



第三章 机械零件的强度

§ 3-1 材料的疲劳特性

§ 3-2 机械零件的疲劳强度计算

§ 3-3 机械零件的抗断裂强度

§ 3-4 机械零件的接触强度

材料的疲劳特性



二、 σ - N 疲劳曲线

机械零件的疲劳大多发生在 σ - N 曲线的CD段，可用下式描述：

$$\sigma_{\text{rN}}^m N = C \quad (N_c \leq N \leq N_D)$$

D点以后的疲劳曲线呈一水平线，代表着无限寿命区其方程为：

$$\sigma_{\text{rN}} = \sigma_{\text{r}} \quad (N > N_D)$$

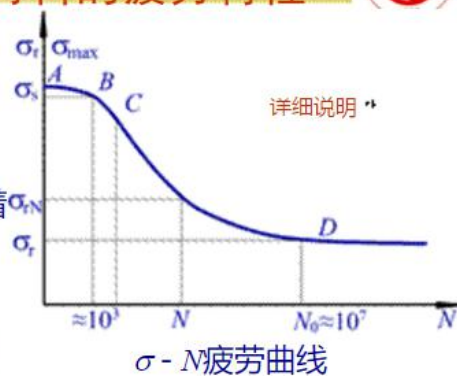
由于 N_D 很大，所以在作疲劳试验时，常规定一个循环次数 N_0 (称为循环基数)，用 N_0 及其相对应的疲劳极限 σ_r 来近似代表 N_D 和 $\sigma_{\text{r}\infty}$ ，于是有：

$$\sigma_{\text{rN}}^m N = \sigma_r^m N_0 = C$$

有限寿命区间内循环次数 N 与疲劳极限 σ_{rN} 的关系为：

$$\sigma_{\text{rN}} = \sigma_r \sqrt[m]{\frac{N_0}{N}} \quad N = \left(\frac{\sigma_r}{\sigma_{\text{rN}}} \right)^m N_0$$

式中， σ_r 、 N_0 及 m 的值由材料试验确定。



材料的疲劳特性



三、等寿命疲劳曲线（极限应力线图）

机械零件材料的疲劳特性除用 $\sigma - N$ 曲线表示外，还可利用等寿命曲线来描述。该曲线表达了不同应力比时疲劳极限的特性。

在工程应用中，常将等寿命曲线用直线来近似替代。[详细介绍](#)

用 $A'G'C$ 折线表示零件材料的极限应力线图是其中一种近似方法。

$A'G$ 直线的方程为：

$$\sigma_{-1} = \sigma'_1 + \psi_\sigma \sigma'_2$$

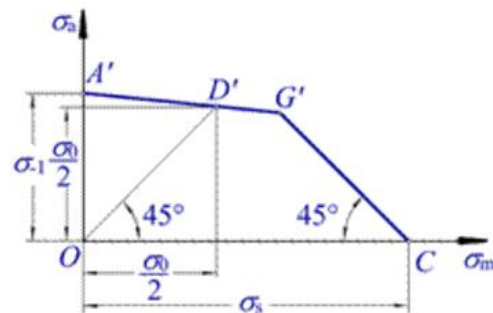
CG 直线的方程为：

$$\sigma'_1 + \sigma'_2 = \sigma_0$$

ψ_σ 为试件受循环弯曲应力时的材料常数，其值由试验及下式决定：

$$\psi_\sigma = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0}$$

对于碳钢， $\psi_\sigma \approx 0.1 \sim 0.2$ ，对于合金钢， $\psi_\sigma \approx 0.2 \sim 0.3$ 。



物理与电气工程学院

机械零件的疲劳强度计算



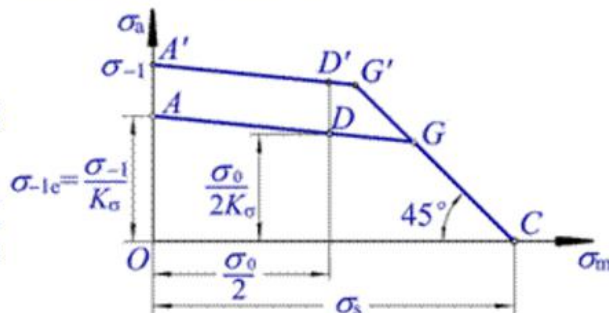
一、零件的极限应力线图

由于零件几何形状的变化、尺寸大小、加工质量及强化因素等的影响，使得零件的疲劳极限要小于材料试件的疲劳极限。

以弯曲疲劳极限的综合影响系数 K_σ 表示材料对称循环弯曲疲劳极限 σ_{-1} 与零件对称循环弯曲疲劳极限 σ_{-1e} 的比值，即 $K_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1e}}$

在不对称循环时， K_σ 是试件与零件极限应力幅的比值。

将零件材料的极限应力线图
中的直线 $A'D'G'$ 按比例向下移，
成为右图所示的直线 ADG ，而极
限应力曲线的 CG 部分，由于是
按照静应力的要求来考虑的，故
不须进行修正。这样就得到了零
件的极限应力线图。



[详细介绍](#)

物理与电气工程学院

机械零件的疲劳强度计算



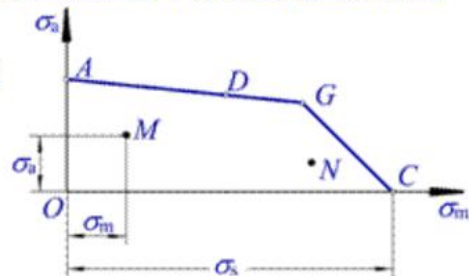
二、单向稳定变应力时的疲劳强度计算

进行零件疲劳强度计算时，首先根据零件危险截面上的 σ_{\max} 及 σ_{\min} 确定平均应力 σ_m 与应力幅 σ_a ，然后，在极限应力线图的坐标中标示出相应工作应力点 M 或 N 。

相应的疲劳极限应力应是极限应力曲线上的某一个点所代表的应力 (σ'_m, σ'_a) 。

计算安全系数及疲劳强度条件为：

$$S_\sigma = \frac{\sigma'_m}{\sigma_m} = \frac{\sigma'_a + \sigma'_m}{\sigma_a + \sigma_m} \geq S$$



根据零件工作时所受的约束来确定应力可能发生的变化规律，从而决定以哪一个点来表示极限应力。

机械零件可能发生的典型的应力变化规律有以下三种：

- 应力比为常数： $r=C$
- 平均应力为常数： $\sigma_m=C$
- 最小应力为常数： $\sigma_{\min}=C$

详细分析

物理与电气工程学院

机械零件的疲劳强度计算

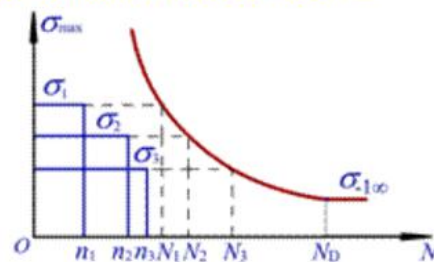


三、单向不稳定变应力时的疲劳强度计算

- 不稳定变应力
- 非规律性 → 用统计方法进行疲劳强度计算
 - 规律性 → 按损伤累积假说进行疲劳强度计算



规律性不稳定变应力



若应力每循环一次都对材料的破坏起相同的作用，则应力 σ_1 每循环一次对材料的损伤率即为 $1/N_1$ ，而循环了 n_1 次的 σ_1 对材料的损伤率即为 n_1/N_1 。如此类推，循环了 n_2 次的 σ_2 对材料的损伤率即为 n_2/N_2 ，……。

当损伤率达到100%时，材料即发生疲劳破坏，故对应于极限状况有：

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} = 1$$

详细分析

物理与电气工程学院

机械零件的疲劳强度计算

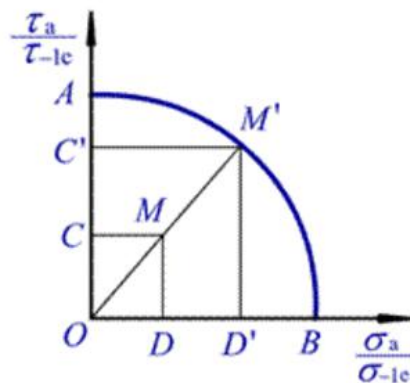


四、双向稳定变应力时的疲劳强度计算

当零件上同时作用有同相位的稳定对称循环变应力 σ_a 和 τ_a 时，由实验得出的极限应力关系式为：

$$\left(\frac{\tau'_a}{\tau_{-1c}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma'_a}{\sigma_{-1c}}\right)^2 = 1$$

式中 τ'_a 及 σ'_a 为同时作用的切向及法向应力幅的极限值。



由于是对称循环变应力，故应力幅即为最大应力。弧线 AMB 上任何一个点即代表一对

极限应力。若零件上的应力幅 σ_a 及 τ_a 如图中 M 点表示，则由于此工作应力点在极限以内，未达到极限条件，因而是安全的。

计算安全系数：
$$S_{ca} = \frac{OM'}{OM} = \frac{S_r S_c}{\sqrt{S_r^2 + S_c^2}}$$

详细推导 *

物理与电气工程学院

机械零件的疲劳强度计算



五、提高机械零件疲劳强度的措施

- 尽可能降低零件上的应力集中的影响，是提高零件疲劳强度的首要措施。
- 在不可避免地要产生较大应力集中的结构处，可采用减载槽来降低应力集中的作用。
- 在综合考虑零件的性能要求和经济性后，采用具有高疲劳强度的材料，并配以适当的热处理和各种表面强化处理。
- 适当提高零件的表面质量，特别是提高有应力集中部位的表面加工质量，必要时表面作适当的防护处理。
- 尽可能地减少或消除零件表面可能发生的初始裂纹的尺寸，对于延长零件的疲劳寿命有着比提高材料性能更为显著的作用。



减载槽

物理与电气工程学院

机械零件的抗断裂强度



在工程实际中，往往会发生工作应力小于许用应力时所发生的突然断裂，这种现象称为低应力脆断。

通过对大量结构断裂事故分析表明，结构内部裂纹和缺陷的存在是导致低应力断裂的内在原因。

对于高强度材料，一方面是它的强度高（即许用应力高），另一方面则是它抵抗裂纹扩展的能力要随着强度的增高而下降。因此，用传统的强度理论计算高强度材料结构的强度问题，就存在一定的危险性。

断裂力学——是研究带有裂纹或带有尖缺口的结构或构件的强度和变形规律的学科。

为了度量含裂纹结构体的强度，在断裂力学中运用了应力强度因子 K_I （或 K_{II} 、 K_{III} ）和断裂韧性 K_{IC} （或 K_{IIC} 、 K_{IIIC} ）这两个新的度量指标来判别结构安全性，即：

$K_I < K_{IC}$ 时，裂纹不会失稳扩展。

$K_I \geq K_{IC}$ 时，裂纹失稳扩展。

物理与电气工程学院



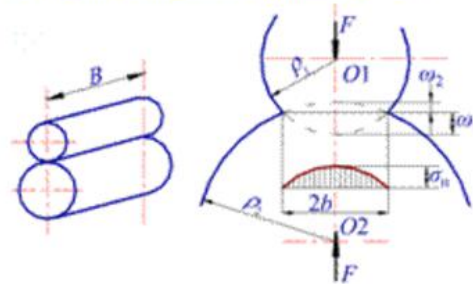
机械零件的接触强度



当两零件以点、线相接处时，其接触的局部会引起较大的应力。这局部的应力称为接触应力。

对于线接触的情况，其接触应力可用赫兹应力公式计算。

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\frac{F}{B} \left(\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2} \right)}{\pi \left[\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right]}}$$



更多图片

式中 ρ_1 和 ρ_2 分别为两零件初始接触线处的曲率半径，其中正号用于外接触，负号用于内接触。

接触应力是不同于以往所学过的挤压应力的。挤压应力是面接触引起的应力，是二向应力状态，而接触应力是三向应力状态。接触应力的特点是：仅在局部很小的区域内产生很大的应力。

物理与电气工程学院

