

§ 金属构件常见失效形式— —变形



目录

1

工程材料静拉伸时的力学性能

2

弹性变形失效

3

塑性变形失效

4

蠕变失效



1 工程材料静拉伸时的力学性能

➤ 拉伸性能

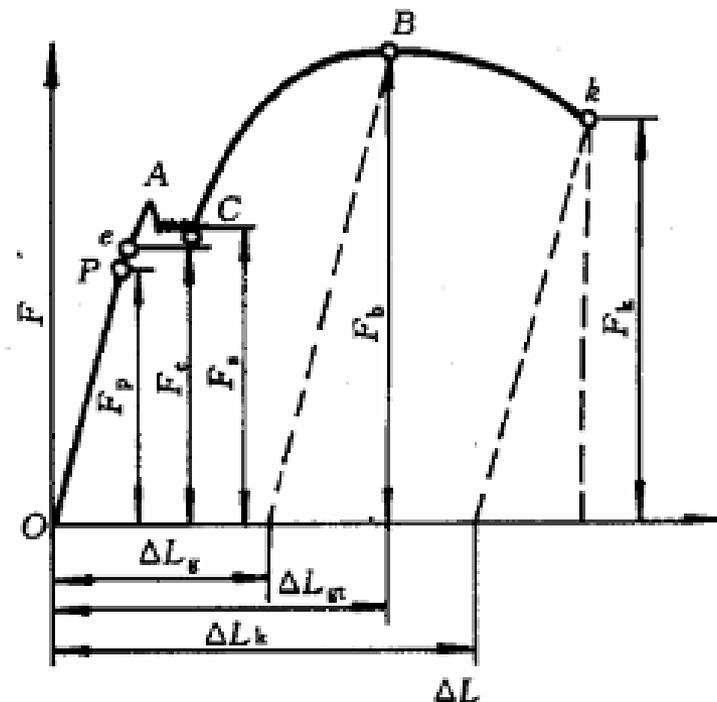
通过拉伸试验可测量出材料的弹性、强度、塑性、应变硬化和韧度等重要的力学性能指标，它是材料的基本力学性能。

➤ 拉伸性能的作用、用途

- a. 在工程应用中，拉伸性能是结构静强度设计的主要依据之一；
- b. 提供预测材料的其它力学性能的参量，如抗疲劳、断裂性能。

1.1 力—伸长曲线分析

e 以内的变形为弹性变形, 以外发生塑性变形, AC 段为不均匀的塑性变形, CB 是均匀塑性变形, Bk 发生缩颈, 发生集中塑变, B 点塑变为 ΔL_g , 弹性变形为 ΔL_{gt} , k 点塑变为 ΔL_k



低碳钢的力—伸长曲线



典型材料的力—伸长曲线

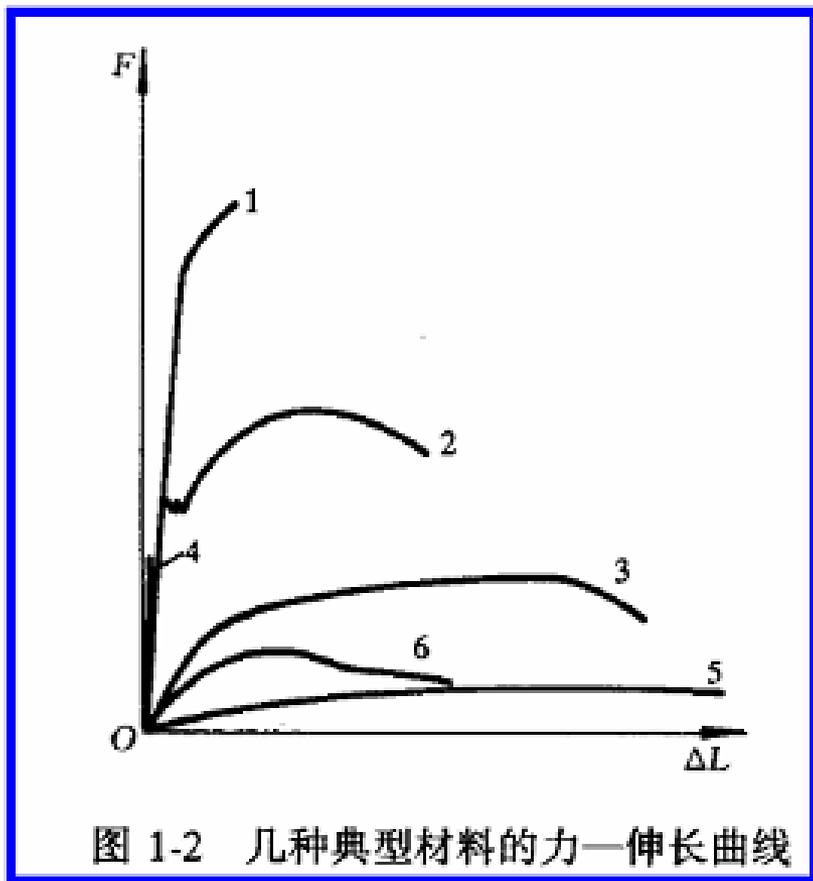


图 1-2 几种典型材料的力—伸长曲线

1. 高碳钢
(淬火+高温回火)
2. 低合金结构钢
3. 黄铜
4. 陶瓷、玻璃
5. 橡胶
6. 工程塑料

1. 大多数纯金属(Al, Cu, Au, Ag): 变形分为三个阶段, 无屈服塑性变形阶段
2. 脆性材料(陶瓷、白口铸铁、淬火高碳钢及高碳合金钢): 只有弹性变形阶段, 少量或无塑性变形
3. 高弹材料(橡胶): 只有非线性弹性变形一个阶段, 且弹性变形能力强, 弹性变形率可达100~1000%
4. 工程塑料: 有弹性变形、均匀塑性变形和不均匀集中塑性变形, 因键合方式、成分和组织状态不同而不同

1.2 应力—应变曲线

1. 应力

条件(工程)应力: $\sigma = F/A_0$ A_0 -原始截面尺寸

真应力: $S=F/A$ A -瞬时截面面积

2. 应变

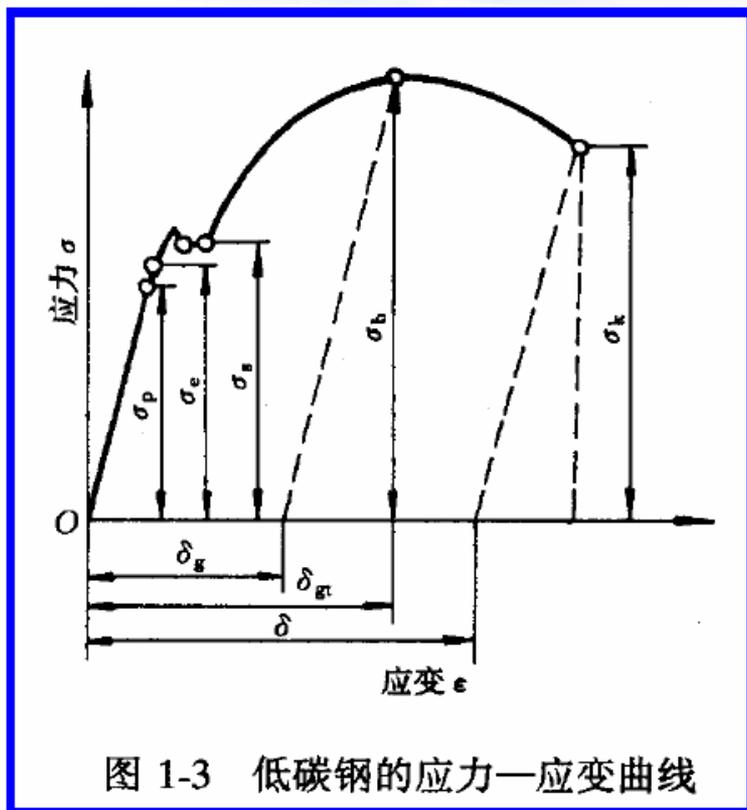
定义: 试样标距内单位长度 (或原面积) 上的伸长率 (或收缩)

条件应变: 工程伸长应变 $\varepsilon = (L-L_0) / L_0$

截面收缩应变 $\psi = (A_0-A) / A_0$

真应变: 因试样长度在不断变化, 某一瞬时拉伸试样的长为 L , 载荷增 dF , 伸长 dL . 则该瞬时形变率为 dL/L , 总形变率—真应变 $e=\ln(L/L_0)=\ln(1+\varepsilon)$

注: 真应变小于工程应变; $S= \sigma (1+ \varepsilon)$, $S> \sigma$ 。



- σ_p — 比例极限
- σ_e — 弹性极限
- σ_s — 屈服点
- σ_b — 抗拉强度
- δ — 延伸率

图 1-3 低碳钢的应力—应变曲线

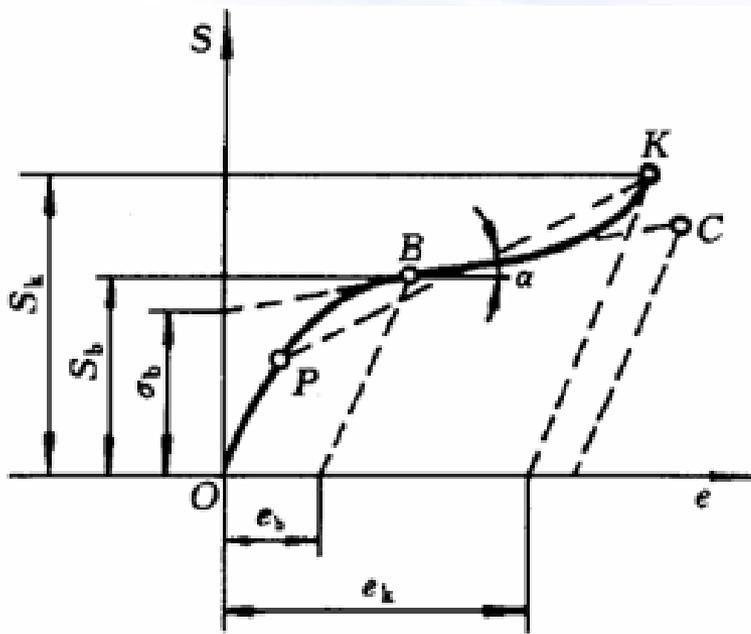
这些性能指标是材料工程设计的依据:

脆性材料: $[\sigma] = \sigma_b / n$ ($n = 2 \sim 5$)

塑性材料: $[\sigma] = \sigma_b / n$ ($n = 1.5 \sim 2.0$)



1.3 真应力—应变曲线



真应力—真应变曲线

S_k —真应力
 e —真应变

在弹性变形阶段, 工程应力—应变曲线与真应力—应变曲线差别不大, 但在塑性变形阶段, 差别显著。工程上应用工程应力—应变曲线, 材料研究中应用真应力—真应变曲线



1.4 静载性能指标

1) 刚度：零（构）件受力时抵抗弹性变形的能力

- 单向拉伸（或压缩）

$$K = \frac{P}{\varepsilon} = \frac{\sigma \cdot A}{\varepsilon} = EA$$

- 纯剪切

$$K = \frac{P}{\gamma} = \frac{\tau \cdot A}{\gamma} = GA$$

E:弹性模量， **G**:切变模量

注：零件刚度和材料刚度不一样，工程上把弹性模量E、G称做材料的刚度



1.4 静载性能指标

2) 强度：材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力

σ_p (比例极限)：应力-应变符合线性关系

σ_e (弹性极限)：加载再卸载，不出现残留永久变形的最高应力

σ_s (屈服极限)：开始塑性变形的应力值，表征材料对微量塑性变形的抗力

σ_b (抗拉极限)：极限载荷对应的应力，表征材料极限承载能力

σ_k (断裂极限)：材料发生断裂时的应力值

1.4 静载性能指标

3) 塑性：材料在外力作用下能稳定地发生永久变形而不破坏其完整性的能力

伸长率 δ 、断面收缩率 ψ

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$$

L_0 、 A_0 ：拉伸试样的原始标距长度、原始截面积；

L 、 A ：拉伸试样断裂后的标距长度、颈缩处最小截面积



1.4 静载性能指标

4) 弹性：物体受外力作用变形后，除去作用力时能恢复原来形状的性质

■ **E** — 正弹模量 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$

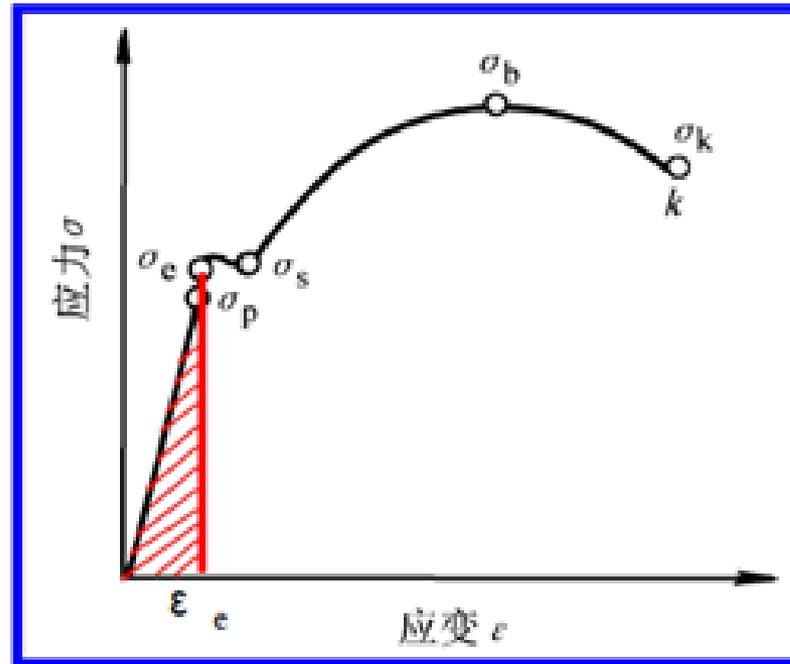
■ **G** — 切弹模量

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

■ ε_e — 最大弹性应变

■ **u** — 弹性能

$$u = \frac{1}{2} \sigma_e \varepsilon_e = \frac{1}{2} \frac{\sigma_e^2}{E}$$



1.4 静载性能指标

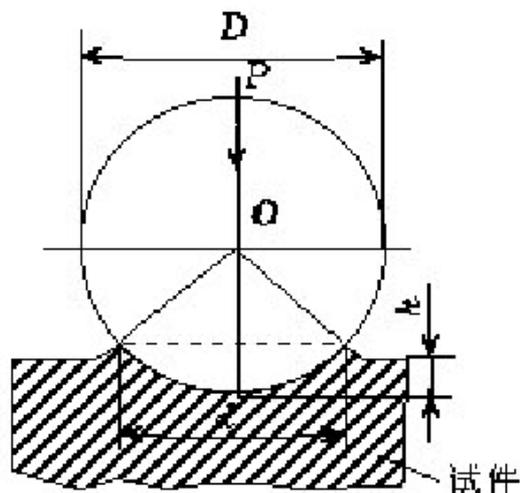
5) 硬度：材料抵抗压入或刻划的能力

- 布氏硬度 (HBS/HBW)
- 洛氏硬度 (HRA/HRB/HRC)
- 维氏硬度&显微维氏硬度 (HV)
- 其他硬度 (努氏硬度HK、肖氏硬度HS、莫氏硬度)

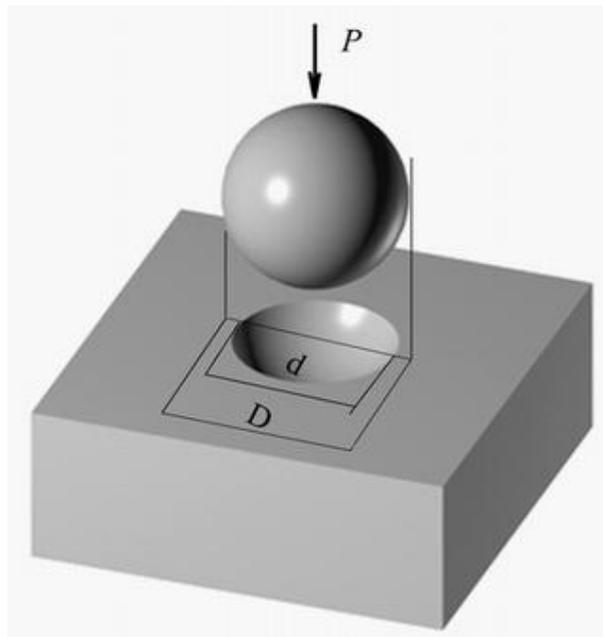


布氏硬度

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



布氏硬度测试示意图

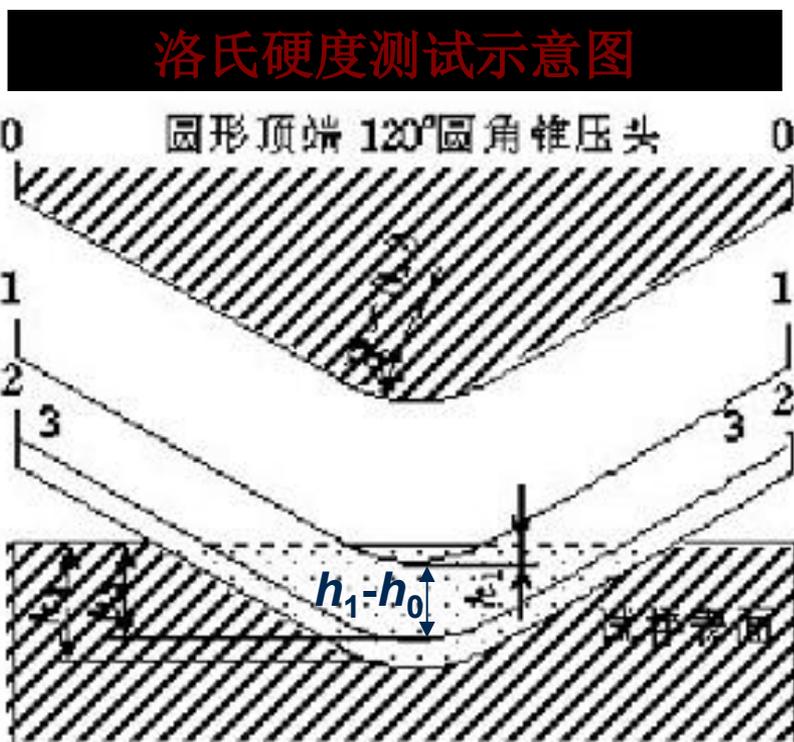


布氏硬度计

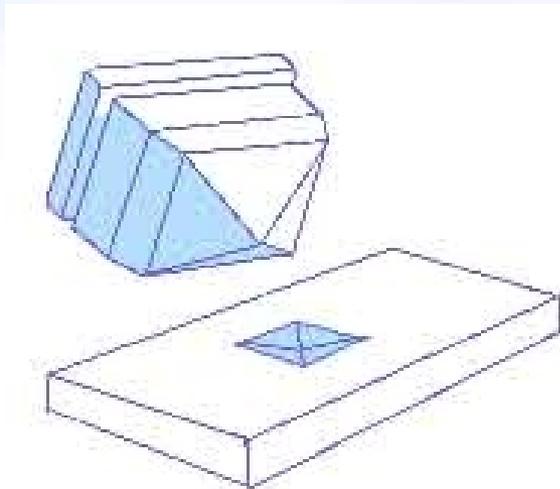
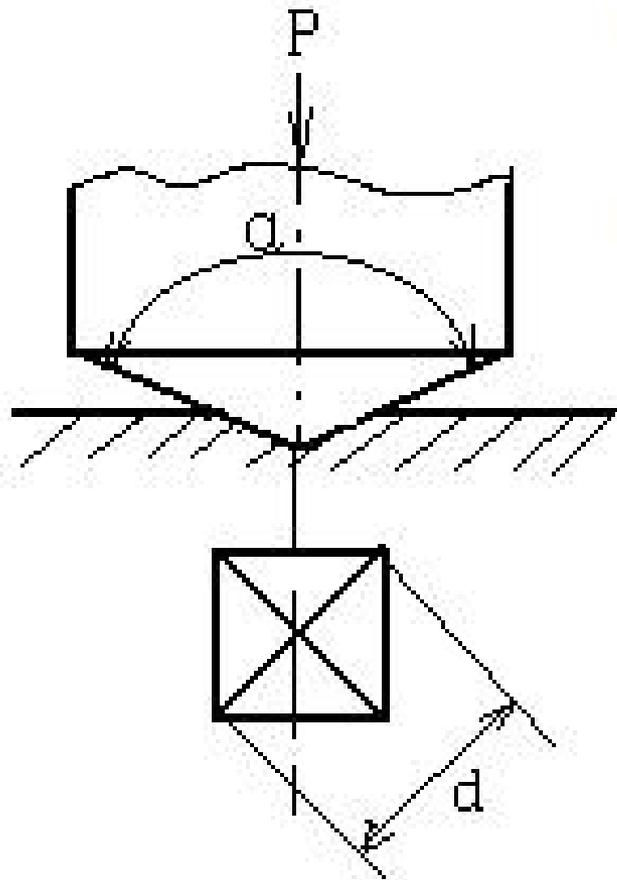


洛氏硬度

- 洛氏硬度用符号HR表示， $HR = k - (h_1 - h_0) / 0.002$
- 根据压头类型和主载荷不同，分为九个标尺，常用的标尺为A、B、C。



维氏硬度



维氏硬度试验原理

维氏硬度压痕

维氏硬度计

2 弹性变形失效

2.1 理想弹性变形

外力引起原子间距的变化（偏离平衡位置），即产生位移，位移的总和在宏观上表现为材料的变形。将外力去除后，原子依靠彼此之间的作用力又回到原来的平衡位置，宏观变形消失，表现为弹性变形的可逆性。将原子间作用力与原子间距近似看成线性关系，就是所谓的胡克定律 $\sigma = E \cdot \varepsilon$

弹性变形的特点

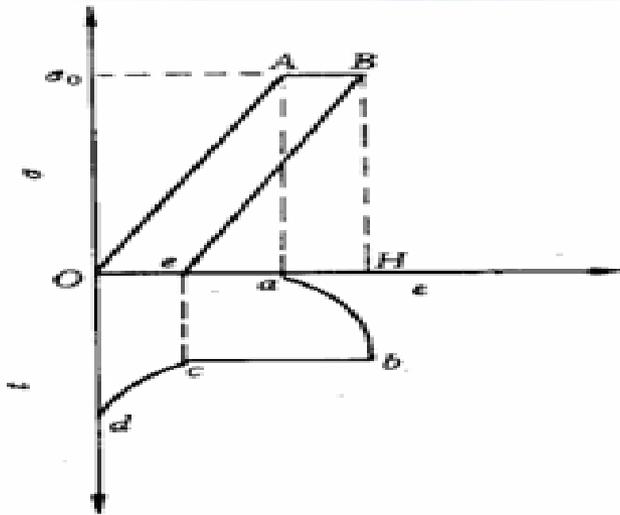
- ① 可逆性
- ② 单值性(线性)
- ③ 变形量很小

2.2 非理想弹性

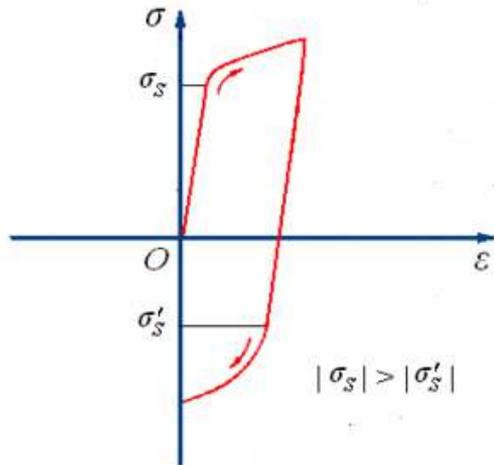
- ❖ **滞弹性**：材料在快速加载或卸载后，随着时间的延长而产生的附加弹性应变的性能
- ❖ **粘弹性**：材料在外力作用下，粘性和弹性两种变形机理同时存在的力学行为
- ❖ **伪弹性**：在一定温度条件下，当应力达到一定水平后，金属或合金将由应力诱发马氏体相变，伴随应力诱发相变产生大幅度弹性变形的现象
- ❖ **包申格效应**：金属材料经预先加载产生少量塑性变形（残余应变小于4%），而后再同向加载，规定残余伸长应力增加，反向加载，规定残余伸长应力降低的现象
- ❖ **内耗**：单向加载或交变加载一个周期形成的弹性滞后环所代表的能量损失



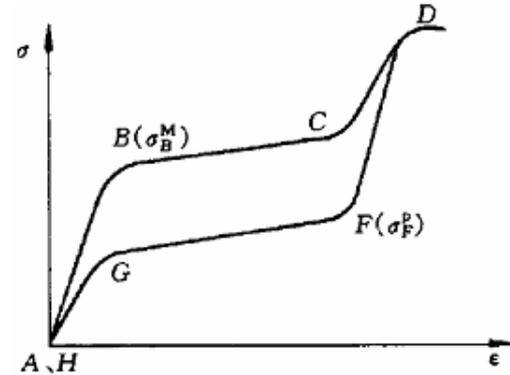
示意图



滞弹性示意图



包申格效应



伪弹性材料的应力—应变曲线示意图

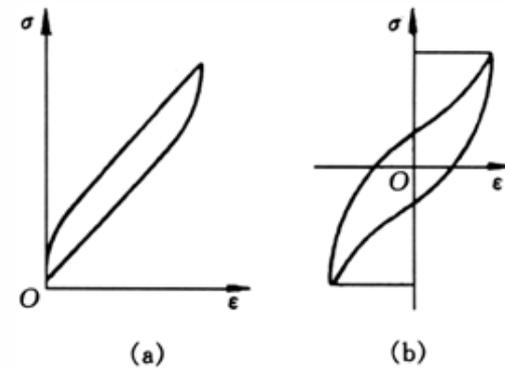
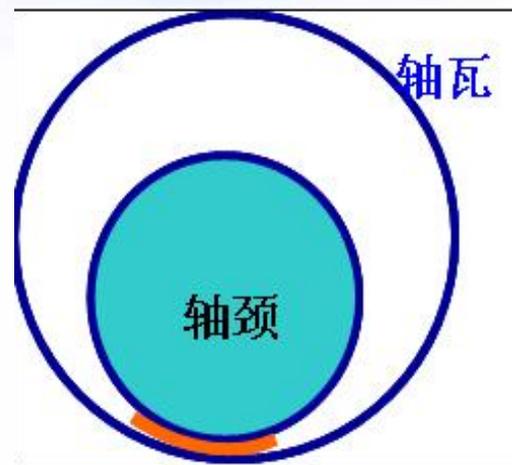


图 1-17 滞后环的类型
(a) 单向加载 (b) 交变加载

2.3 过量的弹性变形失效

- 当应力或温度引起构件可恢复的弹性变形大到足以妨碍装备正常发挥预定功能时，就叫做过量弹性变形失效。**是指因构件和零件刚性不足**，在受力过程中产生过量的弹性变形或弹性失稳，而导致的失效。
- 这种变形为弹性变形，是受力作用时的必然结果，**一般不会引起麻烦**。但在一些精密机械中，对零件的尺寸和匹配关系要求严格，当弹性变形超过规定的限量(在弹性极限以内)时，会造成零件的不正常匹配关系(如镗床的镗杆的过量弹性变形会降低被加工零件的精度甚至造成废品；齿轮轴的过量弹性变形会影响齿轮的正常啮合，加速磨损，增加噪声；弹簧的过量弹性变形会影响其减振和储能驱动作用)。

例：钢的线膨胀系数约为 $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，是青铜的一半，如果用2Cr13不锈钢作轴，用青铜作轴瓦，这样的结构在常温下可以很好地工作，但当温度很低时，就会因轴的收缩远小于轴瓦的收缩而发生抱轴现象。工作载荷和(或)温度使零件产生的弹性变形量超过零件匹配所允许的数值时，就将导致弹性变形失效。



轴瓦

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/025340332224011311>