

機械設計講義

第二回

501050-2



社團
法人
考友社

考友社

出版
發行

機械設計講義 第二回 目錄

第二回 (1/2)

第三講 疲勞強度之設計	1
命題重點	1
重點整理	3
一、概論	3
二、變動負荷 (疲勞負荷) 之形式	3
三、S-N曲線與疲勞強度 (Endurance Strength)	5
四、疲勞限應力修正因數 (疲勞限應力減少係數)	9
五、疲勞強度設計之一：承受完全反向應力	13
六、疲勞強度設計之二：承受單軸向變動負荷 (同時承受單軸向之穩定及交變應力)	14
七、疲勞強度設計之三：承受組合的變動應力 (平面變動應力)	27
八、等效 (等值) 完全反向應力	29
九、有限壽命範圍下的負荷－壽命關係式	30
十、累積疲勞破壞	31
十一、工作線或負荷線 (Load Line)	33
精選試題	36

第二回 (2/2)

第四講 軸系	1
命題重點	1
重點整理	2
一、承受靜態負荷的圓軸	2
二、傳送功率 (Power Transmitted)	8
三、傳動軸之設計規範	10
四、軸的臨界轉速 (Critical Speed)	17
五、鍵之應力分析	19
六、軸聯結器 (Couplings)	22
七、兩平面上的彎曲負荷	23
八、寬矩形樑的扭轉 (Torsion of Wide Rectangular Bar)	23
九、薄壁管 (Thin-walled Tube) 之扭轉	24
精選試題	26

第三講 疲勞強度之設計



- 一、概論
- 二、變動負荷（疲勞負荷）之形式
- 三、S-N曲線與疲勞強度（Endurance Strength）
- 四、疲勞限應力修正因數（疲勞限應力減少係數）
 - (一)迴轉樑（rotating beam）試驗法
 - (二)疲勞限之修正
- 五、疲勞強度設計之一：承受完全反向應力
- 六、疲勞強度設計之二：承受單軸向變動負荷（同時承受單軸向之穩定及交變應力）
 - (一)單軸向變動負荷
 - (二)古德曼（Goodman）破壞曲線
 - (三)塑性變形線與古德曼破壞曲線
 - (四)不同的破壞方式
 - (五)安全因數
 - (六)蘇德伯破壞曲線（Soderberg curve）
 - (七)單純變動負荷之特例
 - (八)不同的破壞標準
- 七、疲勞強度設計之三：承受組合的變動應力（平面變動應力）
 - (一)等效靜負荷理論
 - (二)應變能或畸變能（distortion energy）理論
- 八、等效（等值）完全反向應力
- 九、有限壽命範圍下的負荷—壽命關係式

十、累積疲勞破壞

十一、工作線或負荷線 (Load Line)

- (一) 變動負荷值不變，平均負荷值則逐漸增加
- (二) 非線性工作線或曲線形工作線
- (三) 有初始靜應力存在之直線形 (線性) 工作線
- (四) 由原點延伸至工作應力點之直線形 (線性) 工作線

重點整理

一、概論

- (一) 在實際使用中，機件僅承受靜態負荷之情形甚為少見，絕大部份之機件所承受者均是變動性的負荷，並且損壞通常是由變動負荷而不是由靜態負荷所造成。當機件承受循環性負荷 (loading cycle) 時，其內部應力將呈現連續變化的不穩定狀態，並且往往會在工作應力值尚遠低於降伏強度的情況下，即行出現無預警式的瞬間破壞現象 (疲勞破壞)。由於在疲勞破壞前，機件並未出現顯著的塑性變形，因此其嚴重性會遠較靜力破壞者為高。
- (二) 由於變動負荷下通常都不採用脆性材料，因此脆性材料承受變動負荷時，並無適當公式可用以求得安全因數，若情況特殊欲勉強使用時，須採用極大之安全因數以避免破壞，然安全因數過大時，材料體積與價格將形成重大困擾。基於上述理由，本講中所討論者僅限於延性材料。

註：延性材料承受靜力破壞前，有大量的塑性變形出現，但疲勞破壞 (fatigue failure) 時則無。

二、變動負荷 (疲勞負荷) 之形式

- (一) 依據負荷 (應力) 與時間的相互關係，可將元件承受之負荷形態歸納成下列五種，其中之完全反向負荷、反覆負荷及一般變動負荷即是典型的三種疲勞負荷。當元件承受疲勞負荷時，其使用壽命通常為有限壽命。

1. 靜態負荷：

負荷值之大小與方向皆不隨時間而改變。在靜態負荷之情

501050-2 (1/2)

況下，若能選用適當的材料強度與足夠的斷面尺寸（安全因數），通常均將元件視同具有無限的使用壽命，因此其重點乃在決定安全因數或元件斷面尺寸，以確保工作應力較材料容許應力為低，在第二講中所述者即是靜態負荷之設計。

2. 完全反向負荷 (completely reversed load)：

最大應力值與最小應力值相等，但其符號相反；亦即應力以零值為中心，隨時間改變而作上下等幅度的來回變化，旋轉中之輪軸即是典型之例子。

3. 反覆負荷 (repeated load)：

乃由單向負荷所引起，負荷及應力值由零值開始逐漸增加，直至最大值後，再逐漸減少至零而完成一循環週期，機構中之拉力連桿 (tension link) 即是一例。

4. 一般變動負荷 (fluctuating load)：

負荷在零線上方或下方（或零線上下方）的某一區間內來回變動，但最高點及最低點並不觸及零線。大部份的疲勞負荷均是屬於此種型態。

5. 陡震負荷 (shock load)：

負荷對時間之間區變窄，其嚴重性會較靜負荷高出甚多，如屬可能，應盡量避免此型負荷之存在。

(二) 平均應力與交變應力：

為便於分析設計，定義平均應力 σ_{av} (mean stress; average stress) 及交變應力 σ_r (alternating stress；或稱範圍應力 rang stress，應力振幅 stress amplitude) 如下，經由計算 σ_{av} 及 σ_r ，即可輕易地描述出三種疲勞負荷的作用特性。

$$\sigma_{av} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (一)$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (二)$$

精選試題

一、說明機件 (machine component) 受力產生破壞之分類。

答: 機件受力產生破壞之分類: 發生在材料內的機械損壞有兩種:

(一) 降伏 (永久變形): 係沿材料內某一傾斜面之滑動而無破壞現象。

(二) 破裂: 發生在垂直於拉應力的橫截面上的分離破壞。

1. 延性材料: 抗滑動能力低於抗分離能力者, 損壞主要源於降伏, 一般壓縮與拉伸降伏點值相同。

2. 脆性材料: 抗分離能力較抗滑動能力低者, 損壞主要源於破裂, 一般以 5% 伸長量為其分界, 大部分壓縮極限強度比拉伸強度大很多。

3. 延性材料會有脆性破壞之情況:

(1) 常溫下之循環負荷: 疲勞破壞。

(2) 高溫下長時間的靜負荷: 潛變破壞。

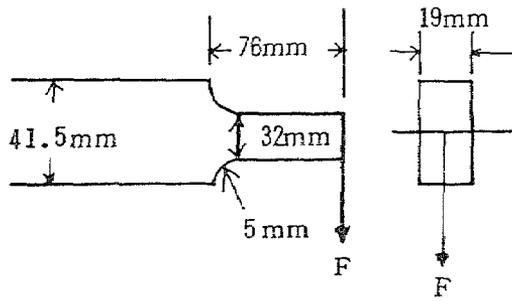
(3) 低溫之衝擊負荷。

(4) 降伏引起之加工硬化。

(5) 熱處理淬火後沒回火。

(6) 不能產生滑動之三維應力, 如桿之窄槽底端。

二、(一) 承受變動之彎曲負荷, 最大負荷 $F_{\max} = 3,700 \text{ N}$, 最小負荷 $F_{\min} = 500 \text{ N}$, 元件為合金鋼, 最終強度 (ultimate strength) $S_U = 400 \text{ MPa}$, $S_y = 320 \text{ MPa}$ (Yield), endurance limit $S_e = 85 \text{ MPa}$ (已經用修正因子修正過的數值), 試求元件免於疲勞破壞之安全係數。



(二) 此元件受正負交換之應力 (purely alternative stress) 以 40 回 / 分 (cycle per minute) 之頻率加諸其上，每 60 回 (cycle) 中各應力振幅 (stress amplitude) σ_a ，及其頻率分佈如下表：

σ_a (MPa)	150	250	350
u (cycle)	20	30	10

此元件所用之材料，其相對於應力回數 (number of stress cycle) $N = 10^6$ 時之疲勞限 (endurance limit) S'_e 為 90 MPa，相對於 N 為 10^3 cycle 時之疲勞強度 (fatigue strength) S_f 為 440 MPa，在 N 從 $10^3 \sim 10^6$ cycles 之間，其疲勞強度 S_f 與 N 之關係，可由 $\log S_f - \log N$ 圖中連接上述兩點 ($N = 10^3, N = 10^6$ cycles) 之直線來表示，假如材料符合 Miner's rule

$\left(\sum \frac{n'}{N} = 1 \right)$ ，試求此元件之疲勞壽命 (fatigue life) 為幾小時。

$$\text{答: (一)} F_{av} = \frac{1}{2}(F_{\max} + F_{\min}) = \frac{1}{2}(3,700 + 500) = 2,100 \text{ N}$$

$$F_r = \frac{1}{2}(F_{\max} - F_{\min}) = \frac{1}{2}(3,700 - 500) = 1600 \text{ N}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1}{12} \times 19 \times 32^3 = 51,882.67 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{av} = \frac{M_{av}}{I} \times C = \frac{F_{av} \times (76 - 5)}{51,882.67} = 45.98 \text{ MPa}$$