

محاسبه ضرایب شدت تنش در دیسک دوار شیاردار حاوی ترک شعاعی تحت بارگذاری مود اول خالص

بهار سلیمی^۱، سید محمد نوید قریشی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

۲- استادیار، پژوهشکده سامانه‌های ماهواره، پژوهشگاه فضایی ایران، تهران، smn.ghoreishi@isrc.ac.ir

*نویسنده مخاطب

چکیده

با توجه به کاربرد زیاد دیسک‌های دوار در صنایع هوافضا، امروزه طراحی و مطالعه این دیسک‌ها در صنعت هوافضا تحت شرایط کاری گوناگون، دارای اهمیت بسیاری است. یکی از مهمترین موضوعات در زمینه دیسک‌های دوار، بحث مکانیک شکست و مسائل مربوط به رشد ترک در این دیسک‌ها می‌باشد. در این مقاله، به محاسبه پارامترهای شکست در دیسک دوار شیاردار حاوی ترک شعاعی تحت مود I خالص پرداخته شده است. در این راستا یک ترک شعاعی نیم بیضوی در یک دیسک دوار شیار دار با شعاع خارجی ۱۱۰ میلی‌متر و شعاع داخلی ۲۵ میلی‌متر تحت نیروی گریز از مرکز در نظر گرفته شده است و از دیدگاه مکانیک شکست به عوامل مؤثر بر ایجاد ترک و گسترش آن پرداخته شده است. تاثیر پارامترهای مختلف نظیر نسبت منظر ترک، سرعت دورانی و جنس دیسک دوار بر روی مقادیر ضرایب شدت تنش و رشد ترک در دیسک‌های دوار شیاردار مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج المان محدود حاصله مشخص گردید مقدار نسبت منظر ترک در محل وقوع نقطه بحرانی در جبهه ترک به طور مستقیم تاثیر گذار است به نحوی که نقطه بحرانی در ترک‌ها با نسبت منظرهای ۰/۴ و ۰/۶ که ترک بیشتر حالت بیضوی دارد در عمیق‌ترین نقطه ترک اتفاق می‌افتد ولی در ترک‌ها با نسبت منظرهای ۰/۸ و ۱ که ترک بیشتر حالت دایروی دارد، نقطه بحرانی در سطح آزاد ترک اتفاق می‌افتد. همچنین نتایج نشان دادند که دیسک دوار فولادی و تیتانیومی نسبت به دیسک دوار آلومینیومی حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات ضریب شدت تنش دارند.

واژه‌های کلیدی: دیسک دوار - نیروی گریز از مرکز - ضریب شدت تنش - ترک نیم بیضوی

۱- مقدمه

دیسک‌های دوار در بسیاری از ماشین آلات صنعتی و صنایع مختلف مانند کمپرسورهای توربین گاز، دیسک‌های مورد استفاده در توربین‌ها، صنایع هوافضا و کشتیرانی، نیروگاه‌ها و موتورهای توربین جت کاربرد دارند. بشر برای ادامه حیات همواره به تولید انرژی احتیاج دارد که این انرژی توسط انواع مختلفی از توربین‌ها به وجود می‌آید. دیسک‌های دوار در معرض شرایط بارگذاری مختلفی مانند سرعت‌های دورانی بالا، تنش‌ها و شرایط دمایی با مقادیر زیاد قرار دارند. وجود ترک یا شیار در دیسک‌های دوار، آن‌ها را با

پدیده شکست رو به رو می‌کند. بنابر علم مکانیک شکست، دیسک‌ها به علت تنش‌های وارد شده، در معرض ترک قرار می‌گیرند. پس از چند دوره، قرارگیری دیسک در مقابل بارگذاری‌های حرارتی و مکانیکی، هندسه ترک تبدیل به یک ترک نیم بیضوی خواهد شد که در نهایت، موجب رشد ترک و پدیده شکست خواهد شد. ترک‌ها و حفره‌های موجود در دیسک‌های دوار و دیگر سازه‌های صنعتی، در مراحل ساخت و تولید آن‌ها نیز می‌تواند به وجود بیاید. وجود این ترک‌ها و حفره‌ها در جسم، باعث ایجاد تمرکز تنش در داخل جسم شده و با رشد ترک، پدیده واماندگی رخ می‌دهد. از این رو، تحلیل ضرایب شدت تنش برای تعیین مقاومت اجسام در برابر رشد ترک و تعیین عمر خستگی دیسک در راستای جلوگیری از رخ دادن حوادث غیر مترقبه و خسارات مالی و جانی، پر اهمیت است. می‌توان گفت نرخ رشد ترک و استحکام ترک، هر دو از پارامترهای وابسته به ضرایب شدت تنش هستند. بنابراین، تعیین دقیق این دو پارامتر، از نظر بهینه‌سازی و تضمین ایمنی سازه‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است. از دیگر دلایل شرایط ایجاد ترک، نیروی گریز از مرکز ناشی از سرعت دورانی زیاد در دیسک است چرا که جسمی که در یک مسیر دایروی تحت یک سرعت دورانی مشخص، شروع به دوران می‌کند، دارای خاصیت اینرسی است که این خاصیت منجر به به وجود آمدن نیروی گریز از مرکز می‌شود [۱].

از مطالعات انجام شده در زمینه عوامل مؤثر بر تشکیل و گسترش ترک و محاسبه ضرایب شدت تنش می‌توان به موارد پیش رو اشاره کرد. بررسی راه حل‌ها و معادلات ضرایب شدت تنش در دیسک‌های دوار حاوی ترک‌های سطحی نیم بیضوی شعاعی در سه بعد بعد توسط آیهان [۲] انجام شد. راه حل‌های ارائه شده در این مقاله، دارای طیف وسیعی از متغیرهای حاکم بر مسائل شامل نسبت شعاع داخلی به شعاع خارجی دیسک، نسبت ضخامت دیسک به شعاع خارجی آن، نسبت عمق ترک و ... می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد از هر دو روش معادلات تجربی و روش اجزای محدود، می‌توان برای ارزیابی موقعیت شکست در دیسک‌های دوار تخت و یا دیسک‌هایی با جزئیات هندسی بیش تر نظیر لبه خارجی و حفره داخلی استفاده نمود. مطالعه اثرات سرعت دورانی، جهت ترک‌ها و خواص مکانیکی مواد بر ضرایب شدت تنش در دیسک‌های دوار تخت حاوی ترک‌های نیم بیضوی سه بعدی تحت نیروی گریز از مرکز توسط فکور و قریشی [۳] انجام شد. هم‌چنین آن‌ها به تأثیر استفاده از وصله‌های کامپوزیتی با ضخامت و جنس‌های گوناگون برای کاهش ضرایب شدت تنش و اثرات نسبت منظرهای بین ۰/۴ الی ۱ در دیسک‌های دوار نیز پرداختند. با صرف نظر از خواص مکانیکی در دیسک‌های دوار، ترک‌های جانبی به عنوان ترک‌های مهم در دیسک

جنس آلومینیوم، تیتانیوم، فولاد و سرعت دورانی ۶۰۰۰rpm الی ۹۰۰۰rpm، به تأثیر هریک از این مقادیر بر محاسبه ضریب شدت تنش پرداخته شود.

۲- روابط تحلیلی برای محاسبه ضرایب شدت تنش در دیسک های دوار

در این قسمت به محاسبه تحلیلی ضرایب شدت تنش در یک دیسک دوار پرداخته می شود. به دلیل این که ضریب شدت تنش مود دوم و سوم در دیسک دوار حاوی ترک به سمت صفر میل می کند تنها به محاسبه ضریب شدت تنش مود اول پرداخته می شود [۸]. مقادیر تنش برای یک هندسه بدون ترک در مرجع [۹] ذکر شده است. در ادامه روابط تنش برای هندسه حاوی ترک مطرح می شود.

$$\sigma_{\theta}(r) = \sigma_0 \left[1 - \alpha \frac{r^2}{R^2} \right] \quad (1)$$

$$\sigma_r(r) = \sigma_0 \left[1 - \frac{r^2}{R^2} \right] \quad (2)$$

$$\sigma_0 = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 R^2 \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{1+3\nu}{3+\nu} \quad (4)$$

R شعاع خارجی دیسک، ϑ ضریب پواسون، ρ جرم مخصوص، Γ شعاع داخلی، ω سرعت زاویه ای است. نقاط a و b به عنوان دو سر ترک در نظر گرفته می شوند و در ادامه رابطه ضریب شدت تنش در هر یک از دو سر ترک نیم بیضوی محاسبه می شود.

$$K_{1a} = \sigma_0 \sqrt{\frac{2}{(b-a)}} [p_1(a) - \alpha p_2(a)] \quad (5)$$

$$K_{1b} = \sigma_0 \sqrt{\frac{2}{(b-a)}} [p_1(b) - \alpha p_2(b)] \quad (6)$$

$$p_i(t) = \int_a^b \frac{M(t, \xi) p_i(\xi)}{\sqrt{(b-\xi)(\xi-a)}} d\xi = s_i(t) \quad (7)$$

$$i=1,2, \quad a < t < b$$

$$s_1(t) = \frac{a+b-2t}{2} \quad (8)$$

$$s_2(t) = \frac{1}{R^2} \left[\frac{t^2}{R} (a+b-2t) + \frac{(b-a)^2}{16} (a+b+2t) \right] \quad (9)$$

تابع هسته ای $M(t, \xi)$ با توجه به [۴] به دست آمده است. با استفاده از انتگرال گاوس-چیشوف رابطه (۷) به شکل زیر تبدیل می شود.

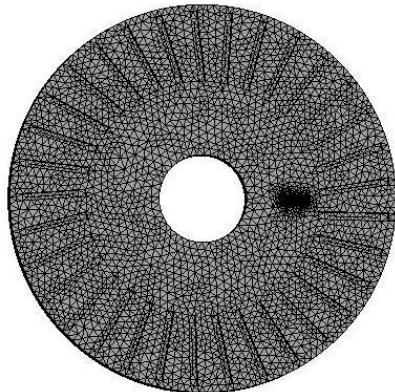
$$t_j = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} \cos \frac{\pi(2j-1)}{2n} \quad (10)$$

معادله (۹) بیانگر n معادله خطی با مجهول است و مجهولات با استفاده از روش های معمول به دست می آیند. محاسبه p_i در دو سر ترک نیز طبق رابطه (۱۱ و ۱۲) به دست می آید. در این روابط $i=1,2$ و $k=1,2,\dots,n$ فرض می شود.

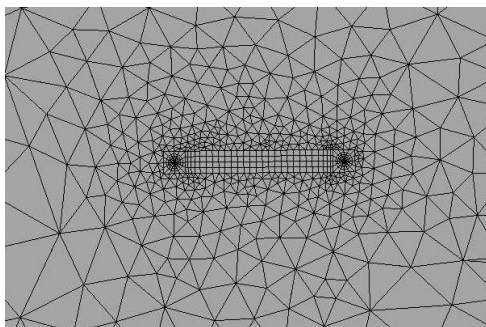
های دوار معرفی شدند. نقش سرعت دورانی بر روی ضریب شدت تنش در یک دیسک آلومینیومی نسبت به یک دیسک فولادی نشان دهنده تأثیر بیش تر این در یک دیسک آلومینیومی نسبت به یک دیسک فولادی نشان دهنده تأثیر بیش تر این پارامتر بر روی دیسک آلومینیومی می باشد. بررسی ضرایب شدت تنش در دیسک های دوار با ترک های لبه ای و داخلی شعاعی توسط روک و توپید [۴] انجام شد. مسئله تعیین ضرایب شدت تنش و انرژی لازم برای تشکیل دو ترک هم راستا با طول نامساوی و قطر یکسان در یک دیسک الاستیک دوار محدود، به دو معادله انتگرالی منفرد کاهش پیدا می کند. هنگامی که یکی از ترک ها از دیگری بزرگ تر باشد، پدیده بسته شدن در ترک کوچک تر اتفاق می افتد. اگر بسته شدن در نوک ترک اتفاق بیفتد، ضریب شدت تنش منفی خواهد بود، حتی با در نظر گرفتن این که مقدار ضریب شدت تنش مثبت باشد، پدیده بسته شدن در طول ترک می تواند رخ دهد. بسته شدن تنها زمانی رخ می دهد که طول ترک بزرگ تر حدود ۰/۷۵ برابر مقدار شعاع باشد. تحلیل تنش دیسک دوار حاوی ترک داخلی با یک موقعیت دلخواه و مواد طبقه بندی شده توسط اسکندری [۵] انجام شد. در این مقاله فرض می شود که دیسک، همسانگرد است و مدول الاستیسیته آن به صورت نمایی در حال تغییر است. مطالعات انجام شده بر روی حالت های مختلف ترک نشان دهنده این است که موقعیت ترک، طول ترک و جهت ترک تأثیر بسزایی در مقدار ضریب شدت تنش دارد. سرانجام نتایج عددی برای ارزیابی ایمنی مواد طبقه بندی شده تابعی در دیسک های همگن حاوی ترک ارائه گردید. محاسبه ضرایب شدت تنش یک دیسک دوار مرکب حاوی ترک شعاعی توسط یانگ لی [۶] صورت گرفت. بنا بر وجود تقارن، تنها ضریب شدت تنش مود اول در نظر گرفته می شود. برای نزدیک شدن به مسئله ترک، ابتدا حل الاستیسیته برای دیسک مرکب دوار بدون ترک مطرح می شود و در گام بعدی طبق اصل بر هم نهی، مسئله ترک به یک اختلال در دیسک کاهش می یابد ولی تغییری در هندسه و ماهیت ترک ایجاد نمی شود. ضرایب شدت تنش ترک به حل معادله انتگرالی منفرد بدست آمده از تابع گرین بستگی دارند. در ادامه نتایج عددی به دست آمده، به صورت جدولی و گرافیکی نمایش داده می شوند و ضرایب شدت تنش ترک شعاعی، برای دو حالت تنش صفحه ای و کرنش صفحه ای محاسبه می شوند. مسائل دیسک های دوار حاوی ترک داخلی در یک موقعیت دلخواه توسط ایسیدا [۷] ارائه شد. او با استفاده از بسط توابع ویژه ی پتانسیلی تنش پیچیده و مشخص کردن ضرایب مجهول در شرایط مرزی بیان شده در مورد نیروهای حاصل، محاسبات عددی را برای پیکر بندی های مختلف و فرمول های مناسبی را برای ضرایب شدت تنش ارائه نمود. طبق این محاسبات، ضریب شدت تنش مود دوم نسبت به ضریب شدت تنش مود اول، مقدار کم تری دارد و در نتیجه می توان از ضریب شدت تنش مود دوم در تحلیل مکانیک شکست دیسک دوار صرف نظر کرد.

با وجود پژوهش های زیادی که در این زمینه انجام شده است، مطالعه همزمان درباره تأثیر سرعت های دورانی و جنس دیسک ها و نسبت منظرهای مختلف بر محاسبه ضریب شدت تنش مود اول در دیسک های دوار شیاردار حاوی ترک شعاعی نیم بیضوی کمتر مورد توجه محققان قبلی قرار گرفته است. بنابراین در این مقاله، سعی شده است با مدل سازی ترک شعاعی سه بعدی نیم بیضوی با نسبت منظرهای ۰/۴ الی ۱ در دیسک دوار شیاردار با

t	ضخامت دیسک	10mm
R_i/R_o	نسبت شعاع داخلی به شعاع خارجی	0.2
a/c	نسبت منظر های ترک	0.4, 0.6, 0.8, 1
L	طول شیار های دیسک	10mm



شکل ۲- نمایی از مش بندی کل دیسک با نسبت منظر ۰/۴



شکل ۳- نمایی از مش بندی جبهه ترک شعاعی با نسبت منظر ۰/۴

به منظور محاسبه ضریب شدت تنش مود اول در شرایط کاری مختلف و بررسی تاثیر پارامترهای مختلف در رفتار مکانیک شکست دیسک های دوار، سه جنس مختلف آلومینیوم، تیتانیوم و فولاد برای دیسک دوار و چهار سرعت دورانی ۶۰۰۰ rpm و ۷۰۰۰ rpm و ۸۰۰۰ rpm و ۹۰۰۰ rpm و چهار نسبت منظر ۰/۴ ، ۰/۶ ، ۰/۸ و ۱ برای ترک های موجود در دیسک در نظر گرفته شده است. در مجموع ۴۸ حالت مختلف بر دیسک اعمال شده و هر یک از حالت ها مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرند. هر یک از جنس های اعمالی، دارای خواص مکانیکی منحصر به فردی نظیر ضریب الاستیسیته E ، ضریب پواسون ν و چگالی ρ هستند که در جدول ۲ ذکر شده است. مش بندی انجام شده بر روی دیسک در شکل ۲ با نسبت منظر ۰/۴ نشان داده شده است. هم چنین، مش بندی اطراف جبهه ترک نیز با نسبت منظر ۰/۴ در شکل ۳ نشان داده شده است. برای مش بندی کل دیسک از ۶۲۲۹۵ المان به اندازه ۴ میلی متر استفاده شده است.

جدول ۲- خواص مکانیکی مواد به کار رفته در دیسک دوار شیاردار

جنس	E (GPa)	ν	$\rho(Kg/M^3)$
فولاد	200	0.3	7850
آلومینیوم	71	0.33	2770
تیتانیوم	96	0.36	4620

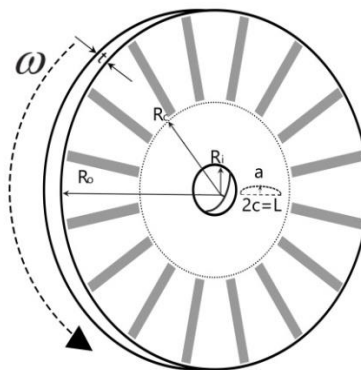
$$p_i(a) = s_i(a) + \frac{\pi}{n} \sum_{k=1}^n M(a, t_k) p_i(t_k) \quad (11)$$

$$p_i(b) = s_i(b) + \frac{\pi}{n} \sum_{k=1}^n M(a, t_k) p_i(t_k) \quad (12)$$

بنابراین، طبق روابط گفته شده، ضرایب شدت تنش از فرمول های (۵) و (۶) محاسبه می شود.

۳- تشریح مدل سازی المان محدود ترک های شعاعی سه بعدی نیم بیضوی در دیسک های دوار

در این بخش، به تشریح مدل سازی المان محدود ترک های شعاعی سه بعدی نیم بیضوی با استفاده از نرم افزار انسیس پرداخته می شود. نرم افزار انسیس با قابلیت تعریف ترک و مش بندی دقیق در کل دیسک و اطراف ترک، می تواند جواب های قابل قبولی را در راستای محاسبه ضریب شدت تنش مود اول به دست آورد. ترک ها پس از یک دوره بارگذاری و بار برداری های متناوب بر روی اجسام ، پدید می آیند. با گذشت زمان و رشد ترک ، شکل آن ها به صورت نیم بیضوی می شود [۱۰].



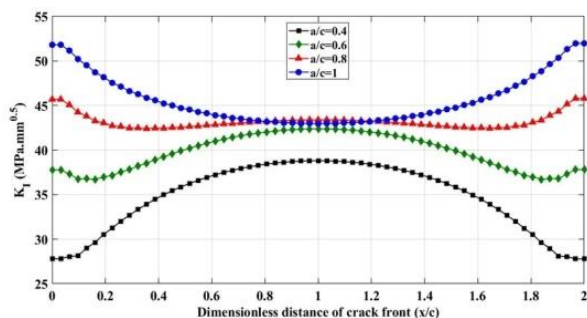
شکل ۱- شکل شماتیک ترک شعاعی در دیسک دوار شیاردار

در شکل ۱ طرح شماتیک از یک دیسک دوار شیاردار حاوی ترک نشان داده شده است. مطابق با این شکل یک دیسک دوار شیاردار به ضخامت t ، شعاع خارجی R_o ، شعاع داخلی R_i دارای ترک نیم بیضوی به طول 2c و عمق a می باشد. طول شیارها در شکل L فرض شده است و فاصله ترک از مرکز دیسک Rc می باشد. قطر بزرگ بیضی نشان دهنده طول ترک و قطر کوچک بیضی نشان دهنده عمق ترک است. دیسک با سرعت زاویه ای ω در جهت ساعتگرد یا پاد ساعتگرد می تواند دوران کند. جهت دوران دیسک در این مقاله، پاد ساعتگرد فرض شده است. صفحه ترک بر جهت تنش مماسی اعمالی، عمود است. در جدول ۱ مقادیر مربوط به پارامترهای ذکر شده برای مدل سازی دیسک دوار شیاردار حاوی ترک درج شده است.

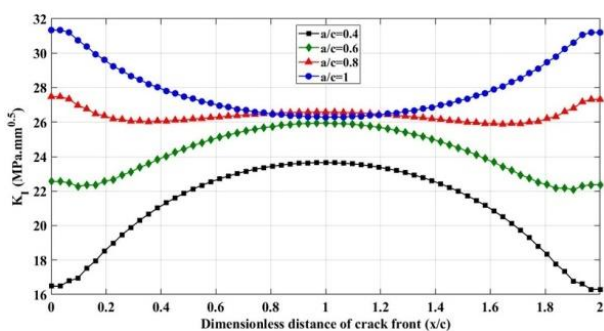
جدول ۱- پارامترهای در نظر گرفته شده برای مدل سازی دیسک دوار شیاردار

حاوی ترک		
مقادیر مربوطه	توضیحات	متغیر های حاکم بر مسئله
25mm	شعاع داخلی دیسک	R_i
110mm	شعاع خارجی دیسک	R_o

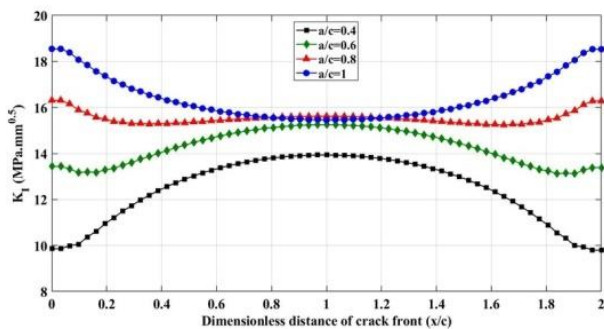
منظره‌های ۰/۴ و ۰/۶، رشد این دو پارامتر به صورت صعودی و در نسبت منظر ۰/۸ به سمت صفر میل می‌کند. هم‌چنین در نسبت منظر ۱، رشد هر دو پارامتر نزولی است. می‌توان نتیجه گرفت محدوده تغییرات ضریب شدت تنش قبل از عمیق‌ترین نقطه ترک با نسبت منظره‌های ۰/۴ و ۰/۶ به صورت افزایشی و در نسبت منظر ۱ به صورت کاهش‌ی رشد می‌کند. این اتفاق، بعد از عمیق‌ترین نقطه ترک، به طور بالعکس رخ می‌دهد یعنی اگر محدوده $\frac{x}{c}$ بین ۱/۲ الی ۱/۶ فرض شود ضریب شدت تنش با نسبت منظر ۰/۴ و ۰/۶ به صورت افزایشی و با نسبت منظر ۱ به صورت کاهش‌ی رشد می‌کند.



شکل ۵- نمودار تغییرات ضریب شدت تنش K_I در جبهه ترک شعاعی با سرعت دورانی ۷۰۰۰ rpm برای دیسک دوار فولادی با نسبت منظره‌های مختلف



شکل ۶- نمودار تغییرات ضریب شدت تنش K_I در جبهه ترک شعاعی با سرعت دورانی ۷۰۰۰ rpm برای دیسک دوار تیتانیومی با نسبت منظره‌های مختلف



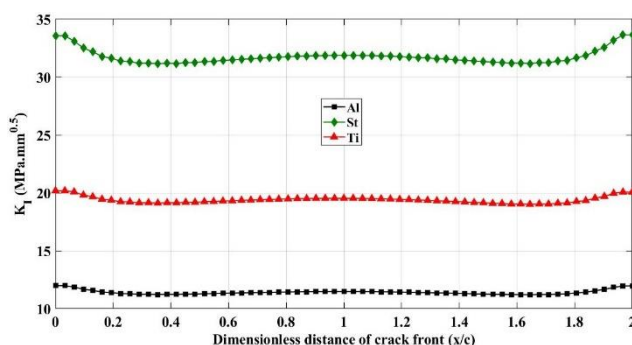
شکل ۷- نمودار تغییرات ضریب شدت تنش K_I در جبهه ترک شعاعی با سرعت دورانی ۷۰۰۰ rpm برای دیسک دوار آلومینیومی با نسبت منظره‌های مختلف

۴- بررسی پارامترهای مختلف بر رشد ترک و ضریب شدت تنش

در این بخش نتایج مربوط به بررسی تاثیر پارامترهای مختلف نظیر تاثیر جنس دیسک دوار، تاثیر سرعت دورانی و هم‌چنین تاثیر نسبت منظر ترک بر روی مقادیر ضرایب شدت تنش مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

۴-۱- بررسی تأثیر جنس دیسک دوار بر ضرایب شدت تنش

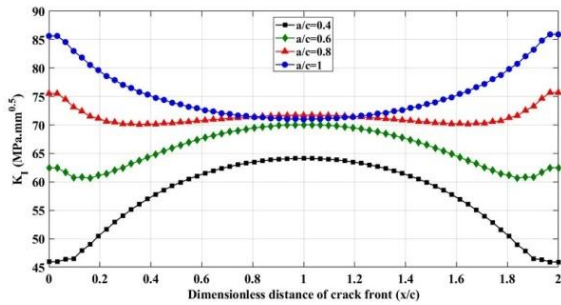
جنس دیسک‌های دوار می‌تواند به صورت مستقیم در رفتار مکانیک شکست دیسک و مقادیر ضرایب شدت تنش تاثیر گذار باشد. برای بررسی این تاثیر در مقادیر ضریب شدت تنش، با ثابت در نظر گرفتن سرعت دورانی و نسبت منظر ترک، سه جنس مختلف آلومینیوم، تیتانیوم و فولاد برای دیسک دوار در نظر گرفته شده است. در شکل ۴ نمودار تغییرات ضریب شدت تنش مود اول در جبهه ترک شعاعی با سرعت دورانی ۶۰۰۰ rpm با نسبت منظر ۰,۸ برای جنس‌های مختلف دیسک دوار شیاردار نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود ضریب شدت تنش مود اول در دیسک آلومینیومی کم‌ترین مقدار و در یک دیسک فولادی بیش‌ترین مقدار را دارد. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهند که، درصد تغییرات ضریب شدت تنش در یک دیسک فولادی و تیتانیومی از درصد تغییرات آن در یک دیسک آلومینیومی بیشتر است. بنابراین می‌توان گفت دیسک دوار آلومینیومی کمترین تغییرات را در ضرایب شدت تنش نسبت به دو جنس دیگر دارد.



شکل ۴- نمودار تغییرات ضریب شدت تنش K_I در جبهه ترک شعاعی با سرعت دورانی ۶۰۰۰ rpm با نسبت منظر ۰,۸ برای جنس‌های مختلف دیسک دوار شیاردار

۴-۲- بررسی تأثیر نسبت منظر ترک بر ضریب شدت تنش

در این بخش برای پی بردن به تأثیر پارامتر نسبت منظر ترک بر مقادیر ضریب شدت تنش، ترک‌های نیم بیضوی با نسبت منظره‌های مختلف ۰,۴ الی ۱ در نظر گرفته می‌شوند. در این راستا شعاع اصلی ترک با مقدار ثابت ۵ میلی‌متر و شعاع کوچک ترک نیم بیضوی از ۲ الی ۵ میلی‌متر متغیر فرض می‌شود. با در نظر گرفتن فاصله بی بعد $\frac{x}{c}$ در سرتاسر جبهه ترک، مقدار ضرایب شدت تنش را می‌توان ارائه نمود. در اشکال ۵ الی ۷ به ترتیب نمودار تغییرات ضریب شدت تنش مود اول در جبهه ترک شعاعی با سرعت دورانی ۷۰۰۰ rpm برای دیسک دوار فولادی، تیتانیومی و آلومینیومی با نسبت منظره‌های مختلف نشان داده شده است. با بررسی این نمودارها و توجه به شیب خط ضرایب شدت تنش و درصد تغییرات ضرایب شدت تنش در فاصله ۰/۴ الی ۰/۶، مشاهده می‌شود فارغ از جنس دیسک‌های دوار، در نسبت



شکل ۱۱- نمودار تغییرات ضریب شدت تنش K_I در جبهه ترک شعاعی در دیسک دوار فولادی با سرعت دورانی ۹۰۰۰ rpm

۵- نتیجه گیری

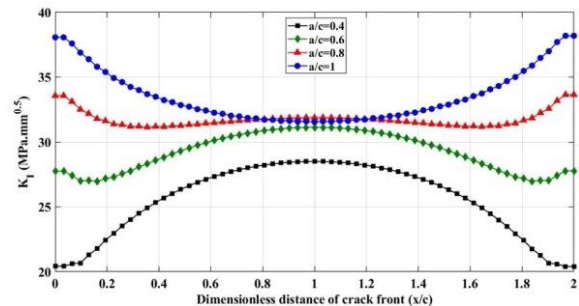
امروزه طراحی و مطالعه دیسک‌های دوار در صنعت هوافضا تحت شرایط کاری گوناگون، دارای اهمیت بسیاری است. عوامل مختلفی مانند انواع بارگذاری و بار برداری‌ها، عوامل محیطی، فرسایش و گذشت زمان می‌تواند سبب ایجاد ترک در دیسک دوار شده و بر روی عمر مفید دیسک‌های دوار تأثیر گذار باشد. با آگاهی بر عوامل توسعه دهنده ترک و جلوگیری از بروز خطرات احتمالی، می‌توان خسارات را کاهش داد و شرایط بهتری را برای عملکرد دیسک دوار مهیا نمود. در این مقاله به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف نظیر جنس دیسک دوار، نسبت منظر ترک و سرعت دورانی در رفتار مکانیک شکست دیسک‌های دوار شیاردار پرداخته شده است. در این راستا در مجموع ۴۸ حالت مختلف کاری برای دیسک‌های دوار شیار دار ترک‌دار در نظر گرفته شده است و رفتار این دیسک‌ها از منظر مکانیک شکست مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته شده است. نتایج نشان دادند که ضریب شدت تنش مود اول در دیسک آلومینیومی کم‌ترین مقدار و در یک دیسک فولادی بیش‌ترین مقدار را دارد. محدوده تغییرات ضریب شدت تنش قبل از عمیق‌ترین نقطه ترک با نسبت منظرهای ۰/۴ و ۰/۶ به صورت افزایشی و در نسبت منظر ۱ به صورت کاهشی رشد می‌کند. این اتفاق، بعد از عمیق‌ترین نقطه ترک، به طور بالعکس رخ می‌دهد. نتایج نشان دادند که مقدار نسبت منظر ترک در محل وقوع نقطه بحرانی در جبهه ترک به طور مستقیم تأثیر گذار است به نحوی که نقطه بحرانی در ترک‌ها با نسبت منظرهای ۰/۴ و ۰/۶ که ترک بیشتر حالت بیضوی دارد در عمیق‌ترین نقطه ترک اتفاق می‌افتد ولی در ترک‌ها با نسبت منظرهای ۰/۸ و ۱ که ترک بیشتر حالت دایروی دارد، نقطه بحرانی در سطح آزاد ترک اتفاق می‌افتد. همچنین مشاهده گردید دامنه تغییرات ضریب شدت تنش در دیسک دوار فولادی نسبت به دیسک تیتانیومی بیش‌تر بوده و هم‌چنین این دامنه تغییرات در دیسک تیتانیومی نیز نسبت به دیسک آلومینیومی بیش‌تر است.

۶- مراجع

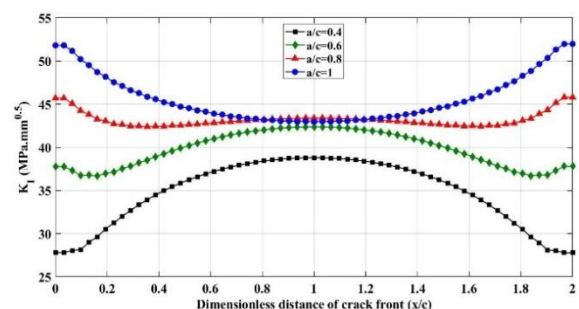
- [1] Atkin, R. J., & Fox, N. (2005). An introduction to the theory of elasticity. Courier Corporation
- [2] Ayhan, A. O. (2021). Stress intensity factor solutions and equations for radial surface cracks contained in rotating hollow disks. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 112, 102828.
- [3] Fakoor, M., & Ghoreishi, S. M. N. (2017). Comprehensive investigation of stress intensity factors in

۳-۴- بررسی مقدار سرعت دورانی بر ضریب شدت تنش

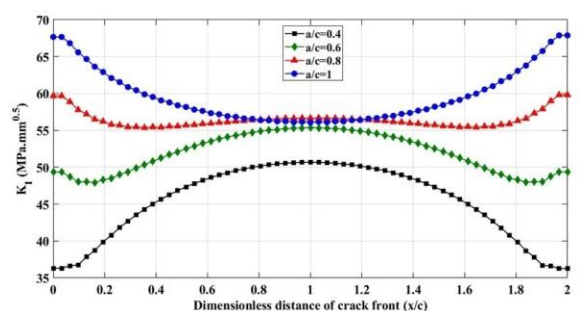
در این بخش به بررسی تأثیر سرعت دورانی بر مقادیر ضرایب شدت تنش پرداخته می‌شود. در این راستا با ثابت در نظر گرفتن جنس دیسک دوار، مقادیر ضرایب شدت تنش برای ترک‌ها با نسبت منظرهای مختلف و در سرعت‌های دورانی ۶۰۰۰ rpm الی ۹۰۰۰ rpm مورد مطالعه قرار گرفته می‌شود. در اشکال ۸ الی ۱۱ به ترتیب نمودار تغییرات ضریب شدت تنش مود اول در جبهه ترک شعاعی در دیسک دوار فولادی با سرعت‌های دورانی ۶۰۰۰ rpm، ۷۰۰۰ rpm، ۸۰۰۰ rpm و ۹۰۰۰ rpm نشان داده شده است. با مقایسه نمودارها و اثرات سرعت دورانی‌های ۶۰۰۰ rpm الی ۹۰۰۰ rpm بر ضریب شدت تنش، مشاهده می‌شود با افزایش سرعت دورانی مقادیر ضریب شدت تنش مود اول افزایش چشمگیری پیدا می‌کند به نحوی که حداکثر میزان افزایش مقدار ضریب شدت تنش مود اول از سرعت دورانی rpm به ۶۰۰۰ rpm برابر با ۱۲۸ درصد است که مربوط به ترک با نسبت منظر ۰,۴ می‌باشد.



شکل ۸- نمودار تغییرات ضریب شدت تنش K_I در جبهه ترک شعاعی در دیسک دوار فولادی با سرعت دورانی ۶۰۰۰ rpm



شکل ۹- نمودار تغییرات ضریب شدت تنش K_I در جبهه ترک شعاعی در دیسک دوار فولادی با سرعت دورانی ۷۰۰۰ rpm



شکل ۱۰- نمودار تغییرات ضریب شدت تنش K_I در جبهه ترک شعاعی در دیسک دوار فولادی با سرعت دورانی ۸۰۰۰ rpm

- rotating disks containing three-dimensional semi-elliptical cracks. *Applied Mathematics and Mechanics*, 38(11), 1565-1578.
- [4] Rooke, D. P., & Tweed, J. (1977). The stress intensity factors for two collinear edge cracks in a rotating disc. *Journal of Elasticity*, 7(2), 185-194.
- [5] Eskandari, H. (2014). Stress intensity factors for crack located at an arbitrary position in rotating FGM disks. *JJMIE*, 8(1).
- [6] Xu, Y. L. (1993). Stress intensity factors of a radial crack in a rotating compound disk. *Engineering fracture mechanics*, 44(3), 409-423.
- [7] Isida, M. (1981). Rotating disk containing an internal crack located at an arbitrary position. *Engineering Fracture Mechanics*, 14(3), 549-555.
- [8] Sukere, A. A. (1987). The stress intensity factors of internal radial cracks in rotating disks by the method of caustics. *Engineering Fracture Mechanics*, 26(1), 65-74.
- [9] S. Timoshenko and J. N. Goodier, *Theory of Elasticity* (3rd edn). McGraw-Hill, New York (1970).