

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



ترک ناشی از خوردگی تنش

مترجم : سمیه خیری

۱	مقدمه.....	۱
۱	۲ چه چیزی ترک ناشی از خوردگی تنشی را ایجاد می کند؟.....	۱
۱-۲	مقدمه.....	۱
۱	۲-۲ تجزیه مکان های فعال.....	۱
۲	۳-۲ تردی هیدروژنی.....	۲
۲	۴-۲ فیلم ناشی از تورق.....	۲
۲	۳ چه موقع SCC رخ می دهد؟.....	۲
۳	۴ سیستم های بروز مشکل خاص.....	۳
۳	۱-۴ مقدمه.....	۳
۳	۲-۴ برنج در محیط های پوشش دهی آلومینایی.....	۳
۳	۳-۴ ترک ناشی از کلرید فولاد زنگ نزن.....	۳
۴	۴-۴ فولادها در محیط های روپین شدن.....	۴
۴	۵-۴ تردی هیدروژنی فولادهای استحکام بالا.....	۴
۴	۶-۴ آلیاژهای آلومینیوم استحکام بالا.....	۴
۴	۵ محیط هایی که موجب SCC می شود.....	۴
۵	۶ اثر پتانسیل الکترود.....	۵
۵	۷ وابستگی آلیاژ.....	۵
۶	۸ تأثیر تنش.....	۶

۷.....	۹ آزمون های ترک خوردگی تنشی
۸.....	۱۰ کنترل ترک ناشی از خوردگی تنشی
۸.....	۱-۱۰ مقدمه
۸.....	۲-۱۰ انتخاب و کنترل مواد
۸.....	۳-۱۰ کنترل تنش
۹.....	۴-۱۰ کنترل محیط
۱۰.....	۱۱ زندگی همراه با SCC
۱۱.....	۱۲ فهرست کتب

^۱ این نوشته به روز شده ی اولین نشریه ی منتشر شده DTI در ۱۹۸۲ است. ورژن جدید به وسیله ی دکتر R.A.Cottis ، مرکز خوردگی و حفاظت تحت قرارداد UMIST از NLP برای دپارتمان تجاری و صنعتی تهیه شد.

۱. مقدمه

ترک ناشی از خوردگی تنشی، ترکی هست که از فرایندی شامل خوردگی پیوسته و کرنش فلز به علت تنش های اعمالی یا باقیمانده ناشی می شود.^۲

با وجود موضوع پلیمرها و کامپوزیت ها در سال های اخیر، فلزات به دلیل استحکام، سختی، چقرمگی و محدوده کاری دما بالای آن ها، اهمیت خودشان را در سازه ها حفظ کرده اند.^۳

متأسفانه، فلزات در معرض خوردگی هستند. (فلزات نجیب، همچون طلا و پلاتین برای این استثناء هستند، اما آن ها نسبتاً برای استفاده معمول بسیار نایاب هستند). خوردگی می تواند شکل های زیادی بگیرد؛ شکلی که در اینجا در نظر گرفته می شود واکنش خوردگی و تنش مکانیکی برای تولید شکست توسط ترک است. این نوع از شکست که به اصطلاح ترک خوردگی تنشی شناخته می شود، اغلب به صورت SCC مختصر شده است. همانطور که در پایین توضیح داده خواهد شد، SCC ممکن است به وسیله ی مکانیزم های مختلفی رخ دهد؛ وقتی که ترک به طور معلوم از تردی هیدروژنی ناشی می شود، این حالت ممکن است در فضای SCC به کار رود. هرچند، این تشخیص تا اندازه ای دلخواه است؛ اما مکانیزم های SCC اغلب نامطمئن است، و شکست های زیادی که در حقیقت به علت اثرات هیدروژن است، به طور قراردادی برای SCC نسبت داده شد. به طور مشابه، فرایندهای ترک خوردگی تنشی معین دیگر، نام های خودشان را دارند؛ مثل "ترک خوردن فصلی" برای ترک خوردن برنج در محیط های حاوی آمونیاک، "ترک تیز" برای ترک فولاد در محیط بازی قوی.



شکل ۱. عواقب بعدی انفجار دیگ بخار، که احتمالاً توسط ترک تیز ایجاد شده است.

^۲ این تعریف بر پایه استاندارد ISO است. آن ممکن است که در کلمه "کرنش" کمی گمراه کننده باشد، که ممکن است به کرنش پلاستیک اشاره کند، درحالیکه ترک خوردگی تنشی ممکن است که حداقل در سطح ماکروسکوپی تنها از کرنش الاستیک ناشی شود.

^۳ شکل های دیگر واکنش بین تنش مکانیکی و محیط خورنده ممکن است نیز رخ دهد، که شامل خستگی خوردگی تحت اثر تنش های نوسانی و خوردگی، و تردی فلز مایع و محدوده ای از فرایند سایش و فرسایش می شود. حالت های "شکست به کمک شرایط محیطی" یا "ترک به کمک شرایط کمکی" برای پوشش همه این فرایندها، شامل SCC استفاده شد.

SCC یک شکل پنهانی از خوردگی است؛ این خوردگی باعث افت مشخصی در استحکام مکانیکی می شود ، در حالی که اندکی از فلز از دست می رود. تخریب آن قدر مشخص نیست که در روش های معمول بازرسی دیده شود و ترک ناشی از خوردگی تنشی موجب شکست سریع مکانیکی و شکست فاجعه باری در اجزاء و ساختارها می شود.

چندین فاجعه مهم در رابطه با ترک خوردگی تنشی وارد شد، شامل گسیختگی لوله های انتقال گاز فشار بالا، انفجار دیگ های بخار، و تخریب نیروگاه ها و پالایشگاه ها.

خوشبختانه رخ دادن SCC بستگی به حضور همزمان سه عامل دارد:

- یک ماده مستعد
- محیطی که موجب انجام SCC برای آن ماده می شود، و
- تنش کششی کافی برای ایجاد SCC

در نتیجه، SCC نسبتاً به ندرت اتفاق می افتد ، ولی شکست ناشی از آن می تواند بسیار پرهزینه و مخرب باشد، هنگامی که اتفاق می افتد.

۲. چه چیزی ترک ناشی از خوردگی تنشی را ایجاد می کند؟

۱.۲ مقدمه

سه مکانیزم اصلی در خصوص ترک خوردگی تنشی شناسایی شد.

۲.۲ تجزیه مکان های فعال

این فرایند شامل تسریع خوردگی در راستای مسیری است که نسبت به حالت نرمال یا عادی در ماده ای که عموماً غیرفعال است استعداد بیشتری برای خوردگی دارند. فعال ترین مسیر یا محل مرزدانه ها جایی است که جدایش عناصر آلیاژی و ناخالصی می تواند پسیو شدن را به طور بحرانی دچار مشکل کند. برای مثال ، موقعی که یک فولاد ضدزنگ آستنیتی با توجه به رسوب کاربید کروم در مرزدانه ها حساس می شود، غلظت موضعی کروم در مرزدانه ها کاهش یافت و این ناحیه به تدریج به راحتی پسیو نمی شود. در نتیجه، یک شکلی از خوردگی شیاری می تواند اتفاق بیافتد؛ به صورتیکه مرزدانه ها خورده می شود، در حالی که سطح نمونه و دیواره های ترک پسیو باقی می ماند. این فرایند می تواند در نبود تنش، به خوردگی بین دانه ای برسد، که به طور یکنواخت در سراسر نمونه توزیع می شود. اثر تنش اعمالی احتمالاً به طور اصلی برای باز کردن ترک ها است، بدین وسیله نفوذ راحت تر محصولات خوردگی برای جدایی از نوک ترک موجب می شود تا نوک ترک سریع تر خورده شود. فرایند گذرگاه های فعال خوردگی به صورت ذاتی توسط نرخ خوردگی فلز نوک ترک

کنترل می شود. تا جایی که نرخ رشد ترک را حداکثر تا حدود 10^{-2}mm/s ، تعیین می کند، در حالی که نرخ رشد ترک اغلب بسیار کمتر، 10^{-8}mm/s (حدود 1mm در ۳ سال) یا کمتر است.

۳.۲ تردی هیدروژنی

هیدروژن در اغلب فلزات به میزان معینی حل می شود. این اتم بسیار کوچک است و در شبکه کریستالی فلز در بین اتم های آن قرار می گیرد. در نتیجه، این اتم بسیار سریع تر از اتم های بزرگتر نفوذ می کند.^۴

برای مثال، ضریب نفوذ هیدروژن در فولاد فریتی در دمای اتاق مانند ضریب نفوذ نمک در آب می باشد. بنابراین، هیدروژن به نواحی نوک ترک یا شیارهایی که که تحت تنش هستند کشیده می شود. احتمالاً با آسان تر کردن ایجاد شکست ترد و یا با کمک به توسعه و رشد تغییر پلاستیک موضعی، هیدروژن حل شده در ادامه به شکست فلز کمک می کند. این اثرات منجر به شکست ترد فلز می شوند، ترک ممکن است بین دانه ای یا درون دانه ای باشد. نرخ رشد ترک معمولاً نسبتاً سریع است و در اکثر موارد بحرانی تا بیش از 1mm/s است. ساختار کریستالی bcc (مکعب مرکز دار) آهن فریتی حفره های نسبتاً کوچکی در بین اتم ها دارد، اما کانال های بین این حفره ها نسبتاً وسیع هستند. در نتیجه، هیدروژن به طور نسبی حلالیت کمی در آهن فریتی دارد، ولی ضریب نفوذ نسبتاً بالایی دارد.

به طور عکس، حفره ها در شبکه آستنیتی fcc (مکعب با سطوح مرکز پر) بزرگتر هستند، بنابراین، کانال های بین آن ها کوچک تر هستند، با این وجود موادی مانند فولادهای زنگ نزن آستنیتی قابلیت انحلال هیدروژن بیشتر و ضریب نفوذ کمتری دارند. در نتیجه، به طور معمول در مقایسه با مواد فریتی زمان بسیار زیادی به طول می انجامد تا مواد آستنیتی به وسیله ی نفوذ هیدروژن ترد شوند (سال ها نسبت به روزها) و آلیاژهای آستنیتی معمولاً به عنوان مواد ایمن در برابر تأثیرات هیدروژن شناخته می شوند.

۴.۲ فیلم ناشی از تورق

چنان چه یک ماده که به طور طبیعی داکتیل است با یک فیلم نازک ترد پوشیده شود، در این حالت ترکی که در این لایه اشاعه یافت، می تواند درون ماده داکتیل برای مسافت کوتاه (حدود ۱ میکرون) منتشر شود، قبل از اینکه به وسیله ی ماده داکتیل جلوگیری شود. اگر چه، لایه ی تردی در اثر خوردگی ایجاد شود، این می تواند در نوک ترک جلوگیری شده دوباره تشکیل شده و این فرایند تکرار شود. لایه ی ترد به بهترین صورت مانند ایجاد فیلم ناشی از تورق لایه های غیرآلیاژی (در برنج) تعیین شد. به طور معمول انتظار می رود که فرایند مکانیزم لایه ی ترد، موجب شکست درون دانه ای شود.

^۴ به طور تکنیکی آن به عنوان یک حل شونده درون شبکه ای توصیف شد.

۳. چه موقع SCC رخ می دهد؟

SCC یک فرایند اجتناب ناپذیر نیست و برای خیلی از فلزات در بسیاری از محیط ها اتفاق نمی افتد. بنابراین می توان ترکیب خاصی از دو فلز و محیطی را که باعث بروز این مشکل می شود مشخص کرد. متأسفانه، در دوره ای، زمان طوری پیش می رود که موجب تعیین بیشتر و بیشتر ترکیبات می شود، به طور ویژه همچنان مهندسان تلاش کردند تا از مواد بیشتری به طور مؤثر با افزایش تنش های کاری و با استفاده از به حداقل رساندن مواد گران استفاده کنند. جدول ۱ لیست برخی از ترکیبات مواد و محیطی است که به طور رایج با SCC بیشتر در ارتباط است.

جدول ۱. سیستم های SCC معمول

Material	Environment	Concentration	Temp	Mode
Carbon steel	Hydroxides	high	high	I
	Nitrates	moderate	moderate	I
	Carbonate/ bicarbonate	low	moderate	I
	Liquid ammonia	-	low	T
	CO/CO ₂ /H ₂ O	-	low	T
	Aerated water	-	very high	T
Low Alloy Steel (e.g. Cr-Mo, Cr-Mo-V)	Water	-	moderate	T
Strong Steels M	Water ($\sigma_y > 1200$ MPa)	-	-	low
	Chloride ($\sigma_y > 800$ MPa)	-	-	low
M	Sulphide ($\sigma_y > 600$ MPa)	-	-	low
M				
Austenitic Stainless Steel (including sensitised)	Chloride	high	high	T
	Hydroxide	high	high	very
high Sensitised Austenitic	M	-	very high	I
Aerated water	-	-	very high	I
Stainless Steel	Thiosulphate or polythionate	low	low	I
Duplex Stainless Steels high	Chloride	high	high	very
	T	high	high	very
Martensitic Stainless T	Chloride + H ₂ S	high	moderate	T
	Chloride (usually + H ₂ S)	high	moderate	low
Steels High Strength Aluminium Alloys Titanium Alloys	Water vapour	-	low	T
	Chlorides	low	low	I
	Chlorides	high	low	T
	Methanol	-	low	T
Copper Alloys I (excluding Cu-Ni)	N ₂ O ₄ high	-	low	T
	Ammoniacal solutions and other nitrogenous	-	low	low

نکات جدول

- این جدول سیستم هایی را برای مشکلات SCC که به خوبی اثبات شدند و از اهمیت خاصی برخوردارند، بیان می کند . فقدان ترکیب فلز-محیط از این جدول بدین معنی نیست که SCC مشاهده نشده است.
- در حقیقت محدودیت های غلظتی یا دمایی خوب تعریف شده برای SCC وجود دارد، و بررسی های داده شده در اینجا تنها شاخص است. به عنوان یک راهنمای تقریبی ، الگوهای استفاده شده مساوی با رنج مقادیر زیر است :

	Concentration	Temperature
Low	Up to 10^{-2} M	Ambient
Moderate	Up to 1 M	Below 100 °C
High	Around 1 M	Around boiling
Very high	Near saturation	Above boiling

باید توجه کرد که به طور عمده غلظت های موضعی افزایش یافته، ممکن است تحت تأثیر جوش موضعی یا تبخیر ، یا به وسیله ی انباشتن در حفرات و گودال ها بدست آید، و ترک اغلب برای غلظت های معمولی که خیلی کمتر از شاخص اینجاست، بدست می آید.

- مد شکست به صورت های زیر تقسیم می شوند؛ (۱) مرزدانه ای (I) ، در اینجا ترک ها در مرزهای دانه رشد می کنند، (۲) درون دانه ای (T)، در اینجا ترک ها از میان دانه ها می گذرند، و یا (۳) ترکیبی (M)، در اینجا، ترکیبی از هر دو مدل، یا هنگامی که مد ترک به صورت شدیدی به شرط وابسته باشد. اغلب شرایطی وجود دارد که سبب می شود مد ترک تغییر کند، (برای مثال SCC در فولاد آستنیتی حساس شده در یک محیط کلریدی ممکن است ترک مرزدانه ای ایجاد کند).
- محیط های آبی با دمای بسیار بالا (بزرگتر از ۲۰۰ درجه) بسیار خورنده هستند و می تواند در دامنه وسیعی از فلزات SCC ایجاد کند. توصیه ی کارشناسی برای بیان اهمیت ویژه ی انتخاب مواد در چنین شرایطی بسیار لازم است.

شرایط بروز SCC از بعضی نقاط برای حالت تردی هیدروژنی با دو مکانیزم دیگر متفاوت است. بدین صورت که برای بروز تردی هیدروژنی وجود زوج منبع هیدروژن و ماده ای که به پذیرش هیدروژن مستعد باشد لازم است. سایر مکانیزم های SCC بیشتر خاص هستند و معمولاً هنگامی اتفاق می افتد که فلز در نتیجه وجود لایه ی پسیو سرعت خوردگی عمومی کمتری دارد، مانند فیلم اکسیدی پسیو محافظ که روی فولاد زنگ نزن تشکیل می شود.

۴. سیستم های بروز مشکل خاص

۱.۴ مقدمه

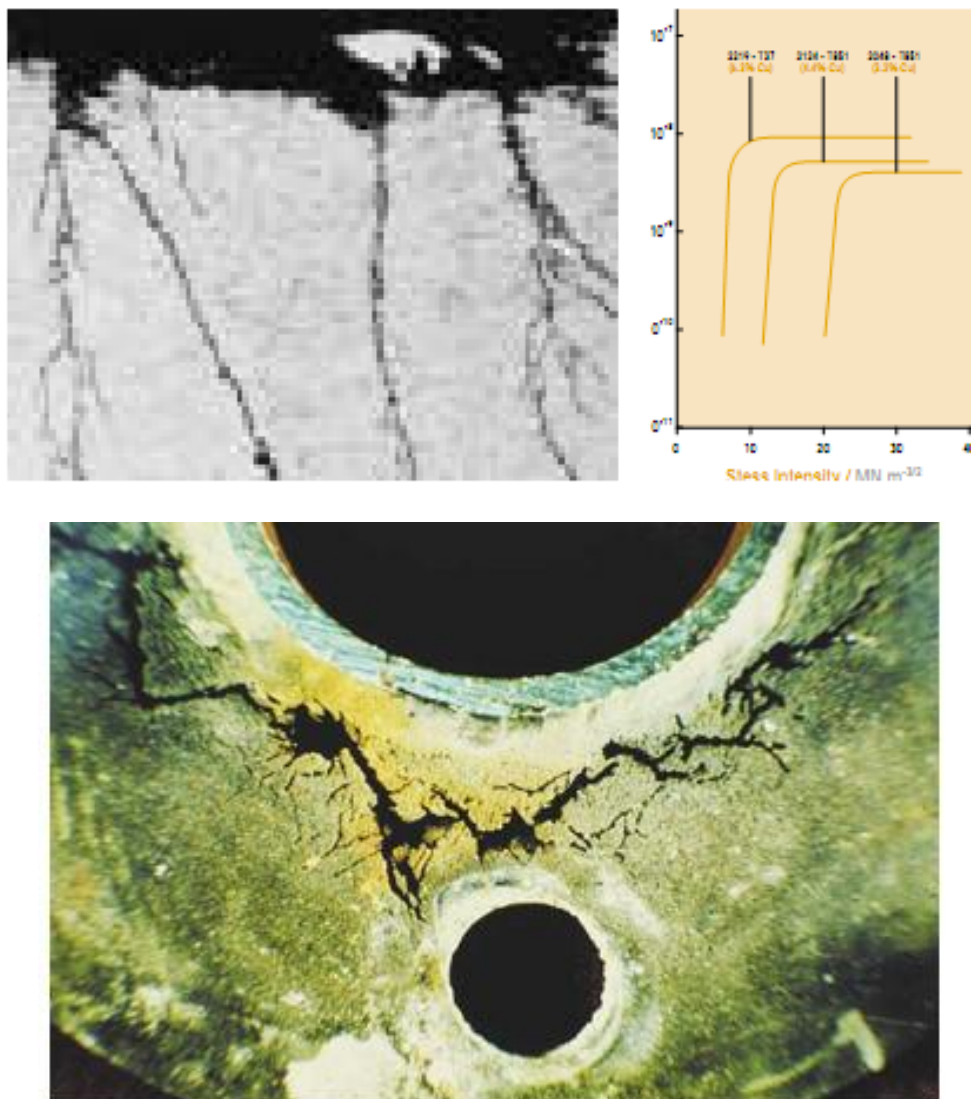
جدول ۱ نشانه هایی از محدوده ترکیب فلز و محیط هایی را که سبب ایجاد مشکل می شوند به ما نشان می دهد. اما این مفید است که مشکلات شایع تر را با جزئیات بیشتر بررسی کنیم.

۲.۴ برنج در محیط های حاوی آمونیاک

اولین بار این پدیده هنگامی که آسیب هایی در پوسته ی برنجی فشنگ هایی که توسط ارتش بریتانیا در هندوستان استفاده می شد در اثر ترک ایجاد شد. (آمونیاک از تجزیه ی مواد آلی حاصل می شود). دو توضیح در مورد نامی که به آن داده اند " ترک فصلی " وجود دارد. اولاً این پدیده در فصول بارانی اتفاق می افتد و دوم اینکه این ترک در مناطق جنگل های فصلی اتفاق افتاده بود. این مشکل همچنان باقی است، اگر چه میزان آن احتمالاً با جایگزینی پلاستیک ها در مواردی که قبلاً برنج کاربرد داشته است کاهش یافته است. ترک در این حالت مرزخانه ای است.

۳.۴ ترک های کلریدی فولاد زنگ نزن

فولادهای زنگ نزن آستنیتی در محلول های داغ حاوی کلراید از ترک خوردگی ناشی از تنش و خوردگی آسیب می بیند. تمرکز غلظتی زیادی از کلراید مورد نیاز است. اگرچه نسبتاً مقادیر کمی از کلراید هم در سطوح گرم شده می تواند مؤثر باشد، در جایی که تجمع غلظتی کلراید می تواند اتفاق بیافتد، یا جایی که در اثر خوردگی حفره ای یا شیاری غلظت کلراید افزایش می یابد، و این مشکل می تواند در شیرهای آب مشاهده شود.



شکل ۲. ترک بین دانه ای و ترک درون دانه ای (میکروگراف ها و تصویر SEM)

دما معمولاً باید بالای ۷۰ سلسیوس باشد اما در محلول های اسیدی در دماهای کمتر نیز گزارش شد که SCC ممکن است اتفاق بیافتد. ترک خوردن در تنش های پایین تر ادامه می یابد و معمولاً در نتیجه تنش های پسماند ناشی از جوشکاری یا ساخت قطعه اتفاق می افتد. ترک خوردگی معمولاً درون دانه ای می باشد، اما می تواند بر اثر حساس شدن فولاد به حالت مرزدانه ای (بین دانه ای) تغییر کند.

۴.۴ فولاد در محیط های پسیو کننده

فولادهای کربنی و کم آلیاژ در محدوده ی وسیعی از محیط هایی که تمایل به تشکیل یک لایه ی محافظ پسیو از اکسید یا سایر اجزا را دارند ، می توانند از SCC آسیب ببینند. ترک طبیعتاً در جایی که نرخ خوردگی

قابل ملاحظه ای دارد اتفاق نمی افتد (توجه شود که این مورد برای تردی هیدروژنی نیست- در پایین مشهود است). یک محدوده ی گسترده ای از محیط هایی که سبب بروز SCC می شوند یافت شده است که شامل محلول های قوی سوز آور(بازی)، فسفاتی ها، کربناتی ها و آب داغ می شود. این مشکلات از هر دو دیدگاه اقتصادی و دلایل امنیتی مهم هستند. ترک بازی در بویلرهای عمل کننده با بخار جدی ترین مشکل اواخر قرن ۱۹ بود (ضرورتاً محلول بازی قوی به وسیله ی تبخیر محلول رقیق زیاد نزدیک به بویلر تولید شد، که آن از میان درزها در شکاف های پرچ شده رها شد) و انفجار بویلرها باعث از دست دادن جان افراد زیادی گردید. بسیاری از خط لوله های انتقال گاز اخیراً در محلول های کربناتی زیر لایه محافظ ناشی از سیستم های حفاظت کاتدی ترک خورده اند. در این حالت ترک ها در راستای طول لوله پیش روی می کنند. ممکن است با یک شکست سریع در فواصل طولانی اشاعه یابند. اگر توده ی گاز آزاد شده آتش بگیرد، گلوله آتشین منتج شده مخرب است.

۵.۴ تردی هیدروژنی فولادهای استحکام بالا

همه فولادها که تحت تأثیر هیدروژن قرار می گیرند، گواهی بر تأثیر هیدروژن بر رشد ترک خستگی خوردگی و بروز ترک القای هیدروژنی در نتیجه تمرکز بسیار شدید هیدروژن است.^{۱۵} اگرچه، تردی هیدروژنی تحت بار ثابت فقط در فولادهای نسبتاً استحکام بالا تجربه شده است. محدوده ی ثابت و لازم برای سطح تنش در موارد ذکر شده ی بالا وجود ندارد، لیکن این حالت تابعی از میزان هیدروژن فولاد و تنش اعمالی و شدت تمرکز تنش و ترکیب و ساختار میکروسکوپی فولاد خواهد بود. به عنوان یک نظریه تردی هیدروژنی برای فولادهای مدرن با تنش تسلیم زیر 600mpa غیرقابل تحمل است، و ممکن است در بالاتر از 1000 mpa تبدیل به یک مشکل اساسی شود. هیدروژن ممکن است از راه های متفاوتی مانند جوشکاری، اسیدشویی، آبکاری الکتریکی و قرارگیری در معرض گازهای حاوی هیدروژن و خوردگی در حین کار، وارد فولاد شود. اثر هیدروژن ورودی به اجزای قبل از شروع به کار، می تواند با پخت آن ها برای چندساعتی در دمای حدود ۲۰۰ درجه کاهش یابد. این فرایند اجازه می دهد تا مقداری از هیدروژن به خارج نفوذ کند در حالی که دیگر ترک ها در جاهایی نسبتاً بی ضرر در ساختار میکروسکوپی باقی می ماند.

^{۱۵} ترک هیدروژن القا شده (HIC) ناشی از رسوب گاز هیدروژن روی صفحات ضعیف در فولاد است، که به طور قابل ملاحظه ای ناخالصی های سولفیدی بیرون می گردد. آن منجر به ترک های داخلی موازی با جهت چرخش می شود، به طوری که مانند تاول زدگی موقعی که نزدیک به سطح صفحه می شود، ظاهر می شود. HIC اولاً یک مشکل در تولید نفت اسیدی (نفت حاوی H_2S) است، که افزودن H_2S موجب وارد شدن هیدروژن به داخل فولاد می شود. در برخی مکان ها HIC نسبتاً غیرمخرب است، همانطور که ترک ها موازی با سطح صفحه می شود، بنابراین، تنش های کمی در زوایای عمود با ترک ها وجود دارد. هرچند، اگر ترک به طور مؤثر شدید باشد و تنش های بالا به کار رود، ترک ها ممکن است به تولید شکست منجر شود، که آن را با " ترک القایی هیدروژنی در جهت تنش " یا SOHIC می شناسند.

۴. ۶. آلیاژهای آلومینیوم استحکام بالا

آلیاژهای آلومینیوم نیز به تردی هیدروژنی حساس هستند. اما ساختار FCC بدین معنی است که جابجایی هیدروژن کندتر از فولادهای استحکام بالا است و از این رو نرخ رشد ترک ممکن است آهسته تر باشد. این ترک ها معمولاً بین دانه ای هستند. همانند فولادها حساسیت با افزایش استحکام آلیاژ شدیدتر می شود. هرچند، عملیات حرارتی و ساختار میکروسکوپی اثر به سزایی دارند و آلیاژهای استحکام بالای مناسبی با مقاومت نسبت به SCC می تواند بدست آید (چنانچه با استفاده از این آلیاژ ها در ساختمان هواپیما نشان داده می شود). هر محیطی که بتواند هیدروژن فراهم کند، از هوای مرطوب گرفته تا محلول نمکی می تواند منجر به وقوع SCC شود.

۵. محیط هایی که موجب بروز SCC می شوند

همانطور که در بالا اشاره شد، فرایندهای تردی هیدروژنی معمولاً به صورت شدیدی متأثر از محیط نیستند، و همه آنچه که نیاز است شرایطی ست که به هیدروژن اجازه دهد تا با واکنش خوردگی کاتدی تشکیل شده و وارد فولاد شود.

دو مکانیزم دیگر SCC بسیار بیشتر ویژه هستند، و به کلی محیط های خاصی ممکن است برای ترکی که رخ می دهد ضروری باشد. این بدین دلیل است که ترک خوردن به احتمال انجام واکنش های خاص خوردگی در نوک ترک با واکنش هایی که در دیواره ی ترک و سطح نمونه رخ می دهد، بستگی دارد. فقط با یک تغییر جزیی در محیط یک یا برخی دیگر از این عوامل، ممکن است برآورده نشود و ترک خوردگی اتفاق نخواهد افتاد.

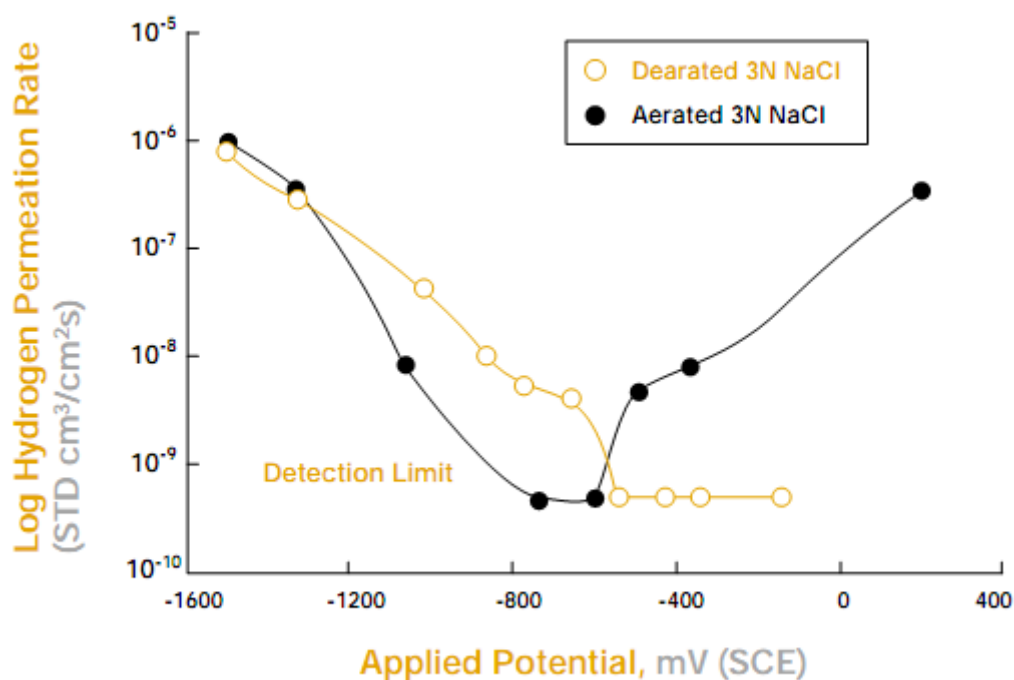
در حالی که شرایط مورد نیاز برای محیط های خاص مفید است بدین معنی که SCC نسبتاً کم می شود، این شرایط زندگی را برای متخصصین مواد سخت می کند، چرا که بروز شکست را بیشتر غیرقابل پیش بینی می کند. زیرا تغییرات ظریف در شرایط کاری باعث تفاوت های برجسته ای در رفتار مواد می شود.

۶. اثر پتانسیل الکترود

پتانسیل الکتروشیمیایی آلیاژ می تواند روی تمایل برای وقوع SCC اثری مشخص گذارد. برای تردی هیدروژن در فولادهای استحکام بالا پتانسیل منفی تمایل به توسعه هیدروژن و در نتیجه حساسیت به تردی هیدروژنی را بیشتر افزایش می دهد. چگونگی اتفاق افتادن، کمتر مشهود است^۶، اما پتانسیل مثبت بیشتر از پتانسیل آزاد طبیعی خوردگی هم ممکن است ورود هیدروژن را افزایش دهد. شکل ۳ مقدار هیدروژن مجاز درون یک

^۶ برای توضیح اینکه چگونه هیدروژن تولید می شود، بخش ۸ در "خوردگی" به وسیله ی Jarman, Shreir و Burstein را ببینید. برخی کارگران به آسانی فرض می کنند که ترک تحت اثر پتانسیل های مثبت بیشتری نمی تواند به علت هیدروژن باشد، و باید، بنابراین، برای مکانیزم انحلال SCC معلوم شود. ما اکنون میدانیم که این صحیح نیست و همچنان دلایلی باید دوباره بررسی شود.

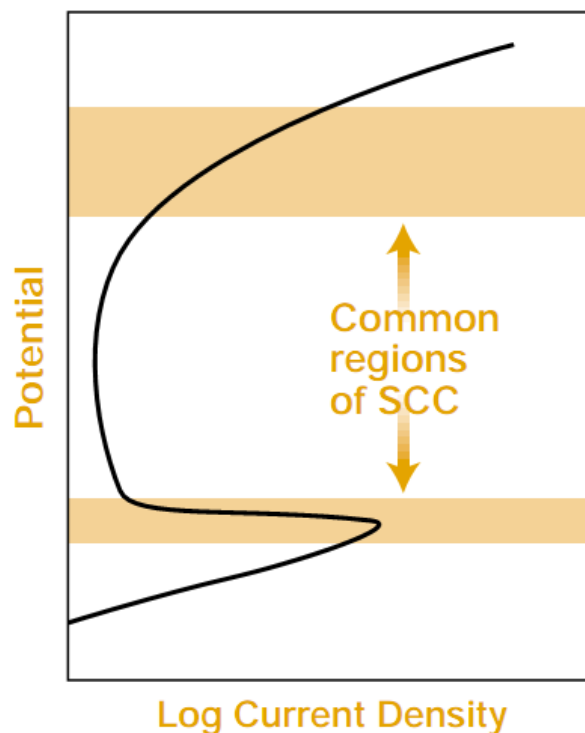
ممبران فولادی را به عنوان یک هدف پتانسیل اعمالی نشان می دهد. SCC از آلیاژهای آلومینیوم استحکام بالا همچنین به علت تردی هیدروژنی است، اما در این مورد اثر بارز، معمولاً از فیلم پسیو اکسیدی آلومینیوم حفاظت شده است. به زودی آبی که داخل محل اتصال با آلومینیوم فلزی می رود، واقعا با تولید هیدروژن واکنش می دهد (چون آلومینیوم فلز خیلی واکنش پذیری است).



شکل ۳. اثر پتانسیل روی هیدروژن وارد شده به فولاد

فرایندهای SCC که حاوی هیدروژن نیستند، معمولاً در محدوده ی کمی از پتانسیل الکتروکاتود رخ می دهد. در این ناحیه سطح ترکیب در ناحیه ی پسیو قرار دارد در حالی که نوک ترک در ناحیه ی اکتیو یا ناحیه ی خوردگی حفره ای قرار دارد (شکل ۴). در این نواحی سطح ترکیب در ناحیه پسیو خواهد بود، در حالی که نوک ترک در حالت اکتیو یا حفره ای خواهد بود.

در عمل، پتانسیل الکتروکاتود معمولاً با حفاظت کاتدی اعمال شده که به عنوان مثال اصلی بود، به طور مستقیم کنترل نمی شود. نسبتاً پتانسیل به طور شاخص با ترکیب محیط تعیین می شود، که به طور ویژه اکسیژن و واکنش های کاتدی دیگر وجود دارد. بنابراین تغییر مقدار اکسیژن می تواند اغلب اثر عمیقی روی قابلیت SCC داشته باشد.



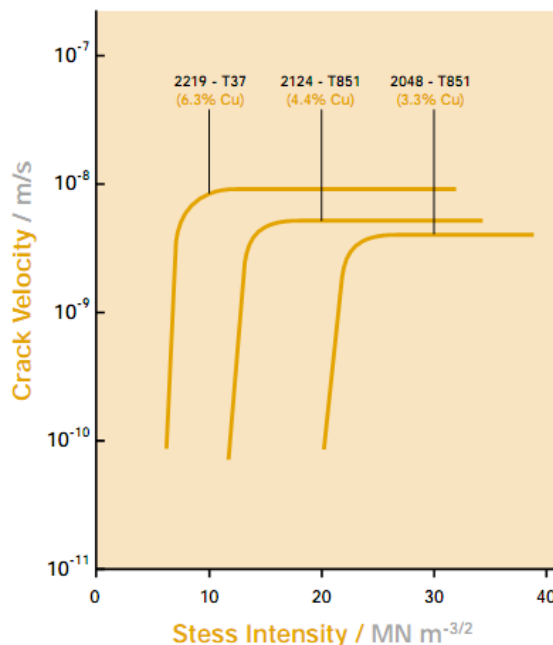
شکل ۴. اثر پتانسیل روی وقوع SCC

۷. وابستگی آلیاژ

ترکیب آلیاژ دقیق، میکروساختار و عملیات حرارتی می تواند اثر شاخصی روی عملکرد SCC داشته باشد. قوانین عمومی وجود دارد که بر تأثیر استحکام ماده بر حساسیت به SCC حاکم است. برای فرایندهای تردی هیدروژنی یک استحکام بالا معمولاً حساسیت را افزایش می دهد، به علاوه ، مواد یا استحکام بالا K_{Ic} کمتری دارند و بنابراین با یک ترک کوچک SCC شکست سریعی داشته و تخریب می شوند. فرایندهایی که در نوک ترک در محدوده ی کرنش پلاستیک قرار گرفته اند، برای مواد با استحکام کمتر آسان تر خواهد بود. از این رو، برخی سیستم های SCC ، مانند ترک بازی فولادهای کربنی، بیشتر مستعد خواهند شد تا استحکام را کاهش دهند.

تغییرات کوچک کلی با ترکیب یک آلیاژ می تواند اثر شاخصی روی رفتار SCC داشته باشد. برای مثال شکل ۵ ، اثر مقدار Cu را روی نرخ رشد ترک آلیاژهای سری Al-Cu-Mg را نشان می دهد. برخی نیازهای مورد توجه باید در تفسیر این منحنی به کار رود. تغییر در غلظت مس این آلیاژ اثر مهمی روی رفتار خوردگی آلیاژ خواهد داشت (چون رسوبات حاوی مس ، محل های کاتدی را فعال می کنند)، اما آن همچنین خواص

مکانیکی آلیاژ را اصلاح می کند و نیز برای عملیات حرارتی مهم است. بدین ترتیب، ممکن است که آن دستورات عمل های وابسته منحنی را به وسیله ی استفاده از عملیات حرارتی های متفاوت تغییر دهد.



شکل ۵. اثر مقدار Cu روی نرخ رشد ترک

اثر افزودن عناصر آلیاژی ضرورتاً از یک محیط به محیط دیگر پایدار نیست. بنابراین، مقدار مولیبدن بالاتر، مقاومت فولاد کم آلیاژ به ترک کربناتی- بی کربناتی را بهبود می بخشد، اما آن را به ترک تیز مستعد تر می کند.

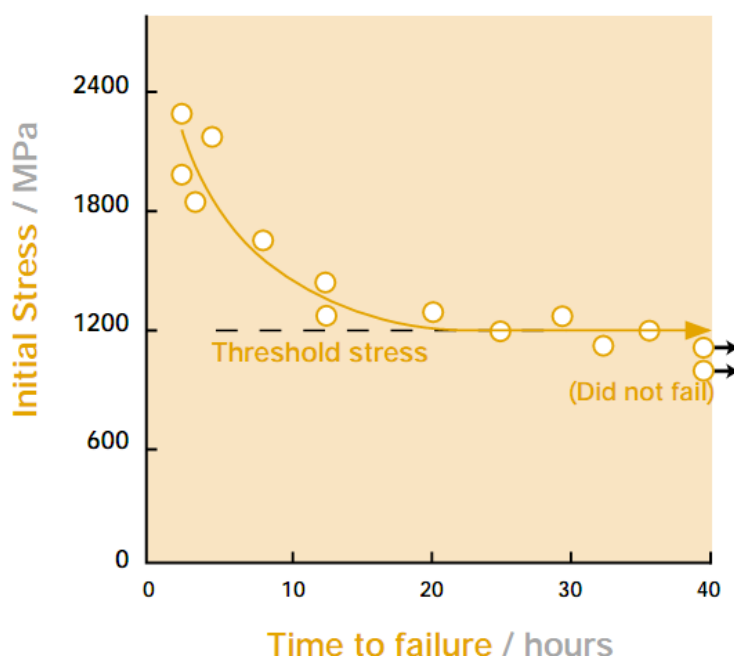
تغییر در عملیات ترمومکانیکی آلیاژ می تواند حساسیت SCC، روش شکست و حتی مکانیزم شکست را تغییر دهد. با گرفتن یک مثال خاص، فولادهای زنگ زن آستنیتی از SCC در محلول های کلریدی آسیب می بیند. در یک فولاد عملیات حرارتی شده به درستی، ترک های SCC درون دانه ای هستند. این مکانیزم کاملاً برقرار نمی شود؛ گسستگی فیلم القا شده (به وسیله ی روش لایه آلیاژ زدا شده) احتمالاً محتمل تر است، اگر چه، همه مکانیزم ها محتمل باقی می ماند.

اگر همان آلیاژ به وسیله ی عملیات حرارتی مناسب حساس شود، این عملیات حرارتی، نواحی مرزدانه را از کروم خالی می کند، همانطور که از رسوب کاربید کروم ناشی می شود، و مسیر ترک SCC جایگزین درون دانه ای می شود. مکانیزم ترک در این مورد ممکن است با مسیر فعال انحلال تغییر یابد، اگر چه مکانیزم های دیگر ممکن است باقی بماند.

اگر همان آلیاژ نورد شود، مقدار معینی از مارتنزیت کرنش القا شده تشکیل خواهد شد، و با استحکام بالاتر مواد سخت کاری شده ترکیب می شود، که منجر به مستعدی تردی هیدروژنی می شود.

۸. تأثیر تنش

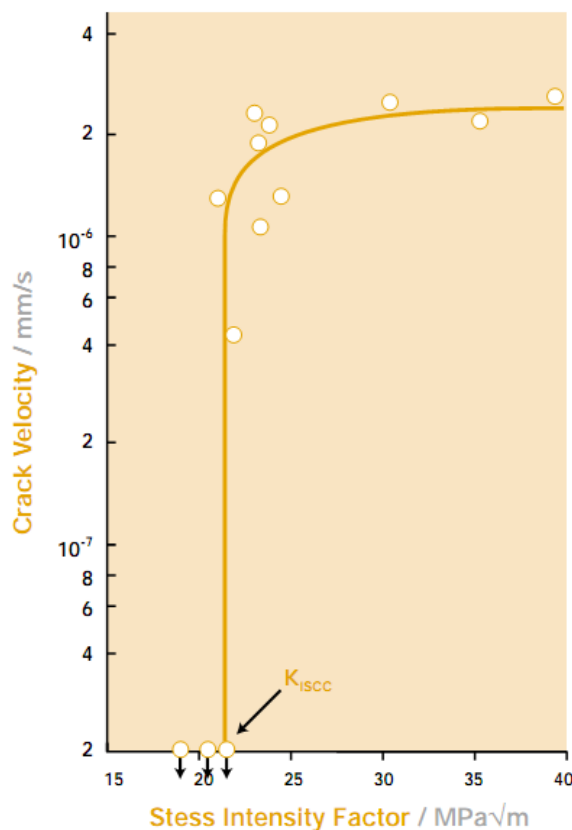
یکی از عوامل بروز ترک ناشی از خوردگی تنشی، مستلزم تنش است و به طور معمول نشان داده شده است که یک سر حد یا مرزی از تنش وجود دارد که در کمتر از آن ترک خوردن اتفاق نمی افتد (در بدترین حالت، نرخ رشد ترک خیلی کم می شود، به طوری که شکست در زمان های واقعی رخ نخواهد داد). برای مثال شکل ۶ زمان شکست فولاد ماربجینگ در محلول نمک را نشان می دهد. برخی نیاز های مورد توجه باید در استفاده از همان تنش آستانه به کار رود.



شکل ۶. تأثیر تنش اولیه روی زمان شکست فولاد ماربجینگ در محلول 3.5% NaCl

ترکیبات واقعی که به طور معمول شامل عیوب و جزئیات طراحی، مانند شیارها، تغییرات در قسمت نوک دار، جوش ها، خوردگی حفره ای و غیره خواهد شد، تراکم تنشی را تولید خواهد کرد، از این رو به تنش آستانه اجازه می دهد تا به طور موضعی افزایش یابد، ولو اینکه تنش اسمی در صورت امکان تماماً پایین تر از آستانه باشد. به علاوه، تنش های باقی مانده ای که به وسیله ی جوشکاری یا تغییر شکل تولید شد، غالباً به تنش تسلیم نزدیک خواهد شد.

روش های مکانیک شکست^۷، میانگین مجاز برای عیوب در ساختار را فراهم کرد. به جای تعیین وقوع شکست برای یک نمونه که در معرض تنش قرار دارد، نرخ رشد ترک که از قبل موجود است به عنوان یک تابع فاکتور شدت تنش در نوک ترک اندازه گیری شد.



شکل ۷. رابطه بین نرخ رشد ترک و فاکتور شدت تنش

این نتایج معمول در یک گراف تصویر در شکل ۷ مشهود است. این فاکتور شدت تنش آستانه پایین را نشان می دهد، به طوری که ترک های خوردگی تنشی منتشر نخواهد شد. این آستانه به طور معمول نماد K_{ISCC} را می دهد، که این فاکتور شدت تنش آستانه به رشد ترک خوردگی تنشی در مد بارگذاری کرنش صفحه ای دلالت می کند.

هر بار فاکتور شدت تنش K_{ISCC} افزایش می یابد، نرخ رشد ترک به سرعت افزایش می یابد، اما سپس به یک نرخ محدودی می رسد، که به عنوان سرعت یا نرخ رشد ترک پایا شناخته می شود. همانطور که فاکتور شدت تنش مجدد افزایش می یابد، سرانجام نرخ رشد ترک شروع به افزایش دوباره می کند، به طوری که فاکتور شدت تنش به فاکتور شدت تنش بحرانی برای شکست سریع، K_{IC} نزدیک می شود. در این رده بخشی از

^۷ "مهندسی مواد" توسط Ashby و Jones برای مقدمه ای به مکانیزم شکست بسیار خوب مشاهده شود.

رشد ترک تماماً توسط فرایندهای مکانیکی، با محیطی که تنها برای انتشار ترک میان نواحی سخت میکروساختار به کار می رود، رخ می دهد.

در قاعده کلی KISCC، مبنای مناسبی را برای مدیریت ترک خوردگی تنش فراهم می سازد. به وسیله ی تضمین اینکه ترکیب تنش و حداکثر اندازه عیب، فاکتور شدت تنش پایین KISCC را می دهد، رشد ترک، و از طرف دیگر شکست خوردگی تنش را می توان اجتناب کرد. هرچند، باید فهمید که KISCC خاصیت ثابت ماده نیست، و به وسیله ی همه ی مواد و فاکتورهای محیطی که متأثر از جوانب دیگر SCC است، تحت تأثیر واقع خواهد شد. در نتیجه، اطمینان از اینکه مقدار مناسب KISCC استفاده می شود، دارای اهمیت است.

۹. آزمون های ترک خوردگی ناشی از تنش

در اصل، آزمون ها برای ترک خوردگی ناشی از تنش به سادگی مستلزم در معرض تنش گذاشتن نمونه ای از ماده یا قطعه در اعتراض به محیط مورد توجه است. هرچند، کلاس های متنوعی از آزمون با اهداف مختلف وجود دارد:

- آزمون های استاندارد (برای مثال استانداردهای BS، ASTM، ISO و غیره را مشاهده کنید) به طور کلی طراحی شدند تا یک ماده را برای قابلیت SCC آن در محیطی که در معرض مشکل قرار دارد آزمایش کند، یا با آزمایش اجزای سازنده تعیین کند که آیا آن ها ضرورتاً ترکیب خواص ماده و تنش باقی مانده ای هستند که در نتیجه ترک متحمل می کند. برای مثال، محلول جوشنده 42% $MgCl_2$ به طور وسیعی به عنوان یک آزمایش برای در معرض خطر بودن فولادهای زنگ زن آستنیتی با ترک خوردگی ناشی از تنش کلریدی استفاده می شود، و این آزمایش ممکن است با شکل آلیاژها یا با بررسی عناصر سازنده برای حضور تنش های باقی مانده استفاده شود.
- آزمایشات تنش ثابت یا جابجایی ثابت در اصل یک قطعه و روش بارگذاری را توصیف می کند که تنش های وارد بر نمونه در حالی ست که در محلول قرار می گیرد. بنابراین قابلیت بروز SCC به وسیله ی زمان گرفته شده برای شکست نمونه، یا پیشرفت ترک ها در سطح نمونه بررسی می شود. در آزمایش جابجایی ثابت معمول، از یک نمونه به شکل U استفاده می شود که به وسیله ی خمیدگی یک صفحه مسطح تولید می شود، و بنابراین تنش به وسیله ی کشش بازوهای U با هم دیگر به همراه بارگذاری زبانه وارد می شود (به آزمون خم شدگی-U معروف است).
- آزمون های مکانیک شکست از یک نمونه با ترکی که از قبل وجود داشت، استفاده می شود (اغلب توسط نوسان خستگی ایجاد می شود). آزمون ها ممکن است به سادگی به وسیله ی ثبت زمان شکست ارزیابی شود، اما رایج تر این است که تغییر در طول ترک با زمان اندازه گیری شود، و به

موجب آن نمودار نرخ رشد ترک به عنوان تابعی از فاکتور شدت تنش نتیجه شد. ممکن است که یک ترتیب بارگذاری مناسب و هندسه نمونه برای فاکتور شدت تنش تعبیه شود که موجب افت رشد ترک شود، و این یک روش مفید از ارزیابی K_{ISCC} را فراهم می کند. ترک خوردگی تنشی در فاکتور شدت تنش نسبتاً بالا آغاز شد، اما همانطور که این ترک رشد می کند، فاکتور شدت تنش افت می یابد تا وقتی که از رشد ترک در K_{ISCC} جلوگیری می شود.

- در آزمایش نرخ کرنش آهسته، یا به طور واقعی تر، در آزمون نرخ کشیدگی ثابت، نرخ آهسته کشش در یک نمونه به کار می رود. این تضمین شده است که یک کرنش پلاستیک مداوم در سطح نمونه وجود دارد، و تحریک و رشد ترک های خوردگی تنشی تقویت می شود. نتیجه ی آزمایش الگوهای زمانی گرفته شده برای شکستی که اتفاق می افتد، کشش در شکست یا پیدایش سطح شکست را ارزیابی می کند. این آزمون چندین مزایا دارد، شامل محدوده ی زمانی که برای آزمون گرفته می شود (شکست مکانیکی ضرورتاً رخ می دهد حتی اگر SCC اتفاق نیافتد)، و طبیعت نسبتاً طاقت فرسای آزمون، که بدین معنی است که آن معمولاً نتایج محافظه کارانه ای می دهد (اگر در آزمون شکست اتفاق نیافتد، بعید است که شکست در شرایط کاری رخ دهد). آزمون کرنش آهسته به طور معمول برای نمونه های کششی صاف به کار می رود، اگرچه نمونه هایی که از قبل دارای ترک هستند نیز ممکن است استفاده شود.

۱۰. کنترل ترک خوردگی ناشی از تنش

۱.۱۰ مقدمه

بنابراین برای SCC که رخ می دهد، به یک ماده حساس، یک محیطی که ترک در آن ماده ایجاد شود و یک تنش به اندازه کافی بالا یا فاکتور شدت تنش نیاز است. در نتیجه، روش هایی وجود دارد، که می توان برای جلوگیری از SCC، یا حداقل برای طول عمر قابل قبول، استفاده کرد. در ویرایش اول این کتابچه، این بخش " جلوگیری از ترک خوردگی تنشی " نامیده شده بود. بنابراین تغییر کرد به کلمه " کنترل"، چون اغلب موقعیت هایی وجود دارد در جایی، که باید با مشکل ترک خوردگی تنشی زندگی کرد و می توان تنها هدف برای کنترل کافی در سراسر فرایند باشد تا از شکست اتمسفری دوری کرد.

در یک جهان ایده آل استراتژی کنترل ترک خوردگی تنشی، با کار بر روی مرحله طراحی آغاز خواهد شد، و روی انتخاب مواد، محدودیت تنش و کنترل محیط متمرکز می شود. بنابراین مهارت مهندس در انتخاب این استراتژی واقع می شود، که عملکرد مورد نیاز در حداقل قیمت را تحویل دهد. در این متن، باید درک کرد که یک قطعه از عملکرد مورد نیاز، قابلیت شکست را گزارش می دهد. برای مخزن فشار محدود اولیه در یک راکتور

هسته ای به طور واضح نیاز به ریسک خیلی پایینی از شکست هست. برای آراستن زینتی برنجی متراکم روی یک کلید نور، ترک خوردگی تنشی به طور اتفاقی مشکل جدی نمی باشد، اگر چه شکست های متداول ضربه نامطلوبی روی برگشت تولید و تصویر حقوقی خواهد داشت.

۱۰.۲ انتخاب و کنترل مواد

نخستین قدم دفاعی در خصوص کنترل ترک خوردگی تنشی، آگاهی از احتمال مراحل طراحی و ترکیب است. با انتخاب ماده ای که در محیط کاری خود حساس به SCC نباشد و با ساخت و پردازش صحیح آن می توان از مشکلات بعدی SCC پرهیز کرد. متأسفانه، آن واقعا همیشه ساده نیست. برخی محیط ها، مانند آب با دمای بالا، خیلی خورنده است، و SCC را در بیشتر مواد ایجاد می کند. نیازهای مکانیکی، مانند استحکام تسلیم بالا، میتواند برای تطبیق با مقاومت به SCC بسیار مشکل باشد (به طور ویژه جایی که تردی هیدروژنی در نظر گرفته می شود). در نهایت، البته، قانون مرفی نشان می دهد که موادی که در مقابل SCC مقاوم هستند اغلب به ناچار بسیار گران هستند (و اینکه به محض اینکه از آن ها استفاده می شود، آن ها در محیط خود در معرض SCC قرار می گیرند).

۱۰.۳ کنترل تنش

یکی از ملزومات برای ترک خوردگی تنشی حضور تنش در اجزای سازنده است، یک روش کنترل حذف تنش، یا حداقل کاهش آن تا زیر تنش بحرانی SCC است. حذف تنش های کاری معمولاً امکان پذیر نیست (تنشی که جزء سازنده آن قصد محافظت دارد)، اما چنانچه تنشی که منجر به ترک می شود تنش پسماندی باشد که در حین جوشکاری یا شکل دادن به وجود آمده باشد امکان پذیر است.

تنش های باقی مانده می تواند به وسیله ی آنیل رهایی از تنش برکنار شود، و این به طور وسیعی برای فولادهای کربنی استفاده می شود. این مزیت تنش آستانه نسبتاً بالایی را برای بیشتر محیط ها دارد، در نتیجه نسبتاً آسان است که تنش های باقیمانده به سطح خیلی پایین کاهش یابد. فولادهای زنگ نزن آستنیتی ثابت ، تنش آستانه خیلی پایینی برای SCC کلریدی دارد. ترکیب شدن با دماهای آنیل کردن بالا که برای جلوگیری از مشکلات دیگر، مانند حساسیت و تردی فاز سیگما، ضروری است، بدین معنی است که تنش رهایی همانند روش کنترل SCC برای این سیستم به ندرت موفق است.

برای ساختار های بزرگ، برای اینکه رهایی از تنش به طور کامل ناشی از آنیل کردن مشکل و یا ناممکن است، تنش جزیی پیرامون جوش ها رها می شود و ممکن است نواحی بحرانی دیگر ارزش شود. هر چند، این باید در یک روش کنترل شده انجام شود تا از ایجاد نواحی جدیدی با تنش باقیمانده بالا جلوگیری شود، و اگر این رویکرد پذیرفته شود، آگاهی کارشناس قابل توصیه است.

تنش ها می توانند همچنین به طور مکانیکی بر طرف شوند. برای مثال، آزمون هیدرواستاتیک با بازده بهتر تمایل به خروج تنش ها دارد و به موجب آن پیک تنش های باقی مانده را کاهش می دهد. به طور مشابه ساچمه زنی یا سنگ ریزه تمایل به ورود تنش فشاری سطحی دارند، و برای کنترل SCC با استفاده است. یکنواختی با اینکه این فرایندها کاربردی هستند، مهم است. اگر، برای مثال، تنها ناحیه ی جوش ساچمه زنی شود، تنش های کششی مخرب در لبه ی ناحیه چکش خورده، ممکن است ایجاد شود.

۱۰.۴ کنترل محیط

بیشترین روش مستقیم کنترل SCC در میان سایر روش های کنترل محیط، بر طرف کردن یا جایگزینی اجزای محیطی است که برای این مشکل پاسخگو ست. متأسفانه، آن برای قابل اجرا بودن این رویکرد، نادر است. اگر در سراسر محیطی که تحت کنترل است، گونه های فعال وجود داشته باشد، بنابراین برطرف کردن گونه های فعال ممکن است عملی باشد، اگرچه حتی در آن وقت این کار ممکن است مشکل باشد. برای مثال، ترک خوردگی ناشی از تنش کلریدی فولادهای زنگ نزن آستنیتی که در لوله های شکلاتی (که لوله های حمل شکلات مذاب گفته می شود) پیرامون پوشش های آب داغ در صنعت غذا ایجاد می شود. در این موقعیت نمی توان به آسانی مواد یا دما را تغییر داد، و آن واقعاً برای حذف تنش های باقیمانده ی وارد شده به وسیله ی جوشکاری و شکل دهی فولاد زنگ نزن ناممکن است. اگرچه، می توان به وسیله ی یک فرایند مبادله یون کلرید را از آب حذف کرد، و با کنترل درست و بازبینی، این رویکرد می تواند موفق باشد. البته اگر با کچاپ گوجه فرنگی داغ سر و کار داشته باشد، به طوری که PH پایینی دارد و ممکن است حاوی کلرید کافی برای ایجاد SCC باشد، به علاوه مشکل سخت تری وجود دارد.

در موقعیت دومی، جایی که پاسخ نمونه ها برای ترک نیازمند اجزای محیطی است، گزینه های کنترل محیطی شامل افزودن کند کننده، اصلاح پتانسیل الکتروود فلزی، یا ایزوله کردن فلز از محیط توسط پوشش می شود.

با در نظر گرفتن مثال های دیگر SCC کلریدی فولادهای زنگ نزن آستنیتی، تبادل گر های حرارتی لوله و پوسته خیلی اوقات با استفاده از لوله های فولاد زنگ نزن (چون باید دیواره نازک باشد و خوردگی را نمی تواند تحمل کند) و با صفحات لوله ی فولاد کربنی و پوسته (چون میتواند خیلی ضخیم ایجاد شود تا میزان مجاز خوردگی را فراهم کند) ایجاد شد. SCC کلریدی به ندرت این ترکیب را تحمل می کند. اگرچه، برای یک مهندس علاقه مند، کاملاً معمول است تا تصمیم بگیرید که برای جلوگیری از خوردگی ناخوشایند فولاد کربنی بایستی از تبادل گرهای حرارتی جایگزین با ترکیب " همه زنگ نزن" استفاده کند. در نتیجه خیلی اوقات یک شکست سریع تبادل گر حرارتی توسط SCC یا خوردگی حفره ای است. این بدین خاطر است که، فولاد کربنی پتانسیل الکتروود نسبتاً پایینی را می پذیرد، که این پتانسیل برای ایجاد SCC یا خوردگی حفره ای فولاد زنگ نزن آستنیتی در مقدار پایین مورد نیاز و خوب است، به طوری که به موجب آن حفاظت می

شود. زمانی که همه ترکیب زنگ نزن پذیرفته می شود، این حفاظت الکتروشیمیایی غیر ارادی از دست می رود و شکست رخ می دهد.

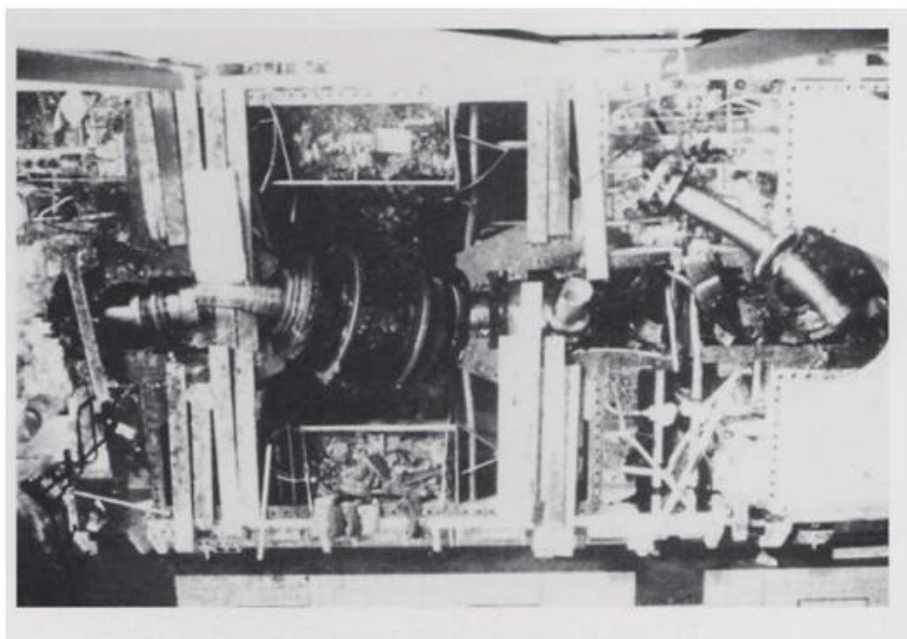
مانع شونده های خوردگی شیمیایی هستند، به طوری که نرخ فرایند خورنده را کاهش می دهند. آن ها به طور کلی نسبت به سیستم آلیاژی به خصوصی ترجیحاً مشخص هستند، و به طور معمول همچنین آنها ملزومات خاصی در الگوهای ترکیب محیط دارند. مانع شونده ها ممکن است در کنترل SCC مؤثر باشند، اگرچه برای جلوگیری از خوردگی متداول، نیازها نسبتاً متفاوت هستند. همانا مواد شیمیایی که از خوردگی متداول جلوگیری می کند، ممکن است شرایط ضروری را برای ترک خوردگی تنشی ایجاد کند (هیدروکسیدها، کربنات ها و نیترات ها برای فولاد کربنی). حتی زمانی که جلوگیری کننده ها در برابر SCC مؤثر واقع می شوند، غلظت های بالاتر ممکن است که برای جلوگیری متداول مطلوب باشد.

پوشش های فلزی، فلز را از این محیط ایزوله می کند، و می تواند بدین وسیله مانع SCC شود. اگرچه، احتمال نفوذ کردن در پوشش به وسیله ی اعمال ناقص یا آسیب مکانیکی در شرایط کاری باید در نظر گرفته شود. برای این دلیل روی یک پوشش مورد پسند برای فولاد کربنی است. پتانسیل خوردگی نرمال برای روی نسبتاً پایین است، و اگر هیچ یک از فولاد در زیر قرار گرفته، بدون پوشش نشد، این حفاظت کاتدی خواهد شد. هرچند، پتانسیل الکتروود پایین همچنین تحول هیدروژنی را ترغیب خواهد کرد، و این ممکن است منجر به تردی هیدروژنی شود. تردی هیدروژنی ممکن است به عنوان نتیجه ی تحول هیدروژنی در طی عملکرد آبکاری اولیه نیز رخ دهد، همانطور که در بالا ملاحظه شد. در نتیجه روکش کاری روی باید با دقت روی فولادهای قوی استفاده شود. کادمیوم نسبت پتانسیل مثبت تری را می پذیرد، و خطر خیلی کمتری را از تردی هیدروژنی ایجاد می کند، در حالی که باز هم فولاد در زیر قرار گرفته محافظت می شود. متأسفانه ترکیبات کادمیوم سمی هستند، بدین وسیله به طور ضروری آن به عنوان یک ماده پوششی مردود است.

رنگ ها و پوشش های پلیمری دیگر به وسیله ی مزیت مقاومت الکتریکی بالای آن ها، از فلز در زیر قرار گرفته تا درجه زیادی محافظت می کنند، به طوری که محدود کننده گذرگاه جریان از آند به کاتد است (هر دو اکسیژن و آب نسبتاً به آسانی درون بیشتر پلیمرها نفوذ می کنند، بنابراین رنگ ها انجام نمی شوند، چنانچه اغلب، شرایط کاری با ایزوله کردن فلز از محیط، اغلب گمان می شود). رنگ ها ممکن است در محدود کردن SCC مؤثر باشد، به طور معین، آن ها در جایی استفاده می شوند که بازدارنده ها را پیوسته می کنند تا بتوانند از راه نفوذ هر محلول به فلز جلوگیری کنند. هر چند، در رابطه با پوشش های فلزی، فکر کردن درباره ی این که چه اتفاقی خواهد افتاد اگر پوشش به وسیله ی آسیب مکانیکی حذف شود مهم است.

۱۱. زندگی همراه با SCC

اغلب کار کردن در شرایطی که SCC ممکن است رخ دهد، ضروری است. این ممکن است از تصمیمی پیش بینی شده با استفاده از سیستمی که ممکن است در معرض SCC باشد، ناشی شود، اما به طور رایج تر آن به دلیل پیش بینی نشدن حساسیت رخ می دهد. یک مثال مهم از این قبیل، مشکل به وجود آمده بعد از شکست یک سوپاپ توربین بخار در ایستگاه قدرت نقطه ای Hinkley در ۱۹۶۹ است.



شکل ۸. بررسی اجمالی موقعیت Hinkley

این شکست توسط ترک های خوردگی تنش رخ داده در آب تغلیظ شده در یک سوراخ کلید در قطر داخلی سوپاپ وارد شد. فولاد فشرده شده تافنس شکست نسبتاً پایینی داشت، که همان ناشی از تردی سخت کردن شد، و دیسک زمانی که ترک به طول تقریباً ۲mm دست یافت، به وسیله ی شکست سریع، شکسته شد.

شکست هم جدی بود؛ موقعی که یک قطعه پیچیده فولادی که در ۳۰۰۰rpm می چرخید، به چندین تکه با خرده های پرنده تفکیک می شد که آسیب زیادی را به توربین و دالان توربین ایجاد می کرد. چه چیز هنوز به صورت کارا خطرناکتر بود، در حقیقت توربین های این طراحی یک قطعه مهم الکتریسیته UK مولد خازن را شکل دادند. از این رو CEGB نمی تواند موجب خاموش شدن همه ی این توربین ها شود، و با مشکل SCC فاجعه آمیز به طور بالقوه زندگی کرد. اینکه آن ها ازین پس بدون شکست بیشتر انجام دهند، خواسته ای است که مهارت مهندسان و دانشمندان را در نظر می گیرد. روشی که آن ها پذیرفتند، امروزه بازرسی بر پایه ریسک نامیده می شود. خطر شکست توربین های اختصاصی بر مبنای نتایج آزمون برای فورج کاری های دیسک اختصاصی ارزیابی شد. توربین ها بنابراین در شیوه کاهش خطر تخمین زده شده بازرسی شدند

(رسیدگی ساده برای ترک ها یک تمرین مهم است، به طوری که سوراخ کلید می تواند تنها به وسیله ی مجزا کردن توربین کامل بازرسی شود).

تکنیک رسیدگی بر مبنای خطر یک ابزار با ارزش برای مدیریت پروژه های بازرسی است. در ماهیت هر ترکیب در روش های امکان پذیری شکست آن و در الگوهای پی آمد آن شکست دسته بندی می شود. بنابراین، اولویت ها برای بازرسی به طور معمولانه واضح است؛ اولویت اول باید بررسی اجزاء با امکان بالای شکست و پیامد بالای آن شکست می باشد (در عمل نباید ترکیبات در این رده باشند- اگر تجهیزاتی وجود دارد باید احتمالاً بلافاصله خاموش شود). سپس اولویت های بازرسی حرکت را از طریق صفحه احتمالی از کار می اندازد و در نتیجه این تا وقتی است که اجزای سازنده به احتمال پایین شکست و پیامد پایین شکست می رسد. به طور تقریبی این بررسی با ارزش نیست، و آن ها به سادگی می توانند جایگزین شوند و همان موقع شکست بخورند. در حالی که اصول اساسی بازرسی بر مبنای خطر خیلی ساده است، آن برای اینکه ابزار قدرتمندی شود دارد مهیا می شود. برای مثال، ادعا شده بود که کاهش در شکست های 90%، در زمان یکسان همانند کاهش در قیمت های بازرسی 50% نائل می شود.

در تعیین هر دو احتمال شکست و در نتیجه شکست به وسیله ی فرایندهای ترک خوردن ، تکنیک های مکانیزم شکست ممکن است خیلی ارزشمند باشد. Ashby و Jones مقدمه خیلی واضحی با این تکنیک ها را بیان کردند، و تنها باید به خلاصه های این تئوری در اینجا مبادرت کرد. مکانیک های شکست به شرایط مکانیکی در نوک ترک مربوط می شود، و خواص مواد که خواه ناخواه تعیین می کند که ترک انتشار خواهد یافت. فراهم کردن ناحیه ی پلاستیسیته در نوک ترک در مقایسه با طول ترک و ضخامت نمونه کوچک است، دریافت شد که حالت تنش در نوک ترک توسط فاکتور شدت تنش ، K تعریف می شود ، که به وسیله ی زیر داده شد:

$$K = \sigma \sqrt{\pi a Y}$$

در اینجا σ تنش اعمالی ، a طول ترک و Y فاکتور اصلاح هندسی (>1) است.

ضخامت نمونه در جهت جلوی ترک همچنین با اهمیت است؛ ترک در میان فویل آلومینیوم رشد می کند چنانکه آن را از شرایط خیلی متفاوت آزمایشات نورد از ترکی در یک صفحه آلومینیومی خیلی ضخیم جدا می کند. فرایندهای مکانیکی برای نمونه های خیلی نازک به شدت ضخامت بستگی دارد، و نمی تواند در یک روش کلی تحلیل شده باشد (شرایط تنشی اینجا به عنوان تنش صفحه ای شناخته می شود، چنانچه در اینجا هیچ تنشی نمی تواند بدون صفحه ی ورقه ای توسعه یابد).

خواه نا خواه ترکی که منتشر می شود (در غیاب اثرات SCC) ، به وسیله ی فاکتور شدت تنش اعمالی که بزرگتر از مقدار بحرانی است، تعیین می شود که به عنوان چقرمگی شکست (K_{IC}) نامیده می شود. به طور مشابه دریافت شد که به طور کلی SCC تنها اگر K بزرگتر از K_{ISCC} باشد، رخ می دهد.

روش تعیین احتمال شکست SCC از اجزای داده شده فراهم شد، و به نیازهایی برای بازرسی در طی بازیابی ترک اشاره شد. اگر تنش S ، نامیده شود، تا وقتی که ترکیب در معرض قرار دارد، می توان دید که طول ترک مورد نیاز برای دستیابی به فاکتور شدت تنش K_{ISCC} به وسیله ی زیر داده می شود:

$$a_{crit} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{K_{ISCC}}{\sigma Y} \right]^2$$

اگر سیستم بازیابی ترک بتواند برای پیدا کردن هر ترک طولی a_{crit} یا بالاتر تضمین شود، می توان به طور معقولانه مطمئن شد که شکست SCC به احتمال زیاد تا وقتی که همراه با زمان، عیوب بزرگتر رشد کنند، رخ نمی دهد (به طور معمول توسط خوردگی حفره ای یا خستگی خوردگی).

اگر ما برای یافتن ترک های با اندازه a_{crit} به طور قابل اطمینانی ناتوان شدیم، باید فرض کنیم که چنین ترک هایی وجود دارند، و مبنای استراتژی ارزیابی ما روی زمان گرفته شده برای بزرگ ترین ترک است که ما ممکن است موفق به تشخیص رشد ترک تا اندازه مورد نیاز برای رسیدن به K_{IC} نشویم. اگر نرخ رشد ترک مسطح به طور معقولانه ای پایین است ، این ممکن است که زمان قابل قبولی را بین بررسی ها به ما بدهد، اما برای سیستم های زیادی، نرخ رشد ترک خیلی سریع است و شکست در یک زمان کوتاه غیرقابل قبول رخ خواهد داد.

حفره های خوردگی موقعیت های معمولی برای شروع ترک های خوردگی تنشی هستند (ترک ها در سوپاپ Hinckley Point در یک حفره خوردگی شروع شدند). برای تقریب اول، یک حفره می تواند به عنوان یک ترک با مقطع عرضی عمل کند، و ضرورتاً روش مکانیک های شکست برای تعیین اندازه ی حفره استفاده می شود که K_{ISCC} افزایش می یابد و از این رو ترک ایجاد می شود.

گروه ترجمه ایران مواد

تماس : 09014745944

ایمیل : trans@iran-mavad.com