



بررسی رشد ترک و توزیع تنش در یک ورق محدود به روش XFEM

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

بهنام حاتمی

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

شهرام مرادی

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 پاريس 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 ورق با سوراخ دایروی مدل‌سازی و با استفاده از روش المان محدود توسعه یافته یا XFEM شبیه‌سازی شده است. پس از بررسی این نتیجه حاصل شد که این روش مسیر رشد ترک را به درستی پیش‌بینی می‌کند و روش مناسبی برای شبیه‌سازی مسیر رشد ترک است.

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].

روش XFEM

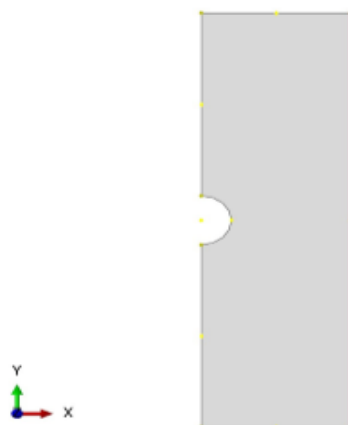
در نرم افزار آباکوس شما می توانید با استفاده از چندین روش مختلف، رشد ترک را شبیه سازی کنید. این روش ها عبارتند از :

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 فایق شوید.

شبیه سازی

برای بررسی ورق با ابعاد هندسی زیر مدل سازی شده است.



شکل ۱

شکل ۱ شکل هندسی ورق است که طول آن ۰/۱ متر و عرض آن ۰/۳۴ متر است. قطر دایره نیز ۰/۰۲ متر است. لازم به ذکر است ورق به صورت متقارن با یک دایره در مرکز بوده لذا برای کوتاهی ورق نیمی از آن مدلسازی شده است. همچنین ورق نازک فرض شده و از استراتژی حل کرنش صفحه ای استفاده شده است.

مشخصات شبیه سازی

مشخصات شبیه سازی به صورت زیر است.

جدول ۱ مشخصات شبیه سازی

نوع آسیب	تعداد المان	جابه جایی	شبکه بندی	پارامتر همگرایی نتایج	position	تولرانس	بیشترین تنش آسیب
انرژی	۸۱۶۲	5.5×10^{-5}	quad	1×10^{-5}	centroid	۰/۰۱	۱۹ مگاپاسکال

جدول ۱ برخی مشخصات وارد شده در تنظیمات شبیه سازی در نرم افزار آباکوس را نشان می دهد. لازم به ذکر است برای شبیه سازی آسیب نرمال انرژی شکست ۲۸۷۰ تعیین شده است. برای مشخصات مکانیکی ورق جنس فولاد با مدول یانگ ۳۲۴ گیگا پاسکال و نسبت پواسون ۰/۳ انتخاب شده است.

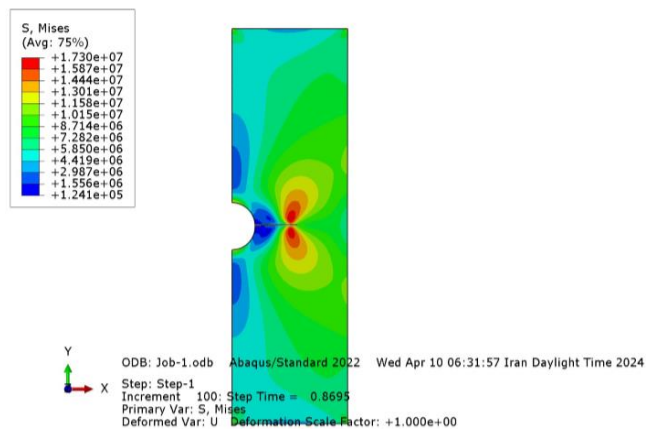


شکل ۲

شکل ۲ نشانگر شبکه بندی ورق است. شبکه بندی از نوع چهارگوش منظم با تعداد ۸۱۶۲ المان انتخاب شده است. لازم به ذکر است چند بار تعداد المان ها افزایش یافته تا نتایج مستقل از تعداد شبکه شوند.

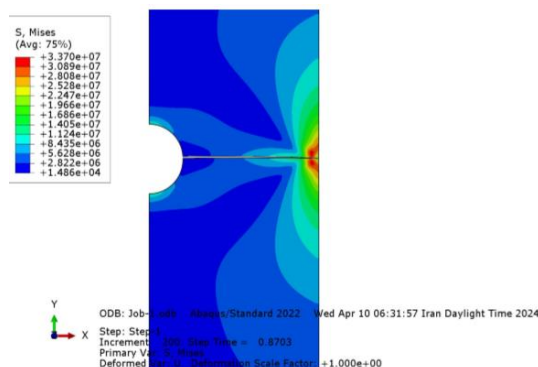
نتایج

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.



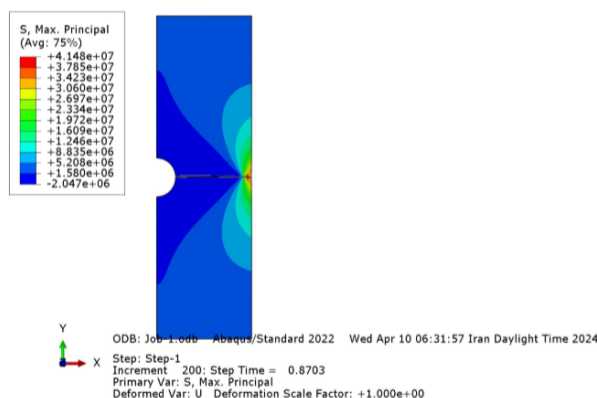
شکل ۳

شکل ۳ مراحل اولیه ایجاد و رشد ترک را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است در شبیه سازی محل ایجاد اولیه ترک مشخص نشده است. همانطور که از شکل ۳ پیداست در روش XFEM با در نظر گرفتن بیشترین تنش و میزان آسیب مسیر ایجاد ترک به درستی پیش بینی شده است.



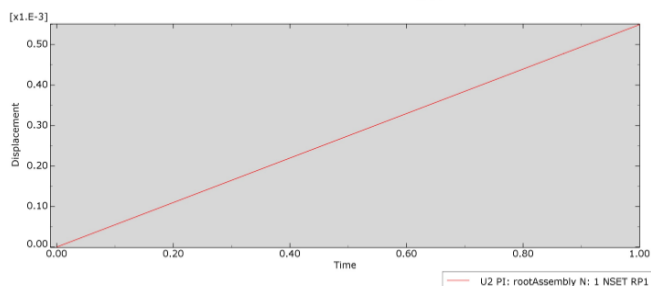
شکل ۴

شکل ۴ نشانگر ادامه مسیر رشد ترک تا انتها و ایجاد شکست در ورق است. همانطور که مشخص است بیشترین تنش فون میسز رخ داده در انتهای ترک و لبه ورق که موجب جدایش ورق از همدیگر است رخ داده است.



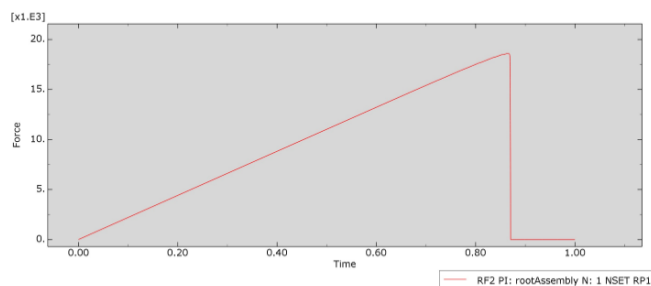
شکل ۵

شکل ۵ نشانگر بیشترین مطلق تنش رخ داده در قطعه است. بیشترین تنش رخ داده در قطعه ۴۱/۴۸ مگاپاسکال بوده که در انتهای ورق در نوک ترک در لحظه جدایش ورق و شکست اتفاق افتاده است.



شکل ۶

شکل ۶ نشانگر نمودار میزان جابه جایی بر حسب زمان است. این نمودار نشان می دهد که جابه جایی به صورت خطی افزایش یافته تا زمانی که قطعه دچار شکست شده است.



شکل ۷

شکل ۷ نشانگر نمودار میزان نیرو بر حسب زمان است. همانطور که از نمودار پیداست میزان نیرو بر حسب زمان به صورت خطی افزایش یافته و در زمان نزدیک به ۱ ثانیه نیرو دچار افت شده در واقع این قسمت نشانگر لحظه رشد ترک در ورق است.

نتیجه گیری

پس از بررسی نتایج شبیه سازی یک ورق با سوراخ دایروی از روش XFEM مشاهده شد که در مرحله اول این روش به خوبی و به درستی بدون ایجاد نقطه شروع ترک توانسته است مسیر رشد ترک را به درستی پیش بینی کند که این امر کمک شایانی بررسی تنش های نوک ترک و ضرایب شدت تنش در قطعات معیوب برای تخمین عمر خستگی قطعه می کند. در نهایت پس از بررسی و مشخص شدن مسیر ترک تنش نهایی که باعث گسیختگی ورق می شود نیز مقدار ۴۱/۴۸ مگاپاسکال خواهد بود.



منابع

۱. ش.م. علی، محاسبه ضرایب شدت تنش دینامیکی ترک سه بعدی مواد تابعی با استفاده از σ - ϵ ، پ. صفا، 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.، ع.ا.، p. 7-13. ارتعاشات، ۲۰۱۵. ۱۶(۱):
۶. MLPG. 2009. ش. علیرضا، محاسبه ضرایب شدت تنش در مواد هدفمند به روش and علی، م.ا.
۷. فتوحی، محاسبه ضرایب شدت تنش مود سه در صفحه بی نهایت حاوی چند ترک بر اساس and پور، ک.، ایمان، p. 139-149. تئوری الاستیسیته گرادیان کرنش. مهندسی مکانیک مدرس، ۲۰۱۴. ۱۴(۷):
۸. 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 لبه ای تحت بارگذاری ضریه ای. نشریه مهندسی مکانیک ایران، ۲۰۲۰. ۲۲(۳):
۱۰. مقایسه رویکردهای مدلسازی در XFEM: رشد ترک در محیط های متخلخل با استفاده از روش et al.، رضانژاد، 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 روزبهبانی، 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