

مکانیزم‌های فرسایش و زوال در توربین‌های گازی

حاجه فریادین
حسین محمد سریدی و همکاران
سعید محسنی

انتشارات قلم همت



میرشدله	: فروتن، حامد، ۱۳۴۶ -
عنوان و نام پندآور	: مکانیزم‌های فرسایش و زوال در توربین‌های گازی / حامد فروتن ، سعید محسنی ، حسین محمدکریمی‌یزدی .
موضوعات نشر	: تهران: قلم همت ، ۱۳۹۵ .
موضوعات ظاهری	: ۲۴۸ ص: مصور (رنگی) ، جدول (رنگی) .
شابک	: 978-600-6602-36-3
وضعیت فهرست نویسی	: قیفا
ولادئات	: عنوان به انگلیسی: Mechanisms of erosion and destruction in gas turbines.
موضوع	: توربین‌های گازی - خوردگی
موضوع	: Gas-turbines -- Corrosion
موضوع	: سوپر آلیاژها
موضوع	: Chromium-cobalt-nickel-molybdenum alloys
موضوع	: آلیاژها - فرسودگی
موضوع	: Alloys -- Deterioration
موضوع	: توربین‌های گازی - نگهداری و تعمیر
موضوع	: Gas-turbines -- Maintenance and repair
موضوع	: - کنترل
موضوع	: Corrosion control industry
شماره افزوده	: مصد سعید، ۱۳۵۳ -
شماره افزوده	: محمدکریمی‌یزدی، حسین، ۱۳۴۹ -
رده بندی کنگره	: ۶۷۸/۱۳۹۵
رده بندی دیویی	: ۶۷۸/۲۳۳
شماره کاتالوگی ملی	: ۱۲۵۴۰



عنوان کتاب: مکانیزم‌های فرسایش و زوال در توربین‌های گازی

ناشر: انتشارات قلم همت

مؤلفین: حامد فروتن ، حسین محمدکریمی‌یزدی ، سعید محسنی

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۱۰۰

قیمت: ۳۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۶۰۲-۳۶-۳

مرکز پخش: تهران - خیابان کارگر - جنوبی - خیابان روانمهر، بن بست دولتشاهی پلاک ۱ واحد ۲ تلفن:

۰۹۱۲۶۲۳۶۳۹ و ۰۹۱۲۶۱۸۷۱۵۴ همراه: ۶۶۹۶۳۷۹۹

تمام حقوق مادی و معنوی این اثر به انتشارات قلم همت تعلق دارد

پیشگفتار

همزمان با شناخت و توسعه مواد جدید در اواخر دهه ۵۰ میلادی، انقلابی شگرف در زمینه صنعت و فناوری به وجود آمد که دانشمندان از آن به عنوان انقلاب صنعتی دوم یاد می‌کنند. این جهش در بسیاری از بخش‌ها از جمله فناوری توربین جت و ریزپردازنده‌های الکترونیکی بسیار وسیع‌تر از سایر امور بود. با گسترش روزافزون استفاده از فناوری موتورهای توربینی تقاضا برای بالا بردن راندمان این موتورها در حال افزایش بوده و هم‌اکنون نیروی یکی از دستگاه‌های سازنده‌های این موتورها محسوب می‌شود.

شرایط عملکردی موتورهای توربینی نمونه‌ای است که در معرض بیشترین و شدیدترین آسیب‌های ناشی از محیط و تغییرات ساختاری متالورژیکی می‌باشد؛ از اینرو شناسایی عوامل مخرب و همچنین راه‌های کم‌کردن اثرات این عوامل می‌تواند کمک مؤثری در ارتقاء توان و بازدهی موتورهای جت نماید. در مجموعه‌ای که پیش روی شما است تلاش شده است با نگاهی اجمالی و البته صنعتی، رفتار مواد در محیط توربین‌های گازی را مورد بررسی قرار دهد و در ادامه، موانعی را که سبب فرسایش و زوال قطعات موتورهای توربینی را تشریح نماید.

امید است محققین و پویندگان علم با خواندن این کتاب ما را از نظرات و پیشنهادات ارزشمند خود بهره‌مند نمایند.

حامد فروتن

حسین محمدکریمی‌یزدی

سعید محسنی

✓ چکیده:

سوپرآلیاژها مورد استفاده در موتورهای توربینی، آلیاژهای مقاوم در دماهای بالا و در برابر اکسیداسیون، خوردگی داغ و سایش هستند. همین خواص ویژه سوپرآلیاژها باعث شده تا کاربردی در این شرایط داشته باشند. پره های توربین را عمدتاً از سوپر آلیاژهای پایه نیکل ساخته می شوند و به لحاظ شرایط حاد کاری پوشش داده می شوند. پوشش ها با تشکیل یک لایه محافظ در سطح خود قطعه را در برابر حملات محیطی محافظت می کنند و همچنین نقش عایق حرارتی و کاهش دمای موثر در سطح قطعه را ایفا می کند.

در این اثر سعی شده است که دلایل شکست که بر اثر خوردگی و سایش پدید می آیند را مورد بررسی قرار داده شود. به همین منظور، روی آلیاژهای مورد استفاده در موتورهای توربینی بررسی اجمالی قرار گرفت و ساختار آنها، ده ای کاری و شرایط محیطی این آلیاژها مورد بررسی قرار گرفت. سوپرآلیاژهای پایه نیکل و کربن و یتانیم، امروزه کاربرد وسیعی در صنعت هوایی دارند. تحقیقات گسترده ای بر روی این آلیاژها صورت گرفته است که دمای کاری آنها در موتورهای توربینی، تقریباً ۶۰۰ الی ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد باشد. به همین منظور خوردگی داغ، اکسیداسیون و سایش سوپر آلیاژهای مورد استفاده در موتورهای توربینی مورد تحقیق قرار گرفت. سپس پوشش های مقاوم بر خوردگی داغ، اکسیداسیون و سایش، بررسی نمودیم و نیز دلایل شکست و مکانیزم های شکست و خوردگی توأم با تنش را در سوپر آلیاژهای توربینی مورد نقد و بررسی قرار دادیم و در آخر برای بدست آوردن دلایل شکست و خوردگی در سوپرآلیاژهای مورد استفاده در صنایع هوایی روی قطعات موتور که شکست و خوردگی صورت گرفته، را مورد بررسی قرار داده ایم.

فهرست مطالب

۱۹	فصل ۱ مقدمه
۲۰	۱-۱. مقدمه
۲۲	فصل ۲ موتورهای توربینی
۲۳	۱-۲. مقدمه
۲۵	فصل ۳ سوپرآلیاژهای مورد استفاده در موتورهای توربینی
۲۶	۱-۳. مقدمه
۲۷	۲-۳. سوپرآلیاژهای پایه نیکل و خواص آنها
۲۷	۱-۲-۳. نقش عناصر موجود در سوپرآلیاژهای پایه نیکل
۲۷	۱-۱-۲-۳. عناصر محلول
۲۸	۲-۱-۲-۳. عناصر تشکیل دهنده فاز γ'
۲۸	۳-۱-۲-۳. عناصر تشکیل دهنده کربیدها
۲۸	۴-۱-۲-۳. عناصر تشکیل دهنده اکسیدها و حافظ
۲۸	۵-۱-۲-۳. عناصر اصلاح کننده مرزدانه
۳۰	۲-۲-۳. کاربرد سوپرآلیاژ
۳۱	۳-۲-۳. ساختار سوپرآلیاژها
۳۳	۱-۳-۲-۳. فازها اصلی سوپرآلیاژهای پایه نیکل
۳۵	۲-۳-۲-۳. سایر فازها سوپرآلیاژهای پایه نیکل
۳۸	۳-۳-۲-۳. ویژگی سوپرآلیاژهای پایه نیکل
۴۱	۴-۳-۲-۳. دمای کاری سوپرآلیاژهای پایه نیکل
۴۳	فصل ۴ خوردگی داغ و اکسیداسیون
۴۴	۱-۴. مقدمه
۴۵	۲-۴. انواع خوردگی داغ
۴۵	۱-۲-۴. خوردگی داغ دمای بالا (نوع I)
۴۶	۲-۲-۴. خوردگی داغ دمای پایین (نوع II)
۴۶	۳-۴. مکانیزم خوردگی داغ
۴۷	۱-۳-۴. مرحله شروع خوردگی داغ
۴۸	۱-۱-۳-۴. ترکیب آلیاژ
۴۸	۲-۱-۳-۴. درجه حرارت
۴۸	۳-۱-۳-۴. ترکیب گاز

۴۹	۴-۳-۱. ترکیب نمک و سرعت رسوب کردن
۵۰	۴-۳-۲. مرحله رشد خوردگی داغ
۵۱	۴-۳-۱. فلاکس شدن (Fluxing)
۵۳	۴-۳-۲. فلاکسینگ بازی
۵۷	۴-۳-۲. فلاکسینگ اسیدی
۵۷	۴-۳-۲. فلاکسینگ اسیدی ناشی از فاز گازی
۵۹	۴-۳-۲. فلاکسینگ اسیدی ناشی از آلیاژ
۶۰	۴-۳-۲. اثر گوگرد یا سولفیداسیون
۶۱	۴-۳-۲. اثر کلر
۶۲	۴-۳-۲. اثر نایتر. ناصر آلیاژی بر خواص خوردگی داغ سوپر آلیاژها
۶۲	۴-۳-۱. اثر کروم
۶۶	۴-۳-۱. اثر آلومینیم
۶۷	۴-۳-۱. اثر تیتانیم
۶۷	۴-۳-۱. اثر کربن
۶۸	۴-۳-۱. اثر ریز و نیتروژن
۶۸	۴-۳-۲. اثر عناصر دیرین در مولیبدن، نیکستن و وانادیم
۶۸	۴-۳-۲. مورفولوژی ساختار سوپر آلیاژهای پایه نیکل بعد از خوردگی داغ
۶۹	۴-۳-۱. خوردگی در درجه حرارت بالا (۱۰۰-۸۵۰)
۷۱	۴-۳-۲. مورفولوژی ساختار بعد از خوردگی در درجه حرارت های پایین

فصل ۵ پوشش های مقاوم در برابر خوردگی داغ و سایش

۷۳	۵-۱. مقدمه
۷۵	۵-۲. فرآیندهای پوشش دهی بر روی سوپر آلیاژها
۷۵	۵-۲-۱. پوشش های سد حرارتی
۷۹	۵-۲-۲. پوشش های ابتکاری
۸۰	۵-۲-۳. پوشش های روکشی
۸۲	۵-۲-۳-۱. رسوب فیزیکی بخار توسط پرتو الکترونی
۸۴	۵-۲-۳-۲. اسپری پلاسمایی
۸۷	۵-۲-۴. پوشش های نفوذی
۸۷	۵-۲-۴-۱. روش سماتاسیون بسترهای
۹۴	۵-۳. پوشش های نفوذی آلومینایدی بر روی سوپر آلیاژهای پایه نیکل
۹۷	۵-۳-۲. ایجاد پوشش های نفوذی آلومینایدی به روش CVD بر روی سوپر آلیاژهای پایه نیکل
۹۸	۵-۳-۳. پوشش های نفوذی آلومینایدی بهبود یافته توسط پلاتین
۱۰۰	$\beta-(Ni, Pt)Al$ رشد داخلی پوشش
۱۰۲	$\beta-(Ni, Pt)Al$ رشد خارجی پوشش های

۱۰۳	۴-۳-۵. اصول پوشش کروماینزینگ
۱۰۵	۱-۴-۳-۵. بررسی ترمودینامیک مکانیزم کروماینزینگ نیکل
۱۰۸	۲-۴-۳-۵. خواص و ساختار پوشش نفوذی کروم و رفتار آن بعد از خوردگی
۱۱۰	۵-۳-۵. پدیده پوستهای شدن اکسیدهای سطحی بعد از خوردگی داغ و یا اکسیداسیون سیکلی:
۱۱۳	۴-۵. سایش و مقاومت سایشی
۱۱۳	۱-۴-۵. مراحل سایش
۱۱۴	۵-۵. مقاومت سایشی
۱۱۴	۱-۵-۵. سایش قطعه
۱۱۵	۲-۵-۵. عوامل موثر بر سایش
۱۱۷	۶-۵. سایش خشک
۱۱۷	۱-۶-۵. الگویی سایشی
۱۲۳	۷-۵. انواع مکانیسم سایش
۱۲۳	۱-۷-۵. سایش خربانه
۱۲۵	۲-۷-۵. سایش چسبان
۱۲۷	۳-۷-۵. سایش خستگی مکانیکی
۱۳۴	۸-۵. تأثیر دانسته اتصالات عرضی بر سایش
۱۳۵	۱-۸-۵. تأثیر نوع ساینده
۱۳۶	۲-۸-۵. اصطکاک در بین قطعات
۱۳۶	۳-۸-۵. اصطکاک استاتیک و جنبشی

فصل ۶ مکانیزم های شکست

۱۳۹	۱-۶. تعریف شکست (Fracture)
۱۳۹	۲-۶. سطح شکست
۱۴۰	۳-۶. شکست در چند بلورها
۱۴۱	۴-۶. انواع شکست در آزمایش کشش
۱۴۵	۵-۶. استحکام تئوری مواد
۱۴۸	۶-۶. نواقص در جامدات
۱۴۸	۱-۶-۶. نواقص شبکه
۱۴۸	۲-۶-۶. نواقص ساخت
۱۴۸	۳-۶-۶. نواقص طراحی
۱۴۸	۴-۶-۶. نواقص مونتاژ
۱۴۹	۵-۶-۶. ریز ترک ها
۱۴۹	۱-۵-۶-۶. اثر ریز ترک ها
۱۵۰	۶-۶-۶. نواقص مربوط به جوشکاری
۱۵۰	۷-۶. تئوری گریفیت (Griffith) در مورد شکست ترد

۱۵۱	۱-۷-۶. تنوری Griffith
۱۵۵	۲-۷-۶. فاکتور تمرکز تنش
۱۵۷	۸-۶. تاثیر عوامل خارجی بر نوع شکست
۱۵۸	۹-۶. تاثیر منطقه تغییر شکل پلاستیک بر روی تمایل به شکست ترد یا نرم
۱۵۹	۱۰-۶. تاثیر منطقه مرکز تنش یا Notch بر نوع شکست
۱۵۹	۱۱-۶. جوانه زنی ترک
۱۶۰	۱۲-۶. جوانه زنی ترک در مواد ترد
۱۶۰	۱-۱۲-۶. مکانیزم آسیب سطحی
۱۶۲	۲-۱۲-۶. مکانیزم به وجود آمدن محل های تمرکز تنش در حین ساخت قطعات
۱۶۲	۱-۱۲-۶. مکانیزم تغییر در ترکیب شیمیایی برخی از مناطق
۱۶۲	۲-۶. مکانیزم اثرات گرمایی
۱۶۲	۱-۱۲-۶. مکانیزم تعویض یون ها
۱۶۳	۱۳-۶. جوانه زنی ترک در مواد نیمه ترد
۱۶۳	۱-۱۳-۶. الگوی تغییر به حاکم ها
۱۶۶	۲-۱۳-۶. مدل ترک ها با استیک
۱۶۶	۱۴-۶. جوانه زنی ترک در مواد نیمه ترد
۱۶۶	۱-۱۴-۶. جوانه زنی حفره ها
۱۶۸	۲-۱۴-۶. رشد و به هم پیوستن حفره ها
۱۶۹	۱۵-۶. اثر حالت تنش بر مورفولوژی حفره ها
۱۷۰	۱۶-۶. اثر عوامل مختلف بر کرنش لازم جهت جوانه زنی حفره
۱۷۰	۱-۱۶-۶. شکل ذرات
۱۷۱	۲-۱۶-۶. اندازه ذرات
۱۷۱	۳-۱۶-۶. درصد حجمی ذرات
۱۷۲	۱۷-۶. رشد ترک (آنالیز تنش در راس ترک)
۱۷۶	۱۸-۶. ضریب شدت تنش
۱۷۷	۱۹-۶. توزیع تنش در راس ترک (حالت P-strain)
۱۷۸	۲۰-۶. تغییرات چقرمگی شکست با ضخامت
۱۸۳	۲۱-۶. اثر عوامل مختلف بر روی دمای تبدیل
۱۸۳	۱-۲۱-۶. ضخامت
۱۸۴	۲-۲۱-۶. عناصر آلیاژی
۱۸۴	۳-۲۱-۶. جهت نمونه
۱۸۵	۴-۲۱-۶. اندازه دانه ها
۱۸۶	۲۲-۶. آزمایشات تعیین اندازه ترک
۱۸۶	۱-۲۲-۶. آغازگر ترک انفجاری
۱۸۷	۲-۲۲-۶. Drop weight test
۱۸۸	۳-۲۲-۶. Dynamic-tear test

۱۸۸	۴-۲۲-۶. آزمایش توقف ترک رابرتسون (Robertson Crack- arrest Test)
۱۸۹	۲۳-۶. بهبود چقرمگی شکست
۱۹۱	۱-۲۳-۶. طولانی کردن و منحرف کردن سیر ترک
۱۹۱	۲-۲۳-۶. چقرمگی ناشی از ریز ترک ها
۱۹۲	۳-۲۳-۶. پل زدن (چقرمگی رشته ای)
۱۹۳	۴-۲۳-۶. چقرمگی و ناهمسانی ساختاری
۱۹۳	۵-۲۳-۶. آلیاژهای غیر آهنی
۱۹۴	۶-۲۳-۶. کاهش تنش در محلهای تمرکز تنش (راس ترک)
۱۹۵	۶-۲۳-۶. کاربردها
۱۹۶	۷-۲۳-۶. کردن دانه ها
۱۹۷	۸-۲۳-۶. کردن درصد حجمی فاز دوم
۱۹۸	۲۴-۶. تردی های دالوزی
۲۰۱	۲-۲۴-۶. اثر دفر و شیمه‌ها بر روی دمای بازپخت
۲۰۲	۲-۲۴-۶. تردی تمپر (Temper Embrittlement)
۲۰۴	۲۵-۶. ترک های ناشی از محیط (Environmental Assisted Cracking)
۲۰۵	۲۶-۶. ترک های زیر بحرانی
۲۰۵	۲۷-۶. تردی هیدروژنی
۲۰۷	۱-۲۷-۶. رشد ترک نسبت به زمان در محیط های مختلف
۲۰۷	۲-۲۷-۶. تاثیر میزان شدت تنش اولیه بر نوع شکست

فصل ۷ خوردگی توام با تنش

۲۰۹	۱-۷. مقدمه
۲۱۰	۲-۷. شکل ترکها
۲۱۵	۳-۷. اثرات تنش
۲۲۰	۴-۷. زمان شکست
۲۲۳	۵-۷. فاکتورهای محیطی
۲۲۵	۶-۷. فاکتورهای متالورژیکی
۲۲۸	۷-۷. مکانیزم
۲۲۹	۸-۷. طبقه بندی مکانیزم ها
۲۳۱	1-8-7. مکانیزمهای متالورژیکی
۲۳۲	1-1-8-7. هم صفحه بودن نایجاییها
۲۳۲	2-1-8-7. پیر تنش و جدایش میکرونی
۲۳۲	3-1-8-7. جذب شدن
۲۳۳	۲-۸-۷. مکانیزمهای حل شدن
۲۳۳	1-2-8-7. تشدید حل شدن در اثر تنش

- ۲۳۳..... 1-2-8-7. تشکیل فیلم در دیواره ترکها.
- ۲۳۳..... 2-2-8-7. غنی شدن نسبت به عنصر نجیب
- ۲۳۳..... 3-2-8-7. ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش
- ۲۳۴..... 4-2-8-7. مهاجرت یون کلراید
- ۲۳۴..... 3-8-7. مکانیزمهای هیدروژن
- ۲۳۴..... 1-3-8-7. تشکیل هیدرید
- ۲۳۴..... ۲-۳-۸-۷. تردی هیدروژنی
- ۲۳۴..... 4-8-7. مکانیزمهای مکانیکی
- ۲۳۴..... 1-4-8-7. حفرههای تونلی و پارگی
- ۲۳۵..... 4-8-7. تاثیر گوه ناشی از محصولات خوردگی
- ۲۳۶..... ۹-۷. روشها- جلوگیری