



## Fracture, Fatigue and Creep

Document Type: Home Works, 2020



Semnan university

مرجع: دکتر حسینی تهرانی، دانشگاه علم و صنعت

۱) (الف) مکانیزم‌های شکست micro-void coalescence، micro-cleavage و striation را شرح دهید. (ب) کدام یک از مکانیزم‌های ذکر شده فقط در بارگذاری سیکلی بوجود می‌آیند؟ توضیح دهید. (ج) سطح شکست، در هر حالت، چه ویژگی‌هایی دارد؟

۲) (الف) عوامل موثر بر میزان عمر خستگی در خستگی پرچرخه و کم‌چرخه را توضیح دهید. (ب) آیا عاملی وجود دارد که بر میزان عمر، هم در خستگی کم‌چرخه و هم در خستگی پرچرخه موثر باشد؟

۳) مزایا و معایب مدل عمر خستگی "کرنش-عمر" نسبت به مدل عمر خستگی "تنش-عمر" چیست؟

۴) یک میله فولادی به قطر ۲ اینچ از فولاد ۱۰۴۰ که سطح کاملاً صیقلی دارد، دارای استحکام تسلیم ۷۵ (ksi) تحت بار محوری سیکلی با دامنه ثابت قرار دارد. مقادیر زیر را با استفاده از مدل‌های مناسب محاسبه کنید. (الف) حد خستگی ( $S_f$ )، (ب)  $S_m$  و  $S_a$  با فرض  $R=0$  برای ۱۰۰۰۰ سیکل و (ج) آیا در این حالت تسلیم اتفاق می‌افتد؟

۵) ابتدا روابط زیر را بطور کامل توضیح دهید. سپس رابطه (\*) را بدست آورید.

$$\sigma_a = (\sigma'_f - \sigma_m)(2N_f)^b$$

$$\sigma_a = \sigma'_f(2N_f)^b$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma'_f}{E}(2N_f)^b + \varepsilon'_f(2N_f)^c$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma'_f - \sigma_m}{E}(2N_f)^b + \varepsilon'_f \left( \frac{\sigma'_f - \sigma_m}{\sigma'_f} \right)^{b/c} (2N_f)^c \quad (*)$$



## Fracture, Fatigue and Creep

Document Type: Home Works, 2020



مرجع: دکتر ادیب نظری، دانشگاه صنعتی شریف

۶) پنج حالت خرابی احتمالی برای سازه‌های هواپیما یا سازه‌های دریایی یا توربین‌ها یا MEMS نام برده و توضیح دهید. نوع و محل اثر آن‌ها را مشخص کنید.

۷) هر یک از قطعات زیر را بر اساس معیارهای عمر نامحدود، عمر مطمئن، واماندگی ایمن و تحمل آسیب، طراحی کنید. ضمناً کدام یک از مدل‌های تحلیل خستگی، برای هر یک از موارد فوق، مناسب‌تر است؟ توضیح دهید.  
(الف) دنده فرود هواپیما، (ب) تیرهای طولی بال (Wing Spars)، (ج) شفت توربین، (د) ستون توربین بادی، (ه) بدنه بیرونی کشتی

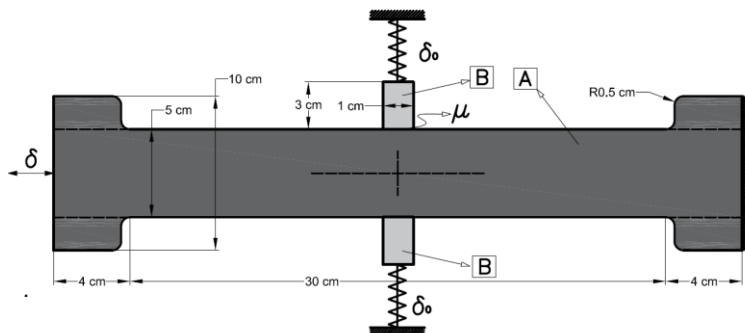
۸) با استفاده از استاندارد ASTM، شرایط و نمونه آزمون برای آزمون خستگی نیرو-کنترل (E466) و کرنش-کنترل (E606) را طراحی کنید.

۹) پدیده خستگی سایشی (fretting-fatigue)، یک فرایند سایش است که در ناحیه تماس بین دو ماده تحت بار و در معرض حرکت‌های ارتعاشی یا نیروهای دیگر اتفاق می‌افتد. استانداردها و دستگاه‌های آزمون خستگی سایشی را جست‌وجو کنید. یک طرح اولیه از دستگاه آزمون خستگی سایشی را طراحی کرده و شماتیک آن را ترسیم نمایید.

۱۰) قطعات A و B از آلیاژ منیزیم Al2024-T3 ساخته شده‌اند و ضخامت آن‌ها، یکسان و برابر است ( $t_0=0.5$  cm). فنر متصل شده به قطعه B دارای سختی  $k=10$  kN/m است و به اندازه  $\delta_0=5$  cm فشرده می‌شود. ضریب اصطکاک ( $\mu$ ) بین قطعات A و B برابر ۰.۸ است. قطعه A در معرض جابجایی سیکلی قرار دارد که جابجایی آن با معادله زیر تغییر می‌کند:

$$\delta = 25 \sin\left(\frac{2\pi}{5} t\right)$$

عمر قطعه A را با استفاده از یک نرم‌افزار اجزای محدود که قادر به پیش‌بینی رشد ترک می‌باشد، بدست آورید. سپس عمر قطعه A را بدون وجود قطعه B بدست آورید و نتایج را با حالت قبلی مقایسه کنید.



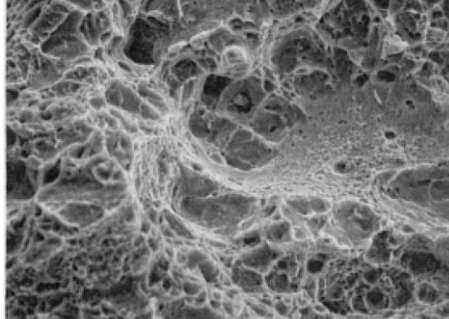


# Fracture, Fatigue and Creep

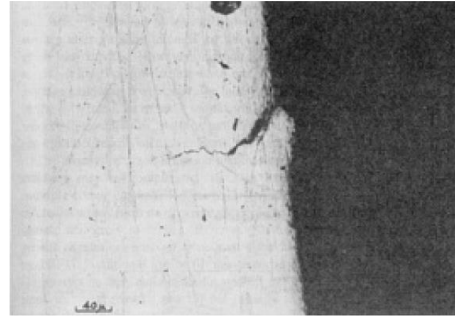
Document Type: *Home Works, 2020*



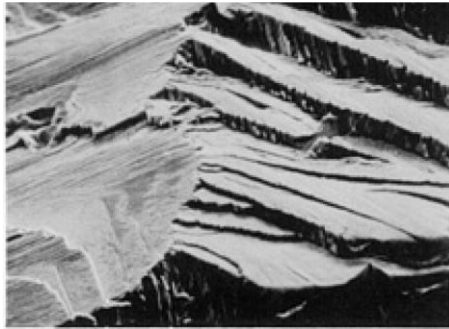
(۱۱) هر یک از تصاویر زیر را توضیح دهید که چه نوع اثری از شکست را نمایش می‌دهند.



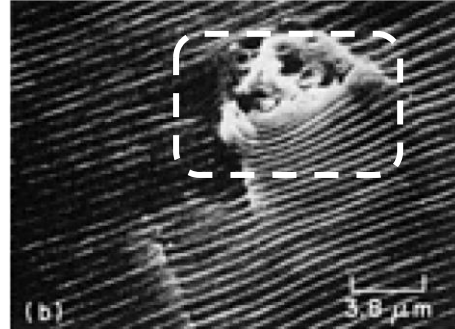
(ب)



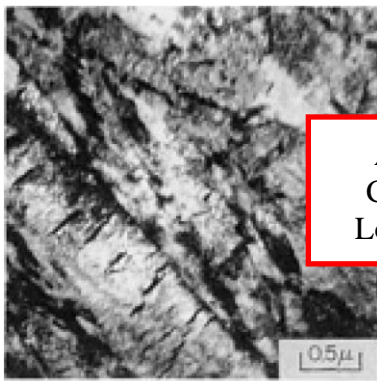
(الف)



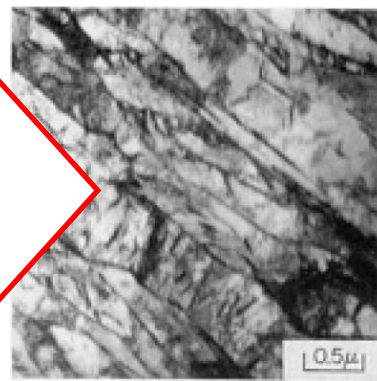
(د)



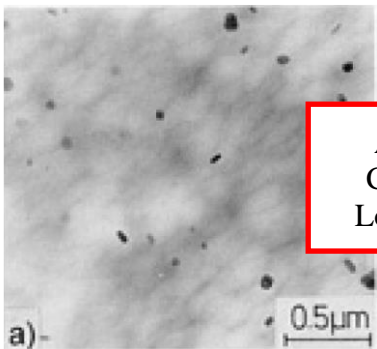
(ج)



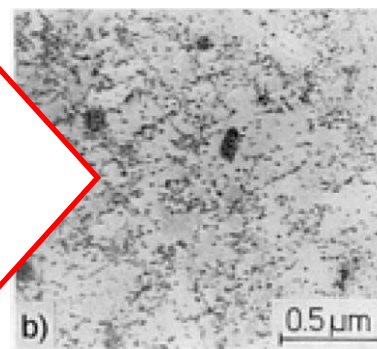
(e)



After  
Cyclic  
Loading



(g)



After  
Cyclic  
Loading



## Fracture, Fatigue and Creep

Document Type: Home Works, 2020



Semnan university

۱۲) نمودار لگاریتمی نرخ رشد ترک بر حسب شدت تنش  $(\log(da/dN)-\log(\Delta K))$  را برای معادلات متناظر برای خصوصیات سرعت رشد ترک خستگی (در ناحیه دوم) برای مواد مختلف که در جدول زیر ارائه شده است، در صورتی که  $10^{-8} \left(\frac{m}{cycle}\right) \leq \frac{da}{dN} \leq 10^{-5} \left(\frac{m}{cycle}\right)$  رسم کنید. در مورد تفاوت این نتایج، برای مواد مختلف درج شده در جدول، بحث کنید.

جدول ۲: خصوصیات سرعت رشد ترک خستگی برای مواد مختلف

نوع ماده	شیب (n)	محل تقاطع A (m/cycle)	محل تقاطع A (in/cycle)
فولادهای فریت-پرلیت	۳/۰۰	$۶/۹ \times 10^{-۱۲}$	$۳/۶ \times 10^{-۱۰}$
فولادهای مارتنزیت	۲/۲۵	$۱/۴ \times 10^{-۱۲}$	$۶/۶ \times 10^{-۹}$
فولادهای ضد زنگ آستنیت	۳/۲۵	$۵/۶ \times 10^{-۱۲}$	$۳/۰ \times 10^{-۱۰}$
آلومینیوم کار شده 7075-T6	۳/۷۰	$۲/۷ \times 10^{-۱۱}$	$۱/۵ \times 10^{-۹}$
آلومینیوم ریخته‌گری A356-T6	۱۱/۲۰	$۱/۵ \times 10^{-۴۰}$	$۷/۸ \times 10^{-۱۹}$
تیتانیوم نورد آنیل شده Ti-6-4	۳/۲۰	$۱/۰ \times 10^{-۱۱}$	$۵/۲ \times 10^{-۱۰}$
تیتانیوم نورد آنیل شده Ti-62222	۳/۲۰	$۲/۳ \times 10^{-۱۱}$	$۱/۲ \times 10^{-۹}$
منیزیم ریخته‌گری AZ91E-T6	۳/۹۰	$۱/۸ \times 10^{-۱۰}$	$۹/۴ \times 10^{-۹}$



## Fracture, Fatigue and Creep

Document Type: Home Works, 2020



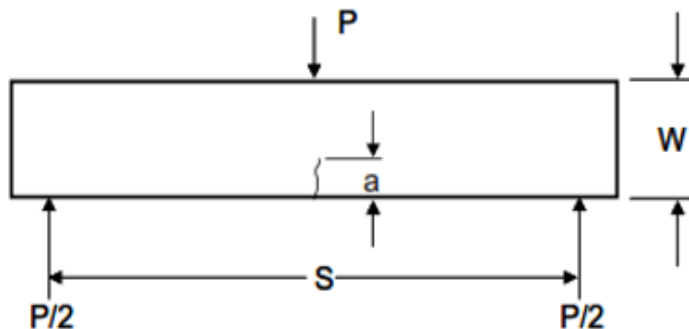
مرجع: دکتر نخودچی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۱۳) در نظر است که تعدادی ورق فولادی را به عنوان فنر صفحه‌ای استفاده شود. این فنرها قرار است تحت بارگذاری بین صفر و حداکثر تنش ( $R=0$ )، تحت بار خمشی قرار گیرند. ابعاد ورق‌ها  $1.5 \times 1.5 \times 0.192$  (inch) می‌باشد. نیمی از این ورق‌ها، تحت عملیات حرارتی اولیه و نیمی دیگر شات-پین (shot-pinned) شده‌اند تا تنش پسماند در آن بوجود آید. بر اساس مشخصات ماده در جدول زیر، عمر کدام یک بیشتر خواهد شد؟

جدول ۳: خصوصیات دو ماده برای ورق‌های مورد مطالعه

نوع ماده	ورق‌های عملیات حرارتی شده	ورق‌های شات-پین شده
Hardness (BHN)	۴۶۵	۴۷۵
Residual surface stress (ksi)	صفر	-۸۰
Modification size factor	۰/۹۴	۰/۹۴
Modification surface roughness factor	۰/۷۵	۰/۵۸

۱۴) یک تیر با سه نقطه درگیر مطابق شکل زیر و با نسبت طول به عرض ۴، برای اندازه‌گیری چقرمگی شکست در یک نمونه فولادی استفاده می‌شود که انتظار می‌رود، دارای چقرمگی شکست  $K_c = 75 \text{ ksi-in}^{0.5}$  باشد. چنانچه عرض تیر ۲ اینچ و ضخامت آن ۰.۵ اینچ باشد و طول ترک ۱ اینچ باشد، (الف) مقدار نیرو را تعیین کنید که می‌تواند باعث شکست نمونه گردد. (ب) نمونه را در یک نرم‌افزار اجزای محدود مدل‌سازی نمایید و مشخص نمایید که در اثر نیروی محاسبه شده، مقدار  $K_c$  چقدر است؟





## Fracture, Fatigue and Creep

Document Type: *Home Works, 2020*



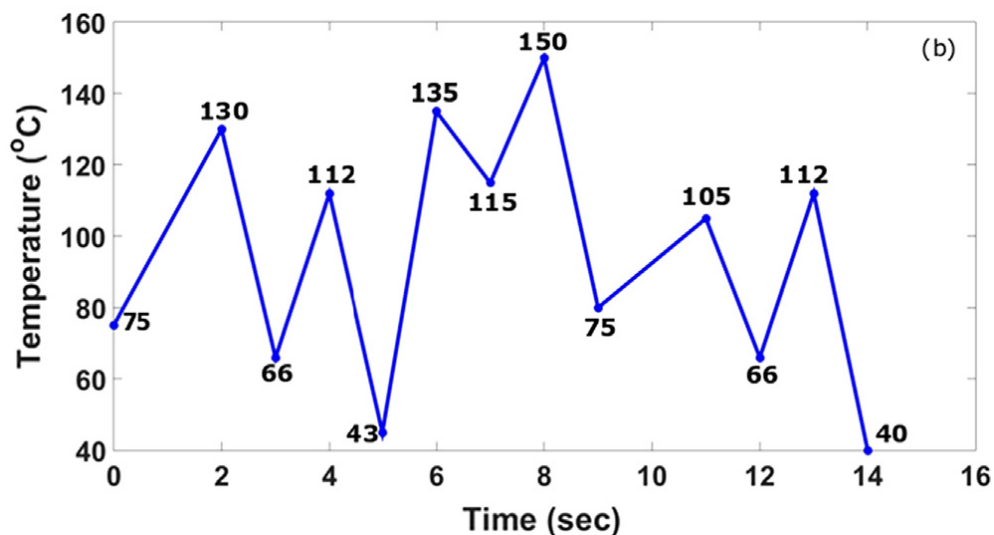
مرجع: دکتر آزادی و مهندس داداشی، دانشگاه سمنان

۱۵) با استفاده از استاندارد ASTM و یا COP، نمونه و شرایط آزمون برای آزمون‌های خستگی ترمومکانیکی (TMF) نیرو- کنترل و کرنش- کنترل را طراحی کرده و توضیح دهید.

۱۶) راه‌های تجربی برای اندازه‌گیری ضریب انبساط حرارتی در مواد جستجو کنید و با آزمون نیرو- صفر در بارگذاری خستگی ترمومکانیکی مقایسه کنید.

۱۷) مدل‌های ارائه شده برای تخمین سه مورد (الف) عمر خزشی، (ب) کرنش خزشی و (ج) نرخ کرنش خزشی در مواد را جستجو کنید.

۱۸) به روش شمارش سیکل جریان باران (Rain-flow)، تعداد نیم‌سیکل رخ داده، در تاریخچه بارگذاری دمایی زیر را مشخص کنید. ضمناً دامنه دما و میانگین دما را در هر نیم‌سیکل، محاسبه نمایید. آیا فاصله داده برداری بر نتایج فوق تاثیرگذار است؟





## Fracture, Fatigue and Creep

Document Type: *Home Works, 2020*



Semnan university

مرجع: دکتر فاطمی، دانشگاه ممفیس

۱۹) کدامیک از انواع واماندگی می‌تواند برای اجزای زیر بوجود آید؟

الف) مجموعه محور و چرخ‌دنده هلیکال

ب) پروانه موتور کشتی

ج) فرمان دوچرخه کوهستان

د) ارابه چرخ فرود هواپیما

ه) شاتون موتور خودرو

و) کلید در ورودی خانه

ز) منیفولد دود موتور خودرو

۲۰) برای چهار قطعه زیر، کدام الگوی عمر خستگی را پیشنهاد می‌کنید؟ ( $S-N$ ،  $\epsilon-N$ ،  $da/dN-\Delta K$  و ...)

الف) محور خودرو بدون تمرکز تنش

ب) چرخ دنده‌ای تحت بار اضافی

ج) قطعه تخت (ورق) با ترک لبه‌ای

د) صفحه با اتصال پرچی مانند بال هواپیما

توضیح دهید که چرا یک الگوی عمر خستگی خاص برای هر یک از این چهار مورد، انتخاب کرده‌اید؟

۲۱) برای هر یک از موارد زیر کدام معیار طراحی مناسب است؟ چرا؟

الف) مفصل اندام مصنوعی جایگزین

ب) پره توربین موتور هواپیما

ج) پایه عقبی صندلی در خودرو

د) محور جلویی موتور سیکلت

ه) خطوط لوله نفت

۲۲) مدت زمان لازم برای اجرای آزمون خستگی طی  $10^6$  و  $10^8$  سیکل، با فرکانس‌های بارگذاری ۱ Hz، ۲۰ Hz و ۱۵۰ Hz را حساب کنید.



## Fracture, Fatigue and Creep

Document Type: Home Works, 2020



۲۳) تعداد سیکل‌هایی را که قطعات زیر، در طول عمرشان بایستی تحمل کنند، تخمین بزنید.

الف) محور پدال یک دوچرخه

ب) فنر سوپاپ موتور خودرو

ج) کلید لامپ یک خانه

د) پدال ترمز خودرو

۲۴) از روی داده‌های تجربی فولاد AISI-1090 ( $R = -1$ ) که در جدول ۴ آمده است، دو نمودار  $S-N$ ، یکی با استفاده از مقیاس لگاریتمی و دیگری با استفاده از مقیاس خطی، رسم کنید. هر کدام از این دو مقیاس چه مزایا و معایبی دارند؟ با استفاده از نمودار لگاریتمی متوسط موارد زیر را محاسبه کنید.

الف) حد دوام خستگی

ب) استحکام خستگی در  $5 \times 10^5$  سیکل

ج) عمر خستگی در  $S_a = 260$  MPa

جدول ۴: داده‌های تجربی فولاد AISI-1090

$S_a$ (MPa)	تعداد سیکل‌ها تا واماندگی	$S_a$ (MPa)	تعداد سیکل‌ها تا واماندگی
۳۴۰	$15 \times 10^3$	۲۵۰	$301 \times 10^3$
۳۰۰	$24 \times 10^3$	۲۳۵	$290 \times 10^3$
۲۹۰	$36 \times 10^3$	۲۳۰	$361 \times 10^3$
۲۷۵	$80 \times 10^3$	۲۲۰	$881 \times 10^3$
۲۶۰	$177 \times 10^3$	۲۱۵	$1/3 \times 10^6$
۲۵۵	$162 \times 10^3$	۲۱۰	$2/5 \times 10^6$

توجه داشته باشید که تنش‌های کمتر از ۲۰۵ مگاپاسکال در سیکل‌های بیشتر از  $10^7$  واماندگی ندارند.

۲۵) یک میله صاف تحت بار محوری، با مقدار حداقل فشار ۳۵ مگاپاسکال، قرار گرفته است. اگر در شرایط بارگذاری کاملاً عکس شونده ( $R = -1$ )، مقادیر  $S_u = 500$  MPa،  $S_f = 220$  MPa و  $\sigma_f = 700$  MPa باشد، با استفاده از معیارهای گودمن اصلاح شده و مارو، تنش کششی ماکزیمم که این میله می‌تواند بدون واماندگی تا  $10^6$  سیکل را تحمل کند، بدست آورده و نتایج دو مدل را مقایسه کنید.





## Fracture, Fatigue and Creep

Document Type: Home Works, 2020



Semnan university

۲۶) یک میله گرد بدون شیار، با قطر ۱۰ میلی‌متر تحت بار خمشی با دامنه ثابت  $S_m=200$  MPa و در دمای محیط قرار گرفته است. جنس میله از فولاد آلیاژی ۴۳۴۰ و با عملیات آبکاری و حرارتی می‌باشد که خواص آن شامل  $S_u=1240$  MPa،  $S_y=1170$  MPa و  $S_{y'}=1000$  MPa می‌باشد. اگر میله بطور تجاری صیقل کاری شده باشد، مقادیر  $S_a$ ،  $S_{max}$ ،  $S_{min}$  و  $R$  را برای طول عمر خستگی متوسط ۵۰۰۰۰ سیکل، بدون اینکه تسلیم رخ دهد، تخمین بزنید. ( $S_f=0.87 S_u$ )

۲۷) آزمون خستگی کاملاً معکوس شونده کرنش- کنترل، در یک فولاد آلیاژی با خواص  $E=216$  GPa، منجر به نتایج ذکر شده در جدول ۵ شده است.

جدول ۵: داده‌های آزمون خستگی برای فولاد آلیاژی

۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۶۰	۰/۰۱۰۰	۰/۰۱۵۰	۰/۰۲۰۰	دامنه کرنش، $\epsilon_a$
۳۳۰	۳۹۵	۴۸۰	۵۵۵	۶۲۵	۴۵۰	دامنه تنش در نیمه عمر، $\sigma_a$
۵۶۰۰۰۰	۲۶۰۰۰	۴۶۰۰	۱۱۰۰	۳۵۰	۲۰۰	تعداد سیکل تا واماندگی، $N_f$

الف) خصوصیات کرنش- عمر خستگی را برای این ماده بدست آورید.

ب) ضریب استحکام سیکلی،  $K'$  و توان سخت سوندگی کرنش سیکلی،  $n'$  را با استفاده از این اطلاعات محاسبه کرده و منحنی تنش- کرنش سیکلی را رسم کنید. نتایج را با مقادیر بدست آمده از معادلات مربوطه مقایسه کنید.

ج) حلقه هیستریزیس پایدار تنش- کرنش سیکلی را در دامنه کرنش ۰/۰۰۶ بدست آورده و رسم کنید.

۲۸) یک صفحه نازک و عریض از جنس فولاد SAE-1020 با عملیات نورد سرد در معرض بارهای سیکلیک تک محوری و با دامنه ثابت قرار گرفته است که در آن تنش اسمی متغیری از  $S_{max}=200$  MPa تا  $S_{min}=-50$  MPa ایجاد می‌کند. خواص برای این نوع فولاد عبارت از  $S_u=670$  MPa،  $S_y=630$  MPa و  $E=207$  GPa و  $K_c=104$  MPa(m)<sup>1/2</sup> است. عمر خستگی این قطعه با فرض برقرار بودن شرایط مکانیک شکست الاستیک خطی (LEFM) و با وجود ترک عمیق لبه‌ای به طول ۱ میلی‌متر در آن، چقدر است؟



## Fracture, Fatigue and Creep

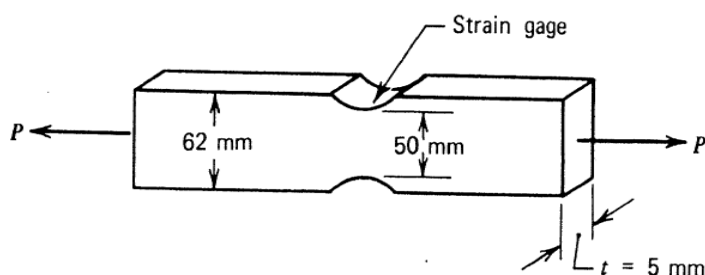
Document Type: Home Works, 2020



Semnan university

۲۹) هنگامی که مقدار باری به اندازه ۴۰ کیلونیوتن به یک عضو شیاردار نشان داده شده در شکل زیر وارد می‌شود، کرنش سنج مقدار ۰/۰۰۲ را در ریشه ترک نشان می‌دهد. این ماده، در کرنشی برابر با ۰/۰۰۲۵ تسلیم می‌شود. بار به گونه‌ای افزایش می‌یابد که هنگامی که به ۸۰ کیلونیوتن می‌رسد، کرنش سنج عدد ۰/۰۰۶۵ را نشان می‌دهد. بر این اساس، مقدار  $K_t$  را محاسبه کنید. همچنین  $K_\epsilon$  را محاسبه کرده و آن را با مقادیری که از قانون خطی، قانون نویر و قانون چگالی انرژی کرنشی بدست می‌آید، مقایسه کنید.

$$E=200 \text{ MPa}, n=0.1, K=950 \text{ MPa}, \nu=0.3$$



۳۰) پیشینه کرنش پیچشی و محوری با دامنه ثابت که به یک لوله جدار نازک اعمال می‌گردد، مانند شکل زیر، دوزنقه‌ای شکل می‌باشد.

الف) برای این پیشینه بارگذاری مسیر کرنش  $(\gamma_{xy}-\epsilon_x)$  را ترسیم کنید.

ب) آیا این بارگذاری متناسب یا غیر متناسب است؟

ج) لوله از جنس فولاد نورد گرم ۱۰۴۵ با خواص مکانیکی زیر بوده و پاسخ تنش حاصل در شکل زیر، آمده است. عمر خستگی مورد انتظار مطابق با تئوری ماکزیمم کرنش برشی و همچنین مدل صفحه بحرانی فاطمی - سوشی چقدر است؟

$$S_y=380 \text{ MPa}, G=80 \text{ GPa}, \tau'_f=505 \text{ MPa}, b_0=-0.097, \gamma'_f=0.413, c_0=-0.445, E=205 \text{ GPa}, \sigma'_f=948 \text{ MPa}, b=-0.092, \epsilon'_f=0.26, c=-0.445$$

