به نام خدا

پایگاه علوم و مهندسی محاسباتی

سابروتین خزش برای محاسبه‌ی کرنش‌های خزشی و خرابی‌های ناشی از آن

نسخه: ۱/۰

توسعه دهنده (گان):	محمد رضا هرمزی: مهندسی مکانیک، دکتری	
	نام و نام خانوادگی: تحصیلات ، رتبه علمی	
	نام و نام خانوادگی: تحصیلات ، رتبه علمی	
مترجم:	سید امیر صاحب الزمانی	
تاریخ تنظیم سند:	روز / ماه/ سال	

فهرست مطالب

چکیده ۵

فصل ۱: راهنمای کاربر ۶

۱-۱. تعریف پارامترهای اولیه ۶

۱-۲. معرفی ورودی‌ها و خروجی‌ها ۷

۱-۲-۱. ورودی‌ها ۷

۱-۲-۲. خروجی‌ها ۸

۱-۳. الزامات اجرای برنامه ۸

فصل ۲: مستندات علمی ۹

۲-۱. مکانیزم خزش ۹

۲-۱-۱. تغییر شکل خزشی- تنش‌های تک محوره ۹

۲-۱-۲. قوانین سخت شدگی خزشی ۱۳

۲-۲. مدلهای خرابی خزشی ۱۷

۲-۲-۱. تغییر شکل خزشی- تنش‌های چند محوره (Cocks and Ashby) ۱۷

۲-۲-۲. تغییر شکل خزشی (Rice and Tracey) ۱۸

فصل ۳: اعتبار سنجی برنامه ۱۹

۳-۱. مقدمه ۱۹

۳-۲. تست‌های LCF با زمان وقفه (خزش) ۲۰

۳-۳. نتایج آزمایشگاهی ۲۱

۳-۴. مدلسازی‌های FE ۲۳

۳-۵. مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و FE ۲۵

۳-۵-۱. استهلاک تنش ۲۵

۳-۵-۲. مدلسازی خرابی با FE ۳۰

نتیجه‌گیری ۳۴

مراجع ۳۵

فهرست اشکال

شکل (۱) مکانیزم تغییر شکل تابع زمان، خزش ۱۰
شکل (۲) منحنی تغییر شکل خزشی به همراه پارامترهای آن ۱۰
شکل (۳) تغییر شکل خزشی- مرحله‌ی سوم- باریک شدگی [۲] ۱۱
شکل (۴) مقطع نمونه‌ی نمایش داده شده یک ناحیه‌ی تحت اثر گرما که ریز ساختار در طول جوشکاری تغییر می‌کند. ۱۳
شکل (۵) تجمیع کرنش خزشی براساس قوانین سخت شدگی زمانی و کرنش ۱۴
شکل (۶) هندسه‌ی نمونه‌ی تک محوری بکار رفته برای تست‌های LCF ۲۰
شکل (۷) موجشکل بارگذاری برای تست سکون (تست‌های با زمان وقفه) در محدوده‌ی کرنش $\Delta\varepsilon = \pm 0.8\%$ در دمای ۶۵۰ درجه‌ی سانتیگراد ۲۱
شکل (۸) استهلاک تنش چند چرخه‌ی اول تست‌های LCF با $f = 0.001Hz$ ۲۲
شکل (۹) پاسخ تنش چرخه‌ای برای $\Delta\varepsilon = 1.0\%$ در دمای درجه‌ی سانتیگراد با $f = 0.001Hz$ .. ۲۲
شکل (۱۰) هندسه‌ی متقارن مدل LCF/TMF بکار رفته در مدلسازی‌های FE ۲۴
شکل (۱۱) حلقه‌های پایدار شده‌ی ابتدایی آزمایشگاهی و FE برای تست‌های LCF در دما ۶۵۰ درجه‌ی سانتیگراد با $\Delta\varepsilon = \pm 0.4\%$ و $f = 0.001Hz$ ۲۶
شکل (۱۲) حلقه‌های پایدار شده‌ی ابتدایی آزمایشگاهی و FE برای تست‌های LCF در دمای ۶۵۰ درجه‌ی سانتیگراد با $\Delta\varepsilon = \pm 0.8\%$ و $f = 0.001Hz$ ۲۷
شکل (۱۳) حلقه‌های پایدار شده‌ی ابتدای آزمایشگاهی و FE برای تست‌های LCF در دمای ۶۵۰ درجه‌ی سانتیگراد با $\Delta\varepsilon = \pm 1.0\%$ و $f = 0.001Hz$ ۲۸
شکل (۱۴) استهلاک تنش حلقه‌های پایدار شده‌ی ابتدایی آزمایشگاهی و FE برای تست‌های LCF در دمای ۶۵۰ درجه‌ی سانتیگراد با $\Delta\varepsilon = \pm 0.8\%$ و $f = 0.001Hz$ ۲۹
شکل (۱۵) مکانیزم تکامل خرابی برای شرایط بارگذاری یکنواخت [۱۲] ۳۰
شکل (۱۶) خرابی‌های خزش- خستگی آزمایشگاهی و FE برای تست‌های LCF در دمای ۶۵۰ درجه‌ی سانتیگراد با $\Delta\varepsilon = \pm 0.4\%(a)$، $\Delta\varepsilon = \pm 0.8\%(b)$ و $f = 0.001Hz$ ۳۱
شکل (۱۷) تنش فون میسز ۳۲
شکل (۱۸) تنش فون میسز ۳۲
شکل (۱۹) خرابی خزشی- مدل Cocks and Ashby ۳۳
شکل (۲۰) خرابی خزشی- مدل Rice and Tracey ۳۳

فهرست جداول

جدول (۱) تعریف پارامترهای داخل برنامه ۶
جدول (۲) ثابت‌های خزش اولیه و ثانویه‌ی مصالح ۲۴

چکیده

در این گزارش، یک سابروتین خزش توسعه یافته و پیشنهاد شده است. مدل اساسی خزش بکار رفته برای پیش‌بینی رفتار مصالح براساس رابطه خزش MR-RCC می‌باشد که شامل هر دو رژیم خزش اولیه و ثانویه است. مدل‌های خرابی خزشی Tracey & Rice و Ashby & Cocks برای سنجش مکانیزم خرابی خزشی نیز در نظر گرفته شده‌اند. کاربرد این سابروتین نشان داده شده است و در جزئیات همراه با ورودی‌ها و خروجی‌هایش مورد بررسی قرار گرفته است تا اینکه راهنمایی‌های لازم برای کاربر فراهم آورده شود. در پایان، نتایج برنامه‌ی خزش در قیاس با نتایج آزمایش واقعی که روی ماده‌ی فولاد ضد زنگ نوع ۳۱۶ انجام شده است، سنجیده می‌شوند.

کلمات کلیدی: خزش، تنش- کرنش، مدل‌های خرابی، مدل‌های خرابی Rice and Tracey و Cocks and Ashby، تحلیل FE در Abaqus

فصل ۱: راهنمای کاربر

در این بخش، پارامترهای داخل برنامه و ورودی‌ها- خروجی‌ها تعریف می‌شوند.

۱-۱. تعریف پارامترهای اولیه

تعاریف پارامترهای داخل برنامه به قرار زیرند:

جدول (۱) تعریف پارامترهای داخل برنامه

STATEV(1)	مقدار پله‌ی قبلی خزش را ذخیره می‌کند.
STATEV(2)	مقدار کل خرابی خزش براساس مدل Cocks and Ashby را ذخیره می‌کند.
STATEV(3)	مقدار کل خرابی خزش براساس مدل Rice and Tracey را ذخیره می‌کند.
EPSF	کرنش شکست خزشی تک محوره
HYDRO	مؤلفه‌ی تنش میانگین هیدرواستاتیک
VMISES	تنش معادل فون میسز
DEP	افزایش پله‌ای کرنش خزش اولیه

DEC	افزایش پله‌ای کرنش خزش ثانویه
DAMAGE	میزان خرابی تجمعی در ابتدای پله‌ی حاضر
DMAX	حداکثر خرابی

۱-۲. معرفی ورودی‌ها و خروجی‌ها

ورودی‌ها و خروجی‌های برنامه‌ی پیشنهادی به شرح زیرند:

۱-۲-۱. ورودی‌ها

به منظور اجرای سابروتین خزش، تعدادی ورودی مربوط به مشخصات مواد تحت بررسی و شرایط تست مانند درجه حرارتی که آزمایش تحت آن انجام می‌شود، مورد نیاز است. داده‌های ورودی در بخش/ DATA COEF وارد می‌شوند و به شرح زیر می‌باشند:

- **دمای آزمایش:**

در اولین خط/ Data COEF وارد می‌شود. اگر چه در خزش، دما ثابت فرض می‌شود و مشخصات مواد مخصوص همان دما می‌باشند، در برنامه‌ی پیشنهادی امکان وارد نمودن داده برای دماهای مختلف وجود دارد و برنامه خودش مشخصات مربوط به دمای مورد نظر را در طول تحلیل FE درون یابی می‌کند.

- **مشخصات خزش اولیه:**

مشخصات خزش اولیه یعنی C1، C2 و N1 درخطوط دوم، سوم و چهارم وارد می‌شوند.

- **مشخصات خزش ثانویه:**

مشخصات خزش ثانویه یعنی C و N در خطوط پنجم و ششم وارد می‌شوند.

به منظور نشان دادن بهتر مشخصات بالا، لیست مشخصات بکار رفته در سابروتین خزش پیشنهادی در ادامه آمده است، که در آن مشخصات داده شده مربوط به ماده‌ی فولاد ضد زنگ نوع ۳۱۶ می‌باشند.

```
DATA COEF/
+   550,  600,  650, 700,
```

+ -12.548,-12.548,-12.548,-12.548,
+ 0.55,0.55,0.55,0.55,
+ 4.4,4.4,4.4,4.4,
+ -26.3,-26.3,-26.3,-26.3,
+ 10.6,10.6,10.6,10.6 /

بنابراین به منظور اجرای برنامه‌ی خزش، لیست مشخصات ذکر شده مورد نیاز است که بعد از وارد نمودن مقادیر آن‌ها، خروجی‌ها را می‌توان بدست آورد.

۱-۲-۲. خروجی‌ها

خروجی برنامه مؤلفه‌های خزش در جهات x، y و z (CE11, CE22, CE33)، استهلاک تنش، کرنش خزشی تجمعی (CEQ) به همراه میزان خرابی خزش براساس مدل‌های Cocks & Ashby و Rice & Tracey (یعنی به ترتیب STATVE(2) و STATVE(3))، می‌باشند.

۱-۳. الزامات اجرای برنامه

بعد از وارد نمودن داده‌ی ورودی و اطلاعات ضروری، برنامه آماده‌ی اجرا می باشد. باید توجه نمود که این برنامه با FORTRAN90 نوشته شده است؛ بنابراین کاربر برای اجرای برنامه باید از کامپایلرهایی استفاده کند که از FORTRAN90 پشتیبانی کنند. همچنین استفاده از Abaqus به عنوان برنامه‌ی اصلی برای اجرای برنامه ضروری است. مشخصات نرم افزارهای بکار گرفته شده توسط پدید آورنده به شرح زیر می‌باشد:

- Abaqus (any version that supports subroutines)
- Visual Fortran Compiler XE 13.0
- Notepad++ (Code editor)

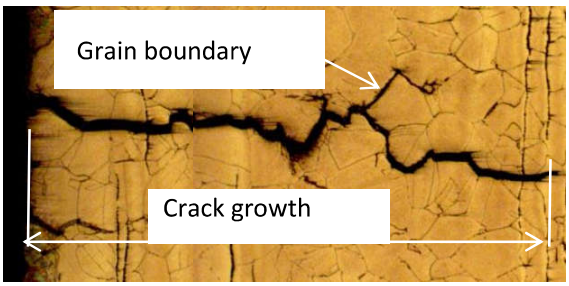
فصل ۲: مستندات علمی

در این فصل، یک مقدمه در مورد پدیده‌ی خزش و معادلاتی که در سابروتین برای تعریف رژیم‌های خزش اولیه و ثانویه بکار رفته‌اند، ارائه می شود علاوه برآن، مدل‌های خسارت Rice & Tracey و Cocks & Ashby مورد بحث قرار خواهند گرفت که برای تخمین رفتار ماده هنگامی که خرابی آغاز شده است، بکار می‌روند.

۲-۱. مکانیزم خزش

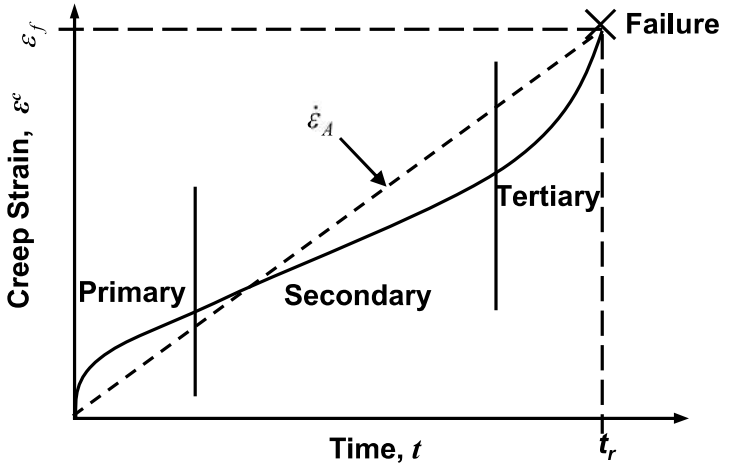
۲-۱-۱. تغییر شکل خزشی- تنش‌های تک محوره

خزش به عنوان یک فرآیند وابسته به زمان در حرارت‌های بالا که موجب تغییر شکل برگشت ناپذیر می‌شود، تعریف می‌شود. خزش ممکن است در نهایت موجب فروپاشی شود که شکست خزشی نامیده می‌شود یا به گسترش ترک‌ها، CCG کمک کند و به احتمال زیاد در اعضایی که در مدت زیادی تحت تنش باشند یا در معرض دمای زیادی باشند و یا ترکیبی از هر دو، اتفاق می‌افتد. اگر چه در پلیمرها کرنش‌های خزشی می‌توانند بصورت کامل یا جزئی قابل بازیابی باشند اما در فلزات همواره غیرقابل بازیابی می‌باشند [۱]. دمایی که در بالای آن خزش چشمگیر می‌شود حدود T_m ۰/۴ می‌باشد (T_m = دمای مطلق ذوب) شکل ۱.



شکل (۱) مکانیزم تغییر شکل تابع زمان، خزش

به منظور تعیین مشخصات خزش یک ماده، یک میله‌ی صاف کششی تحت یک بار ثابت در یک دمای ثابت در کوره قرار داده می‌شود که آزمایش خزش نامیده می‌شود و کرنش بصورت تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌شود یک منحنی خزش تک محوره‌ی معمولی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل (۲) منحنی تغییر شکل خزشی به همراه پارامترهای آن

منحنی خزش شامل سه مرحله می‌باشد. مرحله‌ی اول که به عنوان مرحله‌ی ابتدایی شناخته می‌شود، به علت فرآیند کار- سخت شدگی در آن نرخ کرنش اولیه بالا بوده و جلوی حرکت جابجایی گرفته شده است. این مرحله معمولاً تحت تنش بالا و دمای خزش پایین دیده می‌شود. با گذشت زمان، تأثیر نرخ کرنش اولیه کاهش پیدا می‌کند و تبدیل به نرخ کرنش ثابت می‌شود که به عنوان مرحله‌ی دوم شناخته می‌شود. مرحله‌ی دوم یا ناحیه‌ی حالت پایدار اغلب بزرگترین قسمت خزش ثابت بوده بگونه‌ای که عضو مربوطه بیشتر عمرش را در این مرحله می‌گذراند. در ناحیه‌ی حالت پایدار یک تعادل بین کار سخت شدگی و فرآیند بازیابی فعال شده با گرما (نرم شدگی) وجود دارد [۱]. آخرین مرحله به عنوان مرحله‌ی سوم شناخته می‌شود که با نرخ خزش شتاب یافته مشخص می‌شود. مرحله‌ی سوم پیش درآمدی برشکست نهایی بوده و معمولاً شامل باریک شدگی می‌باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است. افزایش تنش‌های محلی تحت بار