

---

# 第18-19讲 建筑钢材

---

建筑工程学院

辛崇飞 博士

## 学习目标

- **了解** 钢的冶炼和分类、钢材的加工性质、钢材防锈和防火的做法；
- **掌握** 建筑钢材的**主要力学性能和工艺性能**、建筑用钢材的标准和应用；
- **了解** 建筑钢材的分类、性质、技术标准及选用原则。
- **熟悉** 钢材验收和储运的基本要求。

# 建筑钢材

- **一、钢材冶炼与分类**
- **二、建筑钢材的力学性能与工艺性能**
- **三、钢材的加工（热处理和冷加工）**
- **四、建筑钢材标准与选用**
- **五、建筑钢材的防锈与防火**
- **六、建筑钢材的验收与储运**

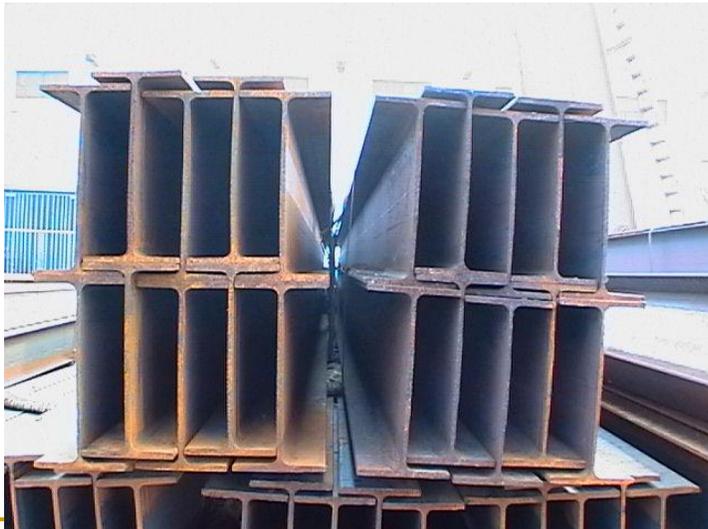
- 建筑钢材—是指用于**钢结构**的各种型钢（如圆钢、角钢、工字钢、管钢等）和用于**钢筋混凝土**的钢筋、钢丝、钢绞线以及用于**围护结构和装修用**的各种钢板和复合板等。



# 建筑钢材的主要品种

## 1. 型钢

- 简单截面型钢：圆钢、方钢、六角钢、八角钢等；
- 复杂截面型钢：工字钢、角钢、槽钢、钢轨等。



## 2.线材

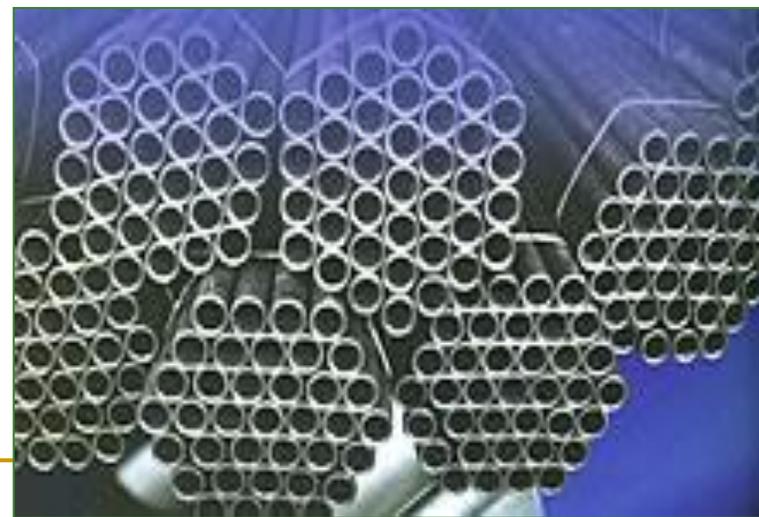
如钢筋、钢丝等。



# 建筑钢材的主要品种

## 3. 管材

无缝钢管、焊接钢管等。

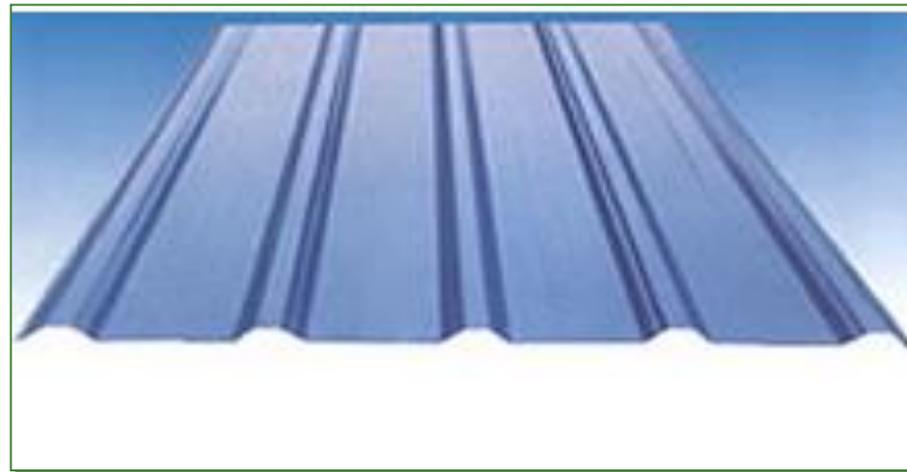


# 建筑钢材的主要品种

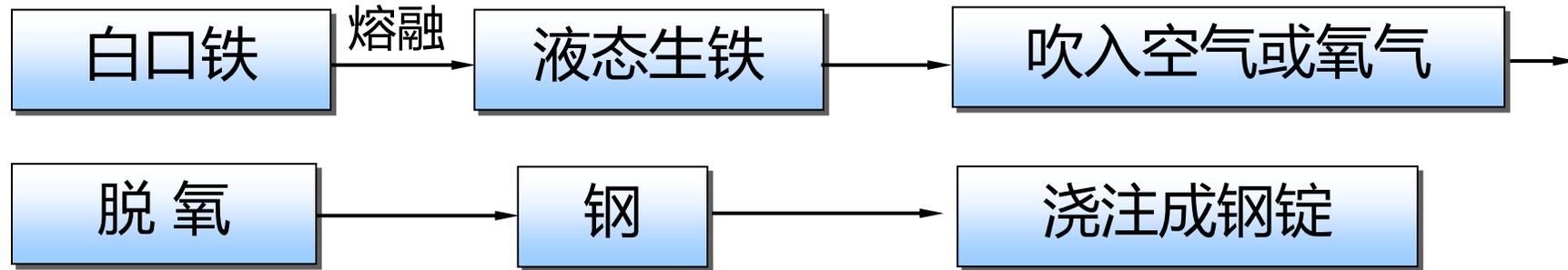


## 4. 板材

光面钢板、花纹钢板、  
彩色涂层钢板等。



# 钢的冶炼方法简介



- 按照炼钢炉的种类，炼钢方法可分为：
  1. 转炉炼钢法 炼制优质碳素钢和合金钢。
  2. 平炉炼钢法 用来炼制优质碳素钢、合金钢或有特殊要求的专用钢。
  3. 电炉炼钢法 特殊合金钢，高中合金钢。

# 建筑钢材的特点

- 优点：抗拉强度高、塑性和韧性好；  
能承受冲击和振动荷载；  
易于加工成板材、型材和线材；  
良好的焊接和铆接性能。
- 缺点：易锈蚀、维护费用高；  
耐火性差；  
生产能耗大。

# 建筑钢材的应用

- 大跨度结构
- 多层及高层结构
- 受动荷载作用的工业厂房



钢结构厂房



钢结构桥梁



国家体育场“鸟巢”是2008年北京奥运会主体育场。“鸟巢”是一个**大跨度的曲线结构**，以巨大的钢网围合、覆盖着9.1万人的体育场，采用了当今先进的建筑科技，其中，钢结构是世界上独一无二的。“鸟巢”钢结构**总重4.2万吨，最大跨度343米**，结构相当复杂，为国内外特有建筑。

# 建筑钢材

- **一、钢材冶炼与分类**
- **二、建筑钢材的力学性能与工艺性能**
- **三、钢材的加工（热处理和冷加工）**
- **四、建筑钢材标准与选用**
- **五、建筑钢材的防锈与防火**
- **六、建筑钢材的验收与储运**

# 一、钢材分类

## 1. 按化学成分分类

(1) 碳素钢。碳素钢的化学成分主要是铁，其次是碳，故也称铁-碳合金。其含碳量为 $0.02\%$ ~ $2.06\%$ 。此外尚含有极少量的硅、锰和微量的硫、磷等元素。碳素钢按含碳量又可分为：

- 低碳钢（含碳量小于 $0.25\%$ ）、
- 中碳钢（含碳量为 $0.25\%$ ~ $0.60\%$ ）
- 高碳钢（含碳量大于 $0.60\%$ ）

## (2) 合金钢

是指在炼钢过程中，有意识地加入一种或多种能改善钢材性能的合金元素而制得的钢种。常用合金元素有：硅、锰、钛、钒、铌、铬等。按合金元素总含量的不同，合金钢可分为：

- ❑ 低合金钢（合金元素总含量小于5%）
- ❑ 中合金钢（合金元素总含量为5%~10%）
- ❑ 高合金钢（合金元素总含量大于10%）

## ■ 2.按质量分类

(1) 普通质量钢； (2) 优质钢； (3) 高级优质钢；

## ■ 3.按用途分类

(1) **结构钢**：建筑结构工程中最常用的钢种是碳素结构钢和低合金高强度结构钢；

(2) **工具钢**：用于各种切削工具的钢；

(3) **特种钢**：具有特殊性能的钢，如耐酸钢、耐热钢、不锈钢等；

#### ■ 4、按脱氧的方式分类

- (1) 沸腾钢;
- (2) 镇静钢;
- (3) 半镇静钢;
- (4) 特殊镇静钢

#### ■ 脱氧的目的:

去掉冶炼过程中形成的FeO

## (1) 沸腾钢:

仅用 弱脱氧剂锰铁 进行脱氧，脱氧很不完全的钢；  
代号为 “F”

### ■ 名称的由来:

由于钢水中残留的  $\text{FeO}$  与  $\text{C}$  化合生成  $\text{CO}$  气体，在浇注钢水的时候，大量的  $\text{CO}$  气体从钢水中往外冒出，引起钢水沸腾，因此叫做沸腾钢；

### ■ 沸腾钢的特点:

含杂质较多，质量较差，致密性差，但成本低。

## ■ (2) 镇静钢:

### ■ 定义:

用必要数量的硅、锰和铝等脱氧剂进行彻底脱氧而得到的钢;

代号为“Z”

### ■ 名称的由来:

由于钢水脱氧充分, 在浇注钢水的时候钢水能够平静凝固, 因此叫做镇静钢;

### ■ 镇静钢的特点:

结构致密, 成分均匀, 性能稳定, 是质量较好的钢种, 但是产品率低, 且成本较高。

---

- **(3) 特殊镇静钢:**

- 特殊镇静钢的特点:

特殊镇静钢。比镇静钢脱氧程度更充分彻底的钢，故称为特殊镇静钢，代号为“TZ”。

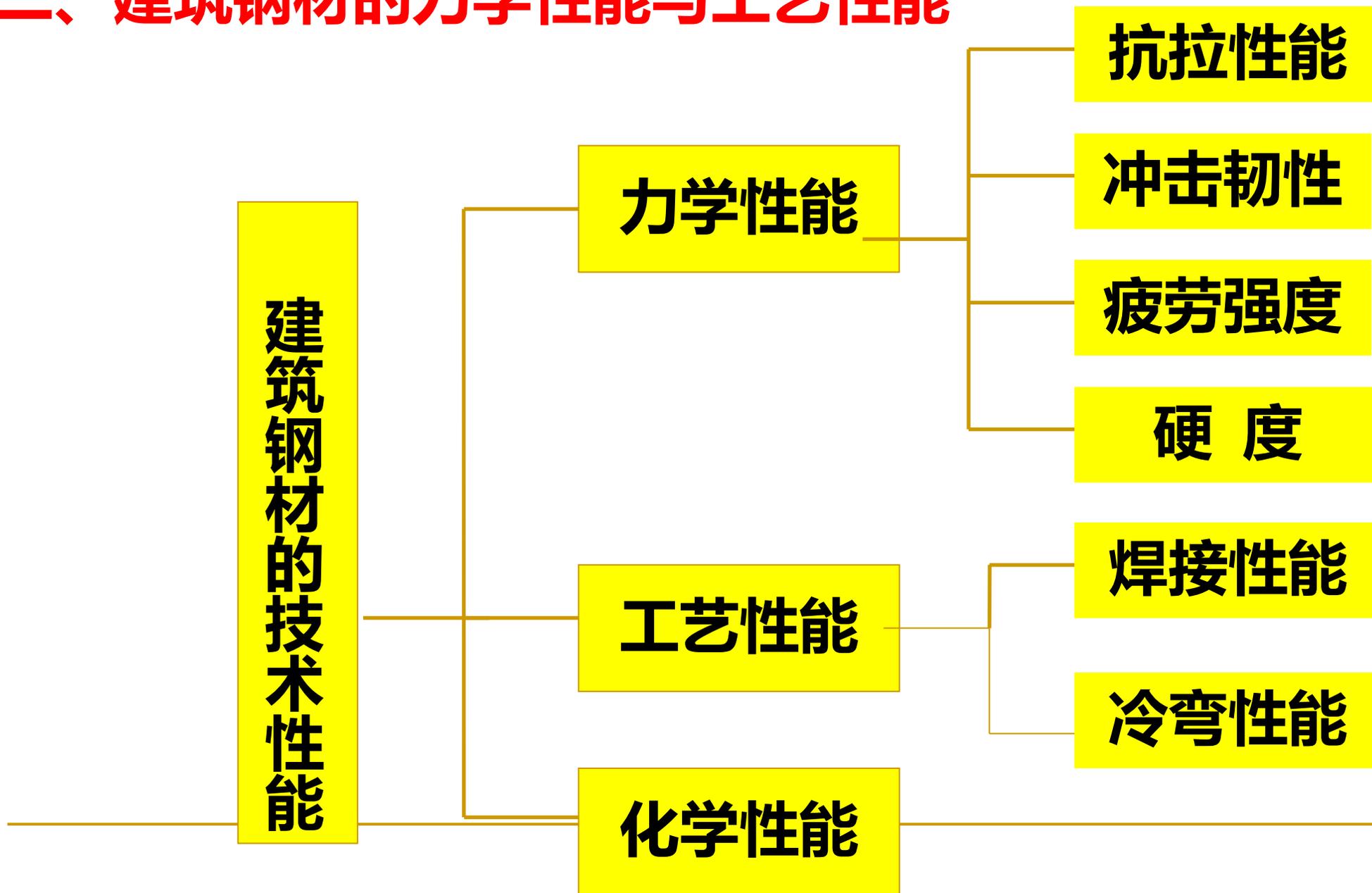
特殊镇静钢的质量最好，适用于特别重要的结构工程。

---

# 建筑钢材

- 一、钢材冶炼与分类
- 二、建筑钢材的力学性能与工艺性能
- 三、钢材的加工（热处理和冷加工）
- 四、建筑钢材标准与选用
- 五、建筑钢材的防锈与防火
- 六、建筑钢材的验收与储运

## 二、建筑钢材的力学性能与工艺性能



# （一）、建筑钢材的力学性能

## 1 拉伸性能（抗拉性能）

在外力作用下，材料抵抗变形和断裂的能力称为强度。

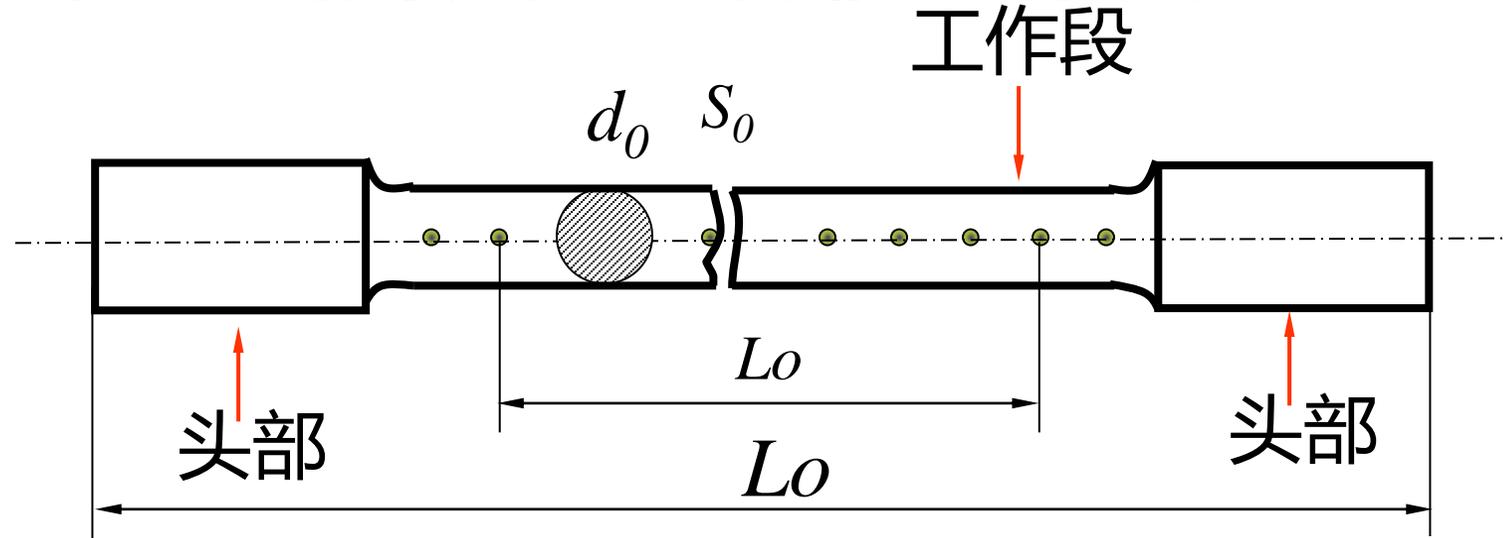
测定钢材强度的主要方法是**拉伸试验**，钢材受拉时，在产生应力的同时，相应地产生应变。

应力和应变的关系反映出钢材的主要力学特征。

# (a) 低碳钢的拉伸性能

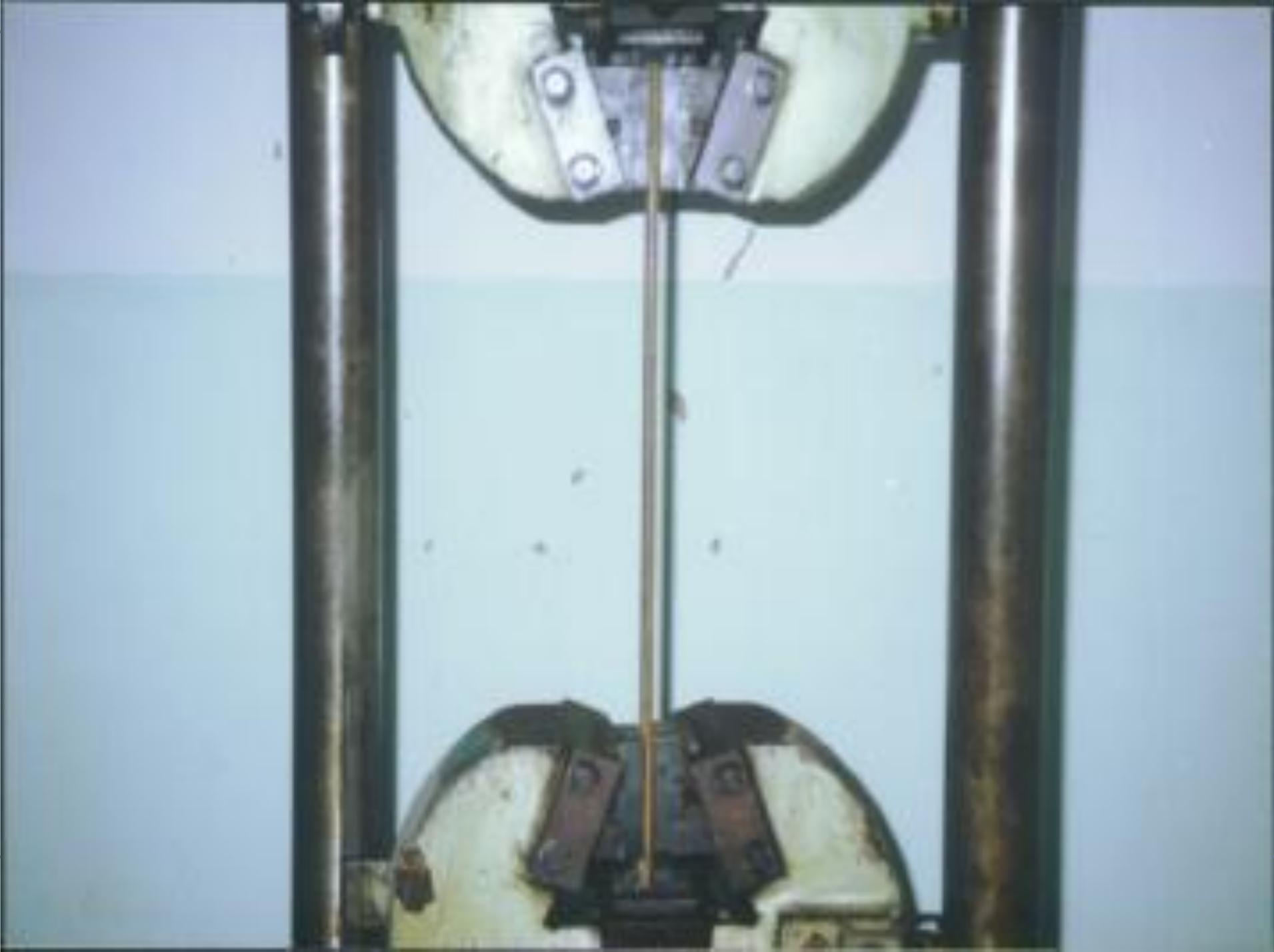
- 标准试件

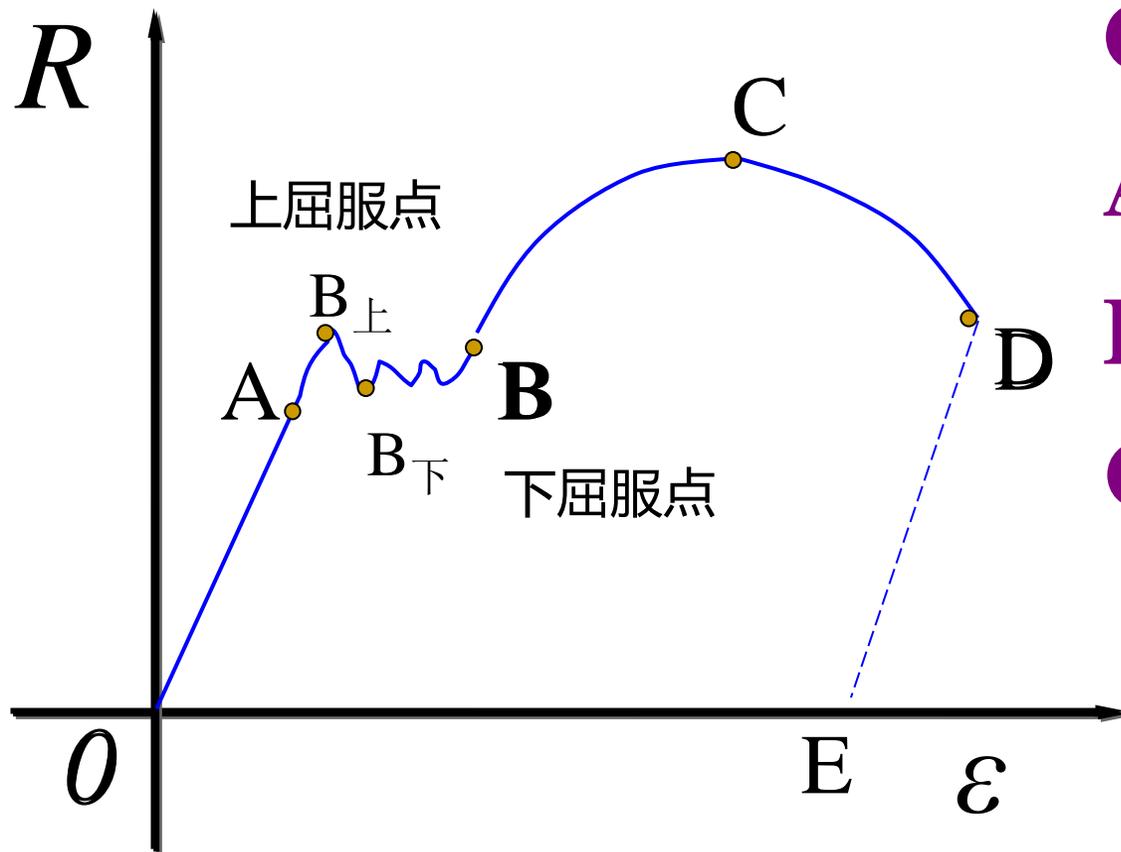
按照一定的要求，对表面进行车削加工后的试件。



- 非标准试件

不经过加工，直接在线材上切取的试件。





**OA—弹性阶段**

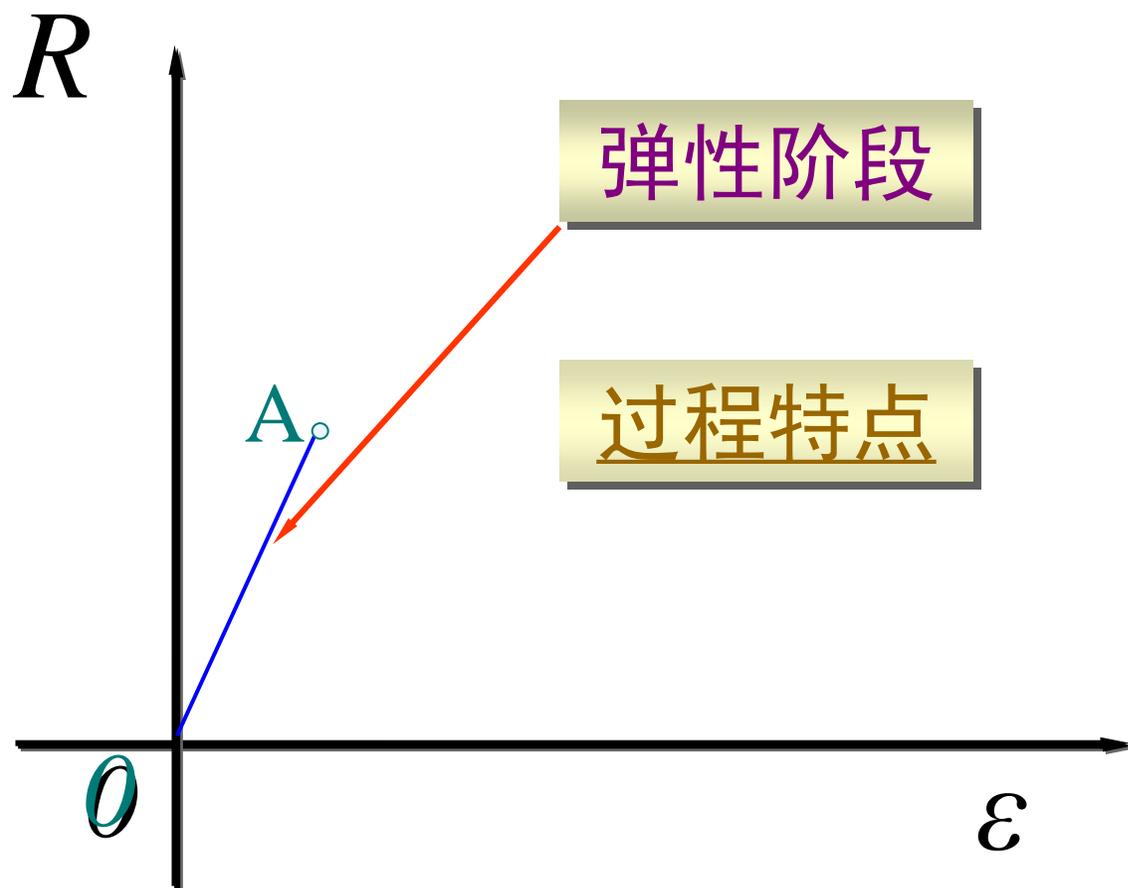
**AB—屈服阶段**

**BC—强化阶段**

**CD—颈缩阶段**

以下屈服点作为  
钢材的屈服  
点 (MPa)

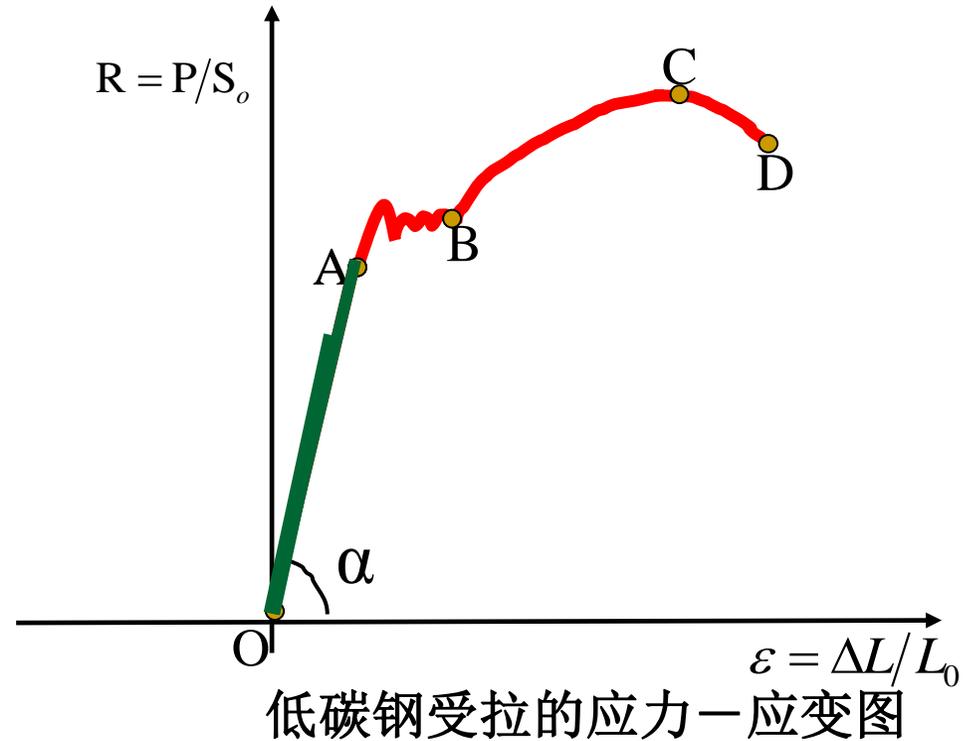
钢材拉伸过程的 $R-\epsilon$ 图

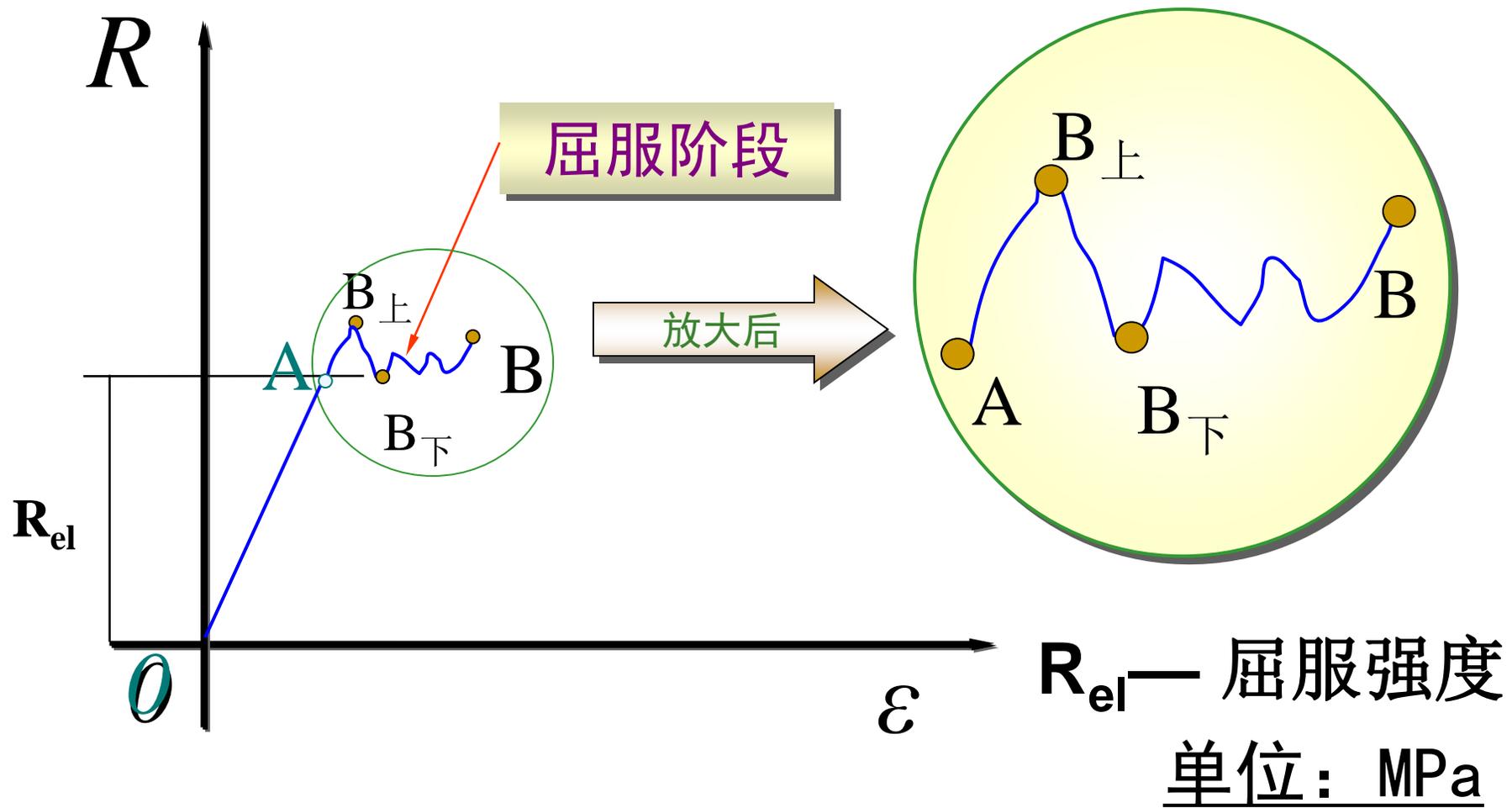


钢材拉伸弹性阶段示意图

## 一、弹性阶段OA

- **图形的特点**: 一条通过原点的直线，应力与应变成正比。
- **试件的特点**: 弹性
- **计算的指标**:
  - ① 弹性模量  $E = \sigma / \varepsilon = \operatorname{tg} \alpha$   
E值的大小反映了钢材抵抗弹性变形的能力。





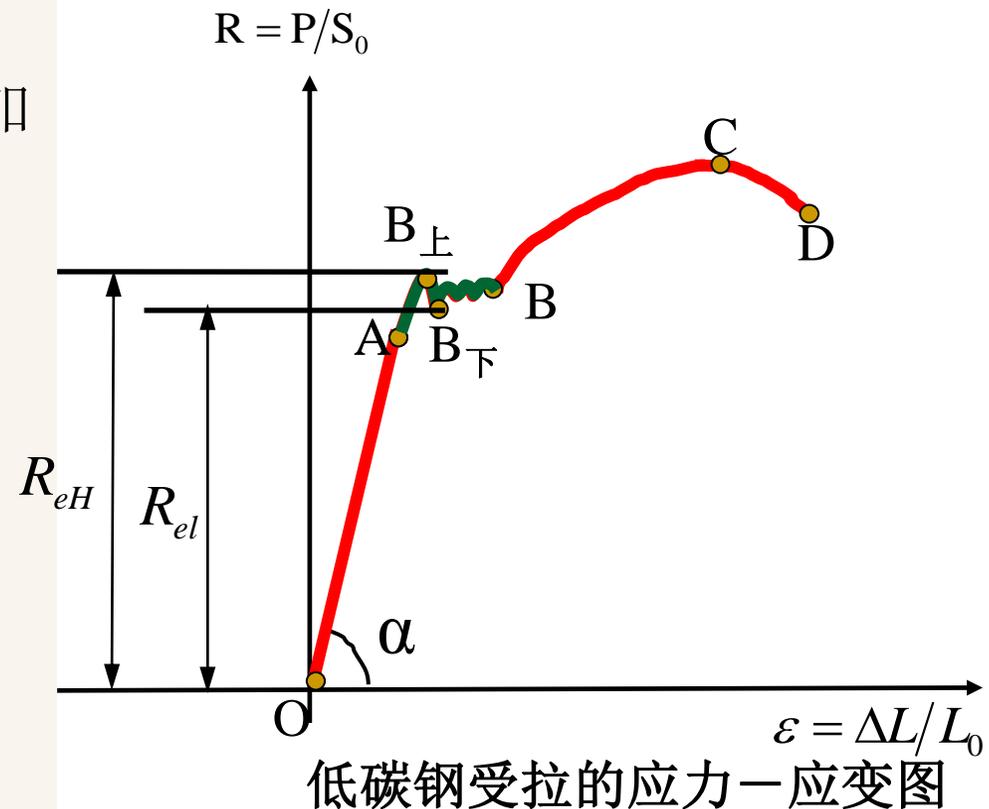
钢材拉伸屈服阶段示意图

## 二、屈服阶段AB

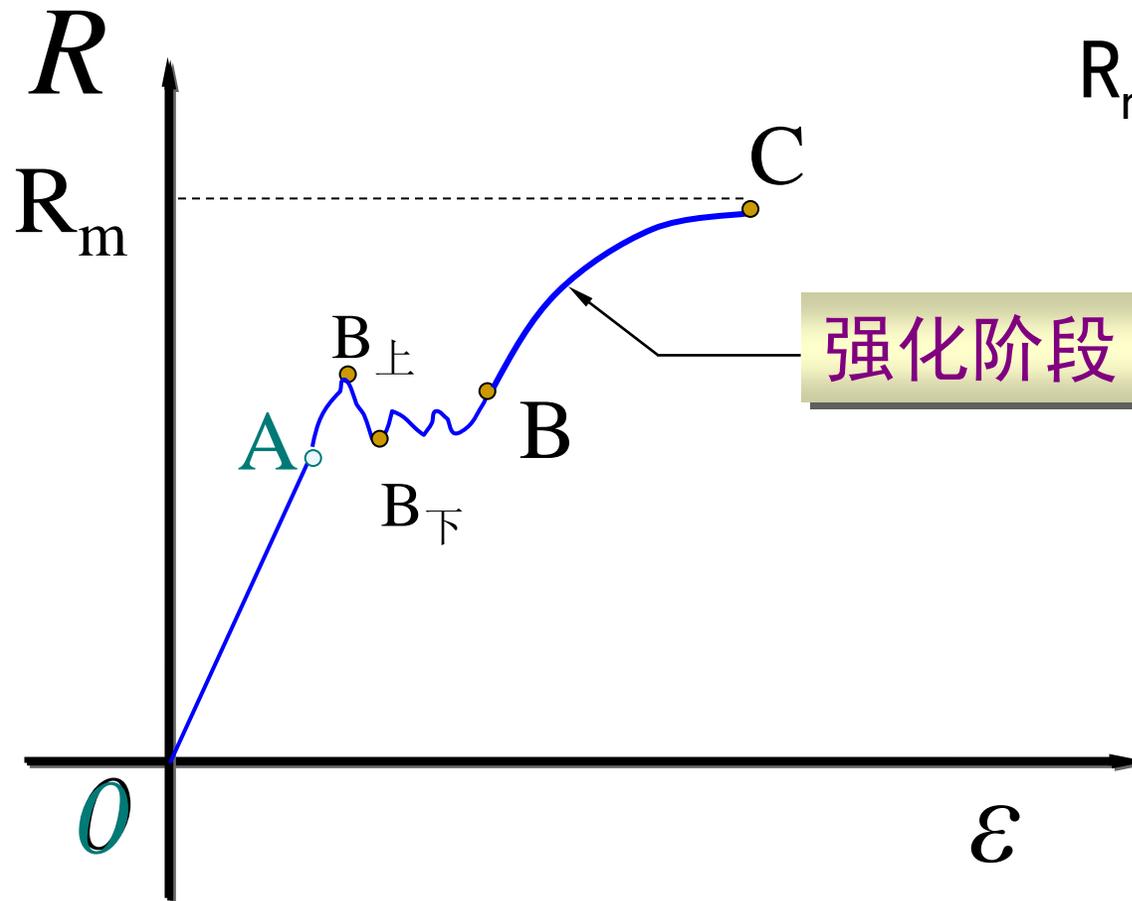
- **图形的特点**：一条波动的曲线，应力增加很小，而应变增加很大。
- **试件的特点**：所能承受的拉力增加很小，而塑性变形迅速增加，似乎钢材不能承受外力——屈服。
- **计算的指标**：

屈服强度（也叫屈服点） $R_{el}$   
 $B_{\text{下}}$ 点对应的应力。

$$R_{el} = \frac{P}{S_0}$$



$B_{\text{上}}$ 点对应的应力用 $R_{eH}$ 表示。



$R_m$  — 抗拉强度  
或强度极限。

单位：MPa

钢材拉伸强化阶段示意图

### 三、强化阶段BC

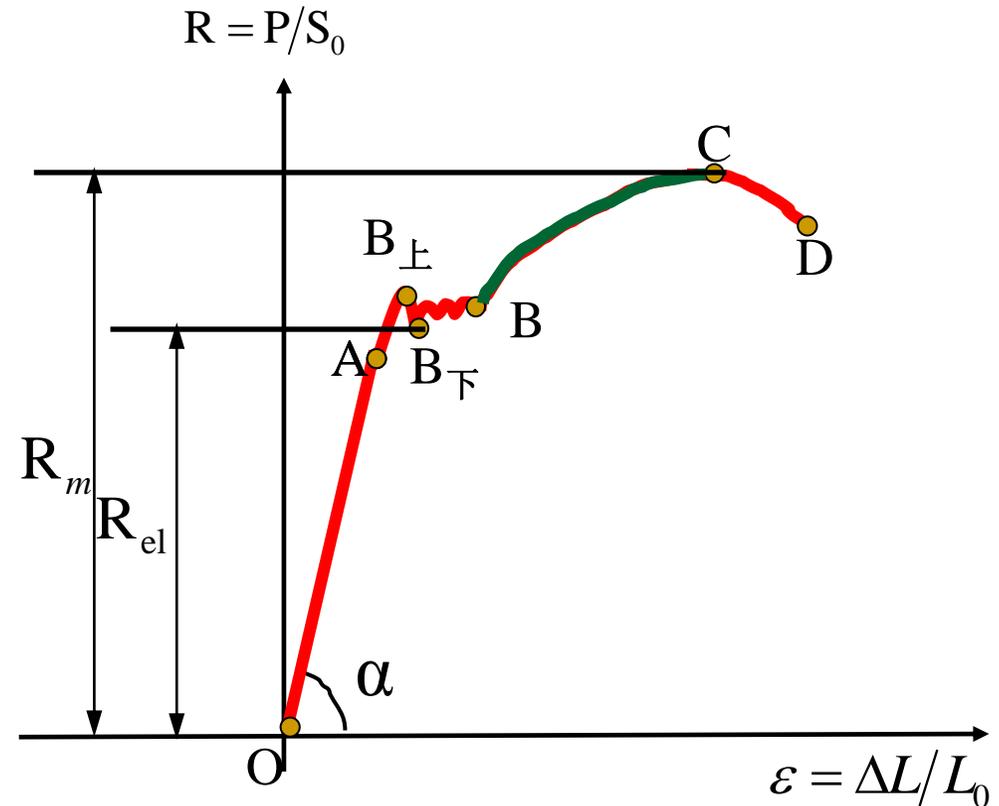
- **图形的特点：**  
一段上升的曲线。
- **试件的特点：**  
抵抗塑性变形的能力又重新提高——**强化**。

- **计算的指标：**

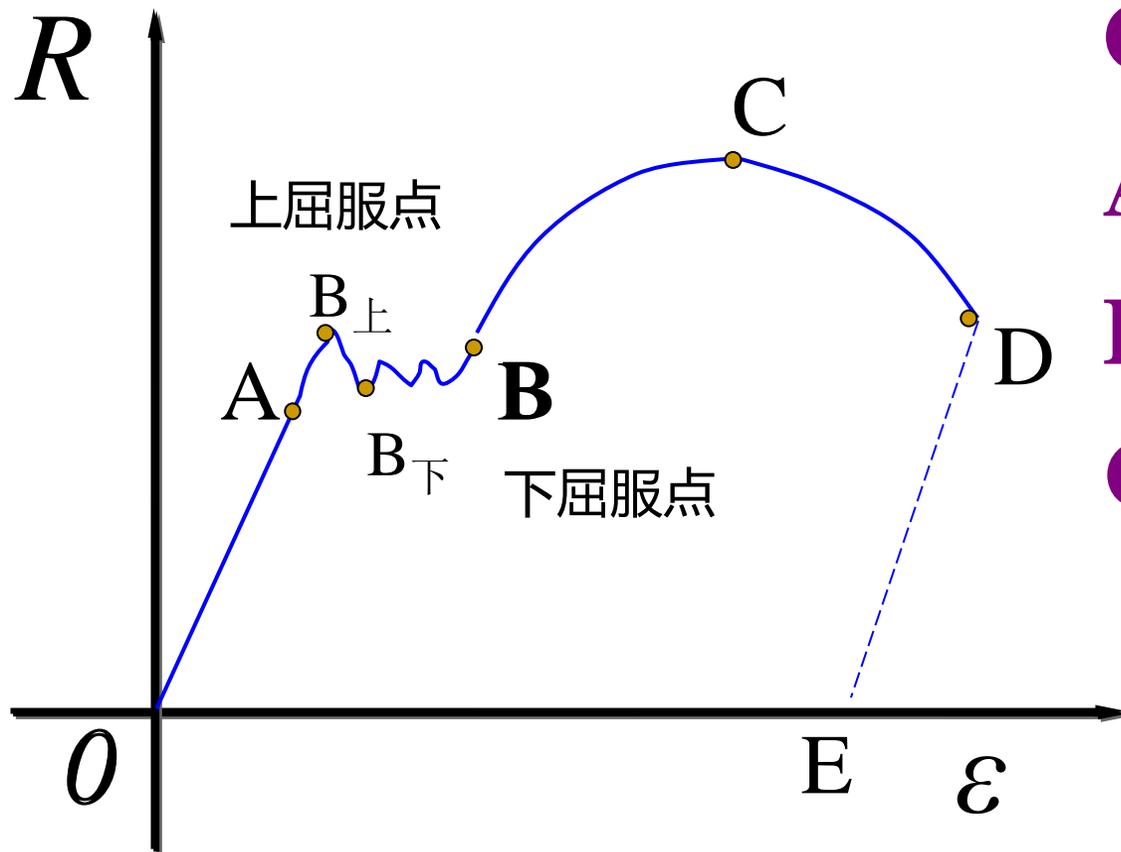
抗拉强度

$R_m$ ：C点对应的应力。

$$R_m = \frac{P}{S_0}$$



低碳钢受拉的应力—应变图



**OA**—弹性阶段

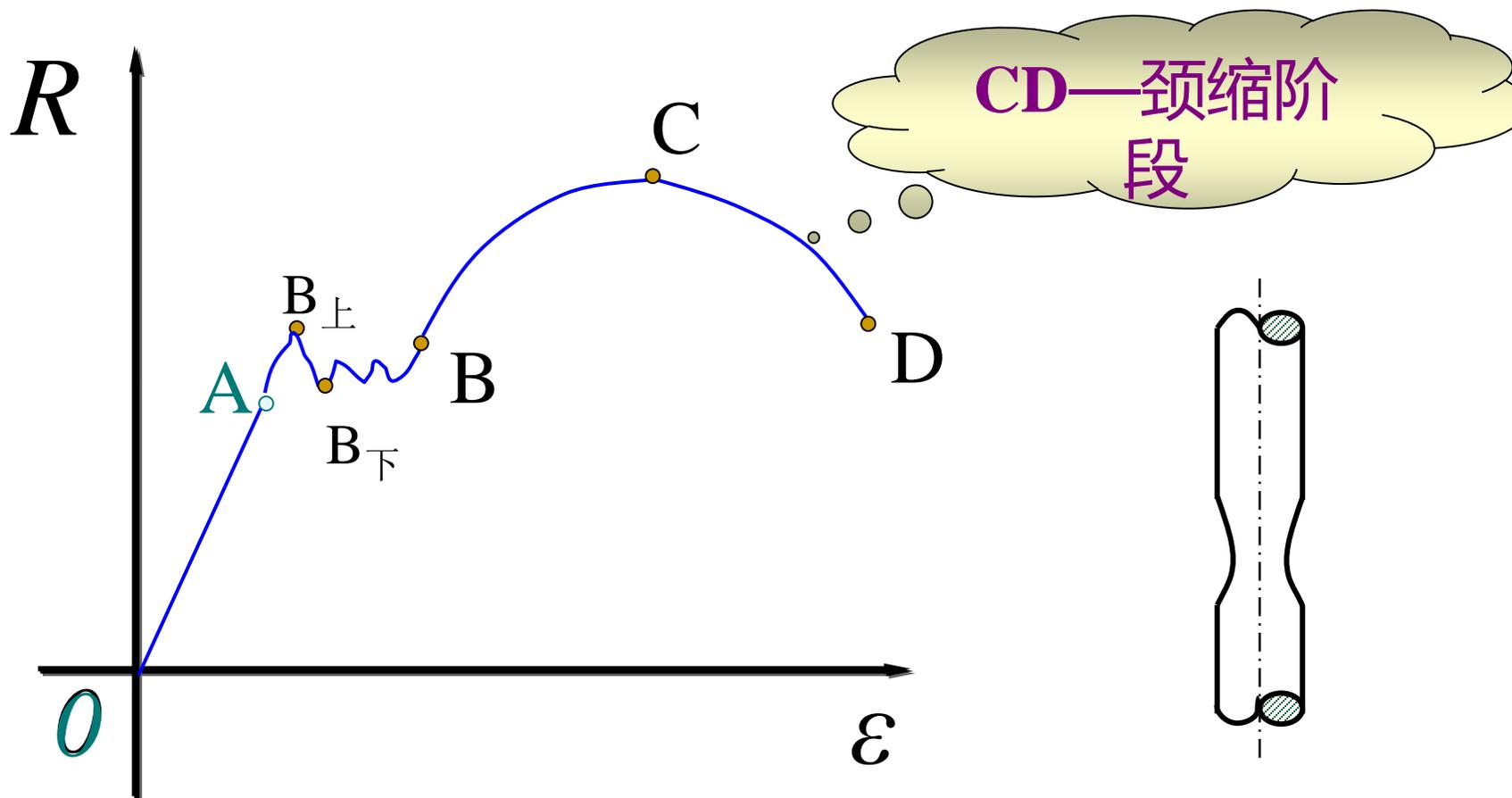
**AB**—屈服阶段

**BC**—强化阶段

**CD**—颈缩阶段

以下屈服点作为  
钢材的屈服  
点 (MPa)

钢材拉伸过程的 $R-\epsilon$ 图



钢材拉伸颈缩阶段示意图

返回

## 四、颈缩阶段CD

- **图形的特点:**

一段下降的曲线。

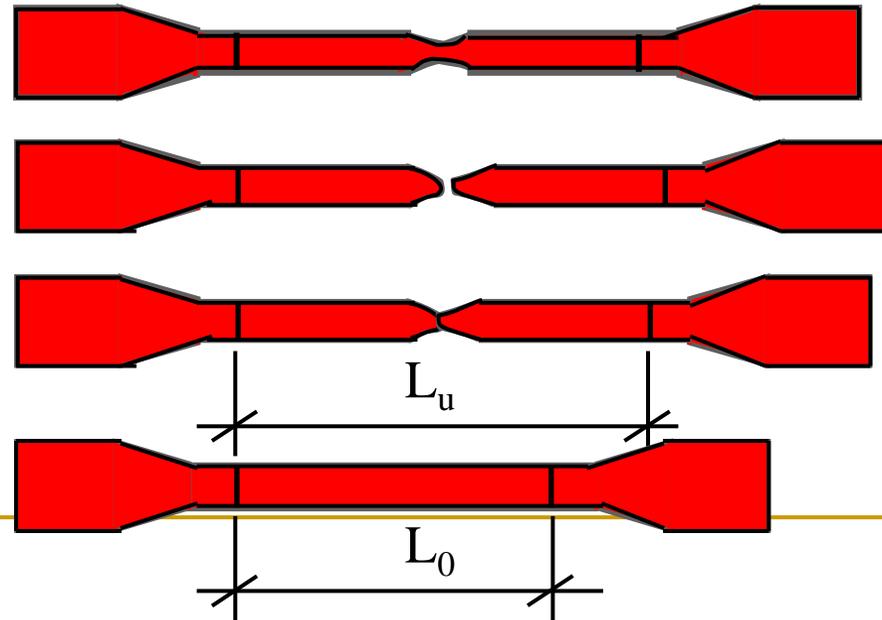
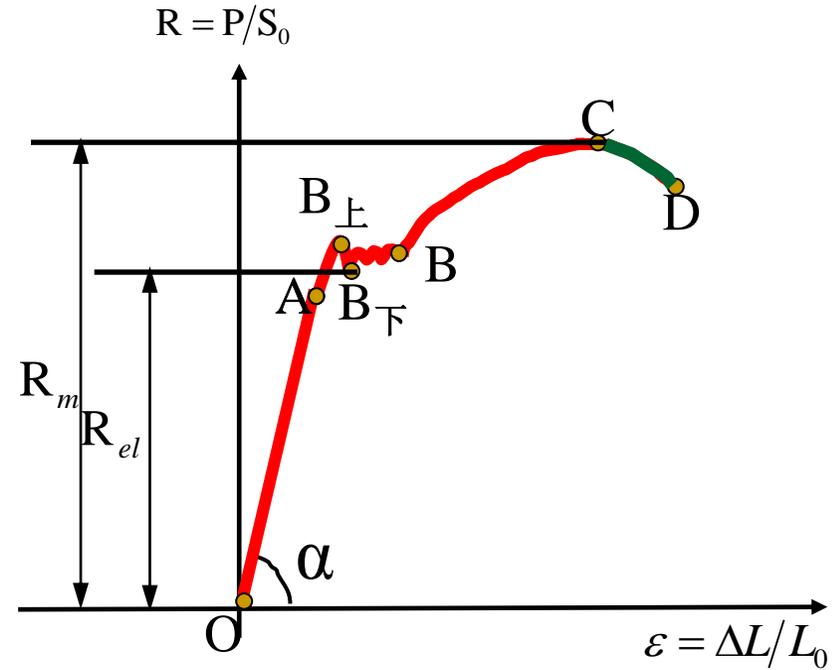
- **试件的特点:**

变形迅速发展，在有杂质或缺陷处，断面急剧缩小——**颈缩**，直到断裂。

- **计算的指标:**

伸长率A:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$



# 三个重要的指标

## 1. 屈服强度 $R_{el}$

结构设计中钢材强度取值的依据

## 2. 抗拉强度 $R_m$

钢材所能承受的最大应力

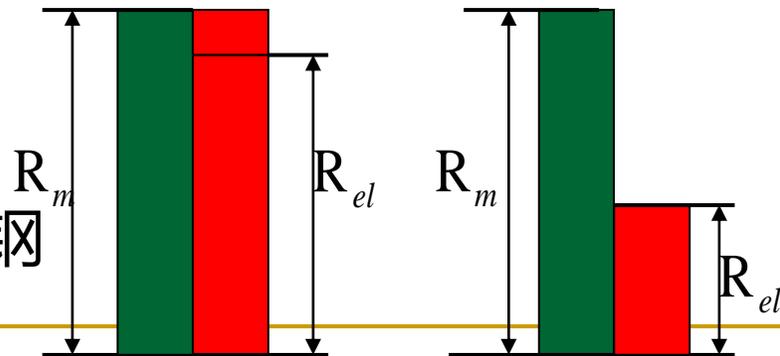
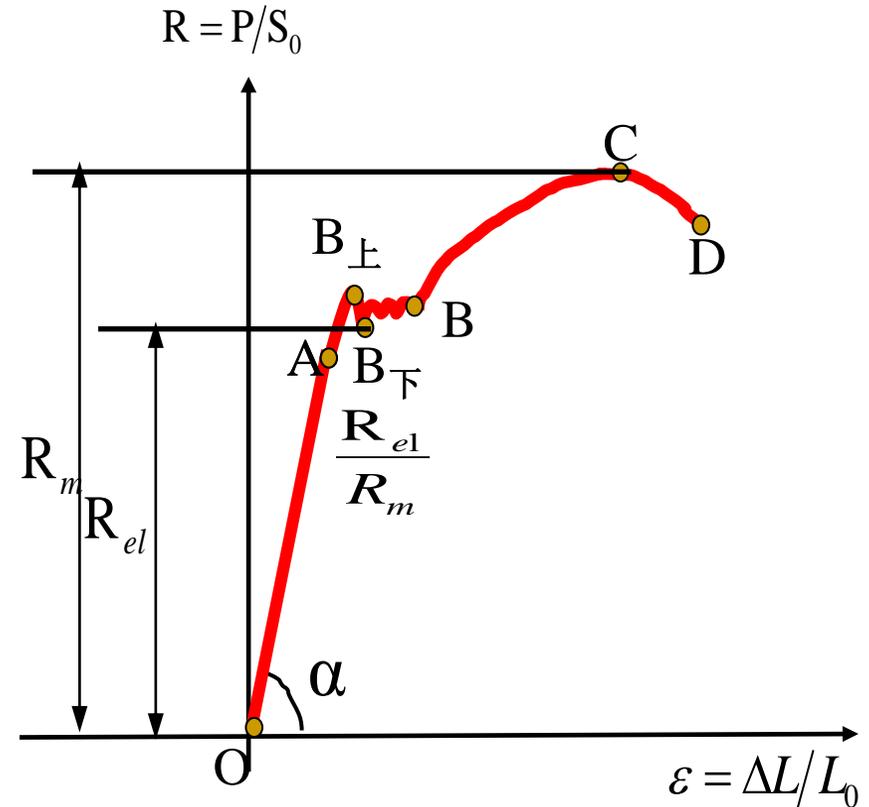
$$\text{屈强比} = \frac{R_{el}}{R_m}$$

屈强比,  $\uparrow$  利用率  $\uparrow$ , 安全可靠程度  $\downarrow$

## 3. 伸长率 $A$

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

衡量钢材塑性的指标, 越大说明钢材的塑性越好



# 拉伸过程的参数

## ■ 强度指标

□ 屈服强度:

$$R_{el} = \frac{P_{el}}{S_0}$$

□ 抗拉强度:

$$R_m = \frac{P_m}{S_0}$$

## ■ 塑性指标

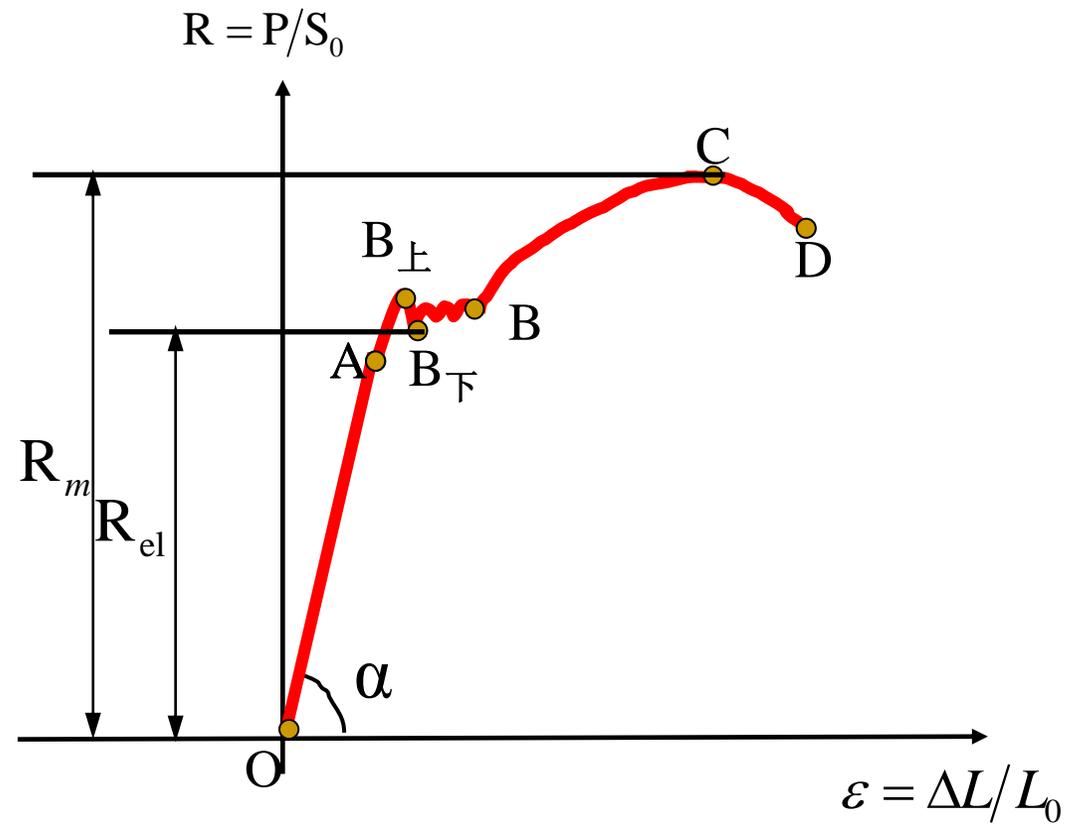
□ 伸长率:

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \times 100\%$$

5. 直径为18mm的钢筋进行拉伸试验，屈服荷载为65.4KN，破坏荷载为89.2KN，拉伸前标距为5d<sub>0</sub>，拉断后标尺间距98mm，求：R<sub>m</sub>、R<sub>el</sub>和A。

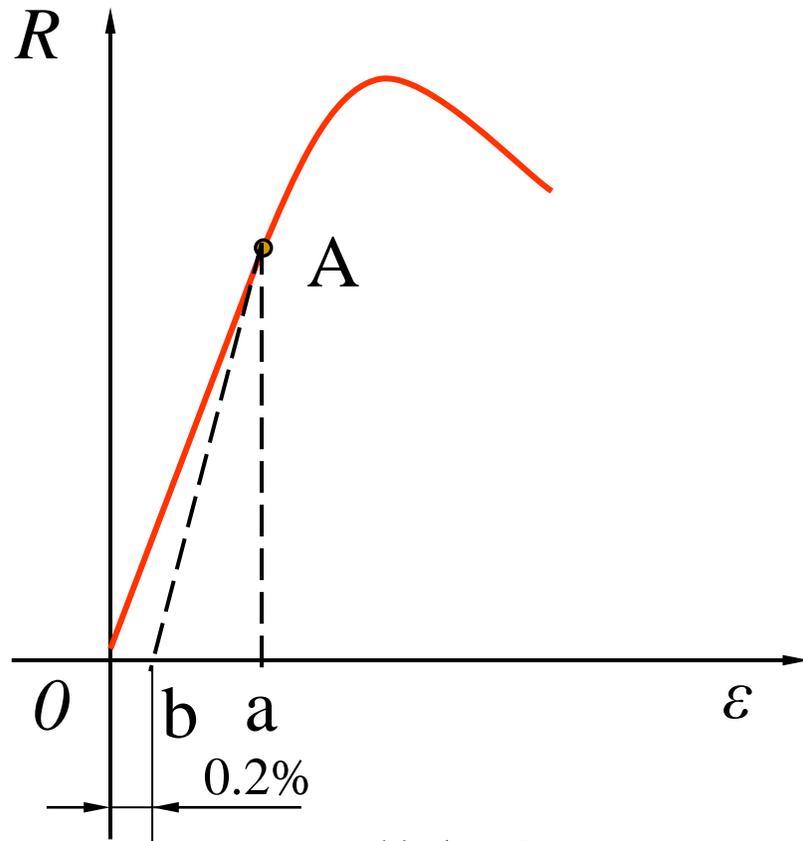
## 练习

1. 在低碳钢的应力应变图中，有线性关系的是\_\_**A**\_\_阶段。  
A、弹性阶段 B、屈服阶段 C、强化阶段 D、颈缩阶段
2. 结构设计时，碳素钢以\_\_**B**\_\_强度作为设计计算取值的依据。  
A、 $R_m$  B、 $R_{el}$  C、屈强比 D、伸长率
3. 钢材在拉伸试验中得到的\_\_**B**\_\_是确定钢材牌号的主要技术指标。  
A、屈服强度、抗拉强度、冷弯性能  
B、屈服强度、抗拉强度、伸长率  
C、弹性极限、抗拉强度、冷弯性能  
D、屈服强度、抗拉强度、截面收缩率
4. 画出低碳钢拉伸时的应力应变图，指出其中重要参数及其意义。
5. 直径为18mm的钢筋进行拉伸试验，屈服荷载为65.4KN，破坏荷载为89.2KN，拉伸前标距为 $5d_0$ ，拉断后标尺间距98mm，求：  
 $R_m$ 、 $R_{el}$ 和A。



低碳钢受拉的应力—应变图

## (b) 硬钢（高碳钢）的拉伸性能

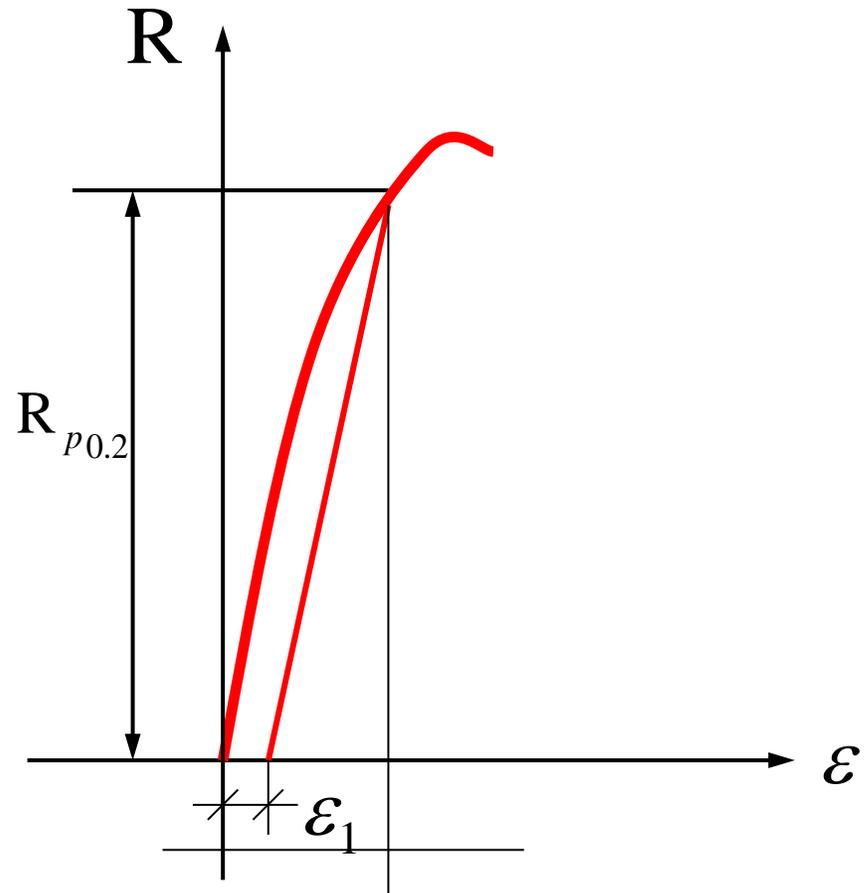


oa——总变形。  
ba——弹性变形99.8%。  
ob——塑性变形0.2%。

- 硬钢强度高，塑性差，拉伸过程无明显屈服阶段，无法直接测定屈服强度。用条件屈服强度  $R_{p0.2}$  来代替屈服强度。
- 条件屈服点  $R_{p0.2}$ ：使硬钢产生0.2%塑性变形时的应力。见左图。

## 中碳钢、高碳钢的应力 - 应变图

- **规定**：产生残余变形为原始标距的0.2%时所对应的应力值，作为硬钢的屈服强度，称为条件屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。



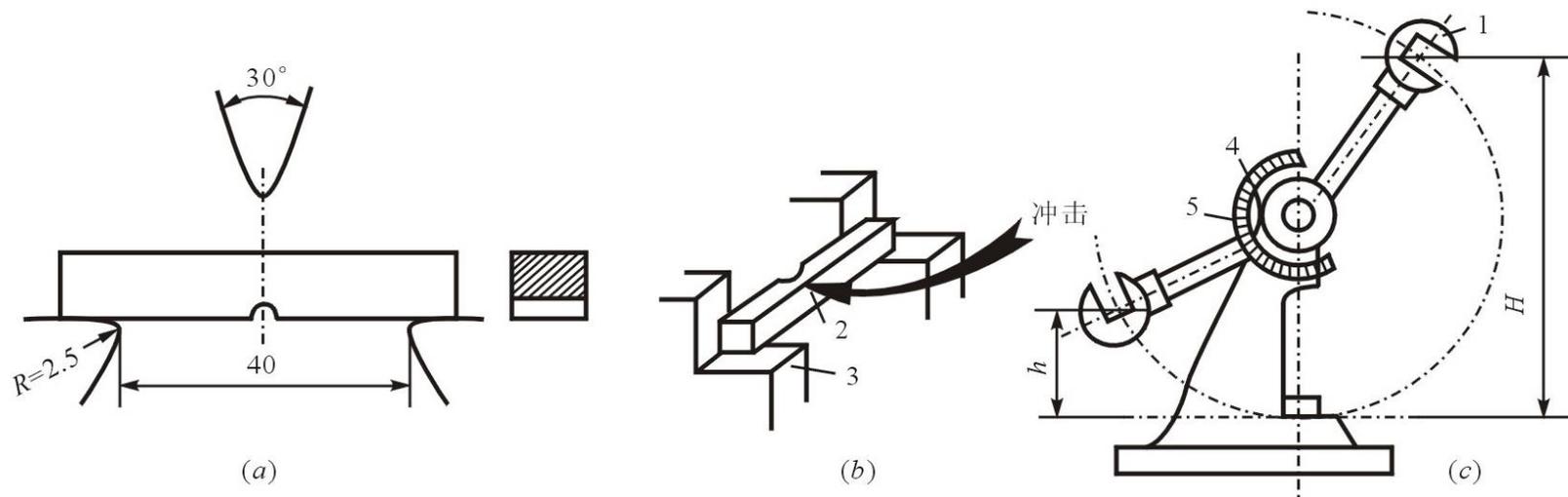
## 2、冲击韧性

冲击韧性指钢材抵抗冲击荷载的能力。

它是用试验机摆锤冲击带有V形缺口的标准试件的背面，将其折断后试件单位截面积上所消耗的功，作为钢材的冲击韧性指标，以 $\alpha_k$ 表示(J/cm<sup>2</sup>)。

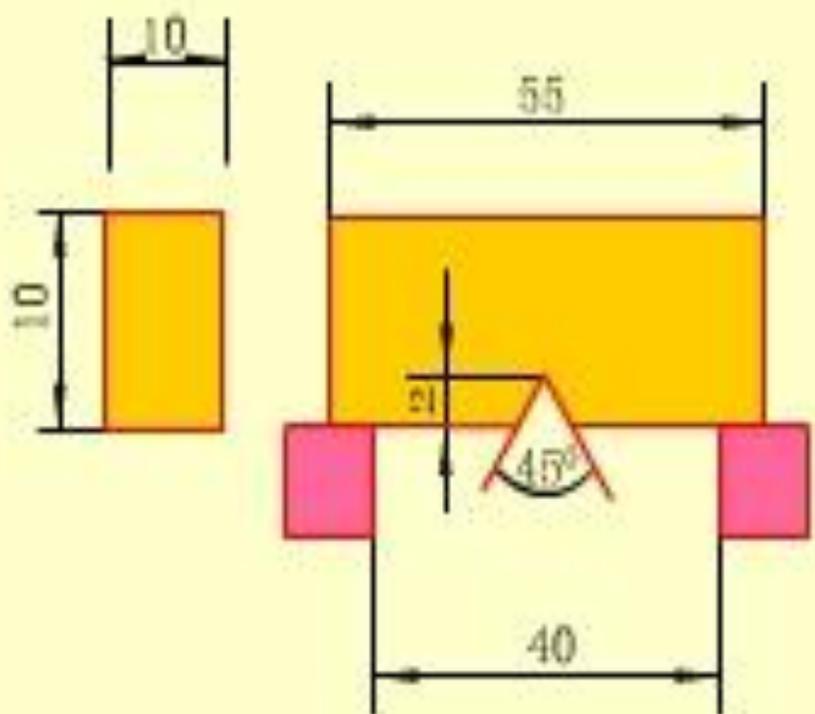
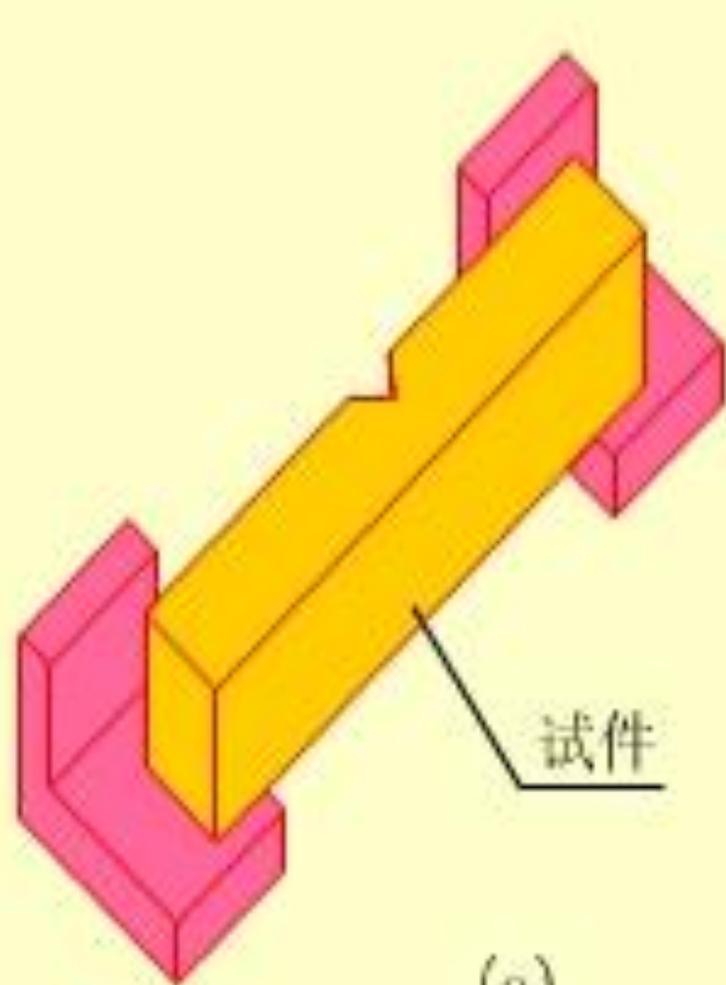
$\alpha_k$ 值越大，表明钢材的冲击韧性愈好。

影响钢材冲击韧性的因素很多，钢的**化学成分**、**组织状态**、**冶炼及轧制质量**、**温度**都会影响冲击韧性。



### 冲击韧性试验图

(a)试件尺寸；(b)试验装置；(c)试验机

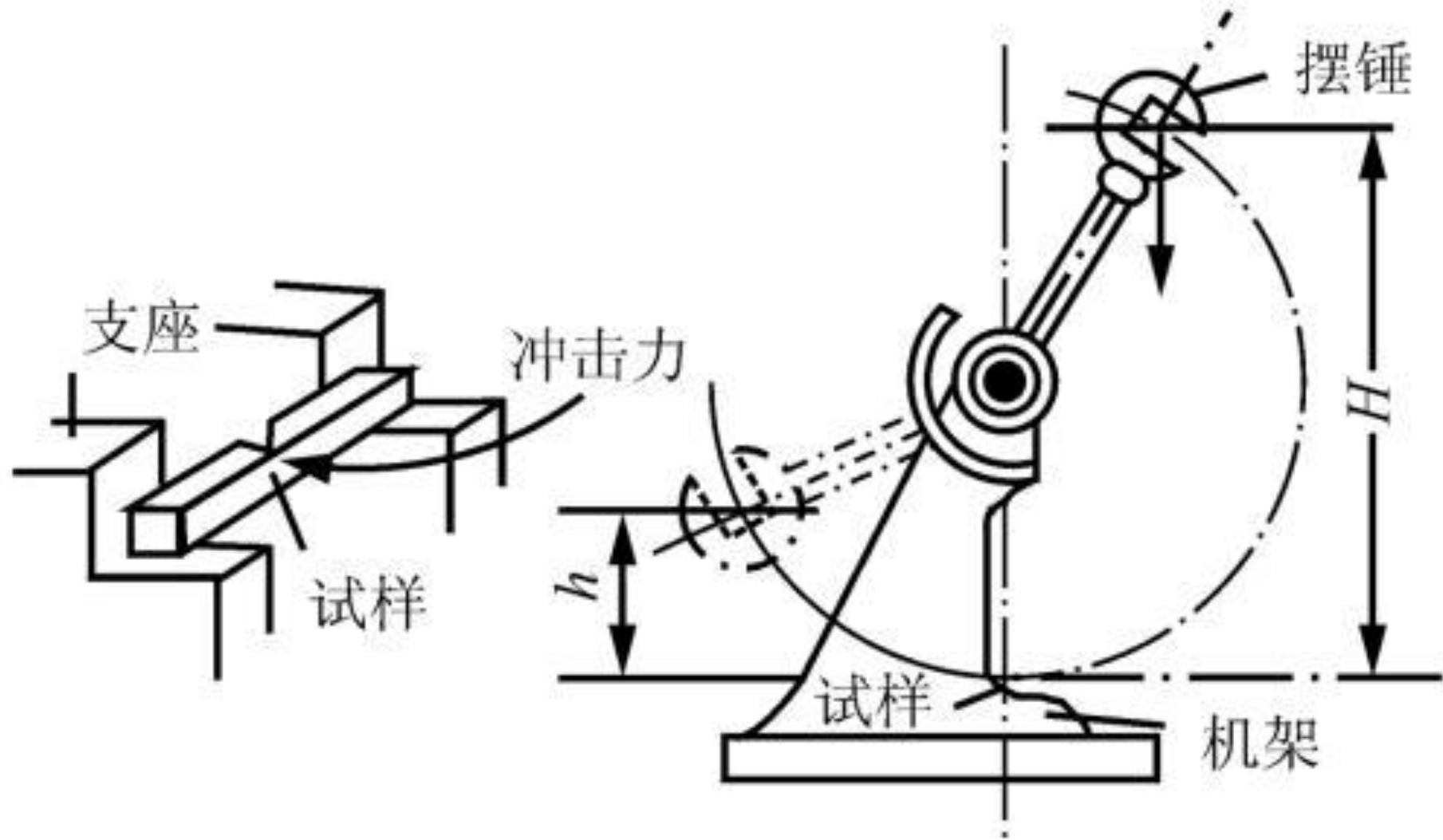


(a)

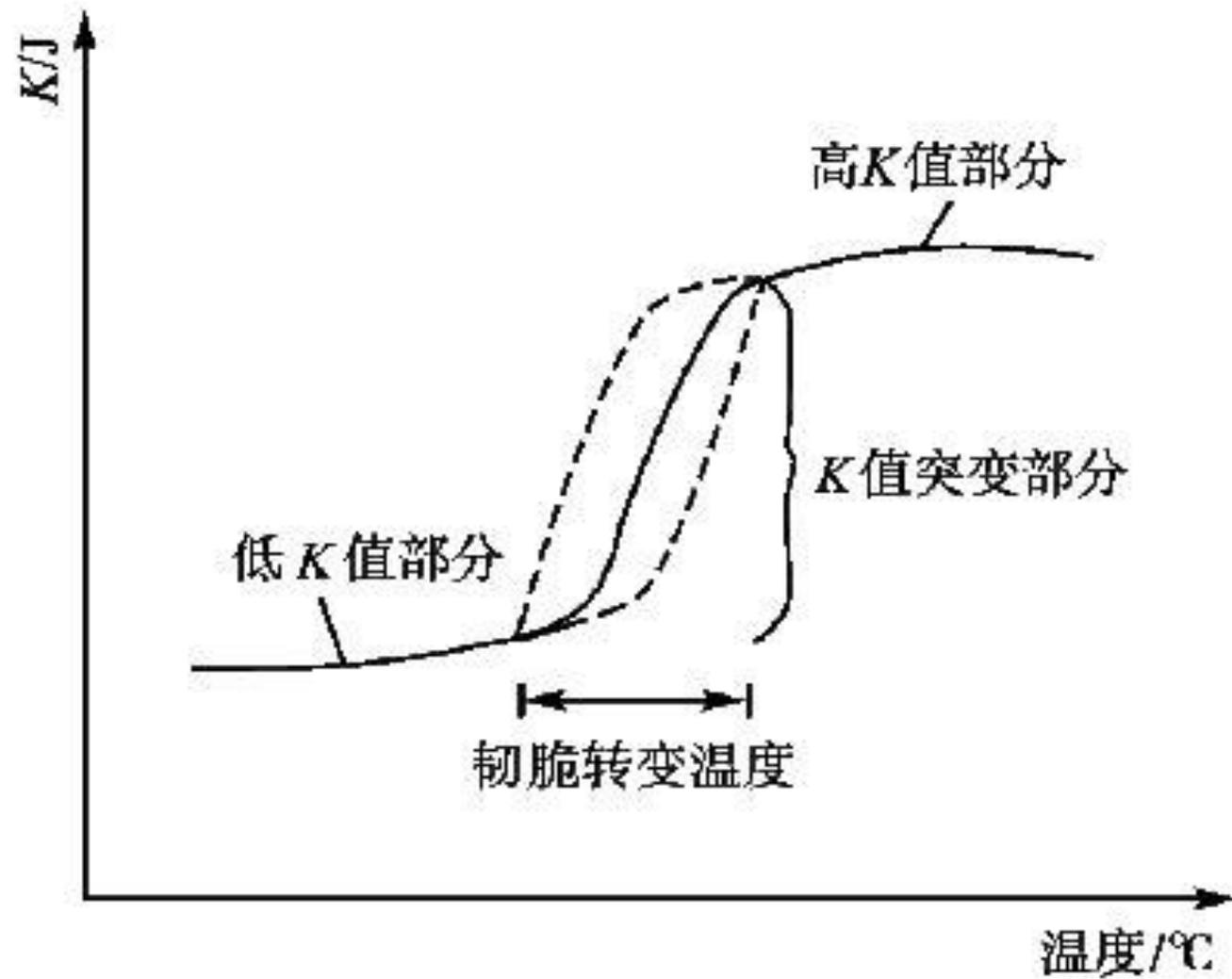
(b)

### 冲击韧性试验

(a) 试件装置 (b) V型缺口试件



## 冲击韧性



冲击吸收能量-温度曲线示意图

# 影响冲击韧性的因素

- 钢的化学成分

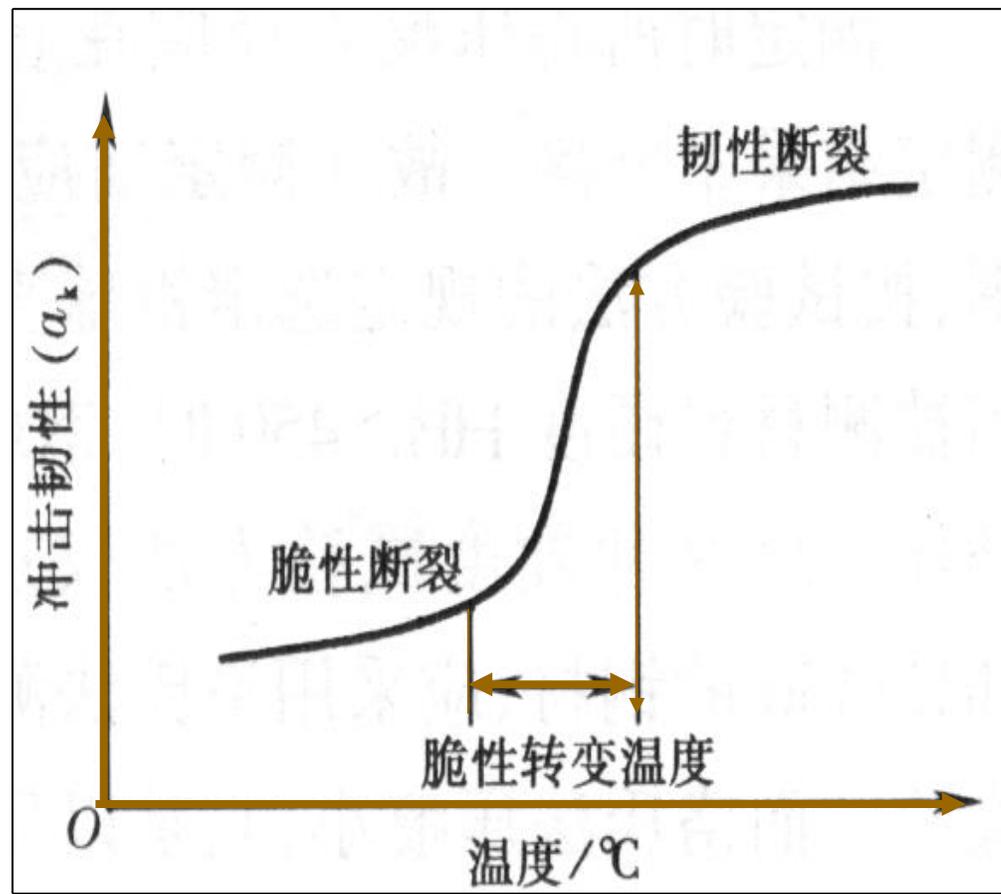
例：S、P↑冲击韧性↓

- 冶炼及轧制质量

质量↑冲击韧性↑

- 温度

温度↓，冲击韧性↓





### 3、疲劳强度

钢材在交变应力的反复作用下，往往在应力远小于其抗拉强度时就发生破坏，这种现象称为**疲劳破坏**。

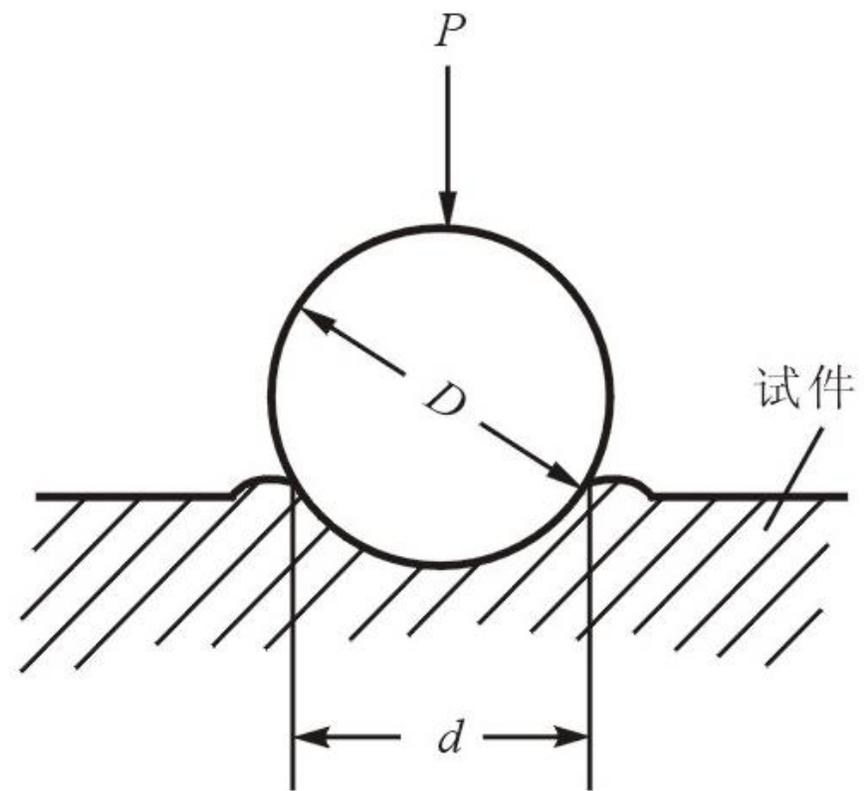
疲劳破坏的危险应力用**疲劳极限**来表示，它是指疲劳试验时试件在交变应力作用下，于规定周期基数内不发生断裂所能承受的最大应力。

一般认为，钢材的疲劳破坏是由拉应力引起的，抗拉强度高，其疲劳极限也较高。钢材的疲劳极限与其**内部组织和表面质量**有关。

## 4、硬度

硬度是指钢材抵抗较硬物体压入产生局部变形的能力。测定钢材硬度常用布氏法。

布氏法是用一直径为 $D$ 的硬质钢球，在荷载 $P(N)$ 的作用下压入试件表面，经规定的时间后卸去荷载，用读数放大镜测出压痕直径 $d$ ，以压痕表面积( $mm^2$ )除荷载 $P$ ，即为布氏硬度值 $HB$ 。 $HB$ 值越大，表示钢材越硬。



布氏硬度测定示意图

## （二）、钢材的工艺性能

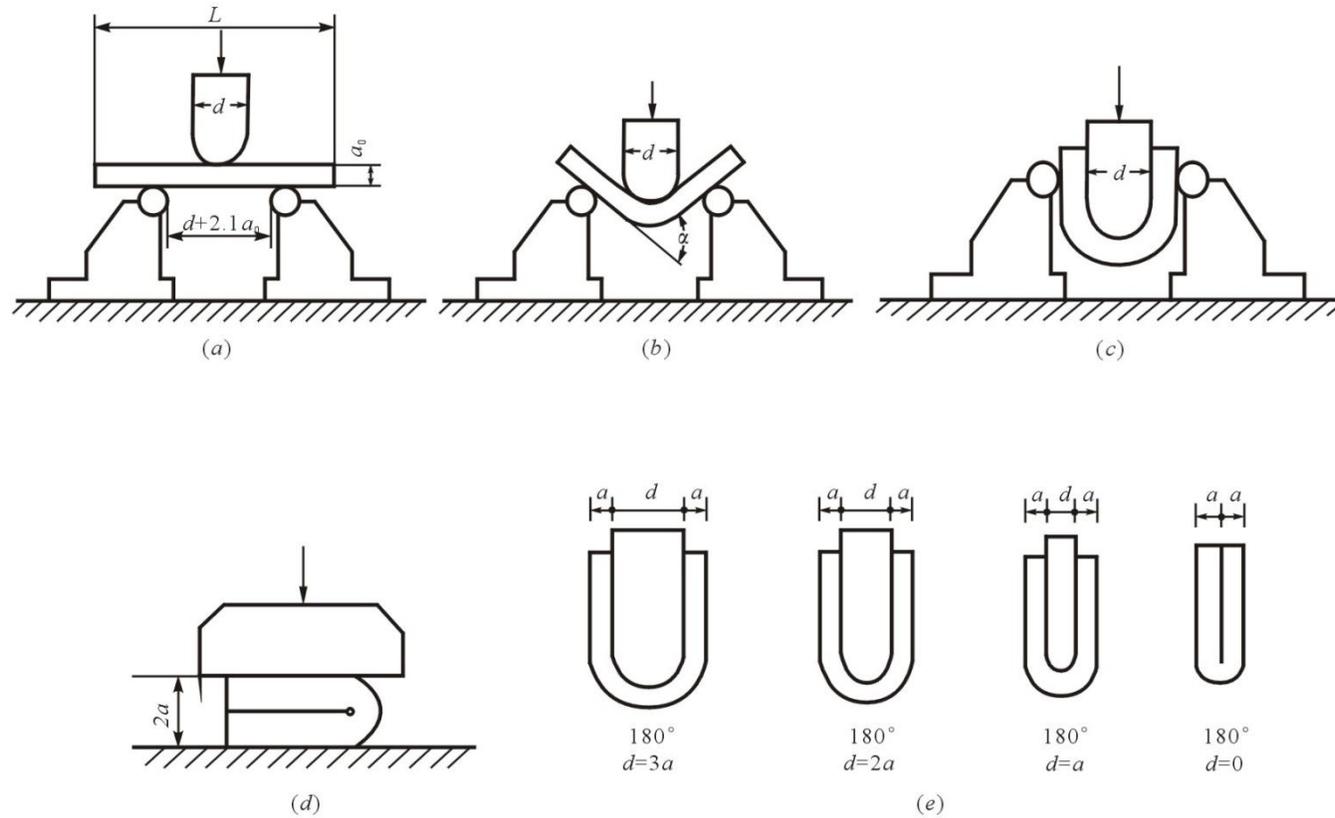
### 1、冷弯性能

冷弯性能是指钢材在**常温下承受弯曲变形**的能力，是建筑钢材的重要工艺性能。

钢材的冷弯性能指标是用**弯曲角度**和**弯心直径对试件厚度(直径)的比值**来衡量的。

试验时采用的**弯曲角度愈大**，**弯心直径对试件厚度(直径)的比值愈小**，表示对冷弯性能的要求愈高。

钢材的冷弯性能和伸长率都是塑性变形能力的反映。



### 钢材冷弯

(a)试样安装；(b)弯曲 $90^\circ$ ；(c)弯曲 $180^\circ$ ；(d)弯曲至两面重合；(e)规定弯心

## 2、焊接性能

可焊性是指在一定焊接工艺条件下，在焊缝及其附近过热区是否产生裂缝及脆硬影响，焊接后接头强度是否与母体相近的性能。

可焊性受化学成分及含量的影响。含碳量高、含硫量高、合金元素含量高等，均会降低可焊性。含碳量小于0.25%的非合金钢具有良好的可焊性。

焊接结构应选择含碳量较低的氧气转炉或平炉的镇静钢。当采用高碳钢及合金钢时，为了改善焊接后的硬脆性，焊接时一般采用焊前预热及焊后热处理等措施。

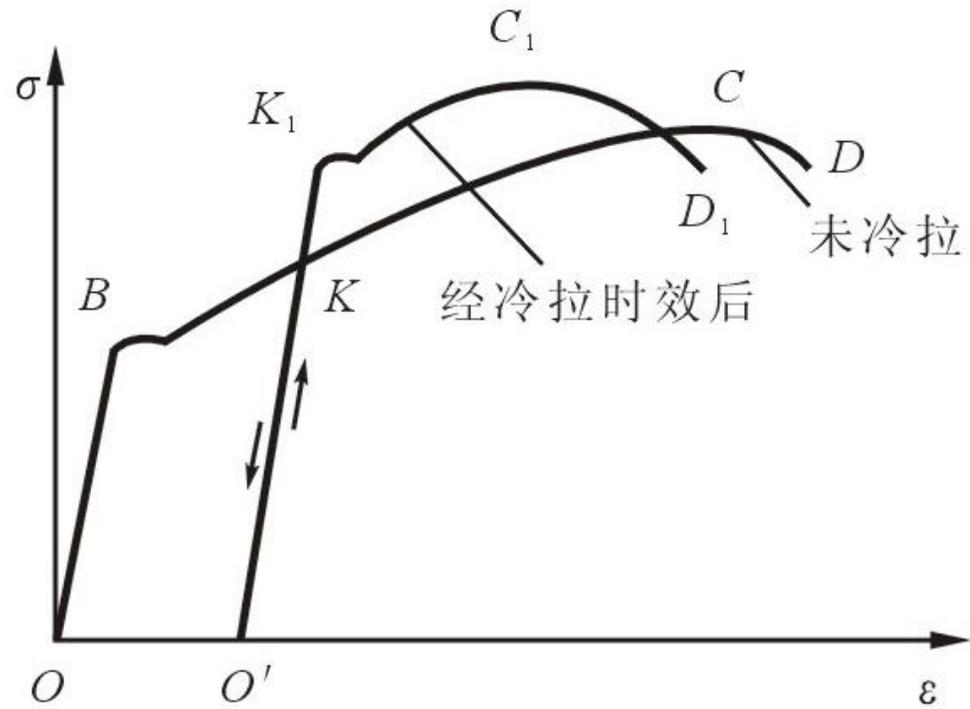
# 建筑钢材

- 一、钢材冶炼与分类
- 二、建筑钢材的力学性能与工艺性能
- 三、钢材的加工（热处理和冷加工）
- 四、建筑钢材标准与选用
- 五、建筑钢材的防锈与防火
- 六、建筑钢材的验收与储运

## ■ （一）钢材的冷加工、时效

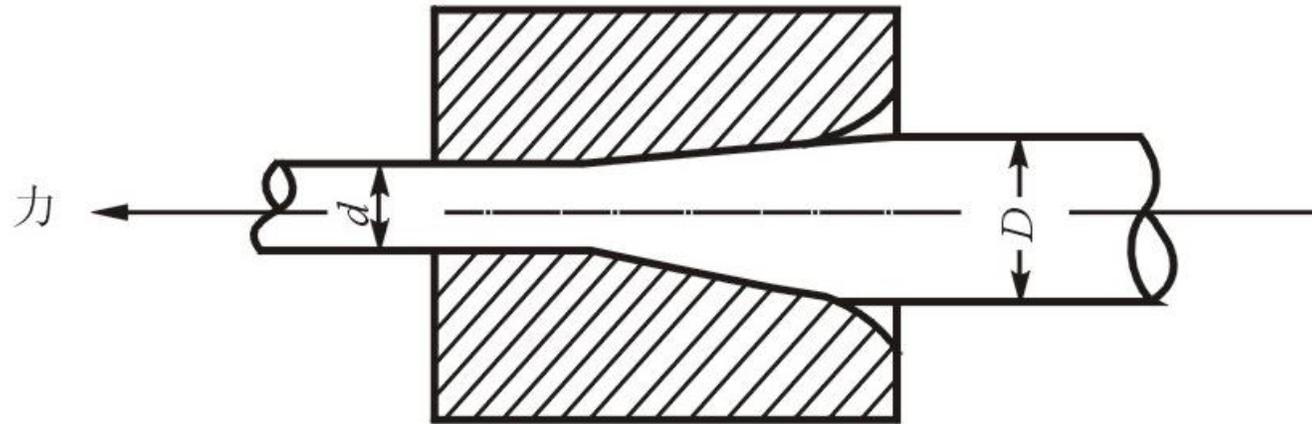
- 钢材经冷加工产生一定塑性变形后，其屈服强度、硬度提高，而塑性、韧性及弹性模量降低，这种现象称为冷加工强化。
- 钢材的冷加工方式有冷拉、冷拔和冷轧。
- 钢筋冷拉后屈服强度可提高15%~20%，冷拔后屈服强度可提高40%~60%。

以钢筋的冷拉为例(下图), 图中OBCD为未经冷拉时的应力-应变曲线。



钢筋经冷拉时效后应力-应变图的变化

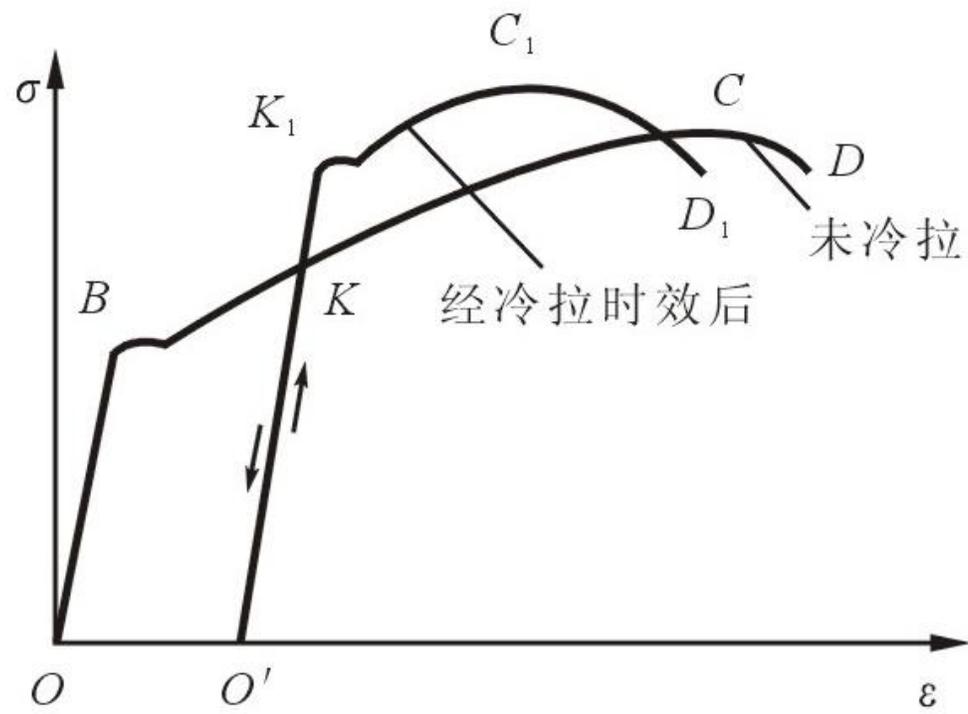
冷拔是将外形为光圆的盘条钢筋从硬质合金拔丝模孔中强行拉拔(下图), 由于模孔直径小于钢筋直径, 钢筋在拔制过程中既受拉力又受挤压力, 使强度大幅度提高但塑性显著降低。



冷拔模孔

## ■ 4.时效

- 将经过冷拉的钢筋于常温下存放15~20d，或加热到100~200℃并保持一段时间，其强度和硬度进一步提高，塑性和韧性进一步降低，这个过程称为时效处理。前者称为自然时效，后者称为人工时效。
- 钢筋冷拉以后再经过时效处理，其屈服点进一步提高，塑性继续有所降低。



钢筋经冷拉时效后应力-应变图的变化

# 冷加工强化

冷加工：将钢材在常温下进行拉、轧等加工

强化：钢材经冷加工，提高了其屈服强度

效果： $R_{eL} \uparrow$ ； $A \downarrow$

## 时效处理

时效：冷加工后，随着时间的延长，

$R_{eL}$ 、 $R_m \uparrow$ ，塑性和韧性逐渐下降。

时效处理：①自然时效（常温下15~20天）

②人工时效（100~200°C下2~3天）

冷加工强化、时效强化的应用： 钢筋冷拔→屈服强度↑→钢筋用量↓

## ❁例2 何谓钢的冷加工强化及时效处理？冷拉并及时效处理后的钢筋性能有何变化？

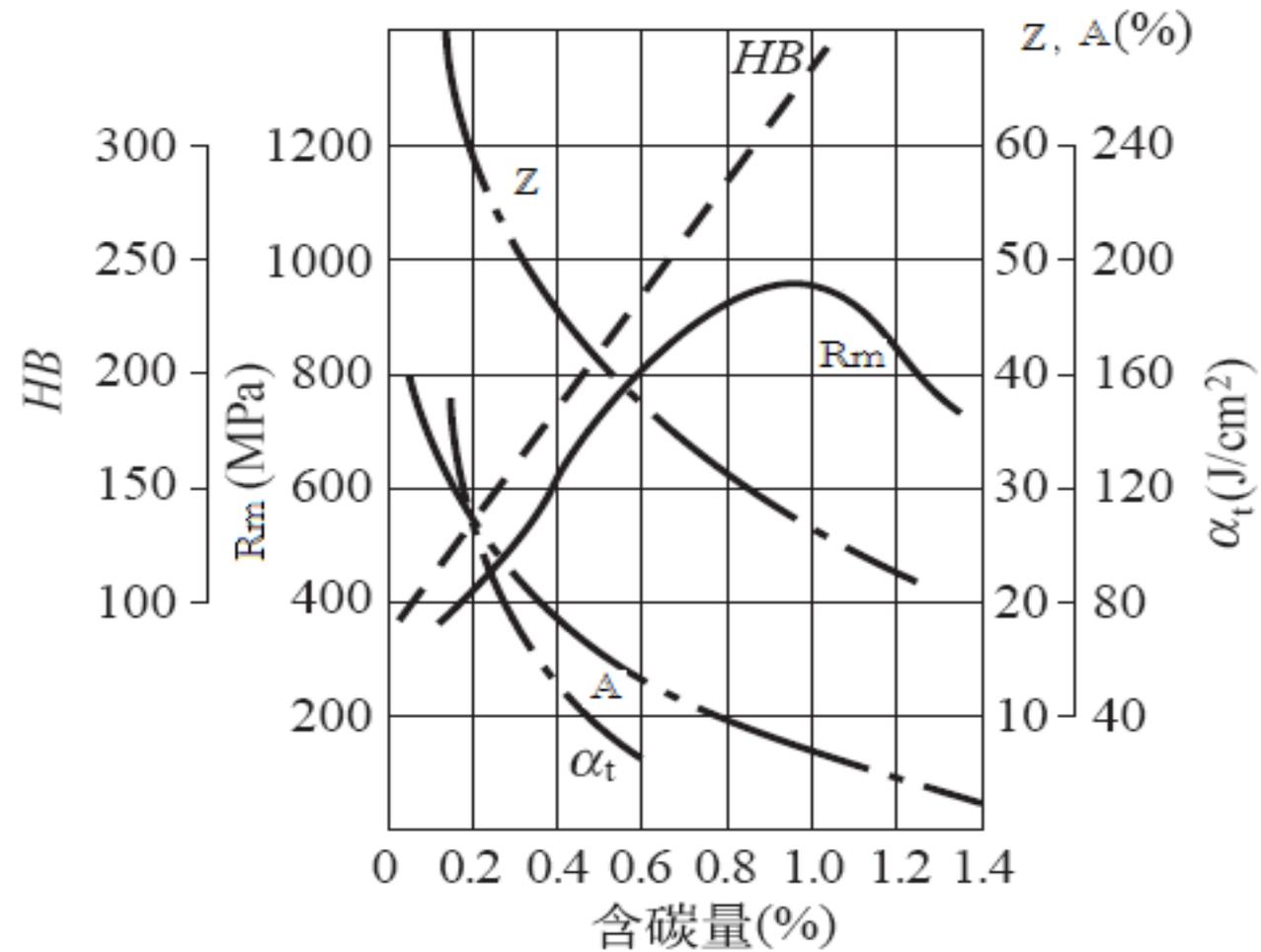
❁解：在常温下将钢材进行机械加工，使其产生塑性变形，以提高其屈服强度的过程称为冷加工强化。机械加工方法主要是对钢筋进行冷拉和冷拔。冷轧主要在钢厂进行。

❁时效处理是将经过冷加工的钢材，在常温下存放15~20天，或者加热到100~200°C，并保持2小时以内，这个过程称为时效处理。常温放置称为自然时效，加热处理称为人工时效。

❁冷拉并及时效处理后的钢筋，其屈服点提高20%~25%，抗拉强度也有提高，塑性和韧性降低较大，弹性模量基本恢复。

- 在建筑工地和混凝土预制厂，经常对比使用要求的强度偏低和塑性偏大的钢筋或低碳盘条钢筋进行冷拉或冷拔并时效处理，以提高屈服强度和利用率，节省钢材。同时还兼有调直、除锈的作用。这种加工所用机械比较简单，容易操作，效果明显，所以建筑工程中常采取此法。

- 
- (二)、钢的化学成分对钢材的影响
  - (1)碳是决定钢材性能的主要元素。
  - 随着含碳量的增加，钢的强度和硬度提高，塑性和韧性下降。但当含碳量大于1.0%时，由于钢材变脆，强度反而下降
-



含碳量对热轧碳素钢性质的影响

$\sigma_b$ —抗拉强度； $\alpha_k$ —冲击韧性；HB—硬度；  
 $\delta$ —伸长率； $\varphi$ —面积缩减率

## (2) 硅、锰

加入硅和锰可以与钢中有害成分FeO和FeS分别形成SiO<sub>2</sub>、MnO和MnS而进入钢渣排出，起到脱氧、降硫的作用。

## (3) 硫、磷

**硫**不溶于铁而以FeS的形式存在，FeS和Fe形成低熔点的共晶体。当钢材温度升至1000℃以上进行热加工时，共晶体熔化，晶粒分离，使钢材沿晶界破裂，这种现象叫做**热脆性**。

**磷**能使钢的强度、硬度提高，但显著降低钢材的塑性和韧性，特别是低温状态的冲击韧性下降更为明显，使钢材容易脆裂，这种现象叫做**冷脆性**。

#### (4)氧、氮

未除尽的氧、氮大部分以化合物的形式存在，如FeO、Fe<sub>4</sub>N等。这些非金属化合物、夹杂物降低了钢材的强度、冷弯性能和焊接性能。氧还使钢的热脆性增加，氮使冷脆性及时效敏感性增加。

#### (5)钛、钒、铌

是钢的强脱氧剂和合金元素。能改善钢的组织、细化晶粒、改善韧性，并显著提高强度。

### （三）钢材的热处理

#### ■ 钢材的普通热处理

- 退火
- 正火
- 淬火
- 回火

#### ■ 钢的表面热处理

- 表面淬火
- 化学热处理

---

■ 谢谢大家，欢迎提问！

---