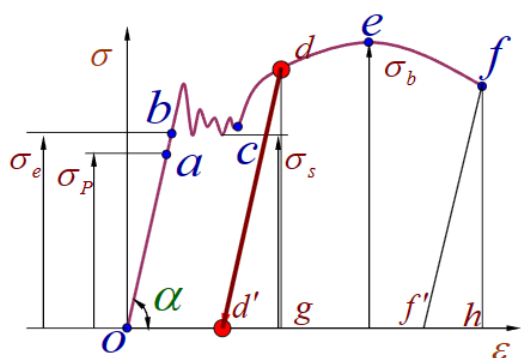




## 塑性力学绪论

目 塑性力学

金属材料的塑性性质：



1. 弹性阶段：满足Hooke's Law:  $\sigma = E\varepsilon$   
最高点a对应的应力 $\sigma_p$ 称为比例极限，a到b之间 $\sigma$ 与 $\varepsilon$ 之间的关系不再是直线，但是解除拉力后变形仍然存在，这种变形称为弹性变形。 $\sigma_p$ 对应弹性极限。

2. 屈服阶段：应变有明显增加，这种现象称为屈服或流动。而后作微小波动。首次下降前的最大应力称为上屈服极限，除第一个谷值应力以外的最小应力定义为下屈服极限，也称屈服极限。在这个阶段会出现成称为滑移线
3. 强化阶段，过屈服阶段后，材料又恢复抵抗变形的能力，为使它继续变形必须增加拉力，这种现象称为材料的强化。强化阶段最高点e所对应的应力 $\sigma_b$ 时材料所能承受的最大应力,称为强度极限
4. 局部变形阶段：某一局部横向尺寸急剧缩小，形成缩颈现象。

硬度：金属材料抵抗更硬物体压入的能力，或者说金属表面面对局部塑性变形的抵抗能力，他是衡量材料软硬程度的指标，是一个材料力学性能的综合指标。

方法：静压法、划痕法、回跳法。不同测量方法误差比较大

- 名义应变（也称工程应变）

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \Rightarrow d\varepsilon = \frac{dl}{l}$$

- 名义应力

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$A_0$  是变形前的面积

- 真实应力

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$A$  为变形后的面积

取  $Al = A_0 l_0$  (不可压缩假设), 真实应变为

$$\tilde{\sigma} = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_0} \frac{A_0}{A} = \sigma \frac{l}{l_0} = \sigma(1 + \varepsilon)$$

定义真实应变的增量, 积分可得对应真实应变:

$$d\tilde{\varepsilon} = \frac{dl}{l} \Rightarrow \tilde{\varepsilon} = \ln(1 + \varepsilon)$$

有时候也称为自然应变或对数应变

#### 💡 Tip

弹性材料一般为可压缩, 这是由于泊松效应。塑性材料一般为不可压缩 (泊松比为零)。

在小变形情况下有

$$\tilde{\sigma} = \sigma \quad \tilde{\varepsilon} = \varepsilon$$

这就是为什么弹性阶段不考虑真实应变

**塑性拉伸失稳:** 在材料的拉伸试验中, 当拉力超过一定值, 截面的颈缩效应逐渐明显, 当它足以与强化效应相互抵消时, 外载即到达**最大值**。此后, 虽然外力减小, 名义应力也随之减小, 但是由于颈缩效应所导致的截面积减少得更厉害, 真实应力并没有减小。在真实应力与应变关系中真实应力还是继续在增加。如果此时不减小外载荷, 那么平衡状态就会被破坏, 也就是说, 拉力为最大值的平衡状态是不稳定的, 我们称之为塑性拉伸失稳。它是由材料几何形状变化所引起, 和材料本身的失稳是不一样的

塑性拉伸失稳时有

$$F = \tilde{\sigma} A \Rightarrow dF = d\tilde{\sigma} A + \tilde{\sigma} dA = 0$$

不可压缩性质给出

$$Al = A_0 l_0 \Rightarrow A dl + dA l = 0$$

$$\frac{d\tilde{\sigma}}{\sigma} = -\frac{dA}{A} = \frac{dl}{l} = d\tilde{\varepsilon} \Rightarrow \frac{d\tilde{\sigma}}{d\tilde{\varepsilon}} = \tilde{\sigma}$$

这也就是说，如果给定了真实应力与应变关系，我们可以通过上述关系找到**拉伸失稳点**。

### 应变率效应

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{l_0} \frac{d\Delta l}{dt} = \frac{v}{l_0}$$

- 增加屈服强度
- 降低塑性
- 应变率为  $10^{-4} - 10^{-1}$ ，不用考虑应变率效应（一般情况）
- 对应碰撞问题，应变率效应明显，
- 对于某些合金材料，硬度很高不需要考虑应变率效应

### 滞后效应

- 出现在某些材料和循环加载
- 在连续介质损伤力学考虑卸载率的变化（微裂纹）

### 温度影响

- 低温材料变脆、塑性变差但强度增加
- 高温金属表现蠕变行为（原子扩散，钛合金常温环境下出现蠕变行为）

### 各向异性（包兴格效应）

- 材料拉伸和压缩性质差别很大
- 材料在经过压力加工后在不同方向上性质差别
- 材料本身和加工及加载后引起的影响

包兴格效应：拉伸变形后进行压缩变形，由于残余应力，材料会在更低的应力值发生屈服。

### 静水压力影响

- 静水压力增加材料的延性
- 静水压力对金属的应力应变曲线影响很小，对屈服应力影响很小
- 由于静水压力引起的材料体积变化是可以恢复的

## 结构的弹塑性力学问题

由理想弹塑性材料制成的结构，其变形随荷载的单调增加，分为三个阶段：

1. 弹性阶段：使结构处于弹性状态的最大荷载为最大弹性荷载
2. 约束塑性阶段：随着荷载的增加，结构中一部分材料进入塑性，但其变形受到相邻弹性部分的约束，仍属于弹性量级。

3. 自由塑性阶段：自由塑性变形阶段：随着荷载继续增加，结构的全部或足够大的部分进入塑性状态，致使弹性部分丧失了对塑性区的约束，变形显著增加，使结构达到自由塑性变形阶段的荷载——极限荷载。