CH8.Failure

基本概念

1.Simple fracture→應力為靜態，且在比熔點還低的溫度下，物體分成多塊

先只討論單軸拉伸，依據經歷的塑性變形，可分為 brittle、ductile 兩種破裂型式

2.任何 fracture process 有 2 個步驟

→crack 形成

→propagation→與 fracture mode 很有關係

3.**延性破裂**→extensive plastic deformation in the vicinity(附近) of an advancing crack→慢→stable，意即除非應力增加，會抵擋進一步 crack 擴張

4.**脆性破裂**→crack 擴張很快，且沒啥塑變→unstable，一但發生不需再額外加應力

*延性較討喜

脆性破壞比延性破壞常見!(延性破壞有大量塑性變形，好預防，也可提前換零件)

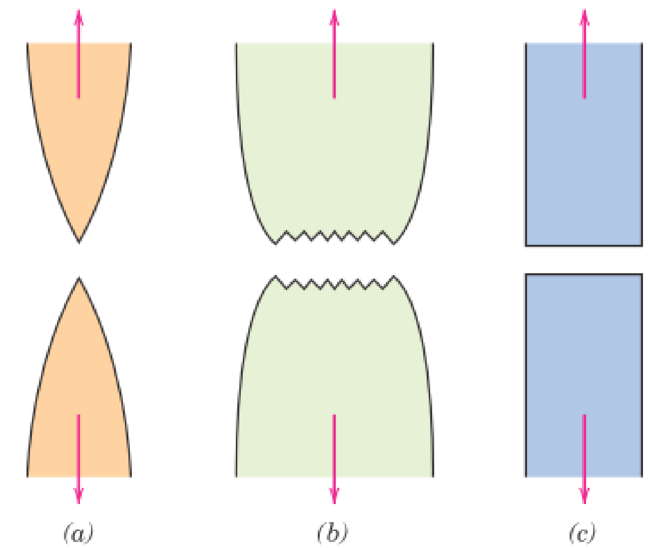


Figure 8.1 (*a*) Highly ductile fracture in which the specimen necks down to a point. (*b*) Moderately ductile fracture after some necking. (*c*) Brittle fracture without any plastic deformation.

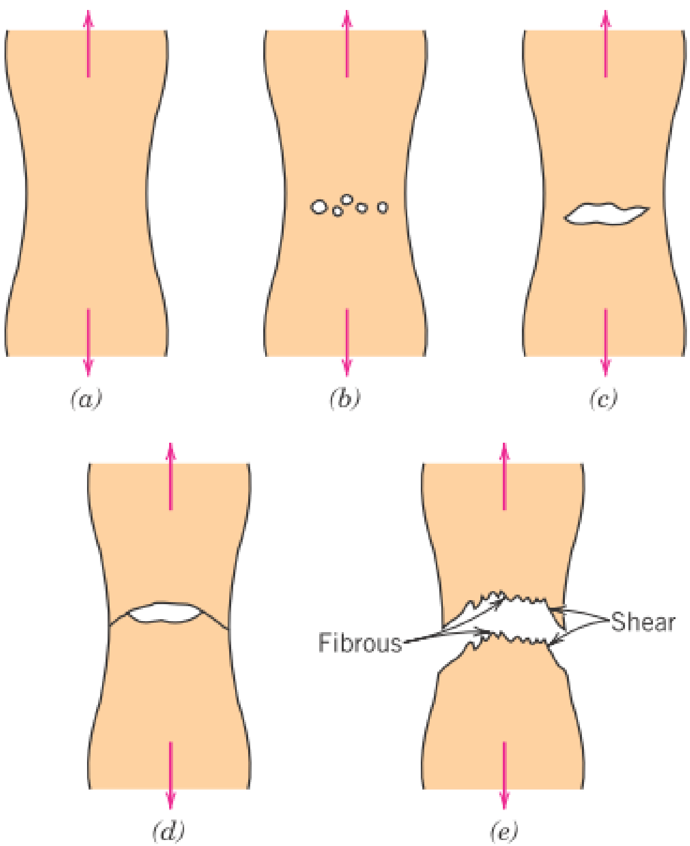


Figure 8.2 Stages in the cup-and-cone fracture. (*a*) Initial necking. (*b*) Small cavity formation. (*c*) Coalescence of cavities to form a crack. (*d*) Crack propagation. (*e*) Final shear fracture at a 45° angle relative to the tensile direction. (From K. M. Ralls, T. H. Courtney, and J. Wulff, *Introduction to Materials Science and Engineering*, p. 468. Copyright © 1976 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

$\boxed{\text{延性破壞三階段}}$

1.necking，cavities form

2.cavities coalescence，form crack，propagates toward 試片表面，方向垂直施加應力方向

3.crack 達表面，45^{o}，**cup-and-cone**

$\boxed{\text{脆性破壞三階段}}$

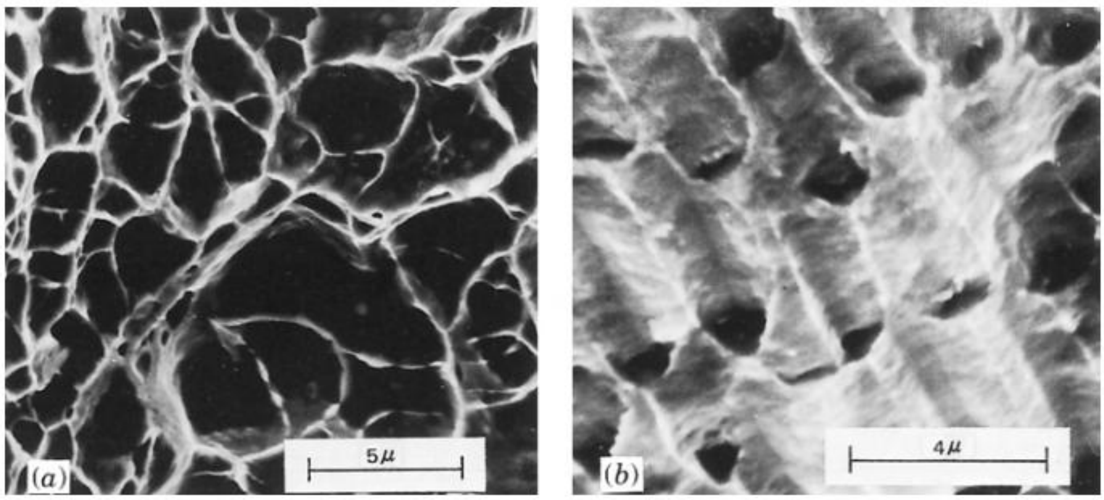
1.由於塑性變形，差排在 slip plane 聚集

2.差排受阻的地方 shear stress 增加，microcracks are nucleated

3. microcracks 由於 shear stress 的增加，和儲存的彈性應變能，而 propagate

Fractographic→破裂機構的研究→通常使用 SEM，因為比光學顯微鏡有更好的解析度和景深→可延究 fracture mode、應力態、site of crack initiation

當觀察 fibrous central region of a <u>cup-and-cone</u> fracture，可以看到很多<u>球 dimple</u>，這是單軸拉伸破壞的特徵!



*看到圖要知道這是在研究 fracture!

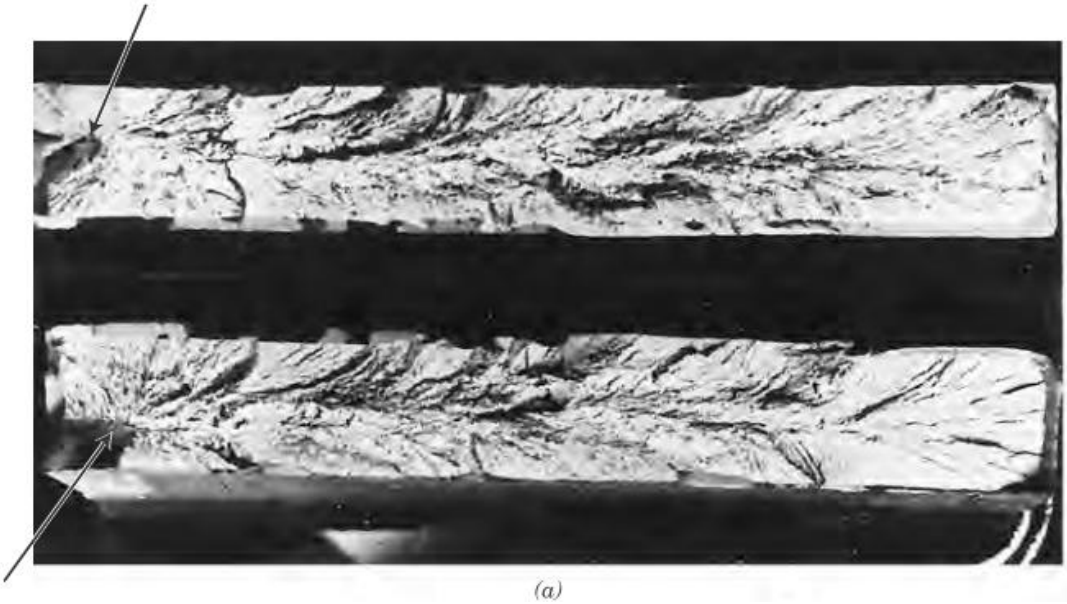
延性破壞的表面特徵

Dull、fibrous、cup-and-cone

脆性破壞的特徵

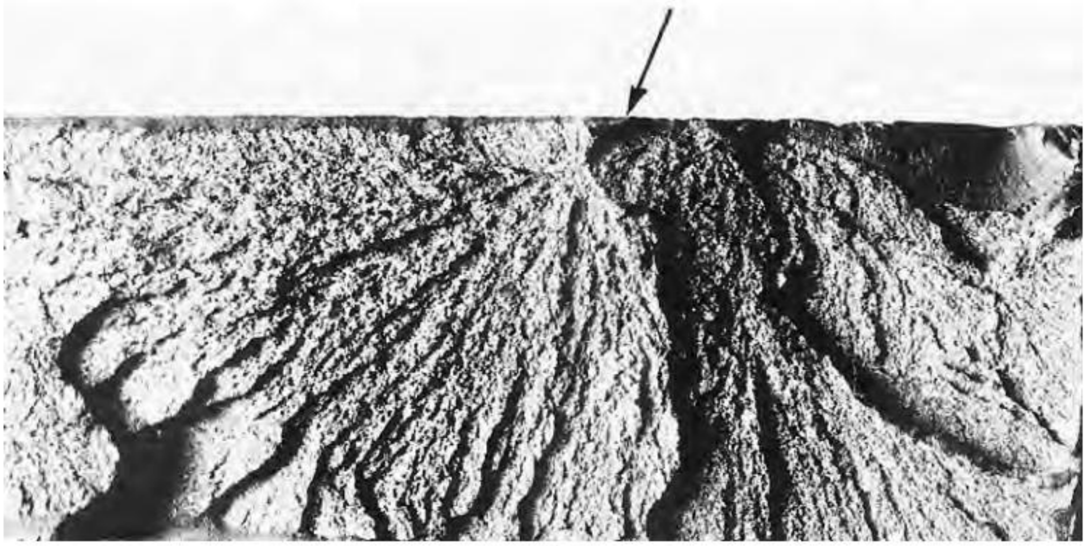
Shinny with flat

V-shaped chevron→再 center of the fracture cross section 產生，並向後指出裂縫起始位置(箭頭處)



(a)

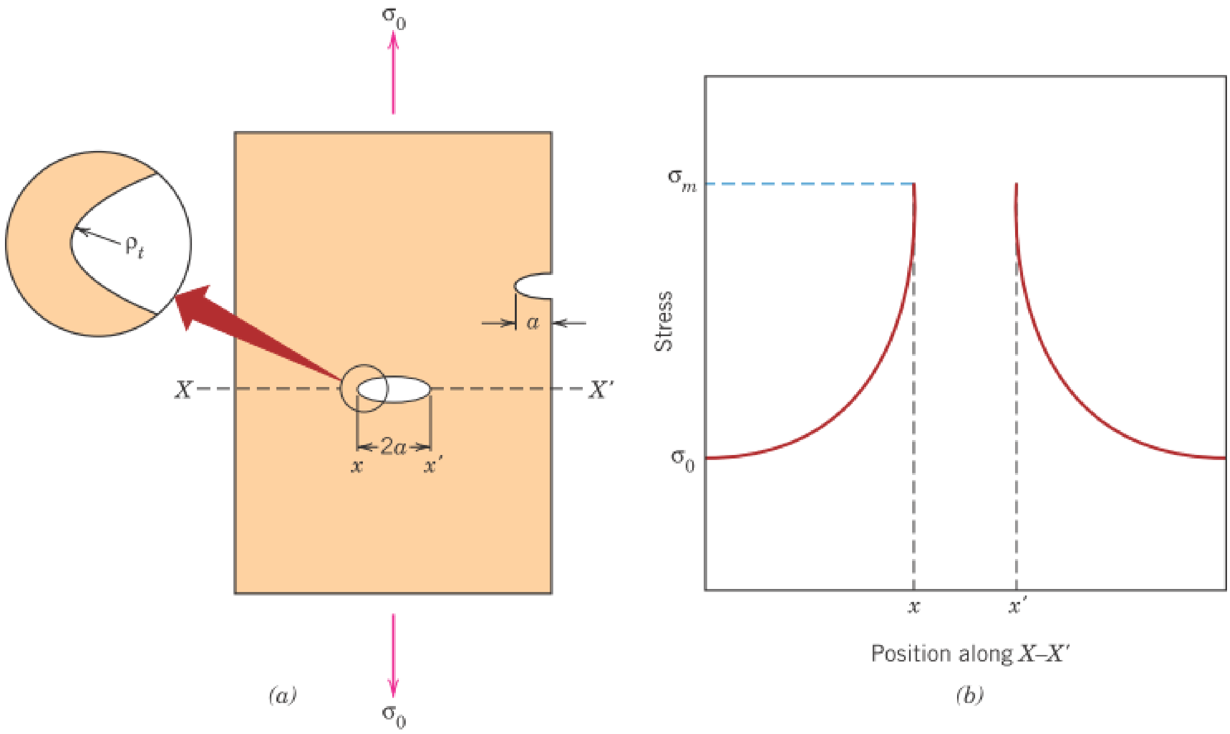
Other brittle fracture surfaces contain lines or ridges that radiate from the origin of the crack in a fanlike pattern(箭頭為 crack 起始處)



(b)

大部分脆材→穿晶 transgranular

某些合金→延晶 intergranular→由於晶界區域弱化、脆化



$$\sigma_m = 2\sigma_0\left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{1/2} \qquad K_t = \frac{\sigma_m}{\sigma_0} = 2\left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{1/2}$$

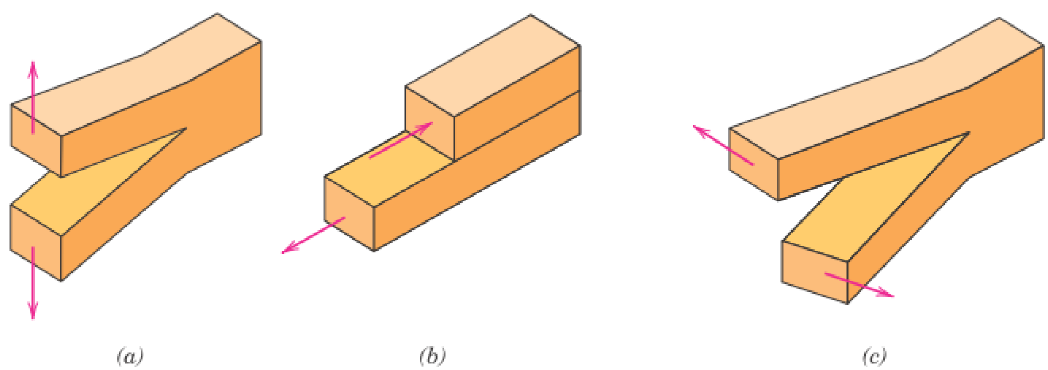
Critical stress for crack propagation in a brittle material

$$\sigma_c = \left(\frac{2E\gamma_s}{\pi a}\right)^{1/2}$$

Fracture toughness—dependence on critical stress for crack propagation and crack length

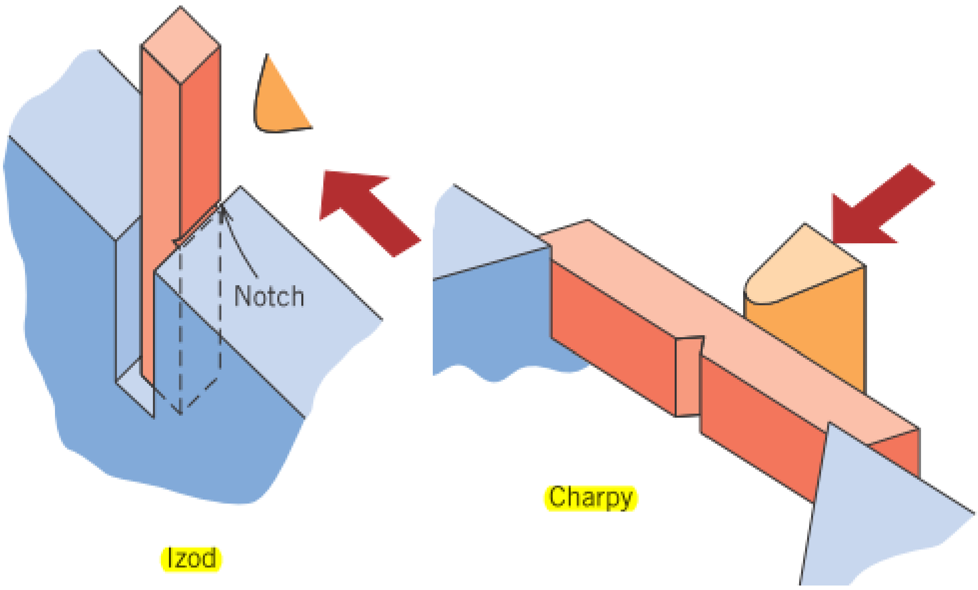
$$K_c = Y\sigma_c\sqrt{\pi a}$$

Figure 8.10 The three modes of crack surface displacement. (*a*) Mode I, opening or tensile mode; (*b*) mode II, sliding mode; and (*c*) mode III, tearing mode.



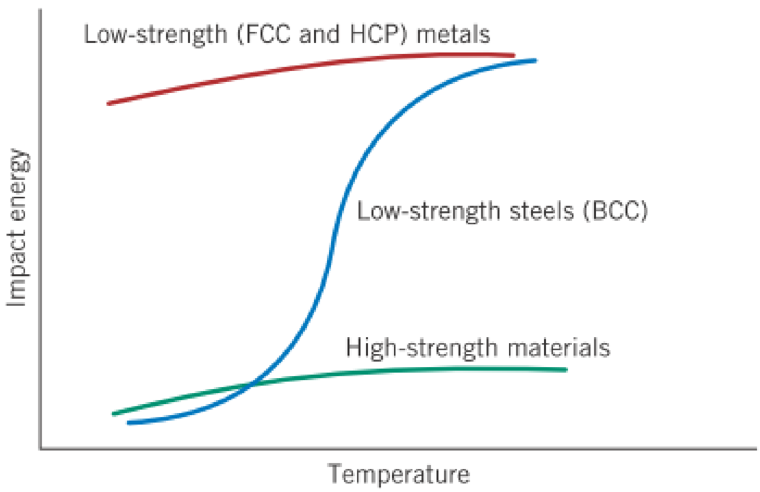
$\boxed{\text{衝擊破裂試驗}}$
拉伸試驗不能延用來預測破裂行為
衝擊試驗被選用以更嚴苛的情形
1.相對低溫 2.高應變速率 3.三軸應力狀態(藉凹痕)

Charpy and Izod，用來測量 impact energy，有時叫 <u>notch toughness</u>
2 者差異為試片支撐方式



plane strain fracture toughness→ quantitative 定量
impact tests→ qualitative 定性，相對比較
2 者不好關聯起來

Ductile-to-Brittle
轉變溫度可藉由觀察破壞表面來決定
Ductile→fibrous &dull(or shear character)
Brittle→granular(shiny) texure(or cleavage)



而轉變溫度 2 種特徵都有
Low-strength FCC 和大部分 HCP 不會脆轉

低碳鋼 BCC

高碳鋼
Ti 合金
對於容易脆轉的材料

(低碳鋼)，

晶粒減小→脆轉溫度下降(更延)　*晶粒減小→可以同時 strengthen and toughen

增加碳含量→提高脆轉溫度(更脆)

*我們希望的是降低脆轉溫度!因為延比較棒

Fatigue failure

dynamic and fluctuating stresses

無論脆性或延性，brittlelike，塑性變形很小，破裂面垂直應力

Mean stress→平均

Range stress→最大-最小

Stress amplitude→range 的一半

Stress ratio→最小/最大 EX.反覆應力循環 R= -1

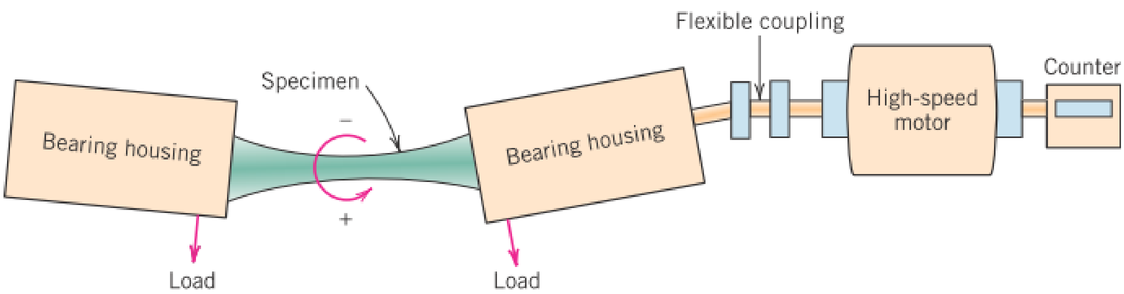
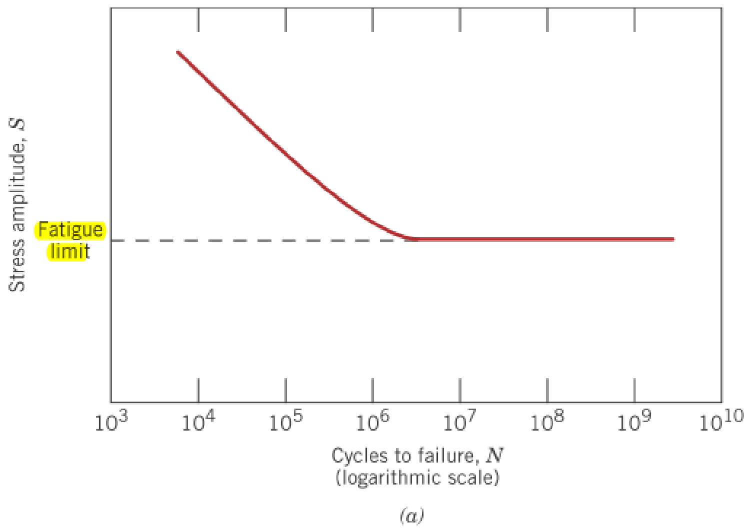


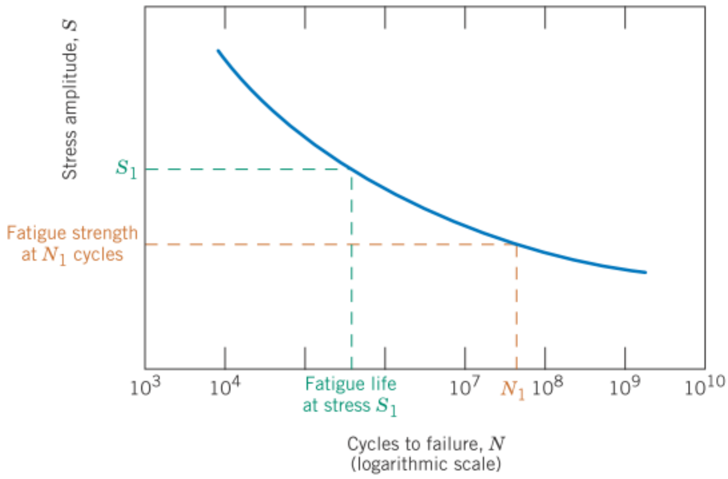
Figure 8.18 Schematic diagram of fatigue-testing apparatus for making rotating-bending tests. (From Keyser, *Materials Science in Engineering*, 4th Edition, © 1986, p. 88. Adapted by permission of Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.)

R.R.Moore 為可逆式彎曲疲勞試驗之試片



*低於 fatigue limit，不會發生 fatigue，EX. **steel**、**Fe**、**Ti alloy**

注意差不多發生在 10^6 的地方



(b)

*沒有 fatigue limit，指定在某 cycle 壞掉的應力，EX. Non ferrous

Fatigue failure 的過程(延性金屬)

1.crack initiation

2.crack propagation

→巨觀特徵→**beachmarks(clamshell marks)**→由於 interuptions in the cycles

→微觀特徵→**striations**→fatigue crack 的前進，during a single load cycle，其寬度與 stress range 的增加有關。

3.final failure

Smith 版本的 Fatigue failure 過程

1. **crack initiation** 塑性變形引起

2. **slipband crack growth (第一階段)**

slipband extrusions & intrusions，使表面產生 ridges & grooves，在加上 persistent slipbands 的傷害，使的裂紋在接近表面處發生，並延高剪應力方向往試片內部傳播，此時速率很慢，約 10^{-10}m/cycle

3. **crack growth on planes of high tensile stress (第二階段)**

Crack 方向轉成與最大拉伸應力方向垂直，較快速率傳播，約 10^{-6}m/cycle，且在穿過試片截面時產生 striation。

4. **final failure**

破壞表面一般可分為兩個區域

1.rubbing action 形成的平滑區域(海灘紋)

2.負載過高 fracture process 形成的 rough region

疲勞破壞起始的地方→應力集中點

Factor

1.mean stress

2.surface 效應與處理

設計(EX.sharp corner->BAD)

表面處理(shot peening、case hardening-滲碳、polish 除去應力增加點)

3.環境效應

4.腐蝕

Creep

Time-depended strain

金屬大約在 $0.4T_m$ 開始 creep 變的重要，再低溫時，擴散回復無法發生，只會出現第一階段潛變

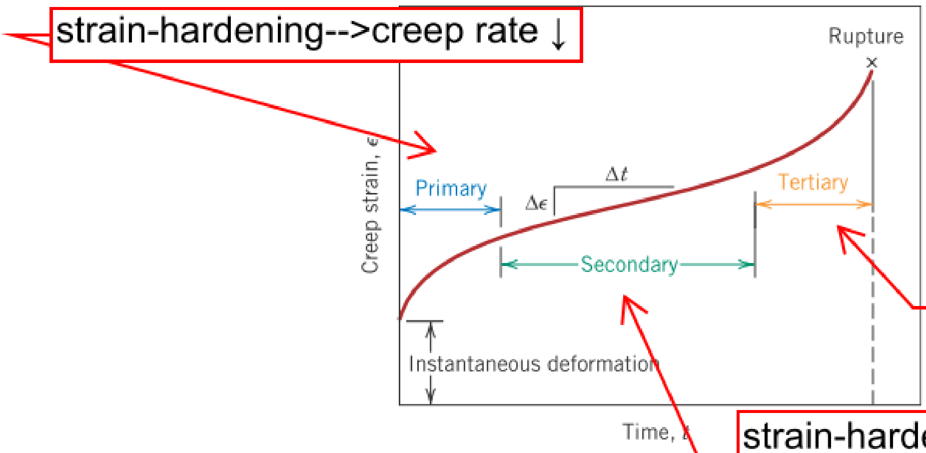


Figure 8.28 Typical creep curve of strain versus time at constant stress and constant elevated temperature. The minimum creep rate $\Delta\epsilon/\Delta t$ is the slope of the linear segment in the secondary region. Rupture lifetime t_r is the total time to rupture.

潛變試驗

第二階段的斜率為 min，在潛變試驗中，使最小潛變速率達 $\boxed{10^{-5}\%/h}$ 的應力，為常見的潛變標準

Creep-rupture(stress-rupture)試驗

原則跟前變試驗一樣，只是試驗必須進行到試片失效，負載較高，應力-斷裂時間圖曲線斜率改變，是由再結晶、氧化、腐蝕、相變化等因素引起。

Dependence of creep strain rate on stress

$$\dot{\epsilon}_s = K_1\sigma^n$$

Dependence of creep strain rate on stress and temperature (in K)

$$\dot{\epsilon}_s = K_2\sigma^n \exp\left(-\frac{Q_c}{RT}\right)$$

The Larson–Miller parameter—in terms of temperature and rupture lifetime $T(C + \log t_r)$ T:溫度(K) t_r:rupture life time(hr) C 常數

*抗潛變的方法

1.固溶強化 2.dispersion strengthening→insoluble second phase *3.**增加晶粒尺寸**(小晶粒有較多的晶界滑移)，或產生較優方向的晶粒結構