در تنش های کم: $\dot{\epsilon} = \frac{c\pi^2\tau^{4.5}D}{b^{0.5}N^{0.5}G^{3.5}KT}$ $c \sim 0.25$

هم در تنش های بالا هم در تنش های کم:

$\dot{\epsilon} = \frac{c'\pi^2\tau^2}{G^2b^2}\sinh\left(\frac{\sqrt{3}\tau^{2.5}b^{1.5}}{8G^{1.5}N^{0.5}KT}\right)$ c' ایه

سایر مکانیزم های احتمالی:

ممکن است در اثر برخورد نابجایی ها با هم، خط نابجایی جاگ دار شود. در مورد نابجایی پیچی جاگ ها مجبورند بطور غیر Conservative حرکت کنند ← پشت آن نابجایی، تهی جای ایجاد می شود. این تهی جای ها حرکت نابجایی های جاگ دار را محدود می کند مگر اینکه بتواند آزادانه حرکت کند پس فرایند کنترل کننده، سرعت نفوذ تهی جای ها می باشد که در دمای بالا این نفوذ اتفاق خواهد افتاد.

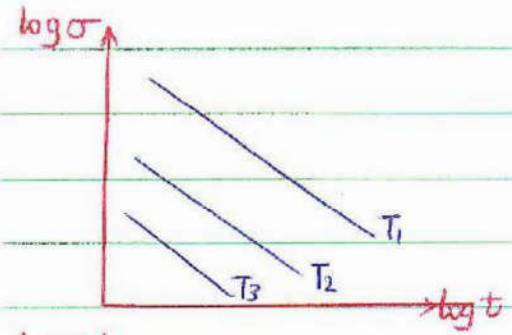
۸۷/۲/۳۱

خزش در دمای پائین:

در مرحله ۱، خزش گذرا (اگر ساختی) داریم. بعد از تغییر شکل ناگهانی، اگر عامل محرک (موازی) داشته باشیم می تواند نابجایی از موانع آزاد شوند و به حرکت ادامه دهند ← خزش در دماهای پائین با خزش معمولی هم می رود که با مانع کوچک هم نابجایی متوقف میشود. مانع کوچک: توده نابجایی، نابجایی ساکن در مجاورت این نابجایی ها، تنش اصطکاکی (پیرز ـ نابارو)

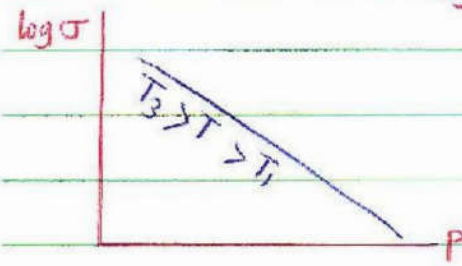
$\epsilon = \frac{KT}{\left(\frac{\partial\sigma}{\partial\epsilon}\right)bd\ell}\ln(\gamma_{t+1})$ or $\epsilon = \alpha\ln(\gamma_{t+1})$

پارامترهای زمان یا پارامترهای اصلاح:



فرض: در این نمودار خطوط شکستگی وجود ندارد.

پارامتر لارسون - میلر

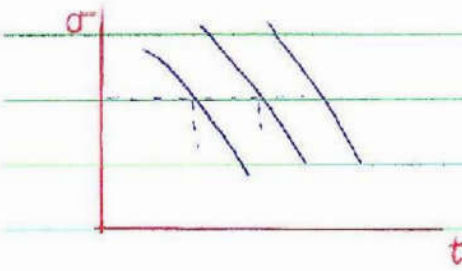


P در یک تنش ثابت مقدار ثابتی دارد.

$P = T(C + \log t)$; $C \sim 20$

C ثابت و وابسته به ماده

پارامتر دنگر:



$$P = \log t_R - \int_0^T \left(\frac{\partial \log t_R}{\partial T}\right)_\sigma dT$$

t_R : زمان شکست ; P در تنش ثابت ثابت است

$$P = \log t_R + 0.01T \qquad \left(\frac{\partial \log t_R}{\partial T}\right)_\sigma = 0.01\ 1/°F$$

رابطه‌ی دیگر: $P = \log t_R + (A + B\log\sigma)(C + DT)T$ ← ثابت در تنش ثابت

رابطه‌ی دیگر: $P = \log t_R - \frac{\Delta H}{2.3RT}$ Sherby - Dorn

با داشتن این روابط، اگر عمر قطعه را در یک شرایط کاری داشته باشیم، می‌توان عمر را در شرایط دیگر بدست آورد.

موسسه مواد شریف

مثال. ماده‌ای طراحی شده برای زمان بالا ($700^\circ K$) برای طول عمر 200 hr . در تنش اعمالی ثابت. اگر دمای کاری $900^\circ K$ شود، طول عمر را بدست آورید.

• بیشتر از پارامتر لارسون - میلر استفاده می‌کنیم.

$$P = T(C + \log t_R)$$

$$= 700(20 + \log 200) = 16100 \ (K \cdot hr)$$

تنش ثابت است، پس P ثابت است.

$$16100 = 900(C + \log t_R) \quad ; \quad 20 + \log t_R = \frac{161}{9}$$

اعداد واقعی نیست.

اثبات رابطه‌ی لارسون - میلر در کتاب است. اگر C را داشتیم بالاخره آزمایش در دو مرحله می‌توان آن را بدست آورد.

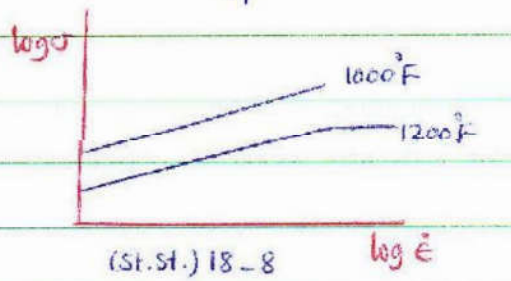
زمان شکست را در دو دمای T_1 و T_2 بدست می‌آوریم.

$$C = \frac{T_2 \log t_2 - T_1 \log t_1}{T_1 - T_2}$$

اثر تنش بر آهنگ خزش در دمای ثابت:

$\dot{\epsilon}_1$ ، σ_1 : ثابت

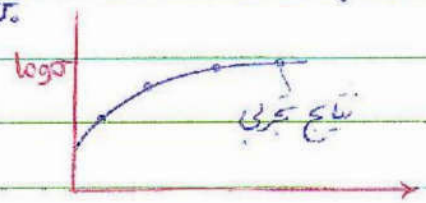
$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_1 \left(\frac{\sigma}{\sigma_1}\right)^n \quad ; \quad \dot{\epsilon} = C\sigma^n$$



دمای $1000^\circ F$ رابطه صادق است اما برای $1200^\circ F$ صادق نیست.

(St.St.) 18 - 8

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 \sinh \frac{\sigma}{\sigma_0} \quad \text{or} \quad \dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 \frac{\exp(\sigma/\sigma_0) - \exp(-\sigma/\sigma_0)}{2}$$



بر مبنای انرژی محرکه بدست آمده است $\log\left(\frac{\dot{\epsilon}}{T}\right) = -\frac{a}{T} - b + \gamma\sigma$

$\dot{\epsilon} = K\exp(\gamma\sigma)$ ← ثابت وابسته به ماده γ = ثوابت مستقل : a, b

(در T ثابت)

چه زمان از کدام فرمول استفاده می کنیم ؟

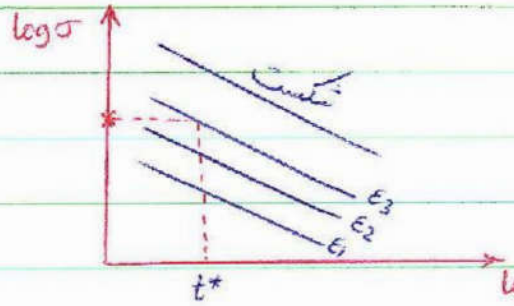
• در دمای بالا، تنش کاری کم میشود. در تنش های پائین از رابطه ی Sinh استفاده می کنیم چون توانی صادق نیست.

• در تنش های بالا، معادلات Sinh و رابطه ی آخر (exp) یکسان میشود.

• اگر مقدار تنش خیلی کم باشد : $\sinh x \sim x$

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 \frac{\sigma}{\sigma_0} = K\sigma \quad \text{(خطی)}$$

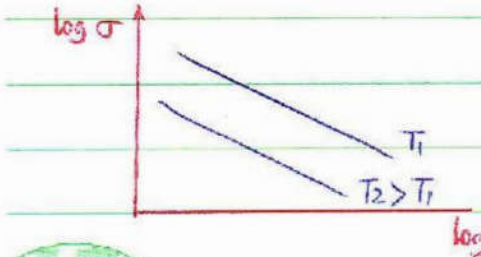
منحنی های طراحی در خزش :



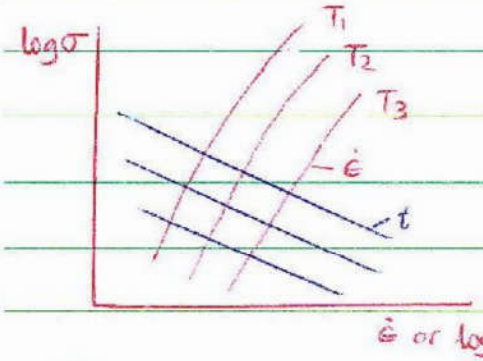
یکی از منحنی ها، $\sigma - t$ در مقیاس نگاریتمی است. قبلاً منحنی شکست را داشتیم.

قبل از اینکه قطعه به زمان t^* برسد باید قطعه عوض شود. اگر تنش مجاز به ما تحمیل شود

اگر بخواهیم تنش مجاز را تعیین کنیم، باید در زمان t'، مثلاً کرنش ϵ_2 را در نظر بگیریم ← σ بدست آید.

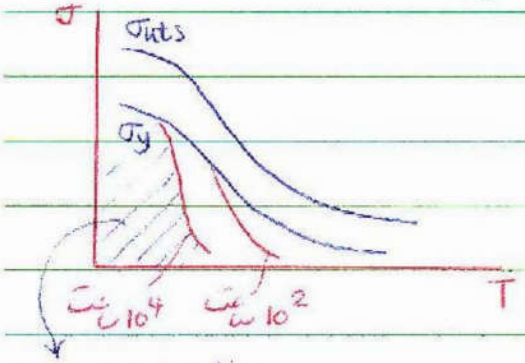


این منحنی ها مربوط به شکست هستند نه کرنش خاص؛ اگر زمان را داشتیم، σ را و اگر σ را داشتیم زمان شکست را تعیین می کنیم. قبل از رسیدن به این زمان، قطعه باید عوض شود.



در یک تنش معین و دمای معین، $\dot{\varepsilon}$ را بدست می آوریم و اگر کرنش معینی مدنظر است، زمان را می توان بدست آورد.

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}$$

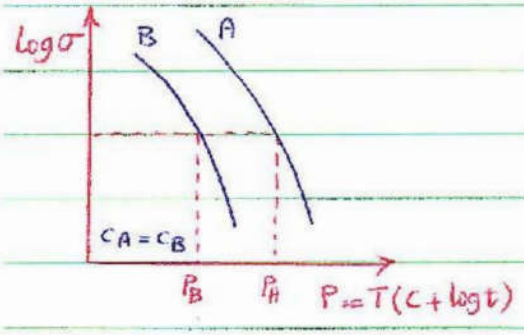


اگر زمان شکست در یک شرایط کاری خاص را داشته باشیم یعنی σ_y را هم داریم تا طوری طراحی کنیم که ماده تسلیم نشود.

منطقه ی ایمن برای زمان 10^4 ساعت

حل مسئله از خوش:

۱) پارامتر اصلاح ـ مسئله حل شده کتاب

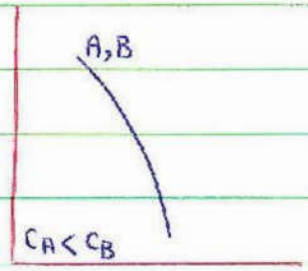


یک تنش ثابت یا یک طول عمر در نظر می‌گیریم.

$P_A > P_B$

$T(C_A + \log t_A) = T(C_B + \log t_B)$

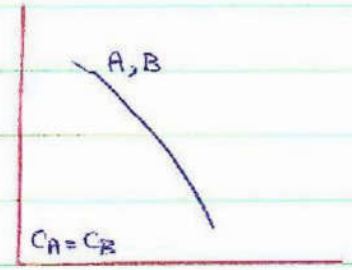
$\rightarrow t_A > t_B$ ماده A مناسب‌تر است



$C_A < C_B \rightarrow \log t_A > \log t_B$

$\rightarrow t_A > t_B$

طول عمر ماده‌ی A بیشتر است.



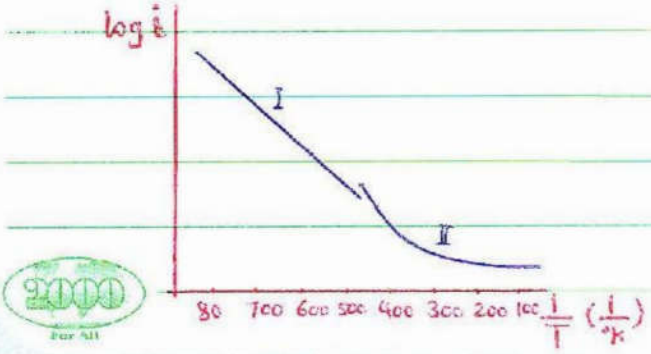
$P_A = P_B \rightarrow C_A = C_B$

$\rightarrow \log t_A = \log t_B$

$\rightarrow t_A = t_B$

A و B فرقی نمی‌کنند.

۲) مسئله ۱ ـ فصل ۵



$\dot{\epsilon}_s = A \exp(-\frac{\Delta H}{RT})$

$T_m = 1000°K$

اعداد روی محور، خود دما است

کار کداسیک درست است؟

در مقیاس لگاریتمی، رابطه خطی است. تحقق II تنها یک جای خطی است و از یک سری به بعد تغییر خطی می‌شود چون ΔH از آنجا به بعد ثابت خواهد بود.

پس کار هردو محقق درست است. شیب: $\frac{-\Delta H}{2.3R}$

3) مسئله 7 از فصل 5.

$$\dot{\varepsilon}_s = K\sigma^n \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right)$$

$T_1 = 550K \quad T_2 = 750K$ در تنش ثابت: $\dot{\varepsilon}_s = A\exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right)$

هر دوی این داده‌ها، $T > 0.5T_m$ است ← ΔH ثابت خواهد بود. ΔH معلوم است.

با دو معادله دو مجهول، $\dot{\varepsilon}_1$ و A بدست می‌آید.

4) مسئله 9 از فصل 5.

A: $t_R = 800hr \quad T = 700^\circ C$

B: $t_R = 100hr \quad T = 725^\circ C \quad C = 20$

P ثابت خواهد بود.

$P_A = 973(20 + \log 800) = 22285$

$22285 = 998(20 + \log t_A) \rightarrow t_A = 213\ hr$

پس لازم است در مارجین A تغییری ایجاد کنیم.

مسئله 7 از تمرین‌ها:

$10000\ psi, \quad t = 3\ years, \quad T = 427^\circ C$

$\dot{\varepsilon}_p = 3\times10^{-40}\,\sigma^8\ (psi)\ \frac{1}{hr}, \quad E = 22.5\times10^6\ psi$

در واقع این مسئله خزش از تنش است.

$\varepsilon_t = \varepsilon_e + \varepsilon_p =$ عدد ثابت

$\rightarrow \varepsilon_t = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_p =$ " $\rightarrow \frac{d\sigma}{E dt} = -\dot{\varepsilon}_p$

$3\times10^{-42}\,\sigma^8 = \frac{-1}{E}\frac{d\sigma}{dt}$

For All

لازم است درصد بود

$$\sigma^{-8}\, d\sigma = -3\times10^{-42} \times 22.5\times10^{6}\, dt$$

$$\int_{10000}^{\sigma} \sigma^{-8}\, d\sigma = -3\times10^{-42} \times 22.5\times10^{6} \int_{0}^{3\times365\times24} dt \quad \rightarrow \quad \sigma \text{ بدست می آید}$$

σ کمتر از 10 ksi خواهد شد. چون دیاگرام ناکاهی ها از شیب سوزنی آزاد می شوند.

موسسه مواد شریف

دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی و علم مواد

نمونه مسائل

خواص مکانیکی (۲)

تدوین:

دکتر علی‌اکبر اکرامی

۸۴۱۰۴۳۲۸

شهریور ۸۵

موسسه مواد شریف

فصل اول: مبحث شکست

۱-۱- صفحه‌ای بزرگ دارای ترکی بیضی‌شکل با مشخصه $\frac{a}{b}=4$ می‌باشد (a نصف قطر بزرگ و b نصف قطر کوچک است). اگر این صفحه تحت تنش σ عمود بر محور بزرگ ترک قرار گیرد

الف- تنش در راس ترک را بدست آورید

ب- اگر این ترک به یک ترک دایره‌ای شکل و به شعاع a تغییرکند، درصد تغییرات تنش در راس ترک را محاسبه کنید

۱-۲- فولادی دارای $G=200\frac{lb}{in}$ می‌باشد. میزان تنش شکست در یک صفحه نازک که $12in$ عرض دارد و شامل ترکی مرکزی به طول $2a=0.5in$ می‌باشد را حساب کنید ($P-Stress$)

الف- اگر طول ترک $2a=2in$ باشد، میزان تنش شکست چقدر است

ب- اگر ضخامت صفحه به $5in$ افزایش یابد، G به $100\frac{lb}{in}$ کاهش می‌یابد. تنش شکست را در این حالت برای ترکی به طول $0.5in$ بدست آورید

۱-۳- ورقی از فولاد دارای استحکام کششی $1950MPa$ می‌باشد. اگر این ورق دارای ترکی مرکزی به طول $2a=4mm$ و عمود بر جهت تنش باشد، درصد کاهش استحکام را برای این فولاد بدست آورید

$$E=200GPa,\gamma_s=2\frac{J}{m^2},\gamma_p=2\times10^4\frac{J}{m^2}$$

۱-۴- ورقی از شیشه به ابعاد $2m\times200mm\times2mm$ دارای ترکی مرکزی و به موازات عرض ورق می‌باشد. نیروی $500Kg$ که باعث تنش کششی می‌شود، عمود بر صفحه ترک اعمال می‌شود. مینیمم طول ترکی را که منجربه شکست قطعه می‌شود در دو حالت زیر بدست آورید

الف- حالت $P-Stress$

ب- حالت $P-Strain$

$$E=60GPa,\gamma_s=0.5\frac{J}{m^2},\upsilon=0.25,\sigma_F=170MPa$$

۱-۵- ماکزیمم تنش کششی ناشی از خمش ماده‌ای حدود $39KPa$ می‌باشد. اگر مدول الاستیسیته به سرعت کرنش وابسته باشد و رابطه $E_{(MPa)}=1.11\dot{\varepsilon}^{0.29}$ برقرار می‌باشد. طبق این رابطه و سرعت کرنش

موسسه مواد شریف

ایجادشده که حدود $1.6\times10^{-3}\frac{1}{\sec}$ می‌باشد. مطابق با معیار گریفیت، طول بحرانی ترک را بدست آورید

$$2\gamma_p + 2\gamma_s = R(totalenergy) = 1.4\frac{Kj}{m^2}$$

۱-۶- برای ماده‌ای استحکام تسلیم طبق رابطه $\sigma_{ys} = A - BT$ نسبت به درجه حرارت تغییر می‌کند (T برحسب کلوین) و کرنش شکست این ماده نیز طبق رابطه $\varepsilon_f = CT^2$ نسبت به درجه حرارت تغییر می‌کند (T برحسب کلوین). در نمونه‌ای از این ماده که دارای ترکی به طول و شعاع ثابت ρ می‌باشد. در چه درجه حرارتی، چقرمگی شکست ماکزیمم است و مقدار چقرمگی را در این درجه حرارت محاسبه کنید

$$G = 2\sigma_y\varepsilon_f$$

۱-۷- ورقی بزرگ و نامحدود دارای ترکی مرکزی به طول ($2a = 1.6mm$) می‌باشد. اگر تنش تسلیم این ماده $\sigma_y = 500MPa$ باشد و ورق تحت تنش $\sigma = 300MPa$ قرار گیرد، بدست آورید

الف- ضریب شدت تنش در راس این ترک

ب- اندازه منطقه پلاستیک در راس این ترک

۱-۸- در ماده‌ای ترکی سکه‌ای شکل به قطر $2.5cm$ وجود دارد

الف- وقتی که این ماده تحت تنش $700MPa$ قرار گیرد، شکست ناگهانی اتفاق می‌افتد. در این حالت، چقرمگی شکست را محاسبه نمایید ($P-Strain$)

ب- اگر ورقی از این ماده با مشخصات $t = 0.75cm, a = 3.75cm$ برای اندازه‌گیری چقرمگی شکست آماده شود، آیا مقدار چقرمگی شکست برای این آزمایش معتبر است

ج- مقدار ضخامت لازم برای K_{IC} معتبر چقدر است ($m = \frac{2}{\pi}, \sigma_y = 1100MPa$)

۱-۹- ماده‌ای که دارای چقرمگی شکست $50MPa\sqrt{m}$ می‌باشد ($P-Strain$) با استحکام تسلیم $1000MPa$ برای ساخت قطعه‌ای به‌کار می‌رود.

الف- اگر این قطعه تحت تنش $250MPa$ قرار گیرد، ماکزیمم اندازه عیب را قبل از شکست بدست آورید (ترک را مرکزی فرض کنید، شکست ترد یا ناگهانی می‌باشد)

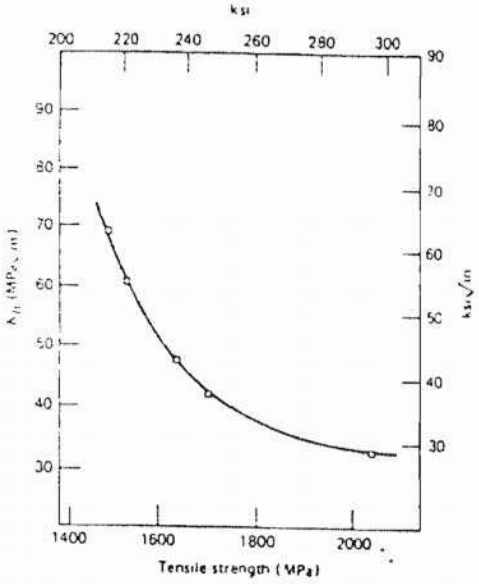
ب- در نقطه شکست، اندازه منطقه پلاستیک در جلوی ترک را محاسبه کنید

ج- اگر ضخامت قطعه $2.5cm$ باشد، آیا شرایط لازم برای حالت $P-Strain$ برقرار است

د- اگر ضخامت به $10cm$ افزایش یابد. آیا اندازه بحرانی ریزترک محاسبه‌شده در الف تغییر می‌کند

موسسه مواد شریف

۱-۱۰- حد قابل تشخیص ترک برای فولادی $3mm$ می‌باشد. اگر برای این فولاد، تنش طراحی نصف استحکام کششی باشد، آیا برای صرفه‌جویی در وزن، افزایش استحکام از 1570 به $2070MPa$ مجاز است یا نه؟ (منحنی K_{IC} برحسب $U.T.S$ به شکل زیر می‌باشد)



۱-۱۱- نمونه CTS با ابعاد زیر، تحت آزمایش قرار می‌گیرد. اگر این نمونه در نیروی $12KN$شکسته شود، مطلوبست فاکتور شدت تنش در نیروی $F = 5KN$

$$\frac{a}{w} = 0.6, B = 6.4mm, w = 79mm$$

$$f(\frac{a}{w}) = 16.7 - 104.66(\frac{a}{w}) + 370(\frac{a}{w})^2 - 573.78(\frac{a}{w})^3 + 340.46(\frac{a}{w})^4$$

۱-۱۲- اگر تنش در راس ترکی بیضی شکل به قطر بزرگ $2a$ و شعاع راس ρ، $\sigma_{\max}$ باشد. رابطه زیر را بدست آورید

$$m = 1, \rho = \frac{b^2}{a}$$

$$K = Lim_{\rho \to 0}(\frac{\sigma_{\max}}{2}\sqrt{\pi\rho})$$

۱-۱۳- نمونه CTS با ابعاد $a = 5cm, t = 5cm, w = 10cm$ را داریم. این نمونه تحت آزمایش کشش قرار می‌گیرد و منحنی نیرو-تغییرمکان بدست می‌آید و با توجه به منحنی، $P_{\max} = 105KN, P_Q = 100KN$ می‌باشد.

موسسه مواد شریف

الف- مقدار بحرانی شدت تنش را برای این نمونه بدست آورید

ب- اگر تنش تسلیم این نمونه $700MPa$ و یا $350MPa$ باشد، آیا شرایط برای K_{IC} معتبر خواهد بود

۱۴-۱۴- برای ساختن سرچکش از نوعی فلز استفاده می‌شود. در این فلز، یک ترک مرکزی وجود دارد. اگر چقرمگی شکست و استحکام تسلیم برای این چکش به ترتیب $1500MPa, 45MPa\sqrt{m}$ و هنگام استفاده از این چکش برای ضربه زدن به فلز دیگر تحت تنش $300MPa$ قرار گیرد

الف- آیا می‌توان در مورد شکست نمونه اظهارنظر کرد

ب- حداکثر اندازه عیب قبل از شکست را بدست آورید

ج- اندازه منطقه پلاستیک در جلوی ترک شکست چقدر است

۱-۱۵- نمونه خمش سه نقطه‌ای از فولاد با استحکام تسلیم $800MPa$ در نیروی $59KN$ می‌شکند. اگر $S = 200mm, W = 50mm, a = 25mm$ باشد، K_{IC} را محاسبه و در معتبر بودن آن بحث کنید

۱-۱۶- یک ظرف فشار به ضخامت $20mm$ و قطر داخلی $400mm$ دارای ترک نیم‌دایره در سطح داخلی می‌باشد که حدود 25% از دیوار مخزن را دربر می‌گیرد، مخزن از فولاد $D6AC$ ساخته شده و دارای تنش تسلیم و چقرمگی شکست $1500MPa$ و $102MPa\sqrt{m}$ می‌باشد. نشان دهید تحت فشار قرار دادن این مخزن ترک‌دار تا $75MPa$ ممکن است یا نه

۱-۱۷- یک پیستون اکسترودشده با قطر $8cm$ از آلیاژ آلومینیم $7178-T651$ که چقرمگی شکست کرنش صفحه ای آن $23.1MPa\sqrt{m}$ می باشد توسط عملیات ماشین‌کاری به یک لوله توخالی به قطر $7cm$ و با انتهای بسته تبدیل می‌شود. اگر یک سیال در سوراخ واردشده و توسط یک پیستون تحت فشار قرارگیرد، محاسبه کنید بیشترین ترک نیم‌دایره‌ای (درجهت طول) ایجادشده که می‌تواند فشار حدود $50MPa$ را تحمل کند

۱-۱۸- برای تنش حدود $240MPa$ در آلیاژ $7075-T651Al$، با توجه به جدول زیر، وقتی به‌صورت $L-T$، $T-L$ و $S-L$ بارگذاری می‌شود ، بیشترین شعاع ترک نیم‌دایره سطحی را حساب کنید

جهت	$L-T$	$T-L$	$S-L$
K_{IC} $(MPa\sqrt{m})$	29.7	24.5	16.3

۱-۱۹- یک کوره ذوب فلز به ضخامت $50cm$ و قطر $1.5m$ را در کارگاه ذوب فلز داریم. این کوره از نوعی فولاد زنگ‌نزن ساخته‌شده است که چقرمگی شکست آن $120MPa\sqrt{m}$ می‌باشد. یک ترک مرکزی به طول $12mm$ درون فولاد به وجود آمده است. اگر تنش تسلیم $1700MPa$ باشد،آیا می‌توان تنش $150MPa$ را به این کوره ترک‌دار وارد کرد

۱-۲۰- در ساختمانی از نوعی تیرآهن H شکل استفاده می‌شود. این تیر آهن موقع نصب، سقوط کرده و بر زمین می‌افتد و در اثر تنش وارده $650MPa$، شکست در آن صورت می‌گیرد. بعد از بررسی مشخص می‌شود که در این تیرآهن، ترکی مرکزی به قطر $4.5mm$ وجود دارد

الف- چقرمگی شکست را تحت این تنش بدست آورید

ب- اگر در این تیرآهن، ضخامت $t = 0.6cm$ و $a = 4cm$ باشد، آیا چقرمگی شکست برای این بار معتبر است $\sigma_y = 1000MPa$

۱-۲۱- K_{IC} و σ_{ys} دو نمونه یکسان از جنس آلیاژ $7178Al$ که دارای ضخامت $1cm$ و ترکی به طول $4cm$ هستند، در دو دمای متفاوت، طبق جدول زیر گزارش شده‌است. آیا ابعاد نمونه برای K_{IC} داده شده معتبر است

شرایط	$K_{IC}\ (MPa\sqrt{m})$	$\sigma_{ys}\ (MPa)$
$7178-T651$	23.1	570
$7178-T7651$	33	490

۱-۲۲- آلیاژ $Ti-6Al-4V$ دارای چقرمگی شکست $115.4MPa\sqrt{m}$ و استحکام تسلیم $910MPa$ می‌باشد. اگر تنش طراحی $0.75\sigma_{ys}$ باشد، تعیین کنید ابعاد بزرگترین عیب سطحی بیضی شکل پایدار را $\frac{C}{2a} \cong 0.2$

۱-۲۳- یک ورق فولادی $4345+V$ دارای یک ترک بیضی شکل به عمق $0.8mm$ و طول $2mm$ است. به طوریکه محور بزرگ ترک، عمود بر جهت اعمال تنش است. این ورق دارای چقرمگی شکست $72.5MPa\sqrt{m}$ و تنش تسلیم $1340MPa$ است و تنش اعمالی $0.4\sigma_{ys}$ می‌باشد. آیا به کارگیری این ورق برای مواردیکه فاکتور شدت تنش باید زیر $0.5K_{IC}$ باشد، مناسب است

۱-۲۴- به خاطر کمبود مواد اولیه، یک سیلندر جداره نازک از آلومینیم آلیاژی $7178-T651$ ساخته شده-است. در صورتیکه قطر سیلندر و ضخامت دیواره آن به ترتیب $0.5cm,5cm$ باشد، معین کنید که آیا سیلندر، فشار $50MPa$ را با وجود ترک نیم‌دایره‌ای سطحی با عمق $0.2cm$ تحمل خواهدکرد

$$K_{IC}=26MPa\sqrt{m}, m=1.12\times\frac{2}{\pi}$$

۱-۲۵- نمونه‌ای از فولاد $A533-B$ در اختیار است. اگر چقرمگی شکست برای این نمونه در 100^{oC}، $K_{IC}=120MPa\sqrt{m}$ باشد و این نمونه دارای ترک نیم‌دایره‌ای سطحی به عمق $2cm$ باشد

الف- مشخص کنید تا چه تنشی را در 100^{oC} تحمل خواهدکرد

ب- اگر قطعه را تا دمای اتاق سرد کنیم، چقرمگی آن به $50MPa\sqrt{m}$ کاهش خواهدیافت، در صورتیکه نصف تنش فوق به آن اعمال شود چه اتفاقی خواهد افتاد

۱-۲۶- دستگاهی می‌تواند ترک های بالاتر از $2cm$ را تشخیص دهد. می‌خواهیم قطعه ای آلومینیمی بسازیم و سه نوع آلیاژ آلومینیمی با مشخصات زیر در دسترس است، به نظر شما از کدام آلیاژاستفاده کنیم

Alloy	$\sigma_{ys}\ (MPa)$	$K_{IC}\ (MPa\sqrt{m})$
$7178-T651$	560	26
$2219-T851$	345	36
$2014-T6$	440	31

۱-۲۷- اگر چقرمگی شکست فولادی $50MPa\sqrt{m}$ باشد، تعیین کنید کدام یک از دو نمونه زیر برای استفاده مناسب‌ترند

الف- نمونه DCT با ضخامت $w=10cm, a=2cm,2cm$

ب- نمونه CT با ضخامت $w=4cm, a=3cm,2cm$

۱-۲۸- لوستری توسط ورقی از شیشه به ابعاد $40\times2\times0.5cm$ توسط زنجیری به سقف آویزان است. اگر هر لامپ و ملحقات آن $450gr$ وزن داشته باشد، به فرض اینکه این ورق، ترکی مرکزی به طول $0.8cm$ و موازی با سطح زمین داشته باشد و بدنه لوستر هم $50Kgr$ باشد، در این لوستر حداکثر از چند لامپ می-توانیم استفاده کنیم $K_{IC}=0.83MPa\sqrt{m}$

موسسه مواد شریف

۱-۲۹- یک میله شیشه‌ای بین دو فک صلب قرار می‌گیرد. افت ناگهانی دما باعث شکست میله می‌شود. سطح شکست، منطقه آیینه‌ای را نشان می‌دهد که شعاع خارجی آن $2mm$ است. اگر ثابت آیینه، ضریب انبساط گرمایی و مدول الاستیسیته شیشه به ترتیب $70GPa, 7.5\times10^{-6}\frac{1}{oC}, 2MPa\sqrt{m}$ باشد، میزان کاهش دما را تعیین کنید

۱-۳۰- یک میله شیشه‌ای را از دمای $400K$ به $300K$ می‌رسانیم

الف- آیا میله شیشه‌ای سالم می‌ماند

ب- اگر میله شیشه‌ای شامل یک خراش به طول $1mm$ باشد، در دو حالت موازی و عمود بر محور میله، جواب شما چیست

ج- اگر دما تنزل کرده و طول ترک، نصف اندازه داده شده در بالا باشد، چه اتفاقی می‌افتد

$$E = 70GPa, \sigma_{ts} = 90MPa, \alpha = 8\times10^{-6}k^{-1}, K_{1C} = 0.8MPa\sqrt{m}$$

۱-۳۱- ظرفی جدار نازک به ضخامت $1.25cm$ دارای ترکی نیم‌دایره‌ای به شعاع $0.25cm$ در سطح داخلی است که عمود بر جهت تنش هوپ قرار دارد. بارگذاری چرخه ای فشاری، مانع رشد ترک می شود.اگر چقرمگی شکست ماده $88MPa\sqrt{m}$، استحکام تسلیم $825MPa$ و تنش هوپ $275MPa$ باشد، آیا ظرف قبل از شکست، نشت می‌کند

۱-۳۲- استوانه تحت فشار جدار نازکی به ضخامت $1.2cm$ دارای ترکی نیم‌دایره به شعاع $0.2cm$ در سطح داخلی استوانه است. اگر صفحه ترک به موازات محور استوانه قرار گرفته‌باشد و چقرمگی شکست فولاد مورد استفاده در ساخت استوانه $80MPa\sqrt{m}$ و تنش تسلیم آن $850MPa$ باشد، نشان دهید در اثر افزایش فشار داخلی استوانه، آیا نشت قبل از شکست ممکن است اتفاق بیفتد

۱-۳۳- ظرف جدار نازک آلومینیمی به قطر $10cm$ که دارای ضخامت $2cm$ است، برای آزمایش، تحت فشار $75MPa$ قرار می‌گیرد. اگر ظرف، این تنش را تحمل کند، در سرویسی قرار گرفته که تنش طراحی آن $50MPa$ است. فرض کنید ماده ظرف دارای چقرمگی شکست $25MPa\sqrt{m}$ و ترک نیم‌دایره‌ای سطحی به عمق $0.5cm$ باشد که عمود بر جهت تنش هوپ است.

الف- تنش آزمون و تنش طراحی برای این ظرف چقدر است

ب- ضریب شدت تنش همراه با کاربرد تنش آزمون چقدر است

ج- با توجه به پاسخ سوالات قبلی، آیا ظرف در مقابل تنش آزمون با حضور ترک، مقاومت می‌کند

موسسه مواد شریف

د- تعیین کنید که آیا ظرف، شرایط نشتی قبل از شکست را تجربه می‌کند (با محاسبات)

۱-۳٤- یک مخزن تحت فشار استوانه‌ای دارای قطر $6.1m$ و ضخامت دیواره $25.4mm$است. وقتی فشار داخلی مخزن به $17.5MPa$ می‌رسد، مخزن می‌شکند. مدول الاستیسیته مخزن $210MPa$ است و تنش تسلیم آن $2450MPa$ و مقدار G_C آن برابر $131\frac{Kg}{m^2}$ می‌باشد. بر مبنای تحلیل گریفیت تعیین کنید اندازه ترکی را که ممکن است باعث این خرابی گردد

۱-۳۵- در مورد فولاد $CrMoV$

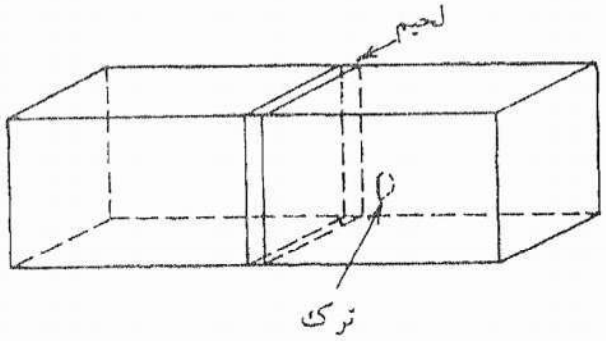
الف- آیا می‌توان در شرایط زیر، آزمون چقرمگی شکست معتبر را انجام داد

$K_{IC} = 53MPa\sqrt{m}, \sigma_{ys} = 620MPa, w = 6cm, B = 2.5cm$

ب- در حالتی‌که ضخامت $1cm$و $E = 205GPa, \upsilon = 0.25$ باشد، آیا این ضخامت برای آزمون J_{IC} کافی است

۱-۳٦- الف- دو میله مربعی‌شکل فولادی جهت ایجاد میله‌ای به ابعاد $30cm \times 6.25 \times 6.25$به هم لحیم کاری شده‌اند. لحیم نقره دارای ضخامت $0.063cm$ و با ماده‌ای تولیدشده است که دارای استحکام $140Mpa$ است. تنش تسلیم و استحکام قسمت فولادی به ترتیب $825MPa$,690 و چقرمگی شکست کرنش صفحه‌ای $83MPa\sqrt{m}$ می‌باشد. اگر این میله و لحیم تحت کشش قرارگیرد، چگونه شکست رخ می‌دهد: در حالی‌که قسمت فولادی دارای ترک بیضی شکل سطحی به عمق $1.25cm$ وعرض $3.75cm$ باشد و عمود بر جهت اعمال تنش قرار گرفته باشد. با محاسبات مناسب، تنش لازم برای شکست را نیز محاسبه کنید

ب- اگر همان میله دارای ترکی در جهت ضخامت و به عمق $2.5cm$ باشد، شکست در چه تنشی و چگونه رخ می‌دهد



موسسه مواد شریف

فصل دوم: مبحث خستگی

۲-۱- ورقی فولادی تحت تنش‌های تناوبی از -50 تا $100MPa$ قرار می‌گیرد و تنش تسلیم، $600MPa$ می‌باشد. اندازه منطقه پلاستیک در راس ترکی به طول $68mm$ را محاسبه کنید

۲-۲- برای فولادی با استحکام کششی $1000MPa$، وقتی تنش متوسط $200Mpa$ است، دامنه استحکام خستگی را در حالتیکه حد خستگی آن در $R=-1$، $700MPa$ باشد محاسبه نمایید

۲-۳- آزمون خستگی با تنش متوسط $10000Psi$ و دامنه تنش $30000Psi(\sigma_a)$ انجام می‌شود، مطلوبست

الف- تنش ماکزیمم و مینیمم

ب- میزان تغییرات گستره تنش (σ_r)

ج- نسبت تنش $\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$

۲-٤- برای فولاد آلیاژی اطلاعات زیر بدست آمده‌است. اولا، منحنی $S-N$ این فولاد را با استفاده از نرم-افزار *Excell* رسم کنید. ثانیا، اگر میله‌ای از این فولاد در ساخت محور اتومبیل که با سرعت 600 دور بر دقیقه می‌چرخد، به‌کار رود، ماکزیمم طول عمر مجاز این محور را در سطح تنش‌های زیر محاسبه کنید.(فرض کنید که اتومبیل بطور پیوسته در حرکت است)

الف- $65000Psi$ ب- $45000Psi$ ج- $40000Psi$ د- $55000Psi$

$\sigma_c(Psi)$	68000	63400	56200	51000	45300	42200	42200	42200
N_f	10^4	$3*10^4$	10^5	$3*10^5$	10^6	$3*10^6$	10^7	10^8

۲-۵- نمونه‌ای آلومینیمی در تنش تناوبی $80MPa$ می‌تواند 10^8 سیکل را تحمل کند. استحکام خستگی این نمونه را وقتی تنش متوسط $20MPa$ باشد، حساب کنید (استحکام کششی آلومینیم $250MPa$ است)

۲-٦- میله‌ای از فولاد $A4340$ تحت بار تناوبی از $-25000lb$ تا $75000lb$ قرار می‌گیرد. در شرایطی که بر مبنای ضریب اطمینان 2.5 عمر میله نامحدود باشد، قطر میله را حساب کنید (استحکام کششی $158000Psi$ و حد خستگی وقتی $R=-1$ باشد $75000Psi$ است)

موسسه مواد شریف

۲-۷- محوری به قطر $0.5in$ دارای سوراخی به قطر $0.05in$ می‌باشد. اگر این محور تحت گشتاور خمشی $\pm 200in-lb$ و بار استاتیکی $5000lb$ قرار گیرد، حد خستگی آن را حساب کنید. با توجه به ابعاد سوراخ به ابعاد محور $K_t = 2.2$ و محور از فولادی ساخته شده است که دارای استحکام کششی $190000Psi$ و $\rho = 0.0004mm$ می‌باشد

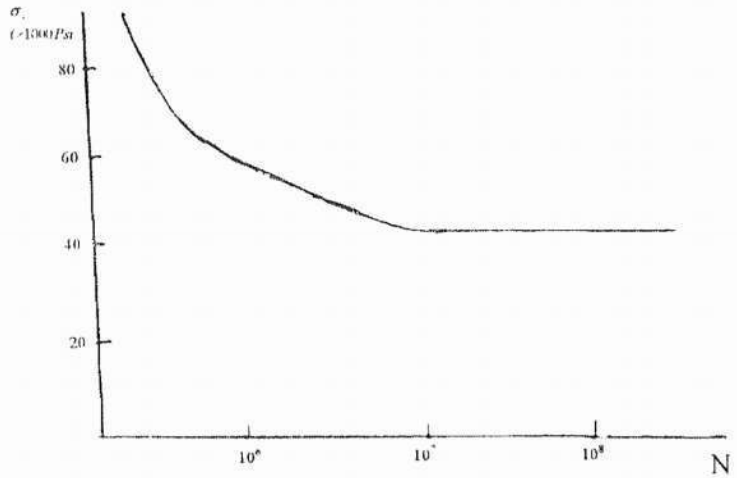
۲-۸- قطعه‌ای چدنی تحت بارگذاری تناوبی از -100 تا $500MPa$ قرار می‌گیرد.

الف- اگر چدن مورد استفاده دارای حدخستگی $700MPa$ $(R=-1)$ و استحکام کششی $1200MPa$ باشد، آیا شکست خستگی رخ می‌دهد

ب- چنانچه در اثر پرچ‌کاری، تنش پسماند به میزان $500MPa$ ایجاد شود، در مورد شکست خستگی بحث کنید

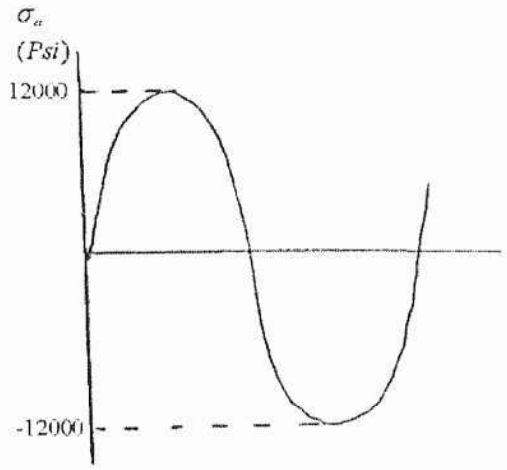
ج- اگر به‌جای قطعه چدنی از قطعه‌ای فولادی با همان خواص مکانیکی استفاده شود، در دوحالت مذکور، آیا شکست خستگی رخ می‌دهد

۲-۹- فولاد 1045 دارای منحنی $S-N$ زیر می‌باشد. اگر میله‌ای از این فولاد تحت نیروی $\pm 15000lbf$ قرارگیرد، حداقل قطری از این میله را که منجر به شکست خستگی نمی‌شود حساب کنید



۲-۱۰- فولادی تحت تنش تناوبی زیر قرار گرفته و در سرحد استقامت است. اگر این فولاد تحت بارگذاری سیکلی با $\sigma_m = 18000Psi$ قرارگیرد، مطلوبست حد یا استحکام خستگی این فولاد، درصورتی‌که استحکام کششی این فولاد $60000Psi$ باشد

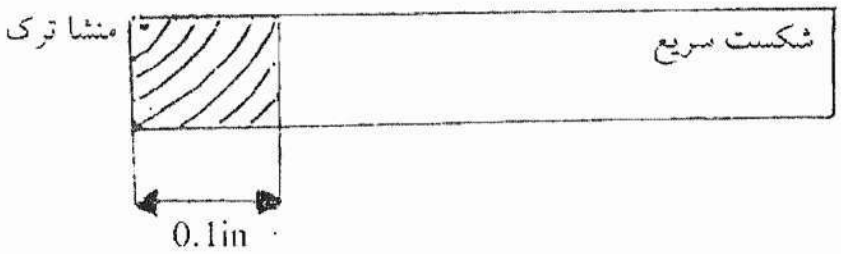
موسسه مواد شریف



۲-۱۱- میله‌ای تحت تنش مینیمم فشاری $35MPa$ قرار دارد. حد خستگی این نمونه وقتی $R=-1$ است، $220MPa$ می‌باشد. با کاربرد معیار Goodman، تنش کششی را که این میله قبل از شکست در 10^7 سیکل، می‌تواند تحمل کند بدست آورید $\sigma_{UTS}=500MPa$

۲-۱۲- از حضور خطوط امواج در مقطع شکست خستگی برای تعیین میزان یک چرخه اضافه بار استفاده شد، عرض خطوط درست قبل از اضافه بار $2\times10^{-4}\,mm$ بود، که متناظر است با 50% شرایط بسته‌شدن ترک. چرخه اضافه بار خطوطی با عرض $10^{-3}\,mm$ ایجادکرد. میزان چرخه اضافه بار چقدر است

۲-۱۳- قسمتی از بال هواپیما پس از شکست، بررسی و منشا ترک تعیین شده‌است. مقداری از سطح شکست نیز در اثر خستگی بوده‌است. تنش طراحی برای این قسمت از بال $40KSi$ بوده‌است. فواصل خطوط (Striation)، $68\mu m$ اندازه‌گیری شده‌است. اگر رابطه $d(in)=6(\frac{K}{E})^2$ (که در آن d، فاصله خطوط است) برای ماده بال هواپیما برقرار باشد، آیا بال هواپیما در اثر ازدیاد نیرو شکسته‌است $E=10^7\,Psi$



۲-۱٤- حد خستگی آلیاژ معینی در تنش‌های $\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3$ به ترتیب 500000,50000,10000 چرخه است. اگر قطعه‌ای از این ماده در تنش σ_1، 2500 چرخه و در تنش σ_2، 10000 چرخه را تحمل کند، عمر باقیمانده را حساب کنید

۲-۱۵- از تخته پرش استخری، روزانه افرادی با وزن‌های متفاوت استفاده می‌کنند. با در دست داشتن اطلاعات زیر، عمر باقیمانده تخته را حساب کنید (از عمر تخته حدود 20 سال می‌گذرد)

وزن(Kg)	تعداد نفرات در روز	عمر خستگی
130	10	6×10^5
90	42	9×10^5
50	40	2.5×10^6

۲-۱٦- نمونه‌ای فولادی دارای ترکی سطحی به طول $5mm$ می‌باشد. اگر این نمونه تحت تنش‌های تناوبی $\pm 400MPa$ قرارگیرد، عمر این نمونه را حساب کنید. مشروط بر اینکه سرعت اشاعه ترک در این ماده از رابطه $\frac{da}{dN}=4\times10^{-37}(\Delta K)^4$ پیروی می‌کند و $K_{IC}=75MPa\sqrt{m}$ ($\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $Pa\sqrt{m}$ است).

۲-۱۷- سرعت رشد خستگی در قطعه‌ای فولادی از رابطه $\frac{da}{dN}=4\times10^{-13}\Delta K^4$ پیروی می‌کند. اگر این قطعه تحت تنش‌های سیکلی به میزان $\Delta\sigma=180MPa$ قرارگیرد، سرعت رشدترک در این قطعه را وقتی که طول ترک $20mm$ باشد حساب کنید (ترک را مرکزی فرض کنید و $K_{IC}=54MPa\sqrt{m}$ ، $\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $MPa\sqrt{m}$ است)

۲-۱۸- صفحه‌ای دارای ترکی مرکزی به طول $2cm$ می‌باشد. با اعمال بارگذاری تناوبی ، طول ترک پس از 10^4 سیکل به $4cm$ می‌رسد. چنانچه سرعت رشد ترک از رابطه $\frac{da}{dN}=4\times10^{-37}\Delta K^4$ پیروی کند ($\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $Pa\sqrt{m}$ است).

موسسه مواد شریف

الف- σ_{max} را در این بارگذاری تناوبی حساب کنید

ب- چنانچه $E = 210GPa$ باشد، فاصله خطوط خستگی در طول ترک $4cm$ را حساب کنید

۲-۱۹- از یک آلیاژ استحکام بالای Al با $K_{IC} = 24MPa\sqrt{m}$، سیلندری جدار نازک به طول $20cm$، قطر خارجی $9cm$ و قطر داخلی $7cm$ ساخته می‌شود. پس از ساخت مشخص می‌شود که در سطح داخلی سیلندر، ترکی نیم‌دایره‌ای به عمق $a = 0.25cm$ و به موازات محور اصلی سیلندر وجود دارد. اگر سیلندر به طور تناوبی تحت فشار $75MPa$ قرارگیرد. چند سیکل فشاری را می‌تواند تحمل کند ($\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $Pa\sqrt{m}$ است).

$$\frac{da}{dN} = 5\times10^{-39}\Delta K^4$$

۲-۲۰- قطعه‌ای فلزی تحت تنش‌های کششی-فشاری قرار می‌گیرد. اگر عمر خستگی مورد انتظار در این قطعه، 5×10^6 سیکل باشد و ترک‌های سطحی اولیه در این قطعه به طول $0.02in$ باشد، مطلوبست طول ترک نهایی اگر این قطعه در شرایط زیر تحت خستگی باشد

$$A = 1.3\times10^{-23}, B = 3.5, m = 2.25, \sigma_{max} = 25000Psi$$

۲-۲۱- صفحه‌ای فلزی تحت تنش‌های متناوب $\pm150MPa$ قرار می‌گیرد. اگر طول بزرگترین ترک سطحی در این فلز $0.75mm$ و $K_{IC} = 35MPa\sqrt{m}$ باشد. مطلوبست طول عمر این صفحه. فرض کنید مقدار $m = 1.75$ و به طول ترک بستگی ندارد و سرعت رشد ترک در این ماده از رابطه $\frac{da}{dN} = 2\times10^{-12}\Delta K^{2.5}$ پیروی کند ($\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $MPa\sqrt{m}$ است).

۲-۲۲- یک صفحه فولادی با $K_{IC} = 54MPa\sqrt{m}$ دارای ترکی مرکزی به طول $0.2mm$ عمود بر محور تنش می‌باشد. ورق تحت تنش تناوبی $\Delta\sigma = 180MPa$ با تنش متوسط $90MPa$ قرار می‌گیرد. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که رشد ترک در این ماده طبق رابطه $\frac{da}{dN} = 4\times10^{-37}\Delta K^m$ ($\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $Pa\sqrt{m}$ است) می‌باشد. اما محقق می‌داند که نرخ رشد ترک رابطه‌ای مستقیم با مربع شعاع منطقه پلاستیک نوک ترک دارد. با توجه به این اطلاعات، تعداد سیکل‌هایی که این صفحه می‌تواند تحمل کند، چقدر است

۲-۲۳- الف- یک صفحه عریض (از ماده‌ای با $K_{IC} = 55MPa\sqrt{m}$) دارای ترکی مرکزی است. اگر $\sigma_{ys} = 1380MPa$ و تنش طراحی محدود به 50% این مقدار باشد، حداکثر اندازه ترک مجازی را حساب کنید که می‌تواند به هنگام بارگذاری چرخه‌ای رشد کند (فرض کنید شرایط کرنش صفحه‌ای حاکم است)

ب- اگر طول ترک اولیه $2.5mm$ باشد، این صفحه چند ضربه را می‌تواند تحمل کند (از تنش صفر تا تنش طراحی)، فرض کنید که آهنگ گسترش ترک از رابطه $\frac{da}{dN} = 1.1\times10^{-39}\Delta K^4$ پیروی کند و $\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $Pa\sqrt{m}$ است

۲-۲٤- یک فولاد آلیاژی خاص برای کاربرد در شرایط خستگی انتخاب می‌شود. نتایج تجربی، خواص مکانیکی ماده را به صورت زیر بیان می‌کند

$$K_{IC} = 50MPa\sqrt{m}, \Delta K_{th} = 4MPa\sqrt{m}, \sigma_{ts} = 1000MPa, \frac{da}{dN} = 4\times10^{-37}\Delta K^4$$

صفحه‌ای عریض از این ماده ($2m$) تحت گستره تنش چرخه‌ای $200MPa$ $(R = 0.1)$ قرار می‌گیرد. در بازرسی منظم با NDT، که ترک‌های بزرگتر از $1mm$ را شناسایی می‌کند، نقصی مشاهده نشد.

الف- آیا می‌توان با اطمینان گفت که نگران شکست ناگهانی یا تدریجی نباشیم

ب- اگر احتمال شکست خستگی وجود داشته باشد، حداقل عمر کاری صفحه را حساب کنید

($\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $Pa\sqrt{m}$ است)

۲-۲۵- در صفحه‌ای فولادی، ترکی به طول $2cm$ در جهت ضخامت وجود دارد. اگر صفحه تحت تنش $50MPa$ با بسامد $30cpm$ قرارگیرد، چه زمانی طول خواهد کشید تا ترک تا حد مجاز طراحی $K_{limit} = \frac{K_{IC}}{3}$ رشدکند. فرض کنید که $K_{IC} = 90MPa\sqrt{m}$ و آهنگ رشد ترک ماده از رابطه $\frac{da}{dN} = 4\times10^{-37}\Delta K^4$ پیروی کند ($\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $Pa\sqrt{m}$ است)

۲-۲٦-میله‌ای فولادی با مقطع مربع و به ضلع $8cm$ دارای ترکی گوشه‌ای به طول $1mm$ و عمود بر طول میله است. اگر میله تحت تنش صفر تا $420MPa$ و بسامد یک در 10 دقیقه قرارگیرد، پس از چه مدت میله خواهد شکست ($\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $Pa\sqrt{m}$ است)

$$K_{IC} = 70MPa\sqrt{m}, \sigma_{ys} = 1500MPa, \frac{da}{dN} = 2\times10^{-37}\Delta K^4$$

موسسه مواد شریف

۲-۲۷- یک صفحه آلومینیمی پس از هر 50000 چرخه بارگذاری تحت بازرسی قرار می‌گیرد. روش NDT که معمولا به‌کار می‌رود، دارای حد تشخیص $1mm$ است. گروه بازرسی جدید، حدتشخیص دستگاه را به $1cm$ تغییر دادند. در این حالت ترکی مشاهده نشد. اما پس از 34945 چرخه، شکست ناگهانی با ایجاد یک ترک کناری، که عمود بر جهت اصلی تنش است، رخ داد. آیا زمینه‌ای برای ادعای بازرسی نامناسب وجود دارد؟ تنش بین $100MPa,50$ تغییر می‌کند ($\frac{da}{dN}$ برحسب $\frac{m}{cyc}$ و ΔK بر حسب $Pa\sqrt{m}$ است)

$$E = 70GPa, \sigma_{ys} = 550MPa, K_{IC} = 30MPa\sqrt{m}, \frac{da}{dN} = 5\times10^{-35}\Delta K^4$$

موسسه مواد شریف

فصل سوم: مبحث خزش

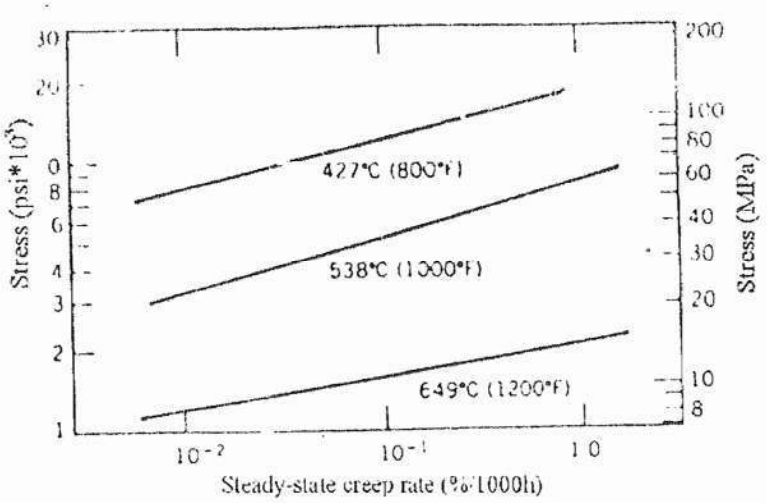
۳-۱- نمودار مربوط به نمونه‌ای از آلیاژ نیکل در شکل زیر آمده‌است

الف- اگر نمونه‌ای از این آلیاژ به طول $1015mm$ در دمای 427^{oC} تحت تنش کششی $70MPa$ قرار گیرد، میزان ازدیاد طول را پس از 10^4 ساعت تعیین کنید. فرض کنید کل تغییر طول ناگهانی و خزش اولیه، $1.33mm$ باشد

ب- برای نمونه‌ای دیگر از این آلیاژ به قطر اولیه $19.05mm$ و طول $635mm$، چه نیروی کششی برای ایجاد تغییرطول کل $6.4mm$ بعد از $5000h$ در دمای 538^{oC} لازم است. فرض کنید کل تغییر طول ناگهانی و خزش اولیه، $1.8mm$ باشد

ج- در حالتی‌که سرعت خزش از رابطه $\dot{\varepsilon}_s^o = K_1\sigma^n$ پیروی کند، مقدار n را برای سه دمای $427^{oC}, 538^{oC}, 649^{oC}$ محاسبه کنید

د- اگر انرژی محرکه خزش برای نمونه‌ای دیگر از این آلیاژ از رابطه $\varepsilon^o{}_s = K\,\sigma^n \exp(\frac{-Q_c}{RT})$ پیروی کند، با داشتن $K = 3\times10^{-5}$ و مستقل از دمابودن n ، مقدار انرزی محرکه در تنش $55MPa$ و دمای $427^{oC}, 538^{oC}$ را محاسبه کنید. در ادامه، سرعت خزش در دمای 649^{oC} را نیز به‌دست آورید.

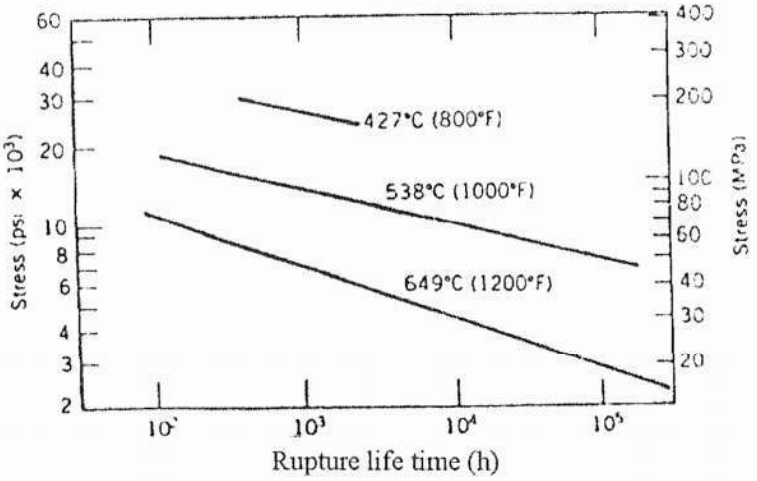


۳-۲- با توجه به نمودار زیر

الف- اگر قطعه‌ای از آلیاژنیکل در دمای 649^{oC} تحت تنش کششی $31MPa$ قرارگیرد، مطلوبست طول عمر قطعه

ب- اگر قطعه‌ای استوانه‌ای شکل از آلیاژ فوق به قطر $19.1mm$ در دمای 538^{oC} قرار گیرد، ماکزیمم نیروی لازم برای طول عمر 10^4 ساعت چقدر است

موسسه مواد شریف



۳-۳- آهنگ خزش مرحله دوم برای آلیاژی در 200^{oC} طبق جدول زیر است. اگر انرزی محرکه $140000\frac{j}{mol}$ باشد، آهنگ خزش مرحله دوم را در دمای 250^{oC} و تنش $48MPa$ محاسبه کنید

$\varepsilon^{o}{}_{s}(h^{-1})$	$\sigma(MPa)$
2.5×10^{-3}	55
2.4×10^{-3}	69

۳-٤- جدول زیر اطلاعات موجود از مرحله دوم آلیاژی از آهن را در سطح تنش $140MPa$ نشان می‌دهد. اگر $n=8.5$ باشد، آهنگ خزش مرحله دوم را در $1300K$ و در تنش $83MPa$ حساب کنید

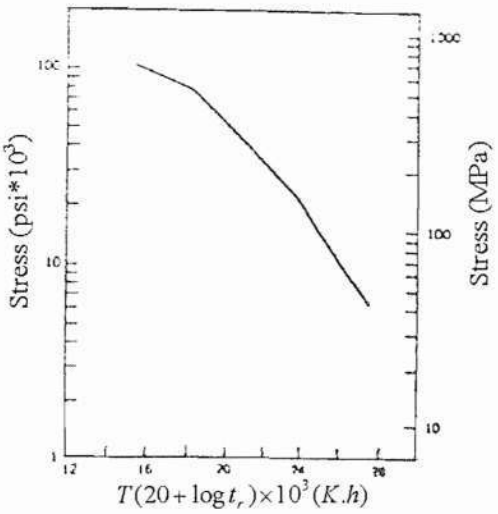
$\varepsilon^{o}{}_{s}(h^{-1})$	$T(K)$
6.6×10^{-4}	1090
8.8×10^{-2}	1200

۳-۵- نمودار زیر برای قطعه‌ای از آلیاژ آهن $S-590$ موجود است

الف- اگر نمونه‌ای در دمای 650^{oC} دارای حداقل عمر 20 روز باشد، مطلوبست میزان تنش مجاز

ب- نمونه‌ای دیگر تحت تنش $55MPa$ قرار می‌گیرد، در چه دمایی طول عمر شکست، $200h$ است

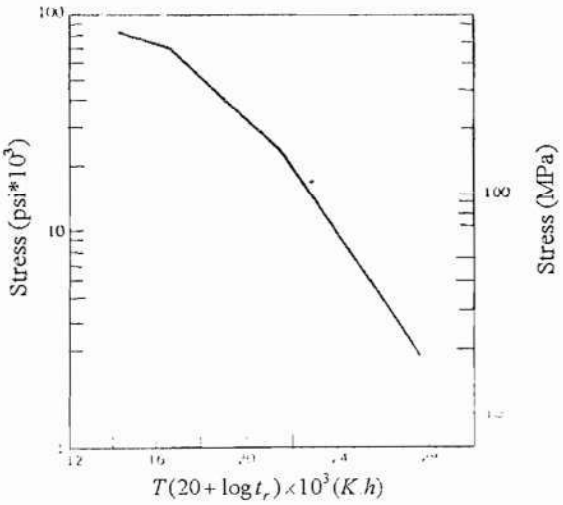
موسسه مواد شریف



۳-٦- نمودار زیر برای فولاد زنگ نزن $8Mo-18$ در دسترس است

الف- اگر نمونه‌ای دارای طول عمر حداقل 5 سال در دمای 500^{oC} باشد، ماکزیمم تنش مجاز را حساب کنید

ب- اگر قطعه‌ای از این فولاد تحت تنش $50000Psi$ قرارگیرد، در چه دماهایی عمر شکست، 10 سال و 20 سال می‌باشد



۳-۷- پیچی فولادی در کشش تا $10000Psi$ بارگذاری می‌شود و اتصال هر دو انتهای آن به‌صورت صلب است. بعد از سه سال کار در 427^{oC}، تنش موجود در پیچ چقدر است؟ (σبرحسب Psi و ε^o برحسب درصد به ساعت است).

$$\varepsilon^o{}_p = 3\times10^{-40}\sigma^8, E = 22.5\times10^6\, Psi$$

موسسه مواد شریف

(1-1

$\frac{a}{b} = 4$ نصف قطرها : b , a

الف) $K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} = 1 + 2\frac{a}{b} = 1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}} = 9\sigma$

ب) $\sigma_{max} = 3\sigma$ $\qquad \Delta\delta = \frac{9\sigma - 3\sigma}{9\sigma} = 0.67 \longrightarrow 67\%$

(2-1

$G = 200 \frac{lb}{in}$ $\qquad 2a = 0.5^{in}$ ، عرض ترک مرزی 12in

$\sigma_F = \sqrt{\frac{EG}{\pi a}}$ (P-stress) حالت : P-stress

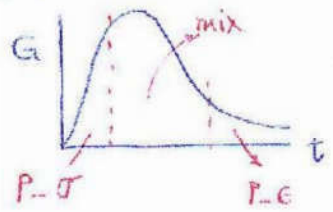
G : انرژی سطوح ترک

$\sigma_F = \sqrt{\frac{EG}{\pi a(1-\nu^2)}}$ (P-ε) $\qquad E = 29.1 \times 10^6 psi$

$G = 2\gamma_s + \gamma_p$ $\qquad \sigma_F = \sqrt{\frac{29.1\times10^6 \times 200}{\pi \times 0.25}} = 86\times10^3 \ lb/in^2$

الف) $2a = 2in \longrightarrow \sigma_F = 43\ ksi$

ب) $t \rightarrow 5in \longrightarrow G = 100\ lb/in \longrightarrow \sigma_F = \sqrt{\frac{EG}{\pi a(1-\nu^2)}} = 64\ ksi$ $\quad \{2a = 0.5in$ $\quad \nu = 0.3$



. الف P-G ب

$ksi = 1000 psi$ $\qquad psi = \frac{lb}{in^2}$

(3-1

$\sigma_{uts} = 1950\ MPa$ $\qquad 2a = 4mm$ عدد برحسب تنش

$E = 200\ GPa$ $\qquad \gamma_s = 2\ J/m^2$ $\qquad \gamma_p = 2\times10^4\ J/m^2$

$\sigma_F = \sqrt{\frac{E(2\gamma_s + 2\gamma_p)}{\pi a}}$ مرزی : تنش شکست

$= \sqrt{\frac{200\times10^9 (2\times2 + 2\times2\times10^4)}{\pi \times 2\times10^{-3}}} = 1128\ MPa$

$\Delta Red = 42\%$

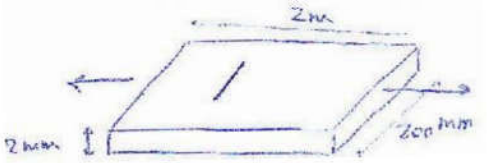
(4-1

ابعاد : $2m \times 200mm \times 2mm$ ترک مرزی عبور است عرض ورق

500kg ← عدد برحسب ترک . الف - P-ε $\qquad$ P-σ ب -

$E = 60\ GPa$ $\qquad \gamma_s = 0.5\ J/m^2$ $\qquad \nu =$ $\qquad \sigma_F = 190\ MP$

۸۶/۱۲/۲۱ P(2)



$$\sigma = \frac{500 \times 10}{200 \times 2} = 12.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_F = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{\pi a}} = 12.5 \text{ MPa}$$

؟ $\longmapsto a = 0.01$ mm

P_E : $a \cong 0.01$ mm

$\sigma = 39$ kPa $\qquad E = 1.11\ \dot{\epsilon}^{0.29}$ (5-1

$\dot{\epsilon} = 1.6 \times 10^{-3}$ $\frac{1}{sec}$ $\qquad G = 1.4$ kj/m²

طول برای ترک =

$\longmapsto E = 0.17$ MPa $\qquad \sigma = \sqrt{\frac{EG}{\pi a}}$ => $a = 4.9$ Cm

(ρ_σ) وزنی

$9.8^{cm} = 2 \times 4.9^{Cm} = d_b = 2a$: ترک مرکزی

$4.9^{Cm} = d_s' = a$: ترک سطحی

$\sigma_{ys} = A - BT$ $\qquad G = 2\sigma_y . \epsilon_f$ (6-1

$\epsilon_f = CT^2$

$\longmapsto G = 2(A - BT)CT^2$: $\frac{\partial G}{\partial T} = 0$: $T_{cr} = \frac{2}{3}\frac{A}{B}$

$\longmapsto G_{max} = \frac{8}{27}\frac{A^3 C}{B^2}$

$\sigma = 300$MPa , $\sigma_y = 500$MPa ; $2a = 1.6^{mm}$: دقیق ناکدد ـ ترک مرکزی (7-1

الف ـ فرمول مقاومت شکست

ب ـ استفاده از منطقه پلاستیک در رأس ترک

$f(\frac{a}{w})$

$K = m\sigma\sqrt{\pi a}$ $\qquad$ ترک مرکزی : $m = 1$ $\qquad$ ترک سطحی : $m = 1.12$

ترک سطحی نیمه : ترک مرکزی خط تقارن .)

ترک سطحی سکه‌ای شکل : $m = 1.12(\frac{2}{\pi})$

سکه‌ای دوبیضی : $m = (1.12)^2 \times \frac{2}{\pi}$

موسسه مواد شریف

$K_c = m\sigma_F\sqrt{\pi a_f}$ جهت تنش عمود بر سطح ترک : $K_{IC} = m\sigma_F\sqrt{\pi a_f}$

k_{IC} عددیست ثابت

$K < K_{IC}$ ← شکست خواهد بود.

الف - $k = m' \times 350 \times \sqrt{\pi \times 0.8\times10^{-3}} = 55.48 \ MPa\sqrt{m}$

ب - $r_y = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{k_{IC}}{\sigma_y}\right)^2$ P-σ

$r_y = \frac{1}{6\pi}\left(\frac{k_{IC}}{\sigma_y}\right)^2$ P-ε

$\xrightarrow{\text{از}}$ $r_y = \frac{1}{2\pi}\times\left(\frac{55.48}{500}\right)^2 = 1.96^{mm}$

۸-۱) ترک سکه‌ای شکل - قطر 2.5 cm

$m = \frac{2}{\pi}$ $\sigma_y = 1100\ MPa$

← نوع ترک مرکزی

الف - $\sigma = 700 MPa = \sigma_f$ (P-ε)

$K_c = K_{IC} = m\sigma\sqrt{\pi a} = \frac{2}{\pi}\times 700 \times \sqrt{\pi \times 1.25\times10^{-2}}$

$\longrightarrow K_{IC} = 88.3 \ MPa\sqrt{m}$

ب - $t = 0.75\ cm$; $2a = 3.75\ cm$

$t, a \geq 2.5\left(\frac{k_{IC}}{\sigma_y}\right)^2 = 2.5\left(\frac{88.3}{1100}\right)^2 = 1.61\ cm$

برای t برقرارست ← سرامیک P-ε برقرارست.

ج - $t \geq 7.61\ cm$ مقدار مناسبست برای معتبر بودن k_{IC}.

۸۴/۱۲/۲۴

۹-۱) $\sigma_y = 1000 MPa$ (P-ε) $K_{IC} = 50\ MPa\sqrt{m}$

الف) $\sigma = 250 MPa$ ، $a_f = ?$ (ترک مرکزی)

$K_{IC} = m\sigma\sqrt{\pi a_f}$ $50 = 1\times250\sqrt{\pi\times a}$ $\longrightarrow a_f = 1.27\ cm$

طول ترک $= 2a_f = 2.54\ cm$

$r_y = \frac{1}{2}\left(k_{IC}/\sigma_y\right)^2 = 0.01$

موسسه مواد شریف

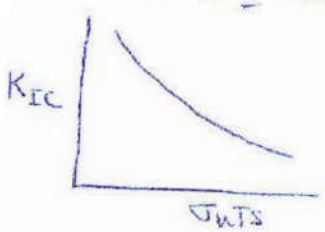
$t, a \geq 2.5\left(\frac{K_{IC}}{\sigma_y}\right)^2 = .62^{cm}$ $\quad t = 2.5^{cm}$ (ج

شرایط معتبر است.

(د $t = 10^{cm}$ ، K_{IC} تابع ضخامت نیست ← a_f بدون تغییری باقی. در رابطه‌ی بالا، ضخامت شکلی ایجاد نمی‌شد. $a_f = 1.27^{cm}$

۱۰-۱- حداقل تنش‌های ترک = 3^{mm} تنش طراحی = نصف استحکام کششی

استحکام از 1570 تا 2070MPa افزایش یابد، حداکثر تنش‌های تغییرشکنده یا ؟!



(I) 1570 MPa ⟶ (II) 2070 MPa

↓ از مرجع: $60\ MPa\sqrt{m}$ ↓ $30\ MPa\sqrt{m}$: k_{IC}

785 MPa 1035 MPa : σ_{des}

$$\frac{k_{IC}(I)}{k_{IC}(II)} = \frac{m\sigma_I\sqrt{\pi a_I}}{m\sigma_{II}\sqrt{\pi a_{II}}}$$

فرض: ترک مرکزی

$a_I = 3^{mm}$

if $a_{II} > 3^{mm}$ ← قبل از detect است و تراش استحکام مجاز است.

$$\rightarrow \frac{k_{IC\ I}}{k_{IC\ II}} = \frac{785\sqrt{\pi \times 1.5\times10^{-3}}}{1035\sqrt{\pi \times a_{II}}} \longleftarrow a_{II} = 0.21^{mm} \rightarrow \ell_{ترک} = 0.42^{mm}$$

← قبل تنش‌ها نیست و افزایش استحکام مجاز است.

۱۱-۱- $F_a = 5KN$ ، $F_f = 12KN$ ، $B = 6.4^{mm}$ ، $\frac{a}{w} = 0.6$:CTS نمونه

$w = 79^{mm}$ ، $f(\frac{a}{w}) = \cdots$

$$K = \frac{P}{B w^{1/2}} f\left(\frac{a}{w}\right)$$

B: ضخامت، w: عرض، P: نیرو

از داشتن $\frac{a}{w}$، $f(\frac{a}{w})$ بدست می‌آید.

$f(\frac{a}{w}) = 7.29$

$$\rightarrow K = \frac{5\times10^{3}}{6.4\times10^{-3}\times(79\times10^{-3})^{1/2}} \times 7.29 = 20.26\ MPa\sqrt{m}$$

سوال: $f(\frac{a}{w})$ چگونه بدست می‌آید؟

موسسه مواد شریف

P(5) ۱۴/۱۲/۲۴

۱۲-۱ – ترک بیضی شکل با قطر بزرگ $2a$ و شعاع رأس ترک ρ

$m=1$ $\rho = \frac{b^2}{a}$ تنش در رأس ترک: σ_{max}

$\lim_{\rho \to 0} K = \frac{\sigma_{max}}{2}\sqrt{\pi\rho}$ (این دربست است نه در حفره)

$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} = 1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}}$ $K = m\sigma\sqrt{\pi a}$ حل.

$\leftrightarrow K = \frac{\sigma_{max}}{1+2\sqrt{\frac{a}{\rho}}} \cdot \sqrt{\pi a} \rightarrow \lim_{\rho \to 0} k = \frac{\sigma_{max}}{2}\sqrt{\rho \cdot \pi}$

نمونه CTS: $a = 5^{cm}$ $t = 5^{cm}$ $w = 10^{cm}$ ۱۳-۱

الف- $P_Q = 100\,kN$ $P_{max} = 105\,kN$ $k_{IC} = ?$

ب- $\sigma_y = 350\,MPa$, $\sigma_y = 700MPa$ مفروض: $k_{IC} = ?$

$\frac{P_{max}}{P_Q} \leq 1.1$ طبق ب $\rightarrow \frac{105}{100} = 1.05 \leq 1.1$ ✓

$K_Q = \frac{P_Q}{B w^{1/2}} f(\frac{a}{w})$; $(B=t) \rightarrow K_Q = 6.3\ MPa\sqrt{m}$

$t, a \geq 2.5\left(\frac{k_{IC}}{\sigma_y}\right)^2$ $\begin{cases} 700 \rightarrow 0.02^{cm} \\ 350 \rightarrow 0.08^{cm} \end{cases}$

۱۴-۱ – ترک مرکزی. $\sigma_a = 300MPa$. $\sigma_y = 1500MPa$. $k_{IC} = 45MPa\sqrt{m}$.

الف- شکست نمونه؟ وجود ترک باعث می‌شود تنش تسلیم این نمونه کم باشد پس باید اول ترک

را داشت و K را با K_{IC} مقایسه کرد تا

P(6) ۱۴, ۱۳, ۲۴

$K_{IC} = m\sigma\sqrt{\pi a_f} \longrightarrow 45 = 1 \times 300\sqrt{\pi a_f}$

$\longrightarrow a_f = 7.16\,mm \longrightarrow t_c = 2a_f = 14.32\,mm$

$r_y = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_{IC}}{\sigma_y}\right)^2$ ← نوک ترک پلاستیک به علت تنش‌های برون P-σ

$\longrightarrow r_y = 0.14\,mm$

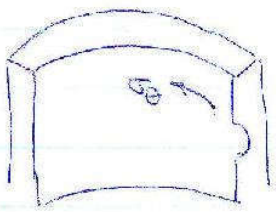
۱-۱۶- مخزن تحت فشار: $t = 20\,mm$ $d_i = 400\,mm$

ترک: نیم دایره‌ای در سطح داخلی $a = 0.25 \times t = 5\,mm$

$\sigma_y = 1500\,MPa$ $K_{IC} = 102\,MPa\sqrt{m}$ $P_i = 75\,MPa$

$\sigma_\theta = \frac{P_r}{t}$ ✓ ; $P_\ell = \frac{P_r}{2t}$ $\sigma_\theta = \frac{75 \times 200}{20} = 750\,MPa$

σ_θ عمود بر طول ترک است.



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

$= 1.12\left(\frac{2}{\pi}\right) \times 750\sqrt{\pi \times 5 \times 10^{-3}} = 134\,MPa\sqrt{m} > K_{IC}$

شکست رخ می‌دهد.

۱-۱۷- $d = 8\,cm \xrightarrow{\text{لوله}} d_i = 7\,cm$ $K_{IC} = 23.1\,MPa\sqrt{m}$

$P = 50\,MPa$ شکست رخ می‌دهد $\longrightarrow a = ?$

$\sigma_\theta = \frac{P_r}{t} = \frac{50 \times 3.5\,cm}{0.5\,cm} = 350\,MPa$ $K_{IC} = m\sigma\sqrt{\pi a}$

$\longrightarrow a_f$: $23.1 = 1.12 \times \frac{2}{\pi} \times 350\sqrt{\pi a_f}$ (ترک نیم دایره‌ای سطحی)

حل تمرین خواص مکانیکی — (1) — ۸۷ / ۱۰ / ۱

(19-1

$K = m\sigma\sqrt{\pi a} = 1 \times 150\sqrt{\pi \times 6\times10^{-3}} = 20.59 < K_{IC}$

شکست رخ نمی‌دهد.

بررسی دقیق‌تر: $t, a \geq 2.5\left(\frac{K_{IC}}{\sigma_y}\right)^2 = 12\ mm$ ... بررسی p-ε

$a = 6\ mm$ ← صادق نیست p-ε

پس p-σ است: $r_y = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_{IC}}{\sigma_y}\right)^2 = 0.79\ mm$

$K = 1 \times 150\sqrt{\pi \times (a + r_y)} = 21.9 < 120$ شکست رخ نمی‌دهد.

r_y با a قابل مقایسه است.

(20-1 چون قطر ترک را داده ← دایره‌ای است: $m = \frac{2}{\pi}$

$K = m\sigma\sqrt{\pi a} = \frac{2}{\pi} \times 650\sqrt{\pi \times 2.25\times10^{-3}} = 34.79\ MPa\sqrt{m}$

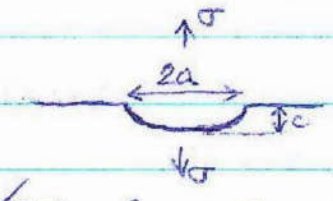
K_{IC} معتبر است (حالت p-ε دارم) ... $t, a \geq 0.3\ cm$

(21-1 $t, a \geq 2.5\left(\frac{K_{IC}}{\sigma_y}\right)^2$

7178 - T651 : $t, a \geq 0.4\ cm$ ✓ معتبر است

7178 - T651 : $t, a \geq 1.13\ cm$ X معتبر نیست

AV ۱۱/۲۰ – (۲)



$\frac{c}{2a} \simeq 0.2$ (22-1

کلاً در mode I کار می‌کنیم. اگر حالت بارگذاری بصورت بالا باشد، طول ترک a خواهد بود.

$K = m\sigma\sqrt{\pi a} \Rightarrow 115.4 = 1.12 \times 0.75 \times 910\sqrt{\pi \times (2a)}$

$\rightarrow 2a = 7.25\ mm \rightarrow c = 1.45\ mm$

$c = 0.8\ mm \quad 2a = 2\ mm$ (23-1

$K = m\sigma\sqrt{\pi a} = 1.12 \times 0.4(1340)\sqrt{\pi \times 2 \times 10^{-3}} = 33.64$

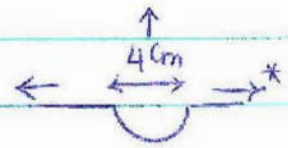
$0.5K_{IC} = 36.25 \rightarrow K < 0.5K_{IC}$ مناسب است

$t = 0.5\ cm \quad r = 2.5\ cm$ (24-1

تنش max را در نظر می‌گیریم: $\sigma = \frac{Pr}{t} = \frac{50 \times 2.5}{0.5} = 250MPa$

$K = 1.12 \times \frac{2}{\pi} \times 250\sqrt{\pi \times 0.2 \times 10^{-3}} = 14.13 < K_{IC}$

σ_θ عمود بر عمق ترک است و mode I برقرار است.



(25-1 جهت تنش معلوم نیست. اگر بصورت مقابل باشد، طول ترک مساوی 4 Cm می‌شود. اگر بصورت * باشد، 2 Cm

موسسه مواد شریف

۱- کوئنچ: طراحی $\sigma = 0.5\sigma_{uts}$ $1520 \rightarrow 2070$

ترک مرکزی $\frac{K_{IC}①}{K_{IC}②} = \frac{66}{33} = \frac{760\sqrt{\pi \times 1.5 \times 10^{-3}}}{1035\sqrt{\pi \times a}} \mapsto a = 0.2\ mm$

ب) $\sigma = \frac{F}{A}$

$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{760}{1035} \sim 0.73$ ، $\rho = \frac{m}{V} \mapsto m = \rho V$

$m \propto V \overset{V=Al}{\mapsto} m \propto l$: $\frac{m_2}{m_1} = \frac{A_2}{A_1} = 0.73$

$\mapsto$ درصد جویی $= 27\%$ K_{IC} ثابت نمی‌تواند باشد چون استحکام ماده تغییر کرده است.

مثلاً عملیات حرارتی انجام داده‌ایم.

۲- $\sigma = 600\ MPa \mapsto$ شکست داریم ترک مرکزی: $2a = 2\ mm$

$K_{IC} = 40\ MPa\sqrt{m}$ $\sigma = 700\ MPa \mapsto a = ?$

$K = m \times 600\sqrt{\pi \times 1 \times 10^{-3}} = 33.63 < 40$

$K_{IC} = m \times 600\sqrt{\pi a} \mapsto m = 1.33$ پس m در واقع 1 نبوده است:

$40 = 1.33 \times 700\sqrt{\pi a} \mapsto 2a = 1.16\ mm$ $(a = 0.58)$

موسسه مواد شریف

حل سوالات خستگی :

صفحه 2 ۹۷/۲/۳

(1_2 ΔK تعریف می‌شود چون حالت بارگذاری در خستگی یکسان نیست. نوع ترک را مرکزی فرض می‌کنیم. علامت تنش فشاری را نیز در نظر می‌گیریم.

$$r_y = \frac{1}{8\pi}\left(\frac{\Delta K}{\sigma_y}\right)^2 \qquad 2a = 68\ mm$$

$$\Delta K = m\Delta\delta\sqrt{\pi a} = 1\times(100-(-50))\sqrt{\pi\times 34\times 10^{-3}} = 49\ MPa\sqrt{m}$$

$$\mapsto r_y = \frac{1}{8\pi}\left(\frac{49}{600}\right)^2 = 0.26\ mm$$

(2_2 از معیار گودمن استفاده می‌کنیم برای فولاد.

$$\sigma_a = \sigma_e\left(1-\frac{\sigma_m}{\sigma_{uts}}\right)$$

σ_e : حد خستگی در $(R=-1)$. $\sigma_m = 0$

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

$$\sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_{min} \qquad \sigma_a = \frac{1}{2}\sigma_r = \frac{\sigma_{max}-\sigma_{min}}{2} \qquad R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

$$\sigma_e = 700\ MPa \qquad \sigma_a = 700\left(1-\frac{200}{1000}\right) = 560\ MPa$$

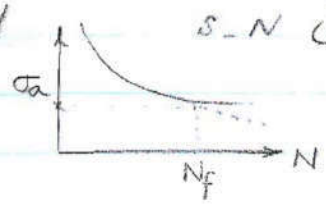
$$\sigma_m = 10000\ Pa \qquad \sigma_a = 30000\ Pa \qquad (3_2$$

$$\mapsto \sigma_{max} = 40000\ Pa \qquad \sigma_{min} = -20000\ Pa$$

σ_a ، σ_{min} ، σ_{max} : از هرکدامیک از تنش‌ها می‌توان بعنوان حد خستگی استفاده کرد در واقع هرکدام را که در نظر گرفتیم، حد آن، حد خستگی می‌شود.

bakhtiari . r @ gmail

(4_2 حل شود. منحنی S_N



موسسه مواد شریف

5-2) برای آلیاژهای غیرآهنی مثل Al ، حد خستگی نداریم (منحنی S-N نزولی است)

10^8 cycle $\longmapsto$ $\sigma_e = 80$ MPa

$$\sigma_a = \sigma_e \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{uts}}\right) = 80\left(1 - \frac{20}{250}\right) = 73.6 \text{ MPa}$$

6-2)

$$\sigma_a = \sigma_e \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{uts}}\right) = \mapsto$$

$$\frac{75000-(-25000)}{2A} = 75000\left(1 - \frac{\frac{75000-25000}{2A}}{158000}\right)$$

$\mapsto A = 0.82\ m^2 \mapsto d = 102\ Cm \mapsto$ قطر میله $= 2.5 \times 102$

7-2) ابتدا حد خستگی را بدست می آوریم:

$$\sigma = \frac{M}{(\frac{\pi}{32})d^3} = \frac{200}{\frac{\pi}{32} \times 0.5^3} = \pm 16297 \text{ psi}$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{max} &= 16297 + \frac{5000}{\frac{\pi}{4}(0.5)^2} = 41761 \text{ psi} \\ \sigma_{min} &= -16297 + \frac{5000}{\frac{\pi}{4}(0.5)^2} = 9167 \text{ psi} \end{aligned}\right\} \mapsto \sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 16297 \text{ psi}$$

$$K_b = \frac{\text{حد خستگی نمونه بدون شیار}}{\text{شیار دار}} = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \rho/r} \quad \text{(Peterson)}$$

$$= 1 + \frac{2.2 - 1}{1 + \frac{0.0004}{0.025}} = 2.19$$

$$2.19 = \frac{162197}{\sigma_{a\ \text{شیار دار}}} \mapsto \sigma_{a\ \text{شیار دار}} = 7441 \text{ psi}$$

موسسه مواد شریف

حل تمرین خواص مکانیکی ۲ — صفری — ۹۷/۲/۱۵

۸_۲) رابطه‌ی Smith را به کار می‌بریم:

$$\sigma_a = \sigma_e \left(\frac{1 - \sigma_m / \sigma_{uts}}{1 + \sigma_m / \sigma_{uts}} \right)$$

الف) $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 300 \text{ MPa}$

حد خستگی $\sigma_a = 700 \left(\frac{1 - 200/1200}{1 + 200/1200} \right) = 500 \text{ MPa}$

σ_a بارگذاری $= 300 < \sigma_a$ حد خستگی $= 500 \rightarrow$ شکست خستگی نداریم

ب) $\sigma = 500 \text{ MPa}$ پسماند

$\sigma_{max} = 500 + 500 = 1000 \text{ MPa}$

$\sigma_{min} = -100 + 500 = 400 \text{ MPa}$

σ_a بارگذاری $= 300 \text{ MPa}$

پس تنش پسماند σ_a بارگذاری اثری ندارد

$$\sigma_m = \frac{1000 + 400}{2} = 700 \text{ MPa}$$

σ_a حد خستگی $= 700 \left(\frac{1 - 700/1200}{1 + 700/1200} \right) = 184 \text{ MPa} < 300$: شکست خستگی داریم

ج) در رابطه‌ی Goodman استفاده می‌کنیم.

۹_۲) قطر در کمترین بحرانی $\leftrightarrow$ حد خستگی $\sigma_a = 40 \text{ Ksi}$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{\frac{15000 - (-15000)}{A}}{2} = 40000$$

$$A = \pi r^2 = \frac{3}{8} \rightarrow r = 0.34 \text{ in} \rightarrow d = 0.68 \text{ in}$$

موسسه مواد شریف

P(2) ۸۷/۲/۱۰

$\sigma_a = 12000\,psi = \sigma_e$ ($\sigma_m = 0$) از روی نمودار بدست می‌آوریم σ_e (10-2

Goodman: $\sigma_a = \sigma_e\left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{uts}}\right) = 12000\left(1 - \frac{18000}{60000}\right) = 8400\,psi$

وقتی σ_m ایجاد شده است، σ_a (حد خستگی) کم می‌شود.

$\sigma_e = 220\,MPa$ $\sigma_{max} = ?$ $\sigma_{min} = 35\,MPa$ (11-2

$\sigma_a = \sigma_e\left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{uts}}\right) : \frac{\sigma_{max} - 35}{2} = 220\left(1 - \frac{\frac{\sigma_{max} + 35}{2}}{500}\right)$

$\rightarrow \sigma_{max} = 319\,MPa$

حل شود. (12-2

$d = 6\left(\frac{K}{E}\right)^2 \rightarrow 68\,\mu m = \frac{68 \times 10^{-4}}{2.5} = 27.2 \times 10^{-4}\,in$ (13-2

$\rightarrow 27.2 \times 10^{-4} = 6\left(\frac{K}{10^7}\right)^2 \rightarrow K = 213\ Ksi\sqrt{in}$

$\rightarrow K = m\sigma\sqrt{\pi a} : 213 = 1.12 \times \sigma\sqrt{\pi \times 0.1} : \sigma = 339\,ksi$

تسلیم

ترک

در اثر این نیرو شکست است نه خستگی. $\leftarrow$ $339 > 40$

$\sum \frac{n}{N} = 1$ ماینر (14-2

$\frac{2500}{10000} + \frac{10000}{50000} + \frac{n}{500000} = 1 \rightarrow n = 275000$

موسسه مواد شریف

P(3) ۸۷/۲/۱۰

$$\left(\frac{10}{6\times10^5}+\frac{42}{9\times10^5}+\frac{40}{2.5\times10^6}\right)20\times365=0.579 \qquad (15_2$$

$\longmapsto$ عمر باقی‌مانده : $1-0.579=\alpha\left(\frac{10}{6\times10^5}+\frac{42}{9\times10^5}+\frac{40}{2.5\times10^6}\right)$

$\longmapsto$ $\alpha = 5305$ days $\simeq 14.5$ years

موسسه مواد شریف

۸۷/۱/۲۰ (۳)

(26-1 شرایط معتبربودن K_{IC} (P-E) را باید چک کنیم.

نوع ترک را سطحی در نظر می‌گیریم (حالت بحرانی‌تر). ترک سطحی خطرناک‌تر است.

a: طول ترک سطحی

7178 - T651 : $t, a \geq 0.53^{Cm}$

2219 - T851 : $t, a \geq 2.72^{Cm}$

2014 - T6 : $t, a \geq 1.24^{Cm}$

فقط از دومی می‌توان استفاده کرد.

اگر ترک مرکزی بود باید در ۲ ضرب می‌کردیم ← سومی هم قابل استفاده می‌شد پس ترک سطحی حالت مطمئن‌تری است.

(27-1 K را از رابطه‌ی صفحه‌ی کتاب درست می‌آوریم که برحسب نیروی اعمالی است.

← نیرو درست می‌آید. هرکدام نیروی بیشتری داشت، مناسب‌تر است.

$$K = m\sigma\sqrt{\pi a} \qquad m=1 \;,\; a = 0.4\,Cm \qquad (28-1$$

$$0.83 = 1 \times \sigma \sqrt{\pi \times 0.4 \times 10^{-2}} \quad : \sigma = 7.4\ MPa$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \Rightarrow F = \sigma A = 7.4 \times 20 \times 5 = 740\ N = 74\ kgf$$

$$50 + h(0.45) = 74 \rightarrow h \simeq 53$$

موسسه مواد شریف

۸۷/۲/۱۷ (F) حسنی

N: تعداد سیکل a: طول ترک

$\frac{da}{dN} = A(\Delta K)^B$ $\Delta K = m\Delta\sigma\sqrt{\pi a}$

$$\int_{a_0}^{a_f} da = \int_0^{N_f} A(m\Delta\sigma\sqrt{\pi a})^B dN \Rightarrow N_f = \frac{a_f^{1-\frac{B}{2}} - a_0^{1-\frac{B}{2}}}{(1-\frac{B}{2})A(\Delta\sigma)^B \pi^{\frac{B}{2}} m^B}$$

$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ (نکته 1) چون در سیکل فشاری ترک رشد نمی‌کند توان

$K_{IC} = m\Delta\sigma\sqrt{\pi a_f}$ (نکته 2) a_f از رابطه‌ی K_{IC} بدست می‌آید

(نکته 3) واحد $\Delta\sigma$ همان واحد K است.

$K_{IC} = m\Delta\sigma\sqrt{\pi a}$: $75 = 1.12 \times 400\sqrt{\pi a_f}$ (16-2

$\rightarrow a_f = 8.92^{mm}$ $B = 4$

$$N_f = \left[(8.92\times10^{-3})^{1-4/2} - (5\times10^{-3})^{1-\frac{4}{2}}\right] / \left[(1-\frac{4}{2}) \times 4\times10^{37} \times (400\times10^6)^4 \times \pi^{4/2} \times (1.12)^4\right]$$

$\rightarrow N_f = 552$ cycle

اگر هر دو تنش کششی بودند

سؤال باید ΔK را می‌داد

$\Delta K = m\Delta\sigma\sqrt{\pi a} = 1\times180\sqrt{\pi\times0.001}$ (17-2

ΔK را در رابطه قرار می‌دهیم.

$d = 6(\frac{K}{E})^2 = 6(\frac{56.14}{210\times10^3})^2 = 0.9\,mm$ $\sigma_{max} = 224$ MPa (18-2

$K = m\sigma_{max}\sqrt{\pi a} = 1\times224\sqrt{\pi\times0.02} = 56.14$ MPa$\sqrt{m}$

$t = \frac{9-7}{2} = 1^{Cm}$

$K_{IC} = m\sigma\sqrt{\pi a}$

$\begin{cases}\sigma_{max} = \frac{Pr}{t} = \frac{75\times3.5}{1} = 262.5^{MPa} \\ \sigma_{min} = 0\end{cases}$ (19-2

$= 1.12 \times \frac{2}{\pi} \times 262.5\sqrt{\pi a_f} \rightarrow a_f = 0.52^{Cm}$

موسسه مواد شریف

۹۷/۲/۱۷ (۵)

$$N_f = \frac{(0.52\times10^{-2})^{1-\frac{4}{2}} - (0.25\times10^{-2})^{1-\frac{4}{2}}}{(1-\frac{4}{2})\times 5\times10^{-39}\times(262.5\times10^{6})^{4}\times\pi^{\frac{4}{2}}\times(1.12\times\frac{2}{\pi})^{4}}$$

$$= 3.42\times10^{6} \text{ cycle}$$

$\sigma_{min}=0$ $\sigma_{max}=180$ (22_2

$m=4$ ⟸ دارد ΔK با r_y رابطه‌ی توان ۲

$$\frac{da}{dN} \propto r_y^{2} \qquad r_y \propto \Delta K^{2}$$

$\sigma_{max}-\sigma_{min}=200$ $R=\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}=0.1$ (24_2

$\sigma_{max}=222$ MPa $\sigma_{min}=22$ MPa

ΔK_{th} طول ترک از min بدست می‌آید.

$$\Delta K_{th} = m\Delta\sigma\sqrt{\pi a_{th}}$$ فرض: ترک مرکزی

$$\hookrightarrow 4 = 1\times200\sqrt{\pi a_{th}} \rightarrow a=0.127 \rightarrow 2a=0.254\ mm$$

می‌توان تشخیص داد.

← در فرمول N_f، $\Delta\sigma$ را عددی دهم.

a_0 را ۳۰ می‌کنیم. a_f را از K_{Ic} بدست می‌آوریم. (27_2

$$30 = 1.12\times(100-50)\sqrt{\pi a_f} \quad : a_f = 9\ cm$$

$$N_f = \frac{(9\times10^{-2})^{1-\frac{4}{2}} - (a_0)^{1-\frac{4}{2}}}{(1-\frac{4}{2})\times5\times10^{-35}\times(50\times10^{6})^{4}\times\pi^{\frac{4}{2}}\times1.12^{4}}$$

$\rightarrow a_0 = 5.55mm$

با حدس $1mm$ می‌توان تشخیص داد نه $1cm$.

موسسه مواد شریف

۱۷/۲۱۷ (۲)

(12-2

$$d = 6\left(\frac{K}{E}\right)^2 \qquad K = m\sigma\sqrt{\pi a}$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\sigma_2^2 a_2}{\sigma_1^2 a_1}$$

$$\frac{a_2}{a_1} = 2 \qquad \frac{d_2}{d_1} = \frac{10^{-3}}{2\times10^{-4}} \quad \therefore \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1.6$$

$$1 + \frac{\Delta\sigma}{\sigma_1} = 1.6 \rightarrow \Delta\sigma = 0.6\,\sigma_1 \quad \therefore 60\,\%$$

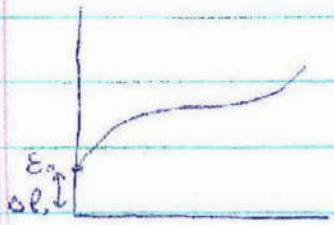
موسسه مواد شریف

۸۷/۱۲/۳۱ — تمرین خزش — حل تمرین مکانیکی

۱) نمودار سنتزی II خزش را آورده و تمرین مرحله همین مرحله است

$\sigma = 70\ MPa \rightarrow \dot{\varepsilon} = 4\times10^{-2}\ \%/1000hr \xrightarrow{\times t} \varepsilon = 4\times10^{-2}\times10^{-2}\times10^{-3}\times10^{4}$

$\rightarrow \varepsilon_{II} = 4\times10^{-3}$ — تغییر طول مرحله‌ی دوم را می‌خواهیم (Δl_{II})



$\varepsilon_{II} = \ln\frac{l_2}{l_1} = \ln\frac{1015+1.33+\Delta l_{II}}{1015+1.33}$

$\rightarrow \Delta l_{II} = 4.07\ mm$

$\rightarrow \Delta l_t = \Delta l_0 + \Delta l_{II} = 1.33 + 4.07 = 5.4\ mm$

ب) برعکس حالت اول است.

$\varepsilon_{II} = \ln\frac{635+6.4}{635+1.8} = 7.19\times10^{-3}$

$\dot{\varepsilon}_s = \frac{\varepsilon_{II}}{t} = \frac{7.19\times10^{-3}}{5000} = 1.43\times10^{-6}\ 1/h = 0.143\ \%/1000h$

$\rightarrow \sigma \sim 40\ MPa \qquad F = \sigma A_f$

$V_0 = V_f \quad A_0 l_0 = A_f l_f \rightarrow \frac{\pi}{4}(19.05)^2\times635 = A_f\times(635+6.4)$

$\rightarrow A_f = 282\ mm^2 \qquad \rightarrow F = 40\times282 = 11.28\ KN$

ج) عکس شیب خط $n = \dots$

$\dot{\varepsilon}_s = K\sigma^n \rightarrow \log\dot{\varepsilon} = \log K + n\log\sigma$

$\rightarrow \log\sigma = \frac{-1}{n}\log K + \frac{1}{n}\dot{\varepsilon}_s$

$\frac{\dot{\varepsilon}_{s\,II}}{\dot{\varepsilon}_{s\,I}} = \exp\left(-\frac{Q}{R}\left(\frac{1}{T_{II}} - \frac{1}{T_I}\right)\right)$ — $T_I = 538+273$, $T_{II} = 427+273$

↓ از روی نمودار $\simeq 100$ $\rightarrow Q = \dots$

موسسه مواد شریف

1- n از روی شیب نمودار بدست می‌آید.

$$\dot{\varepsilon}_s = 3\times10^{-5}\times(55)^{n}\exp\left(-\frac{Q}{8.314\times(649+273)}\right)$$

2) الف- از روی نمودار $\leftarrow$ $t = 10^4\ hr$

$$\sigma = 70\ MPa \rightarrow f = 70\times\frac{\pi}{4}(19.1)^2 \simeq 20\ KN$$

3

$$\dot{\varepsilon} = K\sigma^{n}\exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

$$2.5\times10^{-3} = K(55)^{n}\exp\left(-\frac{140.000}{8.314\times(200+273)}\right)$$

$$2.4\times10^{-3} = K(69)^{n}\exp\left(-\frac{140000}{8.314\times(200+273)}\right)$$

$$\rightarrow n = 9.97 \qquad K = 3.2\times10^{-5}$$

$$\dot{\varepsilon}_s = 3.2\times10^{-5}\times(48)^{9.97}\exp\left(-\frac{140000}{8.314\times(250+273)}\right)$$

$$\rightarrow \dot{\varepsilon}_s = 19.23\times10^{-3}\ 1/h$$

4

$$\dot{\varepsilon} = K\sigma^{n}\exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

$$\ln\frac{\dot{\varepsilon}_2}{\dot{\varepsilon}_1} = -\frac{Q}{R}\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_1}\right) \rightarrow \ln\frac{8.8\times10^{-2}}{6.6\times10^{-4}} = -\frac{Q}{8.314}\left(\frac{1}{1200}-\frac{1}{1090}\right)$$

$$\rightarrow Q = 4.83\ kJ/mol \qquad 6.6\times10^{-4} = K(140)^{8.5}\exp\left(-\frac{4.83\times10^{3}}{1090\times8.314}\right)$$

$$\rightarrow K = 6.47\times10^{-16} \rightarrow \dot{\varepsilon}_s\Big|_{T=1300} = 8.49\ 1/K$$