

بررسی توزیع تنش در دهانه ترک در پیچ و مهره ترک دار به روش XFEM

بهنام حاتمی

مربی، دپارتمان فنی و مهندسی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، اسلام‌آباد غرب، ایران

چکیده

قطعات معیوب در صنعت موجب ایجاد خسارت می‌گردند. شناسایی میزان عمر قطعات برحسب نوع و میزان بار امری بسیار مهم است. یکی از روش‌های تخمین عمر استفاده از دیدگاه مکانیک شکست است. برای استفاده از این روش باید مسیر رشد ترک و ضرایب شدت تنش در ترک مورد بررسی قرار گیرد تا با اعمال این ضرایب در روابط تخمین عمر مانند قانون پاریس یا رابطه ناسا به بررسی عمر پرداخت. باتوجه به اینکه همیشه انجام بررسی به صورت تجربی و آزمایشگاهی در دسترس نیست استفاده از روش‌های شبیه‌سازی می‌تواند مفید باشد. در این پژوهش یک پیچ و مهره M6 با استفاده از روش المان محدود توسعه یافته یا XFEM شبیه‌سازی شده است. پس از بررسی این نتیجه میزان توزیع تنش در دهانه ترک مشاهده شد که میزان توزیع تنش در بدنه پیچ و مهره ۵۳۸/۵ پاسکال بوده که این مقدار در دهانه ترک به مقدار ۱۶۰۳ پاسکال می‌رسد.

کلمات کلیدی: ترک، ضرایب شدت تنش، المان محدود توسعه یافته، آباکوس

مقدمه

خستگی مواد وقتی اتفاق می افتد که در اثر بارهای متناوب کمتر از حد تحمل شکست در قطعه رخ دهد. شکست از چند مرحله تشکیل می شود:

۱- جوانه زنی ترک

ترک هایی بر اثر تنش هایی به مراتب پایین تر از تنش شکست ایجاد می شود که ناشی از لغزش است که موجب ایجاد ساختاری لایه لایه می شود که هر بیرون رفتگی و فرورفتگی نشان دهنده سیکل کشش و فشار است. در این مرحله از شروع شکست خستگی ما شاهد شکست نوع دوم در ساختار میکروسکوپی ماده هستیم که شکل آن مانند سطح صدف است.

۲- رشد ترک

در مرحله رشد، دو مرحله خواهیم داشت. ترک هایی در جسم جوانه می زند که یکی از آنها در امتداد صفحه لغزش فعال رشد می کند، تا اینکه طول ترک به حد مشخص برسد و بعد از آن، ترک در جهت عمود بر تنش اعمالی به پیشروی خود ادامه می دهد، تا زمانی که شکست اتفاق بیفتد. اینکه ترک در چه طولی از منطقه اول وارد منطقه دوم می شود به جنس ماده و میزان تنش اعمالی بستگی دارد.

۳- شکست نهایی ماده

در این مرحله، به دلیل رشد زیاد ترک، آن قدر تمرکز تنش بالا می رود که موجب تغییر شکل پلاستیک ماده و شکست نرم در ماده می شود. در حقیقت ماده دچار پارگی می شود. در این مرحله شکست ترد رخ می دهد. علی رغم این که ممکن است ماده ترد نبوده باشد.

برای بررسی عمر قطعات از دیدگاه مکانیک شکست محاسبه ضرایب شدت تنش امر مهمی است. این تحقیق به محاسبه ضرایب شدت تنش یک قطعه ترک دار می پردازد.

قاجار و همکاران نشان دادند که ضرایب شدت تنش دینامیکی از پارامترهای مهم برای بررسی و شناخت پیش بینی رفتار شکست است [۱]. فریدوند و همکارش نشان دادن که مسیر رشد ترک از امتداد اولیه ۴۵ درجه و همچنین ضرایب شدت تنش بدست آمده از شبیه سازی با روش تجربی مطابقت دارد [۲]. آیت الهی و همکاران نشان دادن که استفاده از تابع پتانسیل مختلط برای شیارهای کلیدی شکل در مود اول در نظر گرفتن ترم تکین موجب خطای زیادی می شود [۳]. قاسمی و همکاران نشان دادند که روش اجزا محدود توسعه یافته سادگی و کارایی بیشتری در شناسایی ضرایب شدت تنش دارد [۴]. امام علی زاده و همکاران در بررسی ضرایب شدت تنش در چند لایه GLARE نشان دادند که رشد ترک در لایه های آلومینیوم مجزا بسیار بیشتر از لایه های آلومینیوم موجود در چند لایه های هیبرید است [۵].

مچی الدینی و همکارش نشان دادند که برای حل مسائل مکانیک شکست بدون نیاز به افزایش حجم محاسبات، از روش اصلاح تابع وزن استفاده شده است. ضرایب شدت تنش با استفاده از انتگرال های مستقل از مسیر J که برای مواد ناهمگن فرمول بندی شده اند محاسبه می شود. برای بررسی اعتبار روش عددی حاضر، ضریب شدت تنش مود اول در سک صفحه شامل ترک لبه ای با فرض

تغییر نمایی مدول یانگ در امتداد ترک محاسبه شده است. مقایسه پاسخ بدست آمده با پاسخ تحلیلی، نشان دهنده دقت بالای روش مورد استفاده است [۶]. کریمی پور و همکارش نشان دادند که با استفاده از روش توزیع نابجایی تحلیل تنش در یک صفحه الاستیک بی نهایت حاوی مجموعه از ترک ها تحت بار باد صفحه ای بر اساس تئوری گردایان کرنش انجام می گردد. ابتدا حل نابجایی باد صفحه ای در صفحه با حل معادله بای هارمونیک، اعمال شرایط مرزی و پیوستگی مربوط به نابجایی بار صفحه با استفاده از تبدیل فوریه انجام می گردد و میدان تنش در اثر نابجایی بار صفحه ای به صورت انتگرالی بدست آمده است. مولفه های تنش دارای تکنیکی از نوع مرتبه بالا در نوک ترک هستند [۷]. قاجار و همکارش به بررسی کاربرد روش تحلیلی موسخلیشویلی و یافتن نگاشت همپس مناسب، رفتار دو ترک نابرابر و هم راستای اطراف یک سوراخ دایروی بررسی بر ضرایب شدت تنش محاسبه می شوند. تاثیر پارامتر های مختلف از جمله، زاویه بارگذاری، طول ترک و غیره بر روی مقادیر ضرایب شدت تنش بررسی می گردد. صفحه ی همسانگرد نامحدود و نوع بارگذاری و شرایط مرزی به گونه هایی است که سطح سوراخ و ترک ها عاری از تنش می باشند و بار کششی در دور دست تحت زاویه دلخواه اعمال می گردد. جهت اطمینان از صحت روش، بعضی مسائل خاص که حلشان موجود است حل نموده و با داده های موجود در مراجع مقایسه می گردد. قاجار و همکارش یک رابطه صریح برای ضریب شدت تنش بر حسب پارامتر های هندسی ارائه کرده اند [۸]. محمدی منفرد و همکارش با استفاده از روش توزیع نابجایی تحلیل تنش در نیم صفحه ساخته شده از مواد ارتوتروپیک تابع تضعیف شده توسط چندین ترک لبه ای تحت بار خارج صفحه ای ضربه ای انجام شده است. ابتدا حل نابجایی باتشکیل معادله حاکم و اعمال شرایط مرزی و پیوستگی در محل نابجایی با استفاده از تبدیلات فوریه و لاپلاس انجام می گردد. با استفاده از این حل، معادلات انتگرالی تکین از نوع کوشی برای ترک های لبه ای در نیم صفحه ساخته شده از مواد ارتوتروپیک تابعی تشکیل می شوند. سپس با استفاده از روش عددی این معادلات حل گردیده تا تابع توزیع نابجایی روی ترک ها بدست آید [۹]. رضانژاد و همکاران نشان دادند که در استفاده از روش XFEM در نرم افزار آباکوس مسیر رشد ترک را بسیار شبیه به واقعیت پیش بینی می کند [۱۰]. قاسمی و همکارش نشان دادند که روش المان محدود توسعه یافته (XFEM) یکی از قوی ترین روش های عددی است که بر پایه المان محدود بوده ولی فارغ از موقعیت نسبی شبکه بندی نسبت به ناپیوستگی با قدرت همگرایی خوبی به حل مسائل می پردازد [۱۱]. تاجبخش و همکاران نشان دادند که در پیچ و مهره پیش بار تاثیر بسزایی بر مقاومت شکست دارد [۱۲].

روش XFEM

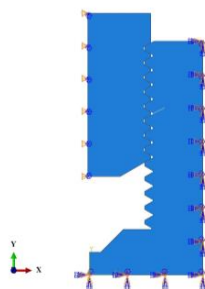
در نرم افزار آباکوس شما می توانید با استفاده از چندین روش مختلف، رشد ترک را شبیه سازی کنید. این روش ها عبارتند از :

VCCT (Virtual Crack Closure Technique)، CTOD (Crack Tip Open Displacement)، CZM (Cohesive Zone Modeling) و XFEM (Extended Finite Element Method).

در میان این روش ها، روش XFEM از همه جدیدتر بوده و دارای قابلیت های منحصر به فردی است. یکی از مهم ترین این قابلیت ها، توانایی پیش بینی جهت رشد ترک است. در سایر روش های نامبرده شما باید خط (در مسائل دوبعدی) و یا صفحه (در مسائل سه بعدی) رشد ترک را در نرم افزار تعریف کنید. در مسائلی که جهت و مسیر رشد ترک مشخص نبوده و همچنین نمونه های تخریب شده و آزمایشگاهی نیز در دسترس نیستند، استفاده از سایر روش ها با چالش تعیین درست صفحه رشد ترک و مشخص کردن آن برای نرم افزار روبه رو است. در صورت استفاده از روش XFEM، شما می توانید به صورت مؤثری بر این مشکل فائق شوید.

شبیه سازی

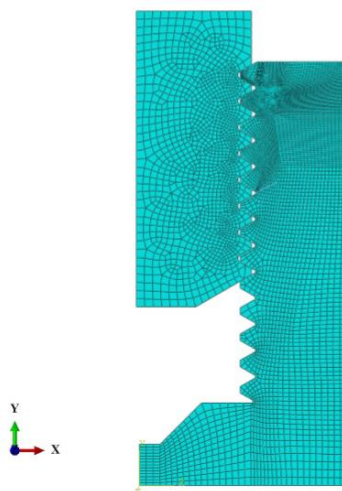
برای بررسی چند رزوه از پیچ و مهره استاندارد M6 مدل سازی شده است.



شکل ۱

شکل ۱ شکل هندسی پیچ و مهره است. همانطور که در شکل پیداست نقطه شروع ترک برای مدل سازی شده است. پس از مدل سازی پیچ ثابت در نظر گرفته شده و به رزوه یک بار از نوع جابه جایی با مقدار ۵ میلی متر به صورت نوسانی اعمال شده است.

برای شبیه سازی جنس پیچ و مهره را فولاد St37 در نظر گرفته شده است. تمام پارامترهای تعریف شده در نرم افزار به خصوص خواص آسیب مطابق خواص جنس این نوع فولاد است.



شکل ۲

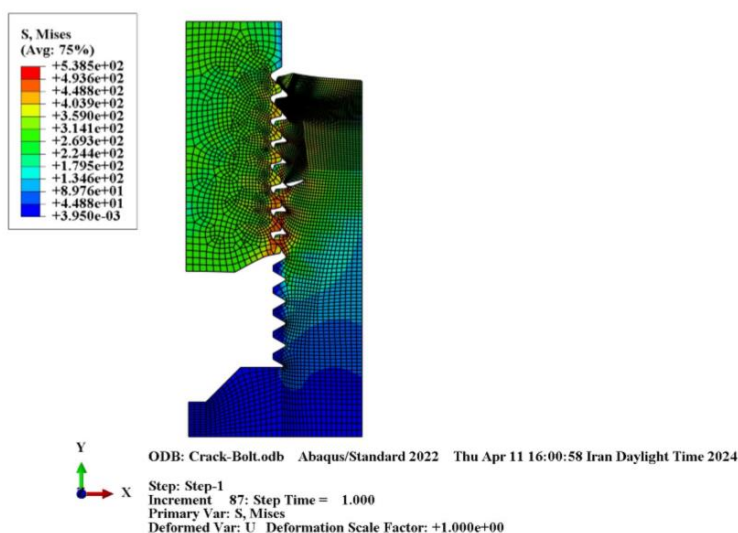


شکل ۲ نشانگر شبکه بندی ورق است. شبکه بندی از نوع چهار گوش منظم برای پیچ و چهار گوش نامنظم برای مهره در نظر گرفته شده است. ۶۸۰۰ المان انتخاب شده است. لازم به ذکر است چند بار تعداد المان ها افزایش یافته تا نتایج مستقل از تعداد شبکه شوند. همچنین محل های تماس رزوه ها شبکه بندی ریزتر شده است.

نتایج

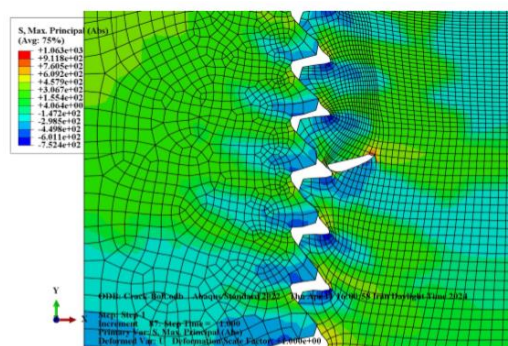
پس از انجام شبیه سازی در نرم افزار آباکوس به روش المان محدود توسعه یافته (Extended Finite Element Method)

نتایج شبیه سازی به صورت زیر است.



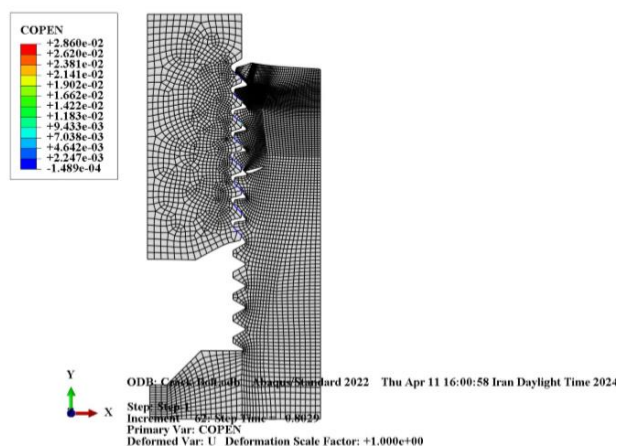
شکل ۳

شکل ۳ میزان تنش فون میسز رخ داده در تحلیل را نمایش می دهد. همانطور که از تصویر پیداست میزان تنش بیشینه در محل جدایش رزوه ها با مقدار ۵۳۸/۵ پاسکال رخ داده است.



شکل ۴

شکل ۴ نشانگر بیشینه بحرانی تنش در ترک است. همانطور که در شکل پیداست مقدار بیشینه تنش در نوک ترک در حال رشد ۱۶۰۳ پاسکال است. میزان تنش در دهانه ترک به مراتب بیشتر از سایر نقاط است.



شکل ۵

شکل ۵ نشانگر میزان بازشدگی دهانه ترک است. در اثر کشش ایجاد شده در رزوه دهانه ترک به اندازه ۰/۰۰۲ میلی‌متر باز شده است.

نتیجه‌گیری

پس از بررسی نتایج شبیه‌سازی ترک در پیچ و مهره از روش XFEM مشاهده شد که در اثر بار اعمالی به رزوه میزان بازشدگی دهانه ترک در حدود ۰/۰۰۲ میلی‌متر است. همچنین میزان تنش رخ دهنده در بدنه پیچ ۵۳۸/۵ پاسکال بوده که این مقدار در دهانه



ترک به مقدار ۱۶۰۳ پاسکال می‌رسد. در نظر گرفتن ترک برای تخمین عمر در قطعات برای تخمین عمر نزدیک به نتایج آزمایشگاهی یک روش بسیار کاربردی است.

منابع

۱. ش.م. علی، محاسبه ضرایب شدت تنش دینامیکی ترک سه بعدی مواد تابعی با استفاده از σ - \sqrt{a} ، پ. صفار، از روش انتگرال تعاملی. ۲۰۱۵.
۲. کاظمی، ضرایب شدت تنش و مسیر انتشار ترک تحت شرایط مد مرکب. مهندسی سازه و فریدوند، رامین، p. 86-96. ساخت، ۲۰۱۶. ۳(۳):
۳. ب. بهادر، محاسبه ی میدان تنش مجانبی به همراه ضرایب شدت تنش و مرتبه بالاتر در شیار and مجیدرضا، آ.آ. کلیدی شکل. ۲۰۱۹.
۴. ص. سعید، استفاده از روش اجزاء محدود توسعه یافته در تعیین ضرایب شدت تنش و ترم and احمد، ق.ق.ب. های مرتبه بالای ترک. ۲۰۱۵.
۵. مهندسی مکانیک و GLARE بررسی خستگی و ضرایب شدت تنش و رشد ترک در چندلایه های jet al., زاده، ا.ع.، p. 7-13. ارتعاشات، ۲۰۱۵. ۱۶(۱):
۶. MLPG. 2009. ش. علیرضا، محاسبه ضرایب شدت تنش در مواد هدفمند به روش and علی، م.آ.
۷. فتوحی، محاسبه ضرایب شدت تنش مود سه در صفحه بی‌نهایت حاوی چند ترک بر اساس and پور، ک. ایمان، p. 139-149. تئوری الاستیسیته گرادیان کرنش. مهندسی مکانیک مدرس، ۲۰۱۴. ۱۴(۷):
۸. ح. محمدی، محاسبه تحلیلی ضرایب شدت تنش در ترک های با طول نابرابر نشأت گرفته از سوراخ and قاجار، p. 943-950. دایروی در صفحه نامحدود. نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، ۲۰۱۸. ۵۰(۵):
۹. باقری، محاسبه ضرایب شدت تنش در نیم صفحه ساخته شده از مواد ارتوتروپیک تابعی تضعیف and منفرد، م. p. 99-120. شده توسط چندین ترک لبه‌ای تحت بارگذاری ضریه‌ای. نشریه مهندسی مکانیک ایران، ۲۰۲۰. ۲۲(۳):
۱۰. مقایسه رویکردهای مدل سازی در XFEM: رشد ترک در محیط های متخلخل با استفاده از روش et al., رضائزاد، p. 27-40. آباکوس. روش های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۲۰۲۰. ۱۰(۲۴):
۱۱. در بررسی رشد ترک خستگی ورق های ترک دار XFEM روزبهرانی، استفاده از روش and قاسمی، آ. پ. ک. انارکی، p. 15-27. مهندسی مکانیک مدرس، ۲۰۱۴. ۱۳(۱۴): FML. آلومینیومی، تعمیر شده توسط وصله های کامپوزیتی
۱۲. در مود ترکیبی شکست. نشریه مهندسی T-stress بررسی اثر نیروی پیش بار پیچ و مهره بر et al., چاخارلو، ن.، p. 291-298. مکانیک امیرکبیر، ۲۰۱۷. ۴۹(۲):