



تعیین چقرمگی شکست فولاد MO40 مورد استفاده در قطعات خودرو به روش نرخ رهای انرژی کرنشی

مهرداد بایرامی¹ بهنام رضانی² علی اصغر بالسنی اقدم³ اسماعیل رضانی⁴

1- هنرستان فنی شهید غفور رئیسی میانه، وزارت آموزش و پرورش، تهران، ایران

2- سازمان فنی و حرفه ای میانه، وزارت کار و رفاه اجتماعی، تهران ایران

3- گروه مکانیک و متالورژی، واحد میانه، دانشگاه آزاد میانه، ایران

3- هنرستان فنی شهید غفور رئیسی میانه، وزارت آموزش و پرورش، تهران، ایران

چکیده

فولاد MO40 جز فولادهای پر کاربرد در صنایع مختلف اعم از صنایع خودرو، نفت و گاز و پتروشیمی، جنگ افزارسازی، معدن، غذایی و دارویی، تجهیزات آزمایشگاه، ساختمان، کشاورزی و غیره است. بدیهی است اصول و مبانی، روشها و تکنیکهای مکانیک شکست می تواند نقش مهمی را در طراحی و ساخت قطعات مکانیکی داشته باشد. هدف از این تحقیق، مطالعه درباره چقرمگی شکست فولاد MO40 به روش نرخ رهای انرژی کرنشی است. آزمایش شکست با استفاده از دستگاه کشش برای نمونه های فولاد MO40 استفاده شده است. در مجموع 4 نمونه کششی فشرده (CTs) یکسان و با طول ترک های مختلف 22/5، 25، 27/5، 32/5 میلیمتر مطالعه شدند. نتایج آزمایشگاهی حاصله نشان داد که با افزایش طول ترک در هر نمونه، میزان بار شکست کاهش یافته است و با افزایش طول ترک از 22/5 تا 32/5 میلیمتر کاهش جابجایی در نمونه ها رخ داده است.

واژه های کلیدی: چقرمگی شکست؛ مکانیک شکست فولاد؛ فولاد MO40، نرخ رهای انرژی کرنشی، رشد ترک.



1- مقدمه

حضور شیارها به شکل‌های مختلف در سازه‌های مهندسی به منظور انتقال بار از یک قطعه به قطعه دیگر، اتصال بین قطعات مختلف، کاهش وزن، افزایش ممان اینرسی، انتقال قدرت و غیره اجتناب ناپذیر است. اگر چه در نظر گرفتن شیار در سازه‌های مهندسی برای انجام اهداف خاصی است، اما محدودیت‌هایی را برای طراحان به همراه دارد. در واقع شیارها سبب بوجود آمدن تمرکز تنش در اطراف مرز خود می‌شوند و این امر ممکن است به شکل گیری یک ترک بینجامد. به طور کلی از مشاهدات آزمایشگاهی می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند شکست ترد سبب ایجاد تغییر کمی از انرژی کرنشی در اثر تغییر شکل‌های پلاستیک ماده تلف شده و تقریباً تمامی انرژی کرنشی صرف شروع رشد ترک خواهد شد. این امر علت ناگهانی و فاجعه بار بودن شکست ترد است که سبب گسترش تحقیقات این حوزه برای جلوگیری از خسارت‌های مالی و جانی شده است [1-3].

با توجه به دلایل ذکر شده، طراحان ترجیح می‌دهند که از مواد چکش خوار در ساخت سازه‌های مهندسی استفاده کنند زیرا در مواد چکش خوار تشکیل و رشد ترک نسبتاً آرام و تدریجی است و این امر بازرسی‌های دوره‌ای را راحت می‌کند. در طول سالیان گذشته روش‌های مختلفی برای تحلیل شکست نرم قطعات ترکدار ارائه شده است که می‌توان به دو روش منحنی مقاومت و زاویه بازشدگی نوک ترک^۱ به عنوان معروفترین آن‌ها اشاره کرد [4-5].

با توجه به ضرورت وجود شیار در طراحیهای مهندسی و ساخته شدن اکثر سازه‌های مهندسی از مواد چکش خوار، برخی از محققان به بررسی شکست نرم در قطعات شیاردار پرداختند [6-9]. از مهمترین روش‌های تحلیل شکست نرم، تئوری فواصل بحرانی و روش انتگرال - جی است [10]. که به ترتیب توسط مادرزو^۲ و همکاران و وانگ^۳ و همکاران برای تعیین چقرمگی شکست مواد چکش خوار پیشنهاد شده است. توجه به این نکته ضروری است که تمامی روش‌های ذکر شده برای تحلیل شکست قطعات چکش خوار بسیار پیچیده و زمانبر هستند. بنابراین با توجه به کاربرد وسیع مواد چکش خوار در صنایع مختلف وجود معیاری با تحلیل‌های ساده ضروری است [11].

در این تحقیق از روش گریفیث^۴ که به آن روش انرژی رهایی کرنشی نیز گویند، استفاده شده است. در حالت کلی در این تحقیق با به کار گیری روش المان محدود، ضرایب شدت تنش و شروع رشد ترک برای هر یک از نمونه‌ها بارگذاری شده‌اند. سپس بار بحرانی برای شکست جابجایی رشد ترک با استفاده از آزمایش کشش محاسبه و اندازه گیری شده‌اند. نتایج حاصل از آزمایش با استفاده از نرخ رهایی انرژی کرنشی تحلیل شده‌اند. آزمایش شامل گستره‌ی وسیعی از تست‌های چقرمگی

¹ Crack Tip Opening Angle

² Madrazo

³ Wang

⁴ Griffith

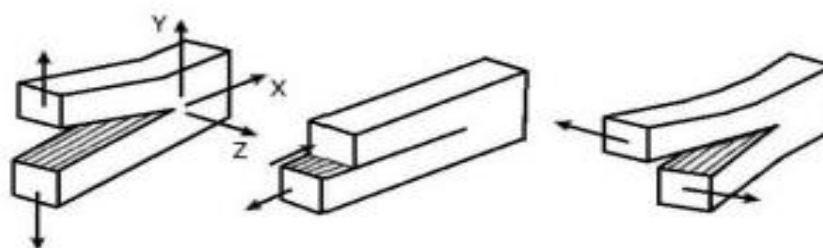


شکست فولاد بر روی نمونه CT فولاد MO40 است. آزمایش‌ها بر روی نمونه دارای ترک و توسط آزمایش کشش و با استفاده از روش‌های عددی و آزمایشگاهی انجام شده‌اند.

2- مفاهیم اولیه مکانیک شکست در تحلیل ترک‌ها

2-1- مفاهیم پایه مکانیک شکست

مقاومت به رشد ترک یا چقرمگی در مواد مرکب لایه‌ای با نرخ آزاد سازی انرژی کرنشی بیان می‌گردد. این کمیت را می‌توان به سه روش تحلیلی، عددی و تجربی محاسبه کرد. در منابع مختلف سه نوع مختلف بارگذاری برای ایجاد ترک در نظر گرفته می‌شود که به آنها مودهای رشد ترک می‌گویند. این مودها عبارتند از: مود I (باز شونده)، مود II (لغزشی) و مود III (پارگی). مود II به وسیله برش در صفحه (برش داخل صفحه‌ای) و مود III به وسیله برش خارج از صفحه (برش خارج صفحه‌ای) ایجاد می‌گردد. این مودهای رشد ترک در شکل 1 نشان داده شده‌اند. در عمل ممکن است ترکیبی از این سه مورد اتفاق بیفتد.



مود I

مود II

مود III

شکل 1 مودهای شکست قطعه به وسیله رشد ترک [12].

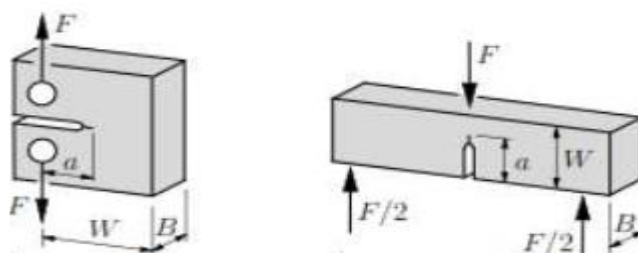
2-2- ضریب شدت تنش (K_T)

به صورت نسبت حداکثر تنش در اطراف ناحیه حفره‌ها به تنش القایی اسمی بیان می‌شود و شدت نواحی اطراف شیارها را تحت تاثیر قرار میدهد که پسوند T در نام لاتین آن از نظریه الاستیسیته گرفته است. این ضریب می‌تواند از جداول یا نمودارهایی بدست آید [13].



3-2- چقرمگی شکست (K_{Ic})

تعیین چقرمگی شکست یک ماده معمولاً توسط آزمایش‌های ASTM انجام می‌شود. در این آزمایش‌ها نمونه‌های مختلفی به کار می‌رود که دو تا از آنها در شکل 2 نمایش داده شده‌اند. این نمونه‌ها می‌بایست در ابتدا دارای ترک باشند که توسط یک بارگذاری اولیه در نمونه‌ها ایجاد شده است. از بارگذاری اندازه گیری شده در آغاز گسترش ترک چقرمگی شکست توسط رابطه انرژی بین ضریب شدت تنش، بار وارده و طول ترک بدست می‌آید [14].



الف

ب

شکل 2 نمونه‌های آزمایش (الف) تنش فشاری (ب) خمش سه نقطه‌ای [14].

3- روش پژوهش

3-1- مقدمه

هدف از آزمایش‌های شکست، به دست آوردن مقادیر بحرانی خواص پارامترهای شکست مواد از قبیل ضریب شدت تنش بحرانی و نرخ رهایی انرژی کرنشی آزاد شده است. انتشار ترک در مواد شکل پذیر به صورت پایدار است، لذا پارامترهای مهم شکست در این مواد، ضرایب شدت تنش و نرخ رهایی انرژی کرنشی آزاد شده در لحظه شروع ترک می‌باشد.

در تحقیق حاضر هدف به دست آوردن خواص مکانیکی فولادهای MO40 می‌باشد. تاکنون مطالعات زیادی برای به دست آوردن مقادیر چقرمگی شکست در فولادها انجام شده است، اما تحقیقی که چقرمگی قسمت‌های مختلف را با یک روش واحد معلوم کند، انجام نشده است. از طرفی نمیتوان مقادیر به دست آمده از تحقیقات مختلف را کنار هم قرار داد و بر اساس آن میزان چقرمگی قسمت‌های مختلف را مورد مطالعه قرار داد. یک دلیل برای این موضوع، استفاده از نمونه‌های آزمایش متفاوت در تحقیقات انجام شده می‌باشد. ترک موجود در هر کدام از این نمونه‌ها محدودیت و قیود متفاوتی نسبت به سایر نمونه‌ها دارد و این موضوع باعث به دست آوردن مقادیر متفاوت چقرمگی می‌شود. همان طور که قبلاً توضیح داده شد، به دلیل متفاوت بودن خواص مکانیکی فولادها، لازم است نمونه‌های آزمایش شکست، از بدنه فولادهای MO40 تهیه گردند.



در این تحقیق ابتدا مطالعات آزمایشگاهی انجام شده است و با استفاده از حداکثر نیروی بحرانی، نرخ رهایی کرنشی و در نهایت چقرمگی فولاد مورد آزمایش به دست آمده است.

3-2- مطالعات آزمایشگاهی

3-2-1- تئوری آزمایش

نمونه‌های CT فولاد MO40 تحت حالت‌های بارگذاری کششی خالص، قرار می‌گیرد و با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی، بار بحرانی و جابجایی بحرانی شکست تعیین می‌شود. برای محاسبه‌ی نرخ رهایی انرژی کرنشی، لازم است تئوری زیر به صورت خلاصه بیان شود:

$$\dot{W}: \text{انرژی تعادل قانون} \\ = \dot{E} + \dot{K} + \dot{r} \quad (\text{معادله 1})$$

\dot{W} : کار نیروهای اعمال

\dot{E} : نرخ انرژی داخلی

نرخ تغییرات انرژی پلاستیک+نرخ تغییرات انرژی الاستیک: $\dot{E} = \dot{U}^e + \dot{U}^p$

نرخ انرژی کرنش الاستیک: \dot{U}^e

نرخ انرژی کرنش پلاستیک: \dot{U}^p

نرخ انرژی جنبشی: \dot{K}

نرخ انرژی لازم برای گسترش ترک: \dot{r}

در نهایت نرخ رهایی انرژی کرنشی جسم در حالت‌های مختلف بارگذاری، طبق معادله 2 محاسبه می‌شود:

$$G = \frac{P_i U_j - P_j U_i}{2B(a_j - a_i)} \quad (\text{معادله 2})$$

P_i : بار اولیه (KN)

G : انرژی کرنشی



P_j : بار ثانویه (KN) U_i : جابجایی اولیه (mm)

U_j : جابجایی ثانویه (mm) B : ضخامت (mm)

a_i : طول ترک اولیه (mm) a_j : طول ترک ثانویه (mm)

2-2-3) خصوصیات نمونه آزمایش

مواد اولیه مورد استفاده در آزمایش از شرکت ملی فولاد ایران تهیه شده است. در جدول 1 ترکیب شیمیایی این نمونه‌ها که در شرکت فولاد آذربایجان- ایران با استفاده از دستگاه کوانتومتر مدل SPECTRO آنالیز شده، آمده است.

جدول 1 ترکیب شیمیایی نمونه فولاد MO40

عنصر	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N
درصد (%)	0/371	0/202	0/738	0/0120	0/0107	0/963	0/153	0/0182	0/0028
عنصر	Al	Co	Cu	Nb	Ti	W	Pb	As	Fe
درصد (%)	0/0464	0/0089	0/0237	0/0049	0/0027	0/0021	0/00072	0/0029	97/4
عنصر	Zr	Bi	Ca	Ce	Sb	B	Zn	La	
درصد (%)	0/00010	0/0019	0/0014	0/0039	0/0048	0/00010	0/0016	0/00039	

برخی از خواص مکانیکی نمونه‌ها با مراجعه به جدول مشخصات فولادهای شرکت ملی فولاد ایران، تهیه شده و در جدول 2 آمده است.

جدول 2 خواص مکانیکی نمونه فولاد MO40 شرکت ملی فولاد ایران

توان بازدهی (Mpa)	مقاومت فشاری تک محوره (MPa)	ضریب پواسون (ν)	مدول الاستیسیته (Mpa)
415	25/70	0/27 - 0/30	190 - 210



سختی نمونه‌ها به طور میانگین، قبل و بعد از عملیات حرارتی و با استفاده از دستگاه سختی‌سنجی مدل EQUOTLP اندازه‌گیری شده است و در جدول 3 آمده است.

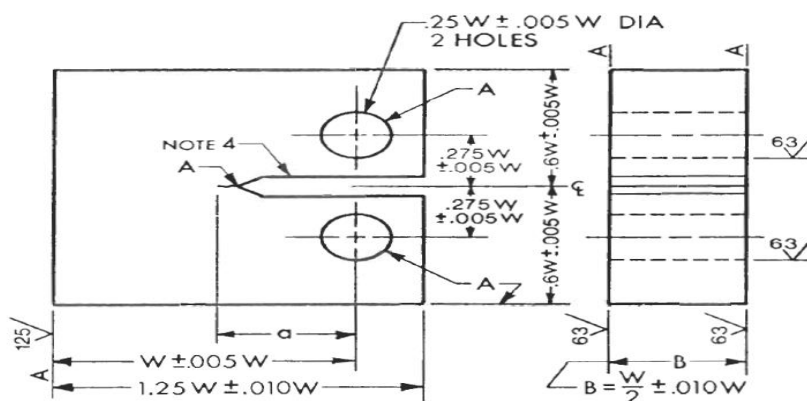
جدول 3 سختی نمونه CT فولاد MO40 مورد استفاده در قطعات خودرو

عنوان	سختی (HB)
سختی نمونه فولاد MO40 مورد استفاده در قطعات خودرو	128

3-2-3) آماده سازی نمونه

الف) نمونه‌های CT

برای ساخت نمونه‌ها مطابق ابعاد شکل 3 از استاندارد ASTM E399 استفاده شد. بدین منظور این نمونه‌ها با استفاده از یک دستگاه برش اره‌ای مدل Trex 260 ساخت کشور ایتالیا بریده شد. سپس در یک مرحله‌ی تکمیل‌کننده نیز توسط دستگاه فرز مدل Fp 4 ME ساخت کشور ایران، 4 نمونه در ابعاد $80 \times 65 \times 10$ میلی متر آماده شدند.



شکل 3 ابعاد نمونه CT بر اساس استاندارد ASTM E399

شکاف‌های لبه‌ای نیز با استفاده از یک اره دیسکی مدل Iran Thomas 275 باریک با ضخامت 2 میلی متر با نسبت طول ترک‌های متفاوت به پهنای نمونه، مطابق شکل 4-الف تهیه شدند. سپس برای آزمایش نمونه‌ها در شرایط بارگذاری حالت کششی، راس ترک‌ها با استفاده از تیغه اره به ضخامت $0/8$ میلی متر مطابق شکل 4-ب باریک شده‌اند تا تمرکز



تنش مناسبی برای شکست فراهم شود. در نهایت 4 نمونه با طول ترک‌های متفاوت 22/5، 25، 27/5، 32/5 میلیمتر آماده شدند.



(ب)



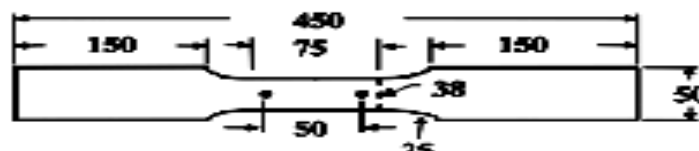
(الف)

شکل 4 (الف) اره دیسکی جهت ایجاد ترک و (ب) اره کمان جهت ایجاد شکاف راس ترک 0/8 میلیمتری

برای ثابت نگه داشتن نمونه‌ها توسط پین‌ها در بین فک‌های دستگاه تست کشش (مطابق شکل 3)، بایستی بر روی آن‌ها 2 عدد سوراخ ایجاد می‌شد که به وسیله‌ی دریل ستونی مدل Ms32b انجام گرفت.

(ب) نمونه کشش استاندارد

برای تعیین مقادیر استحکام تسلیم و استحکام کششی نهایی، نمونه‌ی آزمون کشش مطابق با استاندارد ASTM E8 تهیه شد [15]. لذا از قطعه اولیه فولاد MO40، نمونه‌ای مطابق مشخصات هندسی و ابعاد آمده در شکل 5 و با ضخامت 10 میلی‌متر آماده‌سازی شد.



شکل 5 مشخصات هندسی و ابعاد نمونه آزمایش کشش (بر حسب میلیمتر)



4-2-3) روش آزمون

در تحقیق حاضر از تست کشش برای بدست آوردن نرخ رهایی انرژی کرنشی توسط نمونه‌های CT استفاده شد. لذا با استفاده از مقادیر نیرو و جابجایی بحرانی تحت شرایط بارگذاری حالت کششی در طول ترک‌های مختلف، چقرمگی شکست تعیین شد. همچنین برای تعیین مقادیر استحکام تسلیم و استحکام کششی نهایی، از نمونه کششی استاندارد استفاده شد. برای انجام این آزمایش‌ها از دستگاه تست کشش مدل STM-250 که در شکل 6 نشان داده شده است، استفاده شد. این دستگاه دارای ظرفیت 25KN بود. نرخ بارگذاری با کنترل سرعت حرکت فک متحرک در حین انجام آزمایش، 5 میلیمتر بر دقیقه و میزان پیش بار روی 1KN تنظیم شده بود.



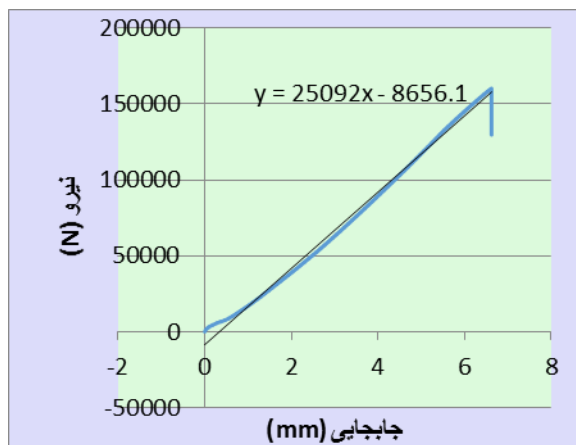
شکل 6 دستگاه تست کشش STM-250

4- نتایج و بحث

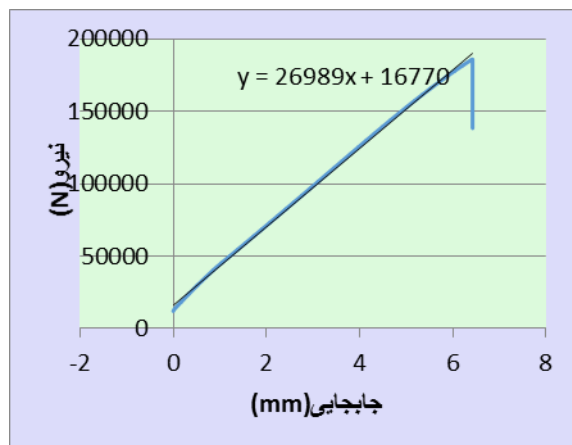
4-1) نتایج حاصل از روش آزمایشگاهی

4 نمونه‌ی CT با استفاده از دستگاه بارگذاری کششی تحت آزمون مکانیک شکست قرار گرفتند. خروجی این دستگاه، منحنی‌های بار-جابجایی است که برای تعیین نیرو و جابجایی ماکزیمم مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این منحنی‌ها می‌توان برای تحلیل رفتار مکانیکی فولادی که رفتاری نسبتاً ترد دارد، نیز بهره برد.

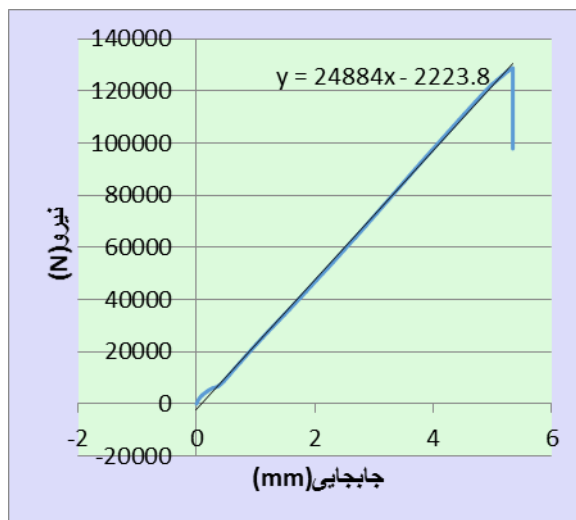
برای بارگذاری کششی، مقادیر جابجایی و نیروی بحرانی بر حسب طول ترک نمونه‌ها مطابق شکل 7، به ترتیب در جداول 5 و 6 آمده است.



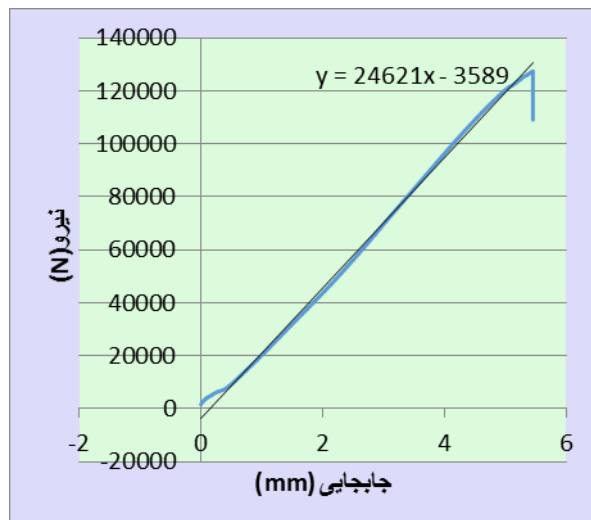
ب



الف



د



ج

شکل 7- منحنی نیرو- جابجایی در طول ترک‌های مختلف: (الف) 22/5، (ب) 25، (ج) 27/5 و (د) 32/5 میلیمتر

جدول 4 جابجایی بحرانی نمونه‌های CT برای طول ترک‌های مختلف در بارگذاری کششی

طول ترک (mm)	22/5	25	27/5	32/5
مقادیر جابجایی بحرانی (mm)	6/4	6/262	5/45	5/3



جدول 5 نیروی بحرانی نمونه های CT برای طول ترک های مختلف در بارگذاری

طول ترک (mm)	22/5	25	27/5	32/5
مقادیر نیروی بحرانی (KN)	138321	129626/9	109099/5	97854/8

چهار نمونه CT فولاد MO40 با ابعاد ذکر شده تحت آزمایش کشش قرار گرفتند. برای هر نمونه دوبار آزمون کشش انجام شد. جدول 5 مقادیر بار بحرانی شکست هر نمونه و در جدول 4 جابجایی بحرانی شکست نشان داده شده است. همچنین در جدول 6 میانگین بار بحرانی شکست نشان داده شده است. روند تغییرات بار بحرانی بر حسب طول ترک های مختلف در شکل 7 نشان داده شده است.

همان طور که ملاحظه می شود با افزایش طول ترک در نمونه CT فولاد MO40 بار بحرانی شکست، کاهش می یابد. مقدار G در برابر بحرانی شکست در طول ترک های مختلف محاسبه شده و نتایج در جدول 6 بیان شده است. در شکل 7 تغییرات نیرو جابجایی بر حسب طول ترک های 22/5 تا 32/5 نشان داده شده است. همان طور که از شکل ملاحظه می شود با افزایش طول ترک، با وجود کاهش بار بحرانی شکست برای هر کدام از نمونه ها، مقدار جابجایی کاهش می یابد.

1-1-4) تعیین نرخ رهایی انرژی کرنشی

برای بررسی تاثیر حالت بارگذاری کششی در شکست نمونه فولاد MO40، نرخ رهایی انرژی کرنشی با استفاده از روش انرژی که قسمت 2-3-2 تشریح شد، محاسبه گردید. به عبارتی، نرخ رهایی انرژی کرنشی بعد از تعیین میزان بارهای بحرانی و جابجایی ها، با استفاده از معادله 2 برای هر کدام از نمونه ها با طول ترک های مختلف، محاسبه شده است. نتایج حاصله در جدول 7 آمده است. مشاهده می شود، طبق روش انرژی با افزایش بارگذاری، نرخ رهایی انرژی کرنشی کاهش می یابد.

نتایج حاصل از این روش برای نمونه های CT فولاد MO40 در طول ترک های مختلف، به روش عددی مقایسه شدند. در جدول 6 مقدار نرخ رهایی انرژی کرنشی برای نمونه های مذکور بر اساس نتایج تجربی، مدل سازی عددی، روابط تحلیلی آورده شده اند. با توجه به جدول 6 می توان دریافت که به ترتیب، کمترین و بیشترین مقدار نرخ رهایی انرژی کرنشی با چیدمان طول



ترک‌های مختلف 22.5 و 32.5 می‌باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش طول ترک مقدار نرخ رهایی انرژی کرنشی نیز افزایش می‌یابد و مقدار نرخ رهایی انرژی کل 8286/95 رسیده است.

جدول 6 نتایج حاصل از محاسبه‌ی نرخ رهایی انرژی کرنشی در طول ترک‌های مختلف

نرخ رهایی انرژی کرنشی (J/m ²)	جابجایی بحرانی (mm)	نیروی بحرانی (KN)	طول ترک (mm)
17214/57	6/4	138321	22/5
3154/41	6/62	129626/9	25
4491/86	5/45	109099/5	27/5
8286/95	5/3	97854/8	32/5

2-2-4) نتایج حاصل از کارهای عددی و تحلیل آنها

به منظور ارزیابی ضرایب هندسی یا ضرایب شدت تنش در حالت‌های بارگذاری کششی و برشی نمونه‌ی فولاد MO40، مدل عددی مورد نظر در نسبت طول ترک‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفته است. برای بدست آوردن این ضرایب، نسبت (a/w) بین اعداد 0/2 و 1 انتخاب شده است. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها یک چند جمله‌ای به صورت معادله 3 است. همچنین در صورتی که ابعاد ورق نسبت به طول ترک خیلی بزرگ نباشد ضریبی به نام ضریب تصحیح برای آن به کار برده می‌شود که اثر اندازه را نیز در نظر می‌گیرد. برای ترک لبه‌ای که در آن در لبه آن نیروی متمرکز وجود داشته باشد، مقدار ضریب شدت تنش از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$f\left(\frac{a}{w}\right) = \frac{\left(2+\frac{a}{w}\right)\left[0/886+6/64\left(\frac{a}{w}\right)-13/32\left(\frac{a}{w}\right)^2+14/72\left(\frac{a}{w}\right)^3-5/6\left(\frac{a}{w}\right)^4\right]}{\left(1-\frac{a}{w}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (\text{معادله 3})$$

$$K_c = \text{Fractar Toughness}$$



$$K_Q = \text{Critical Stress Intensity}$$

$$G_c = \frac{K_{Ic}^2}{E} \quad (\text{Plane Stress})$$

$$G_c = \frac{(1-\nu^2)K_{Ic}^2}{E} \quad (\text{Plane Strain})$$

که در اینجا (a/w) نسبت طول ترک است که در آن a عبارت است از طول ترک و w برابر با طول نمونه است.

در شکل ۷-الف، نمودار حاصل از مطالعات عددی در طول ترک ۲۲/۵ میلیمتر، نشان داده شده است. همان طور که مشاهده

می‌شود در طول ترک ۲۲/۵ میلیمتر میزان تحمل بار کششی بیشتر از سایر نمونه ها می‌باشد.

آزمون کشش یکی از آزمون‌های مخرب علم مواد است که در آن یک نمونه تحت اثر کشش تک محوری تا حد

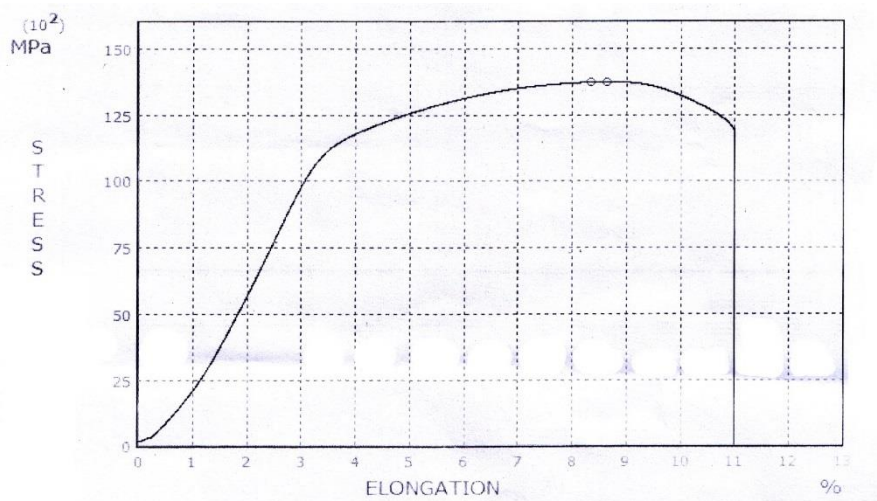
شکست مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از آزمون به طور معمول برای انتخاب یک ماده به منظور کنترل کیفیت و

پیش بینی اینکه چگونه یک ماده تحت انواع دیگری از نیروها واکنش نشان می‌دهد به کار می‌رود. خواصی که به طور مستقیم

از طریق آزمون کشش اندازه گیری می‌شود عبارتند از: مقاومت کششی نهایی، بیشترین افزایش طول و کمترین کاهش در

مساحت نمونه، مدول یانگ، نسبت پواسون، استحکام تسلیم و کرنش سختی ماده است. که در این آزمایش تنش تسلیم برای

ما اهمیت دارد. شکل ۸ منحنی حاصل از تست کشش نمونه دمبلی است.



شکل ۸ منحنی نیرو-جابجایی نمونه‌ی کشش دمبلی



5- نتیجه گیری

چقرمگی بدنه فولاد MO40 نسبت به نواحی دیگر فولاد بیشترین مقدار را دارد. در همه ناحیه انتشار ترک به صورت پایدار بوده و با افزایش بار، ترک بتدریج رشد می‌کند. بار بحرانی نمونه‌های CT فولاد MO40 با افزایش طول ترک در آنها، کاهش پیدا کرده و این کاهش در هر 4 نمونه بارگذاری مطابق با جدول 5 دیده می‌شود. در این مقاله نمونه CT فولاد MO40 با طول ترک‌های مختلف از 22/5 تا 32/5 تحت آزمایش کشش قرار گرفت و بار بحرانی و جابجایی بحرانی شکست با استفاده از نمودار نیرو - جابجایی استخراج گردید. نتایج نشان دادند، که با افزایش طول ترک مقدار بار بحرانی شکست کاهش می‌یابد و مقدار نرخ رهایی انرژی کرنشی کل در طول ترک‌های مختلف به $8286/95 \text{ J/m}^2$ می‌رسد.

6- پیشنهادات

تکرار این تحقیق با استفاده از سایر فولادهای مورد استفاده در صنعت. بررسی تاثیر میزان ضخامت نمونه و وجود شیار جانبی در نمونه CT در چقرمگی شکست.



مراجع

- 1- R. Hojjati-Talemi, S. Cooreman, D. Van Hoecke, Finite element simulation of dynamic brittle fracture in pipeline steel: A XFEM-based cohesive zone approach Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications, 232(5) (2018) 357-370.
- 2- O. Zvirko, N. Kret, O. Tsyulnyk, T. Vengrynyuk, Influence of textures of pipeline steels after operation on their brittle fracture resistance, Materials Science, 54(3) (2018) 400-405.
- 3- W. Li, Z. Jin, G. Cusatis, Size effect analysis for the characterization of marcellus shale quasi brittle fracture properties, Rock Mechanics and Rock Engineering, 52(1) (2019) 1-18.
- 4- S. Chandra, R. Sarkar, A Bhowmick, P. De, P. Chakraborti, S. Ray, Crack tip opening angle (CTOA) and 85 measurements on SENT and DENT specimens of a thin interstitial-free steel sheet, Engineering Fracture Mechanics, 225 (2020).
- 5- P. Kuhn, G. Catalanotti, J. Xavier, P. Camanho, H. Koerber, Fracture toughness and crack resistance curves for fiber compressive failure mode in polymer composites under high rate loading, Composite Structures, 182 (2017) 164-175.
- 6- J. S. Kim, N. O. Larrosa, A. J. Horn, Y. J. Kim, R. A. Ainsworth, Notch bluntness effects on fracture toughness of a modified S690 steel at 150 C, Engineering Fracture Mechanics, 188 (2018) 250-267.
- 7- W. Musraty, B. Medjo, N. Gubeljak, A. Likeb, I. Cvijovic-Alagic, A. Sedmak, M. Rakin, Ductile fracture of pipe-ring notched bend specimens-Micromechanical analysis, Engineering Fracture Mechanics, 175 (2017) 247-261.
- 8- L. Derpenski, Ductile fracture behavior of notched aluminum alloy specimens under complex non-proportional load, Materials, 12(10) (2019).
- 9- J. Pan, Y. Wang, Y. Li, Ductile fracture in notched bulk metallic glasses, Acta Materialia, 136 (2017) 126-133.
- 10- V. Madrazo, S. Cicero, I. A. Carrascal, On the point method and the line method notch effect predictions in Al 7075-T651, Engineering Fracture Mechanics, 79 (2012) 363-369.
- 11- W. Q. Wang, A.J. Li, P. N. Li, D. Y. Ju, An engineering approach for notch elastic-plastic fracture analysis, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 60(1) (1994) 1-16.
- 12- Carlsson LA, Kardomateas GA, Structural and failure mechanics of sandwich composites. Springer Science and Business Media, (2011).
- 13- Landes, J. D. Begley, J. A. The Effect of Specimen Geometry on JIC, ASTM STP 514, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PP. 24-29, 2016.
- 14- Begley, J. A. Landes, J. D. The J- Integral as a Fracture Criterion, ASTM STP 514, 2016.
- 15- ASTM E8/E8 M-09, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, (2009).



Determination of MO40 Steel Fracture Toughness Used in Auto Parts by the Strain Energy Release Rate Method

Mehrdad bayrami⁵

Behnam Ramezani

Shahid Ghafoor Raisi Middle Technical College,
Ministry of Education, Tehran, Iran

Intermediate Technical and Professional Organization,
Ministry of Labor and Social Welfare, Tehran, Iran

Ali Asghar Balesini Aghdam

Esmail Ramezani

Department of Mechanical and Metallurgical Engineering,
Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran

Shahid Ghafoor Raisi Middle Technical College,
Ministry of Education, Tehran, Iran

Abstract

MO40 steel is one of the widely used steels in various industries, such as automotive, oil and gas, petrochemical, military, mining, food and pharmaceutical, laboratory equipment, construction, agriculture, etc. It is obvious that principles and foundations, methods and techniques of fracture mechanics can play an important role in designing and manufacturing mechanical parts. The purpose of this research is to study the fracture toughness of MO40 steel using the strain energy release rate method. Fracture test using tensile device has been used for MO40 steel samples. In total, 4 same compressive tensile samples (CTs) with different crack lengths of 22.5, 25, 27.5, 32.5 mm were studied. The obtained laboratory results showed that with increasing crack length in each sample, the amount of failure load decreased and with increasing crack length from 22.5 to 32.5 mm, there was a decrease in displacement in the samples.

Key words: fracture toughness; Steel fracture mechanics; MO40 steel, strain energy release rate, crack growth.

⁵ Mehrdad Bayrami