

تعمیر ترکهای ایجاد شده در سازه‌ها توسط سوراخ متوقف‌کننده

آیدین حمیدی^۱

پژوهشکده مهندسی وزارت جهاد کشاورزی، مرکز تحقیقات مهندسی آذربایجان شرقی، گروه الکترواستاتیک
ایران، تبریز، صندوق پستی ۳۴۶-۵۱۷۴۵، تلفن: ۵۴۱۶۵۲۲ (۰۴۱۱)، فاکس: ۵۴۰۸۸۸۹ (۰۴۱۱)

Aydin2020@yahoo.com

چکیده

در این مقاله به معرفی روش‌های تعمیری بر روی ترکهایی که در سازه‌های هوایی، پل‌های فولادی و غیره رخ می‌دهد، پرداخته می‌شود. سپس از میان آنها، یک روش بسیار مفید که می‌تواند راه‌کار مناسبی برای مقابله با این ترکها باشد ارائه می‌شود. در این روش در انتهای ترک سوراخکاری انجام می‌شود تا از تنش‌های اطراف نوک ترک کاسته شود و ترک متوقف شود. همچنین در صورت نیاز روشهای تعمیری دیگر بر روی ترک اعمال می‌شود. برای این روش سه شیوه سوراخکاری ارائه شده است که مربوط به محل سوراخ‌کاری در انتهای ترک است. در اینجا سعی شده است بهترین و ضعیف‌ترین شیوه معرفی شود. در پایان یک آزمایش تجربی توسط دستگاه کشش برای مشخص شدن بهترین شیوه سوراخکاری انجام شد که بهترین روش مشخص شود.

واژه‌های کلیدی: ترک - تعمیر و ترمیم - سوراخ متوقف‌کننده - نیروی بحرانی

۱- مقدمه

ایجاد و رشد ترک در قطعات و سازه‌ها یک امر اجتناب ناپذیر می‌باشد. عامل وقوع این ترکها می‌تواند نیروهای متناوب وارد بر قطعه، کشیدگی ناشی از عملیات جوشکاری، عیوب و حفره‌های ناشی از ریخته‌گری، تنشهای حرارتی و موارد دیگر باشد. لذا تعویض یک قطعه یا قسمتی از سازه شاید به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نباشد و یا بسیار دشوار و زمان‌بر باشد. بنابراین ارائه روش‌های تعمیری بسیار سودمند است و استفاده از تعمیرات ترکها در صنایع هوایی و سازه‌های فولادی بخصوص در پلها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطالعات و پژوهشهای بسیاری در این مورد انجام شده و روش‌های تعمیری بر روی ترکها را ارائه کرده‌اند [۱-۴].

۲- روش‌های تعمیر و ترمیمی ترک‌ها

روش‌های تعمیر و ترمیم ترک‌ها به شیوه‌های مختلف انجام می‌گیرد که بسته به چگونگی نیروی وارد، شکل ترک و نیز جنس ماده‌ای دارد که ترک در آن بوجود می‌آید. روش‌های اصلی تعمیراتی ترک را می‌توان بدین صورت بیان کرد:

- استفاده از چاک‌های تعمیری

- تعمیر بوسیله سوراخ‌های متوقف‌کننده^۱

- ترمیم به کمک صفحات تقویت‌کننده پرچ شده یا چسبیده بر روی سطح دارای ترک

- چفت کردن با استفاده از پیچ و مهره و یا دوختن دو سطح مجزا

- جوش کردن دو سطح مجزا و یا پر کردن با مواد ترمیمی

روش‌های فوق راه‌کارهای اصلی مقابله مثل با ترک‌های ایجاد شده می‌باشد. می‌توان برای ترمیم ترک‌ها از میان این روش‌ها با توجه به وضعیت و چگونگی ترک و جنس ماده یکی را برگزید. در بعضی از مواقع هم یک روش کافی نیست و پس از آن باید روش‌های تکمیلی را هم اجرا کرد.

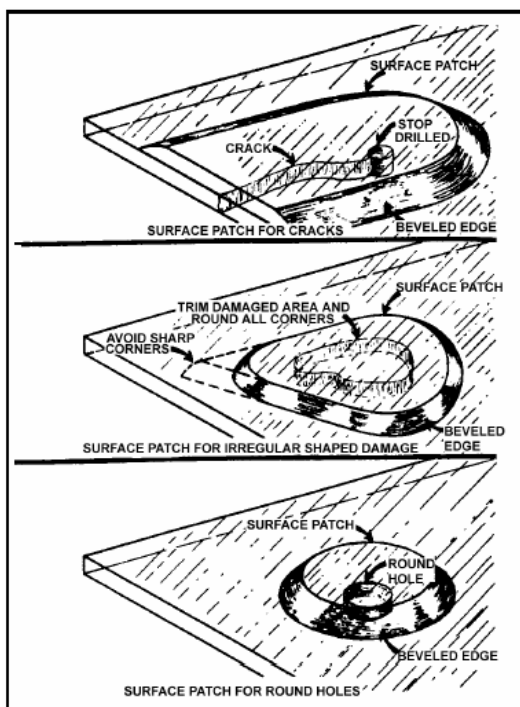
روش‌های تعمیری را می‌توان برای دو گروه از سازه‌ها که شامل سازه‌های غیرفلزی و فلزی است تقسیم کرد. سازه‌های غیرفلزی صفحات و قطعات پلاستیکی، پلیمری و کامپوزیتی است در حالی که سازه‌های فلزی بیشتر در پلهای فولادی و سازه‌های فلزی هوایی (هواپیما و بال‌گرد) مطرح می‌شود [۵۶].

۳- ترمیم ترک پلاستیک‌ها

در مواد پلاستیکی، در روی قسمت ترک‌دار یک تکه از همان ماده را بصورت وصله بر روی سطح ترک با استفاده از گرم کردن دو سطح یا چسب‌کاری نصب می‌کنند، بطوریکه کناره وصله از ترک $\frac{3}{4}$ اینچ فاصله داشته باشد. شکل (۱) نحوه بکارگیری این روش را نشان می‌دهد. از این روش برای تعمیر بخش‌های صدمه‌دیده که شکلهای بخصوصی ندارند و سوراخ‌های ایجاد شده هم استفاده می‌کنند [۷].

در مواد پلاستیکی علاوه بر کاربرد روش بالا دو روش دیگر نیز وجود دارد که در سازه‌های جدار نازک و صفحات استفاده می‌شود.

در روش نخست که در ترک‌هایی اعمال می‌شود که لبه‌های ترک در مقابل هم قرار دارند، سوراخ‌های کوچکی در راستای ترک ایجاد می‌کنند که فاصله آنها از همدیگر و نیز لبه کناری ترک $\frac{1}{2}$ اینچ می‌باشد. سپس با استفاده از سیم برنجی این سوراخ‌های کوچک به هم دوخته می‌شود و برای آب‌بندی، ترک را با سیلیکون^۲ پر می‌کنند.

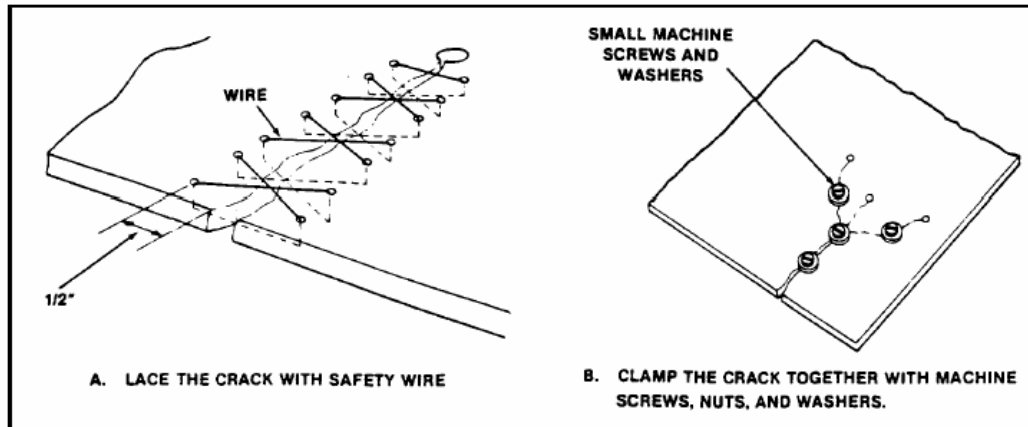


شکل (۱). نحوه اتصال تکه تعمیری بر روی سطح یک ترک متوقف‌شده با سوراخ، بخش آسیب‌دیده با شکل نامنظم و یک سوراخ ایجاد شده را نشان می‌دهد.

¹ Stop Hole

² Silicon

روش دوم هنگامی است که لبه‌های ترک در مقابل هم قرار ندارند و با استفاده از پیچ و مهره سوراخهایی را که در روی ترک با مته شماره ۲۷ به فواصل ۱ اینچ ایجاد شده‌اند را به هم می‌بندند و برای جلوگیری از صدمه به قطعات از واشر لاستیکی بهره می‌گیرند. در شکل (۲) این دو روش که در صفحات و سازه‌های جدار نازک بکار می‌رود، نشان داده شده است [۷].



شکل (۲). روشهای تعمیری ترک در سازه‌های جدار نازک (a) ترک با سیمهای یرنجی دوخته می‌شود. (b) ترکها با استفاده از پیچ، مهره و واشر محکم می‌شود.

۴- ترمیم ترک در سازه‌های فلزی

قطعات و سازه‌های فولادی بکار رفته در پلها ممکن است در اثر عبور قطارهای سنگین دچار ترک شوند که بعلت دشواری تعویض قطعات در صورت صدمه نیاز به ترمیم دارند. شکل (۳) نمونه‌ایی از ترک را در قسمتی از یک پل فولادی نشان می‌دهد.



شکل (۳). ترک ایجادشده در پل راه آهن

ترک از محل تمرکز تنش شروع شده و رشد می‌کند که باید متوقف شود. یکی از روش‌های بکار رفته در متوقف ساختن ترک که در پلهای فولادی کاربرد دارد، استفاده از سوراخهای متوقف کننده است. با این کار از تنش اطراف نوک ترک ۲۰ تا ۳۰ درصد کاسته می‌شود و راه مقابله به مثل مناسبی محسوب می‌شود [۸]. قطر سوراخهای متوقف کننده در پلهای فولادی

۱۰ الی ۱۵ درصد طول ترک می‌باشد و حداکثر ۱۵ میلی‌متر پیشنهاد شده است [۹]. شکل (۴) نمونه‌ای از کاربرد این روش را در سازه‌های فولادی پل نشان می‌دهد.



شکل (۴). تعمیر ترک با سوراخ متوقف‌کننده

همچنین پس از سوراخکاری انتهای ترک می‌توان با استفاده از جوشکاری و مواد پرکننده طول ترک را ترمیم کرد [۹]. این کاربرد در شکل (۵) نشان داده شده است.



b



a

شکل (۵). ترمیم ترک پس از سوراخکاری (a) جوشکاری طول ترک (b) ترمیم با پر کردن مواد مخصوص

در صنایع هوایی، قبل از پرواز بعدی، هواپیما یا بال‌گرد مورد بازرسی قرار می‌گیرد تا در صورت وجود ترک، اقدامات لازم انجام گیرد. معمولاً پس از ۴۰۰۰ ساعت پرواز ترک‌هایی در قسمت‌های مختلف بوجود می‌آید. سازه‌های تشکیل‌دهنده از جنس آلایژهای آلومینیوم، فولادهای گالوانیزه و فولادهای زنگ نزن می‌باشند. بنابراین تعمیر ترک‌های ایجاد شده، از لحاظ سوراخکاری متفاوت است. برای متوقف ساختن ترک‌هایی که در چارچوب درب هواپیما و بال‌گرد پدیدار می‌شود و طول آنها کمتر از یک اینچ می‌باشد، سوراخهایی در انتهای ترک ایجاد می‌شود و با چسباندن صفحات تقویت‌کننده ترمیم می‌شود [۱۰].

در کابین هواپیما برای متوقف کردن ترک از مته شماره ۴۰ (قطر مته ۲/۵ میلیمتر) استفاده می‌شود [۱۱]. ترکهایی که در استاتور دیسک توربین و کمپرسور وجود می‌آیند در صورتی که طول آنها از ۴ اینچ کمتر باشد با مته شماره ۳۰ (قطر مته ۳ میلیمتر) استاتور سوراخهایی در انتهای ترک ایجاد می‌شود [۱۲].

در پاره‌ایی از ترک‌های خستگی برای متوقف ساختن ترک از مته‌های $\frac{3}{16}$ ، $\frac{1}{4}$ و $\frac{17}{64}$ اینچ استفاده می‌شود. در این مواقع پس از انجام سوراخ‌کاری، ابزاری به شکل گلوله یا استوانه که قطر آنها کمی بیشتر از قطر سوراخ است از سوراخ عبور داده می‌شود بطوری که در اطراف لبه‌های سوراخ لهیدگی ایجاد می‌شود و این روش به انبساط سرد معروف است [۱۳]. جدول (۱) ابزار و اسباب سوراخ‌کاری به قطر $\frac{3}{16}$ ، $\frac{1}{4}$ و $\frac{17}{64}$ اینچ را نشان می‌دهد.

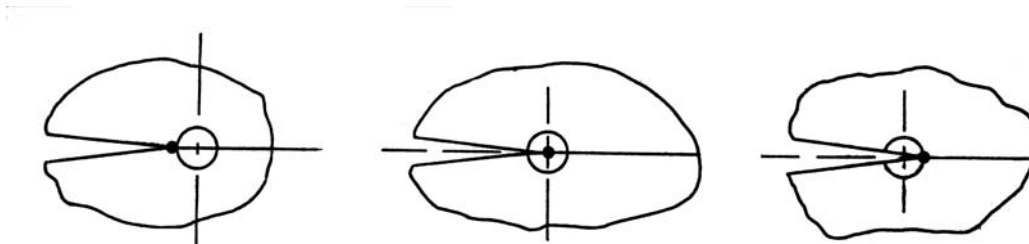
جدول (۱). مشخصات ابزار و اسباب سوراخ‌کاری به قطر $\frac{3}{16}$ ، $\frac{1}{4}$ و $\frac{17}{64}$

Qty.	Part Number	Description
3/16 inch Expendable Tooling Set		
4	CASD-30-1-SCK	Starting Drill
2	CASR-30-1	Starting Reamer
1	CAG-30	Combination Gage
1	CAM-30-1-25-V2	Mandrel
50	CAS-30-8F	Split Sleeve
1	CAMG-30	Mandrel Gage
2	CAR-30-1-.1910	Final Reamer (for 3/16 inch aluminum rivet)
2	CAR-30-1-.1870	Final Reamer (for 3/16 inch lock bolt)
1/4 inch Expendable Tooling Set		
4	CASD-40-1-SCK	Starting Drill
2	CASR-40-1	Starting Reamer
1	CAG-40	Combination Gage
1	CAM-40-1-25-V2	Mandrel
50	CAS-40-8F	Split Sleeve
1	CAMG-40	Mandrel Gage
2	CAR-40-1-.2500	Final Reamer (for 1/4 inch aluminum rivet)
2	CAR-40-1-.2470	Final Reamer (for 1/4 inch lock bolt)
17/64 inch Expendable Tooling Set		
2	CASR-40-1	Starting Reamer
1	CAG-41	Combination Gage
1	CAM-41-1-25-V2	Mandrel
10	CAS-41-8F	Split Sleeve
1	CAMG-41	Mandrel Gage
2	CAR-41-.2656-SCK	Final Reamer (for 17/64 inch aluminum rivet)
2	CAR-41-1-.2626-SCK	Final Reamer (for 17/64 inch lock bolt)
Other Tooling		
1	HP-20	Hand Puller/Wrench
1	CACE-14A-301F	3/16 inch Extension Nosecap Assembly
1	CACE-14B-401F	1/4 inch and 17/64 inch Extension Nosecap Assembly

۵- روش‌های سوراخ‌کاری

برای اولین بار کیو [۱۴] در رساله دکترا خود به مطالعه سه شیوه سوراخ متوقف‌کننده در نوک ترک پرداخت که بدین صورت بیان می‌شود:

- نوک ترک در انتهای سمت راست سوراخ قرار دارد. (شیوه A)
- نوک ترک به مرکز سوراخ‌کاری قرار دارد. (شیوه B)
- نوک ترک در انتهای سمت چپ سوراخ قرار دارد. (شیوه C)

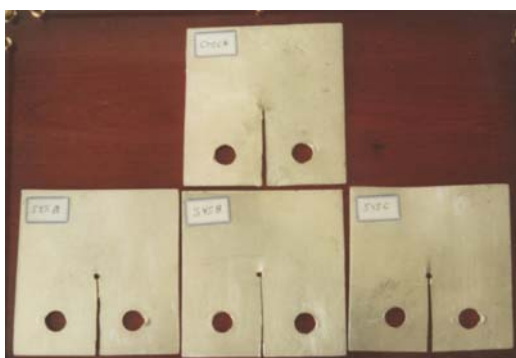


شکل (۶). سه شیوه سوراخ‌کاری در نوک ترک (بترتیب از راست شیوه A، B و C)

شکل (۶) سه شیوه متفاوت سوراخ‌کاری در نوک ترک را نشان می‌دهد. برای تحقیق و مطالعه درباره این سه روش، به ساخت نمونه‌های استاندارد رشد ترک اقدام گردید. این نمونه‌ها بصورت نمونه CT (Compact tension) ساخته شد.

۶- آزمایش تجربی

همانطور که گفته شد نمونه‌های CT بصورت ترک‌دار به سه شیوه A، B و C ساخته شد. جنس نمونه‌ها از آلایژ Al 2003-H16 و ابعاد نمونه بصورت مربع به ضلع ۱۸۰ میلی‌متر می‌باشد. سپس توسط اره کمان کوچک ترک‌هایی به طول ۶۳ mm در هر چهار نمونه ایجاد شد و نوک ترک‌ها با مفتول بسیار نازک تیز گردید. پس از طی این مراحل، سوراخهایی مطابق با سه روش A، B و C به قطر ۶ mm در سه تا از این نمونه‌ها برای مقایسه مقاومت در مقابل رشد ترک و سوراخهایی برای اعمال بار بر نمونه‌ها مطابق با شکل (۷) مته‌کاری شد.



شکل (۸). نمونه‌های CT بعد از آزمایش در دستگاه کشش

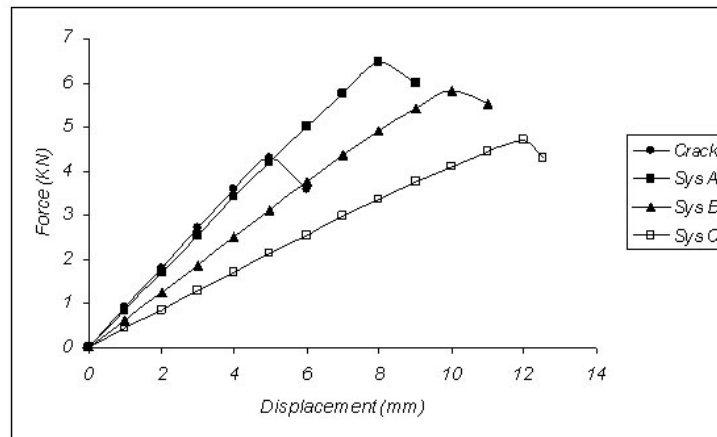


شکل (۷). نمونه‌های CT قبل از آزمایش در دستگاه کشش

(در بالا نمونه ترک‌دار و از چپ به راست بترتیب نمونه A، B و C)

پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، آزمایش‌های رشد ترک در نمونه ترک‌دار و اثر سوراخ‌ها بر رشد ترک در سه وضعیت متفاوت، در آزمایشگاه مقاومت مصالح و بر روی دستگاه کشش انجام شد. پس از قرار گرفتن نمونه در میان دو فک دستگاه، فک بالایی شروع به حرکت می‌کند و نمودار نیرو برحسب جابجایی دهانه ترک ثبت می‌شود. ابتدا نمونه‌ها بصورت خط راست مقاومت می‌کنند تا اینکه رشد ترک آغاز می‌شود و نیرو افت می‌کند. شکل (۸) نمونه‌های CT را قبل و بعد از آزمایش در دستگاه کشش نشان می‌دهد.

پس از آزمایش نمونه CT ترک‌دار و سه نمونه A، B و C که در مقابل ترک‌ها سوراخهایی به قطر ۶ mm سوراخ‌کاری شده است، نمودارهای نیرو - تغییر مکان بدست می‌آید. نتایج بدست آمده برای ترک و سه روش سوراخ‌کاری برای مقایسه با همدیگر در یک نمودار رسم شده است که در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل (۹). نمودار آزمایش تجربی نمونه‌های CT در روشهای A، B و C و ترک

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به نمودار شکل (۹) می‌توان چنین نتیجه گرفت که کارایی روش A که ۵۴٪ نیروی بحرانی ترک و نقص روش C که با قطر برابر فقط ۱۱٪ نیروی بحرانی ترک را افزایش می‌دهد، مشخص می‌شود. تأثیر روش B نیز مابین این دو روش بوده و ۳۷٪ نیروی بحرانی را افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی که می‌توان از تحلیل سوراخکارهای متوقف‌کننده در سه روش گرفت بدین ترتیب است که برای توقف از رشد ترک بهتر است از روش A استفاده کرد و از سوراخکاری بصورت روش C خودداری کرد. با انجام این کار می‌توان عمر قطعه معیوب را بیشتر کرد.

۸- مراجع

- [1] Fisher J.W. "Fatigue and fracture in steel bridges", Wiley- Interscience, 1984.
- [2] Nakai H. "The cases of fatigue failures in city highway bridge", Bridge and Foundation Engineering, vol.24, No.2, pp.23-31, 1990.
- [3] Natori T., Asaoka T., Inada I. "Repair practice of steel bridges", Yokogawa Bridge Works, No.21, pp.63-90, 1992.
- [4] Ichikawa A. "Problems in maintenance of railway steel structures and examples of retrofitting and reinforcement", Bridge and Foundation Engineering, vol.28, No.8, pp.17-21, 1994.
- [5] Long X., jiewsang C., Park W., Hong T., "Repair & retrofit of rail way bridge on JR Chuo-Line", Final Examination, 2004.
- [6] kijima k., "Bonded boron/epoxy doublers for reinforcement of metallic aircraft structures". Speeialty Materials, Inc, 2002.
- [7] Finney, J.M., "repair of plastic plate and sheet technical report", DSTO-TR-0434, 1998.
- [8] Chitoshi M., Yuichi I. and Eiichi S. "Fatigue and repair cases in steel bridges", Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2001.
- [9] Waheed A., Kowal E., Loo T., "Repair of bridge structural steel elements manual", Bridge Engineering Section, Technical Standards Branch, Alberta Transportation, 2004.
- [10] "Rules and Regulations", Federal Register, Vol. 67, No. 68, 2002.
- [11] "Service Bulletin defines the requirements to perform a one-time visual inspection for the purpose of locating cracks in the firewall", Quality aircraft, 2000.
- [12] Goodrich B.F., "Cessna citation brake staters", service difficulty alert, transport Canada, 2002.
- [13] "fatigue technology inc", 401 andover park est, usa, 2004.
- [14] Qi D.M. "Defence, stop and balancing holes for the Improvement of structural Integrity", MSC Thesis, Cranfield Institute of Technology, 1986.