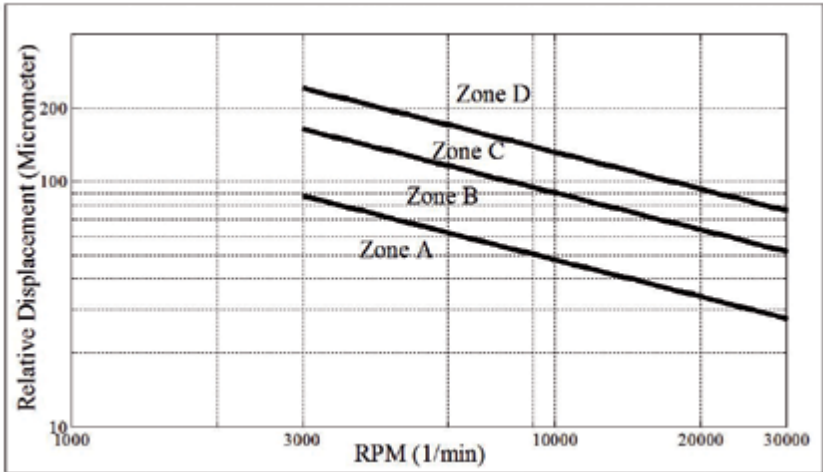


جدول ۲ - مرز نواحی ارزیابی در اندازه گیری سرعت ارتعاشی مطلق روی قطعات غیر دوار

مرز نواحی	سرعت ارتعاشی (mm/s) (r.m.s)
مرز نواحی A و B	۴,۵
مرز نواحی B و C	۹,۳
مرز نواحی C و D	۱۴,۷



شکل ۳- نواحی ارزیابی ارتعاش شفت در توربین‌های گاز صنعتی



توربین گازهای صنعتی انجام شده است، مقادیر پیشنهاد شده برای مرز نواحی ارزیابی با مجذور سرعت دورانی شفت رابطه‌ی معکوس دارد. روابط (۱) تا (۳)، به صورت تجربی برای مرزهای نواحی A و B، B و C و D به دست آمده است. در این روابط n سرعت دورانی شفت با واحد دور بر دقیقه و جابجایی ارتعاشی به دست آمده بر حسب میکرومتر است:

$$(1) Sp-p=4800\sqrt{n}$$

$$(2) Sp-p=9000\sqrt{n}$$

$$(3) Sp-p=13200\sqrt{n}$$

نمودار رسم شده با توجه به روابط ارائه شده در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. البته باید توجه داشت در موارد خاص با توجه به نظر سازنده، می توان مقادیر متفاوتی برای مرز نواحی ارزیابی در نظر گرفت. معیار ارزیابی دوم، بر اساس تغییر اندازه ارتعاش نسبت به یک مقدار مرجع از پیش تعیین شده تعریف شده است. حتی در شرایطی که توربین مطابق با معیار اول، در ناحیه C قرار نگرفته باشد، افزایش یا کاهش قابل توجه در اندازه ارتعاش، می تواند نشان دهنده لزوم عملیات تعمیر و بازبینی باشد. مقدار مرجع برای این معیار، برای شرایط عملکردی پایای خاص هر توربین، از اندازه گیری های متعددی که قبلاً انجام شده است، باید مشخص شود. در صورتی که تغییر در اندازه ارتعاش، نسبت به این مقدار مرجع، بیش از ۲۵ درصد حد بالای ناحیه B باشد (صرف نظر از افزایش یا کاهش بودن این تغییر)، باید عملیات مناسب جهت یافتن علت این تغییر انجام شود.

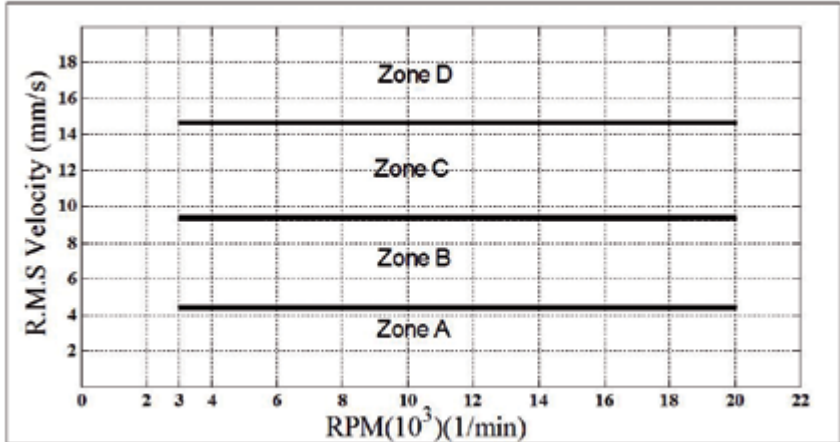
در شرایطی که توربین مطابق با معیار اول، در ناحیه C قرار نگرفته باشد، افزایش یا کاهش قابل توجه در اندازه ارتعاش، می تواند نشان دهنده لزوم عملیات تعمیر و بازبینی باشد

برای عملکرد طولانی مدت توربین، دو محدوده عملکردی به صورت زیر تعریف می شود. **محدوده هشدار:** در این محدوده هشدار ناشی از رسیدن ارتعاش به یک مقدار مشخص و یا بروز تغییر قابل توجه در اندازه ارتعاش ایجاد می شود. با اعلام این هشدار، انجام عملیات تعمیر ضروری خواهد بود. در این محدوده، عملکرد دستگاه می تواند برای مدت محدودی ادامه پیدا کند که البته در ضمن آن باید اقدام لازم جهت بررسی دستگاه و یافتن علت هشدار انجام شود.

محدوده بحران: این محدوده برای مشخص کردن میزانی از ارتعاش است که عملکرد توربین در این محدوده منجر به بروز آسیب جدی خواهد شد. در صورتی که ارتعاش موتور از محدوده بحرانی بگذرد، بلافاصله باید عملیات مناسب جهت کاهش ارتعاش انجام شده و یا سریعاً توربین خاموش شود. تنظیم این دو محدوده با توجه به طراحی خاص هر توربین می تواند متفاوت باشد. پیشنهاد می شود مرز محدوده هشدار به اندازه ۱،۲۵ برابر حد بالای ناحیه B، بالاتر از مقدار مرجع در نظر گرفته شود. همچنین مرز محدوده بحرانی معمولاً در ناحیه C یا D قرار گرفته و حداکثر می تواند به اندازه ۱،۲۵ برابر حد بالای ناحیه C باشد.

آزمون دوم جهت ارزیابی ارتعاش، اندازه گیری ارتعاش روی قطعات ثابت سازه ای است که معمولاً این اندازه گیری در توربین های گاز روی محفظه بیرینگ و یا پایه توربین انجام می شود. این آزمون مربوط به توربین های گاز صنعتی با توان بالاتر از ۳ مگاوات و دور نامی بین ۳۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه است. سیستم اندازه گیری در این آزمون، باید قادر به اندازه گیری ارتعاش در بازه ی ۱۰ هرتز تا حداقل ۶ برابر بالاترین فرکانس کاری شفت توربین باشد. کمیت مورد نظر در این آزمون، سرعت ارتعاشی است که به صورت مطلق و با واحد میلیمتر بر ثانیه اندازه گیری می شود. اندازه گیری باید در دو جهت شعاعی عمود بر هم انجام شود. ترانسیدوسرها می توانند در هر موقعیت زاویه ای روی محفظه بیرینگ یا پایه توربین قرار بگیرند،

شکل ۴- نواحی ارزیابی ارتعاش قطعات غیر دوار در توربین های گاز صنعتی



خواهد شد. همچنین اندازه گیری نويز زمینه در حالت غیر عملکردی توربین گاز انجام می شود. این دو مقدار در پایان به نتایج به دست آمده از آزمون اعمال خواهند شد. به این ترتیب با مقایسه نتیجه آزمون با حد بالای قابل قبول آلودگی صوتی، پذیرش یا عدم پذیرش توربین گاز در این آزمون مشخص می گردد.

ارزیابی آلودگی حرارتی

فرایند احتراق سوخت های هیدروکربنی مایع و گاز که در اثر ترکیب با اکسیژن صورت می گیرد، در حالت ایده آل (احتراق کامل) فقط منجر به تولید کربن دی اکسید و بخار آب می شود. سایر ترکیبات موجود در محصولات احتراق، ناشی از احتراق ناقص و یا وجود ناخالصی در ترکیبات واکنش دهنده ها است. هدف این آزمون، اندازه گیری و ارزیابی آلودگی خروجی از توربین گاز و یا همان محصولات احتراق ناقص است. آلاینده های مورد نظر در این آزمون، در سه گروه اصلی شامل ترکیبات گازی، دود و ذرات جامد تقسیم بندی می شوند. ترکیبات گازی شامل نیتروژن اکسید و نیتروژن دی اکسید، کربن مونواکسید و کربن دی اکسید، سولفور اکسیدها، هیدروکربن های نسوخته و یانیمه سوخته، ترکیبات آلی فرار و آمونیاک می شود.

جمع بندی

چهار آزمون عملکرد حرارتی، ارتعاش مکانیکی در قطعات دوار و غیر دوار، آلودگی صوتی و آلودگی حرارتی مجموعه کاملی از آزمون های استاندارد جهت ارزیابی عملکرد پایای توربین های گاز صنعتی را تشکیل می دهند. با توجه به اینکه فرایند انجام و معیارهای ارزیابی در هریک از این آزمون ها بر اساس الزامات استاندارد های بین المللی مشخص شده است، نتایج این آزمون ها در سطح بالایی از قابلیت اطمینان قرار دارد و می تواند معیار مناسبی جهت پذیرش و یا عدم پذیرش توربین در فرایند تحویل دهی صنعتی باشد.

نتایج این آزمون هادر سطح بالایی از قابلیت اطمینان قرار دارد و می تواند معیار مناسبی جهت پذیرش و یا عدم پذیرش توربین در فرایند تحویل دهی صنعتی باشد

پارامترهای موثر در انتخاب توربین گاز صنعتی



کاهه قربانیان^۱

آنچه در این مقاله می آید مختصری از تعدادی پارامترهای موثر در انتخاب توربین های گاز صنعتی می باشد. شایان ذکر است، هدف از این مقاله ارائه مسیر انتخاب توربین گازی نبوده و تنها معرفی پارامترهای موثر در میان توربین های گاز موجود در بازار با توجه به نیازهای مشتری است.

برای انتخاب بهینه توربین گاز، در نظر گرفتن معیارهای سیاسی، اقتصادی، مدیریتی و فنی، مهم و کلیدی است. در اینجا، به معیار فنی پرداخته شده و پارامترهای موثر در انتخاب توربین گاز از نگاه مهندسی مورد بررسی قرار می گیرد.

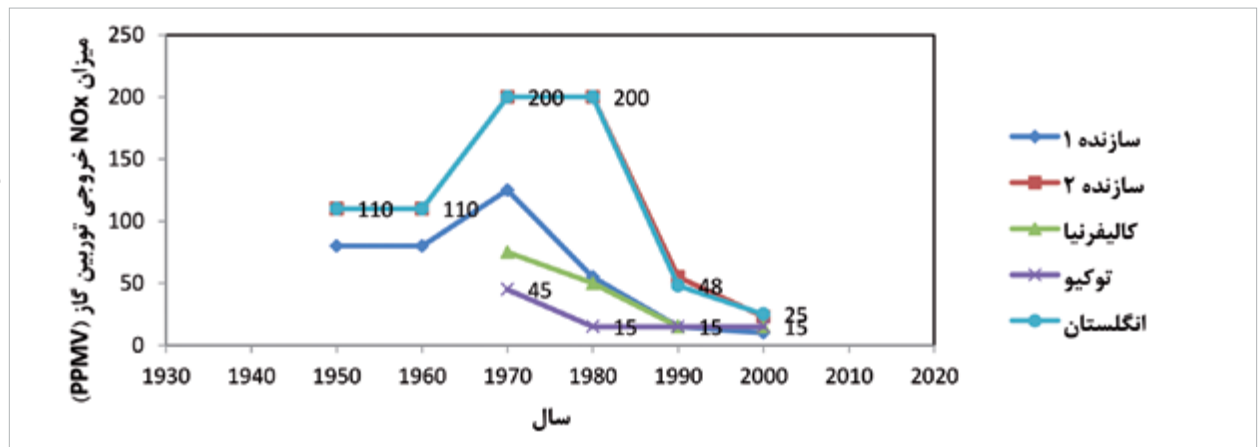
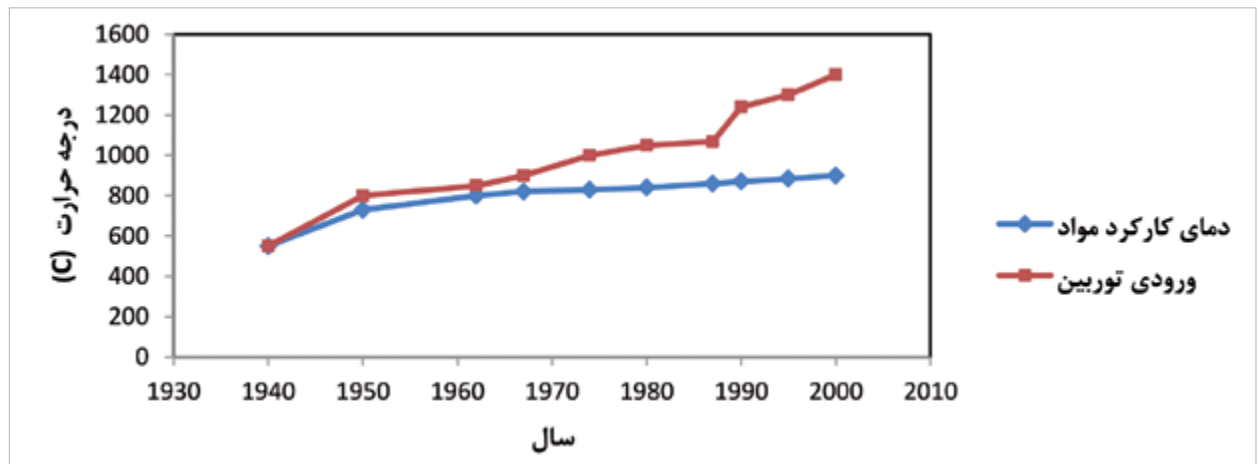
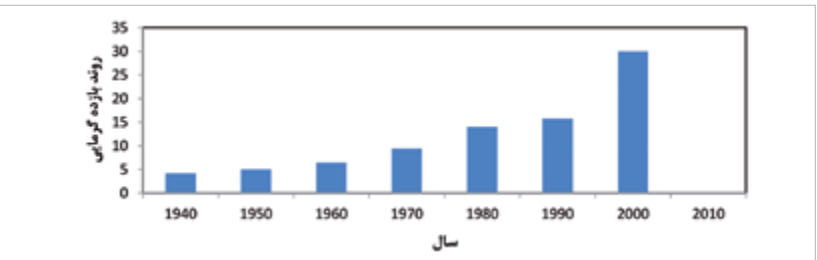
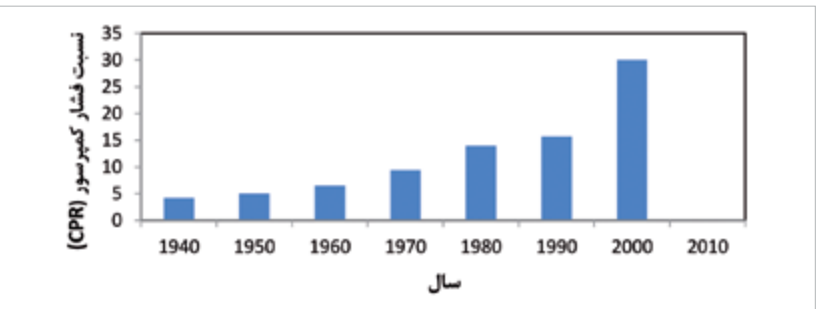
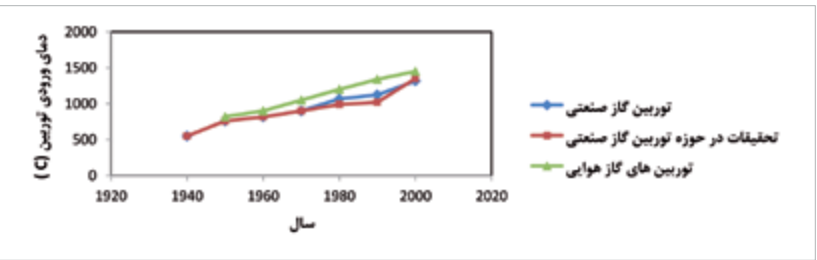
ابتدا، جهت شناخت مسیر تکنولوژی سپری شده در جهان که بر هر یک از پارامترهای معیار فنی اثر مستقیم و یا غیر مستقیم داشته است، نمودارهای دمای ورودی توربین، نسبت فشار کمپرسور، بازده گرمایی، محدودیت های مواد و آلودگی را بر حسب زمان در طول چند دهه ترسیم می شود. هدف از ارائه نمودارهای ذیل، تنها آشنایی خواننده با روند رشد شاخص ها بوده و بررسی عوامل این رشد و تاثیرات آن بر تصمیم گیری ها و سیاست گذاری ها در حوزه های سیاسی، اقتصادی، مدیریتی و حتی فنی در این مجال نمی گنجد.

از سویی دیگر، با توجه به مقیاس اقتصادی و با فرض ثابت بودن نسبت فشار کمپرسور و دمای ورودی توربین، می توان گفت بازده گرمایی با افزایش توان افزایش خواهد یافت. اهم پارامترهای موثر در انتخاب یک موتور توربین گاز صنعتی از دیدگاه فنی عبارت است از شاخص های عملکردی، اقتصادی و عملیاتی. هر یک از این شاخص ها شامل پارامترهایی می شوند که در ادامه به طور خلاصه بیان خواهد شد.

۱: کاهه قربانیان: نائب رئیس هیات مدیره شرکت توربین ماشین خاورمیانه



اهم پارامترهای موثر در انتخاب یک موتور توربین گاز صنعتی از دیدگاه فنی شاخص های عملکردی، اقتصادی و عملیاتی است



شاخص های عملکردی

- نسبت توان به مقدار سوخت مصرفی
- نسبت توان به دبی جریان

شاخص اقتصادی

- نسبت هزینه تمام شده ساخت به توان خروجی
- نسبت قیمت فروش موتور به توان خروجی (هزینه سرمایه گذاری ثابت)
- نسبت هزینه اورهال به مدت زمان بین اورهال و توان خروجی (هزینه بهره داری)
- نسبت هزینه سوخت مصرفی به توان خروجی (هزینه بهره داری)
- مدت زمان بین اورهال
- مدت زمان بین بازرسی دوره ای
- نرخ تنزل

شاخص های عملیاتی

- قابلیت اطمینان موتور (Reliability)
- طول عمر موتور (Lifetime)
- میزان دسترسی قطعات (Availability)

شایان ذکر است که هر یک از شاخص های فوق دارای یک ضریب وزنی می باشند که در این مقاله به آن اشاره نشده است. این ضرایب وزنی، بنا به نوع کاربرد موتور مورد نیاز، استراتژی و اولویت های خریدار تغییر می کنند. در نهایت، پس از اعمال روش بهینه سازی در تحلیل موتورهای متفاوت، گزینه و یا گزینه های برتر شناسایی می شوند.

هر یک از شاخص های بیان شده دارای یک ضریب وزنی می باشند. این ضرایب وزنی، بنا به نوع کاربرد توربین گاز مورد نیاز، استراتژی و اولویت های خریدار، تغییر می کنند.

کاربرد مواد با قابلیت تحمل دمای بالا در توربین های گازی

نوذر انجبین^۱

فراوانی برای توسعه نسل سوم از سوپر آلیاژهای تک کریستال صورت گرفته است، که منجر به تولید سوپر آلیاژهای Rene N6، CSMX-10 و TMS-75 شده است. شرکت رولزرویس آلیاژ CSMX-10 را با نام PR3000 در پره های فاقد سوراخ هوا خنک با فشار متوسط، در موتورهای جت با تکنولوژی جدید خود، از جمله Trent 800 به کار برده است. TMS-75، که یک سوپر آلیاژ با پایداری ریزساختاری نسبتاً خوبی است، به راحتی قابل عملیات حرارتی بوده و دارای قابلیت کاربرد در توربین های گازی 15 مگاواتی در دمای 1300 °C است.

در حال حاضر توسعه آلیاژهای تک کریستال نسل چهارم، در دست انجام است. از جمله این آلیاژها می توان به سوپر آلیاژ TMS-138 اشاره کرد. در این آلیاژ، به دلیل حضور تعدادی از عناصر استحکام بخش به همراه عناصری چون Ru و Ir، یک شبکه پایدار از نایجایی در فصل مشترک فازهای گاما و گاماپریم ایجاد می شود، که مانع از ورود نایجایی به درون فصل مشترک می گردد. به طور کلی نسبت به آلیاژهای تک کریستال نسل اول، دمای تحمل در تک کریستال های نسل جدید، حدود 100 °C افزایش یافته است. به منظور افزایش بیشتر دمای کاری پره ها، همچنین از سیستم های پوشش دهی و نیز خنک کاری استفاده می شود. در این شرایط، آلیاژ باید خواص خستگی ترمومکانیکی بالایی نیز داشته باشد، تا بتواند در برابر گرادین های دمایی بسیار زیادی که به ویژه در داخل پره های فاقد سوراخ هوا خنک ایجاد می شود، دوام بیاورد.

سوپر آلیاژهای استحکام یافته با ذرات اکسیدی (ODS)
آلیاژهای ODS، به دلیل حضور ذرات اکسیدی پایدار نظیر Y_2O_3 ، دارای استحکام خزشی بسیار بالایی در دماهای بالاتر از 1000 °C است. از جمله این آلیاژها، میتوان به آلیاژهای سری MA (شامل MA6000 و...)، آلیاژهای سری PM (شامل PM3000 و...) و آلیاژهایی نظیر TMO-2 و TMO-20 اشاره کرد. در شکل ۲، خواص خزشی

چند سوپر آلیاژ ODS با مقادیر مربوط به آلیاژ تک کریستال، مقایسه شده است. براساس این شکل، استحکام خزشی آلیاژ TMO-20 در تمامی دماها و تنشها از مقادیر مربوط به سوپر آلیاژهای تک کریستال، بالاتر است. برخی از سوپر آلیاژهای ODS، نظیر سوپر آلیاژ MA754 دارای داکتیلیته نسبتاً بالا و مقاومت به اکسیداسیون خوبی است، از این رو برای کاربردهای دمای بالا، نظیر محفظه احتراق مناسب است. این در حالیست که سوپر آلیاژهایی نظیر TMO-2 و TMO-20 داکتیلیته نسبتاً پایینی دارند (1-3%) و لذا برای تولید پره های فاقد سوراخ هوا خنک مناسب نیست. به علاوه اینکه هزینه بالای تولید آنها، سبب شده است تا به امروز در پره های توربین مورد استفاده قرار نگیرند. با این وجود، این آلیاژها در مقایسه با سرامیک ها و آلیاژهای بین فلزی داکتیلیته بسیار بالاتری داشته و چنانچه در پره های کوچک و فاقد سوراخ هوا خنک در توربین های گازی مورد استفاده قرار بگیرند، دمای کاری بسیار افزایش خواهد یافت.

مواد جدید آلیاژهای بین فلزی

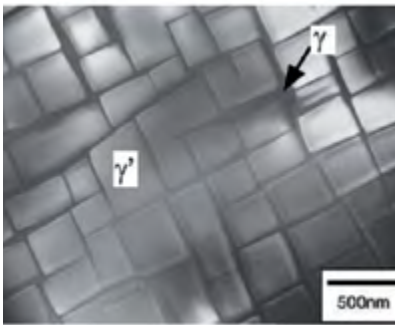
آلیاژهای بین فلزی عموماً دارای داکتیلیته ضعیف در دمای اتاق است. با این وجود آلیاژهای پایه تیتانیوم-آلمیناید (Ti-Al) علاوه بر دارا بودن وزن کم و استحکام ویژه بالا، دارای یک مقدار مشخصی از داکتیلیته در دمای اتاق است. امروزه این آلیاژها به عنوان یک ماده مناسب بالقوه برای کاربرد در پره های کم فشار موتورهای جت مطرح است. همچنین تحقیقات انجام شده در خصوص انجماد جهت دار آلیاژهای پایه Ti-Al، نشان داده است که در آلیاژ انجماد جهت دار یافته بدون کاهش داکتیلیته دمای اتاق، افزایش قابل توجهی در استحکام خزشی دمای بالا، ایجاد می شود. با این وجود هنوز هزینه های تولید پره از آلیاژهای پایه Ti-Al، برای کاربردهای عملی بالا است.



آلیاژهای دیرگداز

آلیاژهای دیرگداز، با نقطه ذوب بالا، گزینه های مناسبی برای کاربرد در پره های فاقد سوراخ هوا خنک توربین، می باشند. در میان این آلیاژها، نایوبیم (Nb) با نقطه ذوب 2468 °C، شهرت بیشتری دارد. اگرچه دانسیته Nb (8.58) معادل مقدار مربوط به سوپر آلیاژها بوده و دارای داکتیلیته خوبی است، ولی به دلیل مقاومت به اکسیداسیون ضعیف، کاربرد آن با مشکلاتی همراه است. حضور مقادیری از عنصر سیلیسیم، به عنوان یک عنصر آلیاژی در زمینه Nb، به دلیل تشکیل رسوبات Nb₃Si₃ در زمینه محلول جامد، باعث افزایش مقاومت به اکسیداسیون تا مقادیر مربوط به سوپر آلیاژهای پایه نیکل در دمای 1200 °C، میشود. در این راستا همچنین از عناصری چون W و Mo برای افزایش استحکام زمینه استفاده شده است. همچنین در گروه آلیاژهای دیرگداز، سوپر آلیاژهای گروه پلاتینیم به دلیل دارا بودن نقطه ذوب بالا و نیز تشکیل ساختاری مشابه با ساختار سوپر آلیاژهای پایه نیکل (ساختار گاما/گاماپریم)، به عنوان یک گروه جدید از مواد دمای بالا با عمر خزشی بالا، توجه زیادی را به خود معطوف ساخته است. تحقیقات پیرامون این گروه از آلیاژها، بمنظور کاهش دانسیته آلیاژ و نیز هزینه تولید، همچنان ادامه دارد. آلیاژهای پایه کرم نظیر آلیاژهای Cr-W و Cr-Re که دارای استحکامی معادل و حتی بالاتر از مقادیر مربوط به تک کریستالهای پایه نیکل در دماهای بالاتر از 1100 °C است، نیز به عنوان گروهی دیگر از آلیاژهای دیرگداز مطرح است. مزیت اصلی این گروه از آلیاژها، دارا بودن مقاومت بالا در برابر تردی نیتروژنی ضمن کارکرد در دماهای بالا، است.

شکل ۱: زیرساختار یک سوپر آلیاژ پایه نیکل تک کریستال



سرامیک ها

تلاش های زیادی برای استفاده از نیتريد سیلیکات (Si₃N₄) به عنوان پره های فاقد سوراخ هوا خنک در توربین های گازی کوچک صورت گرفته است. هدف اصلی استفاده از این نوع از سرامیک ها، که به صورت موفقیت آمیزی در روتور توربو-شارژر اتومبیل نیز به کار رفته است، افزایش دمای کاری و راندمان توربین است. برای استفاده عملی از این مواد باید خواصی نظیر چقرمگی، مقاومت به اکسیداسیون دراز مدت و خوردگی در اتمسفر بخار آب با دمای بالا، بهبود داده شود. در میان اکسیدهای سرامیکی، یک یوتکتیک سرامیکی بنام کامپوزیت رشد داده شده از مذاب (MGC) که در سال ۱۹۹۷ توسعه داده شده است، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. MGC مقاومت به اکسیداسیون خوبی دارد و استحکام خود را تا دمای 1700 °C حفظ می کند. به علاوه اینکه این مواد در دماهای بالا، مشابه فلزات رفتار تغییر شکل پلاستیک با حرکت نایجایی را، از خود نشان میدهند. کاربرد عملی مواد سرامیکی به میزان قابلیت بهبود مقاومت در برابر شوک حرارتی و نیز مقدار چقرمگی دمای اتاق آنها بستگی دارد.

مواد کامپوزیتی

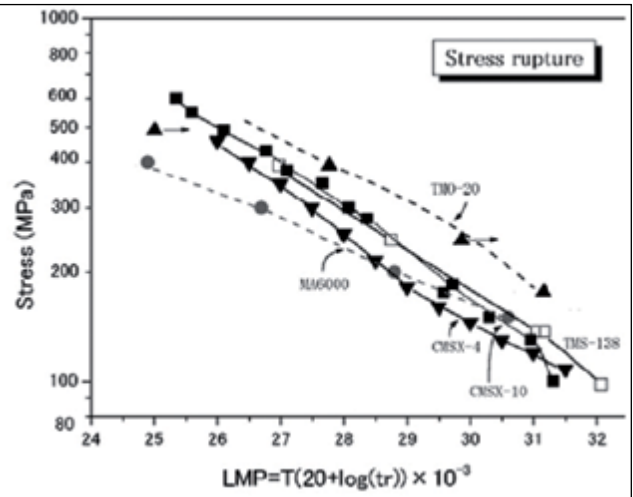
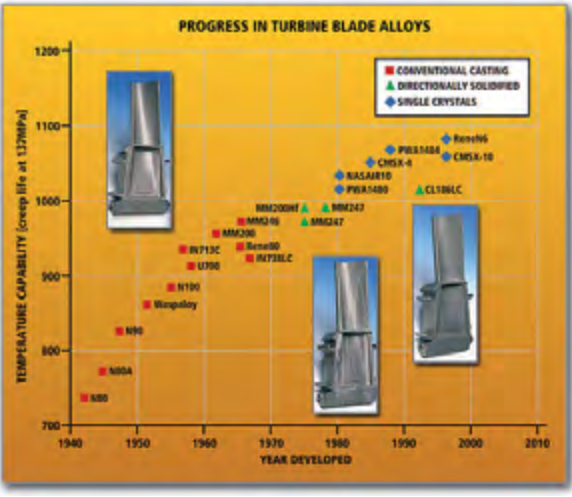
کامپوزیت های زمینه سرامیکی (CMC) دارای

چقرمگی شکست بسیار بالاتری نسبت به سرامیک ها است. این کامپوزیت ها به عنوان مواد سبک با دمای بسیار بالا، گزینه های بسیار خوبی برای محفظه احتراق و پره های ثابت تحت فشار در توربین است. از جمله مهمترین این مواد، می توان به کامپوزیت های تقویت شده با رشته هایی از SiC، اشاره کرد. همچنین کامپوزیت کربن-کربن به عنوان یک ماده دمای بالای سبک، که تا دماهای بسیار بالا (حدود 2000 °C)، استحکام خود را حفظ می کند، نیز در این خصوص مطرح است. با این وجود، تولید مواد کامپوزیتی برای کاربردهای عملی، هنوز بسیار پرهزینه است، ضمن اینکه این مواد برای افزایش مقاومت در برابر محیط کارکرد نیاز به پوشش دارند.

خلاصه و نتیجه گیری

با بهبود خواص مواد دمای بالا در اجزای مختلف موتورهای جت و توربین های گازی صنعتی، می توان دمای گاز ورودی را افزایش داد و راندمان بالاتری را دریافت کرد. انواع مختلفی از سوپر آلیاژهای پایه نیکل برای اجزای با دمای بالا، نظیر محفظه احتراق و پره های توربین، مورد استفاده قرار می گیرد. در میان آنها، سوپر آلیاژهای تک کریستال بالاترین تحمل دمایی را دارند. آلیاژهای تک کریستال نسل سوم، به طور عملی در موتور جت به کار می رود، و نسل چهارم آنها که شامل فلزات گروه پلاتینیم است، برای کاربرد در موتورهای جت نسل بعدی در حال توسعه است. همچنین آلیاژهای تک کریستال برای افزایش دمای گاز ورودی و لذا راندمان حرارتی در توربین های گازی زمینی، نیز معرفی شده است. همچنین برخی مواد جدید نظیر آلیاژهای بین فلزی، آلیاژهای دیرگداز، سرامیک ها و کامپوزیت ها به عنوان موادی با پتانسیل کاربرد در قطعات دمای بالای توربینی، در حال توسعه است.

شکل ۲: خواص خزشی سوپر آلیاژهای مختلف





ساخت پروانه‌های کمپرسور گریز از مرکز به روش لحیم کاری سخت

شفاالدین حسین نژاد^۱، مرتضی گرجی^۲

می‌باشد و عملکرد کمپرسور به شدت متأثر از طراحی و ساخت آنهاست. بادر نظر گرفتن شرایط کاری و سرعت بالا به همراه نوع طراحی و روش‌های ساخت، این پروانه‌ها از لحاظ مهندسی به عنوان یک قطعه پیشرفته محسوب می‌شوند. در کمپرسورهای فرایندی به دلیل چیدمان مخصوص روتور، پروانه‌های از نوع بسته به کار برده می‌شود. در این پروانه‌ها جهت جلوگیری از افت‌ها و افزایش راندمان، به روی پرده‌ها صفحه‌ای به نام سرپوش متصل می‌شود که از انتقال جریان بین پرده‌ها جلوگیری می‌کند. ایجاد و تعبیه‌ی این صفحه باعث پیچیدگی در هندسه‌ی پروانه به گونه‌ای می‌گردد که جهت رفع آن از روش‌های ساخت مختلفی همچون، ریخته‌گری یک پارچه، پرچ کاری، جوشکاری و لحیم کاری استفاده می‌شود.

در این مقاله به بررسی ساخت پروانه‌های دوبعدی یا سه بعدی بسته، به روش لحیم کاری سخت پرداخته می‌شود.

۱: شفاالدین حسینی نژاد: مدیر گروه واحد مهندسی کمپرسور سانتریفیوژ شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان

۲: مرتضی گرجی: واحد مهندسی کمپرسور سانتریفیوژ شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان

ساخت پروانه‌ها

معمولاً ساخت پروانه‌های بسته دو مرحله‌ای است:

۱- ساخت دیسک شامل پرده‌ها و سرپوش بطور جداگانه ۲- اتصال سرپوش به پرده‌ها

روش‌های متعددی از جمله ریخته‌گری دقیق، فورجینگ و ... برای مرحله اول ساخت وجود دارد که با توجه اندازه‌ی ابعاد، هندسه و جنس پروانه تعیین می‌شود. در اینجا به بررسی مرحله‌ی دوم ساخت پروانه می‌پردازیم، سه گروه کلی برای اتصال سرپوش به پرده‌ها وجود دارد که عبارتند از:

— روش پرچ کاری

— روش جوش کاری

— روش لحیم کاری

انتخاب نوع روش اتصال به‌طور ویژه به هندسه، ابعاد و شرایط کارکردی (تنش‌های مکانیکی، دما، خوردگی و...) وابسته است. امروزه با پیشرفت روش‌های ساخت و تجهیزیات در دسترس مناسب‌ترین روش اتصال برای پروانه‌های نسبتاً کوچک، لحیم کاری است که در ادامه به توضیح بیشتر این روش پرداخته می‌شود.

روش لحیم کاری

لحیم کاری به اتصال فلزات و آلیاژها با استفاده از فلزات پرکننده‌ای که نقطه ذوب آنها پایین‌تر از فلزات پایه می‌باشد، گفته می‌شود. در لحیم کاری سخت (بریزینگ) یک فلز پرکننده با نقطه ذوبی بالاتر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد در محل اتصال ذوب شده و به داخل سطوح مماس و نزدیک به اتصال کشیده می‌شود و این فواصل را پر می‌کند، این کار به کمک خاصیت موینگی انجام می‌شود و هنگامی که فلز پرکننده سرد و منجمد شود، فلزات پایه با کمک پیوند فلزی بین فلزات مختلف به هم متصل می‌شوند.

لحیم کاری تحت خلأ یا گاز محافظ یک روش بسیار مفید برای اتصال سرپوش پروانه به پرده‌ها، در مقایسه با جوشکاری و پرچ کاری می‌باشد. همانطور که گفته شد انتخاب نوع روش اتصال شدیداً به ابعاد قطعه وابسته است. بر طبق آزمایشات انجام شده، روش لحیم کاری تنها برای پروانه‌های دوبعدی حداکثر با قطر خارجی ۷۰۰ mm و

شکل ۱ محل اتصال پرده‌ها به سرپوش که لحیم کاری شده است



انتخاب نوع روش اتصال به‌طور ویژه به هندسه، ابعاد و شرایط کارکردی (تنش‌های مکانیکی، دما، خوردگی و...) وابسته است

شکل ۳ تصویر سازی از پروانه با امواج التراسونیک پس از لحیم کاری



**بهترین روش
غیرمخرب برای پروانه
های لحیم کاری شده،
تصویر سازی از محل
اتصال با استفاده از
امواج التراسونیک است**



شکل ۲ تصویر میکروسکوپی محل اتصال

پروانه‌های سه بعدی تا قطر ۵۰۰mm قابل قبول است. در صورتی که قبل از عملیات لحیم کاری شرایط مورد نیاز به دقت فراهم شود، کیفیت پروانه لحیم کاری شده تقریباً مستقل از اوپراتور و همچنین عیوب آن به شدت کمتر است زیرا سیکل عملیات لحیم کاری قابل کنترل توسط کامپیوتر می باشد و برعکس روش جوشکاری حین عملیات اوپراتور نقشی ندارد. این روش شامل چندین مرحله است که عبارتند از: ۱) آماده سازی سطوحی که بین آنها اتصال برقرار می شود، ۲) قرار دادن فلز پرکننده لحیم کاری که به شکل خمیر یا فویل است در محل اتصال، ۳) تنظیم اندازه و یکنواختی درز اتصال، ۴) حفاظت اجزای پروانه در برابر تغییر محل قرارگیری نسبت به هم با طراحی فیکسچر مناسب، ۵) انجام یک عملیات گرمادهی تحت اتمسفر مناسب با سیکل مطلوب لحیم کاری و ۶) نهایتاً تمیز کاری پس از عملیات لحیم کاری و انجام عملیات حرارتی مناسب فلز پایه برای بهبود خواص مکانیکی آن. شکل ۲ تصویر میکروسکوپی با بزرگمایی ۵۰ برابر از اتصال لحیم کاری شده یک پره به سرپوش پروانه می باشد. هنگام گرم کردن، مشکلات اتصال دهی به علت تغییر ابعاد قطعه افزایش می یابد که علت آن انبساط حرارتی و تغییرات حجمی

ناشی از تحولات فازی فولاد می باشد. گرم کردن دو قسمت مجزا با ابعاد و وزن مختلف باعث می شود تغییر ابعادی متفاوتی داشته باشند، لذا تنظیم مناسب اندازه و یکنواختی درز اتصال مشکل است و می بایست از فیکسچر مناسب حین عملیات لحیم کاری استفاده شود. کاهش تغییر شکل پروانه حین و بعد از عملیات لحیم کاری نیازمند رعایت کردن موارد زیر است: -ساخت دقیق و یکنواختی شکل و اندازه پره ها و فیکسچرهای مربوطه. -انجام عملیات حرارتی با کیفیت مناسب قبل و بعد از سیکل لحیم کاری.

پس از پایان عملیات لحیم کاری در بعضی از موارد نیاز به انجام تست های غیر مخرب برای مشخص شدن کیفیت اتصال می باشد. بهترین روش غیرمخرب برای پروانه های لحیم کاری شده، تصویر سازی از محل اتصال با استفاده از امواج التراسونیک است. شکل ۳ یک نمونه از نتایج بدست آمده از این تست می باشد و نشان می دهد اتصال به بهترین صورت انجام گرفته است. تجهیز تست آلتراسونیک مناسب برای این منظور، یک ابزار بسیار پیشرفته و خاص است و در صورت عدم دسترسی به آن می توان از نمونه های شاهد جهت انجام تست های مخرب و بررسی کیفیت عملیات انجام شده، استفاده کرد.





Management Strategy

مدیریت استراتژیک در سازمان‌ها و بنگاه‌های اقتصادی

مجتبی صدیق^۱ در سازمان‌های امروزی که به صورت فعال در حوزه‌های دانش و بر روی لبه علم حرکت می‌کنند، همواره نحوه مدیریت منابع انسانی، مدیریت دانش و برنامه‌ریزی‌های کلان و کوتاه مدت در پیشرفت اهداف عالی سازمان نقش بسزایی داشته است. به طور قطع سازمان‌هایی خواهند توانست ضمن بقای خود به رشد و توسعه بپردازند که در توسعه موارد فوق موفق عمل کرده باشند.

در این راستا به عنوان اولین میبث مدیریت دانش، لزوم و

۱: مجتبی صدیق: مدیر بازرگانی و توسعه بازار شرکت توربین ماشین‌خاوریانه

اهمیت و چگونگی آن در شماره قبل نشریه مورد بحث و بررسی قرار گرفت. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در مدیریت سازمانها انجام برنامه‌ریزی‌های زماندار و هدفمند در قالب مدیریت استراتژیک است که می‌تواند در صورت تعریف پارامترهای مناسب، ساختاری مناسب و اطمینان بخش را به منظور نیل به اهداف سازمانی به ارمغان آورد.

در کل بر اساس تعریف‌های صورت گرفته، مدیریت استراتژیک عبارت است از مجموعه تصمیمات و فرآیندهای مدیریتی که کارایی طولانی مدت بنگاه را مشخص می‌کند.

لذا از این منظر دربرگیرنده موارد ذیل می‌باشد:

- ۱- بررسی‌های محیطی
- ۲- فرمول برنامه‌ریزی استراتژیک بلندمدت
- ۳- ارزیابی و کنترل که در همه فرآیندهای مدیریتی حضور دارد

لذا در کل مطالعه استراتژیک سازمان تأکید بر نظارت، کنترل و ارزیابی فرصت‌ها و تهدیدات خارجی در سایه نقاط ضعف و قوت بنگاه اقتصادی است.

از آنچه که امروز، مدیران حرفه‌ای را به سمت مدیریت استراتژیک هدایت کرده است می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱- افزایش ریسک اشتباهات و خطاها در تصمیم‌گیری‌ها و اجرا

۲- هزینه بر بودن اشکالات و ایرادات در سازمان‌ها و بنگاه‌های اقتصادی

۳- بحران‌های اقتصادی

لذا مدیران به منظور حفظ سازمان در شرایط رقابتی در محیطی که مرتباً در حال تغییر است، ضروری است که با بهره‌گیری از دانش علمی و تجربی در این حوزه نسبت به نگاه مدیریت استراتژیک اهتمام ویژه ورزند. بدین منظور و برای ایجاد ارتباط مناسب‌تر مدیران با دنیای در حال تغییر، این فرآیند در چندین فاز در سازمان به شرح ذیل تحقق می‌یابد:

فاز اول: برنامه‌ریزی اولیه مالی در قالب بودجه بندی سالیانه

فاز دوم: برنامه‌ریزی بر اساس پیش‌بینی‌ها در قالب برنامه‌های ۵ ساله

فاز سوم: برنامه‌ریزی استراتژیک با ایجاد تیم‌های ویژه مدیریتی تحت نظارت مدیران عالی سازمان و با حضور نمایندگان و مدیران میانی از هر واحد با تفکر توسعه‌ای به منظور ایجاد پاسخگویی سریع به تغییرات محیطی بازار و رقابت

فاز چهارم: مدیریت استراتژیک

باید توجه داشت که بهترین برنامه‌های استراتژیک در سازمان بدون نقطه نظرات و بازخورهای مدیران سطوح میانی و پائین بی‌ارزش خواهد بود. در این راستا مدیریت عالی سازمان گروه برنامه‌ریز را شامل مدیران و کارمندان کلیدی در سطوح و بخش‌های مختلف سازمان تشکیل خواهد داد.

شرکت جنرال الکتریک به عنوان یکی از شرکت‌های پیشرو در برنامه‌ریزی استراتژیک طی دهه ۱۹۸۰ توانست از برنامه‌ریزی استراتژیک به سمت مدیریت استراتژیک حرکت نماید و امروزه به عنوان یکی از شرکت‌های مطرح در زمینه توربین در سطح بین‌المللی می‌باشد که توانسته راهبری ویژه‌ای در این حوزه داشته باشد. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر نگاه استراتژیک در حوزه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت سازمان است که می‌تواند الگویی برای سازمان‌ها و بنگاه‌های در حال توسعه باشد.

**شرکت جنرال الکتریک
به عنوان یکی از
شرکت‌های پیشرو
در برنامه‌ریزی
استراتژیک طی
دهه ۱۹۸۰ توانست
از برنامه‌ریزی
استراتژیک به سمت
مدیریت استراتژیک
حرکت کند**



پویایی سازمان و وجود محیط‌هایی که دائماً در حال تغییر هستند، نشان می‌دهد که می‌بایست انعطاف‌پذیری در مدیریت استراتژیک سازمان وجود داشته باشد.

بدیهی است که این انعطاف‌پذیری نیاز به مهارت‌های خلق کردن، جمع‌آوری کردن، انتقال دانش و نیز بهبود عکس‌العمل‌ها در برابر ظهور دانش و اطلاعات جدیدتر و بیشتر دارد که موارد فوق همگی در قالب سازمان یادگیرنده تعریف می‌شوند.

با توجه به آنچه در ابتدای این مقاله اشاره کردیم مدیریت استراتژیک شامل چند مرحله می‌باشد که عبارتند از:

۱- بررسی‌های محیطی (داخلی و بیرونی سازمان)

۲- فرمول استراتژی (برنامه ریزی بلندمدت)

۳- پیاده‌سازی استراتژی

۴- ارزیابی و کنترل

با توجه به شرایط امروز، جهانی شدن و حضور در بازارهای بین‌المللی به عنوان یک اصل غیر قابل انکار برای شرکت‌ها و بنگاه‌های توسعه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در نتیجه برای دستیابی به سهم قابل توجه از بازار، نیاز به مزیت رقابتی است و این مزیت در قیمت تمام‌شده و رقابتی آن، قیمت‌های فروش پایین‌تر خلاصه می‌شود.

جهانی شدن بنگاه‌ها و سازمان‌ها یک مبارزه واقعی را برای مدیریت استراتژیک بنگاه‌های تجاری را به همراه دارد. آنها می‌بایست دائماً بازار را بررسی و هرگونه تغییرات در بازار شامل تغییرات تکنولوژی، اقتصادی، سیاسی، قوانین و حتی مواردی از جمله روند تغییرات فرهنگی اجتماعی جوامع بین‌المللی و ... تحت نظر قرار می‌گرفت. با این وجود و حجم بسیار گسترده اطلاعات این کار امکان‌پذیر نبود. لذا سازمان‌ها



تصمیم‌گرفتن با تغییر در نحوه مدیریت بالا به پایین، با ایجاد سازمان‌هایی پهن (عرضی) بجای طولی و عمودی و بهره‌گیری از ساختارهای ماتریسی و نیز اجماع شرکت‌ها، سازمان‌ها و حتی دولت‌ها با تجمیع اطلاعات و داده‌ها در افزایش توان برای رصد کردن اطلاعات بازار و محیط، سرعت ایجاد کنند.

تشکیل اتحادیه اروپا، موافقت نامه بازار آزاد آمریکای شمالی NAFTA شامل آمریکا، کانادا و مکزیک و نیز جامعه کشورهای جنوب شرقی آسیا ASEAN به عنوان نمونه‌های از این تصمیم می‌باشند.

در حال حاضر مدیریت استراتژیک به مرحله‌ای رسیده است که ارزش‌های آن در کمک به فعالیت سازمان‌ها به صورت موفق در محیطی پویا، غیر ساکن و پیچیده دیده می‌شود.

از مهمترین ابزار برای رسیدن به یک مدیریت استراتژیک ایجاد سازمان‌های یادگیرنده و به تبع آن مدیریت دانش است. باید توجه داشت که سازمان پویا، سازمانی یادگیرنده است.

قابل اتکا نیست، مدیران تلاش می‌کنند تا با پیش‌بینی آینده برنامه‌ای مدون برای مدت ۵ سال تنظیم کنند. در این شرایط پروژه‌های طولانی مدت که مدت زمان اجرای آن‌ها بیش از یک سال خواهد بود و هزینه‌های متفرقه آن به بیش از یک سال کشیده می‌شود، در این برنامه پیش‌بینی شده و در برنامه‌ریزی‌ها لحاظ می‌شود.

۳- برنامه‌ریزی با محوریت محیط بیرونی سازمان: این فاز شامل برنامه‌ریزی استراتژیک است و تحت هدایت مدیریت عالی سازمان بر فرآیند برنامه‌ریزی و کنترل آن بدست می‌آید. در این مرحله



با کمک پرسنل برنامه‌ریزی و افرادی که وظیفه آنها توسعه سازمان است، برنامه‌های توسعه‌ای استراتژیک برای بنگاه تهیه می‌شود. مشاوران در این مرحله تلاش می‌کنند با ارائه راهکارهای خلاقانه پرسنل مذکور را در گردآوری اطلاعات مهم برای بررسی و شناخت روند بازار یاری نمایند.

۴- مدیریت استراتژیک سازمان: باید توجه داشت بهترین برنامه‌های استراتژیک بدون اطلاعات ورودی و نقطه نظرات مدیران میانی و مدیران پایین‌تر سازمان بی‌ارزش خواهد بود.

لذا مدیریت عالی سازمان اقدام به ایجاد گروه‌های کاری و برنامه‌ریزی شامل پرسنل کلیدی و مدیران در سطوح مختلف سازمان می‌نماید. آنها خواهند توانست ضمن جمع‌بندی برنامه‌های استراتژیک که در راستای اهداف عالی سازمان تهیه شده‌اند، نسبت به توسعه آنها اهتمام ورزند. مطالعات و تحقیقات انجام‌شده بر روی حدود ۵۰ شرکت در کشورهای و صنایع مختلف نشان می‌دهد که ۳ مزیت عمده ذیل از مزایای مدیریت استراتژیک است:

۱- احساس شفاف‌تر از نگاه استراتژیک برای بنگاه
۲- توجه ویژه‌تر بر روی آنچه به لحاظ استراتژیک مهم است.

۳- توسعه آگاهی نسبت به تغییرات سریع محیطی امروزه با توسعه ارتباطات بین‌المللی، جهانی شدن به عنوان یک موضوع مهم در شرکت‌ها حضور دارد. تشکیل شرکت‌های چندملیتی، به‌دست آوردن بازار بر اساس قیمت و هزینه‌های کمتر، دستیابی به سود از طریق صادرات به دیگر کشورها با فرهنگ‌های متفاوت، چالش‌هایی برای مدیریت استراتژیک است.

ایجاد سازمان‌های یادگیرنده و در ادامه آن مدیریت دانش می‌تواند تلاشی برای شناخت دائمی محیط، تولید فرمولی استراتژیک برای اداره سازمان و بنگاه، اجرای فرمول استراتژیک و ارزیابی و کنترل بنگاه‌ها به منظور ارائه بازخورد و بهینه‌سازی آن است.

لذا با توجه به اهمیت استراتژیک هر بنگاه و سازمان ۳ نوع استراتژی را در سازمان خود خواهد داشت:

۱- استراتژی بنگاه که برنامه‌ریزی کلان بنگاه را در بر می‌گیرد.

۲- استراتژی بازار یا محصول: برنامه‌ریزی یک محصول از محصولات بنگاه را شامل می‌شود.

۳- استراتژی عملیاتی که برنامه‌ریزی و نحوه انجام فرآیندهای عملیاتی در سطوح پایین سازمان است.

در پایان اشاره می‌شود که در دنیای امروز که ارتباط بین فرهنگ‌ها، سازمان‌ها و مردم از طرق مختلف از جمله صفحات اجتماعی در قالب اینترنت سرعت فراگیر یافته است و راهی جز جهانی شدن برای سازمان‌ها و نهادهای تجاری باقی‌نمانده است، نحوه برقراری ارتباط با جوامع، آگاهی از نیازمندی‌های بازار، تعریف محصولات جدید، هم‌راستایی با تغییرات پیوسته و سریع محیط‌های مختلف و بازار، بنگاه‌های اقتصادی را به سمت نگاه استراتژیک و تهیه برنامه‌ریزی‌های مدون هدایت نموده که می‌تواند در سطوح مختلف، سازمان‌را هدایت، برنامه‌ریزی و کنترل و ارزیابی کند.

توضیح: کلیه مطالب این مقاله برگرفته از کتاب «Strategic Management Business Policy» نوشته ویلن و هانگر است.





The 22nd Annual International Conference on Mechanical Engineering



بیست و دومین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک

انجمن مهندسان مکانیک ایران با همکاری دانشگاه شهید چمران برگزار کننده بیست و دومین کنفرانس بین المللی مهندسی مکانیک در تاریخ دوم تا چهارم اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ خورشیدی برابر با بیست و دوم تا بیست و چهارم آوریل سال ۲۰۱۴ میلادی در شهر اهواز خواهد بود. هدف اصلی این همایش بسط و گسترش رشته مهندسی مکانیک است. این دستاورد از طریق ایجاد بستری برای ارائه آخرین دستاوردهای پژوهشی دانشگاه‌ها و واحدهای صنعتی و نیز تبادل اطلاعات بین استادان، دانشجویان، پژوهشگران، مهندسان و صنعت گران این رشته حاصل خواهد شد.

از کلیه مدیران، مهندسان و پژوهشگران محترم شرکت‌های تولیدی مرتبط با مهندسی مکانیک، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، شرکت گاز استان خوزستان، شرکت ملی حفاری، شرکت ملی صنایع پتروشیمی، شرکت فولاد خوزستان، شرکت فولاد کاویان، لوله سازی اهواز، کشت و صنعت نی شکر، شرکت آب و برق خوزستان، شرکت فولاد اکسین، نیروگاه‌های آبی و حرارتی خوزستان، شرکت پخش و پالایش منطقه خوزستان و صاحبان کلیه صنایع دیگری که با مهندسی مکانیک ارتباط نزدیک دارند دعوت شده تا با حضور گسترده در این همایش بین المللی بر اعتبار آن بیافزایند.

محورهای همایش:

- مکانیک جامدات
- دینامیک، ارتعاشات و کنترل
- مکانیک سیالات
- ترمودینامیک
- انتقال حرارت و جرم و فرآیندهای خشک کردن
- انرژی و محیط زیست
- بیومکانیک، میکرو و نانومکانیک
- طراحی و ساخت
- کاربردهای مهندسی مکانیک در حوزه‌های زیر:
 - نفت، گاز و حفاری
 - فولاد و صنایع وابسته
 - نیروگاه های حرارتی، آبی و هسته ای
 - پتروشیمی و پالایشگاه
 - صنایع نیشکر و قند
 - هوافضا
 - مهندسی دریایی
 - صنایع خودرویی و ریلی

ریاست افتخاری کنفرانس: دکتر سید حسن مروتی

نائب رئیس کنفرانس: دکتر محمد شیشه ساز

دبیر کنفرانس: دکتر ابراهیم حاجی دولو

دبیر علمی کنفرانس: دکتر کوروش حیدری شیرازی

دبیر اجرایی کنفرانس: دکتر مرتضی بهبهانی نژاد

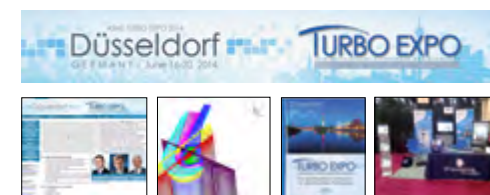
ASME TURBO EXPO

کنفرانس ASME TURBO EXPO، در آستانه پنجاه و نهمین سال فعالیت خود، یکی از مهم ترین همایش ها برای حضور متخصصان در زمینه توربوماشین ها است. این کنفرانس فنی از مقبولیت خاصی برخوردار است و به لحاظ گرد هم آوردن شاخص ترین متخصصین از سراسر جهان، فرصت بسیار مناسبی برای به اشتراک گذاشتن جدیدترین وقایع در تکنولوژی های مربوط به توربین، تحقیق، توسعه و کاربرد در زمینه توربین های گاز، توربین های بخار، توربین های بادی، دمنده ها و پروانه ها، سیکل رانکین و برایتون خورشیدی و CO₂ فوق بحرانی، است.

TURBO EXPO فرصت های ارتباطی بی نظیری به منظور توسعه ارتباطات صنعتی فراهم کرده و طی نمایشگاه سه روزه، به جذب متخصصان فعال و تصمیم گیرندگان کلیدی در این صنعت می پردازد که تخصص ها و نوآوری های آنها در شکل گیری آینده صنعت توربوماشین تاثیر گذار است. ASME TURBO EXPO، نمایشگاه و همایش فنی در زمینه توربین گاز ASME در تاریخ ۲۰-۱۶ ژوئن ۲۰۱۴ در ASME CCD Congress Center Düsseldorf در کشور آلمان برگزار می شود.

مهم ترین های TURBO EXPO 2014 عبارتند از:

- همایشی پنج روزه که استانداردهای جهانی برای رویدادهای تکنولوژیک توربین گاز را تعیین می نماید.
- نمایشگاه جامع از محصولات توربین گاز و خدماتی که شرکت های پیشرو در زمینه صنعت توربوماشین ها ارائه می دهند.
- جلسه نشست پویا با حضور مدیران صنعتی پیشرو و برجسته در این صنعت.
- کارگاه های پرمحتوا که به طور عمیق به بررسی توسعه مشاغل می پردازد.



پنجمین کنفرانس تجهیزات دوار در صنایع نفت و نیرو

پنجمین کنفرانس تجهیزات دوار در صنایع نفت و نیرو در تاریخ ۱ و ۲ بهمن ماه سال جاری در مرکز همایش های بین المللی شهید بهشتی تهران برگزار گردید. شرکت توربین ماشین خاورمیانه با ارائه چهار مقاله در این کنفرانس حضور یافت.

5th Conference on Rotating Equipment in Oil & Power Industries

شبیه سازی فرآیند فورج داغ پره توربین آلیاژ 80A Nimonic

ارائه دهنده مقاله: مجید سیدصالحی

مجد سیدصالحی^۱،روزبه منصوری^۱،احمد گلی^۲

۱،۲و ۳ شرکت توربین ماشین خاور میانه

ایمیل مسئول مقاله: majid_seyedsalehi@mehr.sharif.ir

چکیده:

امروزه فورج داغ به یکی از متداول ترین روشهای تولید پره های توربین های گاز بدل شده است. در این روش، ماده اولیه با طی مراحل مختلف فورج در دمای کار داغ، تغییر شکل داده و پره توربین با خصوصیات مورد نظر تولید می شود. بمنظور دستیابی به قطعات تولیدی با خواص مکانیکی و ریز ساختاری مناسب با حداقل عیوب، انتخاب صحیح پارامترهای شکل دهی اهمیت بسیار زیادی دارد. برای نیل به این هدف، بررسی حرارتی – مکانیکی فرآیند فورج داغ با استفاده از روش المان محدود و تحلیل نتایج بدست آمده و پیش بینی احتمال وقوع پدیده های متالورژیکی و عیوب شکل دهی مدنظر قرار گرفته است. در این پژوهش، فرآیند فورج داغ پره توربین گاز از آلیاژ Nimonic 80A با استفاده از روش المان محدود بررسی شده و نحوه سیلان ماده، توزیع دما، سرعت کرنش، کرنش و تنش در حین فرآیند بدست آمده است. همچنین از این نتایج با توجه به نقشه های فرآیندی آلیاژ مذکور، وقوع پدیده تبلور مجدد دینامیکی و همچنین سیلان پایدار در حین فورج بررسی شده اند.

۱دکتری، مهندسی مواد

۲کارشناسی ارشد، مهندسی مواد

۳کارشناسی، مهندسی مکانیک

۱کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک

۲کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک

۳کارشناس، مهندسی مکانیک

روش سریع بررسی پتانسیل ارتقاء کمپرسور ویش بینی اثر آن در بهبود عملکرد توربین گاز

ارائه دهنده مقاله: محمد رضا امینی مقام^۱

محمد رضا امینی مقام^۱، محمدعلی معتمد^۲، ارشیا تافته^۳، کاوه قربانیان^۴

۱و ۲ – دانشگاه صنعتی شریف

۳ – شرکت مدیریت پروژه های توربین ارکان ایرانیاين

۴ – شرکت توربین ماشین خاور میانه

ایمیل مسئول مقاله: M_Amini@alum.sharif.edu

چکیده

در این مقاله پتانسیل ارتقای عملکرد کمپرسور نسخه تک شفت توربین گاز سولار سنتر (Solar Centaur ۴۰) مورد مطالعه قرار گرفته است. در ابتدا سیکل عملکردی توربین گاز، در سطح صفر بعدی مدل سازی و با استفاده از اطلاعات کاری از توربین گاز اعتبار سنجی شد. از این مدل جهت بررسی اثرات ارتقای کمپرسور بر روی عملکرد کلی توربین گاز استفاده شده است. در مرحله بعدی با استفاده از ابزار تحلیل توسعه یافته، به روش شبه یک بعدی جایگذاری طبقات بهبود یافته (Stage Stacking)، و تجربیات سازندگان در ارتقای کمپرسور محوری، روشی برای بررسی تعیین پتانسیل ارتقای عملکرد کمپرسور با استفاده از قابلیت های روش شبه یک بعدی تدوین شده و بر پایه آن سناریوهای مختلف ارتقای طبقات مختلف و تاثیر آن بر روی عملکرد کل کمپرسور مطالعه گردید. این سناریوها از دیدگاه عملکردی و عملیاتی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته و بهترین سناریو ها انتخاب شده اند. نتایج حاصله نشان می دهند که تغییر طراحی هندسی و افزایش بارگذاری در برخی از طبقات این کمپرسور منجر به بهبود عملکرد توربین گاز می شود. در حالیکه اعمال تغییرات در برخی دیگر از طبقات بدون اصلاح طراحی توربین محوری ممکن است با نتیجه معکوس همراه شود.

بررسی اثر زاویه ی قرار گیری استرات ها بر عملکرد دیفیوزر خروجی توربین گاز

ارائه دهنده مقاله: مینا وحیدی

مینا وحیدی^۱، محیط بیگلریان^۱، امیر آگهی^۲

۱و ۲ – شرکت توربین ماشین خاورمیانه.

ایمیل مسئول مقاله: (mina.vahdi@gmail.com)

چکیده

در این مقاله اثر زاویه قرار گیری استرات (strut) بر راندمان و بازایی فشار دیفیوزر خروجی توربین بررسی شده است. در اکثر توربین ها سازه های نگه دارنده ای در بین پوسته بالایی و پایینی دیفیوزر وجود دارد، که به آنها استرات گفته می شود. در این پژوهش سه مدل دیفیوزر با زاوای متفاوت استرات مدل سازی شده است. برای تحلیل جریان از مدل آشفتنگی k-E استفاده شده و نتایج آن به صورت منحنی های پارامترهای جریان برای مدل های مورد استفاده نشان داده شده است. پارامترهایی مانند ضریب بازبایی فشار و ضریب افت انرژی کل که نشان دهنده عملکرد دیفیوزر می باشند تفاوت چندانی در سه مدل ارزیابی شده ندارند به طوریکه بیش ترین تفاوت ضریب افت فشار در این سه مدل ۶% می باشد. تنها تفاوتی که در مقایسه این سه مدل مشاهده گردید، پروفیل های سرعت متفاوت در محدوده بعد از قرار گیری استرات می باشد.

۱کارشناسی ارشد هوافضا

۲کارشناسی ارشد مکانیک

۳کارشناسی ارشد مکانیک

پیش بینی محل سایدگی در کمپرسور گریز از مرکز به کمک دینامیک سیالات محاسباتی و مقایسه با نمونه واقعی

ارائه دهنده مقاله: محیط بیگلریان^۱

محیط بیگلریان^۱، امیر آگهی^۲، رضا فتاحی^۳

شرکت توربین ماشین خاورمیانه.

ایمیل مسئول مقاله: M_biglarian@alum.sharif.edu

چکیده

یکی از عوامل کاهش بازده در کمپرسورهای گریز از مرکز، فرسایش سایشی می باشد. حضور ذرات جامد معلق در سیال، سبب تغییر شکل قسمت های مختلف کمپرسور از جمله پره های پروانه می گردد؛ در نتیجه از حالت طراحی خارج شده و افت انرژی را به همراه دارد. سایدگی علاوه بر اتلاف انرژی، با تخریب شکل پره عمر قطعه را نیز کاهش می دهد. به همین دلیل تعیین محل های خوردگی و انتخاب ماده مناسب نقش مهمی در کارکرد بهینه دستگاه دارد. در این تحقیق، محل های خوردگی پروانه کمپرسور به کمک دینامیک سیالات محاسباتی بدست آمده و با نمونه واقعی آن مقایسه گردیده است. در شبیه سازی سیال از دیدگاه اولبری و در دیبایی ذرات از دیدگاه لاگرانژی استفاده شده است. به دلیل پایین بودن غلظت حجمی ذرات جامد در سیال از همبستگی یک طرفه استفاده گردیده است، در نتیجه اثر جامد بر سیال قابل صرف نظر کردن می باشد. برای تعیین محل های سایدگی از مدل فینیتی که یک مدل قابل اعتماد می باشد، استفاده شده است. نتایج بدست آمده از CFD نشان می دهد که در قسمت ورودی پروانه، لبه حمله و ریشه پره ها مقدار سایدگی زیاد بوده و این نتایج به طور قابل ملاحظه ای با نمونه واقعی مطابقت دارد.

پنجمین کنفرانس تجهیزات دوار

در صنایع نفت و نیرو

5th Conference on Rotating Equipment
In Oil & Power Industries

مرکز همایش های بین المللی شهید بهشتی
Beheshti Intl. Conference Center

۱-۲ بهمن ۱۳۹۲
Jan. 21-22, 2014

محورهای کنفرانس

مغایرت تجهیزات دوار

- مدیریت راهبردی و بازارچه تجهیزات دوار
- انتخاب تجهیزات دوار
- اقتصاد بهیمنی تجهیزات دوار
- مدیریت مصرف و بهیمنی انرژی
- مدیریت تامین انرژی تجهیزات دوار
- آموزش و راهبری نیروی انسانی
- مدیریت ریسک در تجهیزات دوار
- پدیده سازی استاندارد و نقش پدیده های مرجع
- ظرفیت ها و فرصت های بیرون سبازی

طراحی و ساخت

- طراحی و تحلیل عددی تجهیزات دوار نوآورانه
- آسیب شناسی و سیمه و ...
- طراحی و تحلیل عددی تجهیزات دوار نوآورانه
- فرسایش و تحلیل الکتریکی و مکانیکی زائاد و ...
- نوآوری تکنیک
- استاندارد ها و روش ها و فناوری های ساخت تجهیزات
- و فضا
- جریان های گرازا و اثرات مخفف آستان، مرجع،
- اثر مخفف زائاد و آستان، گرازا و سیمه و ...
- کنترل جریان های و غیر قابل
- بازسازی و پدیده سازی تجهیزات دوار

نصب، راه اندازی و بهره برداری

- چالش ها و راهکارهای نصب و تنظیم
- سازوکار و زیر ساخت های نصب
- تجهیزات اندازه گیری و تنظیم نصب
- پدیده های راه اندازی راه اندازی و سیمه
- بهره برداری پدیده تجهیزات دوار
- ارزیابی عملکرد تجهیزات دوار

قابلیت اطمینان

- پدیده های و مدل سازی قابلیت اطمینان
- روش های کمی، کیفی و پدیده سازی قابلیت اطمینان
- تست های قابلیت اطمینان

نگهداری و تعمیرات

- مدیریت راهبردی و ارزیابی نگهداری و تعمیرات
- تشخیص اشکال سازی و پدیده های عیوب
- نگهداری و تعمیرات نوآوری
- فنون پیشرفته و پیش قدم
- راهبردها و راهکارهای جامع پایش وضعیت
- ابزار و تجهیزات پایش نوآوری، پایش صوت،
- جریان
- تکنیک و تشخیص عیوب
- نگهداری و تعمیرات بر مبنای قابلیت اطمینان BECM
- CMMS

آموزشی و تست

- روش ها، بررسی های تجهیزات و تست در
- ماکت
- نگهداری، تعمیرات و پدیده های
- تحلیل عددی و روش های راه اندازی
- روش های بررسی، غیر مخرب (NDE)

کنترل، ابزار دقیق و اتوماسیون

- طراحی کنترل داخلی، غیر خطی، پدیده واقعی،
- ماکت، سیمه سازی، شبکه های و ...
- سیمه سازی، سیمه سازی، شبکه های
- سیمه سازی

www.iranrotate.com

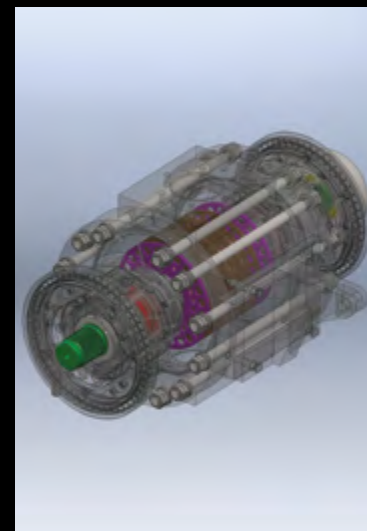
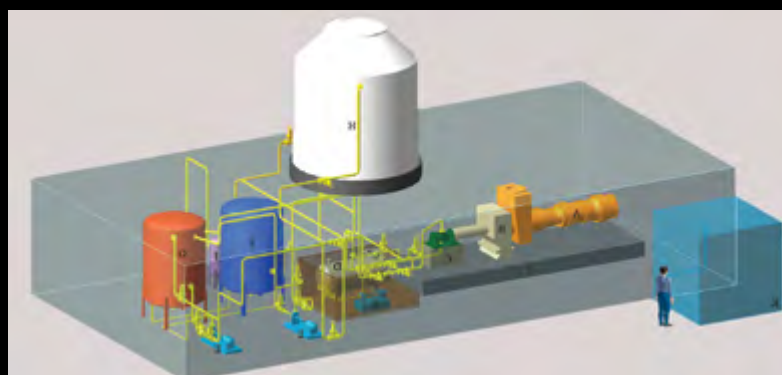
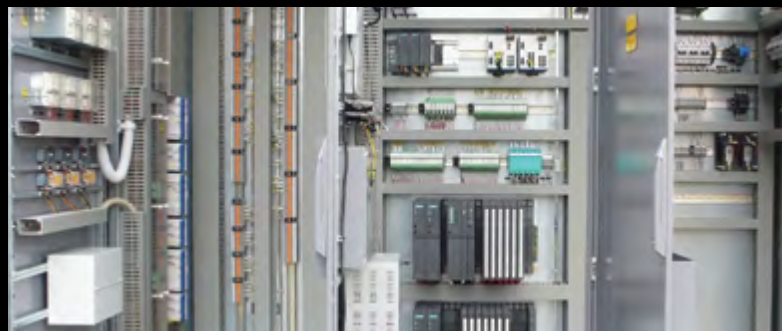
تهران، خیابان شهید بهشتی، بعد از قائم مقام، ساختمان ۴۲۲، طبقه ۴، واحد ۱۵، تلفن: ۸۸۵۵۲۲۲۲-۴
پست الکترونیک: Email:info@iranrotate.com، ۸۸۲۶۹۹۶-۴

۱کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، پیشراش

۲کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، پیشراش

۳کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، پیشراش

۴دکترای پیشراش و احتراق



شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان

این شرکت با عنایت به تلفیق دانش آکادمیک و تجارب ارزشمند اعضای هیات علمی و تجربه‌های صنعتی موفق در زمینه مهندسی، ساخت قطعات و مجموعه‌ها و مونتاژ ماشین‌های دوار چون توربین‌های گاز و بخار، پمپ، کمپرسور، ارتقاء سیستم‌های کنترل و همچنین طراحی سیستم‌های بازیافت حرارت در قالب سامانه‌های تولید همزمان برق و حرارت در ایران به فعالیت پرداخته و تلاش در مرتفع ساختن بخشی از نیازهای کشور در ارتباط با این صنعت با تکنولوژی بالا را دارد.

این شرکت خدمات زیر را به طور خاص در دست اجرا دارد.

- طراحی سامانه تولید همزمان برق و حرارت با استفاده از توربین گاز کلاس ۴ مگاوات
- طراحی سامانه بازیافت حرارت از توربین‌های گازی صنعتی کلاس زیر ۱۰ مگاوات
- طراحی و نمونه سازی توربین گاز زیر ۵۰۰ کیلووات
- طراحی و پیاده سازی سیستم‌های کنترلی توربین‌های صنعتی
- طراحی و ساخت جایگاه‌های تست مختلف مورد نیاز در صنعت
- طراحی و ساخت ترمز هیدرولیکی در ظرفیت‌های مختلف
- مشاوره و طراحی در ارتقاء کمپرسورهای سانتریفیوژ
- مشاوره و طراحی در ارتقاء توربین‌های گاز و بخار

☐ دفتر مرکزی

تهران، سعادت آباد، بلوار دریا، خیابان رامشه، کوچه توحید ۵، پلاک ۱۱

کد پستی: ۸۳۷۴۱-۱۴۶۶۹

صندوق پستی: ۱۱۵۴-۱۴۶۶۵

تلفکس: ۸۸۳۶۴۱۳

☐ دفتر مرکز رشد فناوری‌های پیشرفته دانشگاه صنعتی شریف

خیابان آزادی، خیابان شهید حبیب الله، خیابان شهید قاسمی، کوچه گلستان، بن بست گل، پلاک ۴، واحد ۳

کد پستی: ۷۳۷۶۵-۱۴۵۹۹ تلفکس: ۶۶۰۶۶۱۴۴

مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان
Member of Turbine Machine m.e. Co.

مخاطبان شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان رامی‌توان در گروه‌های نفت، گاز، انرژی، فرایندی، پیش‌سرا، صنایع، مجتمع‌های مسکونی و اداری- تجاری دسته‌بندی کرد. در این راستا تمرکز بر روی توربین‌های گازی ۱ تا ۱۰ مگاوات بوده است

TURBINE MACHINE



برای اشتراک فصلنامه توربین ماشین با ما تماس بگیرید

۵-۸۸۵۶۲۲۹۴

info@turbinemachinemagazine.com

www.turbinearkan.com

T U R B I N E M A C H I N E

معرفی شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه

در تحویل سفارشات مشتریان با کیفیت برتر و حفظ صرفه و صلاح اقتصادی پروژه‌هاست.

دیدگاه

معرفی توان فنی و اجرایی شرکت و کسب منزلت همراهی صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در ایران و منطقه.

ارزش‌ها

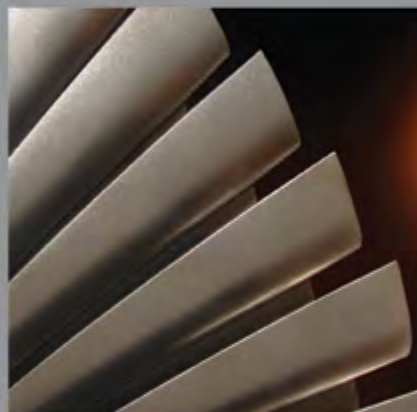
همگامی با صنایع ملی برای توسعه ملی.

ماموریت

ماموریت ما تلاش مجدانه جهت فراهم آوردن سرویس‌های بی‌عیب و نقص به مشتریان و ارائه محصولات با کیفیت بالا و به موقع در محیطی پویا، شاداب و بهره‌ور است.

برخی از فعالیت‌های اصلی شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه

ساخت انواع دیسک‌های سرد و گرم.....
تولید شفت و محور مرکزی روتور توربین‌های گازی و بخار.....
ساخت انواع پره‌های ناحیه سرد و گرم به روش فورج ریخته‌گری دقیق و ماشین‌کاری.....
ساخت محفظه احتراق.....
ساخت مجموعه کامل استاتور توربین.....
ریخته‌گری دقیق و ماشین‌کاری پوسته‌های توربینی.....
تولید مجموعه کامل سیستم کنترل هوای ورودی.....
تولید قطعات جانبی استاتور توربین.....
ساخت مجموعه قطعات سیستم سوخت رسانی.....
تولید انواع عایق‌های حرارتی.....
ساخت انواع ترموکوپل.....
تولید گیربکس انتقال قدرت.....
ساخت انواع یاتاقان‌ها و قطعات مصرفی آن.....
تولید قطعات غیر فلزی.....
مجموعه قطعات و روتور کامل توربین‌های بخار.....



TURBINE

MACHINE

2

SCIENCE, TECHNOLOGY & MANAGEMENT

