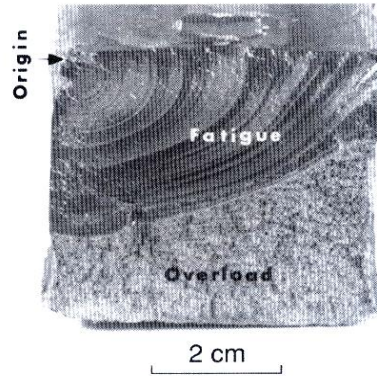
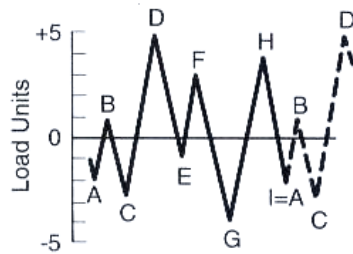


材料機械性質學
Exam. # 4 (06/17/2021)

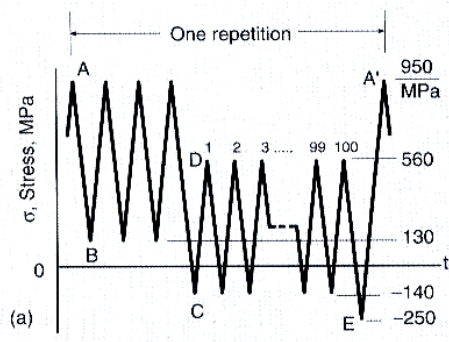
1. (10pts) 請說明 18 Mn 鋼疲勞破壞試件表面照片所提供的訊息。



2. (10pts) 何謂疲勞極限?當考慮鋼及鐵時, 它的疲勞極限和它的極限應力有何關聯?
3. (10pts) 請說明影響 S-N 曲線的因素。
4. (10pts) 請計算下圖中的不規則歷史圈數。

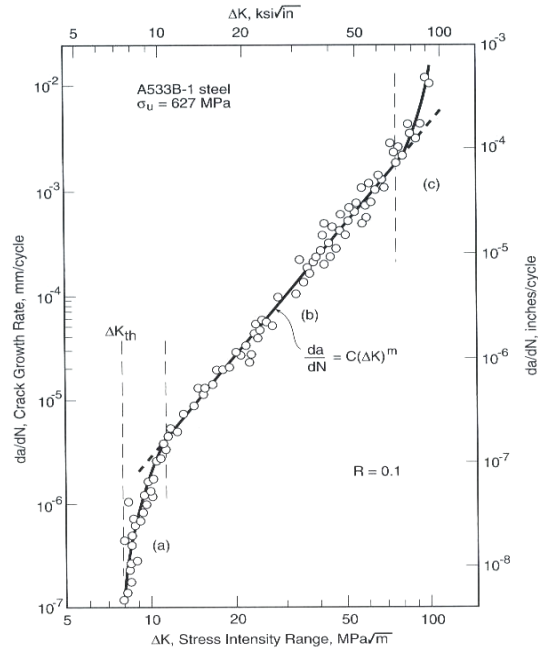


5. (25pts) 有一無凹槽 Ti-6Al-4V 鈦合金 ($\sigma'_f = 2030$ MPa 和 $b = -0.104$) 承受應力歷史如下圖所示, 估算多少次的大重複循環 B_f 會造成疲勞毀損? 請以 SWT 所提的方程式來計算平均應力的影響。



$$N_f = \frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{\sigma_{\max} \sigma_a}}{\sigma'_f} \right)^{1/b}$$

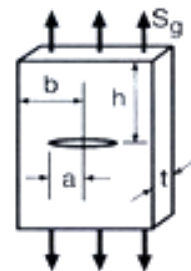
6. (10pts) 請說明下圖中 A533B-1 鋼的裂紋成長速率(da/dN)和應力強度因子範圍(ΔK) 雙對數(log-log)座標關係圖提供了何種訊息。



7. (25pts) 中央裂紋 AISI 4340 鋼板如下圖所示，其中 $b = 38 \text{ mm}$ 、 $t = 6 \text{ mm}$ 。若鋼板有一起始裂紋 $a_i = 1 \text{ mm}$ ，其承受張力-張力(tension-to-tension)負載，而最大及最小力量分別為 $P_{\max} = 240 \text{ kN}$ 及 $P_{\min} = 80 \text{ kN}$ 。至於 Walker 方程式中的所需的材料常數為： $C_o = 5.11 \times 10^{-10}$ 、 $m = 3.24$ 及 $\gamma = 0.42$ 。請計算：

(a) 預期毀損的裂紋長度 a_f 。

(b) 毀損前所承受的循環圈數。



$$\left(\frac{da}{dN} = \frac{C_o}{(1-R)^{m(1-\gamma)}} (\Delta K)^m \right)$$

$$F = \frac{1 - 0.5\alpha + 0.326\alpha^2}{\sqrt{1-\alpha}}$$

1. 由圖可知,其左上角為試件裂紋的起始處(crack initiation),接著起始處開始漸漸出現類似波浪狀的裂紋成長(crack growth),到達最後階段時試件無法承受負載而斷裂破壞(fracture)。

2. (1) 定義 = 當應力幅度小至某個值時,則疲勞壽命幾乎趨近一個很長的疲勞壽命(視為無限的疲勞壽命),則該應力幅度稱為疲勞極限(fatigue limit, σ_e or s_e)。

(2) 當極限應力小於一定值時,會滿足 $\frac{\sigma_{orb}}{\sigma_u} = \text{定值}$;若極限應力超過定值後,疲勞極限(σ_{orb})則保持在同一值,不再改變。

3. 影响 S-N 曲線的因素 =

a. 平均應力(σ_a) = $\frac{\sigma_a}{\sigma_u} \rightarrow N_f \downarrow$ (疲勞壽命)

b. 試件的凹槽有無 = 有凹槽試件比沒凹槽的 N_f 短

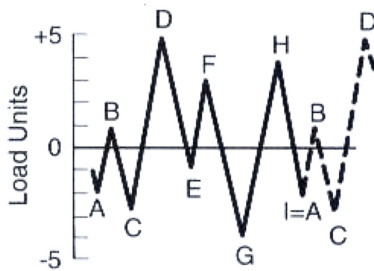
c. 凹槽的曲率半徑 = 曲率半徑較小凹槽試件比曲率半徑大者的 N_f 短

d. NaCl = 在 3% NaCl 的環境下實驗 $\Rightarrow N_f \downarrow$

e. 加載頻率 = 相同 T 下,加載頻率 $\uparrow \Rightarrow$ 材料硬化, $N_f \uparrow$

f. 溫度(T) = 相同加載頻率下, $T \uparrow \Rightarrow$ 材料軟化, $N_f \downarrow$

4.



① 由左波峰 D 開始找, E-F 循環週圈 = $\sigma_{max} = +3, \sigma_{min} = -1, range = 4, \sigma_m = +1 \#$

② 抽離 E-F, 碰到 A-B = $\sigma_{max} = +1, \sigma_{min} = -2, range = 3, \sigma_m = -0.5 \#$

③ 抽離 A-B, 碰到 H-I = $\sigma_{max} = +4, \sigma_{min} = -3, range = 7, \sigma_m = +0.5 \#$

④ 抽離 H-I, 剩下 D-G = $\sigma_{max} = +5, \sigma_{min} = -4, range = 9, \sigma_m = 0.5 \#$

$$5, A-B(3 \text{ 圈}) = \sigma_{\max} = 950 \text{ MPa}, \sigma_{\min} = 130 \text{ MPa}; C-D(100 \text{ 圈}) = \sigma_{\max} = 560 \text{ MPa}, \sigma_{\min} = -140 \text{ MPa};$$

$$A-E(1 \text{ 圈}) = \sigma_{\max} = 950 \text{ MPa}, \sigma_{\min} = -250 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \text{SWT 方程式} = Nf = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_{\max} - \sigma_a}{\sigma'_f} \right)^{1/b} \text{ and } \sigma'_f = 2030 \text{ MPa}, b = -0.104$$

cycle	j	Nj	σ_{\min}	σ_{\max}	σ_a	Nfj	Nj/Nfj
A-B	1	3	130	950	410	4.21×10^4	7.12×10^{-5}
C-D	2	100	-140	560	350	1.14×10^6	8.74×10^{-5}
A-E	3	1	-250	950	600	6.75×10^3	1.481×10^{-4}

$$\left. \begin{array}{l} 7.12 \times 10^{-5} \\ 8.74 \times 10^{-5} \\ 1.481 \times 10^{-4} \end{array} \right\} \Sigma = 3.068 \times 10^{-4}$$

$$\therefore B_f = 1 / \left[\Sigma \frac{N_j}{N_{fj}} \right] = \frac{1}{3.068 \times 10^{-4}} = 3260 \text{ repetitions \#}$$

6. (a) 為開始(threshold)較慢裂紋成長階段，當時的應力強度因子範圍為 ΔK_{th} ，

(b) 為中段裂紋成長階段時的 (da/dN) 和 (ΔK) 關係，

(c) 為後段不穩定裂紋快速成長階段。

由於大部分的疲勞壽命都集中在(b)階段，因此裂紋的疲勞壽命就只考慮此階段的狀態即可。

根據實驗的裂紋成長的(b)階段，裂紋成長速率 (da/dN) 和應力強度因子範圍 (ΔK) 可表示成：

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad (C \text{ 和 } m \text{ 為材料常數})$$

$$7. (a) \sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{2bt} = \frac{240 \times 10^3}{2 \times 38 \times 10^{-3} \times 6 \times 10^{-3}} = 526 \text{ MPa}$$

$$\text{let } \frac{af}{b} \leq 0.4 \rightarrow F=1$$

$$\rightarrow af = \frac{1}{10} \left(\frac{K_{IC}}{F \sigma_{\max}} \right)^2 = \frac{1}{10} \left(\frac{130 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}}{1 \times 526 \text{ MPa}} \right)^2 = 0.0194 \text{ (m)} = 19.4 \text{ (mm)}$$

$$\Delta \text{ check} = \frac{af}{b} = \frac{19.4}{38} = 0.51 \leq 0.4 \text{ (不)} \quad \therefore \text{由內插法求 } F \text{ 的值}$$

$$\textcircled{1} \text{ when } a = 15 \text{ mm}, \alpha = \frac{a}{b} = 0.395, F = \frac{1 - 0.5\alpha + 0.326\alpha^2}{1 - \alpha} = 1.097, K_{\max} = F \sigma_{\max} \sqrt{\pi a} = 125.3 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$\textcircled{2} \text{ when } a = 16 \text{ mm}, \alpha = 0.421, F = 1.114, K_{\max} = 131.3 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$\Rightarrow \text{得 } a = 15.8 \text{ mm}, \alpha = 0.416, F = 1.11, K_{\max} = 130.1 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \quad \therefore af = 15.8 \text{ (mm)} \#$$

(因空間不足，所以 7. (b) 在下一頁)

$$7. (b) R = \frac{S_{min}}{S_{max}} = \frac{P_{min}}{P_{max}} = \frac{80}{240} = \frac{1}{3}$$

$$C = \frac{C_0}{(1-R)^{m(1-\gamma)}} = \frac{5.11 \times 10^{-10}}{(1-1/3)^{3.24(1-0.42)}} = 1.095 \times 10^{-9} \left(\frac{\text{mm/cycle}}{(\text{MPa}\sqrt{\text{m}})^m} \right)$$

$$\Delta S = S_{max}(1-R) = 526 \times (1-\frac{1}{3}) = 350.67 \text{ MPa}$$

$$1 - \frac{m}{2} = 1 - \frac{3.24}{2} = -0.62$$

$$\Rightarrow N_{if} = \frac{a_f^{(1-m/2)} - a_i^{(1-m/2)}}{C(F\Delta S\sqrt{\pi})^m(1-m/2)} = \frac{(0.0158)^{-0.62} - (0.001)^{-0.62}}{1.095 \times 10^{-9} (\underbrace{1.03}_{\text{取 } F=1.03} \times 350.67)^{3.24} \times (-0.62)} = 10500 \text{ 圈}$$