

تخمین عمر باقیمانده خزشی پرههای توربین گازی ساخته شده از سوپرآلیاژ پایه نیکل IN 792	ابوالفضل کریمی' کارشناس ارشد
پرههای توربین، در اثر کارکرد در دماهای بالا و به مدت زمان طولانی به دلایل مختلفی مانند خزش، خستگی، اکسیداسیون و تخریب میشوند. در این مطالعه، عمر باقیمانده پرهی توربین گازی از جنس سوپر آلیاژ پایه نیکل IN 792 که به	حسین یارمحمدتوسکی^۲ کارشناس ارشد
مدت زمان ۸۰۰۰۰ ساعت کارکرده است، با استفاده از بررسیهای ریزساختاری توسط میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی، تحلیل های نرم/فزاری و آزمونهای مکانیکی مانند کشش در دمای کاری و تنش–گسیختگی بررسی گردید. در اثر	محمد نوری^۳ کارشناس ارشد
کارکرد در دمای بالا، تحت تنش ثابت و طی زمان طولانی فازهای مخرب در ریزساختار پره تشکیل شده و مورفولوژی فاز رسوبی گاما پرایم از حالت ایدهال خود انحراف پیدا کرده و کشیده شده و فازهای مخرب در ریزساختار تشکیل شده	محمدمهدی برجسته^۴ کارشناس ارشد
است. همچنین کر ادر سرویس کر کمای باد و به ملک طورتی استخام کس- گسیختگی پره نسبت به آلیاژ کارنکرده، ۲۰ درصد افت نشان میدهد. با انجام تحلیل تنشی با استفاده از نرم/فزار ANSYS و سپس تحلیل عمر خزشی مشخص گردید که عمر کاری این قطعه به پایان رسیده است.	حسین محمدکریمی یزدی^۵ کارشناس

واژه های راهنما: پره توربین، فاز گاماپرایم، عمر خزشی، تحلیل استحکامی، پارامتر لارسون میلر

۱– مقدمه

تخمین عمر کاری پرهها با استفاده از نوع موتور، شرایط کاری، بارهای وارده و ... صورت می پذیرد. پرههای توربین که عموما از سوپر آلیاژهای پایه نیکل ساخته می شوند، در طول سرویس بدلایل مختلفی دچار تخریب می شوند. عواملی مانند خواص مکانیکی پره، بارهای وارده، شرایط محیطی، شرایط سوخت مورد استفاده و دمای کاری بر روی عمر کاری پرهها تاثیر بسزایی دارند. پدیدههایی مانند خزش، خستگی کم چرخه و پرچرخه، خستگی حرارتی، خوردگی، اکسیداسیون، سایش و فرسایش عمدهترین مکانیزمهای تخریب قطعات

ا نویسنده مسئول، کارشناس ارشد مهندسی مواد و متالورژی، سازمان صنایع هوایی، تهران Abolfazl.krm@gmail.com

^۲ کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، سازمان صنایع هوایی، تهران Hosseinyt@gmail.com

^۳ کارشناس ارشد مهندسی مواد و متالورژی، سازمان صنایع هوایی، تهران Noori_mohammad61@yahoo.com

^۴ کارشناس ارشد مهندسی مواد و متالورژی، سازمان صنایع هوایی، تهران Tembarjesteh@yahoo.com

^۵ کارشناس مهندسی مواد و متالورژی، سازمان صنایع هوایی، تهران Karimihmy@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۸/۱۵، تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۹/۰۸

٧

تخمین عمر باقیمانده خزشی پرههای توربین گازی ...

هستند [۱–۳]. پرههای توربین موتورهای گازی عمر محدودی داشته و بایستی بعد از اتمام دوره ی سرویس از روی موتور برداشته شده و جایگزین شوند. غالبا این پرهها با روشهای معمولی مثل برداشتن و جایگزین کردن پوشش و نیز جوشکاریهای موضعی دوباره مورد استفاده قرار می گیرند. اما در تمامی این روشهای معمولی به عدم تغییر در ساختار آلیاژ در اثر کارکرد اعتماد شده و تغییرات ریزساختاری در طول سرویس مورد بررسی قرار نمی گیرند [۴].

آنچه در تخمین عمر باقیمانده پرههای توربین از اهمیت ویژهای برخوردار است، تغییرات ریزساختاری در این پرهها در اثر کارکرد در دمای بالا و به مدت زمان طولانی است که با استفاده از میکروسکوپ نوری و الکترونی مورد ارزیابی قرار می گیرد. تغییرات مورفولوژی فاز استحکام بخش گاماپرایم ('γ)، امکان تشکیل فازهای مضر و ... از جمله پارامترهایی است که بایستی مورد بررسی قرار شود [۳–۵].

ریزساختار سوپرآلیاژها شامل فاز زمینه گاما (γ)، فاز استحکام بخش گاما پرایم، کاربیدها و ... است. در اثر کارکرد در دمای بالا به مدت طولانی و بهدلیل ضریب نفوذ بالای عناصر آلیاژی، رسوبات گاما پرایم درشت شده و به هم می چسبند و حالت رشته ای یا الواری (Rafting) پیدا می کنند که در این حالت رسوبات ثانویه ناپدید می شوند. پدیده الواری شدن نتیجه اعمال تنش در دمای بالا در یک جهت خاص به پره می باشد. از آنجایی که در سوپرآلیاژهای پایه نیکل، رسوبات ′γ مهم ترین عامل حفظ استحکام در دمای بالا بوده و نیز به عنوان سدی در برابر حرکت نابجاییها (یکی ازمکانیزمهای خزش) عمل می نمایند، بنابراین تغییر در مورفولوژی و توزیع این رسوبات خواص مکانیکی و خصوصا استحکام خزشی را به شدت تحت تاثیر قرار می-مونولوژی و توزیع این رسوبات خواص مکانیکی و خصوصا استحکام خزشی را به شدت تحت تاثیر قرار می-مونولوژی و موزیع این رسوبات خواص مکانیکی و خصوصا استحکام خزشی را به شدت تحت تاثیر قرار می-یونان سدی در ایاژها، ساختار را شکننده کرده و به رشد ترک کمک می کنید. همچنین با از بین بردن بین فلزی مضر¹ (TCP) مانند فاز سیگما با چقرمگی کم در ساختار تشکیل شود که به شکل صفحهای مرسوب می کند. این فازها، ساختار را شکننده کرده و به رشد ترک کمک می کنند. همچنین با از بین بردن عناصر استحکام دهنده محلول جامد مثل مولیدن از زمینه آستنیتی گاما، خواص خزشی را کاهش می هد. تغییرات ریزساختاری ناشی از کارکرد، تاثیر مستقیمی بر روی خواص مکانیکی سوپرآلیاژها داشته و خواص خزشی آنها به مرور کاهش می یابد [۳ و ۴].

محاسبه عمر خزشی و خستگی (ناشی از بار سیکلی بدلیل خاموش و روشن شدن) پرههای توربین با استفاده از تحلیلهای المان محدود و استفاده از نرمافزارهای تحلیلی مورد توجه محققان این امر بوده است. در تمامی این تحقیقات، این امر با استفاده از نرم افزار المان محدود ANSYS مقدار تنش و کرنش اعمالی به پره را تحت شرایط کاری محاسبه و با استفاده از خواص مکانیکی پره عمر خزشی و خستگی بررسی شده داده است. با توجه به اینکه در توربین های گازی زمینی به علت دفعات کم خاموش– روشن عمر خزشی بر عمر خستگی غالب می باشد [۷].

برای بررسی عمر خزشی آلیاژها، روابط و مکانیزمها مختلفی ارائه شدهاست که میتوان با استفاده از نتایج آزمون تنش-گسیختگی عمر کاری قطعات را پیشبینی کرد. یکی از اصلیترین روابط برای تحلیل عمر خزشی، استفاده از رابطه لارسون میلر استفاده می گردد. بر اساس این رابطه (۱) داریم: (۱)

¹ Topography Closed Pack

که در آن P پارامتر لارسون- میلر، T دما برحسب کلوین، t زمان گسیختگی بر حسب ساعت و C ثابت لارسون- میلر که برای سوپر آلیاژها حدود ۲۰ است. [۸ و ۹]. در این پژوهش عمر باقیمانده پرههای فشار بالا توربین^۱ (HP) ساخته شده از سوپر آلیاژ پایه نیکل IN792 با استفاده از مطالعات ریزساختاری، آزمونهای مکانیکی و تحلیل تنشی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲- مواد و روشها

در شکل (۱) پره مورد مطالعه و نیز محلهای نمونه برداری نشان داده شده است. ترکیب شیمیایی پره با استفاده از دستگاه کوانتومتری ORL بررسی گردید و مشخص گردید که پره از سوپرآلیاژ 192 Inconel بست. ساخته شده است [۴]. ترکیب شیمیایی پره و سوپرآلیاژ 192 IN در جدول (۱) نشان داده شده است. پره توربین مورد مطالعه مربوط به موتور زمینی است که دمای گاز ورودی از محفظه احتراق به بخش توربین بره توربین مورد مطالعه مربوط به موتور زمینی است که دمای گاز ورودی از محفظه احتراق به بخش توربین مده است درجه سانتیگراد و دور موتور ۴۲۰۰ دور بر دقیقه میباشد. بدلیل تغییرات تنش و همچنین گرادیان دمایی موجود در نواحی مختلف پره، انتظار میرود در حین کارکرد ریزساختار قسمتهای مختلف پره متفاوت باشد. بنابراین از نواحی مختلف پره نمونههای مناسب جهت مطالعات ریزساختاری انتخاب گردید و پس از آمادهسازی، ریزساختار آن با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی^۲ (FE-SEM) پس از آمادهسازی، ریزساختار آن با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی⁷ (FE-SEM) برای این منظور از دستگاه Marbl با ظرفیت ۱۰۰ و مجهز به کورهای ته مرابل (Marble) استفاده گردید. برای این منظور از دستگاه MTA با ظرفیت ما ۱۰ و مجهز به کورهای تا دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد استفاده گردید. نمونههای کشش و تنش-گسیختگی از ریشه پره و با طول سنجه تمای (۱۰ درجه سانتیگراد آرمون کشش گرم و خزش بهترتیب مطابق با استاندارد ASTM E13] و ASTM E13] و مجهز به تور پرد. مورت پذیرفت.



شکل۱ – شماتیکی از پرهی مورد مطالعه

¹ High Pressure

² Field Emission Scanning Electron Microscopy

Archive of SID

تخمین عمر باقیمانده خزشی پرههای توربین گازی ...

Element	С	Cr	Co	Мо	W	Та	Al	Ti	Ni
Blade	0.13	13.1	9.2	1.5	3.5	3.9	3.4	4.5	60.4
IN 792	0.21	12.7	9	2	3.9	3.9	3.2	4.2	Bal.

جدول۱ – ترکیب شیمیایی پره

دما و تنشهای آزمون به نحوی انتخاب شد که اولا به دمای کاری پرهها بسیارنزدیک باشد، ثانیا درتحلیلها عمر بتوان بیشتر استفاده را کرد و ثالثا دستگاه آزمون قابلیت کارکرد در این دما را داشته باشد. بدین منظور دماهای ۹۵۰، ۹۷۰ و ۹۸۲ درجه سانتیگراد و به ترتیب تنشهای ۳۰۰، ۱۸۵ و ۱۵۲ مگاپاسکال برای آزمون تنش-گسیختگی در نظر گرفته شد.

سپس با استفاده از نرم افزار ANSYS تحلیل استحکامی صورت پذیرفت و در نهایت عمر باقیمانده پرهها تعیین گردید. با توجه به این که هیچگونه پره کارنکرده در دست نبود، بنابراین ریزساختار و خواص مکانیکی آن با آلیاژ IN 792 نو مقایسه گردیده است.

۳-نتايج و بحث

۳-۱- مطالعات ریزساختاری

ریزساختار این آلیاژ شامل فاز زمینه گاما (نواحی خاکستری) و فاز رسوبی گاما پرایم (نواحی تیره) است. آنچه ریزساختار این آلیاژ شامل فاز زمینه گاما (نواحی خاکستری) و فاز رسوبی گاما پرایم (نواحی تیره) است. آنچه که در این تصاویر میکروسکوپی مشخص است تغییر مورفولوژی فاز رسوبی گاما پرایم از حالت مکعبی به حالت کروی در تمام نواحی است. در تمامی سوپرآلیاژهای پایه نیکل ریختگی مانند IN 792، هرچه نسبت طول به عرض فاز گاماپرایم به عدد یک نزدیک باشد، بهترین مقاومت خزشی را خواهد داشت. با توجه به تصاویر میکروسکوپی مناطق نسبت طول فاز رسوبی گاماپرایم به عرض آن تا ۵ نیز میزمان داشت. با توجه به حص اوی میزمان میزمی مناطق نسبت طول فاز رسوبی گاماپرایم به عرض آن تا ۵ نیز می رسد.

علاوه بر تغییر مورفولوژی، پدیده الواری شدن نیز در ریزساختار این سوپر آلیاژ مشخص است. بیشترین تنش بر روی پرهها در راستای طول پره اعمال می گردد که در اثر تنش اعمالی در این راستا و نیز دمای کاری بالا رسوبات در راستای اعمال تنش کشیده میشود که مناسب برای کارکرد در دمای بالا نیست. بدلیل نفوذ عناصر آلیاژی، فازهای مخرب TCP در ریزساختار این پره تشکیل شده است که در شکل (۲-ج) مشخص است. آنالیز EDS نشان داد که این فاز سیگما با ترکیب نزدیک به ترکیب OCrMo است (شکل ۲-د). فازهای مخرب TCP در اثر کارکرد در دماهای بالا و زمانهای طولانی ایجاد میشوند. با توجه به دمای بالای کاری پرههای HP و نیز زمان کارکرد بالای آنها، وجود این فازهای مخرب در ریزساختار این پره قابل پیش بینی است.

www.SID.ir

سال هجدهم، شماره دوم، پاییز ۱۳۹۵





شکل ۲ – الف) ریزساختار ناحیه نزدیک به نوک پره، ب) ریزساختار انتهای پره، ج) تشکیل فازهای TCP در پره و د) آنالیز EDS فاز TCP

۳-۲- خواص کششی

خواص کششی هر ماده بهعنوان مهمترین مشخصه مواد مهندسی از اهمیت بالایی برخوردار است. اطلاعات بسیار زیادی مانند استحکام کششی نهایی، استحکام تسلیم، درصد ازدیاد طول و ... از این آزمون میتوان بدست آورد. با توجه به اینکه دمای گاز ورودی به توربین ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد بوده و عموما دمای پره کمتر از گاز است، دمای آزمون کشش ۹۵۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد. ثانیا بدلیل اعمال پوشش دمای واقعی آلیاژ پایه کمتر از دمای گاز خواهد بود. شکل (۳) منحنی تنش-کرنش این پره را در دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد نشان میدهد.

تخمین عمر باقیمانده خزشی پرههای توربین گازی ...

استحکام تسلیم و کششی نهایی این آلیاژ بهترتیب ۴۰۰ و ۵۱۰ مگاپاسکال میباشد. استحکام تسلیم این آلیاژ با استفاده از روش ترسیم خط موازی ناحیه الاستیک به فاصله ۰٫۲٪ حاصل گردیده است.

۳–۳– تحلیل استحکامی

یکی از مراحل تخمین عمر قطعات تحلیل تنشی است. هدف از این کار تعیین نقاط بحرانی قطعه و توزیع تنش در قطعه است. به منظور مشخص نمودن نقاط بحرانی،تحلیل استحکامی صورت گرفت و نقاط بحرانی پره مشخص گردید. برای رسیدن به جواب دقیقتر قطاعی از دیسک که پرهها بر روی آن مینشینند مدل شده و پره بر روی آن تحلیل گردید. مش بندی مدل براساس المان Solid186 استفاده شده است که در شکل (۴- الف) نشان داده شده است. علت استفاده این نوع المان در مش بندی مدل قابلیت تغیرشکل این المان بصورت مخروطی، هرمی و منشوری می باشد، بدون اینکه خطایی در نتایج تحلیل ایجاد کند.

در واقع با توجه به شکل هندسی مدل این المان قابلیت تبدیل به شکلهای مختلف را دارا می باشد و در صورتی که دو نود از یک المان بر روی هم قرار گیرند و در اصطلاح degeneration بوجود آید در نتایج معادلات تحلیل خطایی بوجود نخواهد آمد. در شکل (۴) مدل المان محدود این پره ارائه شده است.تعداد نود و المان های این مدل به ترتیب۳۴۱۴۲۳ و ۹۱۸۸ می باشد. در شکل (۴–ب) بارگذاری و اعمال شرایط مرزی این پره آورده شده است. دور اعمال شده به این مدل ۳۶۰ و ۲۰۰ و اثر دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد المان گردیده است. برای خطای کم، تحلیل با استفاده از تعریف کرون و اثر در المان محدود این پره ارائه شده است.



شکل۳– منحنی تنش- کرنش پره در دمای °۹۵۰

سال هجدهم، شماره دوم، پاییز ۱۳۹۵



شکل۴- الف) مدل المان محدود پره به همراه قطاع دیسک، ب) شرایط بارگذاری پره

جهت انجام تحلیل نیز از خواص مکانیکی حاصل از آزمون کشش در دمای کاری استفاده گردید. نتایج تحلیل استحکامی در شکلهای (۵) و (۶) آورده شده است. مقدار حداکثر تنش ون میسز و ترسکای این پره بهترتیب ۴۶۰ و ۵۰۶ مگاپاسکال و ضریب اطمینان حداقل آن در ناحیه حداکثر تنش ون میسز و ترسکا نسبت به استحکام تسلیم به ترتیب ۷۸/۰و ۲/۹۹ حاصل گردید، که این امر نشان دهنده افت خواص استحکامی پره و وارد شدن پره به ناحیه پلاستیک میباشد.

تحلیل استحکامی این پرهها در ناحیه الاستیک صورت می گیرد و ضریب اطمینان طراحی آنها طبق استحکام تسلیم باید بزرگتر از ۱ باشد. در واقع با انجام تحلیل تنشی بایستی گفت که بعد از گذشت ۸۰۰۰۰ ساعت کارکرد در دمای بالا و تحت تنش کششی ثابت خواص مکانیکی بخصوص استحکام تسلیم و استحکام نهایی در این قطعه بهشدت کاهش یافته است.

۳–۴– تخمین عمر خزشی باقیمانده پره
با توجه به اینکه اصلیترین مکانیزم تخریب پرههای توربین پدیده خزش است، جهت بدست آوردن استحکام خزشی این پرهها، بر روی سه نمونه آزمون تنش-گسیختگی در شرایط تنشی و دمایی مختلف انجام گرفت. منحنی خزشی این پره در شکل (۷) نشان داده شده است. برای تحلیل نتایج خزش و بدست آوردن عمر خزشی از رابطه لارسون میلر استفاده گردید. بر اساس این رابطه داریم:

$$P=T (logt+C)$$
(1)

که در آن P پارامتر لارسون- میلر، T دما برحسب کلوین، t زمان گسیختگی بر حسب ساعت و C ثابت لارسون- میلر که برای سوپرآلیاژهای پایه نیکل حدود ۲۰ است. در جدول (۲) خواص تنش- گسیختگی این پره آورده شده است. همچنین مقایسه یبین پارامتر لارسون میلر پره کارکرده HP با آلیاژ IN792 در شکل (۷) رسم گردیده است. همان طور که مشخص است در اثر کارکرد به مدت ۸۰۰۰۰ ساعت استحکام خزشی پره نسبت به استحکام خزشی گزارش شده برای آلیاژ IN 792 حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است. به عبارت دیگر در یک تنش ثابت مقادیر پارامتر لارسون میلر برای نمونههای تست شده ۲۰ درصد کمتر از آلیاژ IN 792 کار نکرده است.



شکل۵- کانتور تنش الف) معیار ون میسز و ب) معیار ترسکا



شکل ۶- ضریب اطمینان a) ون میسز و b) ترسکا



شکل۷ – منحنی تنش- گسیختگی پره در الف) دمای ℃۹۵۰ و تنش ۳۰۰MPa، ب) دمای ℃۹۷۰ و **شکل۷** – منحنی ۳۰۰MPa و تنش MPa و ج) در دمای ℃۹۸۲ و تنش ۱۵۲ MPa

بیشترین تنش بر روی پره مطابق با معیار ترسکا ۵۰۶ MPa است. با تقریب قابل قبولی میتوان رابطه تنش بر حسب پارامتر لارسون میلر را خطی در نظر گرفت. با در نظر گرفتن تنش ۵۰۶ MPa در رابطه شکل (۸) مقدار P، ۲۲۶۴۵ خواهد بود که با لحاظ کردن دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد میتوان گفت عمر کاری این پره با توجه به مود غالب شکست آن به پایان رسیده است.

در صورتی که دمای پره ۸۵۰ درجه سانتیگراد باشد، در این صورت مقدار t حدود ۱/۴۶ ساعت بدست خواهد آمد که زمان بسیار کمی است. بنابراین بر اساس این معیار میتوان دریافت که عمرکاری پره به پایان رسیده است. در صورتی که از معیار ون میسز برای تخمین عمر باقیمانده استفاده شود، بیشترین تنش روی قطعه ۴۶۰ مگاپاسکال است که در این صورت مقدار پارامتر لارسون میلر ۲۳۲۲۶ خواهد بود که در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد میتوان گفت عمر کاری این پره به پایان رسیده است و با فرض دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد، عمر باقیمانده آن ۸/۴ ساعت خواهد بود. که بازهم زمان بسیار محدودی است. بنابراین مطابق با هر دو معیار عمر کاری پره به پایان رسیده است. دلیل اتمام عمر کاری پرهها، پدیده Rafting بدلیل کارکرد در دمای بالا، نفوذ عناصر آلیاژی و تشکیل فازهای مخرب است.

جدول ۲ – خواص خزشی پره

T (°C)	Stress (MPa)	Time (h)	P*10³
960	300	3.07	25.26
970	185	27	26.64
982	152	43.8	27.17



شکل۸ – گراف لارسون میلر برای آلیاژ IN 792 کار نکرده و پره کارکرده (HP)

- مگاپاسکال بدست آمد. همچنین ضریب اطمینان پره در ناحیه حداکثر تنش ون میسز و ترسکا، نسبت به استحکام تسلیم به ترتیب ۸۲/۰و ۰/۷۹ می باشد.
- ۳- در اثر کارکرد به مدت ۸۰۰۰۰ ساعت، استحکام خزشی پره نسبت به استحکام خزشی گزارش شده برای آلیاژ IN 792 حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است. مطابق با هر دو معیار ترسکا و ون میسز عمر کاری پره در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد به پایان رسیده است. اگر دما ۸۵۰ درجه فرض شود، در این صورت عمر این قطعه کمتر از ۵ ساعت است.

مراجع

- [1] Carter, T.J., "Common Failures in Gas Turbine Blades", Journal of Engineering Failure Analysis, Vol. 12, pp. 237–247, (2005).
- [2] Mazur, Z., Luna-Ramirez, A., Juarez-Islas, J.A., and Campos-Amezcua, A., "Failure Analysis of a Gas Turbine Blade made of Inconel 738LC Alloy", Journal of Engineering Failure Analysis, Vol. 12, pp. 474–486, (2005).
- [3] Pollock, T. M., "Nickel-based Superalloys for Advanced Turbine Engines: Chemistry, Microstructure, and Properties", Journal of Propulsion and Power, Vol. 22, No. 2, pp. 361-374, (2006).
- [4] ASM Metals Handbook, Vol. 1, pp. 1478-1571, ASM International, USA, (2005).
- [5] Liburdi, J., Douglas, P., Nagy, D., De Priamus, T.R., and Shaw, S., "Practical Experience with the Development of Superalloy Rejuvenation", Gas Turbine Technical Congress & Exposition, Orlando, Florida, USA, June 8-12, (2009).
- [6] Kamaraj, M., "Rafting in Single Crystal Nickel-base Superalloys–An Overview", Sadhana Vol. 28, pp. 115–128, (2003).
- [7] Dedekind, M.O., "Implementation of Creep-fatigue Model into Finite Eement Code to Assess Cooled Turbine Blade", International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 59, pp. 13-19, (1994).

- [8] Marahleh, G., Kheder, A.R.I., and Hamad, H.F., "Creep Life Prediction of Serviceexposed Turbine Blades", Materials Science and Engineering A, Vol. 433, pp. 305–309, (2006).
- [9] Sajjadi, S.A., Nategh, S., and Roderick, I.L., "Guthrie Study of Microstructure and Mechanical Properties of High Performance Ni-base Superalloy GTD-111", Materials Science and Engineering A, Vol. 325, pp. 484–489, (2002).
- [10] ASTM Standards Handbook, ASTM E21, ASTM International, USA, (2013).
- [11] ASTM Standards Handbook, ASTM E139, ASTM International, USA, (2013).

Abstract

During the operation, the turbine blades of hot gas path suffer service induced degradation due to different causes such as creep, fatigue, oxidation, corrosion and etc. The present study was carried out the effect of long-term service at the high temperature exposure to remaining life assessment gas turbine blade made of Inconel 792 nickel base superalloy. That is investigated by studying on microstructure by optical and scanning electron microscopy, mechanical properties such as high temperature tensile and stress-rupture test and stress analyses of turbine blade. The result has been shown the gamma prime rafting and TCP phase formation has occurred at the microstructure. Because of long-term service at high temperature, stress- rupture properties of blade reduced and 20% lower than new IN 792 alloys. The stress analyses with ANSYS software and creep life assessment results by use Larson-miller parameter, the safety factor of blade lower than 1 and life time of turbine blade is finished.