

材料在拉伸和压缩时力学性能

- 材料在拉伸时的力学性能
- 材料在压缩时的力学性能
- 许用应力
- 应力集中概念

1

材料的力学性能

- 材料的力学性能
 - 材料在外力作用下变形和破坏的性能
- 测定材料力学性能的方法
 - 实验
- 影响材料力学性能的因素
 - 材料的成分及其内部组织的结构
 - 试验条件如受力状态, 温度及加载方式等
- 研究目的
 - 为构件的强度、刚度计算及选材提供重要依据
- 材料
 - 低碳钢、灰口铸铁

2

材料在拉伸时的力学性能

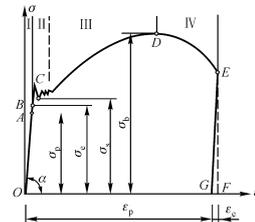
- 拉伸试验
 - 标准试样: 如图示圆截面试样, 工作长度称为**标距**: $l = 10d$ 或 $l = 5d$
 - 试验装置: 万能试验机; 引伸仪; 游标卡尺
 - 试验条件: 常温, 静载
 - **拉伸图**: 试样自开始加载至破坏全过程的 $F_p - \Delta l$ 曲线
 - **应力-应变图**: 为消除尺寸影响, 令 $\sigma = F_p/A$, $\varepsilon = \Delta l/l$



3

材料在拉伸时的力学性能

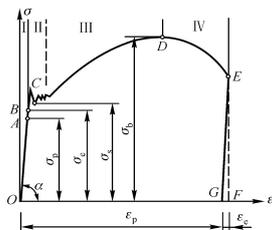
- **低碳钢**的应力—应变图 (曲线)
- 四个阶段
 - 弹性阶段OB
 - 屈服阶段BC
 - 强化阶段CD
 - 颈缩阶段DE



4

材料在拉伸时的力学性能

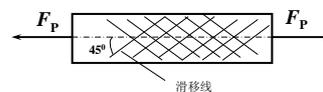
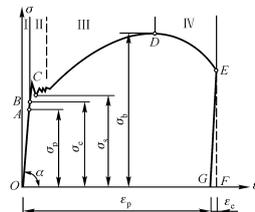
- 弹性阶段OB
 - 线弹性OA
 - 比例极限 σ_p
 - 胡克定律 $\sigma = E \varepsilon$
 - 弹性模量 E
 - 弹性AB
 - 弹性极限 σ_e



5

材料在拉伸时的力学性能

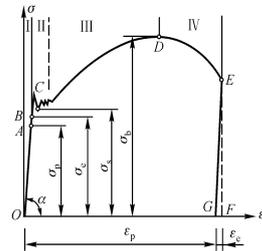
- 屈服阶段BC
 - 屈服极限 σ_s
 - 滑移线
 - 是由于晶格滑移而引起的力学行为, 在与杆轴约成 45° 处可观察到



6

材料在拉伸时的力学性能

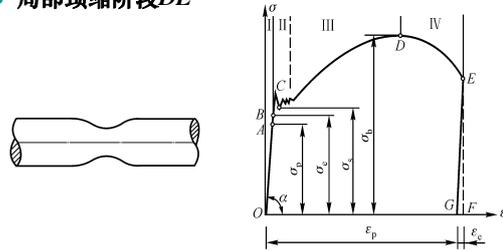
- 强化阶段CD
 - 强度极限 σ_b
- 试样所能承受的最大应力



7

材料在拉伸时的力学性能

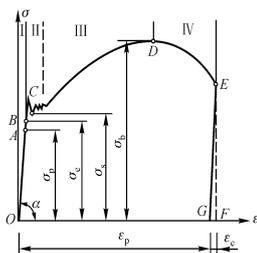
- 局部颈缩阶段DE



8

材料在拉伸时的力学性能

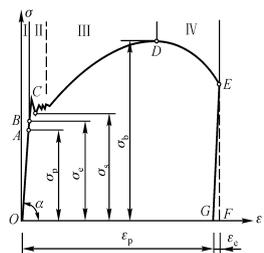
- 小结
 - 低碳钢拉伸过程四个阶段：弹性（含线弹性）、屈服、强化、局部颈缩
 - 四个特征点：比例极限 σ_p ，弹性极限 σ_e ，屈服极限 σ_s ，强度极限 σ_b



9

极限应力值 - 强度指标

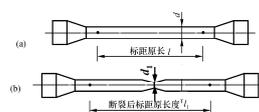
- 屈服极限 σ_s 和强度极限 σ_b 是衡量材料强度的两个重要指标



10

韧性指标

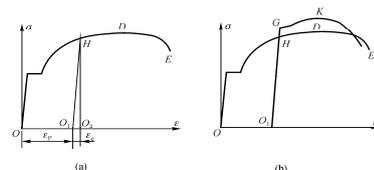
- 延伸率和截面收缩率
 - 延伸率: $\delta = (l_1 - l) / l \times \%$
 - 工程上, $l = 10d$ 按标准试样测得的延伸率大小将材料分为两类: $\delta_{10} \geq 5\%$ 的材料为塑性材料; $\delta_{10} < 5\%$ 的材料为脆性材料。
 - 截面收缩率: $\psi = (A - A_1) / A \times \%$
 - 衡量材料塑性的两个重要指标



11

冷作硬化与冷拉时效

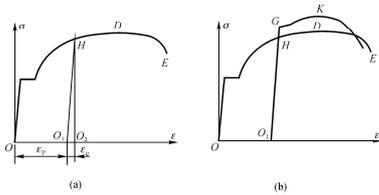
- 加载至 $\sigma - \epsilon$ 曲线非弹性区的某一点H时卸载, 试样残留着塑性变形 ϵ_p 不能恢复
- 若对卸载后的试样立即重新加载, 则 $\sigma - \epsilon$ 曲线为 O_1HDE , 比例极限提高了, 而塑性变形减少了, 这种现象称为冷作硬化



12

冷作硬化与冷拉时效

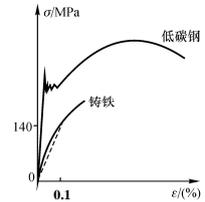
- 若对卸载后的试样停留一段时间再重新加载，则 $\sigma - \epsilon$ 曲线的比例极限有更大的提高，其强度极限也得到提高，这种现象称为 **冷拉时效**



13

材料在拉伸时的力学性能

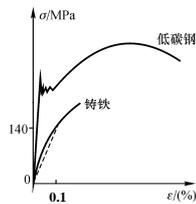
- **灰口铸铁**拉伸时的应力-应变曲线如图
- 与低碳钢拉伸时的应力-应变曲线相比较可知
 - 没有明显的线性阶段，工程中用割线斜率求弹性模量 E
 - 没有屈服阶段
 - 强度极限 σ_b 是衡量强度的唯一指标



14

材料在拉伸时的力学性能

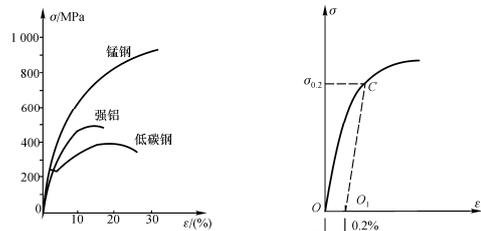
- **灰口铸铁**与低碳钢拉伸时的应力-应变曲线相比较可知
 - 没有明显的线性阶段，工程中用割线斜率求弹性模量 E
 - 没有屈服阶段
 - 强度极限 σ_b 是衡量强度的唯一指标
 - 延伸率 $\delta \approx (0.5 \sim 0.6)\%$ ，铸铁是典型的**脆性材料**



15

材料在拉伸时的力学性能

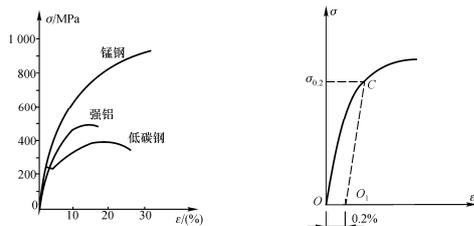
- 图示三种**塑性材料**的应力-应变曲线
- 特点：**没有明显的屈服阶段**



16

材料在拉伸时的力学性能

- 国标规定，取其塑性应变为0.2%时所对应的应力值作为**名义屈服极限**，用 $\sigma_{0.2}$ 表示，图中 O_1C 线段与弹性阶段的直线部分相平行。



17

材料在拉伸时的力学性能

- 例1 一根材料为Q235钢的拉伸试样，其直径 $d=10\text{mm}$ ，工作段长度 $l=100\text{mm}$ 。当试验机上荷载读数达到 $F=10\text{kN}$ 时，量得工作段的伸长为 $\Delta l=0.0607\text{mm}$ ，直径的缩小为 $\Delta d=0.0017\text{mm}$ 。试求此时试样横截面上的正应力 σ ，并求出材料的弹性模量 E 和泊松比 ν 。已知Q235钢的比例极限为 $\sigma_p=200\text{MPa}$

18



- 解: 当 $F = 10\text{kN}$ 时

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{4 \times 10 \times 10^3}{\pi (1 \times 10^{-2})^2} = 127.3 \times 10^6 \text{ Pa} = 127.3 \text{ MPa}$$

低于材料的比例极限 $\sigma_p = 200\text{MPa}$, 可用胡克定律

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{0.0607 \times 10^{-3}}{0.1} = 6.07 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon' = \frac{\Delta d}{d} = \frac{-0.0017 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = -1.7 \times 10^{-4}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{127.3 \times 10^6}{6.07 \times 10^{-4}} = 210 \times 10^9 \text{ Pa} = 210 \text{ GPa}$$

$$\nu = -\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} = -\frac{(-1.7 \times 10^{-4})}{6.07 \times 10^{-4}} = 0.28$$

19



材料在拉伸和压缩时力学性能

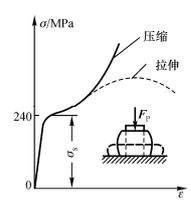
- 材料在拉伸时的力学性能
- 材料在压缩时的力学性能
- 许用应力
- 应力集中概念

20

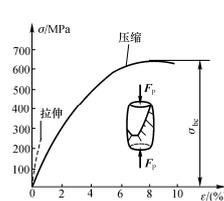


单向压缩材料的力学性能

- 材料在**压缩**时的力学性能
- 标准试样: 对金属材料压缩试验, 采用**短圆柱**, 其高度约为直径的1.5~3.0



低碳钢



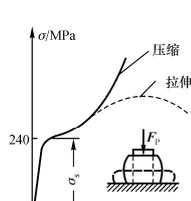
铸铁

21



单向压缩材料的力学性能

- 低碳钢**压缩**时的应力-应变曲线 (图中虚线为拉伸时的应力-应变曲线) **特点**
 - 与拉伸时有相同的弹性模量, 比例极限, 屈服极限
 - 难以测出强度极限

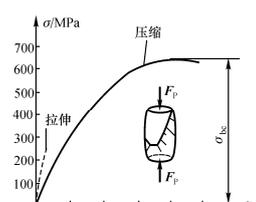


22



单向压缩材料的力学性能

- 铸铁**压缩**时的应力-应变曲线 (图中虚线为拉伸时的应力-应变曲线) **特点**
 - 在外法线与轴线大致成 $45^\circ \sim 55^\circ$ 的**斜截面上** 因**剪切错动**而破坏
 - 压缩强度极限 σ_{bc}** 比拉伸强度极限 σ_b **高3~4倍**
- 结论
 - 脆性材料适宜做**受压构件**



23



材料在拉伸和压缩时力学性能

- 材料在拉伸时的力学性能
- 材料在压缩时的力学性能
- 许用应力
- 应力集中概念

24

许用应力与安全系数的确定

- 许用应力与安全系数的确定

许用应力 $[\sigma] = \frac{\sigma_u}{n}$

塑性材料 $\sigma_u = \sigma_s, n = n_s, \Rightarrow [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n_s}$

脆性材料 $\sigma_u = \sigma_b, n = n_b, \Rightarrow [\sigma] = \frac{\sigma_b}{n_b}$

25

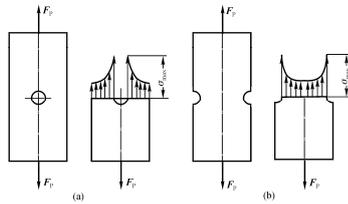
材料在拉伸和压缩时力学性能

- 材料在拉伸时的力学性能
- 材料在压缩时的力学性能
- 许用应力
- 应力集中概念

26

应力集中概念

- 如图示拉杆，若在杆上有孔、切口及螺纹等，杆在此处的截面尺寸发生突变，这些截面上的应力分布非均匀，在孔或开口附近应力明显增大，而离孔或切口稍远处，应力趋于均匀，这种现象称为**应力集中**



27

应力集中概念

- 理论应力集中系数： $K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma}$
- K 反映了应力集中的程度，其值大于1
- 实验表明：截面尺寸改变越突然，应力集中的程度越严重。因此应尽量采用圆滑过渡
- 相对而言，塑性材料对应力集中敏感度比脆性材料低
- 塑性材料与脆性材料的区分与实验条件有关，如典型的塑性材料在低温条件下工作，或加载速度较大的情况下会表现出明显的脆性

28