

75.23
507

金屬在 變載荷下的強度

特拉彼任著



機械工業出版社

金屬在變載荷下的強度

特拉彼任 著

王步瀛 譯

34505/36

機械工業出版社

1956

出版者的話

本書對於金屬的疲勞強度，金屬的耐久極限的決定方法，疲勞裂痕的生成過程，影響疲勞強度的設計上和工藝上的諸因素，以及在各種基本載荷狀態下金屬材料的許用應力和零件安全系數的求法等問題作了簡明扼要的敘述。因此，本書可供高等工業學校的學生在學習中參考，同時對在現場工作的工程技術人員解決機器強度問題時也有幫助。

苏联 И. И. Трапезни 著 'Прочность металлов при переменной нагрузке' (Отез. Гостехиздат 1948 年第一版)

NO. 1036

1956 年 8 月第一版 1956 年 8 月第一版第一次印刷

787×1092 $\frac{1}{32}$ 字數 65 千字 印張 $3\frac{1}{4}$ 0,001—9,000 冊

機械工業出版社（北京東交民巷 27 號）出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價(10)0.50 元

原 序

直到今天，在很多情形下，承受变载荷作用的一些零件，仍然採用材料力学中按其实質來講僅对靜的不变载荷才適用的公式來進行計算。此時，所根据的是由靜力試驗求得的机械特性(强度極限，屈服極限)。

但是，强度極限和屈服極限並沒有充分地說明材料对变应力作用的特性。因变应力的作用而引起的破坏，不僅与应力的大小有關，同時也与应力分佈的性質，它們隨時間变化的性質有關，而与零件尺寸的大小和製造它們的工藝过程也有關係。舊計算方法对这些因素不是完全沒有考慮，就是只部分地加以考慮。可是，已經有了比舊方法更可靠的在变载荷和有应力集中時決定强度条件的計算方法。这些方法已開始在机械製造的設計實踐中廣泛地傳播開，並且不断地由實踐加以檢驗而很快地趨於完善。在材料力学中对这些方法暫時還沒有足够完全的敘述，而对机械製造者來講今天却是必須了解它。新的計算方法对航空發動机製造者有特別重大的意义，同時不但对設計工程師，就是对製造工程師也有特別重大的意义。因为在变载荷下工藝因素在很大程度上要影响强度。

本書的目的是提供一册對於這一問題作初步了解所必須的參考書。很明顯的，在这样一本參考書中有許多問題是談得不够，不完全甚至於根本就沒有涉及到。例如，疲劳現象的實驗研究問題(機器的描述，試驗的方法等)僅僅敘述得使讀者能了解計算公式中包含的疲劳特性的意义。並且也不可

能足够而充分地敘述疲勞現象內部組織的問題。

本書供高等学校学生作参考，同時，作者認為对工程師可能也是有益的。

關於在变应力下金屬強度的理論，只是在不久以前才開始發展起來，很多問題還沒有確定，不同作者的資料有時甚至互相矛盾，因此之故，編寫本書時作者很自然地遇到了很多的困难。寫手稿時烏克蘭蘇維埃社会主义共和國科学院院士塞列新(С. В. Серенсен)曾經批評地校閱了草稿，提出了很多寶貴的指示，給作者以非常寶貴的幫助。因此作者对塞列新致以深忱的感謝。

目 次

原序	5
1. 基本概念	7
2. 決定耐久極限的方法	11
3. 載荷变化的速度对耐久極限的影响	16
4. 疲勞現象的成因	17
5. 不同種類變形下所求得的耐久極限間的關係 和耐久極限与靜力強度特性的關係	21
6. 循环不对称性对疲勞強度的影响	23
7. 冷作硬化和过应力的影响	32
8. 变載荷時应力集中和某些工藝因素对強度的 影响	34
9. 当無应力集中時在彎曲、單向拉伸-压缩和 扭轉的情况下安全係數和应力許用值的 求法	58
10. 有应力集中時在彎曲、單向拉伸-压缩和扭 轉的情况下应力許用值的求法	72
11. 複雜应力状态	84
12. 結束語	93
附錄	
1. 按苏联实验數據編製的鋼的机械特性表	96
2. 按各种文献來源編製的(或按類比得出的) 碳鋼的机械特性表	98
参考文献	102
中俄名詞对照表	104

1463914

金屬在變載荷下的強度

特拉彼任 著

王步瀛 譯

34505/36

機械工業出版社

1956

出版者的話

本書對於金屬的疲勞強度，金屬的耐久極限的決定方法，疲勞裂痕的生成過程，影響疲勞強度的設計上和工藝上的諸因素，以及在各種基本載荷狀態下金屬材料的許用應力和零件安全系數的求法等問題作了簡明扼要的敘述。因此，本書可供高等工業學校的學生在學習中參考，同時對在現場工作的工程技術人員解決機器強度問題時也有幫助。

苏联 И. И. Трапезни 著 'Прочность металлов при переменной нагрузке' (Отез. Гостехиздат 1948 年第一版)

NO. 1036

1956 年 8 月第一版 1956 年 8 月第一版第一次印刷

787×1092 1/32 字數 65 千字 印張 3 1/4 0,001—9,000 冊

機械工業出版社（北京東交民巷 27 號）出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價(10)0.50 元

目 次

原序	5
1. 基本概念	7
2. 決定耐久極限的方法	11
3. 載荷变化的速度对耐久極限的影响	16
4. 疲勞現象的成因	17
5. 不同種類變形下所求得的耐久極限間的關係 和耐久極限与靜力強度特性的關係	21
6. 循环不对称性对疲勞強度的影响	23
7. 冷作硬化和过应力的影响	32
8. 变載荷時应力集中和某些工藝因素对強度的 影响	34
9. 当無应力集中時在彎曲、單向拉伸-压缩和 扭轉的情况下安全係數和应力許用值的 求法	58
10. 有应力集中時在彎曲、單向拉伸-压缩和扭 轉的情况下应力許用值的求法	72
11. 複雜应力状态	84
12. 結束語	93
附錄	
1. 按苏联实验数据編製的鋼的机械特性表	96
2. 按各种文献來源編製的(或按類比得出的) 碳鋼的机械特性表	98
参考文献	102
中俄名詞对照表	104

1463914

DECLASSIFIED

原 序

直到今天，在很多情形下，承受变载荷作用的一些零件，仍然採用材料力学中按其实質來講僅对靜的不变载荷才適用的公式來進行計算。此時，所根据的是由靜力試驗求得的机械特性(强度極限，屈服極限)。

但是，强度極限和屈服極限並沒有充分地說明材料对变应力作用的特性。因变应力的作用而引起的破坏，不僅与应力的大小有關，同時也与应力分佈的性質，它們隨時間变化的性質有關，而与零件尺寸的大小和製造它們的工藝过程也有關係。舊計算方法对这些因素不是完全沒有考慮，就是只部分地加以考慮。可是，已經有了比舊方法更可靠的在变载荷和有应力集中時決定强度条件的計算方法。这些方法已開始在机械製造的設計實踐中廣泛地傳播開，並且不断地由實踐加以檢驗而很快地趨於完善。在材料力学中对这些方法暫時還沒有足够完全的敘述，而对机械製造者來講今天却是必須了解它。新的計算方法对航空發動机製造者有特別重大的意义，同時不但对設計工程師，就是对製造工程師也有特別重大的意义。因为在变载荷下工藝因素在很大程度上要影响强度。

本書的目的是提供一册對於這一問題作初步了解所必須的參考書。很明顯的，在这样一本參考書中有許多問題是談得不够，不完全甚至於根本就沒有涉及到。例如，疲劳現象的實驗研究問題(機器的描述，試驗的方法等)僅僅敘述得使讀者能了解計算公式中包含的疲劳特性的意义。並且也不可

能足够而充分地敘述疲勞現象內部組織的問題。

本書供高等学校学生作参考，同時，作者認為对工程師可能也是有益的。

關於在变应力下金屬強度的理論，只是在不久以前才開始發展起來，很多問題還沒有確定，不同作者的資料有時甚至互相矛盾，因此之故，編寫本書時作者很自然地遇到了很多的困难。寫手稿時烏克蘭蘇維埃社会主义共和國科学院院士塞列新(С. В. Серенсен)曾經批評地校閱了草稿，提出了很多寶貴的指示，給作者以非常寶貴的幫助。因此作者对塞列新致以深忱的感謝。

1. 基本概念

大多數機器零件都承受變應力的作用；同時，應力不僅在數值上，而且也在方向上發生變化。例如，承受不變方向力 P 的軸橫斷面 A 點處的彎曲應力（見圖 1），在迴轉一圈的時間內由拉伸應力變為壓縮應力，再重新變成拉伸應力；齒輪齒根

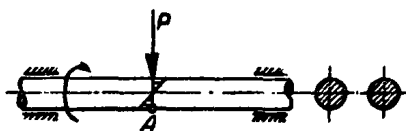


圖 1

上的應力由零變到某一個最大值；蒸汽機的連杆當活塞沿某一方向行進時承受壓縮，而當反向行進時承受拉伸。經驗表明：承受變載荷作用的材料不僅是在小於強度極限的應力值之下，甚至常常是在小於彈性極限的應力值之下即發生破壞。材料中應力由某一最大值到最小值反覆多次的變化在其中引起了通常被叫做材料的「疲勞」的漸進破壞。已於上一世紀就被應用的名詞「疲勞」與此現象的本質並不符合。但是由於它已經非常通行，以致於找不出一本遇不見它的著作，因此我們以後也採用它。

機械零件絕大多數的斷裂是與疲勞現象相連系着的。可以舉出像車軸，活塞機械的曲軸和連杆，汽車車架彈簧，火車軌道和車輪，蒸汽渦輪的軸，葉片和葉片盤，閥彈簧等很多的由於疲勞而斷裂的例子（這種斷裂的例子將在下文中提到）。也可以指出齒輪齒表面的疲勞損壞，它是由於當齒進入嚙合即開始產生而當齒離開嚙合即行消失的很大的接觸應力的作用而發生的。在這種應力的作用下產生了疲勞裂痕，

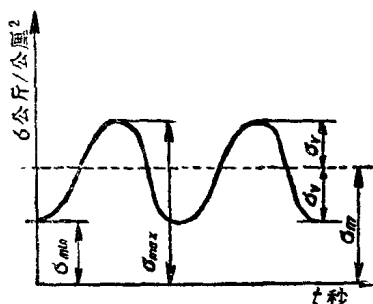


圖 2

在有潤滑剂的工作条件下这种裂痕会引起剝伤斑點的產生。在滾動軸承的球和滾子上也發生相似的現象。由此即可明顯的看出承受變應力作用時金屬特性的研究是多麼重要。

應力變化曲線(圖 2)的

性質和應力變化的極限可能有很多的不同情況。在下面我們假定應力的變化是週期性的。應力每一次封閉的能夠得到連續數值的改變叫做一個循環。如果最大應力($\sigma_{\max}$ 或 $\tau_{\max}$)與最小應力($\sigma_{\min}$ 或 $\tau_{\min}$)數量上相等而符號上相反時(圖 3), 則此應力變化的循環叫做對稱的, 如果應力的數值($\sigma_{\max}$ 和 $\sigma_{\min}$ 或 $\tau_{\max}$ 和 $\tau_{\min}$)不等, 則叫做不對稱的。

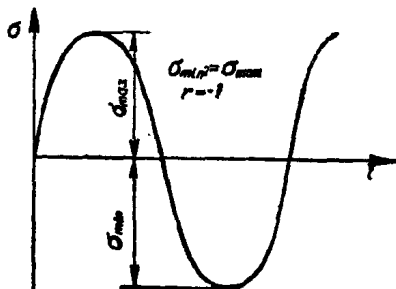


圖 3

$$\sigma_v = \frac{1}{2}(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$$

叫做循環幅度, 而

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (\text{或} \quad r = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}})$$

叫做不對稱係數。顯然, r 可以是正值, 也可以是負值。當應力為靜應力時 $r=1$ 。很明顯地, 對於對稱循環 $r=-1$ 。如果應力由零變到某一最大值(圖 4), 那麼 $r=0$ 。圖 5 中所示的是不對稱係數 $r=0.25$ 的循環。

顯然，不对称係數說明不对称的程度。变应力可以看作是不变平均应力

$$\sigma_m = \frac{1}{2}(\sigma_{\max} + \sigma_{\min})$$

和以应力幅度

$$\sigma_v = \frac{1}{2}(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$$

而改变的对称循环变应力的組合(見圖 2)。

顯然，对称循环時 $\sigma_m = 0$ ；当应力不变時 $\sigma_v = 0$ 。

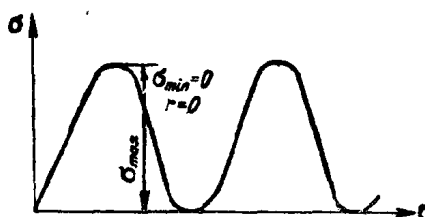


圖 4

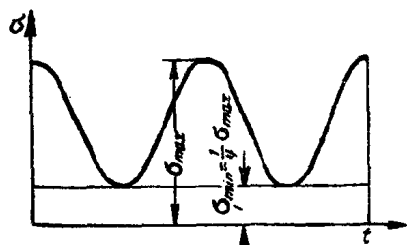


圖 5

$\sigma_{\max}(\tau_{\max})$ 和 $\sigma_{\min}(\tau_{\min})$ 意味着应力的最大和最小的代数值，因此 σ_v 永远是大於零，而 σ_m 可以是正值，也可以是負值。

很多的研究者都曾研究过疲劳現象。維列尔 (Велер) (1870年) 首先对此現象作了系統的研究。俄國研究疲劳現象的先驅者是伐劳帕也夫 (М. В. Воронаев) 和塞明斯基 (К. К. Симинский)。研究確定了：

1) 当载荷的变化達到一定的足够的次數時，材料在小於强度極限的应力下即已破坏；

2) 達到破坏的变化次數不僅与最大应力的數值(此地指的是按绝对值來講的最大应力 $|\sigma|_{\max}$ 或 $|\tau|_{\max}$)，而且也与应力变化幅度有關；在同一个最大应力時应力幅度愈大，那麼使材料破坏所必須的变化次數也就愈少；照此情况，

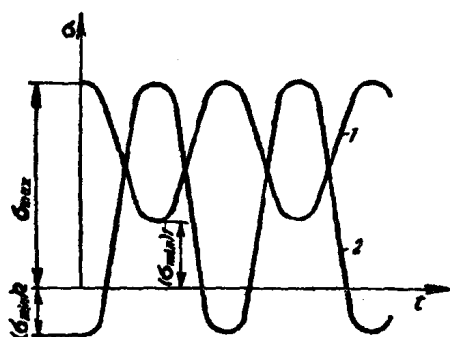


圖 6

圖 6 上曲線 1 所代表的循環在強度方面要比曲線 2 所代表的循環好些；

3) 有这样一个最大应力(仍舊指 $|\sigma|_{\max}$ 或 $|\tau|_{\max}$) 存在, 在这个应力下, 材料可以經受無限制的載荷改变次數而不至破坏。这个应力值叫做耐久極限或疲劳極限。在技術書籍中可以遇見第一个, 也可以看到第二个名称。

应当指出: 並不是对所有的材料和在任何应力状态之下都存在着这样一个应力值, 即材料可以經受無限制的載荷变化次數而不破坏的应力值。以後將給出相应的耐久極限精確的概念。根据第二點可以知道: 耐久極限与循环的不对称程度有關, 也就是說与不对称係數 r 有關。

在試驗机上最容易实现对称循环, 因此大多數的試驗机都按照着可以求出对称循环, 即係數 $r = -1$ 循环的耐久極限而設計。

弯曲時的这一耐久極限用 σ_{-1} 表示, 拉伸——压缩時用 σ_{-1z} 表示, 扭轉時用 τ_{-1} 表示。

通常在手册中, 尤其在教科書中, 虽然並未声明, 所提

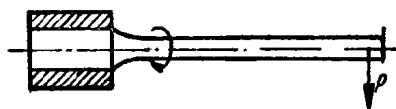


圖 7 a

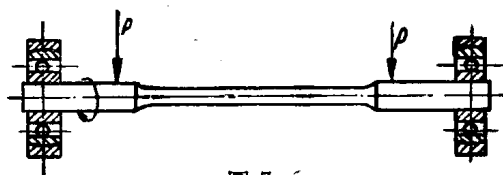


圖 7 b

給的僅是对称循环($r = -1$)的耐久極限^①。

求弯曲变形時的耐久極限的机器結構最簡單，在这類机器上，試件可以是懸臂樑式，或者是双支點樑式。圖 7a 和圖 7b 上是在這一類机器上对試件加载荷的示意圖。使試件旋轉，此時，很顯然地，当轉 180° 時它的每根纖維將交替地承受拉伸和壓縮。

应当指出：像研究所指出的，載荷变化曲線的形狀对耐久極限的數值並無顯著的影响。

2. 決定耐久極限的方法

为了決定某种材料的耐久極限，可以用此材料做一組試件，通常是 6~10 个。令第一个試件承受顯然地高於耐久極限的应力。求出試件破坏時应力变化的次數。令第二个試件承受同样循环的但是數值較小的載荷，並求出試件破坏時应力变化的次數。这样，一个試件比一个試件受的应力小，因

① 有些作者僅对对称循环才用「耐久極限」(疲劳極限)这个名詞。