جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

بخش اول

دینامیک سیالات در توربو ماشین ها

مقدمه:

در طراحی کنونی توربو ماشینها، و بخصوص برای کاربردهای مربوط به موتورهای هواپیما، تاکید اساسی بر روی بهبود راندمان موتور صورت گرفته است. شاید بارزترین مثال برای این مورد، «برنامه تکنولوژی موتورهای توربینی پر بازده مجتمع» (IHPTET) باشد که توسط NASA و DOD حمایت مالی شده است.

هدف IHPTET، رسیدن به افزایش بازده دو برابر برای موتورهای توربینی پیشرفته نظامی، در آغاز قرن بیست و یکم می باشد. بر حسب کاربرد، این افزایش بازده از راههای مختلفی شامل افزایش نیروی محوری به وزن، افزایش توان به وزن و کاهش معرف ویژه سوخت (SFC) بدست خواهد آمد.

وقتی که اهداف IHPTET نهایت پیشرفت در کارآیی را ارائه می دهد، طبیعت بسیار رقابتی فضای کاری کنونی، افزایش بازده را برای تام محصولات توربو ماشینی جدید طلب می کند. به خصوص با قیمتهای سوخت که بخش بزرگی از

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

هزینه های مستقیم بهره برداری خطوط هوایی را به خود اختصاص داده است، SFC، یک فاکتور کارایی مهم برای موتورهای هواپیمایی تجاری می باشد.

اهداف مربوط به کارایی کلی موتور، مستقیما به ملزومات مربوط به بازده آیرودینامیکی مخصوص اجزاء منفرد توربو ماشین تعمیم می یابد. در راستای رسیدن به اهداف مورد نیازی که توسط IHPTET و بازار رقابتی به طور کلی آنها را تنظیم کرده اند، اجزای توربو ماشینها باید به گونه ای طراحی شوند که پاسخگوی نیازهای مربوط به افزایش بازده، افزایش کار به ازای هر طبقه، افزایش نسبت فشار به ازای هر طبقه، و افزایش دمای کاری باشند.

بهبودهای چشمگیری که در کارایی حاصل خواهد شد، نتیجه ای از بکار بردن اجزایی است که دارای خواص آیرودینامیکی پیشرفته ای هستند. این اجزا دارای پیچیدگی بسیار بیشتری نسبت به انواع قبلی خود هستند که شامل درجه بالاتر سه بعدی بودن، هم در قطعه و هم در شکل مسیر جریان می باشد.

میدان های جریان مربوط به این اجزا نیز به همان اندازه پیچیده و سه بعدی خواهد بود. از آنجایی که درک رفتار پیچیده این جریان، برای طراحی موفق چنین قطعاتی حیاتی است، وجود ابزارهای تحلیلگر کارآتری که از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) بهره می برند، در پروسه طراحی، اساسی می باشد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

در گذشته، طراحی قطعات توربو ماشین ها با استفاده از ابزارهای ساده ای که بر اساس مدلهای جریان غیر لزج دو بعدی بودند کفایت می کرد. اگرچه با روند کنونی به سمت طراحی ها و میدانهای جریان پیچیده تر، ابزارهای پیشین دیگر برای تلحیل و طراحی قطعات با تکنولوژی پیشرفته مناسب نیستند. در حقیقت جریانهایی که با این قطعات برخورد می کنند، به شدت سه بعدی (3D)، ویسکوز، مغشوش و اغلب با سرعت، در حد سرعت صوت می باشند. این جریان های پیچیده، قابل فهم و پیش بینی نیستند، مگر با بکار بردن تکنیک های مدلسازی که به همان اندازه پیچیده هستند. برای پاسخگویی به نیزا طراحی چنین قطعاتی، ابزارهای CFD پیشرفته ای لازم است که قابلیت تحلیل جریانهای سه بعدی، لزج و در محدوده صوتی، مدل سازی اغتشاش و انتقال حرارت و برخورد با پیکربندی های هندسی پیچیده را داشته باشد. علاوه بر این، جریانهای گذرا (ناپایا) و تعامل ردیفهای چندگانه تیغه ها باید مورد ملاحظه قرار گیرد.

هدف این فصل این است که بازنگری مختصری از مشخصات جریان در انواع مختلف قطعات توربوماشینها ارائه داده و نیز خلاصه ای از قابلیتهای تحلیلی CFD که مورد نیاز برای مدل کردن چنین جریانهایی هستند را بیان کند.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

این باید به خواننده، درک بهتری در مورد تاثیر جریان بر طراحی چنین اجزایی و میزان کارایی مدل سازی مورد نیاز برای آنالیز اجزاء بدهد. تمرکز بر روی کاربردهای موتورهای هواپیما خواهد بود، ولی دهانه های ورودیف نازلها و محفظه های احتراق مورد توجه خواهند بود. به علاوه یک بررسی از هر دو گرایش طراحی قطعات و ابزارهای تحلیل CFD را شامل می شود. به علت پیچیدگی این موضوعات، تنها یک بحث گذرا ارائه خواهد شد. اگرچه مراجع فراهم شده اند تا به خواننده اجازه دهد این مباحث را با جزئیات بیشتر جستجو کند.

ویژگیهای میدان های جریان در توربو ماشین ها:

در این قسمت از فصل، خصوصیات اولیه میدانهای جریان توربو مشاینها بررسی خواهد شد. اگرچه بحث اساسا کاربرد موتورهای هواپیما را مورد توجه قرار خواهد داد، ولی بسیاری از خصوصیات جریان برای توربو ماشینها عمومیت دارند علاوه بر بازنگری مختصر بر ویژگیهای میدانهای جریان عمومی، طبیعت جریانهای خاص در انواع گوناگون اجزاء مورد توجه قرار خواهد گرفت.

ویژگیهای اساسی جریان:

میدان های جریان در توربو ماشین های ذاتا بسیار پیچیده و سه بعدی است. در بسیاری از موارد، جریان ها تراکم پذیرند و ممکن است از مادون صوت به

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

جریان با سرعت صوت و به فراصوتی تغییر کنند. در مسیر جریان ممکن است شوک وجود داشته باشد و تعامل شوک و لایه مرزی ممکن است اتفاق بیفتد که باعث افت بازده می شود. گرادیان فشارهای قابل توجه، در هر جهتی می تواند وجود داشته باشد.

همچنین چرخش یک فاکتور مهم است که رفتار جریان را تحت تاثیر قرار می دهد. جریانها اکثرا لزج و مغشوش هستند، اگرچه ناحیه هایی با جریان لایه ای و انتقالی نیز وجود دارد. اغتشاش و تلاطم در میدان جریان می تواند در لایه مرزی و جریان آزاد اتفاق بیفتد، جایی که میزان اغتشاش، بسته به شرایط جریان بالادست، تغییر می کند. برای مثال جریان پایین دست یک محفظه احتراق یا کمپرسور چند طبقه می تواند اغتشاش جریان آزاد بسیار بیشتری نسبت به جریان ورودی به یک فن داشته باشد.

تنش های پیچیده و کاهش کارآیی می تواند ناشی از پدیده های جریان لزج، مثل لایه های مرزی سه بعدی، اثر متقابل بین لایه مرزی تیغه و دیواره، حرکت جریان نزدیک دیوار، جریان جدا شده، گردابه های مربوط به لقی نوک پره، گردابه های لبه فرار، دنباله ها، و اختلاط باشد. علاوه بر این، حرکت نسبی دیواره و انتقال بین دیواره های دوار و ثابت می تواند رفتار لایه مرزی را تحت تاثیر قرار دهد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

جریان ناپایدار می تواند در اثر تغییرات شرایط بالادست جریان با زمان، گردابه های رها شده از لبه فرار تیغه ها، جدایی جریان و یا اثر متقابل بین ردیف پره های دوار و ثابت، ایجاد شود، که می تواند منجر به بارگذاری ناپایدار بر روی تیغه ها شود.

اثرات حرارت و انتقال حرارت می تواند فاکتور مهمی باشد، بخصوص در قسمتهای داغ موتور. گازهای داغ محفظه احتراق از میان توربین عبور می کنند و رگه های داغی را بوجود می آورند که توسط میدان جریان توربین منتقل می شوند. برای حفاظت از اجزائی که در معرض بالاترین دما قرار دارند، جریانهای خنک کننده از میان سوراخهای موجود در تیغه های توربین به مسیر گازهای داغ اولیه تزریق می شود و برای سطوح تیغه ها خنک کنندگی لایه ای را فراهم می آورد. به طور مشابه، جریانهای خنک کننده ممکن است به جریان اصلی در طول دیواره نیز تزریق شود.

بیشتر پیچیدگی میدانهای جریان سیال در توربو ماشین ها مستقیما تحت تاثیر مسیر جریان و هندسه اجزاء می باشد. ملاحظات هندسی شامل منحنی و شکل endwall مسیر جریان، فاصله بین ردیف های تیغه ها، گام تیغه، stagger می شود. موارد دیگری از هندسه مسیر جریان شامل پیکربندی ردیفهای تیغه ها، از

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

قبیل استفاده از «tandem blades»، تیغه های جداکننده، دمپرهای midspan وعملیات روی نوک تیغه ها می باشد. جزئیات بیشماری مربوط به شکل تیغه، مثل توزیع ضخامت، خمیدگی، جهت، قوس، به عقب برگشتگی، حلزونی، پیچ خوردگی، ضریب شکل، صلبیت، نسبت شعاع توپی به نوک، شعاع لبه حمله تیغه و لبه فرار تیغه، اندازه فیلت و فاصله نوک تیغه نیز از همان اهمیت برخوردارند. خنک کاری تیغه ها نیز دارای اهمیت هستند، اندازه و موقعیت سوراخهای خنک کننده درون تیغه، مسیر اولیه گاز را تحت تاثیر قرار می دهد.

بنابراین، رفتار جریان در اجزای توربو ماشینها نیز کاملا پیچیده بوده و بسیار متاثر از هندسه های مسیر جریان است. یک فهم عمیق از اثرات هندسه مسیر جریان و اجزا و قطعات، به طراح اجازه خواهد داد تا از جریانی که حاصل شده، سود ببرد. برای رسیدن به این درک و برای انجام تحلیلهای لازم برای بهینه کردن رفتار بسیار پیچیده جریان لازم است از تکنولوژی پیشرفته مدلسازی جریان استفاده شود.

جریان در دستگاههای تراکمی:

سیستم های تراکمی توربو ماشینی در موتورهای هواپیما، می توانند از ترکیب های گوناگونی از اجزای محوری و یا شعاعی (سانتریفوژ) بهره ببرند. در

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

موتورهای توربو فن معمولی، یک فن محوری در ورودی جریان قرار گرفته و بدنبال آن یک جداکننده جریان قرار دارد که جریانهای مرکزی و کنارگذر (بای پس) را از هم جدا می کند.

یک کمپرسور محوری چند طبقه در پایین دست جریان درون هسته (جریان مرکزی) قرار داده شده است و ممکن است به دنبال آن کمپرسور سانتریفوژ نیز قرار گیرد. اختصاصا در کاربردهای مربوط به موتور هواپیما و توربین گاز، اغلب از کمپرسورهای سانتریفوژ بهره برده می شود.

تمامی پیکربندی های سیستمهای تراکمی دارای جریانهای پیچیده و سه بعدی، با گرادیان فشار معکوس هستند که می توانند باعث جدایی جریان شوند. علاوه بر این چرخش، حرکت نسبی shroud، جریان های نشستی لبه ها، شوک ها، اثر متقابل شوک و لایه مرزی، اثر متقابل تیغه و endwall و نیز تاثیر متقابل ردیف ها تیغه ها همگی در ساختار میدان جریان کمپرسور نقش دارند. جزئیات مربوط به رفتار جریان بخصوص در مورد کمپرسورهای سانتریفوژ و محوری در بخش بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جریان در فن ها و کمپرسورهای محوری:

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

فن ها و کمپرسورهای محوری در بسیاری از موارد عمومی مشابه هم هستند، هر دو دستگاههای تراکمی هستند که مسیر جریان در آنها به نسبت دارای تغییر شعاع کمی است، و هر دو دارای جریانهای ورودی و خروجی هستند که اساسا در راستای محوری می باشند. اگرچه فن ها نوعا افزایش فشار کمتری به ازای هر طبقه نسبت به کمپرسورهای محوری دارند و تعداد طبقات کمتری داشته و اغلب تنها از یک طبقه بهره می برند. تیغه های فن ها دارای span بزرگتر و وتر بزرگتر نسبت به کمپرسورهای محوری هستند. به علت ملاحظات مکانیکی، روتور فن ها اغلب دارای دمپرهای midspan هستند که یک حلقه حمایتی صلب را تشکیل می دهد و همه تیغه ها را در موقعیت part span به هم متصل می کند. استاتورفن ها می توانند هم بدون شکاف و هم شکاف دار باشند بسته به شکل استاتور، یک جداکننده جریان یا می تواند بلافاصله در پاییندست استاتور Full-span قرار بگیرد و یا به عنوان یک ضامن نگهدارنده برای ردیف تیغه های استاتور شکاف دار در مسیرهای جریان مرکزی و کنار گذر به کار گرفته شود.

در مقابل، کمپرسورهای محوری، معمولا افزایش فشار بیشتری به ازای هر طبقه تولید می کنند و از چند طبقه بهره می برند. کمپرسورهای محوری دارای تیغه

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

های کوتاهتر با وتر کوچکتر نسبت به فن های محوری هستند. مسیر جریان پیوسته است و وسایل جداکننده ای در آن وجود ندارد.

بازده سیستمهای تراکمی جریان محوری می تواند تحت تاثیر پدیده های پیچیده جریان قرار گیرد. یک بحث جامع در مورد مشخصات جریان کمپرسورها در اینجا مقدور نخواهد بود. در عوض یک بازنگری مختصر در مورد بعضی از پدیده های رایج جریان که در فن ها و کمپرسورهای محوری بروز می کند، مورد توجه قرار خواهد گرفت تا یک فهم کلی از طبیعت پیچیده جریان فراهم آورد.

میدان جریان داخل مسیر تیغه ها برای فنها و کمپرسورهای محوری بطور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است.

«Deutsch» و «Zierke» [۲,۳]، جزئیات رفتار لایه های مرزی را روی سطوح مکشی و فشاری یک تیغه کمپرسور در حال کار را مورد آزمایش قرار دادند. آنها یک جریان لایه مرزی کاملا مخشوش را روی سطح مکش و در پایین دست یک حباب جدایی کوچک در لبه حمله شناسایی کردند.

در پایین دست تر، یک ناحیه جدایی دووم و در ادامه آن یک جریان کاملا جدا شده مشاهده شد. در سطح فشار، یک لایه مرزی لایه ای یافت شد که تا ۵۰٪ وتر ادامه داشته و به دنبال آن یک ناحیه انتقالی وجود دارد که تا لبه فرار ادامه می

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

یابد. به علت جریان جدا شده در سطح مکش، پروفیل سرعت در ناحیه نزدیک دنباله، همچنین ناحیه هایی با جریان معکوس را نشان داد.

اگرچه، مطالعه گسترش لایه مرزی در یک مجموعه آبشاری کمپرسور ایده آل سازی شده است.

«Pouagare et al [٤]» یک مطالعه جامع را در مورد رفتار لایه مرزی در هر دو سطح مکش و فشار روتور یک کمپرسور محوری انجام داد. آنها استنتاج کردند که مولفه سرعت در جریان درون لایه مرزی اساسا متاثر از گرادیان فشار در جهت جریان است. سرعت شعاعی درون لایه مرزی در بسیاری نقاط به سمت خارج بوده و بیشترین مقدار را در نزدیکی لبه فرار کسب می کند. جریان نشتی نوک به طور مشخصی لایه مرزی و رفتار شبه دنباله، در ناحیه خارجی span در تیغه و مسیر جریان پایین دست را تحت تاثیر قرار می دهد.

لایه مرزی دیواره ها نیز می تواند تاثیر قابل توجهی بر روی جریان موجود در گذرگاه تیغه های یک کمپرسور محوری داشته باشد. ضخامت لایه مرزی در دیواره ها در طبقات ورودی یک کمپرسور چند طبقه، می تواند به نسبت کم باشد، ولی ضخامت می تواند در طبقات پایین دست تر افزایش یافته و بخش قابل توجهی از جریان را در بر بگیرد. «Wagner et al [٥,٦]» اثر ضخامت لایه مرزی

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

دیواره ها را بر روی جریان ثانویه در روتور یک کمپرسور محوری ایزوله شده مورد مطالعه قرار داد. بر این اساس معلوم گردید که ضخامت لایه مرزی دیواره ها هم بر جدایی در midspan و هم بر حرکت شعاعی جریان با تلفات بالا، از مرکز به نوک اثر می گذارد. در نتیجه توزیع شعاعی تلفات، بسته به ضخامت لایه مرزی دیواره ها تغییر می کند.

برای روترو کمپرسورهای محوری، جریان لایه مرزی shroud بطور نزدیک با رفتار جریان نشتی در نوک پره ها در ارتباط است. اگرچه جریان نشتی از میان فصاله نسبتا باریکی در نوک وارد می شود، اما تاثیر این جریان در بخش قابل توجهی از span خارجی مسیر جریان روتور احساس می شود. بر اساس یک بررسی توسط «Lakshminarayana et al. [۷]»، تلفات ناشی از نشتی از نوک در ناحیه shroud-endwall حکمفرما است در حالی که تلفات ناشی از جریان ثانویه و لایه مرزی shroud دارای اهمیت کمتری هستند.

Lakshminarayana و Murthy [۸,۹]، یک آزمایش موشکافانه در مورد جریان در ناحیه نوک روتور یک کمپرسور محوری را انجام دادند. آنها متوجه شدند که لایه مرزی shroud-endwall از بالادست تا پایین دست روتور، خوب رفتار می کند، اگرچه در گذرگاه تیغه، تاثیر متقابل بین جریان نشتی نوک پره و لایه مرزی

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

shroud کاملا پیچیده است. فراتر از تقریبا ۲۵٪ از وتر، اثرات لایه مرزی shroud، با تاثیر گردابه های ناشی از فاصله بین تیغه و بدنه، حاکم می شود که یک ناحیه پیچیده اختلاط در ۱۰٪ بیرونی span تیغه شکل می گیرد. این ناحیه اختلاط توسط نشتی در کل طول وتر تیغه تقویت می شود که باعث کاهش بار روی span بیرونی روتور می شود.

«Ompie et al [۱۰]»، اثرات میزان فاصله نوک تیغه را روی گسترش جریان shroud-end wall و رفتار گردابه نشتی بررسی کرد. معلوم شد که افزایش میزان فاصله نوک پره رابطه عکس با کارایی طبقه دارد و بازده را کاهش می دهد. با افزایش این فاصله، گردابه نشتی شدیدتر شد و حرکت های گردابی بزرگ باعث ایجاد جریان معکوس در راستای محوری و در نزدیکی shroud گردید.

ساختار جریان مهم دیگر و منبع تلفات، در کمپرسورهای محوری صوتی و فراصوتی، سیستم شوک و اثر متقابل شوک – لایه مرزی حاصل از آن می باشد. Strazisar و Powell [۱۱]، نقشه ای از سطوح شوک در یک روتور کمپرسور محوری با عدد ماخ فراصوتی ورودی تهیه کردند. آنها مشاهده کردند که پایین دست شوک ناشی از لبه حمله در عرض span، فراصوتی است، اگرچه در ناحیه

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

داخلی span جریان داخل گذرگاه به شرایط فروصوتی و بدون گذر از شوک دیگری، پخش می شود.

در نزدیک نوک (با عدد ماخ ورودی نسبی بالاتر آن) یک شوک نرمال در نزدیکی لبه فرار وجود دارد. چون روتور یک لبه حمله جاروب شده دارد، سطح شوک نیز مایل است، در نتیجه یک مولفه شعاعی سرعت مضاعف در پشت شوک ایجاد می شود که به علت چرخش جریان از روی شوک می باشد.

Dunker et al [۱۲.۱۳] نیز ساختار شوک را درون روتور یک فن محوری صوتی آزمایش کرد. در یک سیستم موج ضربه ای معمولی، آنها مشاهده کردند که یک شوک قوس دار جدا شده، توسط یک حباب فروصوتی اطراف لبه حمله روتور، دنبال می شود. در سطح مکش تیغه، جریان پیش از مواجهه با شاخه شوک نرمال از شوک قوس دار، هنگام عبور از گذرگاه، مجددا به شرایط فراصوتی شتاب گرفت. در پایین دست شوک گذرگاه، جریان با سرعت مادون صوت خارج گردید. درون گذرگاه تیغه، شوک نرمال با لایه مرزی سطح مکش تعامل کرده و یک شوک λ بعد از سطح تیغه ایجاد کردند. قسمت مایل از شوک قوس دار با تعامل با موجهای انبساطی حالم از شتاب فراصوتی حول لبه حمله، بالادست جریان را گسترش داد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

وقتی که عدد ماخ ورودی افزایش یافت، شوک قوس دار به لبه حمله متصل شد و یک شاخه مایل را، بجای نرمال، درون گذرگاه تیغه، گسترش داد. اثر متقابل لایه مرزی با این شوک گذرگاهی، یک حباب جدایی را روی سطح مکش رها کرد. بسته که فشار پشت، یک شوک نرمال گذرگاهی دیگر در نزدیکی لبه فرار وجود داشت.

ساختار دنباله تیغه نیز موضوع مهم دیگری در جریان کمپرسور محوری می باشد، گردابه ها بطور دوره ای می توانند از لبه فرار تیغه رها شوند و با پیش روی جریان به سمت پایین دست، اختلاط بیشتر می شود. Paterson و Weingold [۱٤]، رفتار میدان جریان در لبه فرار ایرفویل یک کمپرسور را با استفاده از مدل صفحه تخت همراه با لبه فرار گرد ضخیم، شبیه سازی کردند. این پیکربندی جدایی لایه مرزی لبه فرار را تولید کرد و باعث گردش جریان و ناپایداری گشت. اندازه ناحیه جریان معکوس در راستای محوری، در پایین دست لبه فرار، حدود ۰.۸ ضخامت صفحه تعیین شد. رها شدن گردابه از لبه فرار، به شدت اختلاط دنباله را بهبود بخشید و همچنین باعث ناپایداری در فشار سطحی لبه فرار و فشار استاتیک دنباله گشت. ناحیه تعاملی لبه فرار از حدود ضخامت

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

صفحه ۱۰، در بالادست آن تاضخامت ۳ در پایین دست، امتداد یافت. در پایین دست تر، اختلاف سرعت در جریان دنباله یک خصوصیت بارز بود.

Parto و Lakshminarayana [۱۵] ساختار یک جریان دنباله ای در روتور کمپرسور محوری در لبه فرار را در ناحیه های نزدیک دنباله و دور از دنباله مورد مطالعه قرار دادند. پروفیل سرعتهای نامتقارن در لبه فرار و در ناحیه نزدیک دنباله مشاهده شدند، اگرچه پروفیل ها دورتر از دنباله، به علت اختلاط، تمایل به متقارن شدن داشتند. گرادیان فشارهای استاتیک – بزرگ در عرض دنباله در ناحیه های لبه فرار و نزدیک دنباله وجود داشت و ماکزیمم فشار استاتیک در خط مرکزی دنباله قرار داشت.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

بخش دوم

آزمونهای کارایی توربو ماشین

آزمونهای کارایی آئرودینامیکی:

اهداف فصل

به طور رایج توسعه سیستم پیش بری توربین گازی از عملی ساختن طرح تا آنالیز آزمونهای بازده تک تک اجزاء و مراحل، پیش از مونتاژ و راه اندازی کامل موتور، اجرا می شود. اهداف این فصل معرفی متدها، تکنیکها و روشهای پیشنهاد شده برای آزمون بازده آئرودینامیکی اجزای توربو ماشینهاست. آزمون اجزای توربو ماشین ریسکهای توسعه و طراحی را در زمان تایید آنالیزهای مهندسی و تخمینهای بازده کاهش می دهد.

به طور سنتی همه اجزای ورودیها، فنها، کمپرسورها، محفظه های احتراق، توربینها و نازل های اگزوز، تک به تک و به عنوان بخشی از پروسه توسعه توربین گازی تست می شوند.

حتی بعد از مونتاژ و تست توربین اغلب آزمونهای اجزا استفاده می شود تا بهبود بازده و آزمونهای تشخیصی حمایت شوند. مطالب این فصل بر آزمونهای بازده آئرودینامیکی طبقات توربین، کمپرسور و فن تمرکز می کند. اجزای مورد

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

توجه، می تواند یک مجموعه روتور و استاتور منفرد و یا ترکیبی از چندین ردیف پره و تیغه روتور – استاتور که بطور مثال در یک کمپرسور محوری چند طبقه با هم کار می کنند، باشد.

مفاهیم اساسی تست مورد استفاده برای تعیین خصوصیات کارایی یک طبقه توربو ماشین ارائه شده است. این مفاهیم بیان شده اصولا برای طبقات فن، کمپرسور و توربین قابل اعمال می باشند. افراد تازه وارد به حوزه تست توربو ماشین، برای گسترش دانسته ها برای هدایت یک تست موفق، این فصل را مفید خواهند یافت.

طرح کلی بخش:

مبحث این بخش نه در مورد نشان دادن تمام تستهای ممکن و تکنیکهای اندازه گیری که در صنعت و تحقیقات آزمایشگاهی استفاده می شود و نه پیشنهاد روش آزمایشی خاصی می باشد بلکه تاثیر موادی را نشان می دهد که نویسنده من درک می کند که اینها برای تعریف طراحی، تولید و فعالیتهای آزمایش توربو ماشین های مهم می باشد. بخش اول تست کارایی اجزای توربو ماشین را بیان می کند و برخورد خصوصیات عملکردی سیستمهای متفاوت را در کارایی ماشین نشان می دهد. بخش دوم روشهای تست کردن را نشان می دهد. بخش

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

سوم سخت افزار تست و بخش چهارم موارد قابل توجه در طراحی ابزار و وسایل را نشان می دهد مراحل تست و اطلاعات بدست آمده در دو بخش آخر نشان داده شده است. مراحل تست مکانیکی توربو ماشین ها و تجهیزات آنها در این بخشها پوشش داده نشده اند. اگرچه این از اهمیت تست مکانیکی برای تعیین ارتعاشات، تنش، و عمر خستگی در توسعه تجهیزات توربین نمی کاهد.

تست عملکرد اجزا:

اعتبار و ارتباط تست عملکرد اجزای توربو ماشین ها بر اساس شرایط محیطی موتور بطور دقیق، تست تجهیزات نشان داده می شود با یک فرضیه دقیق عملکرد اجزا با تست تجهیزات اندازه گیری می شود و کارایی همان اجزا در موتور توربین گاز ارزیابی می گردد. تجزیه های دوره ای توربین گاز نقشه های اجرایی را در توصیف خصوصیات اجرایی ترمودینامیک با وضعیت ثابت را بکار می گیرد. هدف اصلی تست اجزای منفرد تعیین نقشه های عملکردی اجزا می باشد یک تست تجهیزاتی خوب باید اندازه و حسابهای دقیقی را برای تعیین خصوصیات اجرایی بکار بگیرد. نقشه های کارایی دقیق تر، عملکرد دوره ای توربین گاز را در همه جا بصورت دقیق تر پیش بینی می کند بدین منظور

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

ابزارآلات اغلب شامل تست تجهیزات برای ارزیابی خصوصیات خط سیر، ردیف های تیغه منفرد و زمینه های جاسازی ابزارآلات مورد توجه می باشد.

برای عملکرد وضعیت ثابت در موتورها، نقشه های اجزا سازنده چندین ویژگی اجزایی را بیان می کند. انواع نقشه های توربین و کمپرسور در شکل یک و دو نشان داده شده اند. نقشه های کارایی بوسیله درجات فشار نهایی همانند یک عملکرد صحیح در سرعتهای مختلف تعیین شده اند. همانطور که دیدید هر خط سیری یک مکان هندسی شاخص از اطلاعات اجزایی دارد و همچنین شامل نقشه های اجرایی ثابتی می باشند که در شکل یک نشان داده شده اند. برای تعریف پارامترهای جریان درست به بخش آخر مراجعه نمایید.

نقشه های فن و کمپرسور یک خط سیر به تاخیر افتاده ای را شامل می شود. خط متوقف شده مکانی هندسی شرایط عملکردی ناپایداری را در مقابل عملکرد ثابت این خط تعیین میکند. زمینه های بکارگیری شده که شامل پر کردن مسیر جریان عبور تیغه می باشد توسط خط سیر سریع عمودی تشخیص داده می شود. با توجه به نمونه های نقشه عملیاتی، وابستگی ضعیفی را از عملکرد توربین بروی سرعت چرخها در مقایسه با وابستگی شدیدی که توسط کمپرسورها و فن ها نشان داده شد می بینیم.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

شکل ۱: نقشه یک کمپرسور تیپیکال

هر نقشه اجزایی اجزای ماشین توربو با یک ترتیب قرارگیری خاص و هندسه خط سیر جریان مشارکت داده می شود. تفاوتهای تیغه، تغییرات هندسی مسیر جریان، تغییرات واضح در نوک ابزار، اختلال شکافها، درزها، بست ها، و میزان نشت جریان از میان خط سیر می تواند با عملکرد سراسری برخورد داشته باشد. نقشه های عملکرد مجزا بطور معمول به هر یک از ویژگیهای هندسی نیاز دارد. اغلب عملکردها اختلافات کمیتی عملکردها را تعیین می کند.

شکل ۲: نقشه یک توربین تیپیکال

بطور معمول تست اجزا و تجهیزات بطور تجربی برای تعیین نقشه های عملکرد مورد استفاده قرار می گیرد. اندازه گیریهای کارایی درست زمانی محقق می شود که خط سیرهای جریان تیغه و سرعت پروانه ها بطور دقیق حساب شده باشند. سرعت فشارها و توزیع درجه حرارتهای ورودی و خروجی به موتور باید بطور دقیق در هنگام کار گذاشتن موتور توربین گازی مورد توجه قرار بگیرد. سخت افزار و ابزارآلات خاصی برای حمایت از این طرح تشخیصی و پیشرفته بکار گرفته می شود.

تاثیر خصوصیات عملکردی بر روی اجرای کار

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

تشخیص این مسئله که مقادیر کارکردهای خاص تعیین شده توسط نقشه های اجزای سازنده و البته به چندین خصوصیت کارکردی می باشد بسیار مهم است. این خصوصیات شامل جریانهای ورودی، شکل ناهماهنگ این جریان، تاثیرات عدد رینولدز، تغییرات در خصوصیات ترمودینامیک و کارایی حمل و نقل می باشد. هیچگون روش خاصی برای اندازه گیری تاثیر این خصوصیات بروی حالت دائمی عملکرد وجود ندارد. خصوصیات کارکرد متفاوت می تواند باعث بوجود آمدن نقشه های اجرایی متفاوت شود.

بی نظمی ورودی: بیشتر قسمتهای توربو ماشین ها با فرض فشار و درجه حرارت و پروفیل سرعت ورودی یکنواخت طراحی می شود. بهر صورت تکمیل مراحل منفرد برای موتور توربین گاز و نتیجه کار گذاشتن چرخها اغلب ما را به سمت خصوصیات جریان ورودی سوق می دهد. در کمپرسور و دریچه ها در طی مجاورت آنها را با راه ورود به جریانات ورودی یکنواخت برخورد می کند. راه ورود جریان غیر یکنواخت شامل دو عامل حالت پایدار و متغیر با زمان، فشارهای نهایی، فشارهای استاتیک، حرکت دورانی و درجه حرارت نهایی در طراحی راه ورود می باشد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

جریانات غیر یکنواخت ورودی کمپرسور فن می تواند از چندین راه متفاوت ایجاد شود. انواع راهها شامل جدایی جریان از لبه ورودی لایه های مرزی در مجرای ورودی، جذب گاز داغ در طی احتراق، شوک و لایه مرزی و لوله های به شکل S که باعث خمیدگی مسیر جریان می شوند، می باشد. این بی نظمی ورودی می تواند به بی نظمی محیطی و مسیر نامنظم منجر شود.

تاثیرات مسیر ورود غیر یکنواخت معمولا برای کارایی توربو ماشین ها منجر می باشد. تاثیرات مستقیم آن شامل کنترل فشار، جریان، و راندمان می شود. همچنین خوردگی در کناره ها بوجود می آورد که موجب کاهش کارایی همیشگی می شود.

انواع عملکردها با راه ورود مارپیچ، بطور تجربی در قسمتی از برنامه تست تعیین می شود. برای این تنها راه ورود جریان نامنظم در تست تجهیزات نشان داده می شود بعنوان یک مثال فشار مطلق نامنظم به نوعی توسط دیوارهای متحرک شبکه ایی در خط سیر جریان با بخار بالا ایجاد می شود. شکل و حالت این دیوارها جهت تولید فشار نهایی بر روی پروفیلها سازگار شده اند. بررسیهای فشار وارده بوسیله نقلیه برای تیعین فشار مطلق پروفایلها استفاده می شود. مرجع یک

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

روشی را که برای تعیین شبکه توری شکل جهت برآورد فشار پروفایلها به فن و کمپرسور مورد نیاز است را نشان می دهد.

شکل ۳: شکل های صفحات بی نظمی کلاسیک

شکل ۳ مثالی از اشکال مختلف شبکه سیمی می باشد که برای تست فشار ورودی به کمپرسور و فن استفاده می شود. نقشه های عملکرد برای راههای ورود غیر یکنواخت متفاوت ایجاد می شود. میزان توزیع جریان، فشار و بازده که مربوط به کارکرد منظم و نامنظم می باشد برای هر یک از مراحل حساب می شود. روشهای ارزیابی شکلهای نامنظم دامنه در مرحله خصوصیات اجرایی در مرجع ۲ بیان شده است.

برای این منظور مرجع های ۳ تا ۸ چند موضوعی هستند که تاثیرات بی نظمی های ورودی را برای عملکرد توربین گاز بیان می کند. خصوصیات متغیر جریان ورودی می تواند بعنوان یک وضعیت ناخواسته ای برای سخت افزارهایی از قبیل: لوله ها، مجراها و تیغه ها باشد. طرح مکانیکی باید این مسئله را تضمین کند که فرکانس های طبیعی تیغه با آن پیش بینی های جریانات ورودی متیغر سازگار نمی باشد.

عدد رینولدز:

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

اثر عدد رینولدز بر روی عملکرد، اغلب بیشتر مربوط به کارایی توربو ماشینهای کوچکتر در ارتفاعات بسیار بالا و در جایی که چگالی هوا کمتر از سطح دریا می باشد، است. تحت چنین شرایط ارتفاعی بالا، اعداد رینولدز در طبقات خیلی کمتر از سطح دریا خواهد بود. فن ها، طبقات انتهای جلویی کمپرسور و توربین آخری بیشتر تحت تاثیر عدد رینولدز می باشند. برای موتورهای بزرگتر، تاثیرات رینولدز کمتر می شود. یک قاعده تجربی نشان می دهد که برای عددهای رینولدز بزرگتر از ۲×۱۰^{۵}، اثر عدد رینولدز بر روی کارای هر طبقه، نسبتا کم اهمیت است. رفتار لایه مرزی تیغه بسیار تابع اعداد رینولدز می باشد. در یک کمپرسور محوری، برای مثال رینولدزهای کوچکتر در طی کارایی با ارتفاع بالا می تواند باعث تاخیر انتقال جریان از آرام به درهم روی تیغه گردد. یک لایه مرزی آرام تمایل بیشتری برای جدایی دارد که باعث stall زودرس در رینولدزهای پایین تر می شود.

برای موتورهای توربین گاز کوچک با شرایط کارکرد ارتفاع بالا، طرح مورد نظر به طور عادی نیاز به وترهای تیغه بزرگتر دارند تا تاثیرات اعداد رینولدز را کاهش دهند.

تست عملکرد توربو ماشین ها:

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

خصوصیات ترمودینامیک گاز: کارایی توربو ماشین ها به خصوصیات گاز که شالم وزن ملکولی و نسبت گرمایی ویژه آن می باشد بستگی دارد. بسیاری از موقعیتهای کارایی ماشین که می تواند بر روی خصوصیات ترمودینامیک گازی اثر داشته باشد شامل جذب گازهای داغ، جذب گاز موشک و کارایی در محیطهایی با رطوبت بالا خواهد بود. نتایج عملکرد شامل تغییرات در درجه گرما می باشد که می تواند تاثیری بر روی خصوصیتهای جریان قابل تراکم داشته باشد و این شامل جایگزینی سرعت بالا می باشد.

علمکرد Transient: انواع نقشه های عملکرد توربو ماشین ها شامل خصوصیات عملکرد انتقال نمی باشد. نقشه های عملکردی به نحوی ایجاد شده اند که شرایط جریان دائمی را به وسیله سخت افزار مکانیکی در موازنه حرارتی بعهده گیرند.

روش تحلیل تست:

روش تست کردن: یک روشی که ممکن است در تعریف و طراحی برای یک تست اجزاء توربو ماشین به کار برده شود به طور خلاصه توضیح داده شد. اولین مرحله در طرح تست، تعریف پارامترهای عملکرد می باشد که باید اندازه گیری شوند و اهداف تست را در بر بگیرند. ابزارآلات مخصوص برای عملکرد مورد نیاز می باشند که باید اختصاص یافته باشند.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

بدین منظور باید در حالت جریان و سرعت مورد نیاز برای تست در دسترس باشد. مهندس باید یک تسهیلاتی را انتخاب کند که هر دو منظور یعنی نیازمندیهای ژئومتریک و قابل دسترس بودن جریان و سرعت مورد نیاز در تست عملکرد را در بربگیرد. ابتدا، طراحی تست تجهیزات انجام می گیرد. به طور معمول، تست تجهیزات با استفاده از مقیاسی کامل از روتور چرخان در طراحی سرعت، طراحی می شود.

به هر صورت تست موفق، می تواند با مقیاس تست تجهیزات انتشار پیدا کند. تجهیزات مقیاسی، شامل شباهت های موجود جاری بین سخت افزار معیاری و پیمانه ای می باشد. اعداد رینولدز، عدد ماخ، روابط هندسی خصوصیت باید حفظ شوند. شرایط کارکرد با این مراحل باید به صورت دینامیکی با مثلث های سرعت تیغه هماهنگ باشد. پارامترهای مقیاسی کلاسیک برای تیغه توربو ماشینها در مرجع [۹] تعریف شده اند.

اطلاعات عملکردی مورد نیاز:

اطلاعات مورد نیاز تست نقشه های عملکرد اجزاء سازنده توربو ماشین را تولید می کند که شامل سرعت های چرخشی، نرخ جریان، نسبت فشار و اندازه گیری هایی که می تواند برای محاسبات بازده اجزاء سازنده مورد استفاده قرار بگیرد،

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

می باشد. در این راستا، آیرودینامیکیت می خواهد که پارامترهای تست را همچون فشار مطلق و گرادیان دما، فشار استاتیک روی hub و سطح بیرونی خط سیرهای جریان، اندازه گیری های دینامیک شامل لقی نوک در حالت گردان، فشارهای دینامیک برای شوک های تیغه پروانه و خصوصیات جریان ناپایدار و چنگک ها برای کمیت گذاری فشار و پروفیل دمای نشت استاتور را در بر می گیرد را بشناسد.

اندازه گیری های مورد نیاز:

انتخاب ابزارآلات مناسب یکی از مهم ترین مراحل تست توربو ماشین ها می باشد. اندازه به کار بردن ابزار در یک تست تجهیزات مستقیما به اطلاعات و سوابق مورد نیاز مربوط می شود. توصیف بیشتر هر یک از سنسورهای اندازه گیری در بخش بعدی نشان داده شده است.

شکل ٤: کار گذاشتن ابزار rigtest

شکل ٤، یک rigtes در مقطع عرضی طرح مورد نظر را با ابزارآلاتی که در تست عملکرد آیرودینامیک کلاسیک به کار برده می شود را نشان می دهد، که اینها شامل، غوطه وری شعاعی و فشار مطلق و درجه دمای مطلق، فشار استاتیک متعدد، نقشه برداری های رادیال انتخاب شده و چنگک ها و ابزار دینامیک می

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

باشند. در اینجا نشان داده نشده است اما اهمیت برابر درجه جریان و اندازه گیری سرعت در راستای اندازه گیری های شرایط تست محیط اطراف قابل توجه می باشد. مرحله عملکرد از روی، فشار نهایی، درجه حرارت، میزان جریان و اندازه گیری های سرعت شفت تعریف می شود. اندازه گیری های دما و فشار مطلق با استفاده از انتقال دهنده هایی که جریان را در نقطه ای از زمینه جریان متوقف می کند ساخته می شود. اندازه گیری های خیلی دقیق فشار و دمای مطلق می توانند با استفاده از طراحی خوب سنسورها به دست بیایند. از آلات دیگر بیان شده در شکل ٤ برای حمایت کردن از تعریف زمینه جریان و تجزیه ویژگی عملکرد استفاده می شود.

حتی خط سیرهای جریان و خصوصیات تیغه ها به طور متفاوتی قابل ملاحظه می باشند. برای، فن های منفرد و چندتایی، کمپرسورهای محوری و توربین ها، نیازمندی های اندازه گیری عملکرد و تکنیک ها به طور اساسی همانطور برای این اجزاء سازنده توربو ماشین.

کاهش یا افزایش فشار مطلق در عرض مرحله کار با استفاده از انتقال دهنده های فشار مطلق جایگزین شده در تیغه اندازه گیری می شود. یک اندازه گیری دقیق به فشارهای ضبط شده مطلق ورودی و خروجی نیاز دارد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

همان طور که در شکل ٤ دیدید فشارهای مطلق ورودی با غوطه وری چنگک های رادیال که در بخار بالایی از مرحله برابر با فضای اطراف محیط می باشند قابل ضبط می باشند.

صحنه فشارهای مطلق خروجی با چنگک های غوطه ور شعاعی که در بخار پایینی جایگزین شده اند، اندازه گیری می شوند. درجه حرارت مطلق در عرض صحنه با انتقال دهنده دوگانه حرارتی قابل اندازه گیری می باشند و بر روی چنگک های غوطه ور شده رادیال افزایش پیدا می کند. تغییر درجه حرارت مطلق در عرض صحنه دوگانه با صحنه فشار می تواند برای اندازه گیری بازده و نیازمندی های قدرتی آیرودینامیک مورد استفاده قرار بگیرد.

شیرهای فشار استاتیک هم سطحی دیوارهای مسیر جریان خروجی و ورودی را افزایش می دهد و در میان تست تجهیزات کار گذاشته می شود. انواع جایگریها در شکل چهار دیده می شود فشارهای استاتیک با استفاده از فشارهای مطلق و درجه حرارتهایی که می توانند برای اندازه گیری سرعت جریان استفاده شود اندازه گیری شد. در این راستا شیرهای فشار استاتیک روی پروانه و استاتورها و لبه های ریل بر روی shroud و hub و بطور کامل در اطراف محیط پیرامون مسیر جریان گذاشته می شود. توزیع فشار استاتیک در محیط پیرامون بیان

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

خوبی برای سرعت جریان می باشد. فشارهای استاتیک باعث بوجود آمدن سرعت در مسیر جریان می شود.

یک ردیف از شیرهای فشار استاتیک اغلب در میانه راه بین دو عدد از تیغه های استاتور در طول توپی و نوک shroud گذاشته می شود. این اندازه گیریها و یک ارزیابی کمیتی از تغییرات فشار استاتیک را در عرض عملکرد استاتورها مهیا می کند. شیرهای دیگر فشار استاتیک در محل طرحهای اندازه گیری مهلت عبور فشار بصورت ثابت کار گذاشته می شود.

به منظور تهیه ابزارآلات لازم برای اندازه گیرهای عملکرد، مهندس اغلب ابزاری را برای تست تجهیزات بکار می برد که بتوانند برای اهداف تشخیصی کارکردهای ردیفی تیغه مورد استفاده قرار بگیرد.

این اندازه گیرها شالم بررسیهای شعاعی می باشد که مستقیما در پشت پروانه و در پشت تیغه های ثابت شده و بررسیهای لایه های مرزی جهت اندازه گیری پروفایلها در لایه سطحی، سنسورهای فشار دینامیک کار گذاشته شده و نزدیک پروانه و بررسی لبه فاصله مجاز جهت اندازه گیری زمان واقعی چرخش مجاز نوک تیغه می باشد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

فشار، درجه حرارت و میحط پیرامون و پرتوهای شعاعی بطور کامل بر روی پروانه با استفاده از بررسیهای محیطی قابل اندازه گیری می باشد و این عوامل در طی مسیر جریان بصورت شعاعی عبور می کند. چنگکها در مسیر یکسری از شیرهای تنظیم فشار را افزایش می دهد و توزیع فشار فضای پیرامون را در عرض مسیر جریان و در یک محدوده ثابت اندازه گیری می کند. چنگکهای تحریک کننده می توانند مکانیسمهای بررسی رایال را افزایش دهد و پروفایلهای تحریک کننده در عرض مسیر جریان می توانند ضبط شوند.

فشار بالای موجود در محدوده نوک تیغه پروانه برای اندازه گیری فشارهای استاتیک ناپایدار بر روی پوشش خارجی لوله استفاده می شود. این اطلاعات می تواند برای تیعین جدایی جریان و امواج شوک بر روی نوک تیغه مورد ملاحظه قرار گیرد.

تفاوتهای موجود در فاصله نوک تیغه پروانه می تواند بر روی عملکرد و بخصوص کمپرسورها و فن ها تاثیر بگذارد. افزایش فشار و کاهش بازده با افزایش فاصله نوک تیغه ها در ارتباط می باشد. تست تجهیزات معمولا شامل انتقال دهنده های دینامیک برای اندازه گیری فاصله های نوک پروانه در طی تست

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

می باشد. انتقال دهنده ها بطور فراگیر بر روی لبه های تیغه و سطح خط مسیر جریان بیرونی افزوده می شود.

در شکل ٤ نشان داده نشده است اما اهمیت برابری بین ابزارآلات مورد نیاز برای میزان جریان و اندازه گیرهای سرعت تست تجهیزات وجود دارد. اغلب از یک گشتاور برای اندازه گیری قدرت تست تجهیزات استفاده می شود. ابزارآلات دیگری هم مورد نیاز می باشند اما در این فصل در مورد آنها صحبتی نشده است.

طراحی ابزار و استفاده از آنها:

در بخش قبل اندازه گیری هایی که برای تست عملکرد آیرودینامیک توربو ماشینها نیاز بود تعیین شدند. در این بخش ما روشهای پژوهش برای جایگزینی و قرار دادن ابزارآلات را در تست تجهیزات توضیح می دهیم.

اندازه گیری فشار مطلق:

نسبت های مرحله فشار با استفاده از میانگین اندازه گیری شده از فشار ورودی و تخلیه فشار مطلق چنگک ها اندازه گیری می شود. یک برداشت از محل ورود و تخلیه فشار مطلق چنگک ها در تست تجهیزات مربوط به مرحله تیغه که در سیستم نهایی تجزیه عملکرد ماشین های توربینی گازی مهم می باشد جایگزین

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

می شود. اندازه گیری مرحله فشارها نه تنها شامل تغییر فشار در عرض تیغه توربو ماشین می باشد بلکه، فشار از دست رفته در طی مسیر جریان لوله از طرح اندازه گیری فشار درونی به مرحله عمل و از طرح خارجی تغذیه به اندازه گیری تخلیه فشار را هم در بر می گیرد.

یک اندازه گیری دقیق از دو مرحله نسبت فشار و فشار، مطلق از دست رفته در مسیر جریان باید انجام شود. اغلب، لوله مسیر جریان که عمق مضاعفی دارد فشار را از دست می دهد زیرا تجزیه افت فشار نشان می دهد که لوله خط سیر جریان فشارهایی را از دست می دهد که نقشه عملکرد را هم شامل می شود زیرا مسیر تست تجهیزات ساخته شده بود.

چنگک های غوطه ور رادیال شبیه به چنگک طراحی شده ای می باشد که در شکل ۵ می بینیم و برای اندازه گیری مراحل ورود و خروج فشار به توربو ماشین مورد استفاده قرار می گیرد. فشارهای مطلق با استفاده از اثر سنسورها که در چنگک ها افزایش داده شدند و در مسیر جریان غوطه ور شدند قابل اندازه گیری می باشد. حسگر (sensor) موثر منفرد در محورهای لوله باید موازی با مسیر جریان ورودی کار گذاشته شود. یک انتخاب بایستی توسط مهندس انجام شود و تعدادی از چنگک های اینچنینی را که زمینه جریان را تعیین می کنند را انتخاب

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

نماید. اما خط سیر جریان نه ثابت می شود و نه توسط چنگک های کار گذاشته شده اختصاصی می گردند.

شکل ٥: rake غوطه ور شعاعی

یک تمرین قابل قبول عمومی وجود دارد که چنگک های ورودی را در انتهای مجرایی که دارای اندازه بخار بالایی در مرحله تست می باشد را به کار می گیرد. این حداقل فاصله مجرای جریان و واکنش های مکانیکی در طی تحریک چنگک بر روی تست تیغه، زمانیکه هنوز به اندازه کافی نزدیک می باشد فشارهای ورودی را اندازه گیری می کند.

Rakeهای ورودی چندتایی در اطراف پیرامون مجرا جایگزین می شوند. تقریبا سه تا چهار چنگک برای اندازه گیری ورودی به کار گرفته می شوند. این مسئله در شکل ٦ توضیح داده شده است.

شکل ٦: جهت rake ورودی تیپیکال

تدارکات باید آماده شوند و در آنجا باید موانعی همچون اعضای ساختاری، بست ها و شفت عرضی در مسیر جریان ورودی باشد. Rakeهای ورودی باید در نزدیک یا مستقیما پشت این ابزار نصب گردد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

شرایط تست پوسته فراگیر می تواند همانند شرایط جریان ورودی استفاده شود البته اگر تست تجهیزات شامل یک طراحی خوب و ورودی shroud داده شده ای باشد که با مرحله تست مجرای محوری تیمز و کوتاه چفت شده باشد. تست تجهیزاتی که در این مبحث طراحی شده است نیاز به ابزار چنگک ورودی ندارد. تصور بر این است که، هیچ گونه مراحل مهمی از فشار از دست رفته در میان مجرا برای تست تجهیزات و جریان ورودی وجود ندارد. جریان ورودی می تواند اندازه گیری شود، البته اگر لبه دهانه در انتهای یک قسمت ضخیم بالای بام پوسته تست شده و یک قسمت ضخیم دور از هرگونه جذب کننده ای در جلوی دهانه جایگذاری شده باشد. در این حالت فشار محیط، فشار ورودی تست تجهیزات میباشد که همراه با درجه حرارت محیط می باشد و درجه حرارت مطلق ورودی می باشد.

مرحله تخلیه نهایی فشار چنگک های غوطه ور رادیال به طور نرمال تا آنجا که امکان دارد در نزدیک طرح خروجی مرحله تست جایگذاری می شوند. با استفاده از وتر ردیف تیغه به عنوان یک اندازه، چنگک ها به طور معمول در کمتر از طول یک وتر در ارتفاعی با روند پایین از لبه فرار جایگذاری می شوند. مکان واقعی

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

چنگک ها در تست تجهیزات ممکنه بستگی به بسیاری از عوامل از جمله در دسترس بودن و ساختار / بست ها در خط سیر جریان داشته باشد.

محل جایگیری پیرامون چنگک های خروجی باید با دقت انتخاب شود. زمینه روند پایین جریان از یک ردیف تیغه راستاتور توسط تحریک کننده های تیغه شناسایی شود. اگر چنگک های اندازه گیری با روند پایینی به اندازه کافی دور نصب شوند، تحریک کننده ها با همدیگر ترکیب می شوند و جریان پوشش داده می شود. این حالتی خواهد بود که جایگیری محیطی چنگک ها حیاتی و مهم نمی باشد.

برای بسیاری از تست های بیان شده، چنگک ها در ارتباط تنگاتنگی با مرحله خروجی جایگذاری می شوند. در اینجا جریان فرم داده می شود زیرا تحریک کننده ها توسط تست مرحله ای تیغه به کار گرفته می شوند. تمام عوامل موثر باید در نواحی جریان جا داده بشوند و فشار هم بالا خواهد رفت. تمام سنسورها باید در تحریک کننده تعبیه شود و در اینجا فشار پایین خواهد آمد. به منظور به دست آوردن میانگین فشار، موقعیت چنگک های منفرد به طور برابر در عرض مسیر تیغه، همان طور که اختصاصات جریان تحریک کننده متفاوت به طور مساوی اندازه گیری شد، اندازه گیری شود.

شکل ۷: جاگیری rake خروجی

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

یک مثال از چگونگی این جایگیری ها در شکل ۷ نشان داده شده است. در اینجا ما یک مرحله طرح خروجی را انتخاب کرده ایم که شامل ۱۱ تیغه استاتور با فضای ۳۲/۷ درجه فاصله با همدیگر و ٤ میله غوطه ور منفرد که فشار مطلق را اندازه می گیرند، می باشد. همانطور که می بینید چهار میله تقریبا با فاصله 90^{o} از هم دیگر جایگزین شده اند. موقعیت میله توسط نشانگر هر میله و یک فاصله ی پیرامون و اطراف یک قسمت مرجع همچون یک تیغه استاتور تعیین شده است. برای سهولت کار، ما اولین میله را مستقیما پشت یکی از لبه های باریک تیغه گذاشته ایم، در این حالت تیغه استاتور در بالای مرکز قرار دارد. ما از چهار میله استفاده کرده ایم، فضای تیغه ۳۲/۷ درجه انتخاب شده و به ٤ بخش مساوی تقسیم شده است که هر کدام ۸/۲ درجه می باشد. دومین میله در فاصله بعدی ۸/۲ درجه ای لبه باریک تیغه شماره ٤ گذاشته شده است، میله سوم در ۲٤/٦ درجه ای بعدی تیغه شماره ۹ قرار دارد. در این حلات هر قسمت از فشار متغیر زمینه جریان اندازه گیری می شود. باید از سه تیغه استفاده می شد، هر تیغه باید در عرض یک سوم از مسیر تیغه ها نشان داده می شد و برای هر تعداد از میله ها در طرح اندازه گیری در نظر گرفته می شد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

همچنین تدبیری باید برای تعیین موقعیت رادیال سنسورهای روی میله هم اجرا شود. انواع میله ها، بین ۵ و ۸ سنسور فشار منفرد برای هر میله را شامل می شود. هر سنسور باید در مرکز یک حلقه در برگیرنده گذاشته شود. این حالت در شکل ۸ نشان داده شده است، برای این نمونه ما یک میله پنج سویه را انتخاب کرده ایم که در زمینه جریان نشان داده شده است.

شکل ۸: نحوه توزیع سنسور رادیال

به منظور تعیین محل و موقعیت سنسورهای فشار منفرد بر روی میله نواحی خط سیر جریان به ۵ قسمت مساوی به صورت حلقه، همانطور که در شکل ۸ می بینید تقسیم شده است. سنسورها در این جا، در هر یک از حلقه ها که نواحی برابری هستند جا گرفته اند. برای نشان دادن سنسورها و به کارگیری آنها در این مرحله، هر شیر تنظیم فشاری در نواحی جریان برابر قرار گرفته اند.

بررسی فشار منفرد که به خط سیر جریان مربوط می شود در تست عملکرد مورد استفاده قرار می گیرد. این سنسورها معمولا در نواحی مسیر جریان استفاده می شوند و به طور تجربی میله ها را به کار می گیرند و در اینجا مسیر جریان باید به حداقل برسد یا در محل هایی در مسیر جریان اندازه گیری های مجزایی مورد نیاز باشد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

همانند یک تناوب به میله های غوطه ور رادیال، حرکت دهنده های عبور دو بعدی، معمولا توسط مراحل دقیق از پیش برنامه ریزی شده کنترل می شوند و در جهت بررسی مسیر جریان با سنسورهای تکی (منفرد) توسعه پیدا کرده اند.

بررسی به دو روش شعاعی و مماسی به سمت موقیت های از قبل انتخاب شده گذر داده می شوند. در ابتدا وارسی در مکان اطلاعات ضبط شده اند قبل از اینکه بررسی به سمت موقعیت بعدی حرکت داده شود. مکان های اندازه گیری شده می تواند با حداکثر اندازه گیری ها در نواحی پشت یک تیغه یا بست سازگار شود. و این در صورتی است که کم کردن اندازه گیری ها در نواحی یکنواخت جریان انجام می گیرد. منفعت این نوع از سیستم اندازه گیری شامل کم کردن زمینه جریان، کم کردن ابزارآلات پراکندگی جریان و تنوع اندازه گیری بررسی از قلم افتاده می باشد.

مضرات این روش شامل میزان دقت مورد نیاز برای تکمیل یک بررسی دو جانبه می باشد. هر اندازه گیری نیاز به زمانی برای بررسی موقعیت و اطلاعات ضبط شده دارد. بدین منظور، مقدار زیادی از اطلاعات می تواند به کار گرفته شود تا سوابق و اطلاعات جهت ساختارهای آنالیزی و تبدیلی مورد نیاز باشد. استفاده از مکانیسم های عبور و گذر کردن دو بعدی می تواند توسط مراحلی در تست

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

تجهیزات قابل دسترس تکمیل شود. در بعضی حالات، مخصوصا، سخت افزار باید طراحی شود و در جهت تست تجهیزات این سیستم های عبور کننده مورد استفاده قرار بگیرد.

اندازه گیری های فشار استاتیک:

فشارهای استاتیک به طور معمول با شیرهای هم سطح دهانه که بر روی مسیرهای جریان ورودی و خروجی تعبیه می شوند اندازه گیری می گردند. فشارهای استاتیک مرتبط با فشارهای مطلق می تواند برای ارزیابی محل و سرعت جریان مورد استفاده قرار بگیرد. برای انجام این کار، شیرهای اندازه گیر فشار استاتیک به صورت نرمال در همان طرح اندازه گیری همچون حالت های فشار مطلق که در شکل ۹ نشان داده شده است، گذاشته می شوند. شیرهای فشار استاتیک به طور برابر در فضای اطراف محیط روی هر دو مسیر جریان ورودی و خروجی کار گذاشته می شوند. همان طور که در شکل ۹ نشان داده شد، شیرهای استاتیک بین هر یک از میله ها کار گذاشته می شوند. این کار بدین منظور انجام می شود که به کارگیری میله کمترین اثر را روی اندازه گیری های فشار استاتیک خواهد داشت.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

بررسی های فشار استاتیک پتیوت می تواند برای اندازه گیری هر دو فشار استاتیک و کل استفاده شود.

یک نوع پروب استاتیک pitot در شکل ۱۰ دیده می شود. بیشتر بررسی های استاتیک pitot با اندازه گیری های جریان ورودی بیان و کشف شده اند و در اینجا جریان به طور یکنواخت بوده است. اشتباهات اندازه گیری به حساب خواهد آمد البته اگر پروب با جریان تنظیم نشود. علاوه بر این پروب ها دارای سر اندازه گیری بلندی هستند تا حساسیت به عدد ماخ به حداقل برسد.

شکل ۹: موقعیت شیر فشار استاتیک rake غوطه ور

شکل ۱۰: پیکربندی لوله پیتوت استاتیک

اندازه گیری های درجه حرارت کل:

اندازه گیری های درجه حرارت کل برای ارزیابی بازده مرحله مورد استفاده قرار می گیرد. بدین منظور، سوابق درجه حرارت بررسی رادیال می تواند برای حساب کردن پراکندگی و توزیع عملکرد پروانه در عرض مسیر جریان استفاده شود.

اندازه گیری های مطلق زمینه جریان، توربو ماشین ها از سنسورهای حرارتی جفت برای ضبط کردن استفاده می کنند و معمولا در میله های غوطه ور رادیال

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

افزایش به وجود می آورند و این همانند فشار مطلق میله هایی است که قبلا بیان کردیم. طراحی میله برای سنسورهای فشار مطلق مورد توجه قرار می گیرد و در مورد انتقال دهنده های درجه حرارت هم عمل می کند. سنسورهای منفرد درجه حرارت می تواند در میان زمینه جریان همان طور که مورد نیاز است و در بررسی های دو جانبه استفاده می شود کار گذاشته شود.

توجهاتی باید در استفاده از اندازه گیری های درجه حرارت برای حساب کردن مرحله بازده ها برای ماشین هایی با نسبت فشار پایین مورد استفاده قرار بگیرد.

شکل ۱۱: حساسیت کارایی

اشتباهات، اندازه گیری درجه حرارت پایین، جفت سیم داغ را در بر می گیرد که می تواند بر روی دقت اندازه گیری های متفاوت کوچک درجه حرارت در عرض عملیات نسبت فشار پایین توربو ماشین تاثیر بگذارد.

در شکل ۱۱، حساسیت ۱، ۲ و ٤ درجه فارنهایتی اشتباهات اندازه گیری در مرحله ارزیابی های کارایی برای یک درجه از نسبت های فشار نشان داده شده است. برای یک فن / کمپرسور که یک نسبت فشار ۱/٦٥ را تولید می کند، یک اشتباه اندازه گیری درجه حرارت ۱ درجه فارنهایت باعث به وجود آمدن تقریبا یک درصد اشتباه در اندازه گیری کارایی می شود. برای نسبت های فشار پایین

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

(<۱/۳) توصیه می شود که یک گشتاورسنج برای اندازه گیری قدرت مصرفی هر طبقه مورد استفاده قرار بگیرد و این موثرتر از حساب کردن کارایی ها از طریق اندازه گیری افزایش درجه حرارت می باشد.

بررسی های شعاعی:

یکی از تکنیک های اصلی برای تشخیص ویژگی های عملکرد توربو ماشین، بررسی رادیال می باشد. این تکنیک اندازه گیری به طور نرمال در صفحات خروجی ردیف تیغه، خصوصا پشت تیغه های روتور مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از یک حرکت دهنده، یک پروب منفرد را به صورت رادیال در عرض مسیر جریان عبور می دهد. بررسی رادیال می تواند در جایی که هیچ اتاقکی برای مقدار میله های غوطه ور وجود ندارد مورد استفاده قرار بگیرد و در اینجا بررسی و جریان درونی باید به حداقل برسد و زمینه جریان حرکت دورانی متغیری داشته باشد. بیشتر مکانیسم های حرکت دهنده رادیال حساسیت را در مسیر جریان بی اعتبار می کنند. خصوصیات عملکرد ردیف های تیغه منفرد از مذکر به سمت نوک می تواند توسط اندازه گیری فشارهای مطلق، درجه حرارت های مطلق و زوایای جریان به عنوان کارکرد محدوده در عرض مسیر جریان به کار گرفته شود. شکل ۱۲. نوعی اندازه گیری زوایای جریان و فشار مطلق

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

پروفایل های رادیال را در پشت یک پروانه فن نشان می دهد. جالب است توجه کنید که خصوصیت های مسیر جریان یکنواخت نیستند اما از مرکز به سمت نوک به صورت خاصی متفاوت هستند.

شکل ۱۲ (a): پروفیل فشار شعاعی

یک خصوصیت مهم بررسی رادیال قابلیت از بین بردن حساسیت مولفه در جهت جریان می باشد. با این کار، زاویه دورانی محلی جریان در شکل مرجع کاملی تعریف می شود. در این راستا، عوامل حساس درجه حرارت و فشار روی بررسی بی ارزش با استفاده از مسیر جریان که به نوعی اشتباهات اندازه گیری را کاهش می دهد تنظیم می شود.

یک تکنیک قابل قبول خوب برای بی اعتبار کردن عوامل حساسیت یک پروب cobra را به عنوان بخشی از بررسی اندازه گیری در بر می گیرد. یک پروب cobra در شکل ۱۳ دیده می شود.

شکل ۱۲ (b): پروفیل زاویه جریان شعاعی

پروب های cobra برای اندازه گیری زوایای جریان در یک صفحه عمود بر محور پروب طراحی شده اند. قسمتهای حساس به فشار از دو لوله تشکیل شده اند که به سمت مسیر جریان زاویه بندی می شوند. یک لوله مرکزی می تواند برای

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

اندازه گیری فشارهای کل یا درجه حرارت ها که وابسته به موارد مورد نیاز هستند مورد استفاده قرار بگیرد.

پروب cobra به سمت جریان، توسط گردش پروب حول محور خودش تا دو فشار احساس شده بالانس شوند فاقد اعتبار می شود. حلقه های فیدبک کنترل مورد نیاز این پروبها معمولا بصورت مجتمع با واحدهای کنترل رادیال می باشند.

اغلب بررسی های رادیال بصورت جفت انجام می شوند. یک پروب برای تعیین زاویه جریان که برای چرخش عملکرد مورد استفاده قرار می گیرد بر روی سیستم دوم به طور مستقیم به سمت جریان جهت داده می شود.

مراحل تست که برای بررسی های رادیال استفاده می شود، می توانند یک عبور مداومی و آرامی را در عرض جریان برای تعیین نواحی عملکرد در بر بگیرد. مهندس می تواند موقعیت بررسی را در محدوده ها یعنی در جایی که اندازه گیری های تعیین شده مورد نیاز می باشند به کار بگیرد.

Rakeهای دنباله:

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

Rakeهای دنباله بطور معمول برای اندازه گیری ویژگیهای میدان جریان محلی در پشت اجسامی مانند میله ها و پره های استاتور در مسیر جریان، به کار می روند.

شکل ۱۳- پیکربندی پروب برا

یک پیکربندی تیپیکال rake دنباله در شکل ۱٤ مشاهده می شود. این rake خاص برای اندازه گیری توزیع فشار کلی در پشت پره استاتور فن طراحی شده است. اندازه ریک به نحوی تعیین شده که تعادل سطح را اندازه بگیرد تا پهنای گذرگاه پره به پره کامل شود.

شکل ۱٤- پیکر بندی rake دنباله

یک پروفیل فشار کلی ریک دنباله تیپیکال که در پشت یک استاتور فن اندازه گیری شده در شکل شماره ۱۵ مشاهده می شود.

شکل ۱۵- پروفیل فشار کلی ریک دنباله

همانطور که مشاهده می شود جزئیات قابل ملاحظه ای از میدان جریان در این اندازه گیری مشاهده می شود. بعلاوه پروفیلها می توانند جمع شوند تا خصوصیات بسیار دقیقی از میدان جریان در صفحه اندازه گیری ارائه شود.

سرعتهای چرخ روتور:

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

سرعت دورانی هر طبقه روتور rig آزمون (test rig) باید به دقت در هر نقطه از عمل در طی آزمایش تعیین شود. سرعت دورانی می تواند با یک تولید کننده پالس مغناطیسی یا یک حسگر فوتوالکتریک که بوسیله یک دندانه به شفت محرک متصل می شود، اندازه گیری شود. اطلاعات به صورت نرمال بر یک شمارشگر فرکانس که مستقیما برای خواندن rpm کالیبره شده است، منتقل می شود.

اندازه گیریهای گشتاور:

برای اندازه گیری توان مورد نیاز برای به حرکت در آوردن test rig یا در مورد rig توربین، توان تولید شده، یک گشتاورسنج می تواند استفاده شود.

اندازه گیری گشتاورسنج هر دوی توان آئرودینامیکی طبقه و توان مکانیکی مورد نیاز برای غلبه انتهای سیستم محرک بعلت یاتاقانها و windage را شامل می شود. استفاده توان به علت کار آئرودینامیکی باید از افتهای توان مکانیکی جدا شود تا اندازه گیری بازده به دقت انجام شود. گشتاورسنج به صورت تیپیکال شالم یک المان کرنش سنج کالیبره شده است که به شفت محرک وصل شده است.

گشتاور محاسبه شده و سرعت دورانی شفت برای محاسبه توان به کار می رود.

اندازه گیریهای نرخ جریان جرم:

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

اندازه گیری دقیق جریان rig آزمون در تولید نقشه های بازده، مورد نیاز هستند. معمولا سرعتهای جریان بوسیله سخت افزارهایی اندازه گیری می شوند که یا بخشی از مسیر جریان هستند یا مستقیم به داخل مسیر جریان نصب شده اند و شامل دهانه گشاد شده (bellmouth) ورودی، اندازه گیرهای واتوری، نازلهای جریان و صفحه اوریفیس لبه تخت است.

اندازه گیری های جریان به صورت تیپیکال در پایین دست یا بالادست سخت افزار آزمون ساخته شده که ویژگیهای سیال به طور نسبی یکنواخت است. اندازه گیریهای فشار همراه شده با پارامترهای هندسی معلوم و ضرایب کالیبراسیون جریان برای محاسبه نرخهای جریان حاصل به کار می رود.

تکنیک دیگری که برای محاسبه نرخهای جریان می تواند استفاده شود، انتگرال گیری از پروفیلهای فشار کلی شعاعی در عرض مسیر جریان است. این اطلاعات با فشارهای استاتیک دیوار و اندازه گیریهای دما جفت شده و برای محاسبه سرعتهای جریان به کار می رود.

rig آزمون فن که جریان را به هسته و بای پس تقسیم می کند به اندازه گیریهای جریان اضافی تر نیاز دارد تا بتوان ضرایب بای پس را به دقت محاسبه کرد. به صورت تیپیکال جریان ورودی کلی و جریانهیا بای پس یا هسته اندازه گیری می

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

شوند. اندازه گیریهای بیشتر نرخ جریان برای اندازه گیری های جریان هوای خنک کننده توربین و جریانهای bieed مورد نیاز است.

اندازه گیریهای دینامیک:

حتی اگر آزمونهای بازده توربو ماشین در طی شرایط عمل حالت پایدار انجام شده باشد، لقی نوک پره روتور و فشار حالت ناپایدار در نوکهای پره روتور اغلب با استفاده از آزمون کنترل می شود. لقی های نوک پره روتور می تواند بر روی کارایی های طبقه موثر باشد بخصوص در فنها و محفظه های احتراق. rig آزمون معمولا شامل حسگرهای فاصله سنج (proximity sensor) دینامیک برای اندازه گیری لقی های نوک روتور بصورت همزمان، در طی آزمون rig است.

سنسورها به صورت محیطی روی نوکهای پره متصل شده و به مسیر جریان بیرونی تر وارد می شوند.

اندازه گیریهای فشار ناپایدار وقتی که روتور به نزدیکی شرایط عمل استال نزدیک می شود، می تواند برای تصمیم گیری استفاده شود.

در شکلهای شماره ۱۶، ۱۷ ترسیم خروجی « high responcepressure transducer» تیپیکال مشاهده می شود.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

در اینجا می بینیم که فشار استاتیک گذرگاه پره هنگام عبور از زیر pressure transducer از سمت مکش به سمت فشار روتور افزایش می یابد.

این اطلاعات می تواند برای نظارت بر کیفیت جریان پره روتور به کار رود. ویژگی افزایش فشار یکنواخت، ملایم و تناوبی که در شکل ۱۶ دیده می شود، بر عدم حضور جدایی جریان در گذرگاه پره دلالت می کند. از طرف دیگر ویژگی افزایش فشار «ragged» غیر یکنواخت که در شکل ۱۷ مشاهده می شود، نشاندهنده جداسازی جریان گذرگاه پره و ناپایداری است.

قسمت تخت شده از نمودار فشار، نشانگری از جریان جدا شده است. نوسانات فشار تصادفی آشکار، نشاندهنده روی دادن جریانهای ناپایدار روی روتور است. برخی نوسانات جریان محدود بوسیله حضور سلولهای استال دوار در تیغه روتور تولید می شود.

شکل ۱۶- ترسیم های فشار نوک – پره

شکل ۱۷- ترسیم های فشار ناپایدار نوک – پره

شرایط محیطی:

علاوه بر وسایل rig آزمون و اندازه گیریها، باید یک اندازه گیری دقیق از شرایط محیطی محلی در طی فعالیت آزمون صورت بگیرد. این اندازه گیریها شامل فشار

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

بارومتری، دمای محیط، رطوبت نسبی و اگر آزمایش در بیرون و در فضای محافظت نشده صورت می گیرد، سرعت و جهت باد است.

اگر rig آزمون در درون یک سلول آزمون بسته نصب شده باشد، فشار استاتیک سلول آزمون باید ثبت شود.

سخت افزار آزمون:

سخت افزار آزمون که اغلب به عنوان test rig به آن اشاره می شود، طراحی شده است تا شرایط عمل و جریان موجود در مرحله مورد نظر در توربو ماشین را شبیه سازی کند. باید سیار مراتب بود تا تیغه بندی و مسیر جریان تا جاییکه ممکن است نزدیک به مرحله شبیه سازی شده، بازسازی شود. اغلب test rigها به نحوی طراحی می شوند که محدوده کاملی از اطلاعات بازده می توانند اندازه گیری شوند. و این دلالت می کند که باید سرعت پره روتور متغیر باشد و نسبتهای فشار مرحله بوسیله نوعی از مقاومت جریان مثل شیر throttle کنترل شود. وسیله تست باید ظرفیت توان و محدوده سرعت داشته باشد تا test rig را در شرایط عمل مورد نیاز برای آزمونهای بازده به کار اندازد. بعلاوه سخت افزار آزمون باید به نحوی طراحی شده باشند که با وسایل مورد نیاز برای فعالیت

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

آزمون تطبیق کنند. ویژگیهای جریان مرحله آزمون باید تا حد ممکن نزدیک به اجزای مورد نظر در توربین گازی بازسازی شده باشند.

در شکل ۱۸ شماتیکی از یک test rig تیپیکال برای فعالیتهیا آزمون کمپرسور و فن مشاهده می شود. اجزای test rig شامل یک سیستم محرک با سرعت متغیر، مجراهای ورودی و تخلیه، یک شیر کنترل، سخت افزار اندازه گیری جریان و طبقه آزمون مورد نظر است.

معمولا یک contoured bellmouth آئرودینامیکی برای ورودی هوای test rig استفاده می شود. شکل دهانه ناقوسی یا bellmouth باید شعاع بزرگی داشته باشد تا نواحی متمرکز دارای سرعت بالا را حداقل کند و یک جریان ورودی یکنواخت تولید کند. دهانه ناقوسی همچنین می تواند به عنوان یک وسیله اندازه گیری جریان دقیق استفاده شود. سایر وسایل اندازه گیری جریان تیپیکال که در test rig استفاده می شود، اندازه گیری های وانتوری، نازلهای جریان و صفحات اوریفیس لبه تخت هستند. اندازه وسایل اندازه گیری جریان باید برای محدوده های جریان داده شده تنظیم شده باشد تا دقت اندازه گیری تضمین شود. به علت محدوده وسیع جریانهای هوای مورد نیاز برای بیشتر آزمونهای بازده، اغلب

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

لازم است که اندازه وسیله اندازه گیری جریان تغییر یابد تا در حساسترین محدوده سرعت خود برای آن بخش از آزمون عمل کند.

برخی از test rigها شامل یک محفظه plenum ورودی در جریان بالادست صفحه ورودی test rig هستند. معمولا قطر محفظه چندین برابر لوله جریان است.

شکل ۱۸- شماتیک test rig تیپیکال

صفحات و بخشهای مستقیم کننده جریان لانه زنبوری برای زدودن گرداب و پیچیدگی فشار کلی به کار می رود و بنابراین ورود جریان یکنواخت به داخل test rig را تضمین می کند.

Plenum هم یک منطقه کم سرعت است که فشار دما در آن به دقت اندازه گیری می شود. جریان از plenum به test rig بوسیله یک دهانه ناقوسی منتقل می شود. نقاط عمل مرحله کمپرسور و فن بوسیله یکی کردن افزایش فشار مرحله با افت فشار در سیستم تخلیه تعیین می شود.

افتهای فشار جریان پایین دست با یک تولید کننده مقاومت جریان متغیر مثل شیر اختناق یا صفحات (screen) با سختی متغیر قرار گرفته روی لوله تخلیه، میزان می شود. هر چه مقاومت افزایش می یابد، افت فشار سیستم نیز افزایش می یابد

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

و مرحله کمپرسور را وادار می کند تا همراه و یکی شود و در نتیجه در نسبت فشار بالاتر عمل کند.

تغییرات در افت سیستم جریان پایین دست با نرخ جریان توسط رسم ویژگیهای افت فشار روی یک نقشه بازده قابل مشاهده است. چنانچه در شکل ۱۹ نشان داده شده است. افت فشار با مجذور سرعت جریان پایین دست و در نتیجه مجذور سرعت جریان تغییر می کند. انواع مختلف نصب شیر یا سختی screen سبب ایجاد ضرایب افت مختلف و در نتیجه ویژگیهای افت مختلف می شود. این مهم است که بدانیم مشخصه فشار که شیر اختناق «باز» یا پیکربندی «بدون screen» را بیان می کند، پایین ترین حد فشاری است که test rig عمل می کند. چنانچه نقشه بازده در جریانهای بالا، نسبتهای فشار پایین تری نیزا داشته باشد، باید لوله تخلیه test rig، tailor شود تا افتهای فشار کاهش یابد.

مشخصه های بازده سرعت ثابت مشاهده شده در نقشه های بازده بوسیله تنظیم سرعت مطلوب با حداقل مقاومت جریان پایین دست و ثبت اطلاعات آزمون بازده، ایجاد می شود. test rig باید این قابلیت را داشته باشد که سرعتهای ثابت را خیلی به دقت نگه دارد، بخصوص برای rigهای فن و کمپرسور که بازده بسیار نسبت به سرعت پره روتور حساس است.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

شکل ۱۹- مقاومت جریان پایین دست

مقاومت جریان پایین دست بوسیله بستن یک شیر اختناقی یا بستن نسبی مسیر تخلیه با screen ها حاصل می شود. طبقه آزمایشی توسط پمپ کردن، در فشار بالاتر برای منطبق شدن با افتهای افزایش یافته در جریان پایین دست پاسخ می دهد. اطلاعات بازده یک بار دیگر ثبت می شود.

این پروسس به صورت پیوسته تکرار می شود تا وقتی که استال یا «surge» شناسایی شود. ایمنی تاکید می کند که test rigها نباید در شرایط کاری استال یا surge، کار کنند. خط استال با ثبت یک نقطه بازده که تا جای ممکن به استال نزدیک است ولی استال حقیقتاً رخ نمی دهد، تعریف می شود. در تمام شرایط کاری، نقاط اطلاعات تا زمانیکه test rig به تعادل حرارتی نرسیده، نباید ثبت شود. پروسس کامل برای سرعتهای پره روتور متفاوت تکرار می شود تا نقشه بازده مطلوب تولید شود. توربین های test rig یک ذخیره هوای پر فشار و دمای بالا نیاز دارد تا یک طبقه را به حرکت در آورد. توان توربین حاصل توسط یک دینامومتر که مستقیما به شفت محرک جفت شده، جذب می شود. بارگذاری در یک طبقه توربین با افزایش یا کاهش مقاومت پیشنهاد شده توسط دینامومتر تغییر می کند.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

ملاحظات طراحی وسایل:

این بخش یک خلاصه از طراحی وسایل حسگر به کار رفته در آزمون توربین گازی ارائه می کند. برای مهندس آزمون اطلاعاتی جهت کمک به انتخاب حسگر و طراحی در دسترس است.

www.kandoocn.com

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

نیازهای وسایل:

انتخاب وسایل مناسب یکی از مهمترین موضوعات در آزمون اجزای توربو با ماشین است. طراحی و مونتاژ حسگرها در test rig از اهمیت برابری برخوردار است. وسایل در هنگام ثبت اطلاعات در جریان اثر نگذاشته و آنرا آشفته نکند. وسایل آزمون متعددی توسعه یافته اند و از تکنیکهای اندازه گیری غیر مداخله کننده مثل سرعت سنج دوپلر لیزری برای آزمون توربو ماشین استفاده می کنند. بهر حال بسیاری از برنامه های آزمون توسعه توربو ماشین هنوز از حسگرهای دما و فشار و نصب شده روی پروبها و دیک ها برای اندازه گیری ویژگیهای بازده میدان جریان در مرحله آزمون استفاده می کنند. حسگرها باید به نحوی طراحی شده باشند که آشفتگی جریان را حداقل کنند. انسداد جریان محلی به علت پروبها و ریکها باید با شکل دهی آئرودینامیکی مونتاژ ریک و میله های پروب در طول انتهای حس کننده مونتاژ پروب، حداقل شود. یک سطح پیشین کوچک با یک ضریب درگ پایین مطلوب است. هم چنین طراحی مکانیکی المان حس کننده هم باید شرح داده شود. مونتاژ باید از نظر مکانیکی سفت باشد به نحوی که لق نزند و یا دچار خستگی نشود.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

پروب باید به نحوی طراحی شود که فرکانس طبیعی آن با فرکانسهیا ذاتی در test rig منطبق نشود. اغلب کرنش سنج ها و حتی شتاب سنج های مینیاتوری روی میله های پروب متصل می شوند تا سلامت مکانیکی پروب را کنترل کند. شکستن پروب در طی آزمایش می تواند نتایج مصیبت آمیزی در پره های توربو ماشینهای پر سرعت، لوله های جریان، وسایل جریان پایین دست، داشته باشد.

مونتاژهای پروب و rake به صورت تیپیکال از طریق دریچه هایی در مسیر جریان بیرونی در test rig نصب می شوند. قابلیت دسترسی آسان به وسایل برای بازرسی، تمیز کردن و کالیبراسیون در طی فعالیت آزمون بسیار مهم است. پروبهای منفرد باید قادر باشند از دریچه های کوچک عبور کنند. معمولا این یک سوراخ گرد کوچک است که اغلب قطر آن بیش از ۱/٤ اینچ نیست. سوراخ باید به قدر کافی بزرگ باشد که به میله پروب اجازه دهد آزادانه حرکت کند ولی آنقدر بزرگ نباشد که یک منبع نشت عمده در طی آزمون شود.

نکته قابل توجه و مهم دیگر در طراحی و نصب اجزای حس کننده توانایی آن برای شسته شدن و تمیز شدن در طی آزمون است. تحت شرایط معمولی اجزای حس کننده، وقتی جریان کنترل و کالیبره می شود تمیز هستند. بهر حال در طی آزمون، مقادیر قابل ملاحظه ای از ذرات کوچک (روغنها، روان کنند ها، آلودگی

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

های ریز، شن و غیره) می توانند به اجزای حس کننده برخورد کرده و به ن بچسبند. در نیجه، ویژگیهای آئرودینامیکی و در نتیجه ویژگیهای بازده اجزای حس کننده تخریب خواهند شد. اگر حس گرها به تناوب تمیز نشوند، اغلب به طور کامل بسته می شوند.

ابزارآلات بازده:

اندازه گیریهای فشار

فشار استاتیک: فشار استاتیک، فشار واقعی سایل است و معمولا بوسیله یک شیر کوچک که عمودی وارد مرز جریان می شود، اندازه گیری می گردد. به علاوه فشارهای استاتیک جریان محلی، همانطور که قبلا شرح داده شد توسط پروبهای pitot-static قابل اندازه گیری است.

تکنیک اندازه گیری فشار استاتیک که برای آزمون توربین گازی ترجیح داده می شود، شیرهای متصل شده فلاش است.

به صورت تیپیکال شیرهای فشار استاتیک در لوله های با مساحت ثابت و به دور از خمیدگی های شدید و تغییرات مساحت نصب می شود. یک نصب شیر فشار استاتیک تیپیکال در شکل ۲۰ مشاهده می شود. شیرهای فشار باید به صورت عمود بر مرز جریان و با یک سوراخ لبه تخت نصب شود. به علاوه باید

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

بسیار مراقب بود که شیر بدون برآمدگی و دندانه باشد. [۱۱,۱۲] شیرهای فشار استاتیک بعد از فرایند test rig باید تمیز و بازرسی شوند.

شکل ۲۰- شیر فشار استاتیک دیوار

فشار دینامیک: فشار دینامیک با انرژی جنبشی سیال مرتبط است. این فاکتور نمی تواند به صورت مستقیم اندازه گیری شود اما از ویژگیهای دانسیته و سرعت سیال محلی قابل محاسبه است.

فشار کلی: فشار کلی که اغلب تحت عنوان فشار سکون اشاره می شود، مجموع فشارهای استاتیک و دینامیک است. می تواند با استفاده از یک پروب که در rest قرار دارد با توجه به مرزهای سیستم test rig، اندازه گیری شود. پروب می تواند به نحوی طراحی شود که سیال در نقطه مورد نظر بصورت آیزنتروپیک بی حرکت باشد. یک نکته قابل توجه در انتخاب شکل حسگر فشار کلی، عدم حساسیت نسبی آن به تغیرات زاویه جریان است بخصوص اگر حسگر در جریان ثابت شده باشد.

کیفیت اندازه گیری حسگر بوسیله فاکتور بازیابی آن اندازه گیری می شود. فاکتور بازیابی نسبت فشار اندازه گیری شده به فشار حقیقی است. معمولا

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

فاکتورهای بازیابی بیش از محدوده پیش بینی شده اعداد ماخ جریان و زوایای جریان بوسیله آزمون جریان در یک وسیله کالیبراسیون، تعیین می شود.

فاکتورهای بازیابی در فرآیند تبدیل اطلاعات برای تصحیح مقادیر فشار اندازه گیری شده به فشارهای حقیقی به کار می رود.

اغلب پروب kiel و impact tube برای اندازه گیری فشار کل در آزمونهای توربین گازی به کار می رود. روی rake غوطه ور شعاعی، جزء حس کننده یا پروب منفرد، متصل می شود.

حسگر فشار کل impact در یک لوله سیلندری کوچک تشکیل شده است که محور آن در جهت جریان قرار دارد. یک لوله سیلندری با لبه حمله تخت می تواند عدم حساسیت به زاویه جریان تا $\pm ۱۵^{o}$ در جریانهای مادون صوت داشته باشد. عدم حساسیت به زاویه جریان می تواند بوسیله اریب کردن دیواره داخلی تا ۲۰ درجه افزایش یابد چنانچه این امر در شکل ۲۱ مشاهده می شود. این حسگرها معمولا از لوله های فولاد ضد زنگ تولید می شود و نصب آنها ساده است. حسگرهای impact اغلب در rake غوطه ور شعاعی که میدان جریان به طور نسبی غیر یکنواخت است به کار می رود.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

مقطع عرضی حسگر فشار kiel در شکل ۲۲ مشاهده می شود. پروب kiel تا ±٤٥٥ به زوایای جریان غیر حساس است. هم چنین به اثرات عدد رینولدز و خطاهای اغتشاش در محدوده وسیعی از سرعتهای جریان غیر حساس است. حسگرهای kiel، حسگر فشار کل منتخب برای آزمونهای توربو ماشینها هستند که این به علت عدم حساسیت بالای آنها نسبت به زوایای جریان است. ولی بهر حال نصب آنها پیچیده ست. پروبهای kiel منفرد که مشتمل بر ویژگیهای کالیبراسیون و جریان هستند، به صورت تجاری موجود می باشند.

در جریانهیا فراصوتی حسگرهای فشار، فشار کل محلی را نشان نمی دهند که علت آن موج شوک تشکیل شده در جلوی جزء حس کننده است.

فشار کل محلی می تواند از فشار اندازه گیری شده با استفاده از روابط افت فشار شوک نرمال محاسبه شود. ویژگیهای عمل حسگر فشار کل، ملاحظات طراحی، روشهای کالیبراسیون و محاسبات فاکتور بازیابی بخوبی در مطالب طراحی وسایل و اندازه گیری طبقه بندی شده است. [۱۲ و ۱۱]

شکل ۲۱- شکل پروب فشار impact

اندازه گیریهای دما

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

روشی عملی برای اندازه گیری دماهای استاتیک در یک test rig توربین گازی وجود ندارد. به صورت تیپیکال دماهای کل با دماهای استاتیک محاسبه شده به عنوان بخشی از فرآیند تبدیل اطلاعات، اندازه گیری می شود. اندازه گیری دما در آزمون توربو ماشین تقریبا تا حد زیادی توسط ترموکوپلها انجام می شود.

شکل ۲۲- حسگر kiel فشار کل

با دقت در تولید و کالیبراسیون ترموکوپلها، اندازه گیری دما توسط آنها می تواند خطای کمتر از یک درجه انجام شود. یک تکنیک اندازه گیری دما برای طیف وسیعی از سرعتهای جریان و زوایای جریان، فرو کردن اتصال ترموکوپل درون یک سنسور، مشابه لوله pressure imapct است.

اثرات تعادل حرارتی باید در طراحی و استفاده از پروبهای دما مورد توجه قرار بگیرد. انرژی حرارتی می تواند هم بوسیله هدایت حرارتی میله پروب یا بدنه rake و هم بوسیله تشعشع به سطوح اطراف، از نقطه اندازه گیری منتقل شود. این دمای اندازه گیری شده را کمتر از دمای کل محلی واقعی نشان می دهد.

افتهای ناشی از انتقال حرارت تشعشعی با قرار دادن یک پوشش روی ترموکوپل می تواند کاهش یابد. بعلاوه یک ونت کوچک در عقب پروب می تواند برای

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

بالانس کردن افت حرارت با انرژی حرارتی ناشی از سیال بوسیله انتقال حرارت جابجایی، به کار رود.

دو طراحی حسگر ترموکوپل عمده، به صورت تیپیکال در آزمونهای توربو ماشین به کار می روند که شامل ترموکوپلهای bare-bead و اشکال حسگر دارای پوشش است. شکل ۲۳ تفاوتهای اصلی بین این دو شکل را نشان می دهد. حسگر ترموکوپل bare-bead یک طراحی ساده دارد و نصب آن آسان است. پاسخ سریع مزیت عمده این نوع است. ولی ترموکوپلهای bare bead در معرض افتهای تشعشعی و اثرات اعداد رینولدز و ماخ هستند.

شکل ۲۳– شکل حسگرهای دما

به علاوه حسگرها می توانند براحتی با به کارگیری با دست و یا مواد خارجی (FOD) که در جریان وجود دارد، تخریب شوند.

حسگرهای ترموکوپل دارای پوشش به افتهای تشعشع و اثرات اعداد رینولدز و ماخ حساس نیستند. در شرایط جریان پایدار، حسگرهای ترموکوپل دارای پوشش، فاکتورهای بازیابی بالاتری فراهم می کنند.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

این حسگرها به زاویه جریان حساس نیستند و هم چنین در برابر FOD حمایت شده هستند. در طی فعالیت آزمون باید اطمینان حاصل کرد که تیوب حس کننده و سوراخ ونت تنفس بسته نباشند.

ویژگیهای بازیابی پروب عمدتا تابع سرعت روی اتصال ترموکوپل است. پروبهای دارای پوشش، سرعت جریان آزاد را کاهش می دهد که سبب بازیابی بالاتر می شود. فاکتورهای بازیابی دما که دماهای نشان داده شده را به دماهای حقیقی مرتبط می کند، با یک فرآیند کالیبراسیون جریان تعیین می شود.

مثل اندازه گیریهای فشار، تکنیکهای اندازه گیری دما و طراحی اجزای حس کننده به خوبی طبقه بندی شده است. بسیاری از اشکال حسگرها هم با هزینه نسبتا کم، به صورت تجاری در دسترس است.

اندازه گیریهای زاویه جریان

زاویه جریان محلی هم با nulling یک حسگر به داخل جریان و ثبت زاویه حاصل قابل تعیین است و هم با استفاده از حسگرهای ثابت. در حسگرهای ثابت روی سر حس کننده یک سری از اجزای فشار نصب می شود که نسبت به هم ارتباط هندسی ثابتی دارند. حساسترین طراحی ها برای تفاوتهای زاویه جریان

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

خیلی کوچک، بین دو نقطه روی پروب، یک گرادیان فشار خیلی بزرگ ایجاد می کنند.

پروبهای دو بعدی برای اندازه گیری زوایای جریان در یک جهت به کار می روند. حسگرهای دو بعدی تیپیکال شامل پروبهای کبرا، سه گوش، سه سوراخی و سه شاخه است. شکل آنها در شکل شماره ۲٤ مشاهده می شود.

پروبهای سه بعدی برای اندازه گیری زوایای گام و انحراف به کار می رود. این حسگرها شامل پروبهای هرمی، کروی، چهار سوراخی و پنج شاخه است. یک شکل پروب هرمی تیپیکال در شکل ۲۵ مشاهده می شود.

پروبهای سه بعدی نه تنها برای اندازه گیری زوایای جریان قابل استفاده هستند بلکه می توانند فشار استاتیک و کل را هم اندازه بگیرند. این کار با استفاده از یک سری از کالیبراسیونهای جریان که هر یک از فشارهای حسگرها به عنوان تابعی از انحراف ثابت و زاویه گام برای محدوده ای از اعداد ماخ جریان ثبت شده باشد، انجام می شود.

مراجع [۱۳] و [۱٤] معیارهای طراحی و تکنیکهای کالیبراسیون مورد نیاز و پروسسهای تبدیل اطلاعات حاصل برای پردازش کردن اطلاعات ناشی از پروبهای زاویه جریان سه بعدی را ارائه می ند. اشکال متعددی از پروبهای

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

مربوط به جهت جریان، به صورت تجاری در دسترس است. این حسگرها معمولا توسط تولید کننده از نظر جریان، چک و کالیبره شده اند.

شکل ۲٤- حسگرهای جهت جریان دو بعدی تیپیکال

شکل ۲۵- شکل پروب هرمی

روشهای آزمون و جمع آوری اطلاعات

وقتی برای یک برنامه آزمون آماده سازی انجام می شود، چندین فعالیت پیش آزمون پیشنهادی وجود دارد که باید انجام شود تا اجزای یک برنامه آزمون موفق اطمینان حاصل شود. گاهی چند مرتبه آزمون انجام شده است و بعد معلوم شده که یک وسیله بحرانی عمل نکرده یا اطلاعات ثبت نشده است. تجهیزات مشکل زا و خطاها و مشکلات اندازه گیری در طی آزمون می تواند در هزینه و برنامه موثر باشد. مطالبی که در ادامه می آید و بسیار قابل فهم است، شامل چندین فعالیت پیشنهادی است که باید انجام شود تا مشکلات اندازه گیری در طی فعالیت آزمون حداقل شود.

پیش آزمون:

قبل از اینکه test rig در سلول تست نصب شود یک بازرسی دقیق از سخت افزار باید انجام شود. در طی بازرسی باید چنین سوالاتی مطرح شود: آیا لوله های

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

جریان به خوبی و در یک خط قرار دارند تا مانع ایجاد پله در مسیر جریان شوند؟ آیا لوله های مسیر جریان از روغن و ذرات ریز عاری هستند؟ آیا حسگرهای اندازه گیری در مسیر جریان قرار دارند؟ آیا حسگرها از دندانه های ساخته شدن با ماشین، آلودگی و دوده و چرک عاری هستند؟ آیا محافظها از روی حسگرها برداشته شده اند؟ آیا خطوطی که از حسگرهای منفرد استفاده می کنند به خوبی لیبل شده اند تا به کانالهای اطلاعات مناسب قلاب شوند؟ آیا حسگرهایی که در flush mounted ردیف پره روتور قرار دارند به نحوی هستند که در طی آزمون با پره های روتور بریده نشوند؟ آیا هر یک از وسایل حسگر از نظر جریان چک شده اند؟ اطمینان حاصل شود که مقاومت کالیبراسیون راضی کننده است؟

فعالیتهای روزانه قبل از آزمون:

روشهای کنترلی ساده قبل از آزمون هر روز هم می تواند مشکلات وسایل را حداقل کند. قبل از شروع آزمایش پیشنهاد می شود که test rig از نظر نشتی چک شود. این کار، درزبندی و فشاردهی test rig در اندکی بالاتر از محیط صورت می گیرد. یکبار که test rig فشاردهی شده، چند اسکن اطلاعات می تواند ثبت

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

شود. اطلاعات فشار و یا فشار خوانده شده کمتر از rig نشاندهنده وجود نشتی است. منابع نشتی می تواند از اتصالات ضعیف و خطوط شکسته باشد.

کنترل پیشنهادی دوم «اسکن اطلاعات صفر» است تا دما و فشار محیط در همه اندازه گیریها قبل از شروع آزمون ثبت شود. این یکی از بهترین روشهای تشخیصی تجهیزات است که می تواند انجام شود. وقتی حسگرهای خاصی مقادیر محیطی را نمی خوانند، این نشانگر خوبی از وجود مشکل در آن سنسور یا کانال اطلاعت است. سیستمهای ترموکوپل باید به تناوب بازرسی شود. سیمهای نامناسب و مدار ترموکوپل خراب سبب می شود دما به جای حسگر وسیله، در بیرون test rig اندازه گیری شود. یک کنترل خوب برای عملیات ترموکوپل غوطه ور کردن rakeهای دما و پروبها در یک حمام داغ است. هر کانال ترموکوپل که دمای کمتری از حمام نشان دهد باید کنترل شود تا مشکلات یافت شود.

در طی آزمون:

چندین فعالیت ساده در طی آزمون قابل انجام است تا خطاهای اندازه گیری و سوالات درباره اطلاعات آزمون حداقل شود. این شامل پرسیدن سوالاتی مثل این است: آیا اتصالات مرجع دما در دمای صحیحی است؟ اگر حمام یخ استفاده می

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

شود آیا یخ در حمام است؟ اگر ممکن باشد، فشارها و دماهای مرجع باید در طی آزمون کنترل شود تا کیفیت بالای اطلاعات تضمین شود. مهندس آزمون باید قبل از شروع آزمون نظر مثبتی نسبت به مقدار پارامترهای اطلاعاتی ثبت شده داشته باشد. مقادیر اطلاعات غیر منتظره نشاندهنده عملکرد غلط و بازده تجهیزات تخریب شده ست. این می تواند باعث انجام یک کنترل سریع سیستمهای تجهیزات قبل از ادامه آزمون باشد.

روشهای آزمون:

هدف نهایی از یک آزمون بازده ثبت اطلاعات بازده است. خطوط سرعت و نقشه بازده مورد نیاز است که با تنظیم سرعت روتور در مقادیر rpm ثابت متفاوت بدست می آید. از آنجاییکه آزمون معمولا در زمانهای مختلف و دماهای هوای مختلف انجام شود سرعت فیزیکی با استفاده از روابط سرعت اصلاح شده، تنظیم می شود. این با ضرب سرعت rig مطلوب در جذر نسبت دمای حقیقی به دمای مرجع حاصل می شود. بخش بعدی محاسبات سرعت اصلاح شده را بررسی می کند.

باید به قدر کافی به test rig فرصت داده شود تا قبل از کسب اطلاعات بازده به تعادل حرارتی دست یابد.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

افزایش طول سخت افزار به علت گرادیان حرارتی و رشد پره به علت نیروهای گریز از مرکز در شرایط عمل مختلف آزمون ایجاد می شود. تعادل اغلب بوسیله کنترل گروه کوچکی از اعداد حاصل از ترموکوپل انتخاب شده تعیین می شود. یکبار که هم اعداد خوانده شده برای تنظیمات پیش فرض، میزان شد (کمتر از $1^{o}f$ تغییر در هر دقیقه)، اطلاعات می تواند ثبت شود. پیشنهاد می شود که حداقل دو و ترجیحا ۳ یا ٤ اسکن اطلاعات پیوسته در هر نقطه کاری ثبت شود. یکبار که اسکنهای اطلاعات ثبت شده، وسایل اختناق می توانند فعال شوند تا فشار مقاومت جریان پایین دست برای تنظیم نقطه بازده جدید، میزان شود.

وقتی شرایط کاری جدید تنظیم شده، باید یکبار دیگر به test rig فرصت داده شود تا قبل از ثبت نقطه اطلاعات، تعادل حرارتی برقرار شود.

این روند هنگام بالا بردن خط سرعت تا استال یا برخورد surge تکرار می شود. موکداً توصیه شده است که test rig بطور آگاهانه در حالت stall یا surge مورد استفاده قرار نگیرد. تحت نظر گرفتن فشار دینامیک بر روی نوک تیغه روتور، می تواند نمایانگر خوبی از stall و surge قریب الوقوع باشد. یک طبقه از فن یا کمپرسور test rig در حالت surge، می تواند نوسانات شدید جریان و ارتعاشات

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

و بارهای شدید مکانیکی را تجربه کند. دیده شده است که سخت افزار تست، هنگام surgeهای سخت و کار پیوسته در حال stall شکسته اند.

شرایط استال در هر یک از خطوط سرعت، اینگونه تعیین می شود که test rig را تا حد امکان نزدیک به استال به کار می اندازند بدون اینکه ماشین واقعا در حین جمع آوری اطلاعات استال کند.

ارائه اطلاعات:

تحلیل و کاهش اطلاعات:

به دنبال کارهای آزمایشی، حجم بزرگی از زمان و تلاش معمولا در تحلیل و کاهش اندازه گیریهای آزمون صرف می شود. تبدیل اطلاعات ثبت شده / اندازه گیری شده، به اطلاعات آزمون در آحاد مهندسی، شامل این فرآیند می شود. این کار معمولا با استفاده از کالیبراسیون پیش و پس از تست در ارتباط با دامنه حساسیت سیستم اخذ اطلاعات، انجام می شود. وقتی که اطلاعات به آحاد مهندسی وارد شدند، محاسبات اطلاعات برای تحلیل و ارائه انجام می شود.

محاسباتی که بطور معمول انجام می شود شامل نرخ جریان جرمی، سرعتهای روتور، دماها و فشارهای متوسط صفحه اندازه گیری، و بازده های طبقات می

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

باشد. وقتی که پارامترهای بازده مطلق محاسبه شوند، مقادیر اصلاح شده و اطلاعات مورد نیاز برای تولید نقشه کارایی تولید می شوند.

نرخ های جریان و سرعتهای روتور بصورت یک مجموعه مرجع از شرایط کاری تصحیح می شوند. با استفاده از پارامترهای تصحیح شده، اطلاعات تست کارایی که در دماها و فشارهای محیطی مربوط به شرایط کاری مختلف ثبت شده اند، می توانند روی همان نقشه کارایی مقایسه شوند.

بطور معمول، شرایط کارکرد مرجع، فشار و دمای محیط برای یک روز استاندارد در سطح دریا (۵۹°f و ۱۴۰۶۹۶ psia) می باشد. فاکتورهای اصلاح اطلاعات، نسبتهای دما و فشار بدون بعد هستند. این نسبتها بوسیله تقسیم فشار کل ورودی مرحله مطلق اندازه گیری شده به فشار مرجع و دمای کل کامل ورودی مرحله به دمای مرجع مطلق [۱۵] محاسبه می شود.

جریان اصلاح شده:

سرعتهای جریان استفاده شده برای ارائه نقشه بازده با استفاده از عبارات زیر اصلاح می شود:

$$\dot{m}_{corr} = \frac{\dot{m}\sqrt{\theta}}{\delta}$$

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

$$\theta = \frac{T_{Tin}}{T_{ref}} \qquad \delta = \frac{P_{Tin}}{P_{ref}}$$

نرخ جریان اندازه گیری شده، نسبت دما و نسبت فشار است که قبلا در مورد آن صحبت شد. نرخ جریان جرمی اصلاح شده می ت واند با عدد ماخ ورودی هر طبقه مساوی در نظر گرفته شود.

سرعت اصلاح شده:

سرعتهای پره روتور با استفاده از معادله زیر به شرایط استاندارد اصلاح می شود:

$$N_{corr} = \frac{N}{\sqrt{\theta}}$$

که N سرعت فیزیکی است. سرعت اصلاح شده به عدد ماخ نوک پره روتور مرتبط است.

پارامترهای بازده:

عبارتهای زیر برای محاسبه پارامترهای بازده توربو ماشین به کار می رود. این عبارتها می توانند به هم مربوط شوند و نیازهای ارائه اطلاعات و آزمونهای منفرد را برآورده کنند.

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

نرخ جریان bell mouth: اندازه گیریهای bell mouth، یک تکنیک اندازه گیری جریان دقیق بدون ایجاد مانع در اندازه گیریهای وانتوری خط جریانی، نازلهای جریان یا صفحات اوریفیس، فراهم می کند. سرعتهای جریان bell mouth می تواند با عبارت زیر محاسبه شود:

$$m = (C_d)\, A \sqrt{\frac{\gamma}{R}} \quad \frac{P_T}{\sqrt{T_T}} \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1}} \left[\left(\frac{P}{P_T}\right)^{2/\gamma} - \left(\frac{P}{P_T}\right)^{(\gamma+1)/\gamma} \right]^{1/2}$$

در این معادله فشار استاتیک، مقدار اندازه گیری شده جریان پایین دست bell mouth، ویژگیهای کلی، ویژگیهای سلول آزمون میحط یا مقادیر اندازه گیری شده در مسیر جریان و Cd، ضریب افت تخلیه برای bell mouth است. مساحت استفاده شده برای محاسبه، مقطع عرضی لوله در صفحه اندازه گیری فشار استاتیک است. شیرهای استاتیک در لوله سطح ثابت و تقریبا به اندازه یک قطر لوله پایین دست جریان bell mouth نصب می شود.

نسبتهای فشار: نسبتهای فشار مرحله با تقسیم فشار کل خروجی مرحله میانگین بر فشار کل ورودی میانگین محاسبه می شود. نسبتهای فشار با استفاده از مقادیر فشار مطلق حساب می شود:

$$P_R = \frac{P_{T\,exit}}{P_{T\,in}}$$

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

برای مراحل توربین، معمولا نسبت فشار با تقسیم فشار میانگین ورودی به فشار میانگین خروجی حاصل می شود.

نسبتهای دما: نسبتهای دمای مرحله با تقسیم دماهای خروجی میانگین بر دماهای ورودی میانگین محاسبه می شود. واحد دما باید دمای مطلق باشد:

$$T_R = \frac{T_{T\,exit}}{T_{T\,in}}$$

توان فن و کمپرسور: نیازهای اسب بخار مرحله توربو ماشین آئرودینامیک به شکل زیر محاسبه می شود:

$$power = \frac{C_p T_{T\,in}\, in}{۰/۷۰۷\eta}\left[P_R^{(\gamma-۱)/\gamma} - ۱\right]$$

دمای استفاده شده در این محاسبه مربوط به هوا در صفحه ورودی مرحله و نسبت فشار و کارایی مربوط به مرحله مورد نظر است.

توان حاصل از اندازه گیری گشتاورسنج با فرمول زیر محاسبه می شود:

$$power = \frac{N(Tor)}{K}$$

در این عبارت مقدار ثابت k، وقتی گشتاور نیوتون متر، توان کیلووات و سرعت rps است، می باشد. وقتی گشتاور پوند اینچ، توان اسب بخار و سرعت rpm است مقدار آن ۶۳/۰۳۰ می باشد. [۹]

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

بازده طبقه: بازده طبقه فن و کمپرسور بصورت نسبت کار ایده ال تراکمی به کار واقعی تراکمی در یک نسبت فشار داده شده، شناخته می شود [۱۵] و می تواند مستقیما از اندازه گیریهای دما و فشار طبقه محاسبه شود:

$$\eta = \frac{P_R^{(\gamma-1)/\gamma} - 1}{T_R - 1}$$

به همین ترتیب، برای طبقات توربین خنک نشده، بازده بصورت نسبت کار واقعی به کار ایده آل در یک نسبت فشار مشخص، بیان می شود:

$$\eta = \frac{1 - T_R}{1 - P_R^{(\gamma-1)/\gamma}}$$

عدد ماخ محلی: اعداد ماخ محلی در هر نقطه ای در مسیر جریان که فشارهای استاتیک و کل و دما مشخص هستند، قابل محاسبه است:

$$M = \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1}[P_R^{(\gamma-1)/\gamma} - 1]}$$

نسبت گرمایی ویژه تابعی از دما است.

ارائه اطلاعات:

نقشه های کارایی:

روش مرسوم ارائه، برای مشخصات کارایی طبقه توربوماشین، نقشه هایی هستند که در بخش اول توضیح داده شدند. دو مجموعه از اطلاعات معمولا ارائه

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

می شوند، که کارایی آیرودینامیکی طبقه را کاملا توصیف می کند. این شامل گروهی از خطوط سرعت ثابت تصحیح شده با فشار سکون و نسبتهای دما است که بصورت تابعی از دبی های تصحیح شده رسم شده اند. بازده آدیاباتیک طبقه بصورت تابعی از فشار اندازه گیری شده و نسبتهای دما یا اندازه گیریهای گشتاورسنج محاسبه می شوند:

مشخص کردن حاشیه استال (stall margin)

یک نکته جذاب برای طراحان توربو ماشین، حاشیه استال کمپسرور و فن می باشد و معیاری است از حاشیه کارایی بین یک نقطه کاری و طبقه و خط استال. اغلب، مشخصات کارایی طبقه یک سری ملزومات برای حاشیه استال القا می کند. حداقل دو تعریف پذیرفته شده برای حاشیه استال وجود دارد، حاشیه استال خط سرعت ثابت و حاشیه استال دبی ثابت.

شکل ۲٦: حاشیه استال سرعت ثابت

شکل ۲٦ تعریف حاشیه استال سرعت ثابت را ترسیم می کند و شکل ۲۷ حاشیه استال دبی ثابت را نشان می دهد. هر دو تعریف بطور گسترده در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند:

شکل ۲۷

جهت خرید فایل به سایت www.kandoocn.com مراجعه نمایید یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۰۳۵۲۲۸۸۶ تماس حاصل نمایید

شکل ۲۷: حاشیه استال دبی ثابت

www.kandoocn.com