

第六章 有色金属及其合金

安徽机电职业技术学院 张新建



第六章 有色金属及其合金

1

第一节 铝及铝合金

2

第二节 铜及铜合金

3

第三节 钛及钛合金

4

第四节 轴承合金

1

第五节 硬质合金和粉末冶金

第六章 有色金属及其合金



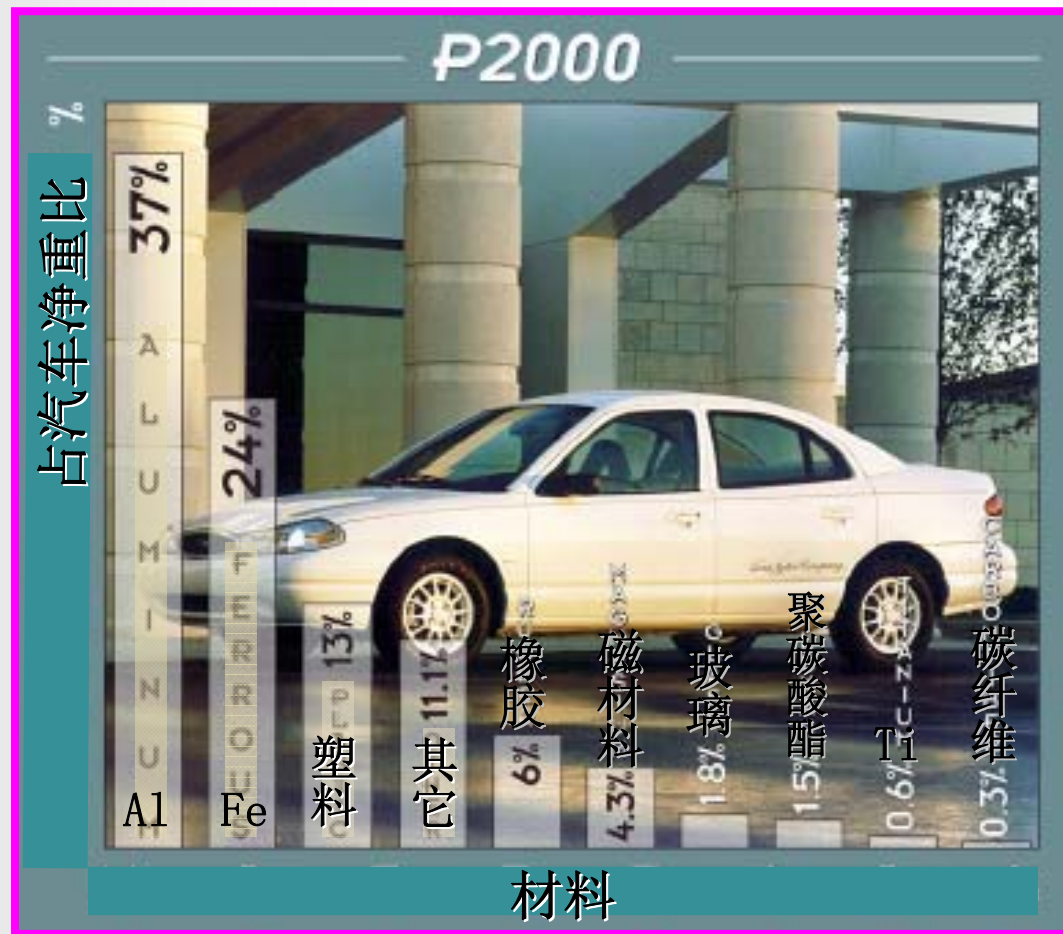
在工业生产中，通常把铁及其合金称为**黑色金属**，把其他非铁金属及其合金称为**有色金属**。





第六章 有色金属及其合金

有色金属的产量和用量不如黑色金属多，但由于其具有许多优良的特性，如特殊的电、磁、热性能，耐蚀性能及高的比强度(强度与密度之比)等，已成为现代工业中不可缺少的金属材料。



各种材料在先进汽车中占的重量百分比



第六章 有色金属及其合金



变形有色金属及其合金的牌号表示方法还不统一。

铸造有色金属及其合金牌号表示方法统一如下：

①铸造有色纯金属的牌号

为Z +该金属元素符号+
纯度百分含量数字(或用
一短横加顺序号)。如

ZA199.5和ZTi-1。



铝锭

第六章 有色金属及其合金

② 铸造有色合金的牌号

Z+基体元素符号+主要合金元素符号及其名义百分含量数字+其他合金元素符号及其百分含量数字。

- ❖ 如ZA1Si7Cu4、ZCuZn31Al2、ZSnSb11Cu6等。
- ❖ 混合稀土元素符号用RE表示。
- ❖ 优质合金在牌号后标注字母“A”。

有色金属种类很多，本章仅对机械、仪表等工业中广泛使用的铝、铜、钛及轴承合金作简要介绍。





第一节 铝及铝合金

一、铝及铝合金性能特点

- 1、纯铝具有银白色金属光泽，密度小(2.72)，熔点(660.4℃)，导电、导热性能优良。
- 2、耐大气腐蚀，易于加工成形。
- 3、具有面心立方晶格，无同素异构转变，无磁性。

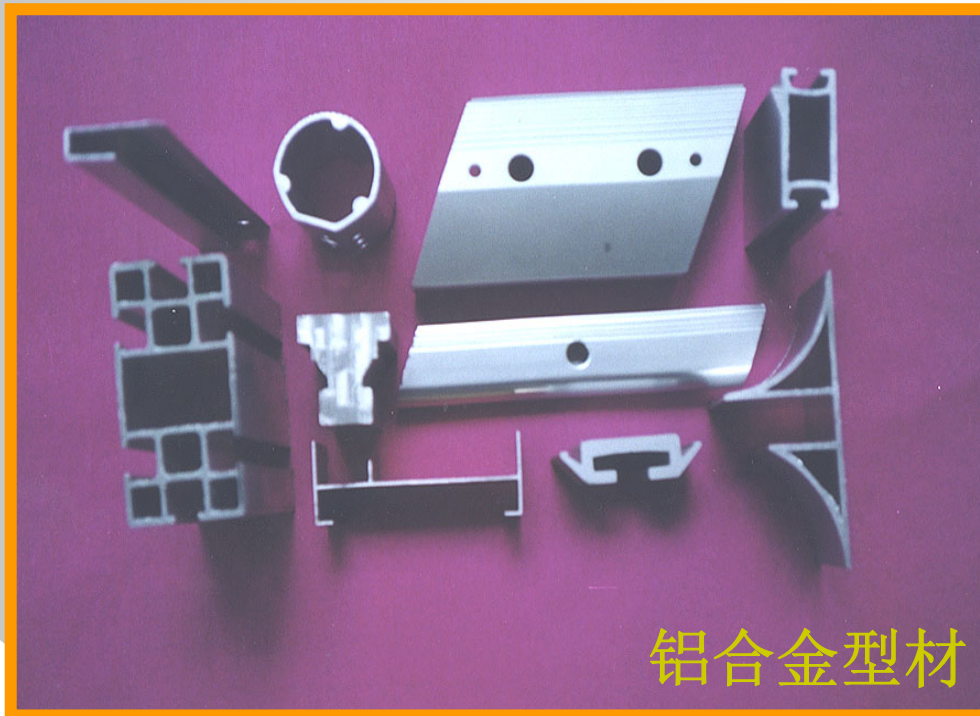




第一节 铝及铝合金

4、铝合金既具有高强度又保持纯铝的优良特性。

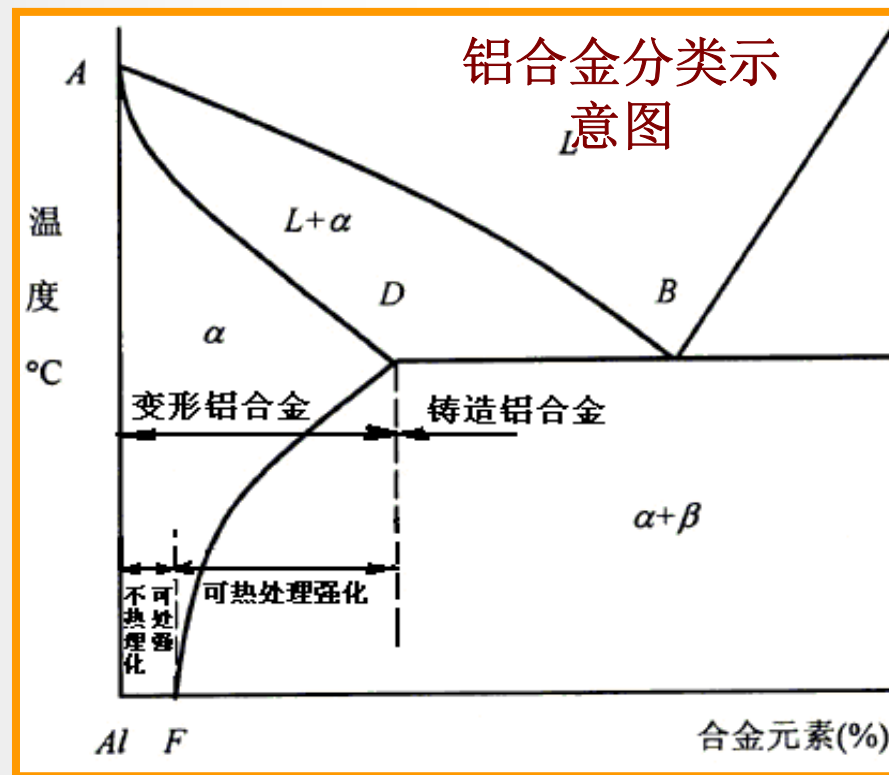
铝合金常加入的元素主要有Cu、Mn、Si、Mg、Zn等，此外还有Cr、Ni、Ti、Zr 等辅加元素。



第一节 铝及铝合金

二、铝合金的分类

铝合金一般具有有限固溶型共晶相图。可将铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金两大类。变形铝合金又分为可热处理强化和不可热处理强化两类。



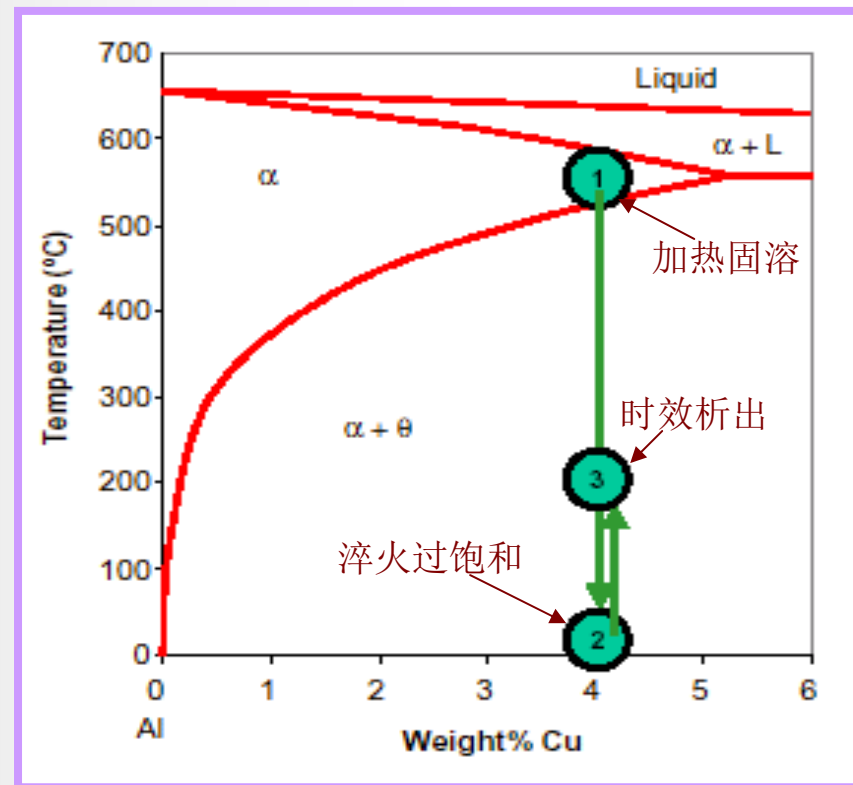
第一节 铝及铝合金

三、铝合金的热处理

强化变形铝合金
的热处理方法：**固溶
处理 + 时效。**

固溶处理是指将
合金加热到固溶线以
上，保温并淬火后获
得过饱和的单相固溶
体组织的处理。

时效是指将过饱和的固溶体加热到固溶线以下某温度
保温，以析出弥散强化相的热处理。

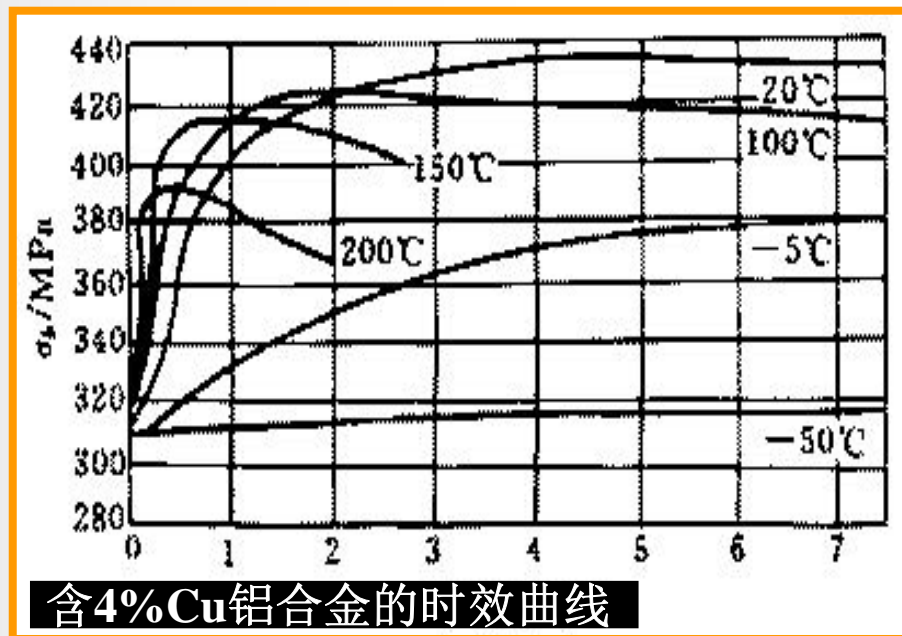




第一节 铝及铝合金

在室温下进行的时效称自然时效；在加热条件下进行的时效称人工时效。

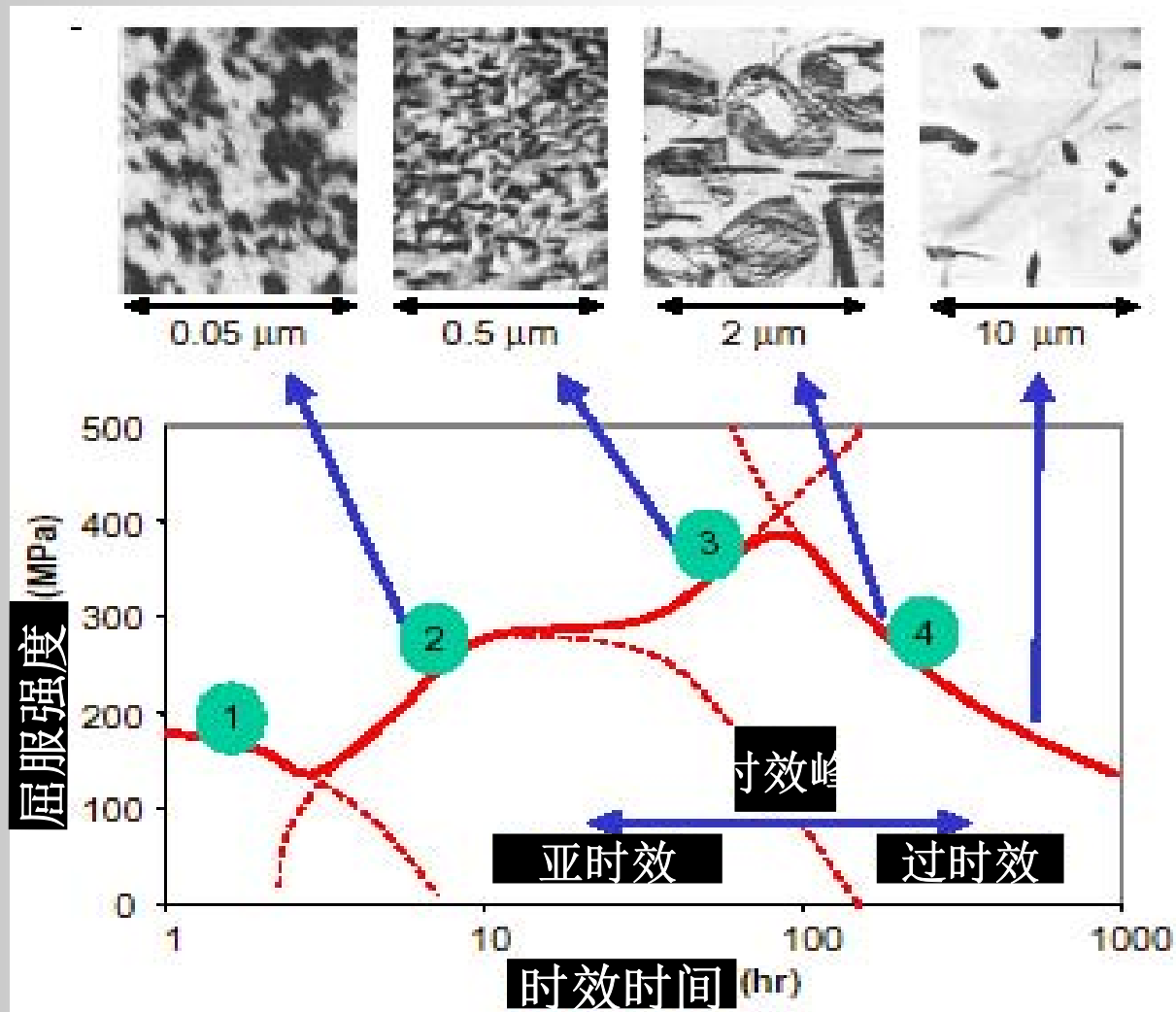
时效强化效果与加热温度和保温时间有关。温度一定时，随时效时间延长，时效曲线上出现峰值，超过峰值时间，析出相聚集长大，强度下降，为过时效。随时效温度提高，峰值强度下降，出现峰值的时间提前。





第一节 铝及铝合金

铝合金的热处理





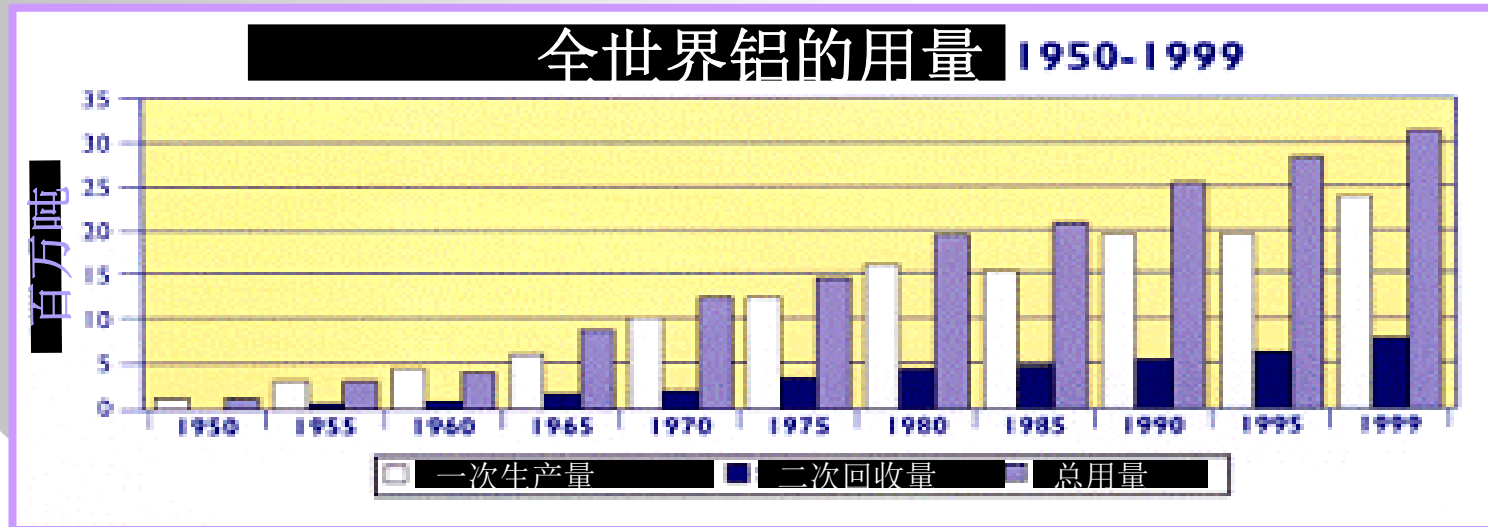
第一节 铝及铝合金

四、铝合金的牌号、性能及用途

1、变形铝合金

(1) 变形铝及铝合金牌号表示方法

根据国标规定，变形铝及铝合金可直接引用国际四位数字体系牌号或采用国标规定的四位字符牌号。

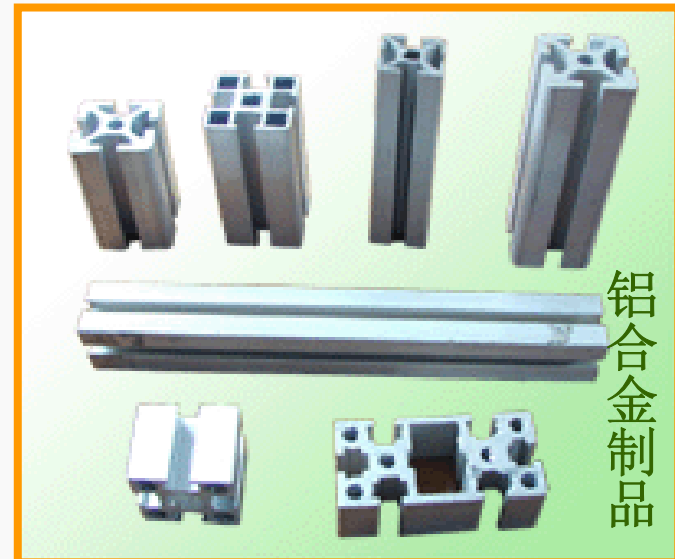




第一节 铝及铝合金

❖ GB 3190-82中的旧牌号仍可继续使用，表示方法为：

- 防锈铝合金：LF+序号
- 硬铝合金：LY +序号
- 超硬铝合金：LC +序号
- 锻铝合金：LD +序号



第一节 铝及铝合金

(2) 常用变形铝合金

① 防锈铝合金

❖ 主要是Al-Mn和Al-Mg系合金。

❖ Mn和Mg主要作用是

提高抗蚀能力和塑性，并起固溶强化作用。

- 防锈铝合金锻造退火后组织为单相固溶体，抗蚀性、焊接性能好，易于变形加工，但切削性能差。
- 不能进行热处理强化，常利用加工硬化提高其强度。



卫星天线
(LF2)



第一节 铝及铝合金

常用的Al-Mn系合金有 LF21 (3A21)，其抗蚀性和强度高于纯铝，用于制造油罐、油箱、管道、铆钉等需要弯曲、冲压加工的零件。

常用的Al-Mg系合金有 LF5 (5A05)，其密度比纯铝小，强度比Al-Mn合金高，在航空工业中得到广泛应用，如制造管道、容器、铆钉及承受中等载荷的零件。



第一节 铝及铝合金

② 硬铝合金

- ❖ 主要是Al-Cu-Mg系合金，并含少量Mn。
- ❖ 可进行时效强化，也可进行变形强化。
- ❖ 强度、硬度高，加工性能好，耐蚀性低于防锈铝。

- 常用硬铝合金如LY11 (2A11)、LY12 (2A12)等，用于制造冲压件、模锻件和铆接件，如螺旋桨、梁、铆钉等。

飞机翼梁(腹板
为硬铝合金)



第一节 铝及铝合金

③ 超硬铝合金

- ❖ 属Al-Zn-Mg-Cu系合金，并含有少量Cr和Mn。
- ❖ 时效强化效果超过硬铝合金。
- ❖ 热态塑性好，但耐蚀性差。
常用合金有 LC4 (7A04)、
LC9 (7A09)等，主要用于工作温度较低、受力较大的结构件，如飞机大梁、起落架等。



飞机主起落架

第一节 铝及铝合金

④ 锻铝合金

❖ Al-Cu-Mg-Si系合金 可锻性好，力学性能高，用于形状复杂的锻件和模锻件，如喷气发动机压气机叶轮、导风轮等。

● Al-Cu-Mg-Fe-Ni系耐热锻铝合金 常用牌号有LD7 (2A70)、LD8 (2A80)、LD9 (2A90)等。用于制造150~225℃下工作的零件，如压气机叶片、超音速飞机蒙皮等。





第一节 铝及铝合金



美F-117隐身战斗机
(所用材料大部分是铝合金)



高比强铝合金机翼

第一节 铝及铝合金

2、铸造铝合金

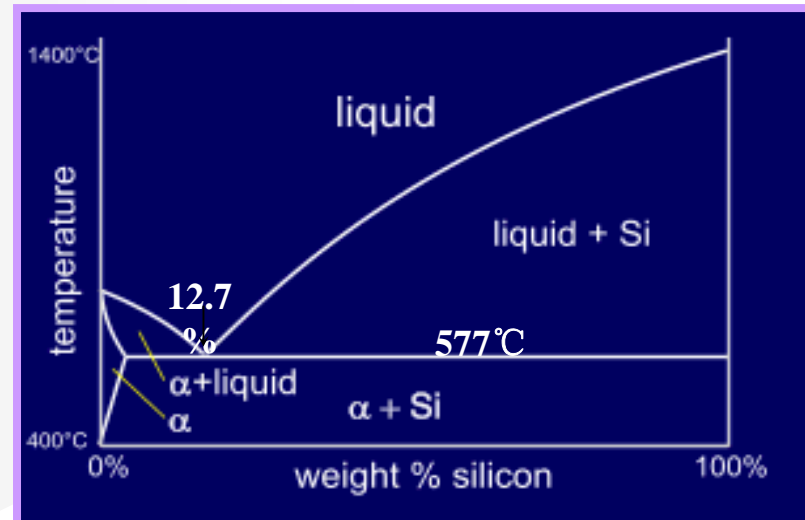
包括：

- ❖ Al-Si系： 代号为ZL1+两位数字顺序号
- ❖ Al-Cu系： 代号为ZL2+两位数字顺序号
- ❖ Al-Mg系： 代号为ZL3+两位数字顺序号
- ❖ Al-Zn系： 代号为ZL4+两位数字顺序号

(1) Al-Si系铸造铝合金

又称硅铝明。其中

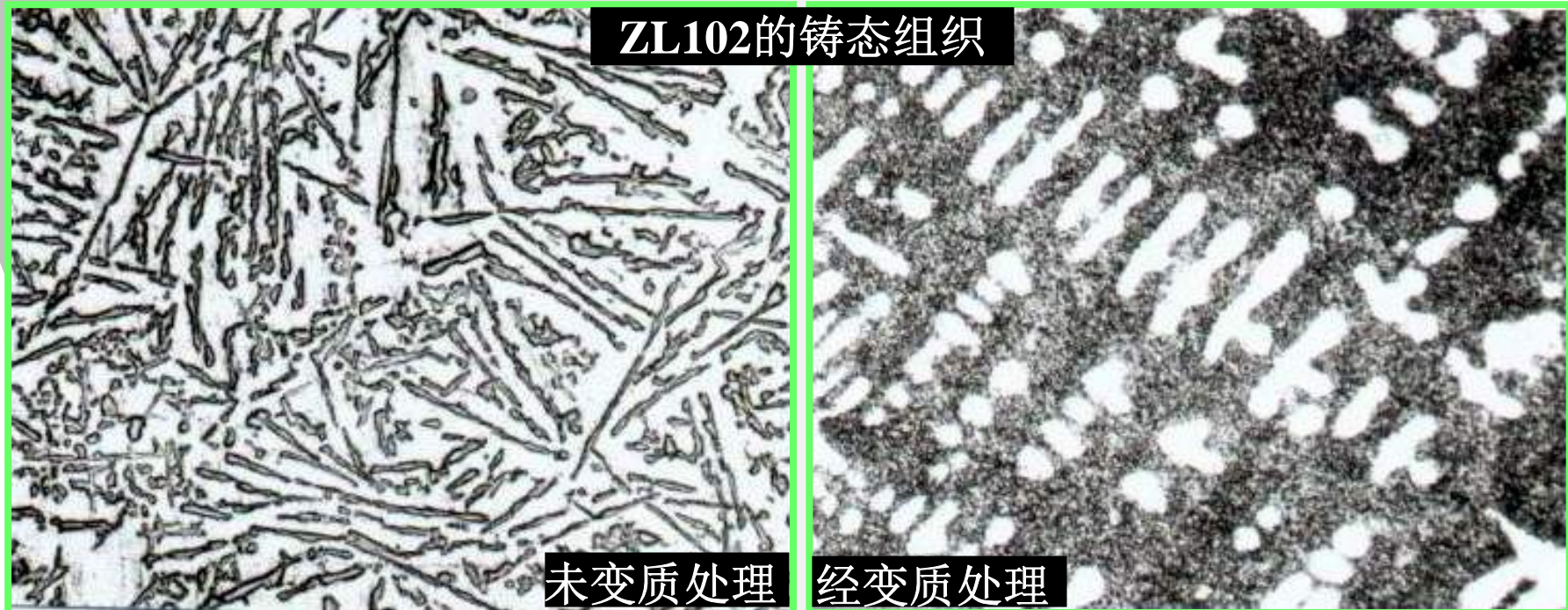
ZL102 (ZA1Si12) 是含12%Si的铝硅二元合金，称为简单硅铝明。





第一节 铝及铝合金

在普通铸造条件下，ZL102组织几乎全部为共晶体，由粗针状的硅晶体和 α 固溶体组成，强度和塑性都较差。生产上通常用钠盐变质剂进行变质处理，得到细小均匀的共晶体加一次 α 固溶体组织，以提高性能。



第一节 铝及铝合金

- ❖ 加入其他合金元素的铝硅铸造合金称复杂(或特殊)硅铝明。
- ❖ Al-Si系铸造铝合金的铸造性能好, 具有优良的耐蚀性、耐热性和焊接性能。



活塞(裙部为铝硅合金)



- 用于制造飞机、仪表、电动机壳体、汽缸体、风机叶片、发动机活塞等。

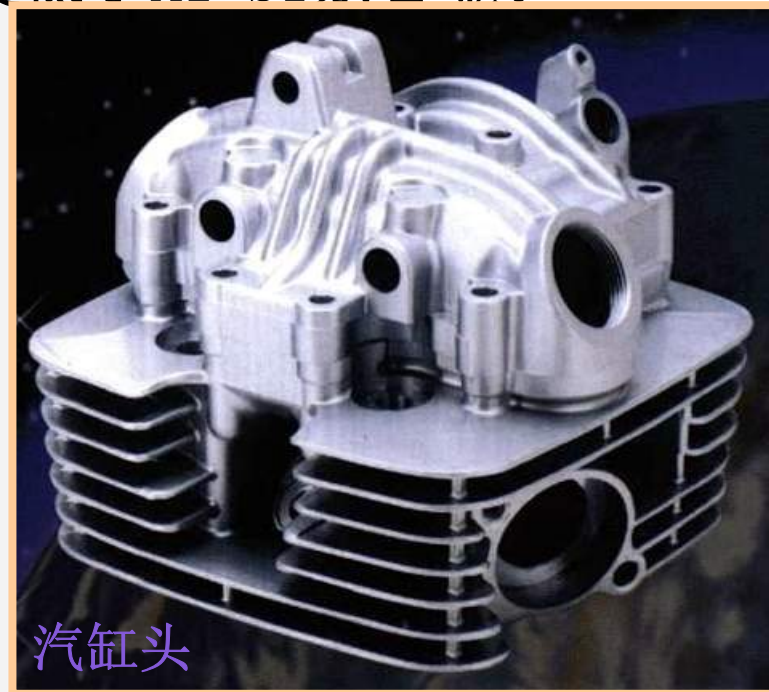


第一节 铝及铝合金

(2) Al-Cu系铸造铝合金

❖ 这类合金的耐热性好，强度较高；但密度大，铸造性能、耐蚀性能差，强度低于Al-Si系合金。

- 常用代号有ZL201 (ZA1Cu5Mn)、ZL203 (ZA1Cu4)等。主要用于制造在较高温度下工作的高强零件，如内燃机汽缸头、汽车活塞等。



汽缸头

第一节 铝及铝合金



(3) Al-Mg系铸造铝合金

❖ 这类合金的耐蚀性好，强度高，密度小；但铸造性能差，耐热性低。

鼓风机密封件等
(ZL102、301)



- 常用代号为ZL301 (ZA1Mg10)、 ZL303 (ZA1Mg5Si1)等.
- 主要用于制造外形简单、承受冲击载荷、在腐蚀性介质下工作的零件，如舰船配件、氨用泵体等。

第一节 铝及铝合金

(4) Al-Zn系铸造铝合金

❖ 这类合金的铸造性能好，强度较高，可自然时效强化；但密度大，耐蚀性较差。

- 常用代号为
ZL401 (ZA1Zn11Si7)、
ZL402 (ZA1Zn6Mg) 等。
- 主要用于制造形状复杂受力较小的汽车、飞机、仪器零件。





第二节 铜及铜合金

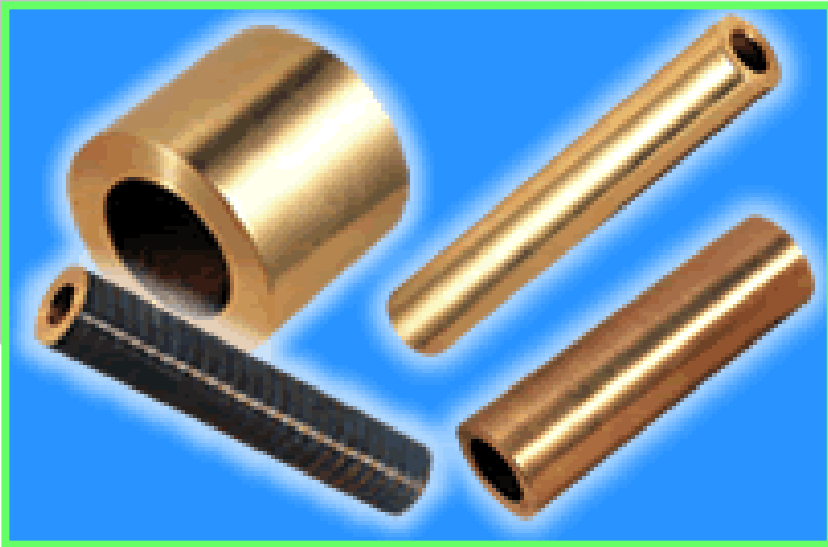
一、铜及铜合金性能特点

- ❖ 纯铜呈紫红色，故又称紫铜，具有面心立方晶格，无同素异构转变，无磁性。
- ❖ 纯铜具有优良的导电性和导热性，在大气、淡水和冷凝水中有良好的耐蚀性。塑性好。



第二节 铜及铜合金

- ❖ 铜合金常加元素为Zn、Sn、Al、Mn、Ni、Fe、Be、Ti、Zr、Cr等，既提高了强度，又保持了纯铜特性。
- ❖ 铜合金分为黄铜、青铜、白铜三大类。



铜与黄铜带

第二节 铜及铜合金

二、黄铜

- ❖ 以锌为主要合金元素的铜合金称为黄铜。
- ❖ 黄铜按化学成分可分为普通黄铜和特殊黄铜。
- ❖ 按工艺可分为加工黄铜和铸造黄铜。

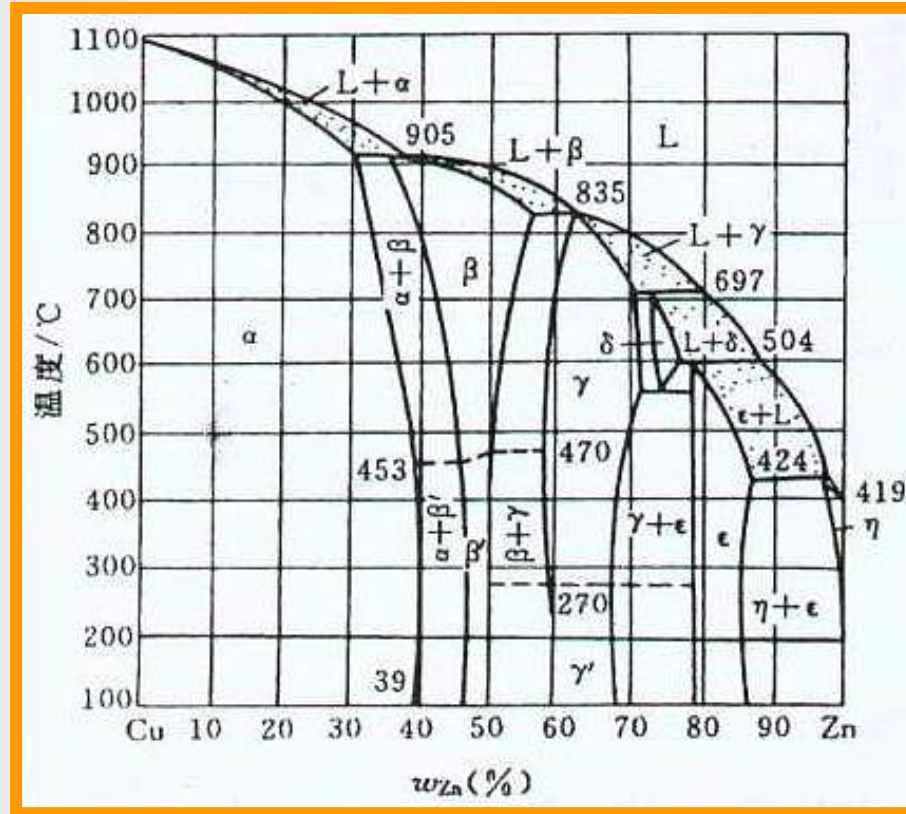




第二节 铜及铜合金

1、普通黄铜

- ❖ 铜与锌的二元合金称为普通黄铜。
- ❖ 加工普通黄铜的牌号为：H（黄）+ 表示铜平均百分含量的数字，如H68。



- 从铜锌合金相图可以看出黄铜有 α 和 $\alpha+\beta'$ 两种组织，分别称单相黄铜和两相黄铜。

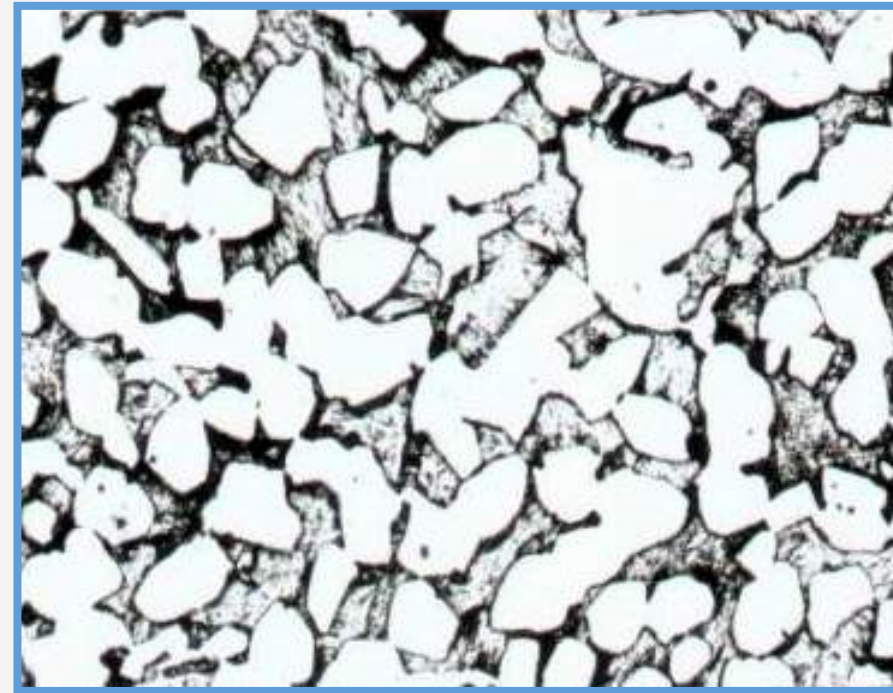


第二节 铜及铜合金

普通黄铜的显微组织



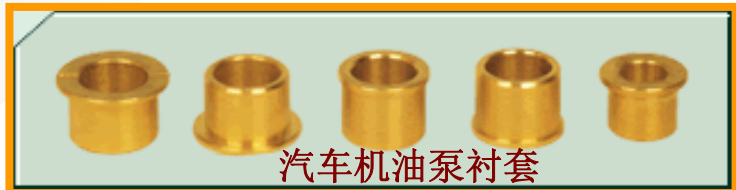
单相黄铜



两相黄铜

第二节 铜及铜合金

- ❖ 单相黄铜塑性好。
- ❖ 常用牌号有H80、H70、H68。
- ❖ 适于制造冷变形零件，如弹壳、冷凝器管等。
- ❖ 两相黄铜热塑性好，强度高。
- ❖ 常用牌号有H59、H62。
- ❖ 适于制造受力件，如垫圈、弹簧、导管、散热器等。



汽车机油泵衬套



第二节 铜及铜合金

2、特殊黄铜

- ❖ 在普通黄铜的基础上加入Al、Fe、Si、Mn、Pb、Sn、Ni等元素形成特殊黄铜。
- ❖ 加工特殊黄铜的牌号为：
- ❖ H(黄)+主加元素符号(Zn除外)+铜平均百分含量+主加元素平均百分含量，如HPb59-1.
- ❖ 特殊黄铜强度、耐蚀性比普通黄铜好，铸造性能改善。



黄铜制品



第二节 铜及铜合金

- ❖ 常用牌号有HPb63-3、HA160-1-1、HSn62-1、HFe59-1-1、ZCuZn38Mn2Pb2、ZCuZn16Si4等。
- ❖ 主要用于船舶及化工零件，如冷凝管、齿轮、螺旋桨、轴承、衬套及阀体等。



第二节 铜及铜合金

三、青铜

- ❖ 除黄铜和白铜外的其他铜合金统称为青铜。
- ❖ 加工青铜的牌号为：Q +主加元素符号及其平均百分含量+其他元素平均百分含量
- ❖ 如QSn4-3(含4%Sn、3%Zn)。
- ❖ 常用青铜有锡青铜、铝青铜、铍青铜、硅青铜、铅青铜等。

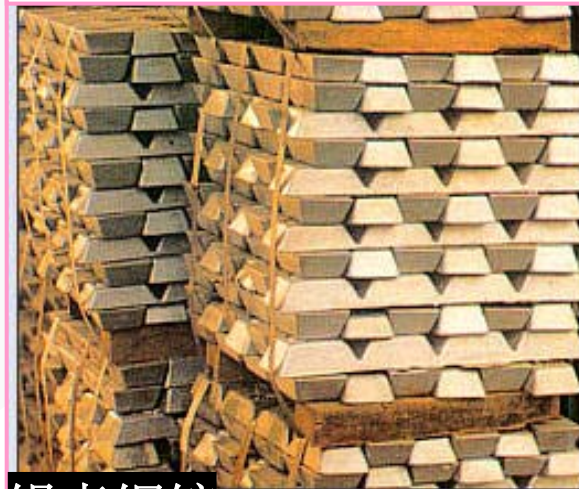
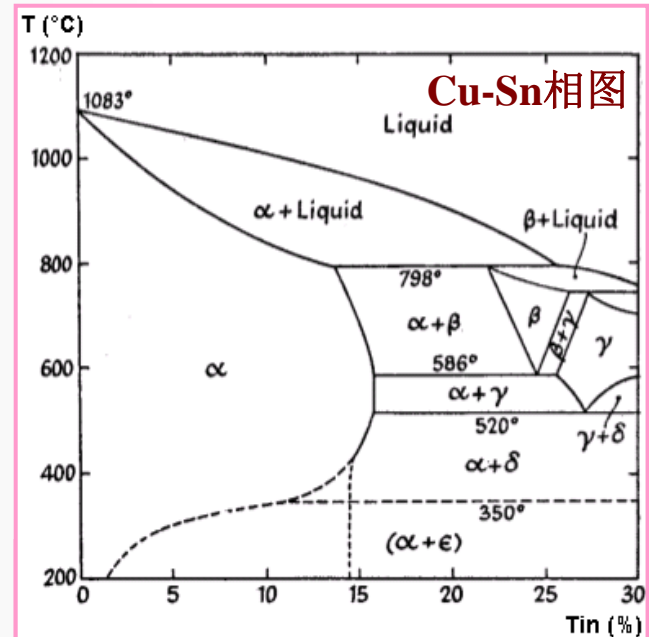
青铜制品



第二节 铜及铜合金

1、锡青铜

- ❖ 是以锡为主加元素的铜合金，锡含量一般为3-14%。
- ❖ 锡青铜铸造流动性差，铸件密度低，易渗漏，但体积收缩率在有色金属中最小。
- ❖ 锡青铜耐蚀性良好，在大气、海水及无机盐溶液中的耐蚀性比纯铜和黄铜好，但在硫酸、盐酸和氨水中的耐蚀性较差。



锡青铜锭

第二节 铜及铜合金

- ❖ 常用牌号有QSn4-3、QSn6.5-0.4、ZCuSn10Pb1等。



- 主要用于耐蚀承载件, 如弹簧、轴承、齿轮轴、蜗轮、垫圈等。

第二节 铜及铜合金

2、铝青铜

❖ 以铝为主加元素的铜合金，铝含量为5-11%。

❖ 强度、硬度、耐

磨性、耐热性及耐蚀性高于黄铜和锡青铜，铸造性能好，但焊接性能差。

● 常用牌号有QA15、QA17、ZCuAl8Mn13Fe3Ni2等。

● 主要用于制造船舶、飞机及仪器中的高强、耐磨、耐蚀件，如齿轮、轴承、蜗轮、轴套、螺旋桨等。

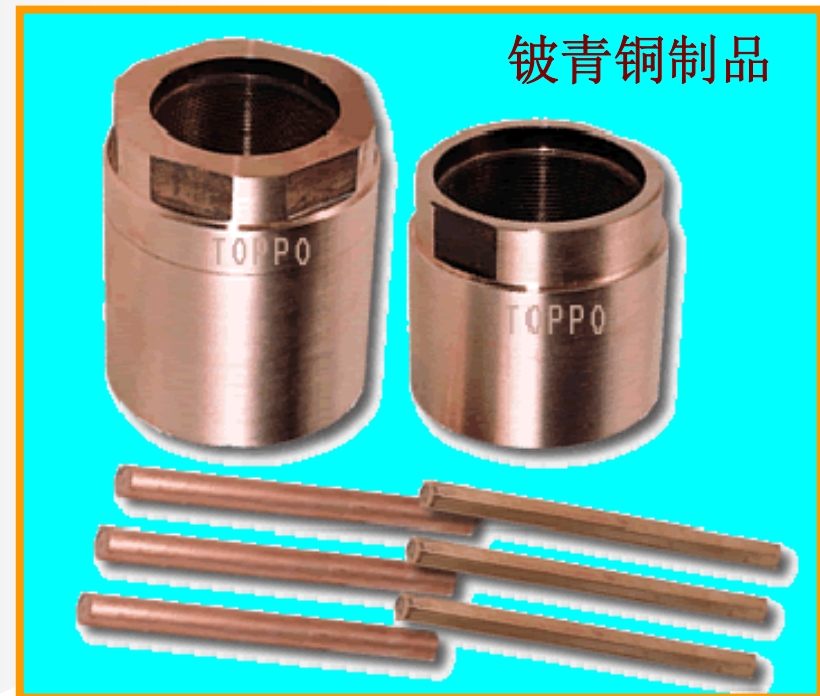


大型水力发电设备中的抗磨环

第二节 铜及铜合金

3、铍青铜

- ❖ 以铍为主加元素的铜合金，铍含量为1.7~2.5%。
- ❖ 具有高的强度、弹性极限、耐磨性、耐蚀性，良好的导电性、导热性、冷热加工及铸造性能，但价格较贵。
- 常用牌号有QBe2、QBe1.7、QBe1.9等。
- 用于重要的弹性件、耐磨件，如精密弹簧、膜片，高速、高压轴承及防爆工具、航海罗盘等重要机件。



第二节 铜及铜合金

四、白铜

- 以镍为主要合金元素的铜合金称白铜。分普通白铜和特殊白铜。
- ❖ 普通白铜是Cu-Ni二元合金，具有较高的耐蚀性和抗腐蚀疲劳性能及优良的冷热加工性能。
- ❖ 普通白铜牌号：B+镍的平均百分含量，如B5。
- ❖ 常用牌号有B5、B19等。用于在蒸汽和海水环境下工作的精密机械，仪表零件及冷凝器，蒸馏器，热交换器等。

白铜件



第二节 铜及铜合金

- ❖ 特殊白铜是在普通白铜基础上添加Zn、Mn、Al等元素形成的，分别称锌白铜、锰白铜、铝白铜等。
- ❖ 其耐蚀性、强度和塑性高，成本低。
- ❖ 常用牌号如BMn40-1.5(康铜)、BMn43-0.5(考铜)。
- ❖ 用于制造精密机械、仪表零件及医疗器械等。





第三节 钛及钛合金

一、工业纯钛

- ❖ 纯钛密度小，熔点高。
882.5℃发生同素异构转变
 $\beta\text{-Ti} \rightleftharpoons \alpha\text{-Ti}$ ，由体心立方 $\beta\text{-Ti}$ 转变为密排六方 $\alpha\text{-Ti}$ 。
- ❖ 纯钛比强度高，塑性、低温韧性和耐蚀性好。



美F-22战机约36%重量的零件用钛合金制造



第三节 钛及钛合金

❖ 纯钛主要用于 350°C 以下工作、强度要求不高的零件，如石油化工用热交换器、反应器，海水净化装置及舰船零部件。



钛钢复合反应

金



钛制蒸馏塔



钛管换热器

第三节 钛及钛合金

二、钛合金

纯钛加入合金元素形成钛合金。钛合金几乎都含有铝。

铝能提高钛合金的强度、比强度和再结晶温度。
按退火组织，钛合金可分为

为 α 型钛合金、 β 型钛合金和 $\alpha+\beta$ 型钛合金三类，

它们的牌号分别用TA、TB、TC加顺序号表示。如TA5、TB2、TC4等。其中TA0-TA3为工业纯钛。

钛合金泵



第三节 钛及钛合金

1、 α 型钛合金

- ❖ 主加元素为铝，还有锡、硼等。
- ❖ 不能热处理强化，通常在退火状态下使用，组织为单相 α 固溶体。
- ❖ 强度低于另两类钛合金，但高温强度、低温韧性及耐蚀性优越。

钛合金氢
泵诱导轮

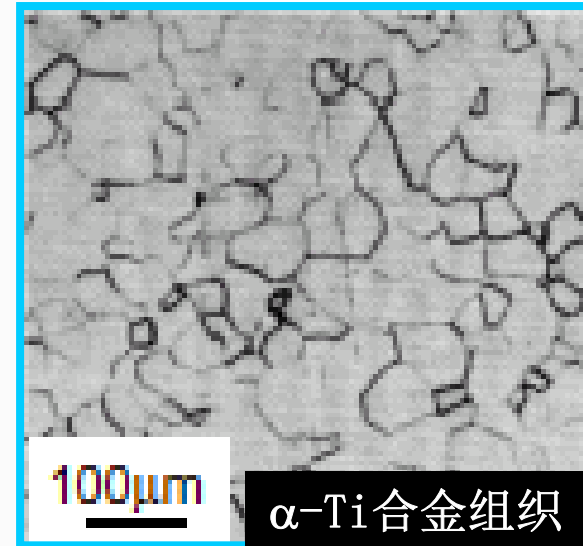


钛合金氢泵壳体



第三节 钛及钛合金

- ❖ 常用牌号有TA5、TA7等
- ❖ 主要用于制造500℃以下工作的零件，如飞机压气机叶片、导弹的燃料罐、超音速飞机的涡轮机匣及飞船上的高压低温容器等。



钛合金卫星框架



钛合金液下泵

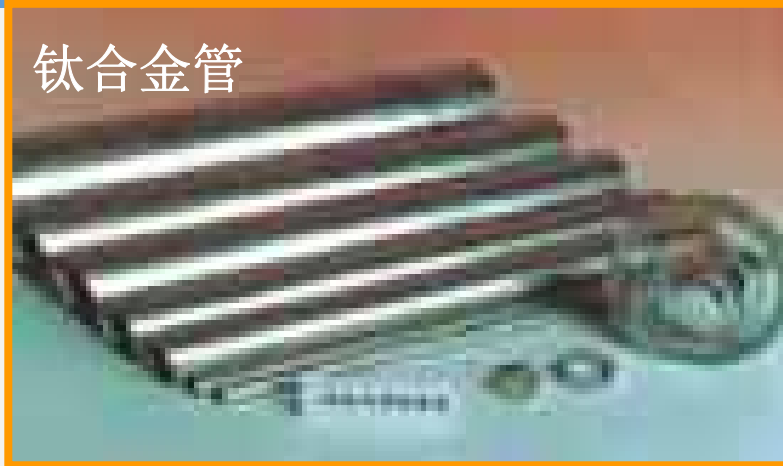


第三节 钛及钛合金

2、 β 型钛合金

- ❖ 加入的合金元素有钼、铬、钒、铝等。
- ❖ 经淬火加时效处理后，组织为 β 相基体上分布着细小的 α 相粒子。
- ❖ 这类合金强度高，但冶炼工艺复杂，难于焊接，应用受到限制。

钛合金管

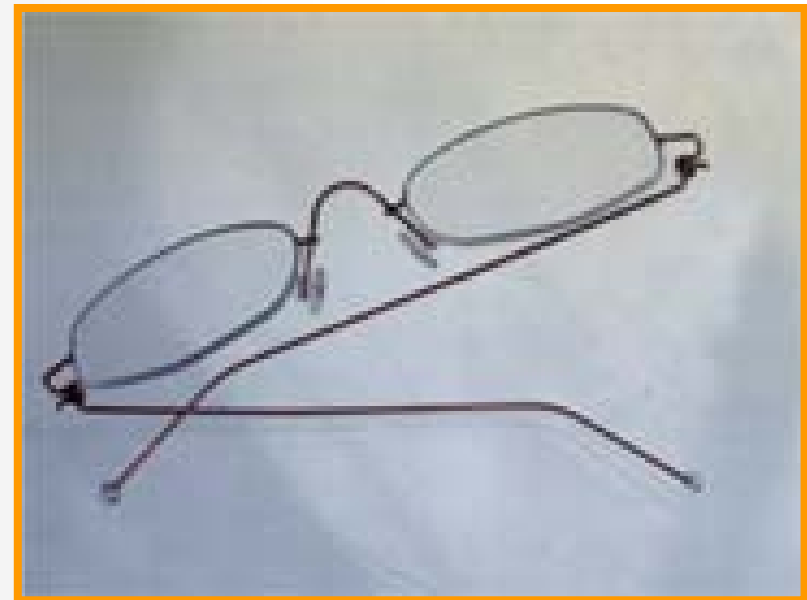
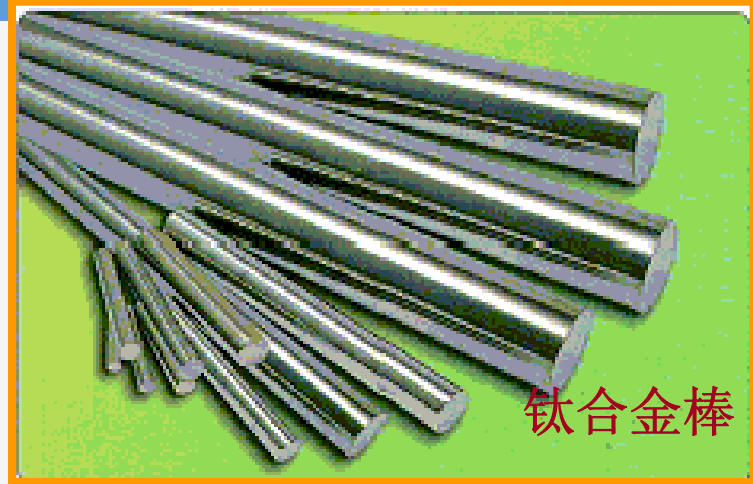


钛合金管应用



第三节 钛及钛合金

- ❖ β 型钛合金有TB2、TB3、TB4三个牌号。
- ❖ 主要用于350℃以下工作的结构件和紧固件,如飞机压气机叶片、轴、弹簧、轮盘等。





第三节 钛及钛合金

3、 $\alpha+\beta$ 型钛合金

- ❖ 加入的合金元素有铝、钒、钼、铬等。
- ❖ 可进行热处理强化，强度高，塑性好，具有良好的热强性、耐蚀性和低温韧性。

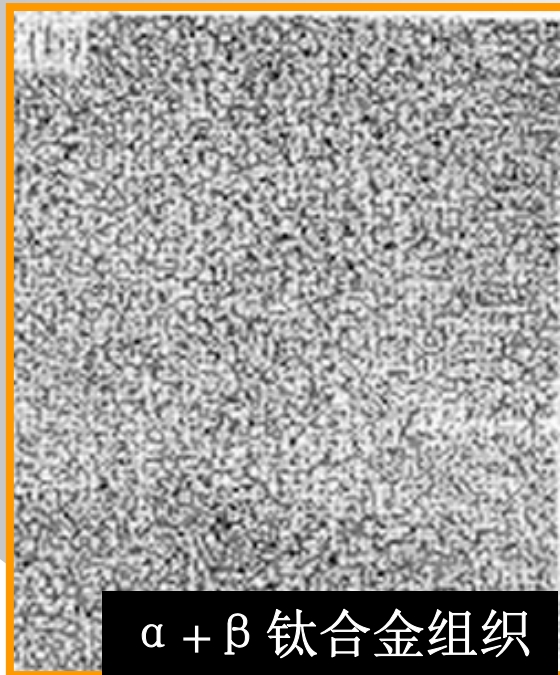
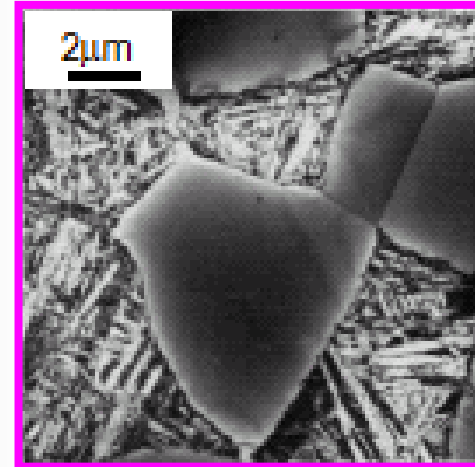


钛合金列管式换热器

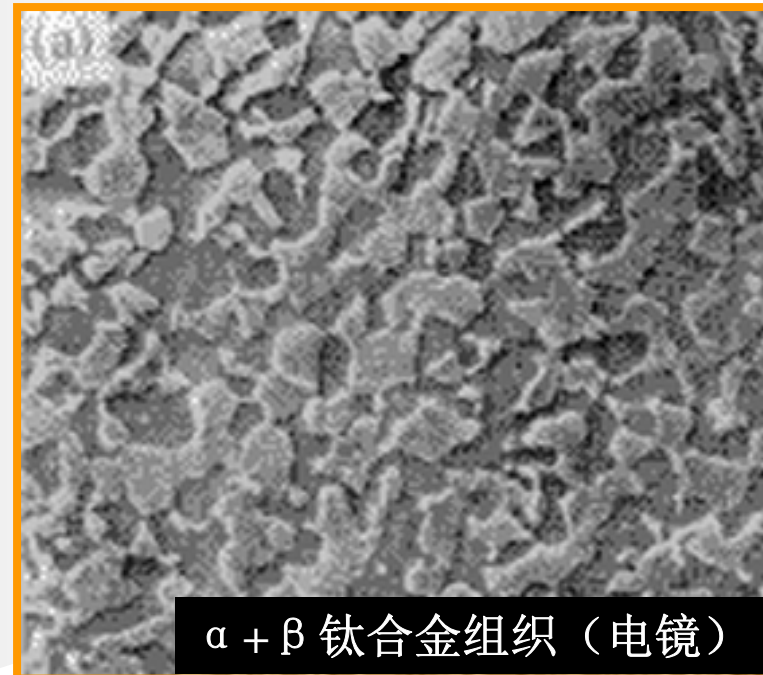


第三节 钛及钛合金

- ❖ $\alpha+\beta$ 型钛合金共有九个牌号，其中以TC4应用最广、用量最大，其经过淬火加时效处理后，组织为 $\alpha+\beta$ +时效析出的针状 α 。



$\alpha + \beta$ 钛合金组织

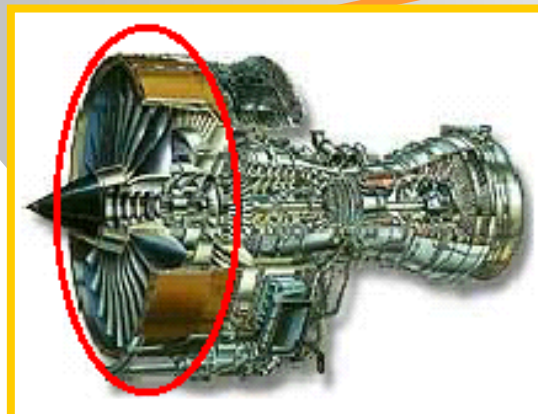
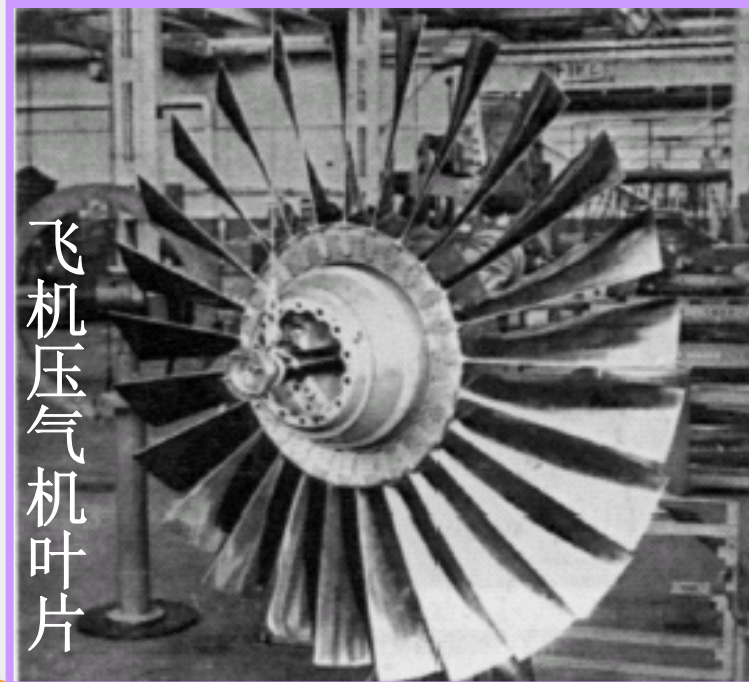


$\alpha + \beta$ 钛合金组织 (电镜)



第三节 钛及钛合金

$\alpha+\beta$ 型钛合金主要用于制造400℃以下工作的飞机压气机叶片、火箭发动机外壳、火箭和导弹的液氢燃料箱部件及舰船耐压壳体等。





第四节 轴承合金

制造滑动轴承的轴瓦及其内衬的耐磨合金称为轴承合金。滑动轴承是许多机器设备中对旋转轴起支撑作用的重要部件，由轴承体和轴瓦两部分组成。

与滚动轴承相比滑动轴承具有承载面积大，工作平稳，无噪音及拆装方便等优点。





第四节 轴承合金

一、组织性能要求

当轴高速旋转时，轴瓦与轴颈发生强烈摩擦，承受轴颈施加的交变载荷和冲击力。

对轴承合金的性能要求：

- ❖ (1) 足够的强韧性，以承受轴颈施加的交变冲击载荷。
- ❖ (2) 较小的热膨胀系数，良好的导热性和耐蚀性，以防止轴与轴瓦之间咬合。
- ❖ (3) 较小的摩擦系数，良好的耐磨性和磨合性，以减少轴颈磨损，保证轴与轴瓦良好的跑合。

第四节 轴承合金

为满足上述性能要求，轴承合金的组织应是软的基体上分布着硬的质点或硬的基体上分布着软的质点。

当轴旋转时，软的基体（或质点）被磨损而凹陷，减少了轴颈与轴瓦的接触面积，有利于储存润滑油

和轴与轴瓦间的磨合，而硬的质点（基体）则支撑着轴颈，起承载和耐磨作用。

软基体（或质点）还能起嵌藏外来硬杂质颗粒的作用，以避免擦伤轴颈。



第四节 轴承合金

二、常用轴承合金

工业上常用的是锡基、铅基轴承合金，又称巴氏合金。

1、锡基轴承合金

是以锡为主并加入少量锑、铜等元素组成的合金，熔点较低，是软基体硬质点组织类型的轴承合金。

典型牌号为ZSnSb11Cu6。

(其组织为 α 基体+白亮块状SnSb+星状 Cu_3Sn)



ZSnSb11Cu6合金的显微组织

第四节 轴承合金

锡基轴承合金具有较高的耐磨性、导热性、耐蚀性和嵌藏性，摩擦系数和热膨胀系数小，但疲劳强度较低，工作温度不超过 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，价格高。



巴氏合金轴瓦

广泛用于重型动力机械，如气轮机、涡轮机和内燃机等大型机器的高速轴瓦。

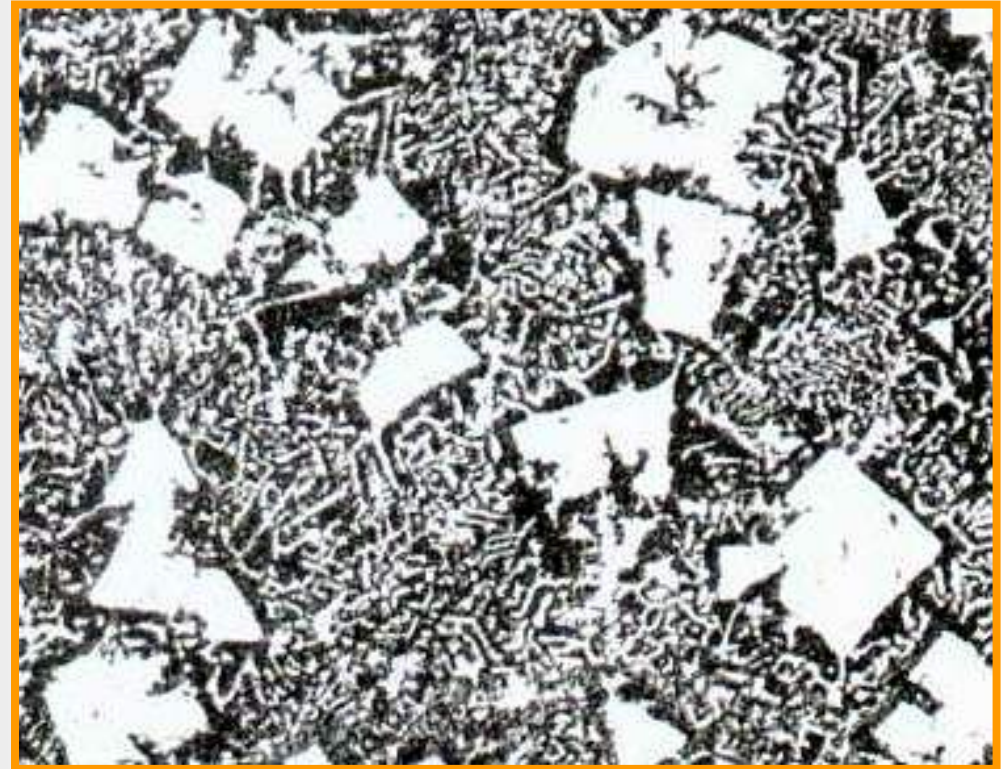
第四节 轴承合金

2、铅基轴承合金

是以铅为主加入少量锑、锡、铜等元素的合金，也是软基体硬质点型轴承合金。

典型牌号为

ZPbSb16Sn16Cu2。



ZPbSb16Sn16Cu2合金的显微组织
[$(\alpha+\beta)$ 共晶基体+方块状SnSb+针状
 Cu_3Sn]



第四节 轴承合金

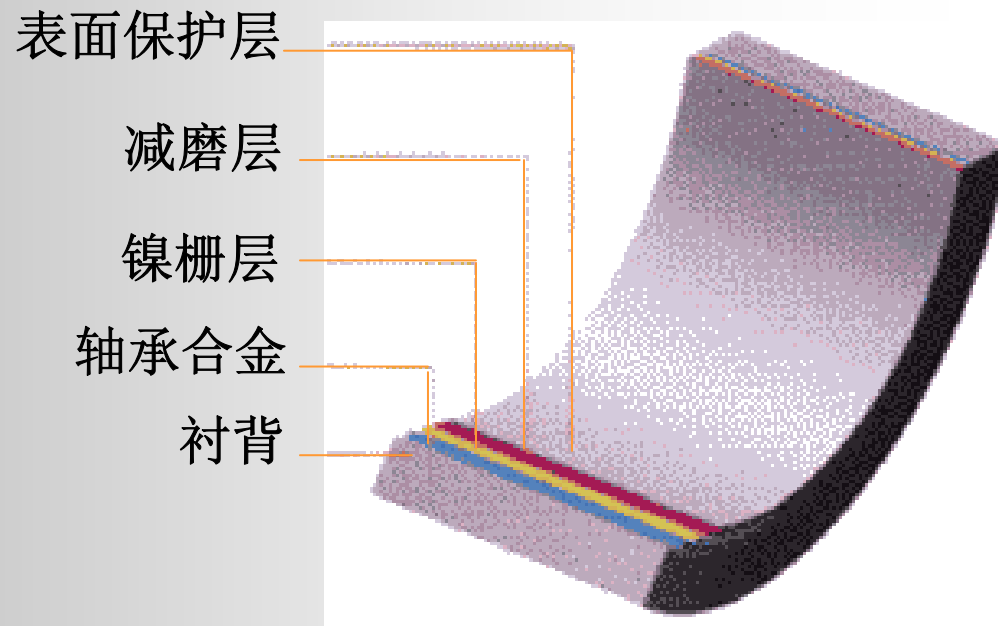
- 常用于低速、低载条件下工作的设备,如汽车、拖拉机曲轴的轴承等。



内燃机轴瓦

第四节 轴承合金

铅基轴承合金的强度、硬度、耐蚀性和导热性都不如锡基轴承合金，但其成本低，高温强度好，有自润滑性。





第五节 硬质合金和粉末冶金

一、粉末冶金的特点与工艺

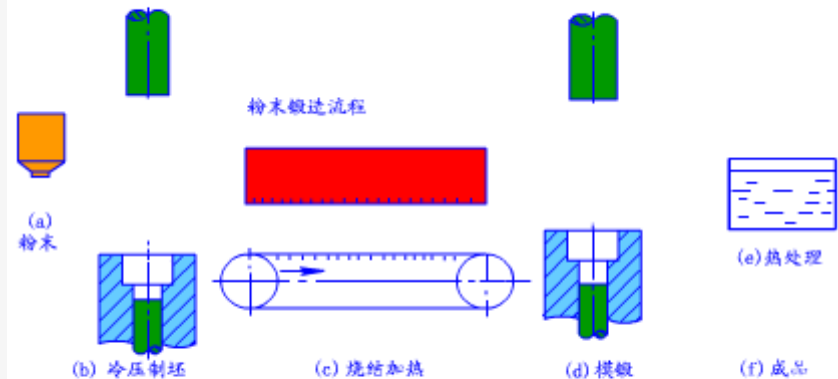
1、粉末冶金的特点

粉末冶金与一般的熔炼铸造相比，有以下特点：

- 1) 能生产具有特殊性能的材料和制品。
- 2) 无切屑或少切屑的精密加工。

但金属粉末成本高、模具费用高、制品大小和形状受到一定限制、制品的韧性和强度较差。

2、粉末冶金工艺简介





第五节 硬质合金和粉末冶金



二、粉末冶金材料简介

含油轴承材料

摩擦材料

铁基结构材料

以碳钢或合金钢粉末为主要成分，用粉末冶金法制作结构零件用的材料。

具有精度较高、表面质量好，省工时、省材料、生产率高，制品多孔可浸润滑油，减摩、减振、消声。

广泛用于制作各类零件。



第五节 硬质合金和粉末冶金



常见的粉末冶金材料





第五节 硬质合金和粉末冶金



三、硬质合金的性能特点

1) 硬度高、耐磨性好、热硬性好

常温下的硬度可达到86~93HRA，在900~1000℃的温度下，仍可保持60HRC的高硬度。可切削50HRC左右的硬质材料。

2) 抗压强度和弹性模量高

常温下的抗压强度可达6000MPa，900℃时可达1000MPa。弹性模量高，是高速工具钢的2~3倍。



第五节 硬质合金和粉末冶金



粉末冶金的特点





第五节 硬质合金和粉末冶金



四、常用的硬质合金

1、常用硬质合金的分类与牌号

(1) 钨钴类硬质合金

主要成分是碳化钨 (WC) 和粘结剂钴 (Co)。
牌号用“YG+数字”表示，例：YG15。

(2) 钨钛钴类硬质合金

主要成分是碳化钨、碳化钛 (TiC) 和粘结剂钴。
牌号用“YT+数字”表示，例：YT15表示。

(3) 通用硬质合金

主要成分是碳化钨、碳化钛、碳化钽 (或碳化铌) 和粘结剂钴。
牌号用“YW+数字”表示，例：YW1。



第五节 硬质合金和粉末冶金



2、常用硬质合金的化学成分、性能与应用

(1) 钨钴类硬质合金

碳化钨的含量越高，粘结剂钴的含量越低，则合金的硬度、耐磨性、红硬性越高，抗弯强度和韧性越低。适宜于加工脆性材料（如铸铁等）。

(2) 钨钛钴类硬质合金

由于碳化钛的加入，提高了硬度、耐磨性和热硬性，但抗弯强度和韧性有所下降。同时，在合金表面形成一层氧化钛薄膜，切削时不易粘刀。适于加工韧性材料（如钢等）。

(3) 通用硬质合金

因含碳化钽（或碳化铌），有利于提高抗弯强度、硬度、耐磨性、耐热性和抗氧化能力。可用来加工铸铁和各种钢材。



第五节 硬质合金和粉末冶金



(4) 钢结硬质合金

性能介于高速钢和硬质合金之间，并可进行锻造、热处理、焊接。适用于制造各种形状复杂的整体刀具、模具和耐磨零件。

(5) 常用硬质合金的应用

- (1) 切削加工用硬质合金。
- (2) 模具用硬质合金。
- (3) 硬质合金量具。
- (4) 耐磨零件用硬质合金。
- (5) 矿山用硬质合金。