Mechanical aspect of corrosion in welding

سرفصل مطالب:

۱- جنبه‌های مکانیکی خوردگی (مقدمه)

۲- مروری بر مفاهیم شکست
- استحکام تئوری
- تنش شکست اسمی
- تمرکز تنش - تئوری Inglis

۳- مبانی مکانیک شکست
- تئوری گریفیث
- سه حالت
- میدان تنش در اطراف ترک
- ضریب شدت تنش
- چقرمگی شکست K_{IC} و نحوه اندازه‌گیری (SCC)

۴- خوردگی توأم با تنش (SCC)
- پدیده و مکانیزم‌های Stress Corrosion Cracking
- روش‌های تست و مطالعه آزمایشگاهی SCC
- مکانیزم‌های جوانه‌زنی و رشد ترک در SCC
- فاکتور K_{ISCC}
- روش‌های جلوگیری از SCC

۵- خوردگی خستگی Corrosion Fatigue (CF)
- مقدمه‌ای درباره‌ی خستگی
- تعاریف و مفاهیم خوردگی خستگی
- شرایط ایجاد CF و عوامل موثر بر آن
- روش‌های تست و مطالعه CF
- روش‌های جلوگیری از CF

۶- تردی هیدروژنی Hydrogen Embrittlement (HE)

- ویژگی تردی هیدروژنی
- منابع هیدروژن و عوامل موثر بر آن (HE)
- روش های جدایش و مقاومت ماده در برابر HE

بارم بندی: final exam ← 13

Corrosion of weldment aspect mechanical ← { Research ← 4 / Present ← 3

Refrence:

1- fracture: 1- Deformation and fracture mechanical of Engineering Hertz, Berg

2- mechanical metallurgy Dieter

2- Fatigue: 1- fatige of materials Suresh 1998

2- frature and fatigue control in structure 1997

3- SCC & CF: 1- Stress corrosion cracking Theory and Practice, Raja

2- Corrosion fatigue mechanisms, T.w. Cooker

3- Corrosion Engineering fontana

4- HE: 1- Hydrogen Embrittlement and Stress Corrosion Cracking, Gibala 1984

2- Fundamental of Hydrogen Embrittlement m. Naguya

5- corrosion of weldment J.R. Dawis 2006 (ASM Handbook)

۶- خوردگی در قطعات جوشکاری شده، دکتر همدی (انجمن خوردگی) ، ۷- خوردگی در جوش، دکتر امید وار دانشگاه امیرکبیر

iman NOTEBOOK

خوردگی: مهمترین اهمیت خوردگی به‌عنوان Sub مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

اتلاف انرژی و اتلاف ماده‌ی می‌شود.

بررسی خوردگی از جنبه‌های
۱ـ اقتصادی
۲ـ ایمنی
۳ـ صرفه‌جویی منابع

زیان‌های خوردگی
۱ـ مستقیم: تعویض و عدم کارایی قطعه یا وسیله
۲ـ غیرمستقیم: ←
۱ـ هزینه‌ی تعمیر و نگهداری
۲ـ اتلاف محصول
۳ـ اتلاف انرژی، افت کارایی یا راندمان
۴ـ ایجاد آلودگی (داده‌ی، تولید، ...)
۵ـ آلودگی محیط زیست
۶ـ خطرات جانبی
۷ـ تغییر شکل ظاهر
۸ـ هزار مرغوب‌تر
۹ـ هزینه‌ی تعمیر و نگهداری

GDP (Gross Domestic Products) ← تولید ناخالص داخلی، در آمریکا هزینه‌های خوردگی ۴٪ GDP است.

بسیاری از مقطعات در معرض نیروهای مکانیکی هستند.

نیروهای مکانیکی ←
۱ـ خارجی
۲ـ داخلی (وزن قطعه، ...)
+ خوردگی ⇒ خسارت و تخریب قطعه

در بین سال‌های ۱۹۳۰ـ۱۹۱۰ ← مطالعات سیستماتیک انجام و شروع شده است.

شکست: تخریب و غیرقابل استفاده شدن در اثر تنش و تبدیل به چندین تکه در دمای زیر نقطه ذوب

Damage (آسیب) ← تعمیر می‌شود

تخریب و شکست، غیرقابل تعمیر ← { failure / fracture

تفاوت failure با fracture این است که در failure ما برای پرواز و ساخت یک قطعه‌ای ما باید ملاحظاتی رو در نظر می‌گرفتیم اما نگرفتیم. به عنوان مثال برای بال باید یک لایی ضربه‌اش رو قطعه در نظر می‌گرفتیم اما در نظر نگرفتیم و باعث failure می‌شود.

در fracture ما ملاحظات را در نظر می‌گرفتیم ولی در نهایت fracture رخ می‌دهد.

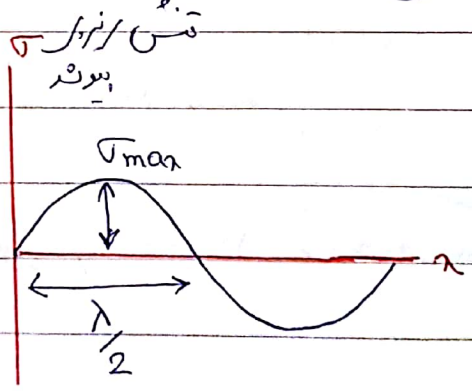
انواع شکست:
1- شکست ترد: سریع رخ می‌دهد، براق صاف، تغییر فرم پلاستیک کم ندارم، انرژی جذب شده کم
2- شکست نرم: عکس موارد بالا (Cu، Al خالص)

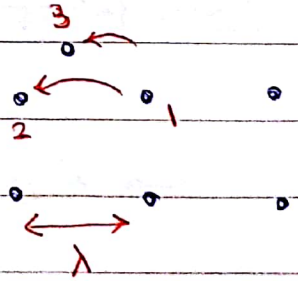
* شکست نرم بهتر است چون قبل شکست ما یک تغییر فرم پلاستیک داریم و ما شاهد اتفاقاتی هستیم.

تنش شکست / استحکام شکست بسیار مهم است و بررسی می‌کنیم.

تنش (ابتدا)
اسمی (دین)
واقعی

سعی می‌کنیم بین این ۲ مشاهده شد تفاوت زیادی وجود دارد.





$$\sigma = \sigma_{max} \sin\frac{\pi x}{\frac{\lambda}{2}} = \sigma_{max} \sin\frac{2\pi x}{\lambda} \rightarrow \sigma = \sigma_{max}\frac{2\pi x}{\lambda}$$

$$\sigma = E\varepsilon \qquad \text{کرنش } \varepsilon = \frac{x}{a_0} \qquad \sigma = \frac{Ex}{a_0}$$

a_0 ← پارامتر شبکه

تنش تئوری را چگونه حساب کردند؟ برای اینکه تغییر فرم اتمها بیافتد و شکست رخ دهد ۱/۱۰ اتم باید حرکت کند به یک ثانیه دیگر. تنش باید به یک max برسد تا شکست رخ دهد.

$$\lambda = \sigma_{max}\frac{(2\pi)a_0}{E} \quad (1)$$

عذان کار در اثر فرآیند شکست (۲γ) $= U = \int_0^{\frac{\lambda}{2}} \sigma_{max}\frac{2\pi x}{\lambda}dx$

چون در نظر می‌گیریم در شکست ما ۲ سطح داریم که انرژی هر سطح برابر γ است.

$$\lambda = \frac{\pi(2\gamma)}{\sigma_{max}} \quad (2)$$

مدول یانگ — انرژی سطحی

$$(1)\text{و}(2) \rightarrow \sigma_{max} = \sigma_{th} = \left(\frac{E\cdot\gamma}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} *$$

پارامتر شبکه

تنش max برای شکست یا تنش تئوری برای شکست

ex) انرژی سطحی آهن $\frac{J}{m^2}$ ۱/۲ می‌باشد. درصورتی که $E = 200\ GPa$ و فاصله اتم‌ها $a_0 = 0/287\ nm$ باشد استحکام تئوری را حساب کنید.

$$mPa = \frac{N}{mm^2}$$

$$\sqrt{\frac{200\times10^3\times1/2\times10^{-3}}{0/287\times10^{-6}}} = 289/7\ mPa$$

واحد انرژی سطحی $\left(\frac{N}{m}\text{ یا }\frac{J}{m^2}\right)$

mm

* برای حل مسائل

(a به mm)(E به mPa)(γ به $\frac{J}{mm^2}$)

$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

Iman

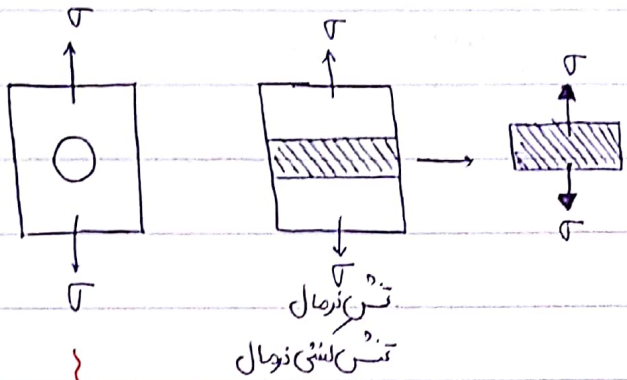
استحکام تئوری مواد در حدود $\frac{E}{10} \sim \frac{E}{4}$ می باشد $\approx \frac{E}{7}$

علت اینکه تنش اسمی شکست ما اینقدر نسبت به یکسری عوامل وجود دارند که در یک کریستال باعث افت این واداری

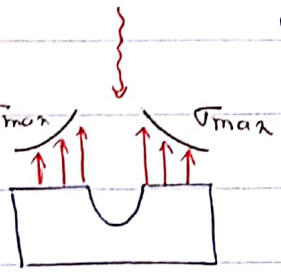
میزان تنش می شود (عواملی مثل عیوب بین نشینی و ...)

یا اثر خیلی هم که در خرابی شکست باعث تفاوت اسمی استحکام تئوری با استحکام اسمی می شود ترک است.

« جلسه ی دوم »



در هر بخش از این قطعه ها یا ماده همان ⇐ میزان σ واردی شود که دارد به بخش های مختلف واردی شود.



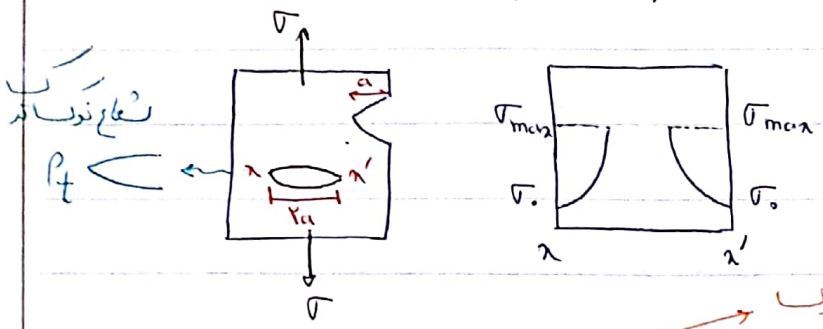
حال ما در قطعه یک حفره ای را به صورت اردبه رو در نظر می گیریم که داره به قطعه تنش σ واردی شود، می خواهیم مشاهده کنیم بر این مقطع همان σ که ما واردی کنیم اعمال می شود یا خیر. تنش که دارد به مقطع وارد می شود متناسب می کنیم هر چه از مقطع دورتر یک می کنیم میزان تنش که به قطعه واردی شود افزایش می یابد که با σ_{max} نشان می دهیم

به طور کل: ۱-) $\sigma < \sigma_{max}$ تنش که به قطعه واردی شود خیلی بیشتر از تنش است که به صورت نرمال واردی شود. یعنی (میگه شما داری به قطعه تنش σ واردی کنی اما در واقع به اون ناحیه داره σ_{max} واردی شود که خیلی بیشتر از σ است)

۲-) وجود ترک باعث می شود تنش حول (ترک / عیب) به صورت غیر دیفوالت باشد.

⇐ این ۲ عامل باعث می شود در تنش های خیلی خیلی کمتر از تنش های اسمی یا نرمال که داریم وارد به قطعه می کنیم شکست می شود.

حال بر مبنای تئوری Inglis آمدن محاسباتی انجام دادن که این σ_{max} چه ارتباطی دارد با شکل یا هندسه ترک.



پروفایل تنش از σ_0 تا σ_{max} افزایش می‌یابد.

$$\sigma_{max} = \sigma_0 \left[1 + 2\left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{\frac{1}{2}}\right]$$

(a: اگر ترک سطحی) نصف طول ترک

ρ_t: شعاع نوک ترک

چون $\frac{a}{\rho_t} \gg 1$ ⇐ $\sigma_{max} = 2\sigma_0\left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{\frac{1}{2}}$

+ مهمترین نتیجه: هر چه طول ترک بیشتر باشد ⇐ تنش که وارد می‌شود (σ_{max}) ↑

$a \uparrow \rightarrow \sigma_{max} \uparrow$

$\rho_t \downarrow \rightarrow \sigma_{max} \uparrow$ ($\rho_t \downarrow$) ⇐ یعنی ترک نوک تیزتری شود.

تنش تسلیم $\sigma_y = 200^{MPa}$ است. اگر قطعه به 200 mpa برسد تسلیم رخ می‌دهد؛ اگر ترک وجود نداشته باشد این σ که داریم وارد می‌کنیم باید برسد به بیشتر از 200 mpa تا شروع کند به تغییر فرم پلاستیک ولی وقتی یک ترک داریم در داخل قطعه ممکن است شما تنش 600 mpa وارد کنی و استباط کنی چون σ از σ_y کمتر است این قطعه هیچ وقت تغییر فرم پلاستیک نمی‌دهد ولی وجود ترک باعث می‌شود این σ_{max} ما برسد خیلی بیشتر از 200 mpa.

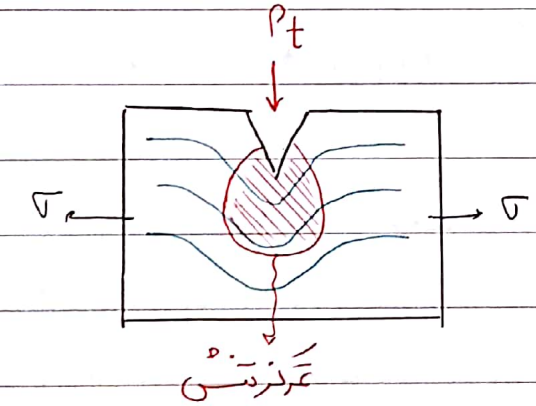
فاکتور تمرکز تنش $K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0}$

$$\sigma_{max} = \sigma_0 \left[1 + 2\left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{\frac{1}{2}}\right] \xrightarrow[\rho_t = \frac{b^2}{a}]{\text{در صورتی که}} \sigma_{max} = \sigma_0\left(1 + 2\frac{a}{b}\right)$$

فرض کنیم ترک دایره‌ای شکل باشد. ضرایب طبق رابطه‌ی مقابل $\sigma_{max} = \sigma_0(1+2) \Rightarrow \sigma_{max} = 3\sigma_0$ ($a=b$)

درست است σ_0 وارد می‌شود به قطعه اما 3 برابر تنشی که به قطعه وارد می‌شود تنش است که به آن ترک دایره‌ای شکل وارد می‌شود. پس به عنوان مثال اگر یک قطعه‌ای بدون ترک داشته باشیم و تنش تسلیم σ_y 200 mpa باشد اگر به آن تنش 100 mpa وارد کنیم تسلیم رخ نمی‌دهد ولی به همین قطعه ترک دایره‌ای شکل وجود دارد، شما تنش 100 mpa وارد کنیم تنش اعمالی به ترک می‌شود 300 mpa ($3\sigma_0 = 3\times 100$) و از σ_y بیشتر است و قطعه شروع می‌کند به تغییر فرم پلاستیک دارد. (σ_{max} در واقع تنش وارده به قطعه در حضور ترک است)

* به طور کلی اگر ترک نباشد هم جا σ_0 وارد می‌شود اما ترک وجود را شدیدتر با σ_{max} خ می‌دهد)



داده‌های دیگر بیان یک مثال درباره‌ی ضریب K (فاکتور تمرکز تنش)

$a = 10^{-3}$ cm or mm

$P_t = 10^{-9}$ cm or mm

* فاکتور تمرکز تنش به جنس ماده و یا تنش اعمالی ربطی ندارد فقط فاکتور تمرکز تنش به هندسه یا شکل ترک ربط دارد. (a, P_t)

$$\sigma_{max} = 2\sigma_0 \left(\frac{a}{P_t}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0} = 2\left(\frac{a}{P_t}\right)^{\frac{1}{2}}$$

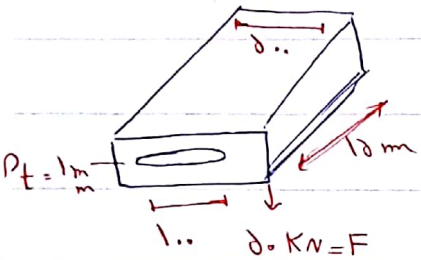
$$K_t = 2\left(\frac{10^{-3}}{10^{-9}}\right)^{\frac{1}{2}} = 2000$$

تنش که وارد می‌شود σ_0 2000 پاسکال.

حال 2000 mpa خیلی تنش بالایی است پس چرا قطعه نمی‌شکند؟ چون در جلوی ترک ناحیه‌ای به نام ناحیه‌ی تغییر فرم پلاستیک داریم که جلوگیری می‌کند از رشد ترک.

en) یک قطعه‌ی مستطیل‌شکل به طول ۵۰۰ mm و عرض ۱۵ mm در معرض بارگذاری ۵۰ KN قرار می‌گیرد.

اگر استحکام تسلیم ماده ۵۰ mPa باشد و داخل صفحه‌ی ترک مرکزی بیضوی شکل به طول ۱۰۰ mm و شعاع نوک ترک



۱ mm باشد. آیا صفحه تسلیم می‌شود؟

به تغییر فرم پلاستیک می‌دهد؟

$$\sigma_0 = \frac{۵۰ \times ۱۰۰۰}{۵۰۰ \times ۱۵} = \frac{۵۰۰۰۰}{۷۵۰۰} = ۶,۶۷ \frac{N}{mm^2} = ۶,۶۷ mPa$$

$\sigma_y = ۵۰ mPa$

$$\sigma_{max} = ۲\sigma_0 \left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{\frac{1}{2}} = ۲ \times ۶,۶۷ \times \left(\frac{۵۰mm}{1mm}\right)^{\frac{1}{2}} = ۹۴,۱۸ mPa$$

$۹۴,۱۸ > ۵۰ mPa \Rightarrow$ تسلیم ✓

مرز $۲a = ۱۰۰ \rightarrow a = ۵۰ mm$

تئوری اسمی شکست: (واقعی)

$$\sigma_{max} = ۲\sigma \left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$۲\sigma \left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{۲E\gamma}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \sigma_{th} = \left(\frac{۲E\gamma}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\rightarrow \sigma_f = \left[\frac{۲E\gamma}{۴a}\left(\frac{\rho_t}{a_0}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \qquad \rho_t = a_0 \text{ (پارامتر بی‌بعد)}$$

$$\boxed{\sigma_f = \left(\frac{E\gamma}{۲a}\right)^{\frac{1}{2}}}$$ رابطه‌ی اوروا

en) اگر $a_0 = ۲,۶ \times ۱۰^{-۸} cm$ ، $E = ۲۰۰ GPa$ ، $۲a = ۱ mm$ ، $\gamma = ۱,۲ \frac{J}{m^2}$ یا $\frac{N}{m}$

باید شود mm

باشد. σ_f را بدست آورید.

$$\sigma_f = \left(\frac{۲۰۰ \times ۱۰^{۳} \times ۱,۲ \times ۱۰^{-۳}}{۴ \times ۱,۲ \times ۱۰^{۴} \times ۲,۶ \times ۱۰^{-۸} \times ۱۰^{۱}}\right)^{\frac{1}{2}} = ۲۱۹ mPa \simeq \frac{E}{۱۰۰۰}$$

مکانیک شکست:

۱- در حین تنش شکست در ۲ حالت رخ می‌دهد: ۱- ترک از قبل وجود دارد ۲- ترک از قبل وجود ندارد.

اهداف:

۲- چه میزان انرژی داریم وارد می‌کنیم ← شکست رخ دهد. (میزان انرژی که لازم است تا ترک را رشد دهد و غلبه کند بر مقاومتی پلاستیک و باعث شکست نهایی شود.)

۳- شکست اتفاق افتاده است ← تحلیل مکانیک شکست

Fracture Energy ← برمی‌گردد به مبحث چقرمگی { ۱- استحکام بالا (سختی) ۲- انعطاف‌پذیری

میزان انرژی جذب شده چقرمگی

* مهمترین عواملی که بر روی نحوه شکست یک ماده تأثیر می‌گذارد.

۱- میزان تنش وارده

۲- جنس متریال

۳- نحوه اعمال تنش و کرنش

۴- شدت تنش (تمرکز تنش دارد یا نه ترک دارد یا نه و ...) ← به این موارد بستگی دارد

۵- ویژگی‌های متالورژیکی ← (ریز ساختار)

دانه‌ریز ← استحکام ↑

انعطاف‌پذیری ↑

۶- شرایط محیطی (دما، خوردگی، اکسیداسیون و غیره)

جلسه‌ی چهارم

تئوری گریفیث: در این جلسه درباره‌ی تئوری‌های شکست و محاسبات تعیین تنش شکست به صورت واقعی صحبت می‌کنیم. در ابتدای امر تئوری گریفیث در برای مواد ترد، تنش شکست را محاسبه می‌کنیم و بعدی آن را برای تمام موادی که تغییر فرم پلاستیک می‌دهند بسط می‌دهیم.

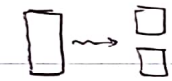
(تئوری گریفیث)

σ_f برای مواد ترد، مبنای محاسبه برای شیشه بوده

در اثر شکست ۲ اتفاق رخ می‌دهد (برای مواد ترد):

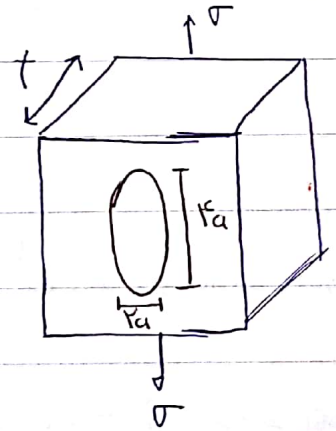
① انرژی کرنشی ایجاد می‌شود در اثر تغییر فرم الاستیک (کاهش)

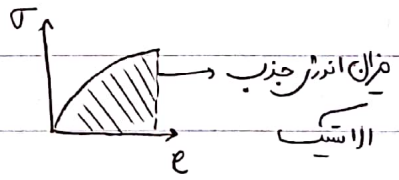
② ایجاد انرژی سطحی (افزایش) سبب در اثر خرد شدن شکست در آن رخ داده است.



تئوری گریفیث می‌گوید برای اینکه شکست اتفاق بیافتد و مواد بتوانند به σ_f برسند و شکست در متریال رخ دهد

میزان کاهشی که در اثر کرنش، تغییر فرم الاستیک حداقل باید با افزایش انرژی سطحی پالسی که در اثر شکست اتفاق می‌افتد.





$$\left.\begin{aligned}\frac{UR}{V} &= \frac{\sigma e}{2}\\ \sigma &= Ee\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{UR}{V} = \frac{\sigma^2}{2E}$$

تنش — مدول یانگ — کرنش

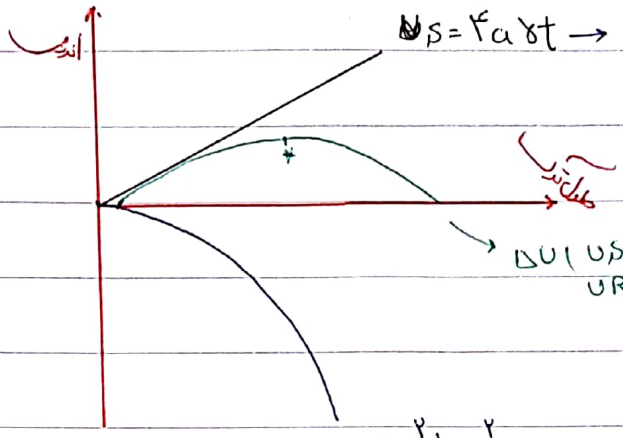
$$V = (2a)(a)\pi x t$$

$$U_R = -\frac{2\pi a^2 t \sigma^2}{2E}$$

↓ انرژی الاستیک رخ داده در متریال

$$U_S = 2\gamma \times 2at = 4a\gamma t$$

↳ انرژی سطحی



$U_S = 4a\gamma t$ → انرژی سطحی خلق است و با طول ترک، افزایش می‌یابد.

افزایش

برآیند ۲ منحنی (ΔU یا U_S یا U_R)

$$U_R = \frac{\pi a^2 t \sigma^2}{E}$$

$$\Delta U = -\frac{\pi a^2 t + \sigma^2}{E} + 4a\gamma t$$

حال ما برای بدست آوردن تعقلی max (*) که نقطه‌ای است در آن انقلاب در انرژی باشد $\frac{\partial U}{\partial a}$ حساب می‌کنیم.

$$\frac{\partial U}{\partial a} = -\frac{2\pi a t \sigma^2}{E} + 4\gamma t = 0 \qquad 4\gamma = \frac{2\pi\sigma^2}{E}$$

(Plian stress)

$$\sigma_f = \left(\frac{2\gamma E}{\pi a}\right)^{\frac{1}{2}}$$ → σ_f در حالت تنش مخالف

حالت بسیار واحد ($t=1$) ← ضخامت یا بانت

↳ ضخامت در برابر طول و عرض قطعه خیلی ناچیز است.

کرنش مخالف ضخامت در برابر طول و عرض قابل توجه است.

$$\sigma_f = \left(\frac{2\gamma E}{\pi a(1-\nu^2)}\right)^{\frac{1}{2}}$$ → σ_f در حالت کرنش مخالف

کرنش عرضی ۲ کرنش طولی

$$\nu = -\frac{\text{کرنش جانبی}}{\text{کرنش طولی}}$$

ضریب پواسون

با توجه به نوع متریال (0 - 0/5) است.

محدودیت تعریف این است که برای مواد ترد است حال اورژان را لحاظ کرده و از یک ضریبی به اسم کار پلاستیک

استفاده کرده است. و γ_p را لحاظ کرده در رابطه σ_f.

(در اثر تغییر فرم پلاستیک در ماده) کار پلاستیک : γ

$$\sigma_f = \left(\frac{2(\gamma+\gamma_p)E}{\pi a}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$\gamma \ll \gamma_p$ در مواد نرم $\Rightarrow$ $\sigma_f = \left(\frac{2\gamma_p E}{\pi a}\right)^{\frac{1}{2}}$ ← تعمیم اورژان

* کار پلاستیک میزان کاری انجام می‌شود تا تغییر فرم پلاستیک در ماده به وجود آید.

$$\begin{cases} \sigma_f \propto \frac{1}{\sqrt{a}} \\ \sigma_f \propto E \\ \sigma_f \propto \gamma_p \quad (1) \end{cases}$$

$G = 2(\gamma+\gamma_p)$ ← مدول برشی

سرعت کرنش الاستیک

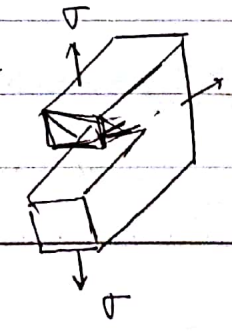
* هرچه کار پلاستیک بیشتر شود تنش ای که قرار است شکست رخ دهد بیشتر می‌شود (1)

~ ~ ~ ~ ~ شکست در تنش‌های بالاتری اتفاق می‌افتد (دیرتر اتفاق می‌افتد)

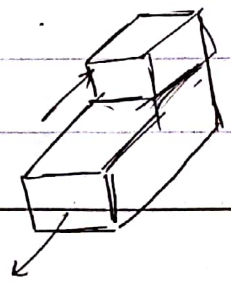
هرچه تغییر فرم پلاستیک بیشتر ↑ ⇒ چقرمگی بیشتر

آنالیز تنش در ترک : ترک در ۳ حالت به آن تنش وارد می‌شود.

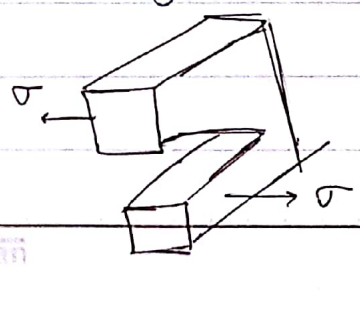
mode I (کششی) — opening — Tensile



mode II (لغزشی / برشی) — Sliding / shering

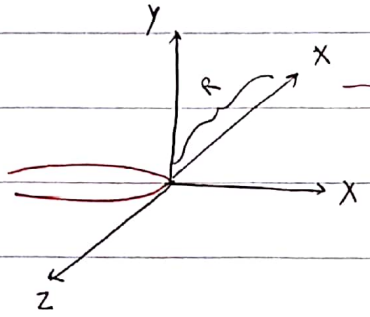


mode III (پارگی) — Tearing



خطرناک‌ترین مدل I است. (K_{IC} بدی گسترده به همین mode I) ، و فعلاً محاسبات mode I است.

در mode I ← تنش بصورت کششی وارد می‌شود و ترک در جهت مشخص شده رشد می‌کند یا به عبارتی جهت رشد ترک عمود بر جهت اعمال نیرو یا تنش ما.



تنش‌هایی که در یک نقطه‌ی ماده در فاصله‌ی R و زاویه‌ی θ اعمال می‌شود بر نقطه بدست آوریم.

$$\sigma_{xx} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2}\left(1 - \sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right)$$

$$\sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sim \left(1 + \sim \sim\right)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\left(\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{3\theta}{2}\right)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$$

$$\sigma_{zz} = 0$$

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})$$

$K_I = f(\sigma, a)$ سیم ضریب شدت تنش

σ ← تنش

a ← طول ترک

stress Intensity factor ضریب شدت تنش به σ و a رابطه دارد و یک α که به شکل ترک (هندسه و طول ترک) ارتباط دارد.

$$K_I = \alpha\sigma\sqrt{\pi a}$$

$\alpha = 1$ مرکزی

$\alpha = 1,12$ کناری لبه‌ای

$\alpha = (1,12)^2 \cdot \frac{2}{\pi}$ کناری

۱ ـ طول ترک
۲ ـ تنش اعمالی
۳ ـ هندسه و محل ترک

$\alpha = f\left(\frac{a}{w}\right)$ ← طول ترک ، ← عرض قطعه

$$K_I = \sqrt{\sec\frac{\pi a}{w}} \times \sigma\sqrt{\pi}$$

$K_I \longrightarrow K_{IC} \longrightarrow$ شکست رخ می‌دهد

به یک مقدار جرانی رسد

با کمک NDT سه طول ترک را داریم ← σ_c را حساب ← K_{IC} را هم داریم

$$\begin{cases} K_{IC} = \sigma_c\sqrt{\pi a} \\ K_{IC} = \sigma\sqrt{\pi a_c} \end{cases}$$

$K_{IC} = \sigma_c\sqrt{\pi a}$ ← کرده و مقدارش را می‌دانیم که در حین σ_c شکست رخ می‌دهد.

$K_{IC} = \sigma\sqrt{\pi a_c}$ ← σ تنش ثابت را داریم می‌دانیم ← a_c را حساب

K_{IC} را هم داریم

در این جا ما

حالم و ثبت می‌کنم که طول

بحرانی ترک ما چقدر است که در فواصل زمانی که a را اندازه می‌گیریم ببینیم که آیا این a ما به a_c رسیده یا خیر.

ex) یک غربیلک Al_2O_3 تحت آزمایش کشش قرار می‌گیرد. در صورتی که ترک مرکزی به طول ۱۰۰ میکرون در قطعه وجود داشته باشد انرژی سطحی $0.8\ J/m^2$ باشد. تنش شکست را برای کربنید $E = 380\ GPa$

$$\Rightarrow \text{ترد} \quad \sigma_f = \left(\frac{2E\gamma}{\pi a}\right)^{1/2} = \left(\frac{2 \times 380 \times 10^9\ Pa \times 0.8}{\pi \times 50 \times 10^{-6}}\right)^{1/2} = 7 \times 10^7\ Pa = 70\ mPa$$

ex) یک ورق فولادی ۴۳۴۰ دارای عرض $30\ cm$ و ترک مرکزی به طول $3\ mm$ می‌باشد ورق تحت تنش نکنوانت

σ قرار بگیرد. مقدار K_{IC} برابر $50\ mPa\sqrt{m}$ می‌باشد.

۱ـ) مقدار تنش بحرانی برای این ترک را بدست آورید.

۲ـ) در صورتی که قطعه تحت تنش $1500\ mPa$ قرار گیرد، طول ترک مجاز چقدر است؟

در صورتی که $K_{IC} = f(\frac{a}{w})\,\sigma\sqrt{\pi a}$

$\frac{a}{w} \leq 0.0\text{۷۴} \longrightarrow f(\frac{a}{w}) = 1$

$\Rightarrow K_{IC} = 1 \times \sigma\sqrt{\pi \times 1.5 \times 10^{-3}}$

$\sim 50\ mpa\sqrt{m}$

$\frac{a}{w} = \frac{1.5}{30} = 0.05$

$\hookrightarrow \sigma = 71.4\ mpa$ ①

$50 = 1 \times 1800\sqrt{\pi a} \longrightarrow a = 0.00035\ m$ ②

$2a = 2 \times 0.00035\ m$

ex) شدت تنش برای ترکی در قطعه‌ای با ضخامت t به صورت روبه رو است.

$K_{IC} = \sigma\sqrt{\pi a}\sqrt{\sec\frac{\pi a}{2t}}$

که در آن a عمق ترک است.

محاسبه نمایید در صورتی که عمق ترک $5\ mm$ و $2t = 1\ in$ باشد. آیا قطعه شدت تنش $25\ldots\ psi$ را در صورتی که از جنس 7075 باشد تحمل می‌نماید یا خیر؟

$K_I = 24\ mpa\sqrt{m}$

$2t = 1\ inch = 2.54\ cm = 2.54 \times 10^{-2}\ m$

$\sec\frac{\pi a}{2t} = \sec\left(\frac{\pi \times 5 \times 10^{-3}}{2.54 \times 10^{-2}}\right) = 1.227$

$\sigma = \frac{K_{IC}}{\sqrt{\pi a}\sqrt{\sec\frac{\pi a}{2t}}} = \frac{24}{\sqrt{\pi \times 5 \times 10^{-3}} \times \sqrt{1.227}}$

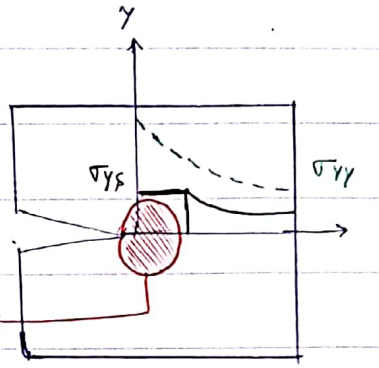
$\sigma = 173\ mpa$ $\Rightarrow$ تحمل نمی‌نماید

$25\ldots\ psi \sim\!\!\rightarrow \sigma = 172.5\ mpa$

$1\ mpa = 145\ psi$ ← تبدیل

جلسه پنجم

منطقه پلاستیک نوک ترک: وقتی قطعه ای شروع می کند تغییر فرم دادن که فرض می کنیم قطعه ها ترک دارد در یک ناحیه ای در نوک ترک ایجاد می شود که به آن ناحیه پلاستیک نوک ترک می گوییم.



منطقه یا ناحیه ی پلاستیک نوک ترک (اندازه ناحیه، شعاع ناحیه ی پلاستیک و عوامل وابسته مورد بررسی ما می باشد)

حال می خواهیم بررسی کنیم که کرایی و میزانی و تأثیر این ناحیه در فرآیند شکست چیست؟

هدف: مطالعه طوری باشد یا به شکلی طراحی کنیم که این ناحیه ی پلاستیک از رشد ترک جلوگیری کند.

حال ما در ۲ حالت این ناحیه ی پلاستیک را بررسی می کنیم.

۱- شرایط تنش صفحه ای Plain stress:

$$\sigma_{zz} = \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$$

$$\theta \neq 0 \quad \sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f(\theta)$$

$$\theta = 0 \quad \sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}}$$

روند تنش σ_{yy} به صورت شکل تنش در راس ترک افزایش می یابد (تمرکز تنش داریم) تا می آید کاهش می یابد

برسد به منطقه ی پلاستیک (تنش بالاس و هرچه از ترک دورتری شروع تنش کاهش می یابد) (در حالت σ_{yy} منطقه پلاستیک در نظر نمی گیریم.)

آنچه عملاً اتفاق می‌افتد این است که تنش در این ناحیه می‌رسد به تنشی که باعث تغییر فرم پلاستیک می‌شود.

بعد از تنش تسلیم در همین حالتی مطابق با شکل صفحه قبل رخ می‌دهد. تنش شروع به افت پیدا کردن می‌کند و پروفیل واقعی تنش این است.

$$\sigma_{ys} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \Rightarrow r = \frac{K^2}{2\pi\sigma_{ys}^2}$$

هرچه شعاع منطقه پلاستیک ↑ ← شکست دیرتر رخ می‌دهد (یا رشد ترک دیرتر رخ می‌دهد)

برای اینکه $r \uparrow \leftarrow K \uparrow$ (ضریب شدت تنش ↑) سعی کنیم این ویژگی ذاتی ماده است و بستگی به متریال دارد.

باید

یا

ماده‌ای انتخاب کنیم که σ_{ys} کم (تنش تسلیم کم باشد) یا شرایطی را انجام دهیم که σ_{ys} کاهش یابد.

+ در حالت واقعی در اس نوک ترک تنش می‌رسد به مقدار تنش تسلیم و بعد که از منطقه پلاستیک دور می‌شود کاهش می‌یابد.

۲- شرایط کرنش مسطح Plainstrain :

$$r = \frac{K^2}{6\pi\sigma_{ys}^2}$$

r_p تنش مسطح ۳ برابر کرنش مسطح است. ← پس اینجا شکست

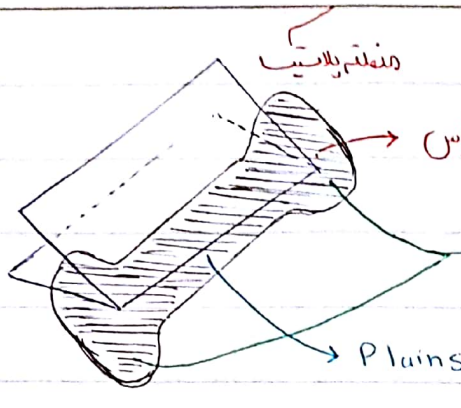
r_p یا r_p ← در حالت Plainstrain (کرنش مسطح) بیشتر است.

چون تنش به صورت ۳ بعدی است. ⇐ $r_p \downarrow$

$$\theta \neq 0 \quad r_p = \frac{K_I^2}{2\pi\sigma_{ys}^2}\cos^2\frac{\theta}{2}\left(1+3\sin^2\frac{\theta}{2}\right)$$

$$r_p = \frac{K_I^2}{6\pi\sigma_{ys}^2}\left(\frac{2}{3}\sin^2\theta + (1-2\nu)^2(1+\cos\theta)\right)$$

ما معمولاً ترکیب ۲ حالت تنش صفحه‌ای و کرنش صفحه‌ای را داریم:



rp منطقه پلاستیک ← (تنش صفحه‌ای) Plain stress

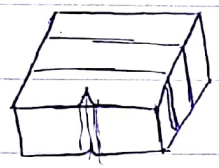
rp منطقه پلاستیک کوچکتره ← (کرنش صفحه‌ای) Plain strain

چند نمونه مثال: Al 7075 - T6 ← ضخیم ورق به هم لحیم می‌شود.

- ورق‌های Ti لایه لایه به هم متصل ← استحکام در برابر شکست ↑ زیاد می‌شود

- در chemical vessels ← چون بصورت Plain stress در نظر گرفته می‌شود.

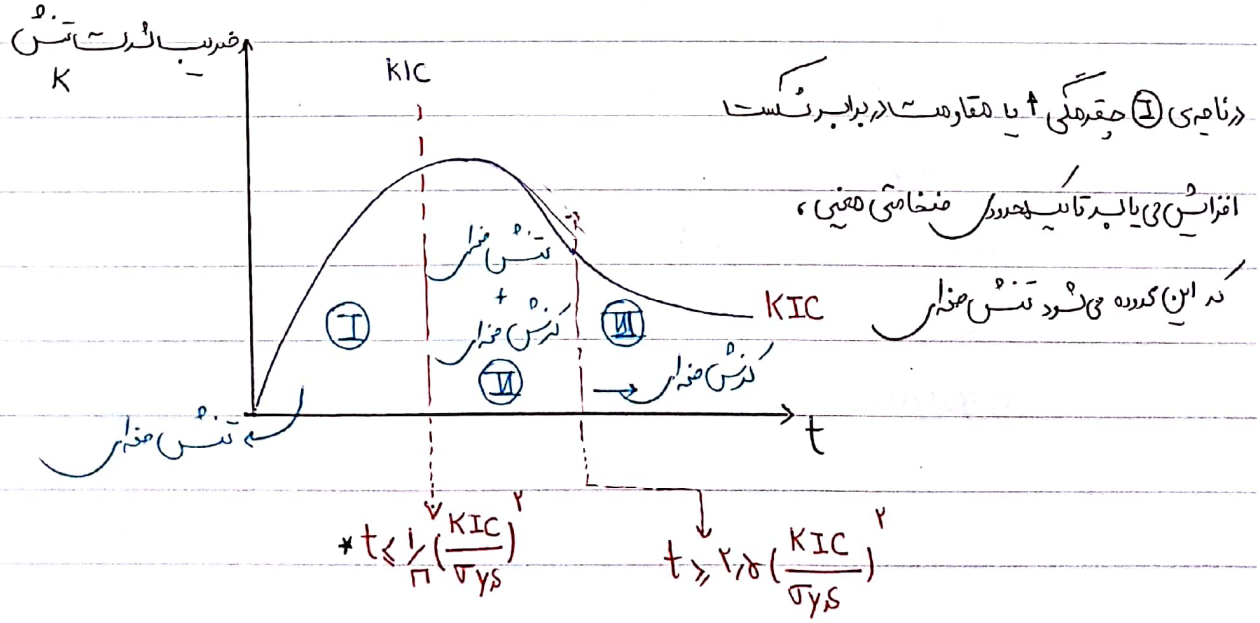
- به توقف ترک می‌گه crack arrestor



نادیده گرفته می‌شود ← در آزمون‌های Plain stress

انواع منطقه پلاستیک بستگی داره به ضخامت ورق پس چه شرایطی اتفاق می‌افتد که چه ضخامتی باعث می‌شود

شرایط بصورت تنش صفحه‌ای باشد و در چه شرایطی بصورت کرنش صفحه‌ای



در ناحیه‌ی I چقرگی ↑ یا مقاومت در برابر شکست افزایش می‌یابد تا یک حدودی ضخامتی هستی،

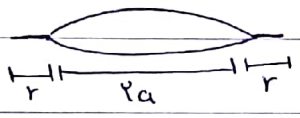
که این گذر می‌شود تنش صفحه‌ای

در ضخامت‌های کمتر از این میزان باشد ما شرایط تنش صفحه‌ای داریم، مقاومت برمی‌گردد به چقرگی شکست و تنش تسلیم فلز

*

در منطقه min جبهه‌ی شکست شروع به افت کردن می‌کند تا یک ناحیه‌ی پایدار، بعد از آن ثابت می‌شود که K_{IC} همین است.

* وقتی ترکی در ماده وجود دارد، زمانی که تغییرفرم پلاستیک اتفاق می‌افتد خود این منطقه که تغییرفرم پلاستیک رخ داده است به صورت یک ترک عمل می‌کند طول ترک $2a$ است و از هر جهت به میزان r تغییرفرم پلاستیک است و شاید همین منطقه تغییرفرم پلاستیک به صورت یک عیب و ترک عمل می‌کند. ← می‌آیند K تعریف می‌کنند به عنوان K_{eff} و تفاوت دارد با "K" که قبلاً محاسبه کردیم.



$K_{IC} = \alpha \sigma \sqrt{\pi a}$ $\quad$ $K_{eff} = \alpha \sigma \sqrt{\pi (a+r)}$

اگر r کوچک باشد خیلی مؤثر نیست و اما اگر r زیاد باشد اثری ندارد و جبرانی می‌کند.

materials	K_{IC} (mpa $\sqrt{m}$)
Al 7075	۲۴
ST 4340	۵۰
Ti Alloy	۴۴ - ۶۶
Al_2O_3	۳ - ۵
SiC	۳ - ۵
Polystyrene	۱/۱ - ۷

NOTEBOOK iman

c۸) صفحه ای فولادی با ترکی مرکزی در جهت ضخامت و به طول ۱۶ mm تحت تنش ۳۵۰ mpa عمود بر صفحه ترک قرار می گیرد. اگر استحکام تسلیم ماده ۱۴۰۰ mpa باشد. اندازه ی منطقه پلاستیک و ضریب شدت تنش را بدست

Plainstress $2a = 16 \rightarrow a = 8\,mm \rightarrow 8\times10^{-3}\,m$ (طول ورق بی نهایت)

$$r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_I}{\sigma_{ys}}\right)^2 \qquad r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{350\sqrt{\pi\times8\times10^{-3}}}{1400}\right)^2 = r_p = 0.1285\times10^{-3}\,m$$

$$K_{eff} = 350\sqrt{\pi(8\times10^{-3} + 0.1285\times10^{-3})} = 56.4\ mpa\sqrt{m}$$

تفاوت حدود ۲٪

$K_{app} = 350\sqrt{\pi\times8\times10^{-3}} = 55.45\ mpa\sqrt{m}$ بیشتر از K_{IC}

ب) بطور کاهش تنش تسلیم به منظور امکان تغییر فرم، ورق حرارت داده می شود و استحکام تسلیم به $385\ mpa$ می رسد

شعاع منطقه پلاستیک و ضریب شدت تنش موثر را بدست آورید. (پارامترهای بالا)

$$r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{350\sqrt{\pi\times8\times10^{-3}}}{385}\right)^2 = 3.3 = 3.3\times10^{-3}\,m$$

$$K_{eff} = 350\sqrt{\pi(8\times10^{-3} + 3.3\times10^{-3})} = 72\ mpa\sqrt{m}$$

تفاوت حدود ۲۵ - ۲۰٪

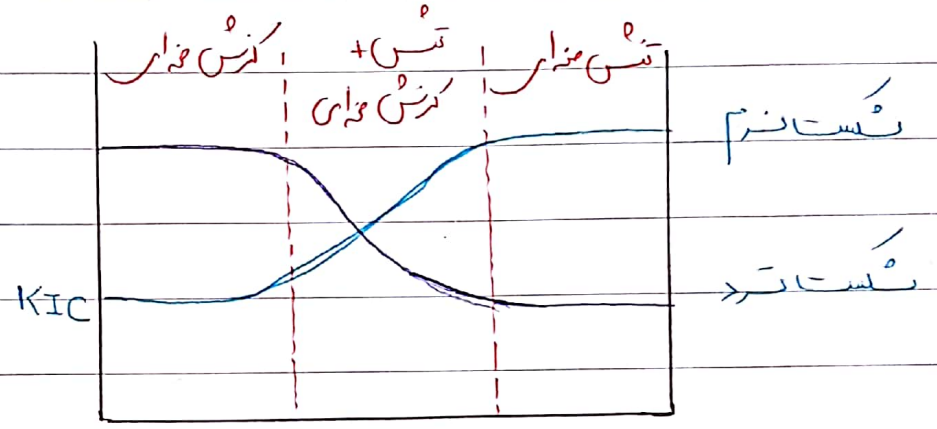
ضریب شدت تنش موثر افزایش یافته است در مقایسه

چقرمگی شکست:

۱- تنش مخرب ← به t یا (هندسه قطعه) وابسته است.
+ ویژگی های متالورژیکی قطعه (جنس و ساختار)

۲- در حالت کرنش مخرب ← به t وابسته نیست (فقط به ویژگی های متالورژیکی قطعه است)

پس ما برای بررسی چقرمگی و نوع شکست بهتر است که نسبت $\frac{r_p}{t}$ را بررسی کنیم.



$\frac{r_p}{t}$ →

t ↑ ← r_p ↑ ← برای کنترل نشدن

$\frac{r_p}{t} \geq 1$ ← شرایط تنش مخرب ← K_c ↑ Ductile

$\frac{r_p}{t} < 0.1$ ← کرنش مخرب ← K_c ↓ Brittle

جلسه نهم

Enviromental Induced Cracking (EIC) : مکانیزمی که در آن شکست ایجاد می‌شود، ترک ایجاد می‌شود در حضور یک عامل محیطی که آن عامل محیط خورنده است.

۱- Stress Corrosion Cracking (SCC) ترک خوردگی توام با تنش

۲- ~ Corrosion Fatigue (CFC) خستگی خوردگی

تفاوت حالت ۱ و ۲ در حالت تنش است: ۱- حالت تنش استاتیکی

۲- ~ ~ دینامیکی

۳- Hydrogen Embrittlement (HE)

~ Induced Cracking (HIC)

۴- Liquid metal Embrittlement (LME) اثر نفوذ یک فاز مذاب

در شرایط خوردگی اگر با سیستمی مواجه باشیم که اگر قرار است رخ دهد، از حالت نرم به ترد تبدیل می‌شود.

مثال‌های دیگر موارد فوق: ۱- SCC
- برنج ← در محیط آمونیاکی
- S.S.T ← ~ کلریدی دار
- Ti Alloy ← ~ محیط نیتروژنی

۲- CF (محیط خورنده + مکانیزم تشکیل شیارهای سیکلی (حالت دینامیکی))

CF → S.S.T (Duplex) ~~> مکانیزمی که در صنایع نفت و گاز

شکست به صورت CF ~~> غالبا به صورت 4130 →

HIC ⟵ کمبد هیدروژن فعال + نیروهای مکانیکی

مواد مستعد { فولادهای α ~ } کمبد هیدروژنی + مقدماتی که کروم کشف می‌شود

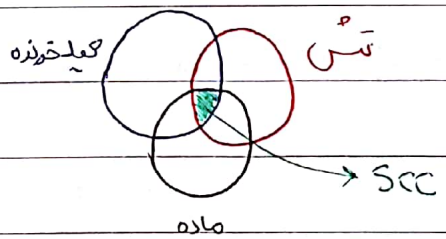
LME ⟵ Zn گالوانیزه گرم ⟵ گالیم در معرض Al سبب Al شکست ترد

مذاب Al در معرض فولاد سبب فولاد ترد می‌شود

SCC : تخریب یا شکست اتفاقی افتد بارپیک متریال به صورت ناگهانی چون ترد است.
(حالت عادی شکست نرم)

تخریب محیط خورنده { دمای تراوه دمای کمبد یا دمای بالا
کمبد خورنده ضعیف هم اگر بالا باشد باعث تخریب می‌شود در اثر حضور تنش }

۳ عامل بارپیک SCC : ۱- تنش (معمولاً تنش کششی است) ⟵ { تنش اعمالی (وارد به قطعه می‌شود به ناچار)
تنش باقی مانده از { welding, forming, machining, QT heattreatment }
۲- کمبد خورنده
۳- ماده‌ای که مستعد باشد در آن کمبد خورنده



تقسیم بندی کلاسیک بارپیک SCC : ۱- Season Cracking
ترک خوردگی فصلی (بهاری)
۲- Caustic Embrittlement
تردی قلیایی
(فولادها)
~ بازی

NOTEBOOK iman

۱- Season cracking ← برنج + حضور آمونیاک + تنش باقی مانده ⇒

(برنج) Cu-Zn — در اثر بارندگی در جیره — در محل اتصال

درزی به بوکه

⇒ crack of brass cartrige $[Cu[NH_3]_4]^{2+}$

↓

محلول در آب ← SCC

برای راه حل: عملیات حرارتی آنیل برای حذف تنش

۲- Caustic Embrittlement ← در مخازن بخار ← اتصال ورق‌ها ←

بصورت پرچ کاری

به علت حضور کربنات سدیم ← SCC

به صورت محلول در آب

وجود دارند ← $Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow NaOH + CO_2$ (زنوب در محل پرچ کاری)

تنش باقی مانده هم که داریم ← SCC

برای حل مشکل سولفات سدیم

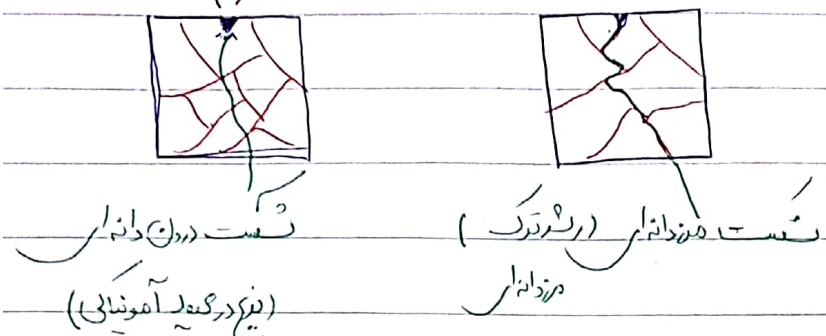
TDS ← total disolied suspended solid (سختی آب)

Na_2SO_4 اضافه می‌کنند تا کربنات سدیم تشکیل شود، ماده‌ای تولید شود که خرب فولاد نباشد.

لوله‌های تبخیر برای انتقال مواد / استیل ۳۱۶ یا پایه نیکل ← Inconel 625

خورنده

ویژگی‌ها / مشخصات SCC : ۱- خوردگی بصورت کامل رخ نمی‌دهد



۲- ترک‌های ریز غیرقابل رویت micro crack

۳- رشد خیلی سریع است

۴- بیشتر آلیاژها رخ می‌دهد تا در فلزات خالص

۵- محیط خورنده لزوماً عمومیت بالایی ندارد (خوردگی موضعی است)

۶- شکست بصورت ترد است (fractography)

۷- حضور تنش { ۱- اهلی
۲- تنش‌هایی که در اثر ساخت ایجاد می‌شود.

تنش آستانه : Threshold stress در SCC :

حداقل میزان تنش که توقع داریم بعد از آن میزان تنش شکست در ماده رخ دهد.

واسته‌ها : جنس ماده

شرایط محیطی / دما / محیط خورنده / میزان غلظت محیط خورنده

برای متریال‌های مختلف ۷۰٪ - ۱۰ تنش تسلیم است.

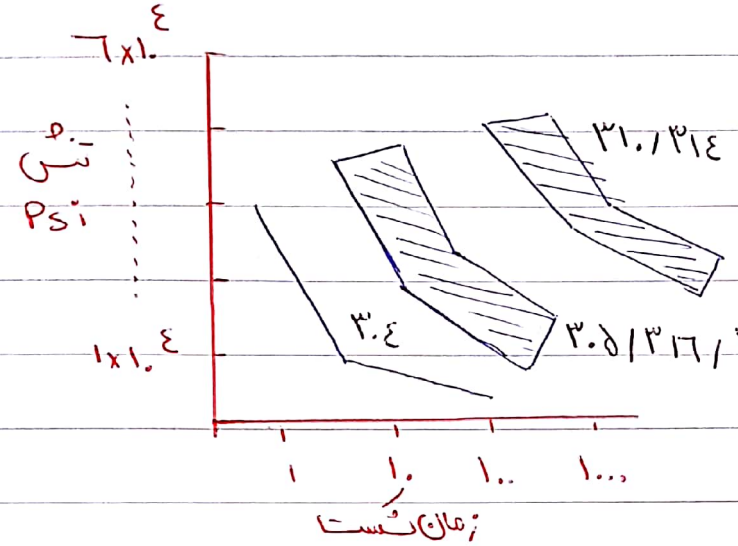
NOTEBOOK iman

جلسه هفتم:

در جلسه قبل درباره‌ی SCC صحبت کردیم که ۳ عامل نیاز است برای رخ دادن:
۱- محیط خورنده
۲- تنش اعمالی (پسماند) (باقی‌مانده)
۳- فلز یا آلیاژ مستعد خوردگی

بیشتر در haz

* در جوشکاری متداول‌ترین بخشی که در آن SCC رخ می‌تواند در هد نایه haz است
در خود weld metal ← HE رخ می‌دهد.



استحکام نسبی فولاد زنگ نزن در محیط کلروفریک ۴۲٪ جوشکاری

* افزایش تنش ← زمان شکست ↓

مکانیزم‌های SCC:

۱- شروع جوانه‌زنی ترک Crack Initiation

۲- رشد ترک Crack Propagation

۳- شکست (ترد) Brittle Fracture

روش‌های تست و ارزیابی SCC:

۱- نمونه‌های صاف (بدون ترک) در محیط خورنده، تحت بار ثابت قرار می‌دهند. (تنش ثابت) (CSRT)

۲- نمونه‌های دارای ترک یا فاق در محیط خورنده، تحت بار ثابت (CSRT)

۳- آزمایش در سرعت‌های کرنش آهسته مختلف انجام می‌شود (در محیط خورنده) (SSRT)

iman

۱ - شروع جوانه زنی ترک ← مراکز دارای تمرکز تنش : (عیوب سطحی، تفاوت ترکیب شیمیایی، ...)

مکان‌هایی که در اثر خوردگی ایجاد می‌شوند:
۱- خوردگی حفره‌ای (Pitting)
۲- ~ شیاری
۳- ~ گالوانیک

① حفرات (مکان‌های متمرکز جوانه زنی) — استنلس استیل 304 - 18-8

② تفاوت با حفره‌ای این است که بسیار تیز است.

③ فلز خورده ← آند — کاتد

Disimilar

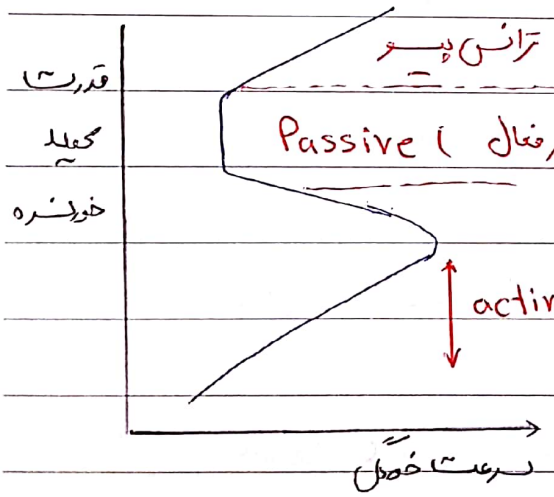
Fe-Zn

(آند خورده می‌شود) ← (آند) خورده

۲ - مکانیزم مرحله رشد SCC :

FRM

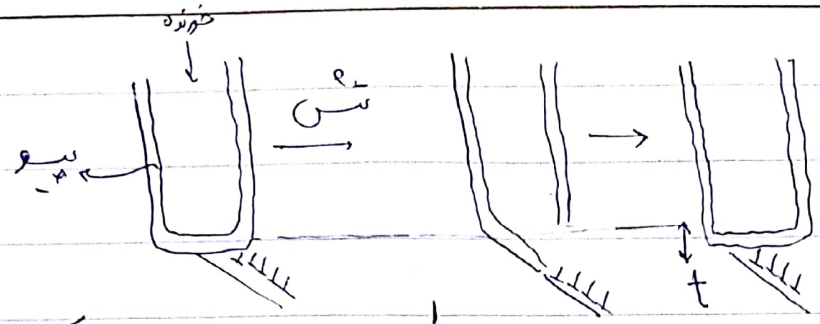
① رشد فیلم / محل لغزش و حل شدن (PFR) Passive film Rapture



Slip/stop dislocation —

Film Rapture

اگر این منطقه‌ی غیرفعال ثابت و پایدار بماند خوردگی قطع می‌شود و اگر نتواند ثابت بماند خوردگی ادامه می‌یابد.



این مدل ادامه می‌دهد تا سطح مقطع نتواند تنش وارده را تحمل کند

در نتیجه شکست رخ می‌دهد.

یقین نشده شکست

K_I ضریب شدت تنش

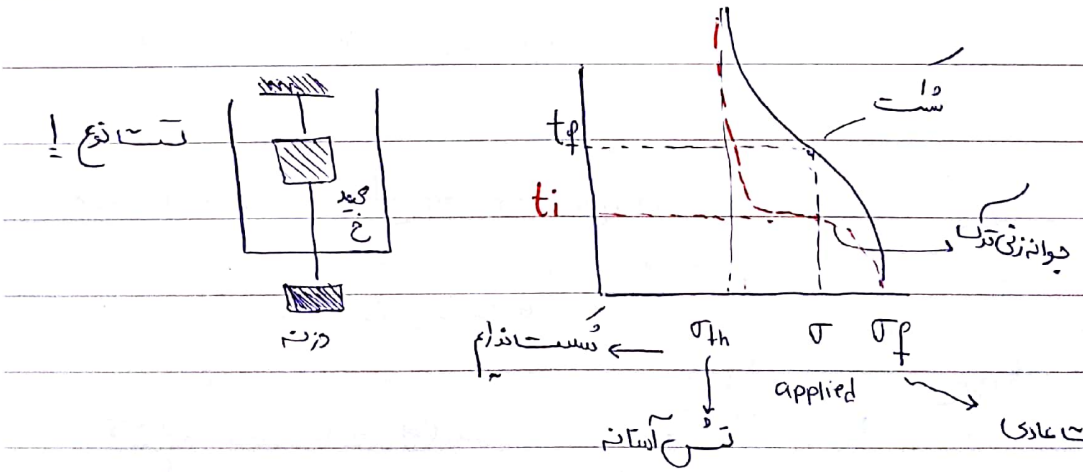
SCC در ~ ~ ~ K_{ISCC}

$K_I > K_{ISCC}$ ← شکست رخ می‌دهد

$K_I < K_{ISCC}$ ← ~ ~ نمی‌دهد

* وتری‌ها مهم‌ترین آلیاژهایی در حالت SCC قرار می‌گیرند.

Alloy	محیط		میزان K_{ISCC} بستگی به: محیط خورنده، دما، غلظت، نوع ماده (آلیاژ)
۱۸-۸	$42\%\ MgCl_2$	$K_{ISCC}=\frac{1}{5}K_I$	
Cu-30Zn	NH_4OH	$K_{ISCC}=\frac{1}{200}K_I$	
Ti-6Al-4V	KCl محلول	$K_{ISCC}=\frac{1}{3}K_I$	



$\sigma_{th} < \sigma_f$

محیط خورنده ندارم

$t_f - t_i = t_{cp}$ زمان رشد ترک در SCC

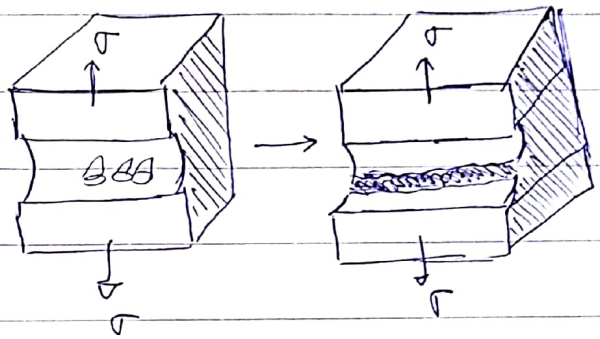
مکانیزم رشد:

مکانیزم رشد در SCC شامل ۲ ؟

Corrosion Tunnel

Adsorption induced Brittle Fracture

② مدل شکست ترکیبی { ۱- مدل خوردگی تونلی
۲- مدل جذب عامل شکست تردد

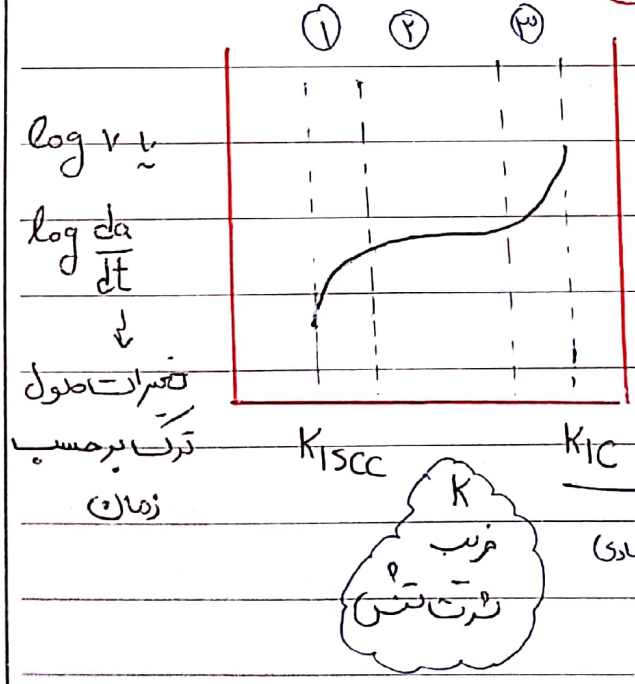


① تونلی که به صورت انحلال خورده‌ها در اثر فرآیند خوردگی در ناحیه‌ای که جلوی نوک ترک اتفاق می‌افتد ایجاد می‌شود

تونل‌ها با هم پیوند خورده ← ترک رشد می‌کند

② عامل خورنده جذب می‌شود در ناحیه جلوی نوک ترک ← تردد ← شکست تردد بصورت موضعی سبب رشد ترک سبب شکست

آزمایش کشش بار (تنش ثابت) در غوطه‌ها فلزات:



۳ یا ۴ مقطع داریم. از ناحیه ③ به سمت جلو می‌آیم

ضریب شدت تنش ما شروع به کاهش پیدا کردن می‌کند

ترک متوقف ثابت و دوباره به شدت کاهش

می‌یابد. فقط در ناحیه‌ی ② است

که سرعت رشد ترک‌ها وابسته به

ضریب شدت تنش نیست

در شرایط عادی

اگر در شرایطی که SCC می‌خواهد باشد؟ ضریب شدت تنش را در ناحیه ۲ نداریم بهتر است. حملوری؟

تنش کری - غلظت خورنده ها
تعویض متریال

iman NOTEBOOK

جلسه هشتم: ادامه‌ی روش های تست و بررسی

۳- آزمایش با سرعت های کرنش آهسته $\frac{1}{s}$ 10^{-9} - 10^{-5} « در کرنش های آهسته تنش کمتر خورنده

سپس می آیند و بعد از شکست بررسی می کنند که در چه میزان سرعت کرنشی شکست رخ داده است.

کرنش آهسته
همزمان در یک محیط خورنده
} سپس میزان سرعت کرنشی که شکست اتفاق می افتد.

۴- روش های دیگر (نگهداری غوطه تغییر خرد داده شده در یک حالت ثابت) ، در یک محیط خورنده قرار می دهند

تنش در آن وارد شده

و بعد تحلیل می کنند ترک چگونه شکل می گیرد و جسم چگونه تخریب می شود

برای مواد مختلف سرعت کرنش های مختلفی تعریف شده است:

Al Alloy	محلول مکزیکی	10^{-6} $\frac{1}{s}$
Ti «	«	10^{-6} $\frac{1}{s}$
Cu «	« آمونیاکی	10^{-6} $\frac{1}{s}$
S.S.T	« کلریدی	10^{-6} $\frac{1}{s}$

اول در یک محیط خورنده نرخ کرنش اعمال می کنند بعدی آیند در محیط خنثی همین کرنش را اعمال می کنند بعد مقایسه می کنند

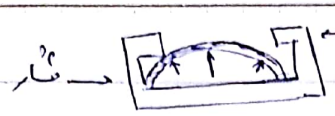
که این دو حالت را، که تأثیر این میزان کرنشی را که اعمال شده است چگونه باعث تخریب متریال شده است.

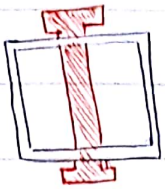
۴- C-Ring سپس این را بدون خوردگی کالوانیک شود

میزان تنش مشخص

قرار می دهند داخل محیط خورنده

شروع ترک - رشد ترک - شکست





پارامترهای کنترل کننده SCC:

۱- انتقال جرم در محلول ترک تا نوک ترک

۲- واکنش درون حلال در نزدیک ترک

۳- جذب سطحی در نوک ترک

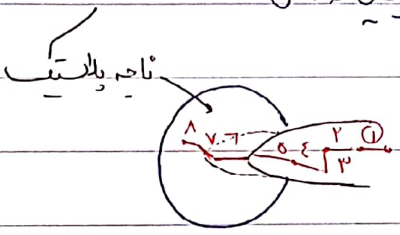
۴- نفوذ در سطح

۵- واکنش های سطحی

۶- جذب به داخل ماده (در اثر از ترک دیگر عبور کرده)

۷- نفوذ به داخل ناحیه تغییر فرم پلاستیک در نوک ترک

۸- واکنش شیمیایی در داخل ماده



از دید هیدرودینامیکی آمده است

مراحل و روند SCC را بررسی کرده است.

پارامترهای موثر در SCC: (از دید ماکروسکوپی (کلی تر) است)

۱- محیط خورنده
- ۱- دما
- ۲- غلظت
- ۳- pH
- ۴- تداخل در محیط خورنده
- ۵- فلز و محیط خورنده
- ۶- ولتاژ محیط خورنده

افزایش این موارد (pH را در نظر نمی گیریم) ⇐ تسریع SCC

۲- ویژگی متالورژیکی ماده
- ۱- ترکیب شیمیایی
- ۲- خواص مکانیکی K_{IC}
- ۳- اندازه دانه
- ۴- میزان فولادر ماده
- ۵- ناخالصی
- ۶- فازهای ثانویه

۳- تنش
- ۱- میزان تنش
- ۲- نوع تنش
- ۳- mode تنش
  - کششی
  - برشی
  - پارگی

NOTEBOOK iman

متریال های مختلف در محیط های مختلف قابلیت تأثیر SCC قرار می گیرند. هر مواد به یک شرایط قابلیت تأثیر SCC قرار نمی گیرند. S.S.T در حالت عادی خیلی بهتر از فولاد معمولی در برابر خوردگی اما S.S جوشکاری شده خیلی بدتر از فولاد معمولی جوشکاری در محیط خوردگی است. چون جوشکاری می شود و نگرانی های مقابله با SCC اضافه می کند پس نمی توان گفت مادامی که بیشتر خورده می شود SCC هم بیشتر است.

شرایط SCC: برمی گردد به نوع متریال و محیطی که در آن قرار می گیرد.

نوع ماده	محیط
Al Alloy	$NaOH/H_2O_2$ محیط های Nacl آب دریا
Cu ~	بخار و محلول آمونیاک - آب بخار آب
Super Alloy Inc	محلول NaOH
Ni Alloy	محیط NaOH ($T = 300^{\circ}C$)
S.S.T γ	Hcl - $mgcl_2$
	محلول Nacl در Ho
	آب دریا - H_2S
S.S.T α	H_2S
S.S.T m	محلول NaOH
آلیاژهای mg	HNO_3 بخار - NaOH
Ti ~	HNO_3
فولاد کربنی	NaOH - محلول کلسیم - نیترات - H_2S - آب دریا

۵- افزودن و استفاده از ممانعت کننده‌ها (Inhibitor)

اساس کار:
۱- باعث ایجاد لایه پسیو می‌گردد ← جوانه‌زنی و رشد ترک را کند می‌کند.
۲- عامل خورنده ← از محیط خارج کند. (تغییر شکل می‌دهد)
ازصورت
یونی
تشکیل

+ برای جلوگیری از SCC در آلیاژ Cu (برنج) ← اضافه می‌کنند ماده‌ای به نام ترکیبات فسفات ← واکنش می‌دهد با Zn

لایه پسیو Passive ایجاد می‌کند تا جوانه‌زنی و سرعت رشد ترک را کاهش می‌دهد.

Inhibitor (ex ← Na_2SO_3 سولفیت سدیم

هیدرازین N_2H_4

$$2Na_2SO_3 + O_2 \longrightarrow 2Na_2SO_4$$

$$N_2H_4 + O_2 \longrightarrow N_2 + H_2O$$

کاهش
oxidition

* آلیاژهای برنج کار شده به میزان 15٪ Zn ۲۰-۴۰٪
۱- تشکیل لایه‌های کم رنگ Tarnish film
۲- روی زدایی dezincification

کنترل محیط اکسیژن / رطوبت

۱- تغییر آلیاژ برنجی که درصد Zn آن کمتر از ۱۵٪

۲- میزان تنش کاهش می‌دهند

۳- استفاده از ممانعت کننده‌ها ← P | Sb | As ← باعث ایجاد لایه Passive روی آلیاژ شکل می‌گیرد و از SCC جلوگیری و به تأخیر می‌اندازد.

دی هیدروژن فسفات (DHP) di sodium Hydrogen phosphat
مکانیزم لایه پسیو روی

۶- استفاده از پوشش: سه جنبه‌ی خوب به زیرلایه داشته باشد (که در اثر اعمال تنش کنده نشود از زیرلایه رها نشود)

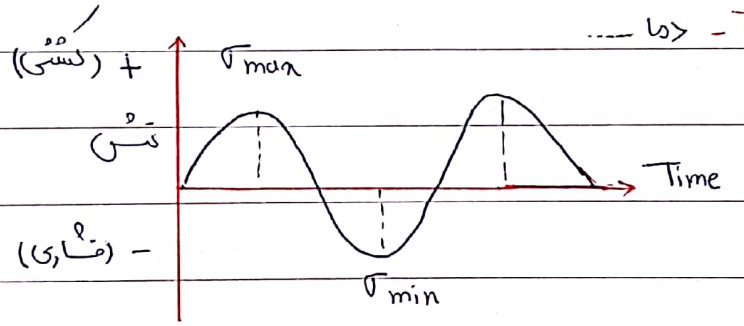
- پوشش پایه پلیمری (پلی اورتان PU) فرآیند خوردگی تداوم داشته باشد)
- پوشش cd/zn برای فولادها
- ایمپلنت‌های Ti-6Al-4V ← لایه‌ای در حد میکرون سیلیسیم SiO2 پوشش می‌دهند.
- پلاسما ابری ← ترکیبات اکسیدی { SiO2 Al2O3 / Cr2O3 TiO2

Corro Sion Fatigu (CF): تخریب قطعه در اثر تنش‌های سیکلی/متوالی در تنش‌های کمتر از میزان تنش استاتیکی (دینامیکی)

شرایط ایجاد خستگی:

۱- میزان تنش بالا
۲- دامنه‌ی بالای تغییرات تنش
۳- تعداد سیکل‌های خیلی زیاد
۴- تمرکز تنش
۵- محیط خورنده
۶- دما ....

موارد ۱ تا ۳ اصلی هستند.

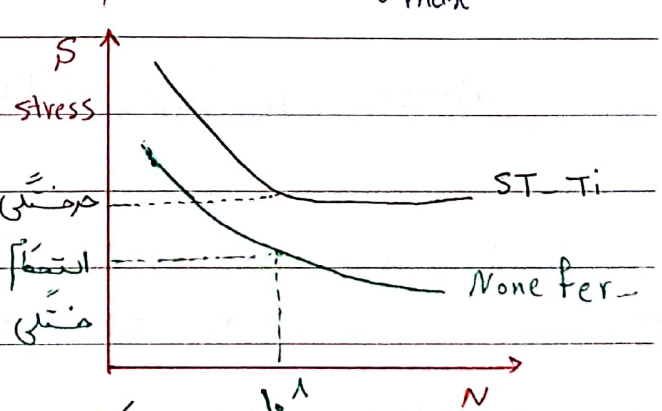


نسبت تنش‌ها $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$

گستره تنش $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$

دامنه نوسان $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$

تنش متوسط $\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$



$\frac{2}{3}$ UTS ← تنش داده برای کام

تنش ← تکرار سیکل (10^{12}-10^8)

تنش ۱ ← تعداد سیکل ۱

تنش ۱ ← ۲

حد خستگی Steel $0.4 \sigma_{UTS}$

$0.2\sigma_{UTS}$ Al Alloy

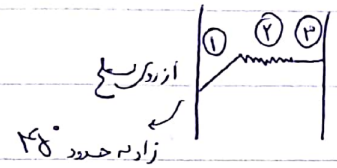
جلسه دوم:

مراحل خستگی: ۱- جوانه‌زنی ترک crack Initiation

۲- رشد ترک خستگی ~ Propagation

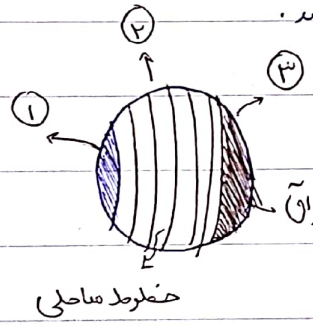
۳- شکست نهایی ~ Fracture

* در مرحله ۲: فرورفتگی‌ها به خوبی در سطح مقطع دیده می‌شود و ترک خستگی



شروع می‌کند رشد کردن، تا جایی ادامه پیدا می‌کند که دیگر ضخامت باقی‌مانده‌ای که در آن ترک ایجاد شده زیاد می‌شود و مقطع

که باقی مانده نمی‌تواند تحمل تنش کند و به یکباره تحت تنش بیشتر شکست اتفاق می‌افتد.



* کیفیت سطح در فرآیند خستگی و خوردگی خستگی عامل مهمی است.

« عموماً در سطح مقطع شکست خستگی دیده می‌شود »

خوردگی خستگی: خستگی در محلی اتفاق بیافتد که تنش‌های سیکلی قرار بگیرد در محیط خورنده

تفاوت عمده با SCC ← تنش‌های سیکلی

* در بحث رفرنس‌ها CF را زیر مجموعه SCC می‌دانند.

در CF ← شکست، پرتوتر است که در محیط خورنده.

شامل ۲ مرحله است:
۱- جوانه‌زنی ترک
۲- مرحله‌ی رشد ترک

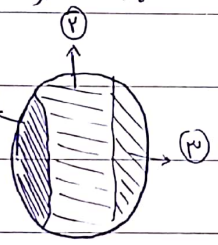
جوانه‌زنی ترک در مناطق شیاری / فاز دوم / ناخالصی / فرورفتگی
مناطقی که خوردگی شیاری / کالوانیکی / ← مناطق متمرکز تنش
مناطقی که شیار در اثر این نوع خوردگی‌ها ایجاد می‌شود.

* اگر در مدلی فرآیند CF ← پوشش از بین برود ← همان ناحیه‌ای که پوشش ندارد و پوشش شسته می‌شود ←

مدل‌های جوانه‌زنی ترک

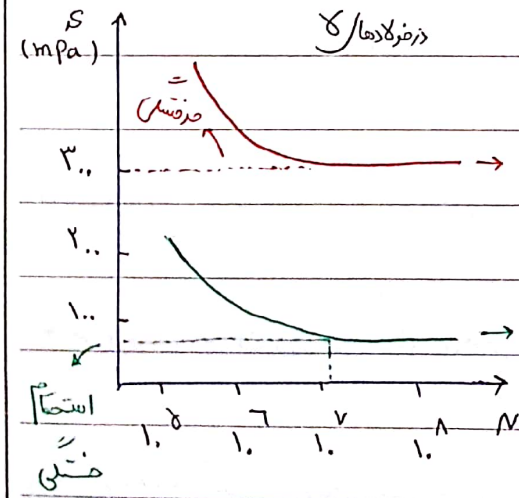
مکانیزم رشد / عوامل باعث رشد ترک CF:

۱- رسیدن محلول خورنده به نوک ترک و خارج شدن محصولات خوردگی
۲- واکنش بین فلز و محیط خورنده، ایجاد ترکیب شیمیایی مضر
۳- انحلال آندی در نوک ترک
۴- تولید ترک با سطوح جدید به وسیله‌ی خستگی
۵- پاره شدن پوشش‌های محافظ فلز
۶- بازشدن ترک به وسیله‌ی محصولات خوردگی



تفاوت فلز مقطع مقطعی CF با خستگی معمولی:

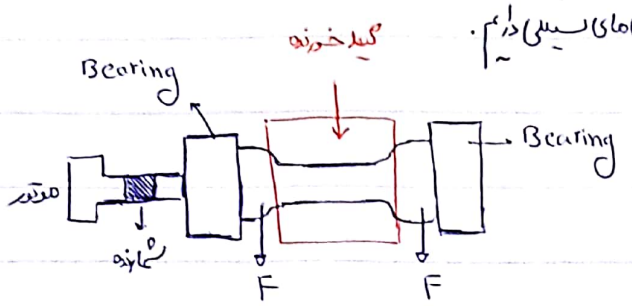
در مرحله‌ی رشد ماهیت سطوح شکست را نمی‌بینیم چون این فلز مقطع همراه محصولات خوردگی است.



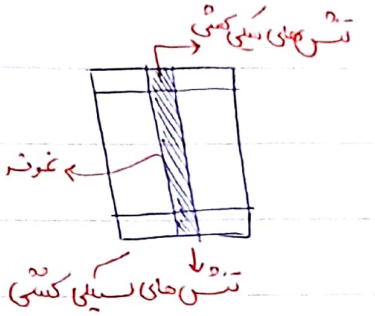
- مقاومت به خستگی کاهش پیدا کرده است
- جوانه‌زنی خستگی نداریم ← چون ماهیت خوردگی
- دلیل ماهیت ماده مارتنزیت فولاد است
- رشد ماده با ترک‌های دیرتری رشد.

محصولات خوردگی در CF دیده نمی‌شود.

تست های CF : مشابه SCC با این تفاوت که با تنش های نسبی داریم.



Stress Number (S-N)

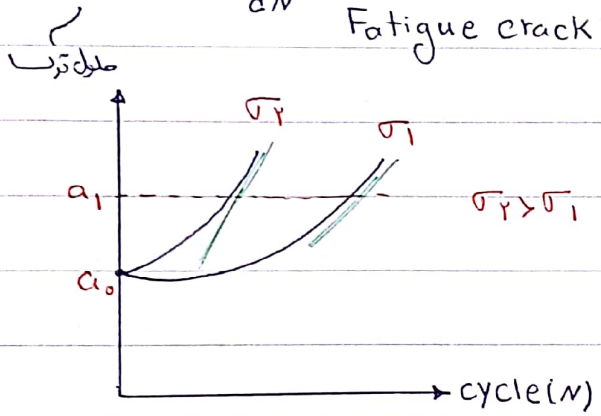


(۸-۱۲)
غوشه
تست دوم

سرعت رشد یا اشاعه ترک (تغییرات طول ترک نسبت به تعداد سیکل که انجام می شود)

$\frac{da}{dN}$

Fatigue crack ProPagation Rate (FcPR)
or
growth
(FcGR)



قطعه را تحت ۲ تنش متفاوت بارگذاری می کنیم

ترک شروع می کند به رشد کردن فرض می کنیم

در نقطه ای به اسم a_1 یک خط افقی رسم می کنیم تغییرات طول ترک نسبت به dN . شیب خط را اسم می کنیم.

=> - تنش ↑ ← $\frac{da}{dN}$ ↑ (تعداد سیکل کمتری تواند تحمل کند)

- سرعت اشاعه ترک ↑ (در واقع شیب خط ↑) اگر تنش ↑

- تنش ↑ ← نرخ رشد ترک نیز ↑

$$\frac{da}{dN} = f(\sigma, a) = A(\Delta K)^P$$

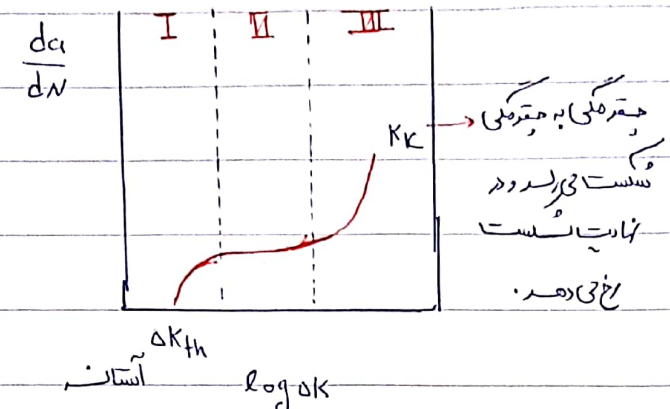
A و P : مقادیر ثابت وابسته به جنس ماده و ...

$K_{IC} = \Delta\sigma\sqrt{\pi a}$ (σ_{max})

$\Delta K = K_{max} - K_{min}$

کاربرد بسط توانی ضریب شدت تنش

- در ناحیه‌ی I و III تغییرات سرعت اشاعه ترک به شدت زیاده.



چقرمگی به حد بحرانی نزدیک می‌شود و سرعت اشاعه ترک به نهایت شدت خود رخ می‌دهد.

- هرچقدر میزان ناحیه‌ی II بیشتر باشد مقاومت به خستگی بیشتر است.

- سرعت اشاعه ترک در ناحیه‌ی II بصورت خطی در عرض مقاله که دارای خستگی است در این ناحیه تعیین می‌شود »

- معادله‌ی پاریس در ناحیه‌ی II صادق است.

هوا A: 5,5x10 P: ۲,۶۴

محلول Nacl A: 4×10^{-7} P: ۱,۶۷

عوامل مؤثر بر CF: ۱- محیط خورنده (بسته به اینکه متریال در چه محیطی قرار می‌گیرد، میزان استحکام تغییر می‌کند)

آلیاژ آلومینیم - برنز در محیط آب دریا سه تا ۸۰-۷۰ مقاومت به خستگی دارد.

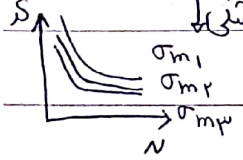
آلیاژهای کم بالا ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ۴۰-۳۰ ~ ~ ~ .

۲- عوامل مکانیکی / پارامترهای تنش:

۱- دامنه تنش: (هرچه این دامنه ↑ → اثر بیشتر → افت خستگی ↑ → عمر خستگی ↓) افت مقطعی که در معرض محیط خورنده قرار می‌گیرد ↑

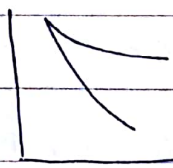
۲- نسبت تنش‌ها $R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$: ↑ → مقاومت به خستگی بیشتر

۳- میزان تنش متوسط ↑ → مقاومت به خستگی ↓



$\sigma_{m3} > \sigma_{m2} > \sigma_{m1}$

۴- نوع تنش متوسط که وارد به مقطع وارد می‌شود



دهانه ترک ↓ ~ ~ ~ ↑ استحکام خستگی → فشاری ✓ بسته می‌شود

~ ~ ~ ↓ ~ ~ ~ ↑ → کششی X باز می‌شود

۵- عوامل متالورژیکی: ترکیب شیمیایی ← درصد هر چه C↑ ← استحکام↑ ← مقاومت به CF↓

حون ماده ترد است.

- وجود ناخالصی
- نازدوم/جدایش ← افت خواص CF می‌شود
- ریز شدن دانه ← خواص و مقاومت به CF↑

۶- عوامل خارجی: - کیفیت سطح↑ ← مقاومت به CF↑
- غلظت ماده خورنده↑ ← مقاومت به CF↓
- دما↑ ← مقاومت به CF↓

«جلسه یازدهم»

روش‌های جلوگیری CFC: یکی از ملاحظاتی که در CF باید هر نفر قرار بگیرد و با Fatigue در حالت عادی تفاوت دارد؛ که به عنوان یک پارامتر در روش‌های جلوگیری از آن یاد می‌شود، مبحث استحکام است

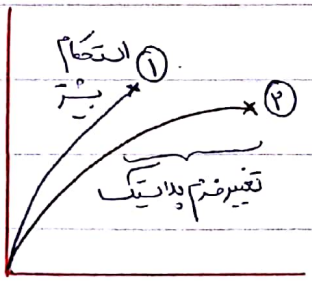
۱- استحکام (کاهش استحکام) ⇓ مقاومت به CF↑

- در حالت عادی خستگی، استحکام↑ ← جوانه زنی و شکل گیری ترک مشکل‌تر می‌شود ← مقاومت به خستگی افزایش می‌یابد.
- در حالت CF (در حالت محیط خورنده) ← جوانه زنی ترک تسهیل می‌شود ← مقاومت به خستگی کاهش می‌یابد.

+ لذا استحکام ماده نمی‌تواند کمکی کند در برابر خستگی (یا به عبارتی نمی‌تواند کمکی کند که جوانه زنی ترک دیرتر اتفاق بیافتد.

حون خوردگی وجود دارد. (به طبع آن کیفیت سطح↓)

- ترکی شکل گرفته است که نامی پلاستیکی در جلوی ترک ایجاد می‌شود برای جلوگیری از رشد ترک، این منطقه پلاستیک در ماده شماره‌ی ② بیشتر است ⇐ پس ترک که به وسیله محیط خورنده ایجاد می‌شود بر روی سطح و متریال ما استحکامش بالاس یا به عبارتی ماده ترد تر است ⇐ پس این ۲ عامل باعث می‌شود مقاومت به خستگی کاهش یابد، پس ما می‌آیم به همین دلیل استحکام را کاهش می‌دهیم اگر بتوانیم و شرایط اجازه این کار را بدهد و بتوانیم این کار را عملی کنیم.



۲- حذف تنش یا کاهش تنش: ← مقاومت به CF↑

تنش زدایی، تنیسر مدادی، ایجاد تنش‌های فشاری بر روی قطعه (Shot Pining) ← اما باید مراقبی شود که

← باعث نشود ترک به ترک شود

مرحله ایجاد تنش شود

۳- استفاده از ممانعت کننده‌ها

- یک لایه Passive ایجاد شود برای جلوگیری از خوردگی

- یا عامل خورنده را از محیط خارج می‌کند ← مثل O2 را خارج کنند.

۴- استفاده از پوشش‌ها ← پوشش‌های Cd و Zn بر روی فولادها و نیز روی کردن سطح فولادها

← استحکام سطح ↑ ← مقاومت به CF↑

مقاومت به خوردگی ↑

* در هنگام پوشش دهی باید مراقب بود که H به سطح نفوذ نکند چون باعث کاهش مقاومت به CF می‌شود.

برای حل موضوع محلول را حرارت می‌دهند.

۵- جلوگیری از ایجاد سطوح ناهموار بر روی سطح: در ماشین کاری پارامتر مهمی است.

صافی سطح تا جایی که ممکن است باید عالی باشد.

طراحی به گونه‌ای باشد که از تمرکز تنش بر روی سطح جلوگیری کند ← مثلاً چون کاری فرآیند به گونه‌ای باشد که مقداری که تیت تنش‌های سطحی است نقاط تیز پس از انجام فرآیند وجود نداشته باشد.

« جلسه‌ی دوازدهم »

ترد شدن هیدروژنی (HE) Hydrogen Embrittlement

ترک در اثر تردی (HIC) ~ Induced Cracking

وقتی یک قطعه‌ای تحت تنش قرار می‌گیرد یا تنش‌هایی که در قطعه وجود داشته باشد و همزمان محیط در معرض گاز هیدروژن باشد و یا گاز H در محیط ایجاد بشود ← تردی هیدروژنی رخ می‌دهد.

خسارات هیدروژنی:
۱- تاول هیدروژنی Hydrogen Blistening
۲- تردی ~ HE
۳- دی‌کربوره شدن Decarburization
۴- خوردگی هیدروژنی Hydrogen Attack

① هیدروژنی که در قطعه به یک علتی ایجاد شده و یا در محیط وجود داشته ← باعث تغییر فرم در سطح قطعه می‌شود.

② حضور هیدروژن در قطعه‌ای که تنش وجود دارد یا تنش وارد می‌شود (این مکانیزم در دماهای پایین رخ می‌دهد $T<200^{\circ}C$)

③ $\underbrace{Fe(C)}_{\text{فولاد}} + H_2 \longrightarrow CH_4$ ، هیدروژنی که در محیط وجود دارد با کربن موجود در فولاد واکنش می‌دهد و به صورت گاز CH_4 یا هر محصول دیگری که تولید می‌شود که باعث کاهش یا تقلیل کربن می‌شود. و در نهایت ← باعث افت استحکام و تخریب می‌شود. (در دماهای بالا، $700^{\circ}C-800^{\circ}C$)

④ $Fe + H_2O \rightarrow FeO + H_2$ کربن در فولاد با محیطی که در ارتباط است (مثل آب)

$C + H_2O \longrightarrow H_2 + CO$ (فولاد) Fe ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ .

⇐ محصولی که حاوی H ← این هیدروژن که تولید می‌شود باعث تخریب می‌شود.

در دماهای بالاتر از $200^{\circ}C$

خوردگی هیدروژنی تفاوتی دارد با تردی هیدروژنی، در تردی هیدروژنی کیلد در معرض گاز هیدروژن است اما هیدروژنی که در خوردگی هیدروژنی ایجاد می‌شود که باعث تخریب می‌شود در اثر ترک و کنش است.

هیدروژن به راحتی حل می‌شود

مادر HF ۲ عامل دارم: ① منبع تنش ② منبع هیدروژن

۱- تنش‌های باقی‌مانده

۲- مقطع به طور مستقیم تحت تنش

در حالت مذاب ← فاز مذاب ← سرد می‌شود ← ایجاد رخ می‌دهد ← مصرف شدن H ← تردی

در آبکاری محلول را آند می‌کنند تا H خارج شود

در حالت جامد: آبکاری، اسیدشویی (H موجود در اسیدشویی)، هیدروژن (پوسش اکسید)

انتخاب متریال درست ← نمودار هیدروژن

چرا هیدروژن باعث تردی می‌شود؟ اتم H حتی کوچک ← ① نفوذ داخل شبکه‌ی کریستالی و افت خواص

② نفوذ داخل شبکه و حرکت همراه نابه‌جایی‌ها (تغییر فرم پلاستیک به وسیله‌ی حرکت نابه‌جایی‌ها است)

تردی هیدروژنی در ۲ دسته از مواد رخ می‌دهد:

۱- فولادهای پرانستحکام — 4340 - فولادهای T سبب اتم H نفوذ کرده در داخل شبکه کریستالی و افت خواص

۲- Ti، Zr، Nb ← حضور H باعث افت خواص می‌شود.

ترکیبات هیدرید Ti / Nb / Zr سبب ترد و باعث تخریب قطعه می‌شود.

روش‌های جدایی از HE:

۱- عملیات حرارتی قبل و بعد جوشکاری.

۲- فرآیندهای تنش‌گیری.

۳- محافظت قطعه از هیدروژن.

۴- استفاده از موادی که میزان H آن کم باشد.