

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی مهندسی مکانیک
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی
کاربردی

عنوان

بررسی تجربی توام خزش - خستگی سیکل کم فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L

استاد راهنما

دکتر فرید وکیلی تهامی

استاد مشاور

دکتر محمد زهساز

پژوهشگر

مهدی فاضل بخشایش

بهمن ماه سال ۱۳۹۰

”من لم یسکر المخلوق لم یسکر الخالق“

اکنون که خود را در مقام کسب موفقیتی می بینم بر خود لازم می دانم از:

استاد راهنمای محترم **جناب آقای دکتر وکیلی تهامی** بخاطر راهنمایی های ارزنده و همراهی های

صمیمانه و تلاش های بی دریغ در جهت به ثمر رسیدن این پژوهش؛

استاد مشاور محترم و ریاست محترم آزمایشگاه مقاومت مصالح **جناب آقای دکتر زهساز** بخاطر حمایت های

بی دریغ؛

جناب آقای دکتر سرخابی به خاطر همفکری های ارزنده؛

کارشناس محترم آزمایشگاه مقاومت مصالح **جناب آقای مهندس کریمانی** بخاطر همکاری های صمیمانه؛

جناب آقای مهندس مویدی بخاطر کمک های شایان؛

و تمامی دوستانی که در مراحل مختلف این تحقیق همراه و همفکر من بوده اند، **تقدیر و تشکر** نمایم.

مهدی فاضل بخشایش

نام خانوادگی دانشجو: فاضل بخشایش		نام: مهدی	
عنوان رساله: بررسی تجربی توام خزش-خستگی سیکل کم فولاد ضد زنگ ۳۰۴			
استاد راهنما: دکتر فرید و کیلی تهامی			
استاد مشاور: دکتر محمد زهساز			
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی مکانیک	گرایش: طراحی کاربردی	دانشگاه: تبریز
دانشکده: فنی مهندسی مکانیک		تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ۹۰	تعداد صفحه: ۱۰۵
کلید واژه ها: فولاد ضد زنگ CD ۳۰۴L، خزش، خزش - خستگی، Hold Time، صدمه (Damage)			
<p>چکیده:</p> <p>بسیاری از اجزا و قطعات مهندسی در نیروگاه ها و صنایع نفت و پتروشیمی، اغلب در شرایط دمای بالا و تحت بارهای مکانیکی به کار گرفته می شوند. در عمل دمایی که این اجزا در آن کار می کنند و همچنین مقدار بار مکانیکی که تحمل می کنند، با زمان تغییر می کند. بنابراین مکانیزم های گسیختگی مختلفی برای این اجزا ممکن است اتفاق بیافتد. صدمه خزش - خستگی که ناشی از تقابل توامان پدیده خزش و پدیده خستگی می باشد، یکی از عوامل مهم در محدود کردن عمر این قطعات مهندسی است. بنابراین تشخیص صحیح عمر قطعات، برای پیش گیری از واماندگی احتمالی آنها که می تواند عواقب خطرناکی داشته باشد، ضروری است. همچنین پیش بینی خیلی محافظه کارانه نیز باعث افزایش غیر ضروری هزینه های تولید و نگهداری این قطعات خواهد بود.</p> <p>در طی این پایان نامه ابتدا دستگاه تست خزش موجود در آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده فنی و مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز با طراحی، ساخت و نصب سیستم های جدید، تکمیل و بروز رسانی شده است. در چارچوب این پروژه کارشناسی ارشد هم اکنون این دستگاه به صورت الکترونیکی کنترل شده و پردازش و ثبت کلیه داده های دستگاه توسط کامپیوتر انجام می گیرد و امکان بررسی رفتار خزش و رفتار توام خزش و خستگی توسط دستگاه فراهم شده است.</p> <p>سپس با انجام یک سری آزمایش های تجربی، رفتار خزش و خزش - خستگی فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L تحت بارهای ثابت و متناوب، بررسی شده است. فولاد آستنیتی زنگ نزن CD ۳۰۴L به علت مقاومت بالایی که در دماهای بالا در مقابل پدیده خزش - خستگی دارد، به طور گسترده ای در نیروگاه ها و صنایع نفت و پتروشیمی به کار گرفته می شود. آزمایش ها در دمای ۶۸۷، ۷۱۷ و ۷۳۷ درجه سانتیگراد تحت بارهای ثابت و متناوب انجام شده اند. تاثیر بارهای متناوب و همچنین زمان نگهداری بار (Hold Time) بر روی رفتار مکانیکی ماده و مقدار صدمه ناشی از خستگی و صدمه ناشی از خزش برای این ماده بررسی شده است. نتایج، تقابل عمیق میان دو پدیده خزش و خستگی را در این آزمایش ها نشان می دهد؛ اگرچه صدمه خزش حتی در آزمایش های با زمان نگهداری بار خیلی کوتاه، به علت سطح دمای بالای آزمایش ها غالب بر صدمه ناشی از خستگی می باشد. همچنین در این آزمایش ها با افزایش زمان نگهداری بار، آهنگ کرنش خزشی افزایش یافته و در نتیجه عمر خزشی کاهش یافته است. نتایج بر افزایش آهنگ کرنش خزشی و کاهش عمر خزشی در بارهای متناوب، در مقایسه با آزمایش های با بار ثابت با همان تنش متوسط، تاکید می کنند.</p>			

فهرست عناوین

۱	(۱-۱) مقدمه
۲	(۲-۱) روند انجام پایاننامه
۳	فصل اول: پایه های نظری و پیشینه پژوهش
۴	(۱-۱) مقدمه
۴	(۲-۱) دیدگاه متالورژیکی پدیده خزش
۵	(۱-۲-۱) مکانیزمهای فیزیکی تغییر شکل خزشی
۶	(۲-۲-۱) نمودار مکانیزم های خزش
۸	(۳-۱) دیدگاه مکانیکی پدیده خزش
۱۲	(۱-۳-۱) گسیختگی خزشی
۱۳	(۴-۱) عوامل موثر در رفتار خزشی
۱۳	(۱-۴-۱) تنش
۱۳	(۲-۴-۱) درجه حرارات
۱۴	(۳-۴-۱) جنس
۱۴	(۴-۴-۱) پارامتر Damage
۱۵	(۵-۱) معادلات اساسی حاکم در تحلیل خزش تک محوری
۱۷	(۶-۱) معیارهای طراحی قطعات در اثر خزش
۱۷	(۱-۶-۱) معیار کرنشی
۱۸	(۲-۶-۱) معیار عمر خزشی
۲۱	(۷-۱) پدیده خزش در بار تناوبی
۲۱	(۱-۷-۱) مقدمه
۲۱	(۲-۷-۱) روش های تست خزش در بار تناوبی
۲۶	(۳-۷-۱) تعیین عمر خزش - خستگی
۳۲	(۸-۱) پیشینه تحقیق
۳۲	(۱-۸-۱) تاثیر آهنگ کرنش بر روی عمر خزش - خستگی مواد
۳۴	(۲-۸-۱) تاثیر رنج کرنش میانگین بر روی عمر خزش - خستگی مواد
۳۵	(۳-۸-۱) تاثیر زمان نگهداری بار ثابت و واهلش بر روی عمر خزش - خستگی مواد
۳۷	(۴-۸-۱) تاثیر تنش دامنه و میانگین بر روی عمر خزش - خستگی مواد
۴۰	(۵-۸-۱) تاثیر دما بر روی عمر خزش - خستگی مواد

۴۳	
	فصل دوم: مواد و روش ها
۴۴	۱-۲) معرفی ماده بکار رفته در تحقیق
۴۸	۲-۲) دستگاه های متداول در انجام آزمایشات خزش
۵۰	۱-۲-۲) آزمایش تنش ثابت
۵۳	۳-۲) مشخصات دستگاه تست خزش Amsler
۵۳	۱-۳-۲) توصیف دستگاه
۵۳	۲-۳-۲) کوره الکتریکی
۵۴	۳-۳-۲) منبع تغذیه اصلی و سیستم تنظیم
۵۵	۴-۳-۲) کنترل و اندازه گیری دما
۵۵	۵-۳-۲) سیستم اندازه گیری و ثبت
۵۵	۶-۳-۲) ابعاد نمونه
۵۶	۴-۲) نحوه بررسی میکروسکوپی نمونه ها
	۵-۲) طراحی و ساخت سیستم های جدید و نصب آنها بر روی دستگاه تست خزش
۵۸	آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تبریز
۵۸	۱-۵-۲) مقدمه
۵۹	۲-۵-۲) طراحی و ساخت سیستم اعمال بار متناوب
۵۹	۱-۲-۵-۲) طراحی، مونتاژ و ارائه نقشه های دو بعدی از قسمت مکانیکی سیستم
۶۱	۲-۲-۵-۲) ساخت قطعات طراحی شده و مونتاژ سیستم
۶۳	۳-۵-۲) اتوماسیون سیستم اعمال بار و تهیه نرم افزار جهت کنترل دیجیتالی دستگاه
۶۷	۴-۵-۲) کالیبراسیون دستگاه
۶۷	۱-۴-۵-۲) کالیبراسیون دما
۶۸	۲-۴-۵-۲) کالیبراسیون نیرو و موقعیت وزنه سیستم اعمال بار متناوب
۷۰	

فصل سوم: بحث و نتایج

۷۱	۱-۳) تست های خزش با بار ثابت
۸۲	۲-۳) تست های خزش در بار تناوبی
۹۲	۳-۳) بحث و بررسی آزمایش ها
۹۶	۴-۳) بررسی و محاسبه صدمه خزش - خستگی
۱۰۱	نتیجه گیری
۱۰۲	پیشنهاد برای ادامه کار
۱۰۳	منابع

فهرست جداول

- ۴۰ جدول ۱-۱) نتایج تست خزش در بار تناوبی برای $1/25Cr_0/5Mo$ در دماهای متفاوت تحت یک بارگذاری معین
- ۴۸ جدول ۱-۲) درصد مواد تشکیل دهنده آلیاژهای ۳۰۴ بر اساس استاندارد
- ۷۱ جدول ۱-۳) خصوصیات مکانیکی فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L
- ۷۲ جدول ۲-۳) نتایج آزمایش های خزش در بار ثابت برای فولاد ضدزنگ CD ۳۰۴L
- ۸۲ جدول ۳-۳) نتایج آزمایش های خزش در بار تناوبی برای فولاد ضدزنگ CD ۳۰۴L
- ۹۷ جدول ۳-۴) محاسبه صدمه خستگی برای آزمایش های با زمان نگهداری بار کوتاه (۲ ثانیه)
- ۹۷ جدول ۳-۵) محاسبه صدمه خزش برای آزمایش های با زمان نگهداری بار کوتاه (۲ ثانیه)

فهرست اشکال

- ۴ شکل ۱-۱) نمودار کرنش خزشی بر حسب زمان
- ۷ شکل ۲-۱) مکانیزم تغییر شکل برای یک نوع فولاد
- ۷ شکل ۳-۱) مکانیزم شکست برای فلز پلی کریستال FCC
- ۸ شکل ۴-۱) نمودار کرنش بر حسب زمان
- ۹ شکل ۵-۱) نرخ کرنش بر حسب زمان
- ۹ شکل ۶-۱) نمودار زمان ثابت برای یک نوع فولاد
- ۱۰ شکل ۷-۱) نمودار کرنش ثابت برای یک نوع فولاد
- ۱۱ شکل ۸-۱) نرخ کرنش مینیمم بر حسب تنش
- ۱۱ شکل ۹-۱) زمان شکست بر حسب تنش اولیه
- ۱۳ شکل ۱۰-۱) نرخ کرنش خزشی کمینه بر حسب دما
- ۱۳ شکل ۱۱-۱) تغییرات $\log \dot{\epsilon}$ بر حسب $\log \sigma$
- ۱۳ شکل ۱۲-۱) $\dot{\epsilon}_{min}$ بر حسب دما
- ۱۸ شکل ۱۳-۱) میله تحت بار ثابت
- ۲۰ شکل ۱۴-۱) لگاریتم تنش بر حسب لگاریتم زمان شکست
- ۲۱ شکل ۱۵-۱) منحنی خستگی برای یک ماده معین
- ۲۳ شکل ۱۶-۱) داده های مربوط به بارگذاری سیکل پیوسته برای فولاد ضد زنگ ۳۰۴ در دمای ۱۲۰۰ درجه فارنهایت
- شکل ۱۷-۱) داده های مربوط به بارگذاری واهلش (Relaxation) برای فولاد ضد زنگ ۳۰۴ در دمای ۱۲۰۰ درجه فارنهایت
- ۲۴
- ۲۵ شکل ۱۸-۱) داده های مربوط به بارگذاری تناوبی برای فولاد کم کربن با منگنز بالا
- ۲۷ شکل ۱۹-۱) صدمه خزش-خستگی تعیین شده توسط کد مخازن تحت فشار ASME
- ۲۸ شکل ۲۰-۱) تاریخچه اعمال کرنش
- ۲۹ شکل ۲۱-۱) رنج کرنش برای طراحی خستگی برای فولادهای ضد زنگ ۳۰۴ و ۳۱۶
- ۳۰ شکل ۲۲-۱) تنش تا شکست (مینیمم)
- ۳۲ شکل ۲۳-۱) تغییرات عمر تناوبی با آهنگ کرنش تحت فشار برای فولاد ضد زنگ ۳۱۶L(N)
- ۳۳ شکل ۲۴-۱) پاسخ تنش تناوبی به عنوان تابعی از آهنگ کرنش در دماهای مختلف
- ۳۴ شکل ۲۵-۱) سیکل های زده شده تا شکست به عنوان تابعی از بازه کرنش برای آلیاژ ۸۰۰H

- شکل ۱-۲۶) عمر خزش - خستگی آلیاژ ۶۱۷ در ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد به صورت تابعی از زمان نگهداری بار ثابت در کشش
۳۵
- شکل ۱-۲۷) واهلش تنش در طول زمان نگهداری بار ثابت کششی ۶۰ و ۱۸۰۰ ثانیه:
۳۶ (a) بازه کرنش ۰/۳٪ (b) بازه کرنش ۱٪
- شکل ۱-۲۸) تنش های پیک کششی و فشاری و ضریب تنش در رنج کرنش ۱٪ و ۶۰ ثانیه زمان نگهداری بار ثابت در کشش
۳۷
- شکل ۱-۲۹) تغییرات کرنش میانگین بر حسب سیکل های زده شده در تنش های مختلف برای فولاد ۱/۲۵Cr۰/۵Mo
۳۸
- شکل ۱-۳۰) تغییرات آهنگ کرنش میانگین بر حسب سیکل های زده شده در تنش های مختلف برای فولاد ۱/۲۵Cr۰/۵Mo
۳۸
- شکل ۱-۳۱) (a) دامنه کرنش تناوبی (b) کرنش میانگین تحت تنش های مینیمم مختلف در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد
۳۹
- شکل ۱-۳۲) (a) دامنه کرنش تناوبی (b) کرنش میانگین، در دماهای مختلف تحت یک بار گذاری معین
۴۰
- شکل ۲-۱) درصد کاربرد متداول فولادهای زنگ نزن
۴۴
- شکل ۲-۲) زیرشاخه های فولادهای زنگ نزن آستنیتی
۴۵
- شکل ۲-۳) زیرشاخه های فولاد های زنگ نزن فریتی
۴۶
- شکل ۲-۴) زیرشاخه های فولاد های زنگ نزن مارتنزیتی
۴۷
- شکل ۲-۵) دیاگرام شماتیک دستگاه بار گذاری اهرمی برای تست مواد تحت شرایط خزشی تا شکست
۴۹
- شکل ۲-۶) دیاگرام شماتیک یک دستگاه خزش دارای سیستم بادامکی برای ثابت نگه داشتن نیروی اعمالی
۵۱
- شکل ۲-۷) دیاگرام شماتیک نمونه خزش کششی دارای برآمدگی حلقوی ماشینکاری شده. الف) روی طول مقیاس موازی ب) روی لبه های توسعه یافته
۵۱
- شکل ۲-۸) دیاگرام شماتیک نشاندهنده یک اکستنسومتر
۵۲
- شکل ۲-۹) نمای کلی از دستگاه تست خزش برای تستهای استاندارد
۵۴
- شکل ۲-۱۰) نمونه استاندارد
۵۶
- شکل ۲-۱۱) نمونه کوتاه
۵۶
- شکل ۲-۱۲) مراحل مطالعه تجربی متالورژیکی نمونه ها
۵۷
- شکل ۲-۱۳) قطعات سیستم اعمال بار متناوب قبل از مونتاز
۶۰
- شکل ۲-۱۴) قطعات سیستم اعمال بار متناوب بعد از مونتاز و رفع ایرادات
۶۰
- شکل ۲-۱۵) نمونه ای از نقشه های دو بعدی قطعات سیستم اعمال بار متناوب
۶۱

- ۶۲ شکل ۲-۱۶) قطعات مونتاژ شده قسمت مکانیکی سیستم
- ۶۲ شکل ۲-۱۷) سیستم اعمال بار متناوب نصب شده بر روی دستگاه
- ۶۳ شکل ۲-۱۸) برد فرعی سیستم اعمال بار متناوب
- ۶۴ شکل ۲-۱۹) برد اصلی سیستم اعمال بار متناوب
- ۶۵ شکل ۲-۲۰) برخی قابلیت های نرم افزار تهیه شده برای دستگاه مجهز شده
- ۶۵ شکل ۲-۲۱) نمایش داده های دریافتی به صورت نمودار توسط نرم افزار
- ۶۶ شکل ۲-۲۲) تعیین فاصله زمانی و تعداد داده های ثبت شده در هر فایل مجزا
- ۶۶ شکل ۲-۲۳) دستگاه تست خزش مجهز به سیستم کنترل الکترونیکی و سیستم اعمال بار متناوب
- ۶۷ شکل ۲-۲۴) استفاده از چند ترموکوپل متفاوت برای کالیبراسیون دمای دستگاه
- ۶۸ شکل ۲-۲۵) نمودار مربوط به کالیبراسیون کنترلر TR۵۹۶
- ۶۸ شکل ۲-۲۶) نمودار کالیبراسیون سیستم کنترل دمای دستگاه
- ۶۹ شکل ۲-۲۷) کالیبراسیون نیروی اعمالی به نمونه توسط دستگاه نیروسنج
- شکل ۳-۱) توزیع فراوانی داده های دمای ثبت شده توسط کامپیوتر برای آزمایش شماره یک با دمای هدف ۷۳۷ درجه سانتیگراد
- ۷۳ شکل ۳-۲) نمودار خطای دمای اعمالی کوره نسبت به زمان برای آزمایش شماره یک با دمای هدف ۷۳۷ درجه سانتیگراد
- شکل ۳-۳) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۳۷ درجه سانتیگراد و تنش $86/5 \text{ MPa}$ برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش اول
- ۷۴ شکل ۳-۴) نقاط پراکندگی آهننگ کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۳۷ درجه سانتیگراد و تنش $86/5 \text{ MPa}$ برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L برای آزمایش اول
- شکل ۳-۵) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش 142 MPa برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش دوم
- ۷۵ شکل ۳-۶) توزیع فراوانی داده های دمای ثبت شده توسط کامپیوتر برای آزمایش سوم با دمای هدف ۷۱۷ درجه سانتیگراد
- ۷۶ شکل ۳-۷) نمودار خطای دمای اعمالی کوره نسبت به زمان برای آزمایش سوم با دمای هدف ۷۱۷ درجه سانتیگراد
- شکل ۳-۸) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش 112 MPa برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش سوم
- ۷۷

- شکل ۳-۹) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش ۸۶/۵ MPa برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش چهارم ۷۸
- شکل ۳-۱۰) نقاط پراکندگی آهنگ کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش ۸۶/۵ MPa برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L برای آزمایش چهارم ۷۸
- شکل ۳-۱۱) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش ۵۶/۵ MPa برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش پنجم ۷۹
- شکل ۳-۱۲) توزیع فراوانی داده های دمای ثبت شده توسط کامپیوتر برای آزمایش ششم با دمای هدف ۶۸۷ درجه سانتیگراد ۸۰
- شکل ۳-۱۳) نمودار خطای دمای اعمالی کوره نسبت به زمان برای آزمایش سوم با دمای هدف ۷۱۷ درجه سانتیگراد ۸۰
- شکل ۳-۱۴) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۶۸۷ درجه سانتیگراد و تنش ۱۴۲ MPa برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L شرایط آزمایش ششم ۸۱
- شکل ۳-۱۵) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۶۸۷ درجه سانتیگراد و تنش ۸۶/۵ MPa برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L شرایط آزمایش هفتم ۸۱
- شکل ۳-۱۶) شکل شماتیک تغییرات بار تناوبی بر حسب زمان ۸۳
- شکل ۳-۱۷) نمودار تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی ۱۴۲-۳۱ و ۸۴
- $t_h = 2s$ برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش هشتم ۸۴
- شکل ۳-۱۸) نقاط پراکندگی آهنگ کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی ۱۴۲-۳۱ و $t_h = 2s$ ، برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش هشتم ۸۴
- شکل ۳-۱۹) نمودار تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی ۱۱۲-۱ و $t_h = 2s$ برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش نهم ۸۵
- شکل ۳-۲۰) نقاط پراکندگی آهنگ کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی ۱۱۲-۱ و $t_h = 2s$ ، برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش نهم ۸۶
- شکل ۳-۲۱) نمودار تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی ۱۱۲-۱ و $t_h = 1800s$ ، برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L یا شرایط آزمایش دهم ۸۷
- شکل ۳-۲۲) نمودار تغییرات کرنش بر حسب تنش برای چند سیکل نمونه از آزمایش دهم در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی ۱۱۲-۱ و $t_h = 1800s$ ، برای فولاد زنگ نزن CD ۳۰۴L ۸۷

- شکل ۳-۲۳) نمودار تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی
 ۸۸ $t_h = 2700s$ و $1-112 MPa$ برای فولاد زنگ نزن $CD 304L$ یا شرایط آزمایش یازدهم
- شکل ۳-۲۴) نمودار تغییرات کرنش بر حسب تنش برای چند سیکل نمونه از آزمایش یازدهم در دمای ۷۱۷
 ۸۹ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی $1-112 MPa$ و $t_h = 2700s$ برای فولاد زنگ نزن $CD 304L$
- شکل ۳-۲۵) نمودار تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی
 ۹۰ $t_h = 3600s$ و $1-112 MPa$ برای فولاد زنگ نزن $CD 304L$ یا شرایط آزمایش دوازدهم
- شکل ۳-۲۶) نمودار تغییرات کرنش بر حسب تنش برای چند سیکل نمونه از آزمایش دوازدهم در دمای ۷۱۷
 ۹۰ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی $1-112 MPa$ و $t_h = 3600s$ برای فولاد زنگ نزن $CD 304L$
- شکل ۳-۲۷) نمودار تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد و تنش تناوبی
 ۹۱ $t_h = 3600s$ و $31-142 MPa$ برای فولاد زنگ نزن $CD 304L$ یا شرایط آزمایش سیزدهم
- شکل ۳-۲۸) نمودار تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان برای آزمایشات انجام شده با بار ثابت برای فولاد
 ۹۲ زنگ نزن $CD 304L$
- شکل ۳-۲۹) تغییرات نرخ کرنش خزشی پایدار $\dot{\epsilon}_{SS}$ برای آزمایشات ۱ تا ۷ به صورت لگاریتمی برای فولاد
 ۹۳ زنگ نزن
 $CD 304L$
- شکل ۳-۳۰) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان برای دو آزمایش با زمان نگهداری بار یکسان ۲۵ و بار
 ۹۴ تناوبی یکسان ۳۱ تا ۱۴۲ مگاپاسکال ولی در دو دمای متفاوت
- شکل ۳-۳۱) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان برای آزمایش های خزش با بار متناوب در دمای ۷۱۷
 ۹۴ درجه سانتیگراد و t_h های مختلف برای فولاد زنگ نزن $CD 304L$
- شکل ۳-۳۲) تغییرات کرنش خزشی بر حسب زمان برای آزمایش های خزش با بار ثابت (تنش های میانگین
 ۹۵ و ماگزیمم) و خزش با بار متناوب در دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد برای فولاد زنگ نزن $CD 304L$
- شکل ۳-۳۳) تغییرات محدوده کرنش برای هر سیکل در سه آزمایش خزش در بار تناوبی با $t_h = 25s$ برای
 ۹۵ فولاد زنگ نزن $CD 304L$
- شکل ۳-۳۴) تصویر میکروگرافی سطح مقطع نمونه تحت آزمایش از جنس فولاد زنگ نزن $CD 304L$ با
 ۹۹ تنش ثابت اعمالی ۵۶/۵ مگاپاسکال و دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد پس از رسیدن به ۱٪ کرنش خزشی
- شکل ۳-۳۵) تصویر میکروگرافی سطح مقطع نمونه تحت آزمایش از جنس فولاد زنگ نزن $CD 304L$ با
 ۱۰۰ تنش متناوب اعمالی ۱-۱۱۲ مگاپاسکال و دمای ۷۱۷ درجه سانتیگراد پس از رسیدن به ۳٪ کرنش خزشی

علائم

t_h	زمان نگهداری بار ثابت (Hold Time)
T_m	درجه حرارت ذوب
G	مدول برشی
ω	پارامتر صدمه
ϵ_C	کرنش خزشی
ϵ_E	کرنش الاستیک
n	ثابت وابسته به جنس ماده
m	ثابت وابسته به جنس ماده
t_r, t_R	زمان گسیختگی خزشی
N_j	تعداد سیکل های زده شده توسط نمونه تحت آزمایش
N_{fj}	تعداد سیکل های زده شده تا زمان گسیختگی
D	مقدار مجاز مجموع صدمه خزش و خستگی قبل از گسیختگی
E	مدول الاستیسیته
ϵ_{ij}	مقدار کرنش هر نقطه از سازه
σ_{ij}	مقدار تنش هر نقطه از سازه
$\Delta \bar{\epsilon}$	بازه کرنش معادل در هر نقطه از سازه
σ_e	تنش موثر در هر نقطه از سازه
K	فاکتور ایمنی
S_{CR}	تنش گسیختگی خزشی
$(S_e)_T$	حد تحمل ماده در دمای بالا
$(S_u)_T$	استحکام نهایی ماده در دمای بالا
S_y	تنش تسلیم
$t_{creep strain=C\%}$	زمان رسیدن کرنش خزشی به C%
t_i	زمان افزایش بار
t_d	زمان کاهش بار
$\dot{\epsilon}_{ss}$	آهنگ کرنش خزشی حالت یکنواخت (steady state)
t_f	زمان رسیدن به کرنش ۱٪ در تنش ماگزیمم بازه تنش تناوبی موردنظر

مقدمه

مفهوم خزش مواد چیز جدیدی نیست. این پدیده در جریان یافتن توده های یخ، برف، صخره و خاک مشاهده می شود. خزش در مواد مختلف نوین مهندسی، مشتقات نفتی، سرامیک، بتن و البته فلزات می تواند اتفاق بیافتد. تمام قطعاتی که در درجه حرارت های بالا به کار برده می شوند از قبیل موتورهای احتراقی، دیگ های بخار، توربین های گازی، مخازن تحت فشار، راکتورهای هسته ای و همچنین موتورهای توربین-گاز هواپیما در معرض این پدیده قرار می گیرند.

اگر مدل مناسبی از رفتار ماده داشته باشیم قادر خواهیم بود تغییر شکل و تاریخچه تنش در یک قطعه تحت بارگذاری را پیش بینی کنیم. از اینرو آزمایش خزش و به دست آوردن تجربی داده های مورد نیاز به منظور طراحی چنین قطعاتی دارای اهمیت فراوانی می باشد. بررسی رفتار مکانیکی مواد می تواند بر پایه مشاهدات تجربی مختلفی انجام گیرد. پژوهش های مهندسی مربوط می شود به بررسی تنش- کرنش سازه ها و اغلب بر پایه آزمایشات مکانیکی استاندارد انجام می گیرد.

برای اغلب کاربردهای صنعتی خزش معمولاً در فولادها در زیر دمای 300°C و در آلیاژهای پایه نیکل دمای بالا در پاینتر از 500°C از اهمیت چندانی برخوردار نیست. در حالی که در آلیاژهای آلومینیوم در 100°C و در پلیمرها در دمای معمول محیط قابل توجه است.

اگر خزش در ماده ای اتفاق بیافتد، برای پرهیز از اعوجاج زیاد یا گسیختگی هنگام کارکرد آن ماده، طراحی باید برای طول عمر مشخصی صورت گیرد. برای این کار باید بتوانیم تنش ها را در سازه های تحت خزش تحلیل کنیم. به عنوان مثال یک بویلر نیروگاه، تولید بخار داغ بین 565°C - 538°C را برای یک توربین- ژنراتور به عهده دارد. معمولاً باید قطعات اصلی در محدوده خزش طوری طراحی شوند که در مدت عمر نیروگاه دچار شکست نشوند.

حالت های شکست سازه ای برای بارگذاری های یکنواخت و بارگذاری های تناوبی متفاوت می باشد. لذا باید رفتار خزشی و رفتار خزش- خستگی توامان مواد مختلف جهت پیش بینی تغییر شکل و عمر قطعه، به صورت جداگانه مورد بررسی قرار بگیرند [۱].

در طی انجام این پژوهش ابتدا دستگاه آزمایش خزش موجود در آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تبریز تجهیز شده و سیستم اعمال بار متناوب بر روی آن نصب شده است. پس از تجهیز دستگاه، رفتار خزش و خزش- بار تناوبی فولاد زنگ نزن ۳۰۴ با استفاده از نتایج تجربی حاصل از آزمایشات، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. آزمایشات به تعداد ۱۳ عدد بوده و در دماها، تنش ها و t_H (زمان نگهداری بار) های متفاوت انجام گرفته است. پس از بررسی، مقایسه و آنالیز داده ها، در پایان نتایج به صورت توضیحات، نمودارها و جداول مربوطه با ادبیات فنی ارائه شده است.

فصل اول

پایه های نظری و پیشینه

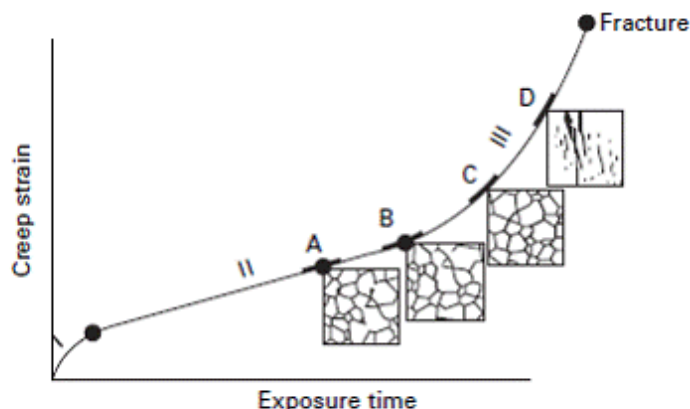
پژوهش

۱-۱) مقدمه

چنانچه اعمال تنش در فلزات در درجه حرارت های پایین تر از حدود T_m (T_m درجه حرارت ذوب)، انجام گیرد تاثیر زمان بر روی حد تسلیم و استحکام کششی عملاً چندان قابل توجه نیست و می تواند صرف نظر شود. در صورتیکه در درجه حرارت های بالا این تاثیر زیاد بوده و قابل اغماض نیست. بنا بر این چنانچه نمونه ای در درجه حرارت های بالا تحت تاثیر تنش کششی ثابتی قرار گیرد، اگر چه تنش کمتر از حد تسلیم باشد، پس از گذشت مدت زمانی تغییر شکل دائمی در آن ایجاد می شود. بدین ترتیب که نمونه به طور پیوسته تا موقع شکست ازدیاد طول می یابد. این پدیده خزش (Creep) نام دارد. به عبارت دیگر، به تغییر شکل پلاستیکی ایجاد شده در جسم تحت تنش، نسبت به زمان، خزش گفته می شود [۲].

۱-۲) دیدگاه متالورژیکی پدیده خزش

خزش مانند نفوذ یک پدیده فعال شونده در اثر بالا رفتن درجه حرارت است. بدین ترتیب که ازدیاد درجه حرارت باعث افزایش سرعت خزش خواهد شد. فعل و انفعالات اصلی که در اثر انرژی حرارتی انجام می گیرد عبارتند از: افزایش تحرک نابجاییها از طریق بالا رفتن یا صعود نابجاییها از موانع، حرکت عرضی نابجاییها در جهت عمود بر صفحه لغزش، لغزش مرز دانه ها بر روی یکدیگر و همچنین ازدیاد سیستم های لغزشی در درجه حرارت های بالا. بدون انرژی محرکه حرارتی، نابجاییها فقط در جهت بردار برگرز حرکت می کنند ولی در خزش حرکت به صورت بالا رفتن در جهت عمود بر بردار برگرز است. بدین جهت تغییر شکل در درجه حرارت های بالا به ازای تنش های بسیار کم صورت می گیرد.



شکل ۱-۱) نمودار کرنش خزشی بر حسب زمان [۳]

در صورتی که در درجه حرارت های پایین در اثر بالا رفتن سختی به علت وجود مرزدانه ها و افزایش زیاد چگالی نابجاییها و تلاقی بیشتر آنها (سختی تغییر شکل)، تغییر شکل پلاستیکی از حد معینی به بعد نمی تواند ادامه پیدا کند. شرط انجام خزش با سرعت ثابت این است که در حین آزمایش، چگالی نابجایی و اندازه دانه ها در نمونه ثابت بماند که این پدیده عموماً در قسمت دوم خزش برقرار است. با بالا رفتن درجه حرارت نقش مرزدانه ها برعکس می شود، به طوری که با ازدیاد مرزدانه ها مقاومت خزش کاهش می یابد. [۲].

مرحله اول خزش مرحله ای است که تغییر شکل پلاستیکی در آن بعد از وارد آمدن بار پس از تغییر شکل الاستیکی، که مقدار آن به تنش و مدول الاستیکی در دمای بالا بستگی دارد، در مدت زمان کوتاهی در نقاطی که تحت تاثیر تنش بیشتری قرار گرفته اند (برای مثال حرکت عیوب کریستالی در داخل کریستال یا در مرزدانه ها)، صورت می گیرد. در این مرحله در دماهای پایینتر از دمای تبلور مجدد سختی کرنشی (کار سختی) ایجاد شده - به دلیل کوتاه بودن مدت زمانی که در آن تغییر شکل پلاستیکی انجام گرفته - بر فعل و انفعالات نفوذ و پدیده بازیابی غلبه داشته و از این رو سرعت تغییر شکل در ابتدا با گذشت زمان کاهش می یابد.

در مرحله دوم خزش سرعت افزایش مقاومت تغییر شکل به دلیل پدیده سختی ناشی از قفل شدن نابجاییها در تغییر شکل (کار سختی) و سرعت کاهش آن به دلیل انجام فعل و انفعال نفوذ با گذشت

بیشتر زمان و صعود و گذشتن نابجاییها از موانع برابر است. البته شیب منحنی در این مرحله به درجه حرارت و تنش وارده بستگی خواهد داشت.

در مرحله سوم خزش سرعت خزش تا نقطه شکست افزایش می یابد. دلیل افزایش سرعت خزش در این قسمت نازک شدن موضعی (ایجاد گلویی) در نمونه و همچنین ایجاد حفره ها و ترکهای بسیار ریز و پیوستن آنها به یکدیگر و گسترش آنها در مرزدانه ها و افزایش عیوب جای خالی و در نتیجه بالا رفتن تنش (در آزمایش با نیروی ثابت) است. همچنین این مرحله می تواند با پدیده های متالورژیکی دیگری مانند پدیده تبلور مجدد و یا رشد ذرات رسوب و یا تغییراتی در فازهای موجود در نتیجه فعال تر شدن فعل و انفعال نفوذ همراه باشد که تمامی این پدیده ها می توانند به افزایش سرعت تغییر شکل تا ظاهر گشتن شکست کمک کنند [۲].

۱-۲-۱) مکانیزمهای فیزیکی تغییر شکل خزشی

برای تغییر شکل خزشی می توان مکانیزم هایی را بر اساس جابه جایی حفره ها تعریف کرد. معمولاً برای مدلسازی خزش به شناخت این پدیده با استفاده از تشریح رفتار ماده بر اساس مشاهدات ماکروسکوپی که در مکانیک و تحلیلهای تنش معمول است، پرداخته می شود. دو مکانیزم عمده در پدیده خزش رخ می دهد که یکی خزش ناشی از حرکت نابجایی ها (Dislocation Creep) و دیگری خزش نفوذی (Diffusional Creep) می باشد.

۱) خزش نفوذی: در این نوع تغییر شکل خزشی، حفره ها به صورت تک تک جابه جا می شوند و در مرزدانه ها ایجاد ترک می کنند. بدلیل حرکت فضای خالی آنها (جریان نفوذی) از یک منطقه تحت فشار به یک منطقه تحت کشش، این نوع تغییر شکل خزشی به وجود خواهد آمد. خزش نفوذی، در تنشهای پایین رابطه خطی با تنش دارد. این نوع تغییر شکل در دما و تنش های پایین نیز می تواند رخ دهد.

۲) خزش ناشی از حرکت نابجاییها: در این نوع تغییر شکل خزشی، نابه جایی ها جابه جا می شوند، یعنی نابجاییهای موجود در ساختار شبکه کریستال مواد ممکن است با غلبه بر مقاومت طبیعی کریستال و سایر موانع موجود که مانع حرکت آن ها و پدیده خزش می شوند در داخل شبکه به حرکت