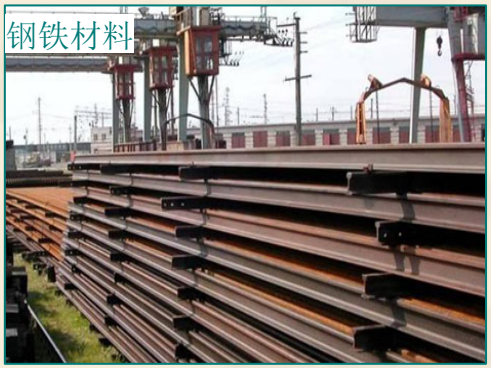
第三章　金属材料

主要内容

- 金属材料概述
- 黑色金属
- 有色金属

3.1 金属材料概述

- 钢铁是经济产业的基本支柱，主要用于铁路、建筑、桥梁、汽车工业等领域。
- 中国钢铁产量世界第一， 2005年钢铁产量约3.5亿吨，占全世界产量的30%，是美国和日本的总和。
- 中国目前至少有1/3的不符合质量要求。
- 特种钢材主要靠进口。


钢铁材料

钢铁航母

铝合金轮毂

金属材料(Metallic Materials)

纯金属和以纯金属为基体的合金材料的总称。

纯金属(Pure Metal)：由一种金属元素构成的单质；

合金(Alloy)：由两种或两种以上的金属元素或金属与非金属元素构成。

合金中的相

固溶体(Solid solution)：合金组元间以不同比例相互混合形成的具有与某一组元相同晶体结构的合金

置换固溶体(Replaceable solid solution)

间隙固溶体(Interstitial solid solution)

金属间化合物(Intermetallics)：合金组元相互作用形成的具有自己独特的晶体结构和性质的新相。

正常价化合物、电子化合物、间隙相、间隙化合物

在103种元素中，金属元素有81种

(1) 金属材料的分类

Metallic Materials
- 黑色金属(Ferrous Metals)
- 有色金属(Nonferrous Metals)
- 特殊金属(Special Metals)

工业生产中，通常把以铁为基的金属材料称为黑色金属，如钢与铸铁，把非铁金属及其合金称为有色金属，如铅、镍、锌、钛、铜等金属及合金。

THE PERIODIC TABLE

- Columns: Similar Valence Structure

give up 1e

give up 2e

give up 3e

accept 2e

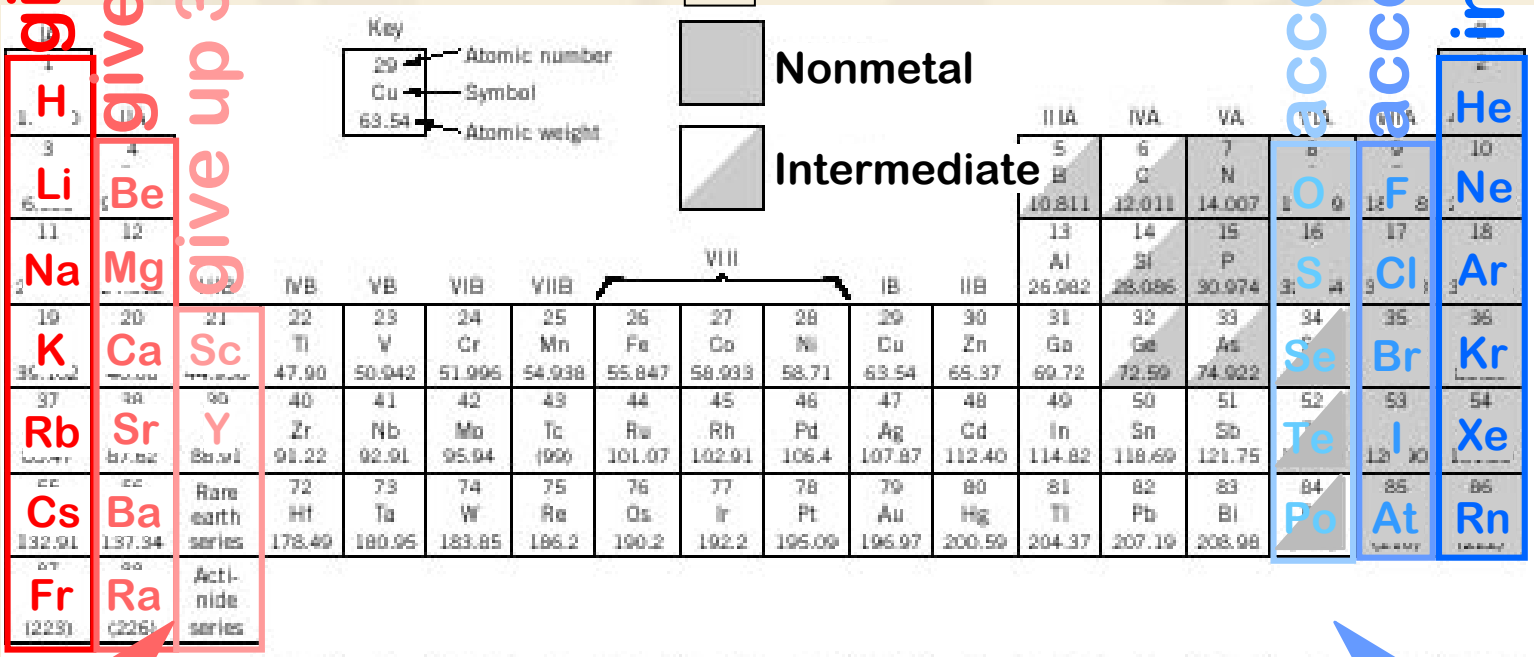
accept 1e

inert gases

Metal

Nonmetal

Intermediate



Electropositive elements: Readily give up electrons to become + ions.

Electronegative elements: Readily acquire electrons to become - ions.

南京工業大學

黑色金属分类

- Ferrous Metals
  - Cast iron (铸铁) 含2％< C < 4％
  - Steel (钢) 含C 0.04％ －2％
    - Carbon steel (碳素钢)
    - Alloy steel (合金钢)
  - Iron (纯铁) 含C <0.04％

钢铁：占人类使用金属的90％以上

含碳量越高，硬度、强度越大，但塑性降低

有色金属分类

青铜器

80余种 有色金属

- Heavy metal (重金属)　Cu、Pb、Zn、Ni
- Light metal (轻金属)　Al、Mg、Ti
- Noble metal (贵金属)　Au、Ag、Pt
- Rare metal (稀有金属)　W、Mo、U、Ta、稀土金属

铝合金轮毂

铂合金首饰

镁合金笔记本电脑

Special Metals (特殊金属) – 非晶态金属、形状记忆合金、减震合金、超塑金属、储氢合金、超导合金等

(2) 金属材料的性质

1、常温下为固体（Hg除外）

2、熔点较高 也有较低的如：Sn、Pb、Zn、Al

3、密度较大（Mg、Al除外 3g/cm^{3}以下）

4、有光泽

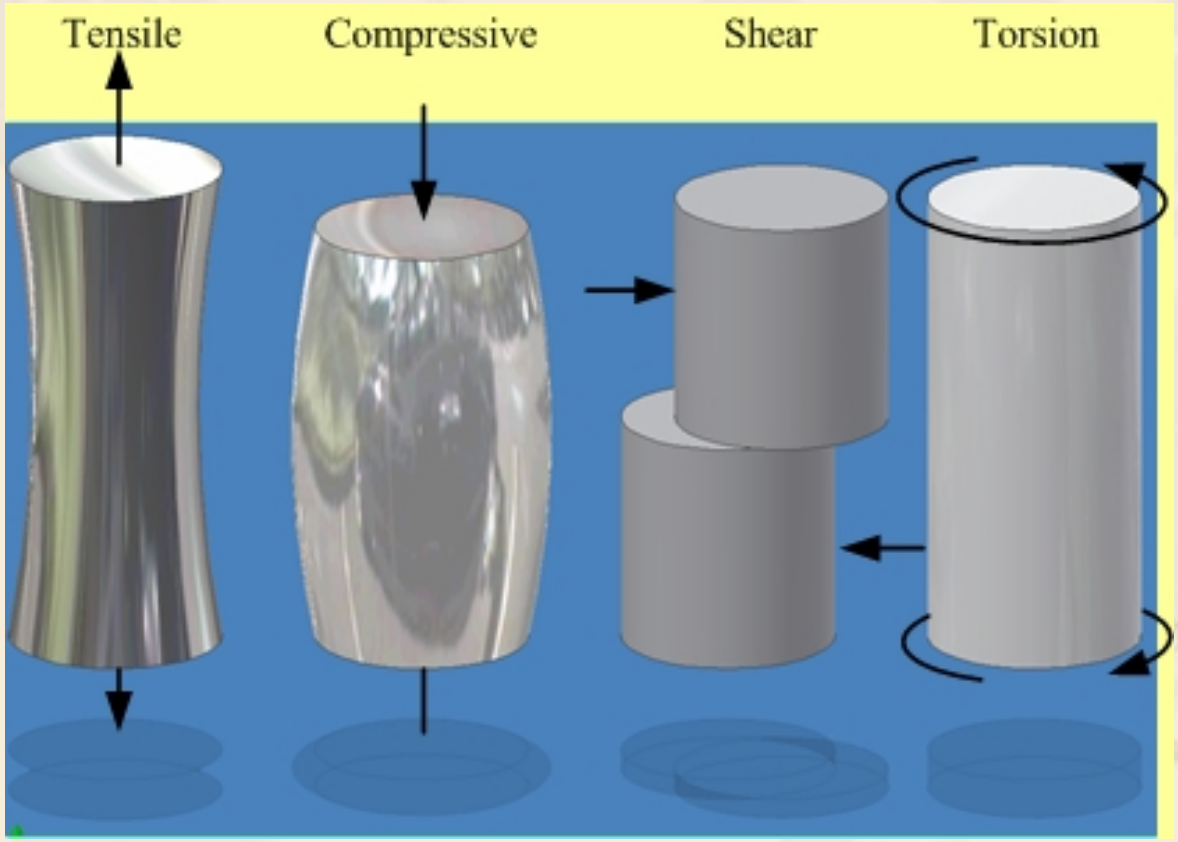
5、延展性、韧性、可加工性好

6、导热性、导电性好，Ag、Cu、Al

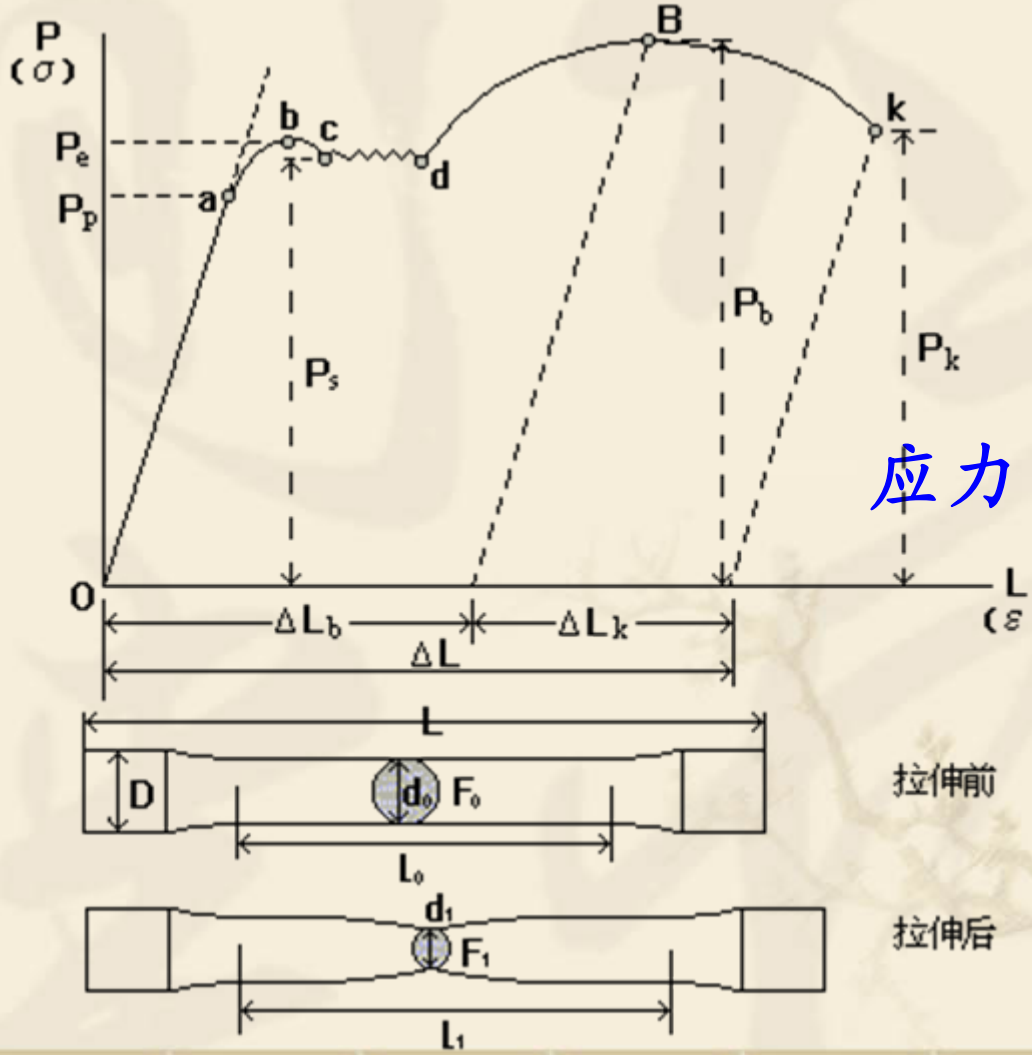
7、易氧化

(3) 金属材料力学性能

The four types of stresses



Mechanical properties of metallic materials



应力－应变曲线

Mechanical properties of metallic materials

刚度(Stiffness): 外应力作用下材料抵抗弹性变形能力。

弹性模量: $E = \sigma / \varepsilon$

强度(Strength): 材料在载荷作用下抵抗塑性变形或破坏的最大能力。

屈服强度: 表示材料发生明显塑性变形的抗力 Ps或σ

抗拉强度: $\sigma_b = P_b / F_0$ 断裂前单位面积上所承受的最大应力

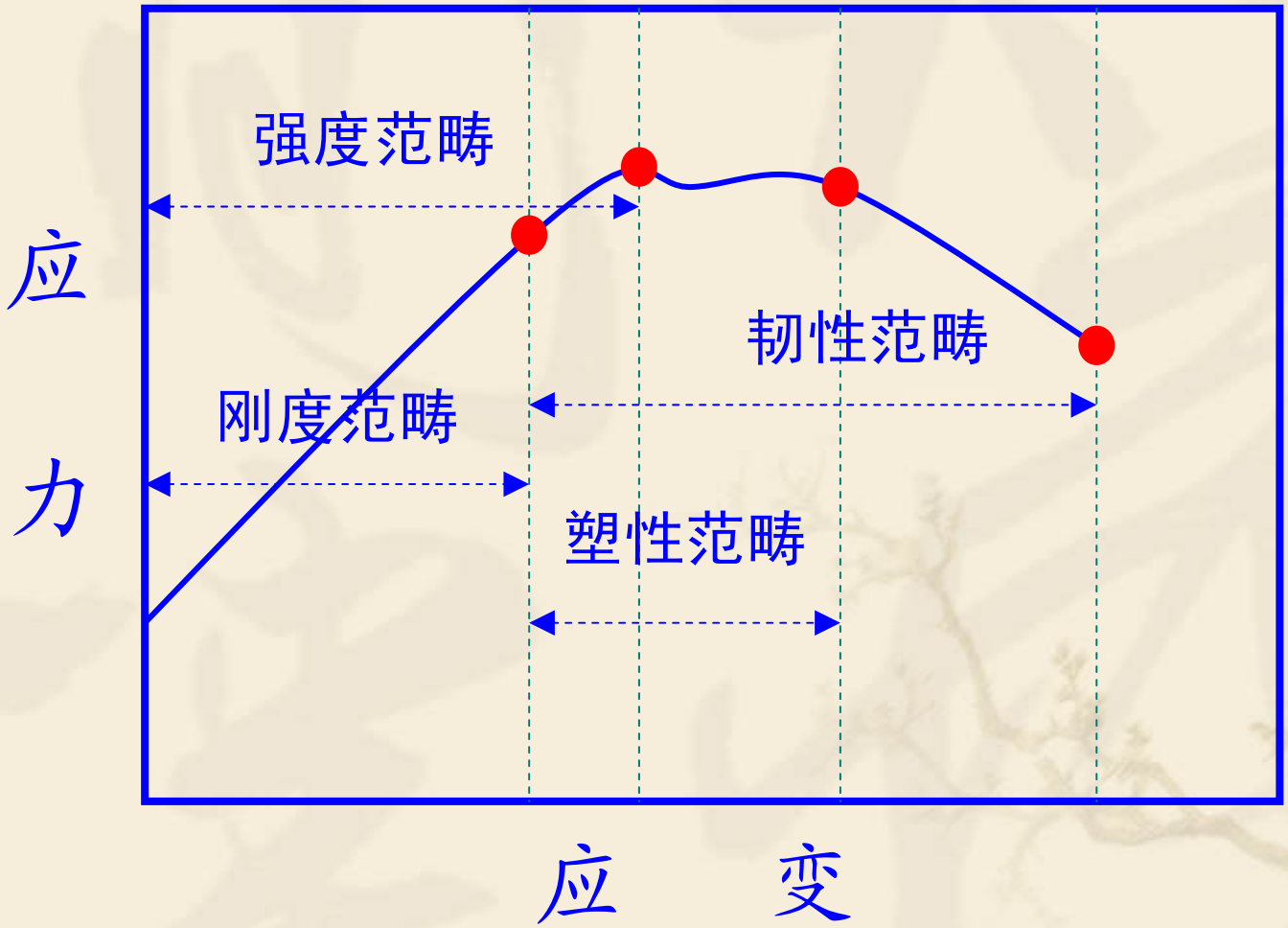
Mechanical properties of metallic materials

塑性(**Plasticity**)：外力作用下，材料发生不可逆的永久性变形而不破坏的能力。

韧性(**Ductility**)：材料从塑性变形到断裂全过程中吸收能量的能力。

断裂韧性：K_{IC}

Mechanical properties of metallic materials



Mechanical properties of metallic materials

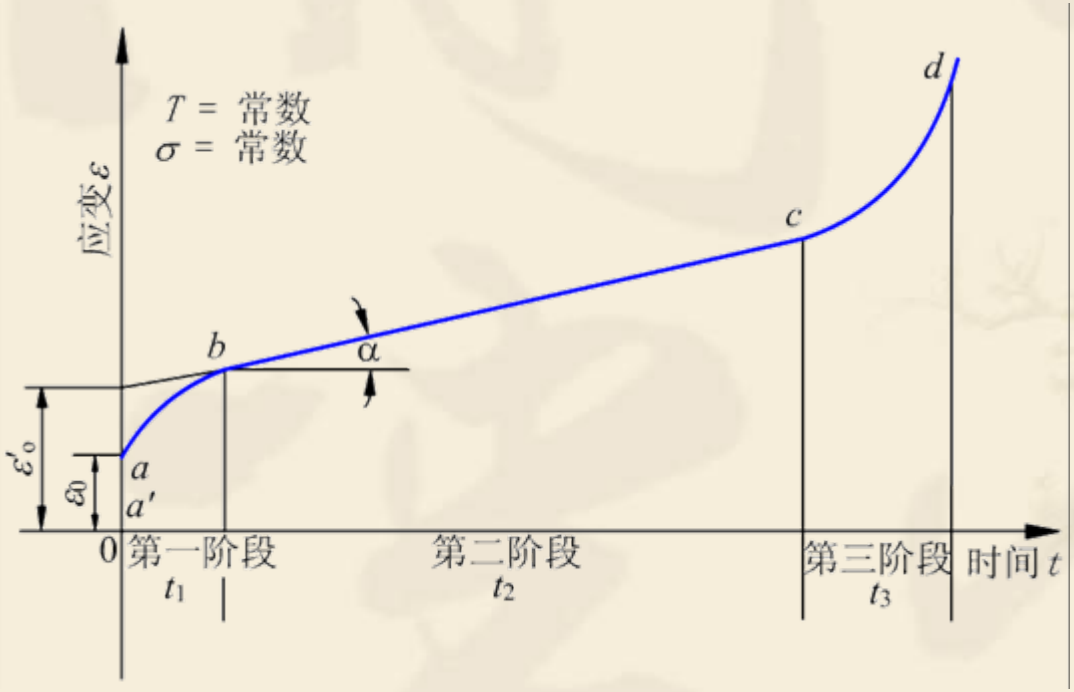
疲劳强度(**Fatigue strength**)：材料抵抗交变应力作用下断裂破坏的能力。

疲劳极限(**Fatigue limit**)：材料经无数次应力循环而不发生疲劳断裂的最高应力值。

硬度(**Hardness**)：材料在表面上的小体积内抵抗变形或破裂的能力。

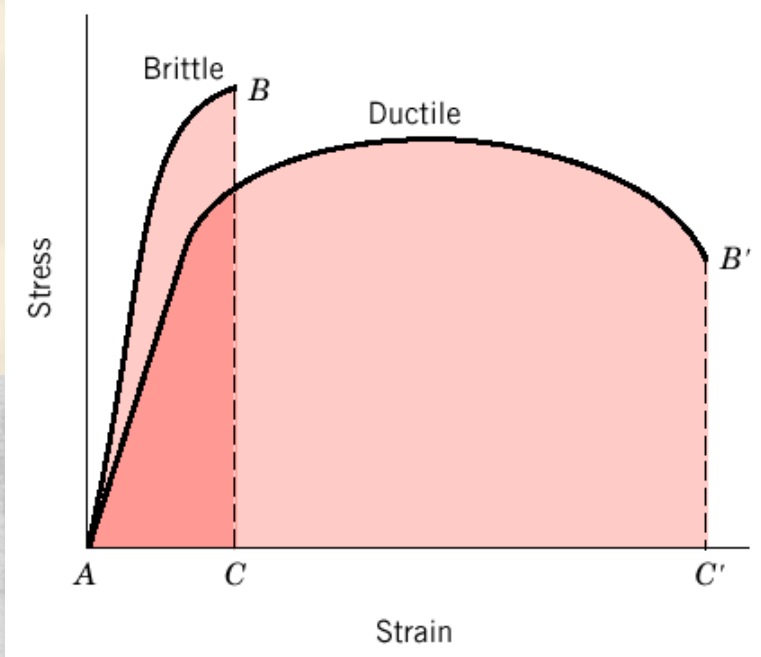
Mechanical properties of metallic materials

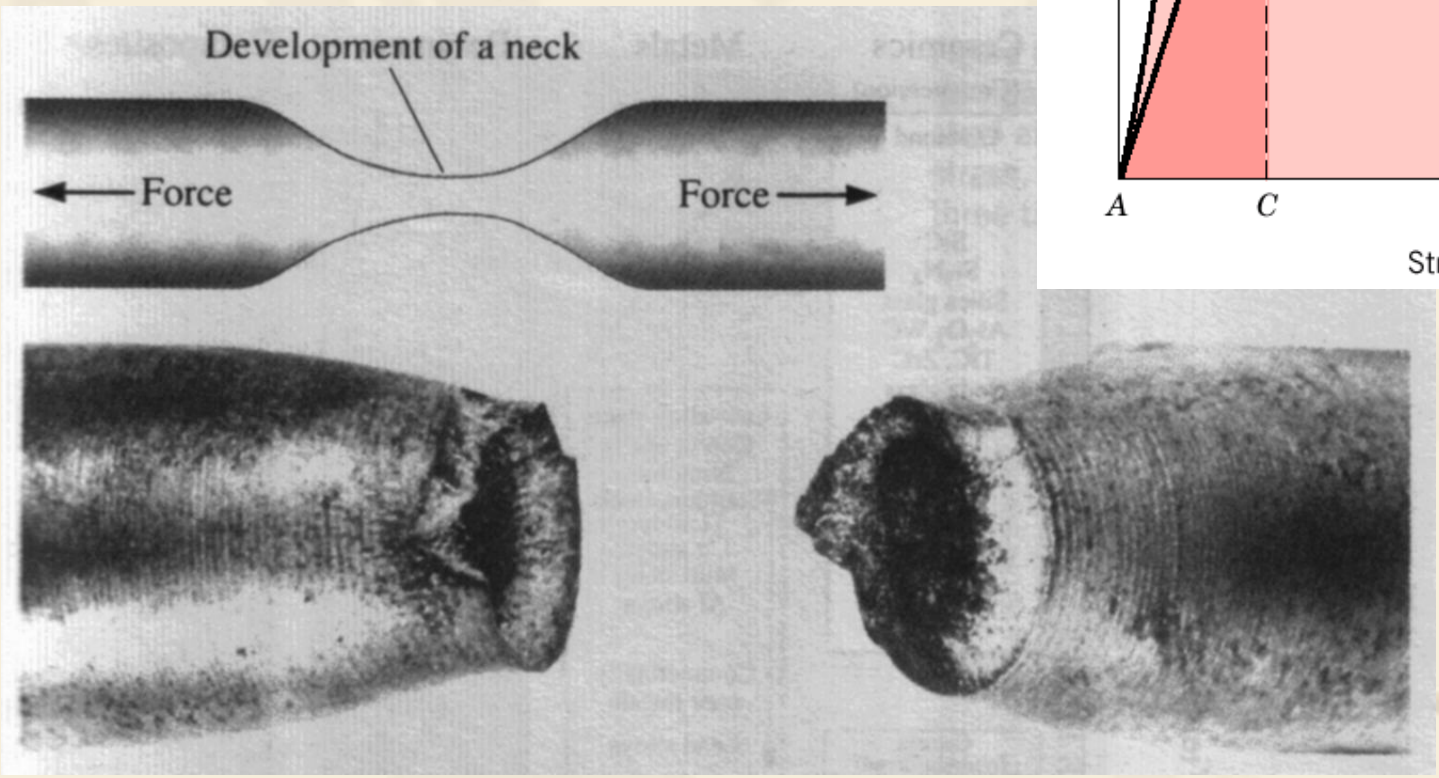
抗蠕变性(Creep)：材料在一定温度和恒定应力（或恒定载荷）作用下抵抗变形的能力。



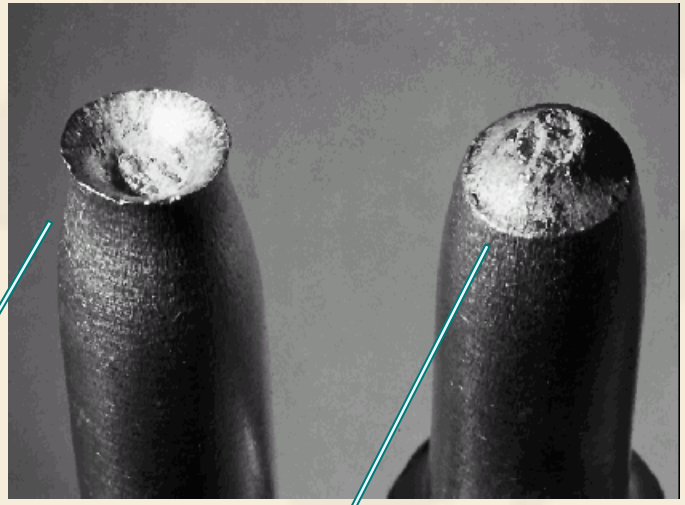
在给定温度和规定时间内，使试样产生一个规定蠕变变形量的应力值。

延展性材料的断裂

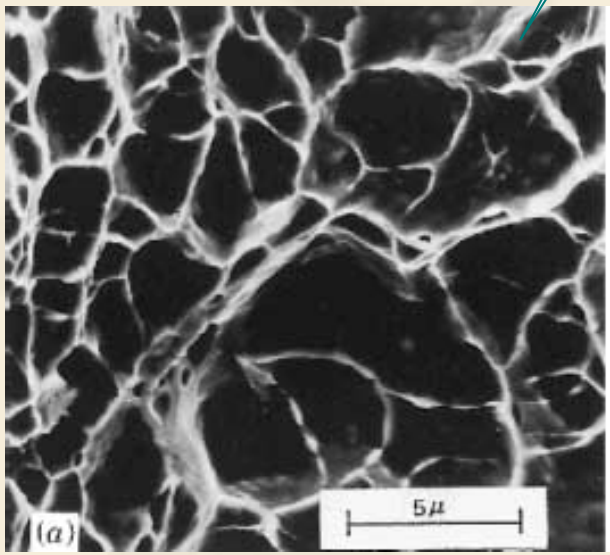

Brittle
B
Ductile
B′
Stress
A
C
C′
Strain

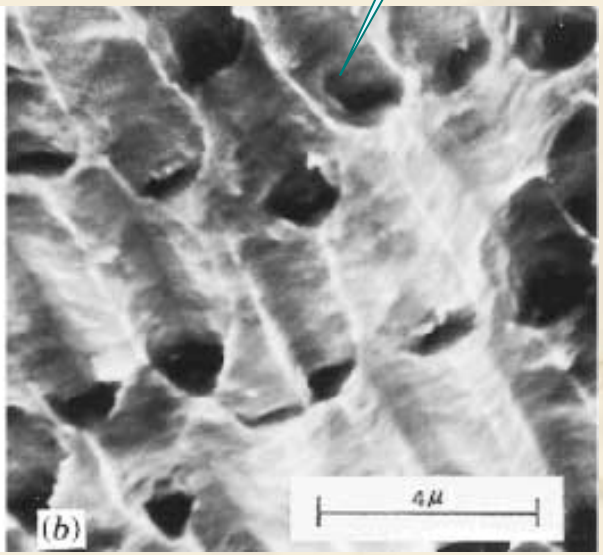

Development of a neck
Force
Force

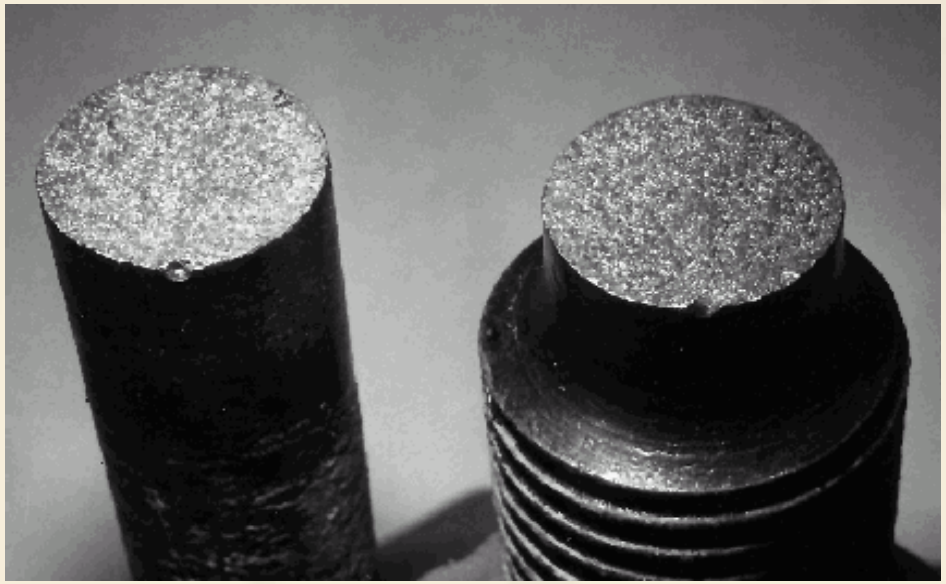
断面形貌



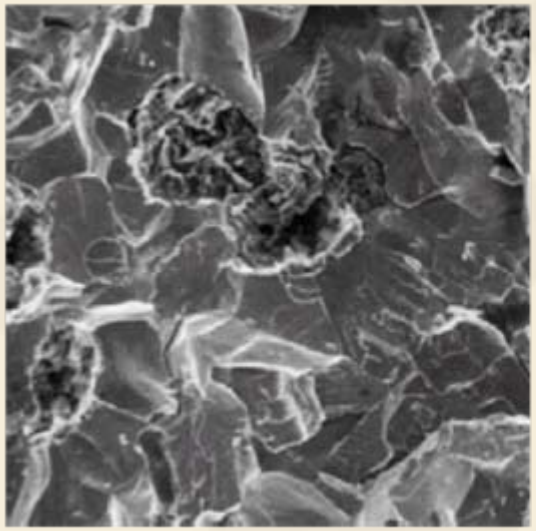
Al



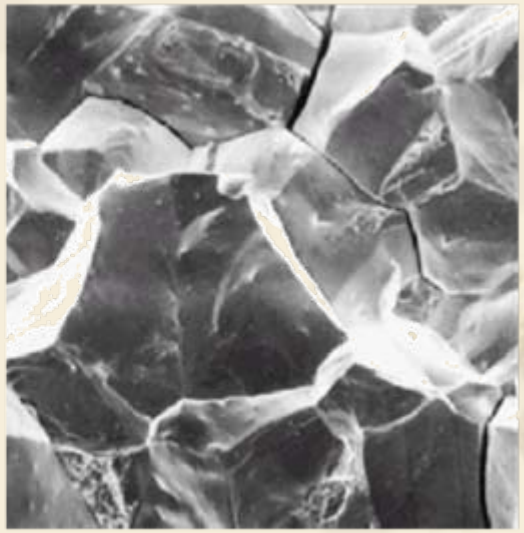




穿晶断裂

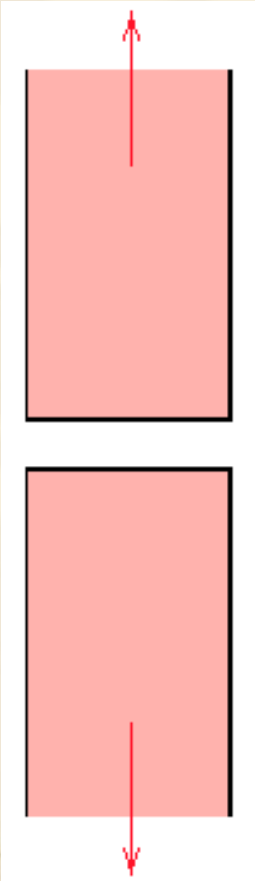


A



B

沿晶断裂



How to increase the strength of metallic materials?

固溶强化

加入合金元素形成固溶体而使强度增加的现象;
固溶强化的效果：间隙元素大于置换式固溶元素

形变强化

材料屈服以后，随形变量的增加，所需应力不断增加的现象，也叫加工硬化。
位错密度大幅度增加；晶体择优取向

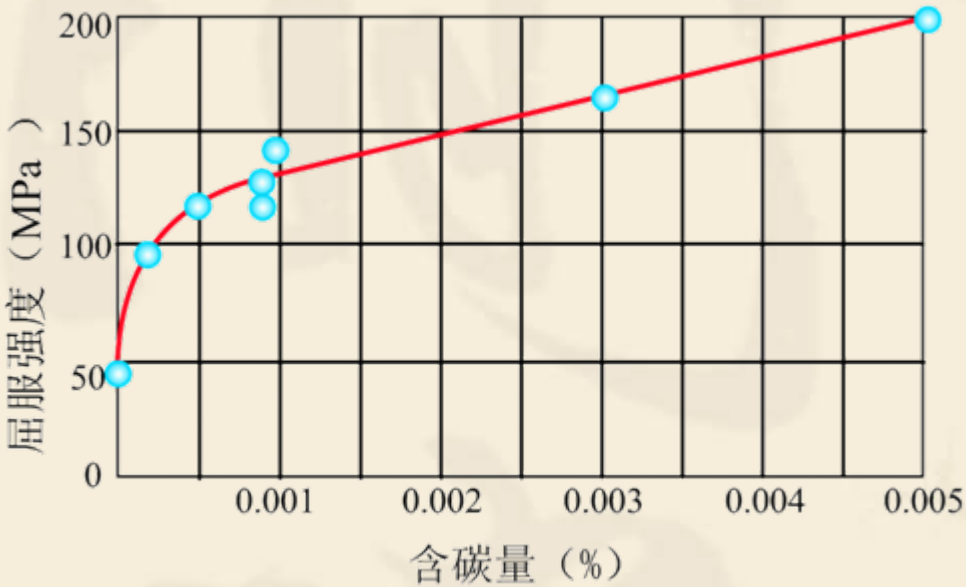
弥散强化

通过向基体中引入其它一个或几个相而使金属强度提高的现象
与第二相颗粒的性质、尺寸、形状、数量、分布有关

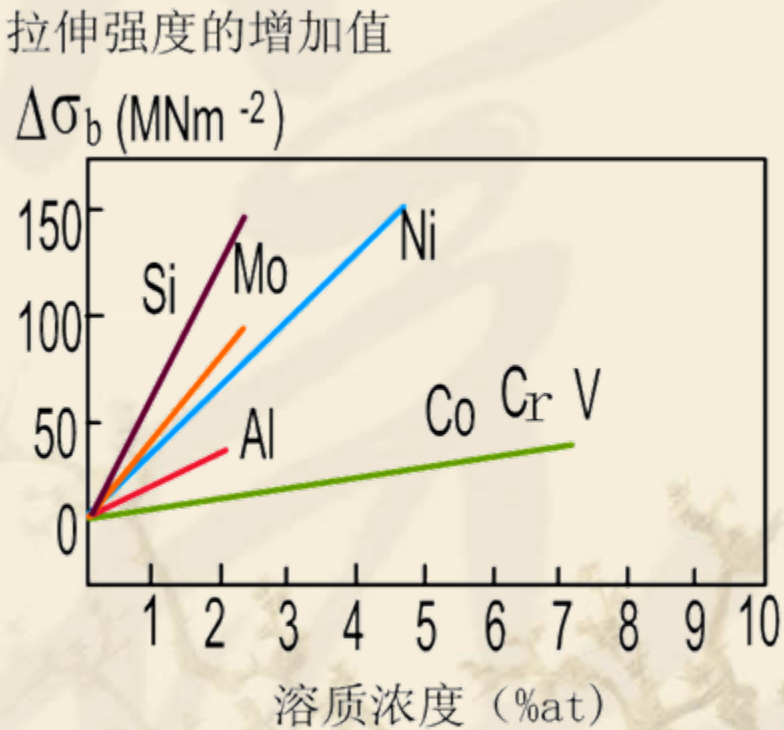
细晶强化

随着晶粒细化, 材料的强度和韧性均提高

固溶强化

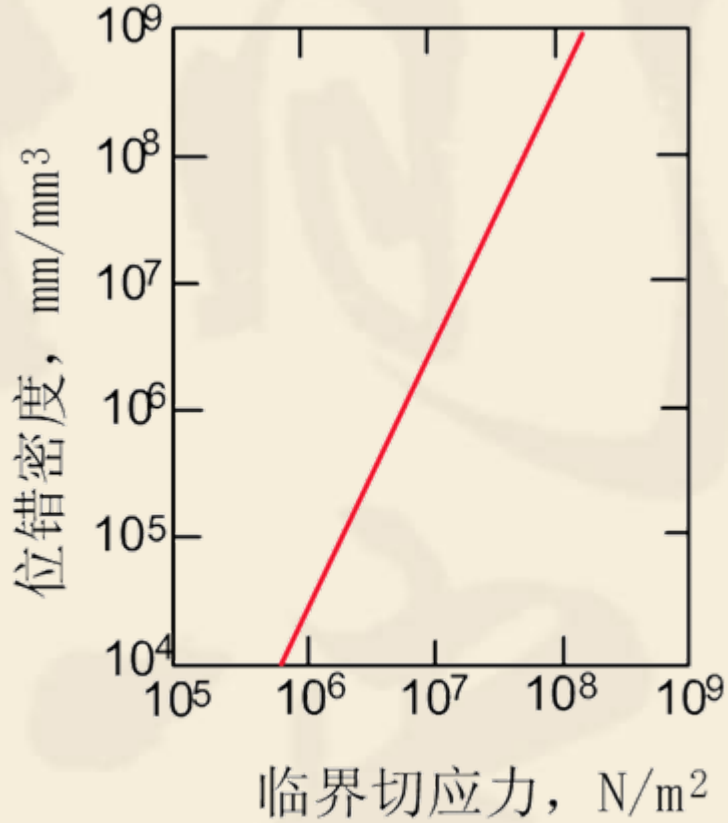


碳对 α-Fe屈服强度的影响

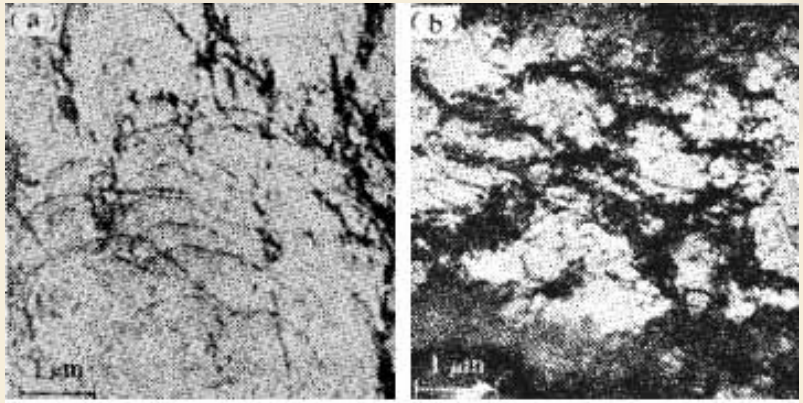


溶质对铁强度的影响

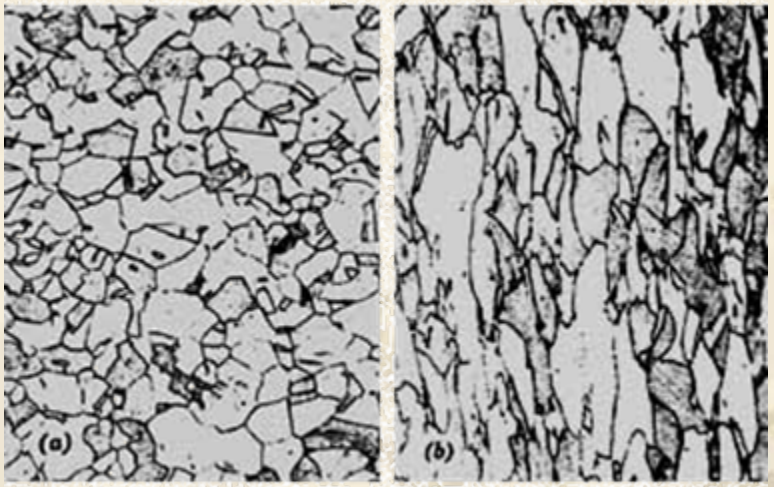
形变强化



位错密度与临界切应力的关系

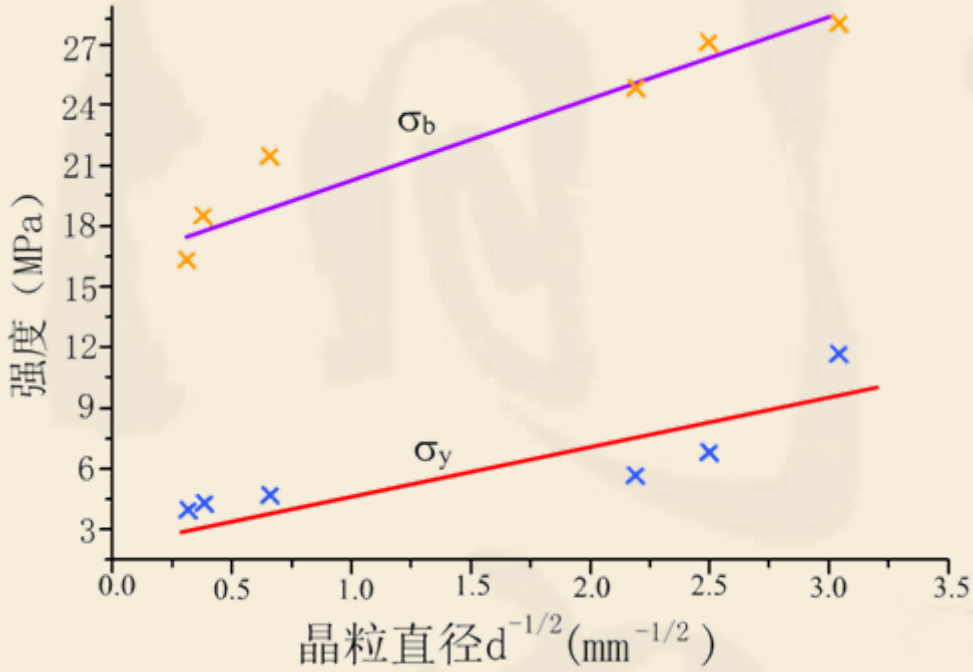


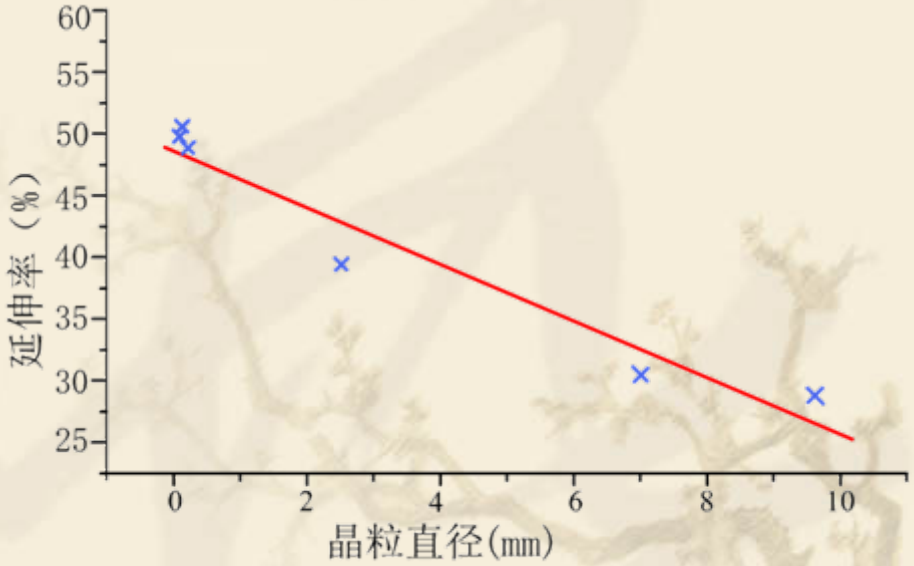
(a) 退火纯铁中的位错　(b) 变形后的位错



(a) 等轴晶　(b) 塑性变形后的粒长晶粒（170×）

晶界强化





晶粒大小对延伸率的影响

3.2 黑色金属

- 纯铁 (Pure iron)
- 铁碳合金 (Fe-C alloy)
- 合金钢 (Alloy steel)
- 铸铁 (Cast iron)

❖ 纯铁(Fe)

熔点：1538℃

密度：7.87g/cm³

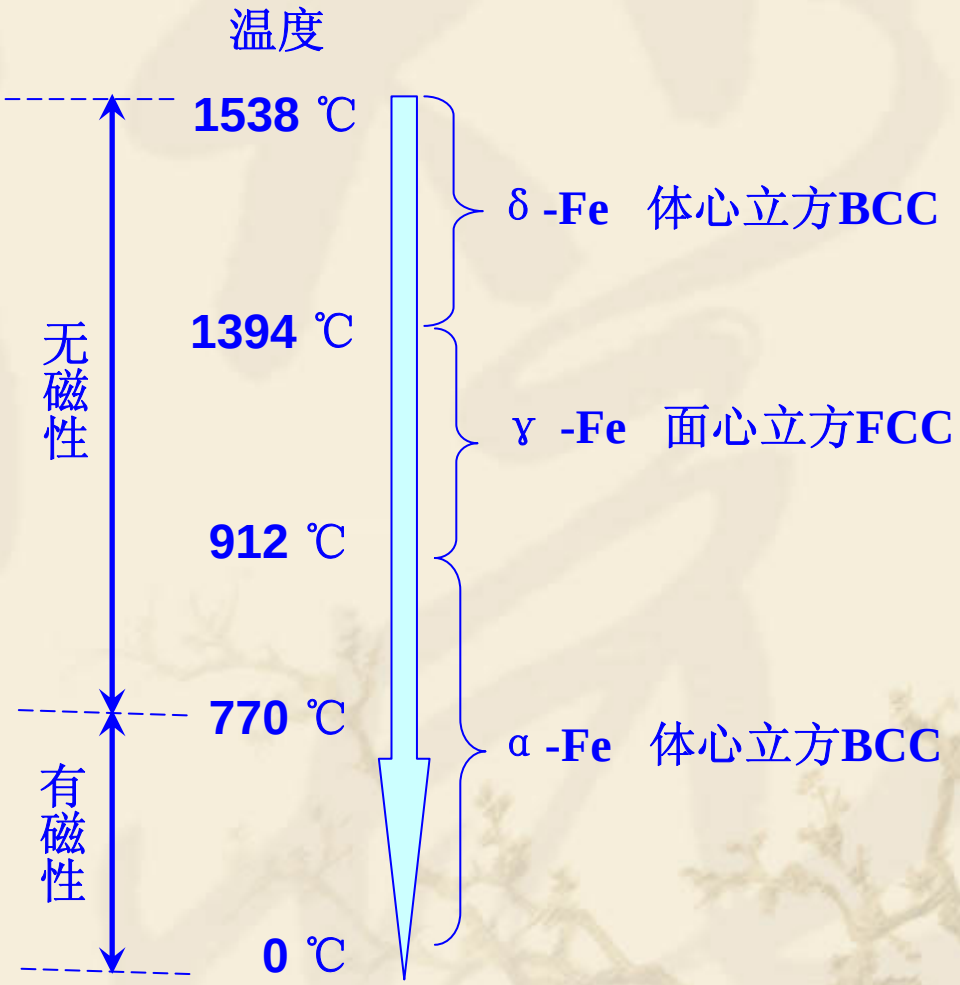
塑性和韧性好

强度低

铁磁性－高磁导率

主要用途

仪器仪表的铁芯



- 铁素体F(Ferrite)：碳溶于α-铁中的间隙固溶体,BCC结构,性能与纯铁相似，塑性、韧性好。
- 奥氏体A(Austenite)：碳溶于γ-铁中的间隙固溶体,FCC结构，塑性好，没有磁性。
- 渗碳体Fe_3C(Cementite)：铁与碳形成的间隙化合物Fe_3C，正交晶格，硬度高，脆性很大。
- 珠光体P(Pearlite)：铁素体和渗碳体相间叠加的层片状组织，铁素体薄层和渗碳体薄层交替重叠的层状复相物。

Fe and Fe-based alloys

铁碳合金中碳的存在形式

间隙固溶于铁

铁素体：碳溶于α-铁中的间隙固溶体

奥氏体：碳溶于γ-铁中的间隙固溶体

化合态的渗碳体 → 铁与碳形成的间隙化合物Fe_3C亚稳态，在一定条件下分解为铁和石墨

游离态的石墨 → 稳定态，可以从铸铁溶液中析出，也可以从奥氏体中析出

铸铁(Cast iron)

成份: C >2%

Si、Mn、S、P等。

性质:

- 铸造性能良好;
- 切削加工性能优异;
- 耐磨;
- 良好的减振性;
- 对缺口不敏感;

柴油发电机箱体

CK7516A/20A数控车床

Cast iron

✓历史悠久

✓工程上最常用：机械制造、冶金、矿山、石油化工、交通。

汽车：50－70%；机床：60－90%。

✓生产设备和工艺简单，价格便宜

铸铁分类

根据碳在铁中的存在形式
和断裂断口颜色

◆灰口铸铁
Grey cast iron
游离石墨；暗灰色

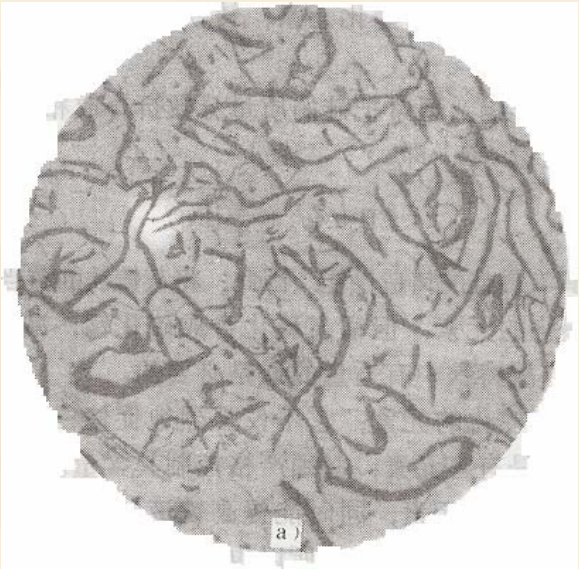
石墨形态 →

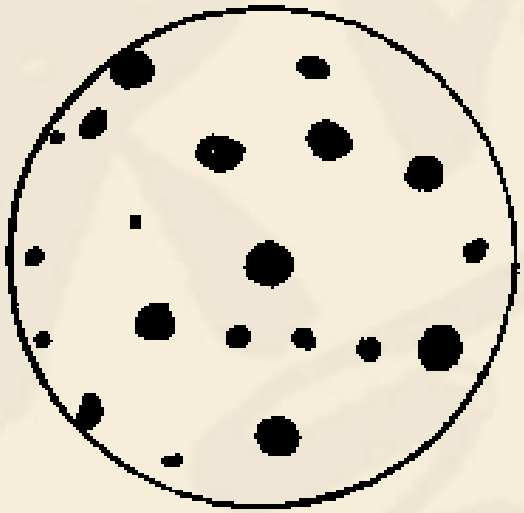
普通灰铸铁	片状
球墨铸铁	球状
可锻铸铁	团絮状
蠕墨铸铁	蠕虫状

◆白口铸铁 White cast iron
渗碳体；白亮色

◆麻口铸铁 Mottled cast iron
渗碳体+游离石墨；

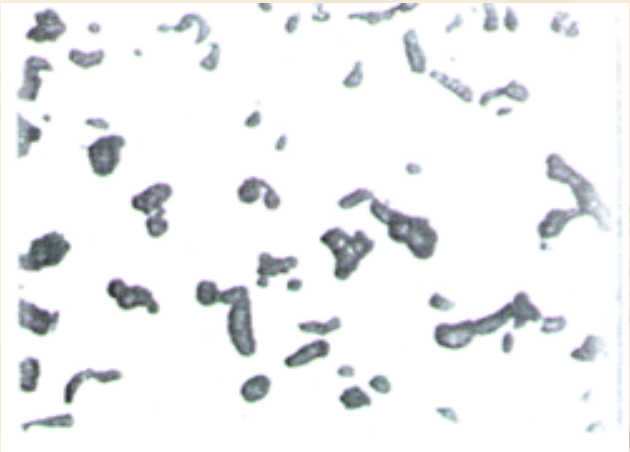
普通灰铸铁





球墨铸铁

可锻铸铁



蠕墨铸铁

石墨对铸铁性能的影响

数量：石墨量越多，铸铁的抗拉强度越低。
(石墨相当于铁基体中的裂纹和空洞，它降低基体的抗拉强度，并引起应力集中。)

大小：中等为宜

分布：均匀

形态：影响较大
片状—力学性能最差
球状、团絮状—力学性能最好

碳钢分类

❖ *按含碳质量百分数分类*

低碳钢 C: ≤0.25%

中碳钢 C: 0.25%≤C≤0.6%

高碳钢 C: >0.6%

含碳量越高，硬度、强度越大，但塑性降低

按钢的质量分类（杂质硫、磷的含量）

- 普通碳素钢 S≤0.055%，P≤0.045%
- 优质碳素钢 S≤0.040%，P≤0.040%
- 高级优质碳素钢 S≤0.030%，P≤0.035%

按用途分类

- 碳素结构钢：主要用于桥梁、船舶、建筑构件、机器零件等。
- 碳素工具钢：主要用于刀具、模具、量具等。

碳钢的牌号与用途

普通碳素结构钢：Q195、Q215、Q235、Q255、Q275等。
数字表示最低屈服强度。

用途 Q195、Q215、Q235 塑性好，可轧制成钢板、钢筋、钢管等。
Q255、Q275可轧制成型钢、钢板等。

优质碳素结构钢：钢号以碳的平均质量万分数表示。
如20#、45#等。

用途 主要用于制造各种机器零件

碳钢的牌号与用途

碳素工具钢：钢号以碳的平均质量千分数表示，并在前冠以T。如 T9、T12等。T9表示含C：0.9％ (千分之9)。

用途 主要用于制造各种刀具、量具、模具等

铸钢：钢号以碳的平均质量万分数表示，在前冠以ZG 。如 ZG25，表示含C：0.25％。

用途 主要用于制造形状复杂并需要一定强度、塑性和韧性的零件，如齿轮、联轴器等。

碳钢的缺点

- 基本相（F、 Fe_3C）性能差;
- 淬透性低;
- 回火稳定性差，使用温度不能超过200℃;
- 没有特殊性能，如耐腐蚀、抗氧化、高耐磨……。

合金钢 Alloy steel

在碳钢中加入一种或多种合金元素，形成的钢称之为合金钢(Alloy steel)。

按含合金元素的多少分

- 低合金钢 <5w%
- 中合金钢 5w% – 10w%
- 高合金钢 >10w%

按含合金元素种类分

铬钢、铬镍钢、锰钢、硅锰钢等。

按用途分

结构钢、工具钢、特殊性能钢。

■按用途分:

结构钢

制造各种工程结构和机器零件

工程(构件)用钢；渗碳钢、调质钢、弹簧钢、轴承钢

工具钢

制造各种加工工具

刃具钢、模具钢、量具钢

特殊性能钢

具有特殊物理或化学性能

不锈钢、耐热钢、耐磨钢、电工钢

合金元素的作用

1 合金元素与铁的作用：溶于铁形成固溶体。

影响铁的同素异晶转变；

固溶强化——使钢的室温强度提高。

2 合金元素与碳的作用

非碳化物形成元素：Ni、Co、Cu、Si、Al、N、B；

碳化物形成元素：Mn、Cr、Mo、W、V、Nb、Zr、Ti

合金渗碳体　　合金碳化物

合金元素在钢中的主要作用

- 对钢的力学性能的影响

1. 溶入固溶体（铁素体、奥氏体），固溶强化。
2. 溶入奥氏体，提高淬透性，形成更多马氏体，提高强度。
3. 形成稳定碳化物，加热时阻碍晶粒长大，细化晶粒。
4. 形成稳定碳化物，具有高硬度，提高耐磨性。
5. 形成稳定碳化物，弥散分布，弥散强化。
6. 扩散慢，推迟回火转变，提高回火稳定性，在某些高合金钢中产生二次硬化。

- 对钢的工艺性能的影响

合金钢在压力加工、焊接、热处理及切削加工的工艺性能方面比碳钢差。

合金结构钢的应用

普低钢

- Q345钢(16Mn)综合性能好，用于船舶、桥梁、车辆等大型钢结构。
- Q390钢含V、Ti、Nb，强度高，用于中等压力的容器。
- Q460钢含Mo、B，强度高，用于石化中温高压容器。

万吨远洋轮

南京长江大桥

压力容器

合金结构钢的应用

调质钢

圆锥齿轮

柴油机凸轮轴

合金结构钢的应用

渗碳钢

活塞销(20Cr)

柴油机曲轴

柴油机凸轮轴

合金结构钢的应用

弹簧钢

热卷大弹簧

汽车板簧

弹簧丝

大型热卷弹簧

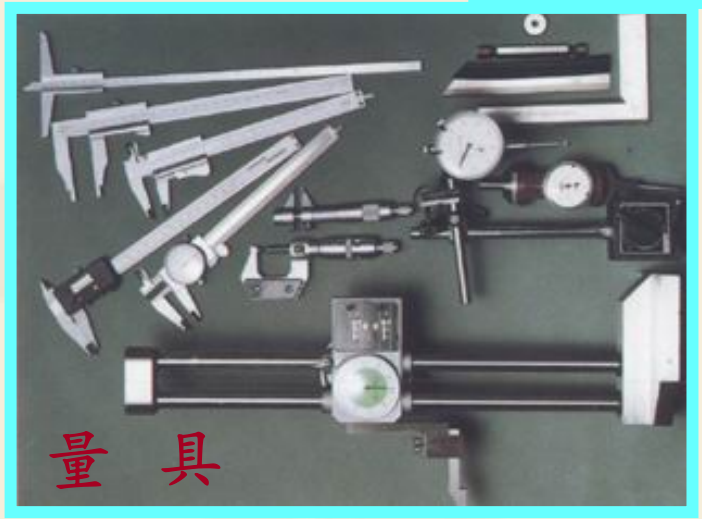
合金结构钢的应用

滚动轴承钢

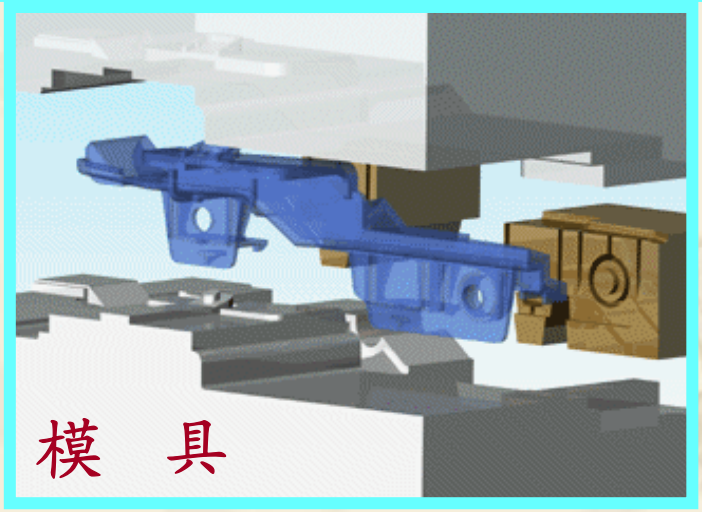
合金工具钢的应用

合金工具钢

刃具



量 具



模 具

合金工具钢的应用

高速钢

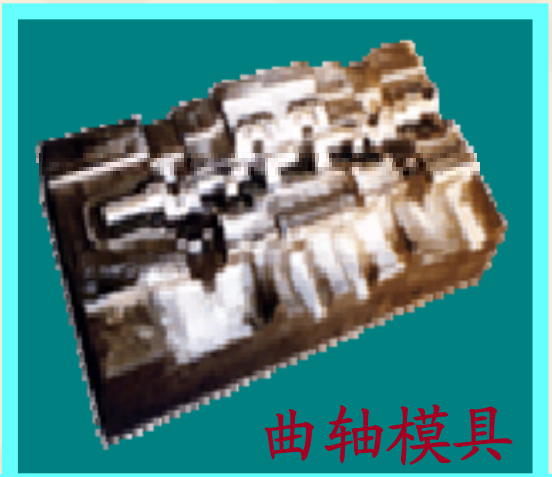
铣刀

车刀

钻头

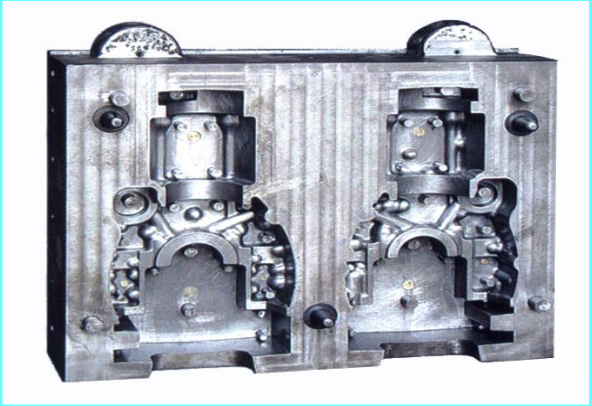
合金工具钢的应用

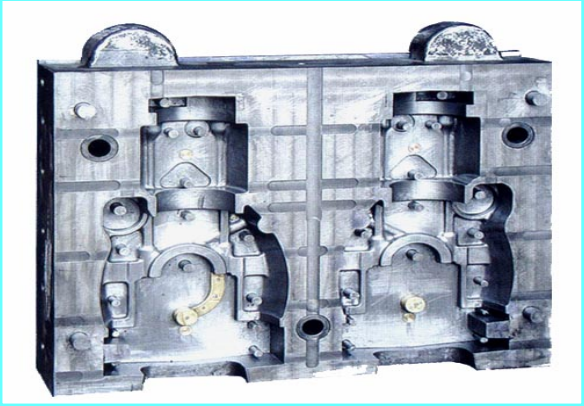
模具钢



曲轴模具

汽车冲压模具





汽车四缸压铸模

合金工具钢的应用

量具钢

量　规

卡　尺

千分尺

特殊性能钢

不锈钢(Stainless Steel)

在大气和一般腐蚀性介质中具有很高耐蚀性的钢。

用 途

在各种腐蚀性介质中工作并具有较高抗腐蚀能力的零件或结构件。

广泛用于石油、化工、原子能、海洋开发、国防和一些先端科学技术领域。

合金元素的作用

1. 耐腐蚀性要求越高，碳的质量分数应越低;

2. 加入主要的合金元素Cr。
   提高基体的电极电位
   钝化氧化

3. 加入合金元素Ni。
   获得单相的奥氏体组织
   提高耐腐蚀性及力学性能。

合金元素的作用

4 加入合金元素Mo、Cu等：提高钢在非氧化性酸中的耐腐蚀能力。

5 加入合金元素Ti、Nb等：优先同C形成稳定的碳化物——保Cr。

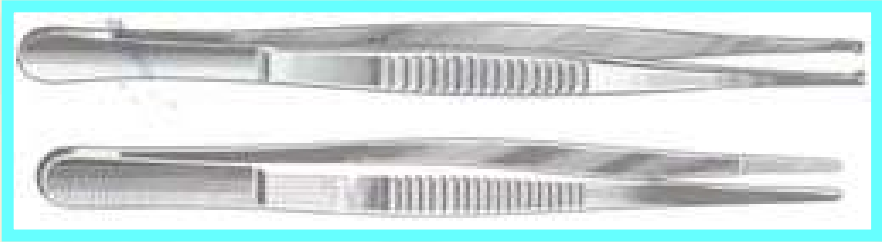
6 加入合金元素Mn、N等：部分替代Ni以获得奥氏体组织，并能提高耐有机酸腐蚀性。

特殊性能钢的应用

不锈钢

特殊性能钢的应用

不锈钢



管板换热器 (304)

大型化工储罐 (304)

特殊性能钢的应用

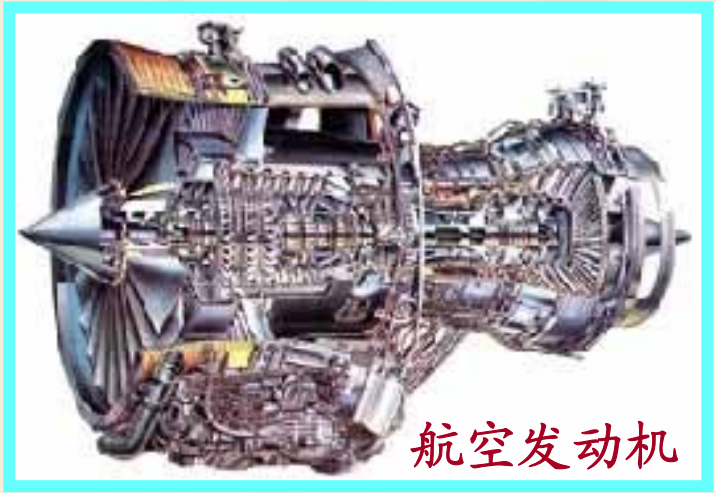
不锈钢

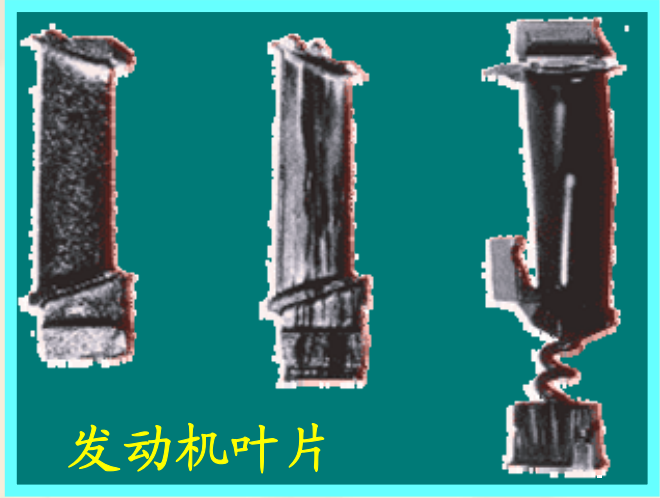
硝酸生产装置

合成氨生产装置

特殊性能钢的应用

耐热钢





特殊性能钢的应用

耐磨钢

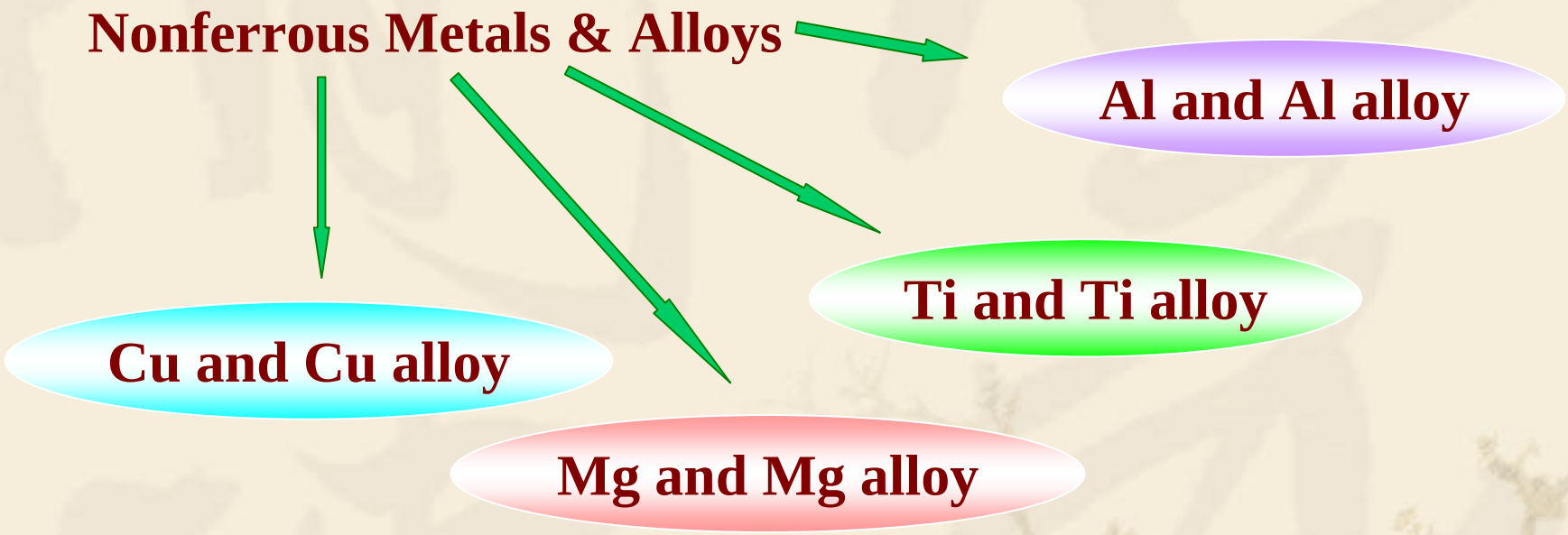
球磨机

颚式破碎机

挖掘机

合金弹簧钢

3.3 有色金属及合金



有色金属及合金与钢铁材料相比，具有许多特殊性能，是现代工业生活中不可缺少的金属材料。

3.3.1 Al and Al alloy

Characteristics

Melting point: 660℃

1. 密度低，比强度高

纯铝的密度只有2.7g/cm³

2. 良好的导热、导电以及抗腐蚀能力

3. 良好的加工性、铸造性，易塑型变形

4. 在空气中易在表面形成Al_2O_3膜

Pure Al 纯铝中含有Fe、Si、Zn等时，会使性能下降。

名称	纯度	用途
高纯铝	99.93%-99.99%	科学研究、制作电器
工业高纯铝	98.85%-99.9%	铝箔、铝合金原料
工业纯铝	98.0%-99.0%	电线、电缆、配置合金

纯铝的强度很低，不能用作结构材料 → 铝合金

Function of alloying elements

Good machinability with improved strength

提高强度的方法

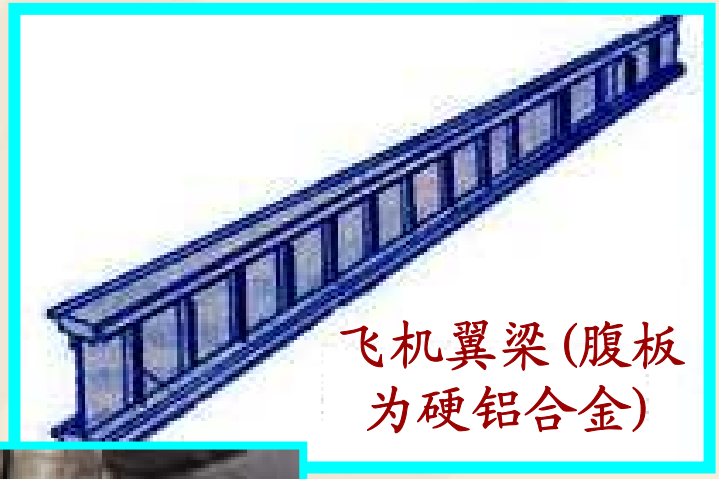
- 固溶强化
- 时效强化
- 弥散强化
- 细晶强化

Classification of Al alloy

		用　途
变形铝合金 (Transformed Al alloy)	防锈铝合金 硬铝合金 超硬铝合金 锻铝合金	铝丝、铝箔、铝合金型材等
铸造铝合金 (Casting Al alloy)	A1-Si系合金 A1-Cu系合金 A1-Mg系合金 A1-Zn系合金	复杂形状的铸件等

硬铝合金(Duralumin alloy):

Al – Cu – Mg 通过时效强化提铝合金强度,但耐蚀性不高。



飞机翼梁(腹板为硬铝合金)

超硬铝合金(Super duralumin alloy):

Al – Zn – Mg – Cu 通过时效强化和形成的强化相,使铝合金达到最高的硬度和强度。但耐蚀性较差。

飞机主起落架

锻铝合金（Wrought Al alloy）：

Al-Mg-Si-Cu 具有良好的热塑性，通过固溶处理和人工时效来提高铝合金的力学性能。

压气机叶片

铸造铝 – 硅合金

活塞(裙部为铝硅合金)

铸造铝 – 铜合金:

有较高的强度、塑性及耐热性,但铸造性能和耐蚀性较差。

鼓风机用密封件
及航空架件

铸造铝 – 锌合金:

具有良好的铸造性，经变质处理和时效处理后，强度高，但耐蚀性差。

大型空压机活塞

铸造铝 – 镁合金:

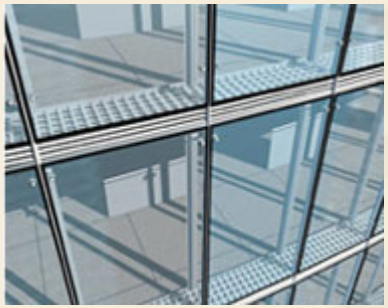
有较高的强度、韧性及耐蚀性，但铸造性能和耐热性较差。

铝及铝合金的应用

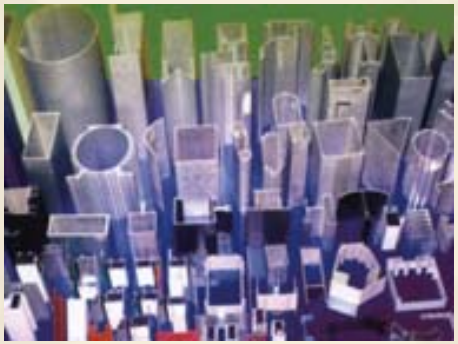
铝合金门窗

铝管材

铝合金硬盘盒

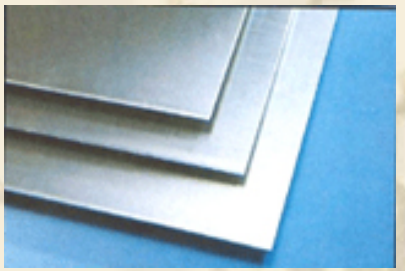


玻璃幕墙



各式工业、建筑铝合金型材

卫浴铝材



铝板

铝合金的新进展

Al-Li合金

低密度、高弹性模量
高比强度、高比刚度

航空航天领域

奋进号 液氢液氧外推进剂贮箱
2195铝锂合金代替2219合金，
减轻重量约3500 k g 。

第三代铝锂合金的发展方向：高强可焊和低各向异性

国内外研究概况

- 超高强、高韧、耐腐蚀铝合金
- 车（船）用铝合金
- 再生铝合金
- 铝合金薄板
- 铝与铝合金箔材
- 其它铝合金

3.3.2 Cu and Cu alloy

Copper

- 原子量：63.54
- 密度：8.92 g/cm^3
- 熔点：1083℃
- 色泽美观。

Pure Cu

纯铜为紫色，又称紫铜。主要用于制作电导体及配制合金。工业纯铜分为4种：T1、T2、T3、T4。编号越大，纯度越低。

纯铜的强度低，不宜用作结构材料

Properties of Cu and Cu alloys

- **Good physical and chemical properties:** 导电、导热性能好、耐腐蚀、化学稳定性强、抗磁能力高。
- **Good machinability:** 容易冷热成形，铸造性能好，易焊接、可塑性、延展性好。
- **Special mechanical properties:** 比如优良的减摩性和耐摩性，高的弹性极限和疲劳强度，抗张强度大。
- 色泽美观。

Classification of Cu alloy

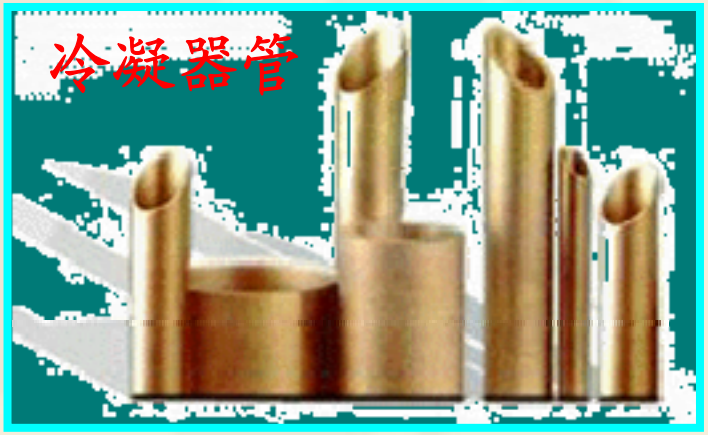
铜中加入合金元素后，可提高合金的强度，并保持良好的加工性能。

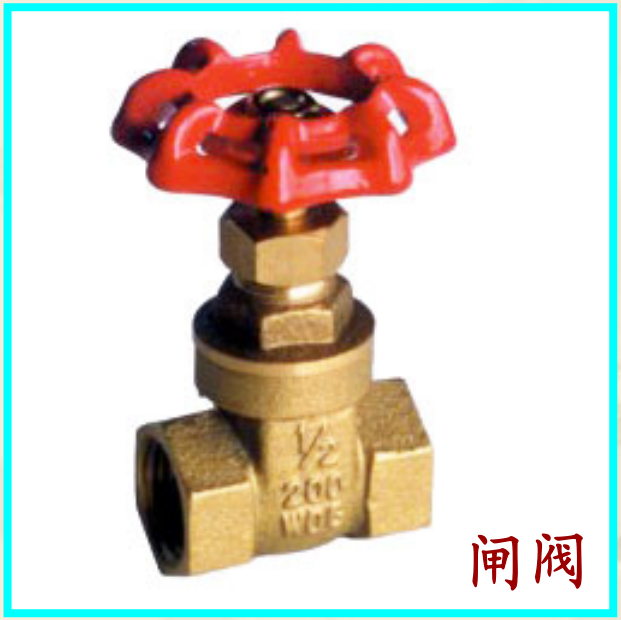
铜合金的种类

- 黄铜 (Brass) → 以Zn为主要合金元素。良好的加工性能，优良的铸造性能，耐腐蚀性能也好。
- 青铜 (Bronze) → 以Sn为主要合金元素。用于铸造形状复杂的零件。抗腐蚀性比黄铜还好。
- 白铜 (Cupronickel) → 以Ni、Mn为主要合金元素。具有较好的强度和塑性，能进行冷加工变形，抗腐蚀性能也好。

常见的黄铜应用

- 金奖黄铜——H90
- 弹壳黄铜——H70（H68）
- 日用黄铜——H62（H59）





青铜、白铜的应用

- 青铜主要用作耐蚀耐磨、防磁的零件，如仪器上的弹簧簧片、轴承、齿轮等。
- 白铜具有高的抗蚀性和优良的冷热加工成形性，精密仪器仪表，化工机械及医疗器械中的关键材料。

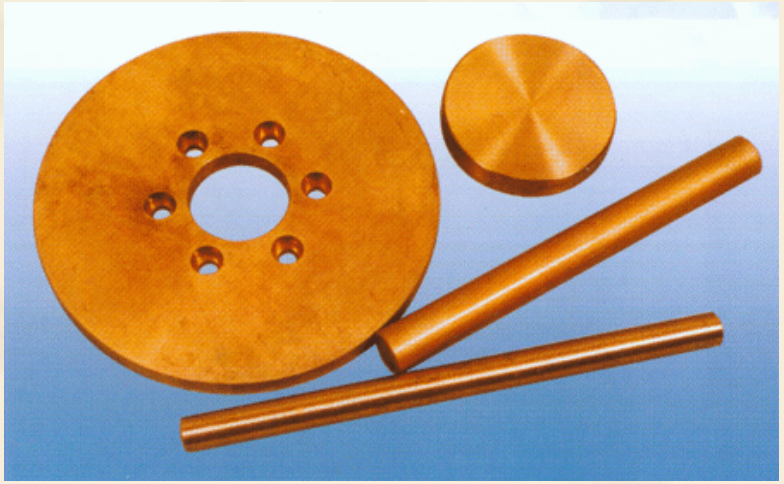
应用领域

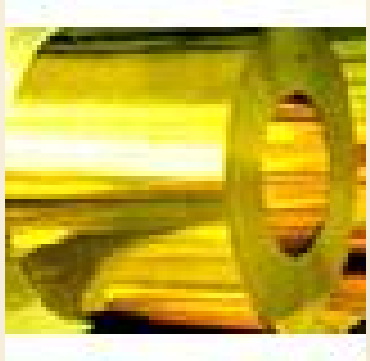
电机　　造船

电气仪表　　机械制造

铜制品

铜及铜合金





铝青铜

锡青铜

铅黄铜管材

白铜

铜及其合金的主要发展趋势

- 高强高导材料性能的研究蓬勃发展;
- Cu/Nb、Cu/Cr、Cu/V等合金系在高温区域的热力学数据和相图数据非常缺乏，对合金平衡及非平衡凝固组织的认识有待深入;
- 纳米孪晶纯铜的研究取得重要突破。中科院金属所通过制备出高密度纳米尺寸生长孪晶铜，使纯铜拉伸强度高达1068MPa;
- 纳米晶电触头材料与电弧相互作用的研究不断深入;
- 电接触可靠性的研究有待深入。

3.3.3 Ti and Ti alloy

Titanium

银白色，密度低（4.5g/cm^3,比铝高）；熔点高（1668℃），线膨胀系数小。

导热性差。

纯钛塑性好，强度高，可以加工成细丝和薄片。

钛在大气、海水及酸碱中的抗腐蚀性能好。

Crystal structure

< 882.5℃： HCP, α－Ti

> 882.5℃： BCC, β－Ti

Properties

- Low density, high specific strength 钛合金的强度可与高强钢媲美;
- Capability of working at high and low temperatures 某些钛合金能在450-600℃和-250℃下长期工作;
- Anticorrosion 具有很好的耐盐类、海水和硝酸腐蚀的能力;
- Difficult in machining, high cost

Classification of Ti alloy

α－钛合金 → 钛中加铝、硼，获得α－Ti合金。其强度较低，但高温（500－600度）强度很高。抗氧化性、抗蠕变性、焊接性能良好。

β－钛合金 → 钛中加钼、铬、钒，获得β－Ti合金。其强度高，冲压性能好，并可通过淬火和时效获得强化。

α＋β－钛合金 → 其塑性好，容易锻造、压延和冲压，可通过固溶和时效进行强化。热处理后的强度可提高50％－100％。

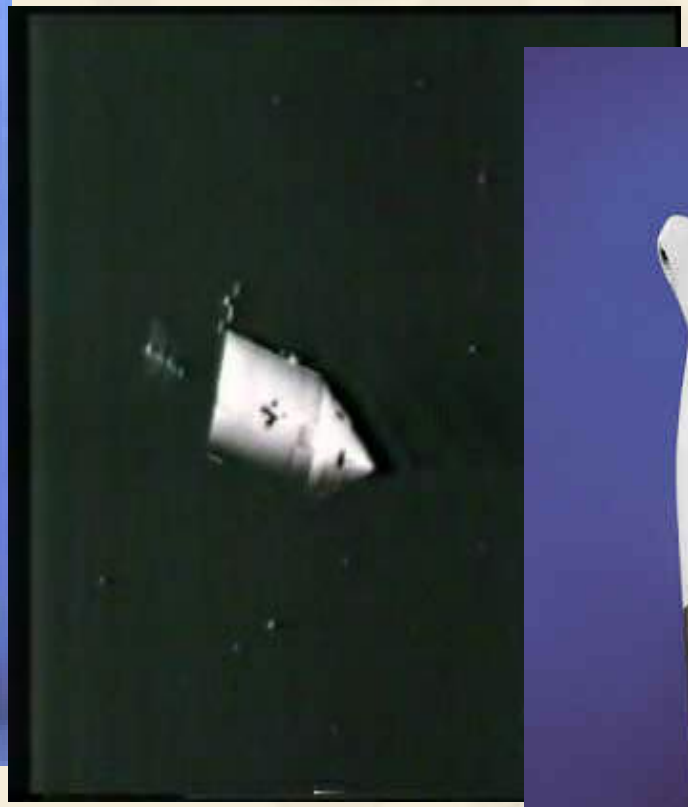
钛合金

超大型客机—空客A380，
用钛量为45t/架-65t/架

F15战斗机，结构用钛5.75t，
2台喷气发动机用钛5t

F18舰载战斗机，用钛量占
其总重的12%-13%（净重）

钛合金



钛飞船

钛合金的新进展

（1）高强高韧β型钛合金

加入大量β稳定元素

高强度(≥1400-1500MPa)，深淬透性和冷成形加工性能

高抗蚀性、良好的耐热性

用于有温度要求的飞机结构件或发动机结构件、蜂窝、紧固件和液压管件；用做金属基复合材料的基体、铸件等。

（2）钛铝化合物为基的钛合金

提高钛合金的工作温度(抗氧化能力、高温力学性能)

代替航空发动机所用的较重的镍基高温合金，增大推重比

钛合金的新进展

钛铝化合物为基高温钛合金的主要性能与普通钛基和镍基高温合金比较

性 能	普通钛基	Ti3Al基	TiAl基	镍基合金
密度（g/cm3）	4.5	4.1～4.7	3.7～3.9	8.3
室温拉伸强度(MPa)	480～1200	800～1140	450～700	—
室温屈服强度(MPa)	380～1150	700～990	400～630	—
室温弹性模量(GPa)	96～115	120～145	160～176	206
室温延伸率(%)	10～20	2～7	1～3	3～5
高温延伸率(%)	高的	10～20	10～20	10～20
蠕变极限温度（C）	600	750	1000	1090
抗氧化温度(C)	600	650	900～1000	1090
最高工作温度(C)	600	815	1040	1095

（3）高温钛合金

（4）阻燃钛合金

（5）医用钛合金

钛及钛合金

- Ti-6Al-4V

α + β 型钛合金， Al 5-6%、 V 4%。

通过热处理可使抗拉强度高达**1173MPa**，

用来制造工作温度不超过**400**℃的各种飞机结构件和发动机零部件

现有航空航天用钛合金中，应用最广泛、综合性能好

用量达各种钛合金总用量的一半以上

3.3.4 Mg and Mg alloy

Magnesium

Low density, high specific strength 纯镁的密度只有1.749g/cm^3，仅为铁的1/4、铝的2/3。

Low electrode potential 抗腐蚀性能差。

HCP structure 塑性变形能力差。

Properties

Low specific weight: 工业用材料中最轻量材料（铝的2/3重）

High specific strength: 优于钢和铝

Shock absorbency: 可将震动能吸收并转化成热放出

Good machinability, Impact-resistent

Regeneration: 有利于环境优化

Mg alloy

主要合金元素

	作　用
Al	提高强度，改善铸造性
Zn	提高强度，改善耐蚀性、塑性
Mn	改善抗蚀性
Zr	细化晶粒、提高力学性能
稀土元素	提高耐热性，改善铸造性和焊接性
Li	降低密度，提高塑性和焊接性

镁及镁合金

镁合金的种类		用　　途
	变形镁合金 (Transformed Mg alloy)	镁合金各种型材
	铸造镁合金 (Casting Mg alloy)	复杂形状的铸件

3.3.5 轴承合金的性能要求(Bearing alloy)

- 在工作温度下有足够的抗压强度和疲劳强度，以承受轴所施加载荷。
- 有足够的塑性和韧性，以保证与轴配合良好并承受冲击和振动。
- 磨擦系数小，并能保持住润滑油，以减少对轴颈的摩损。
- 具有小的膨胀系数和良好的导热性和耐蚀性，以防止轴瓦与轴颈强烈磨擦升温而发生咬合，并抵抗润滑油的侵蚀。
- 具有良好的磨合能力，以使载荷均匀分布。
- 容易制造，价格低廉。

轴承合金的分类及用途

- 常用的轴承合金按其化学成分可以分为锡基、铅基、铝基、铜基和铁基等数种，前两种锡基、铅基称为巴氏合金。
- 锡基轴承合金(Tin-based)
- 铅基轴承合金(Lead-based)

轴承合金应用

内燃机轴瓦

巴氏合金轴瓦

3.3.6 Noble Metal

8种：金、银、铂、铑、钯、铱、锇、钌

主要用途 贵金属及其合金早期用于首饰及装饰材料

催化剂、磁电机材料、电极材料、

储氢材料、高强度材料、焊料等。

Properties

- 优良的电学性能;
- 高催化活性、生物活性;
- 优良的磁光储存效应;
- 高温抗氧化性和抗腐蚀性能、

在应用中有"少、小、精、广"的特点，被称为现代"工业的维他命"。