

第九章 有色金属及其合金

- ✧ 第一节 铝及其合金
- ✧ 第二节 铜及其合金
- ✧ 第三节 轴承合金

第九章 有色金属及合金

黑色金属： 钢及铸铁

有色金属： 非铁金属及合金，如Al、Cu、Mg、
Ti、Pb、Sn、Zn等金属及其合金

主要内容

- 1、铝及其合金
- 2、铜及其合金
- 3、滑动轴承合金



广州丰田发动机



第一节 铝及其合金

一、纯 铝

特点:

- 面心立方晶格，无同素异构转变
- 性能：质轻、导电、导热、抗蚀
且塑性高、强度低

用途：导线、器具，配制高强度合金
制作某些构件。

强化方法：

- 1、形变强化：利用加工硬化，提高幅度有限
- 2、合金化：加Si、Mg、Cu、Mn等合金化，有效方法，工业生产常用



铝导线、钢芯铝导线



第一节 铝及其合金

二、铝合金分类及热处理

1. 铝合金分类

(1) 形变铝合金

热处理不可强化

热处理可强化

(2) 铸造铝合金

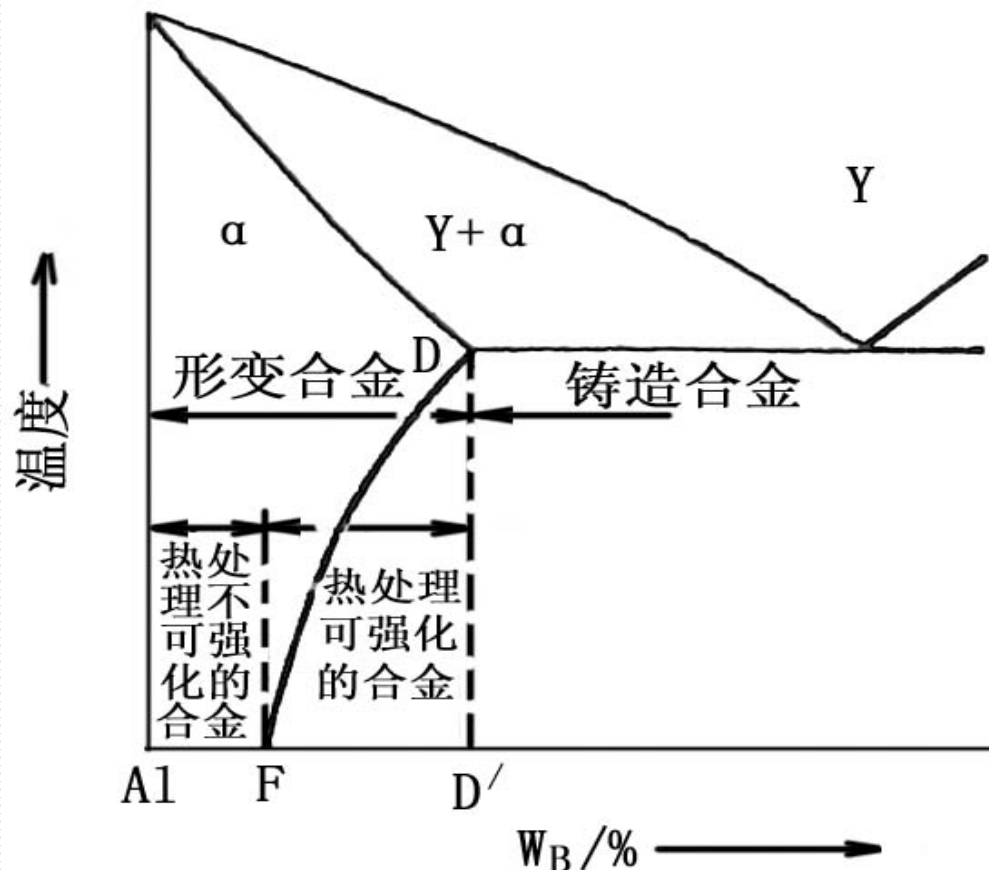


图 9-1 铝合金相图的一般类型



第一节 铝及其合金

2. 铝合金的热处理——时效强化（以Al-4%Cu为例）

(1) 固溶处理——淬火

$T_{\text{加热}} > \text{固溶度曲线的某一温度 (如 } 550^{\circ}\text{C)}$



∴ 固溶强化,

∴ σ_b 高一些, 但仍较低。

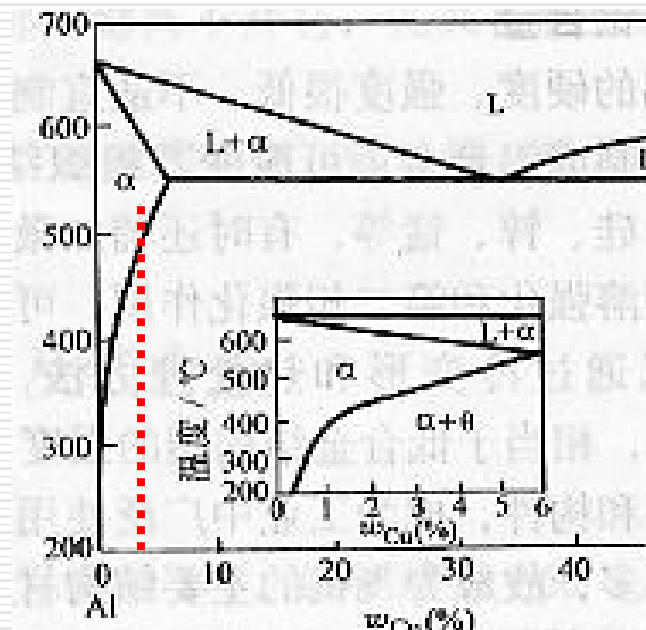
(2) 时效处理

是 α 过饱和 分解与强化相析出的过程（分四个阶段），使 $\sigma_b \uparrow$

——时效强化。

自然时效：室温长期放置

人工时效：把 α 过饱和 适当加热



第一节 铝及其合金

3. 形变铝合金

(1) 不能热处理强化的形变铝合金

种类：Al-Mn系和Al-Mg系合金

特点：抗腐蚀性能好， 又称防锈铝合金。

良好的塑性和焊接性

用途：适宜制造需要深冲、焊接和在腐蚀介质中工作的零件。

牌号：“LF”+数字

常见牌号：LF21： Al-Mn系

LF2： Al-Mg系



第一节 铝及其合金

(2) 能热处理强化的形变铝合金

主要合金系：① Al-Cu-Mg系合金（硬铝）

② Al-Zn-Mg-Cu系合金（超硬铝）

③ Al-Mg-Si-Cu系合金（锻铝）

① 硬铝：牌号“LY”，如“LY12”

特点：

- 强度和硬度高，可到400MPa，故称为硬铝，工业上广泛使用。
- 可热处理强化：固溶处理+时效处理
- 包铝：提高其耐蚀能力



第一节 铝及其合金

硬铝的应用:



铝合金型材料



铝合金装饰条



铝合金散热器



铝合金汽车车身



第一节 铝及其合金

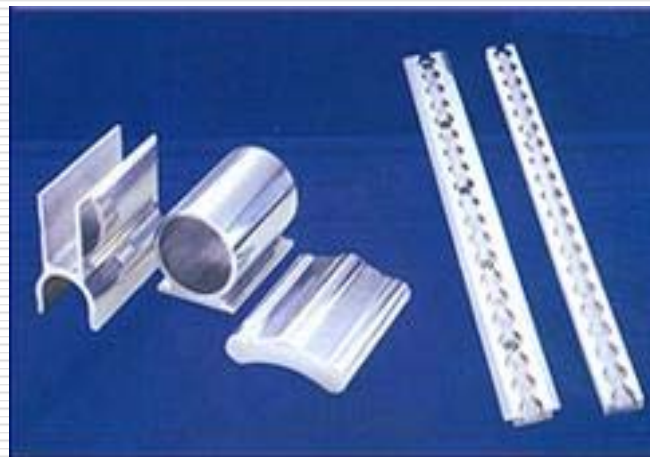
② 超硬铝：Al-Zn-Mg-Cu系，牌号“**LC**”，如“**LC4**”

特点：强度更高，可达到600MPa，航空结构件。

抗蚀性较差，高温下软化快。用包铝法可提高抗蚀性。



飞机前起落架



飞机用座椅轨道及航空零件



第一节 铝及其合金

③ 锻铝：Al-Mg-Si-Cu系

牌号：“LD”，如“LD10”

特点：具有良好的热塑性，强度也较高。

适于生产各种锻件或模锻件，故称锻造铝合金。





第一节 铝及其合金

4. 铸造铝合金

(1) 牌号

“ZL”+三位数字

“ZL”表示“铸铝”

三位数字：第一位代表合金类别，
后两位是顺序号。

例如：

1: Al-Si系, ZL102、ZL109

2: Al-Cu系, ZL201

3: Al-Mg系, ZL301

4: Al-Zn系, ZL401



其中Al-Si系是应用最为广泛的铸造铝合金（硅铝明）



铸造铝合金

(2) 铸造Al-Si合金（简称硅铝明）

特点：

良好的铸造性能

良好的抗蚀性能

良好的力学性能

常用来制造内燃机活塞、

汽缸体、风扇叶片等



铝合金发动机缸体和缸盖

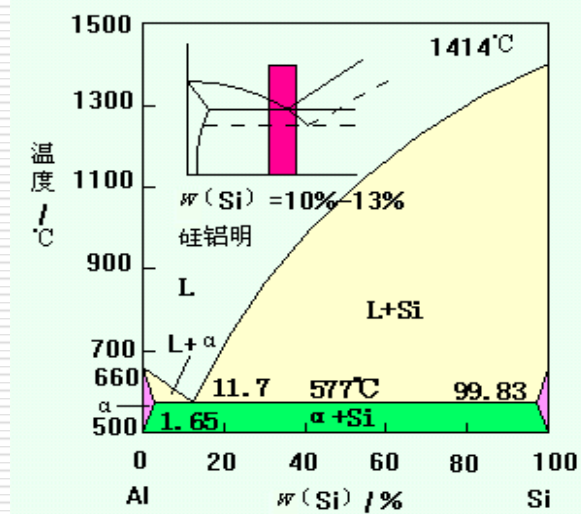


第一节 铝及其合金

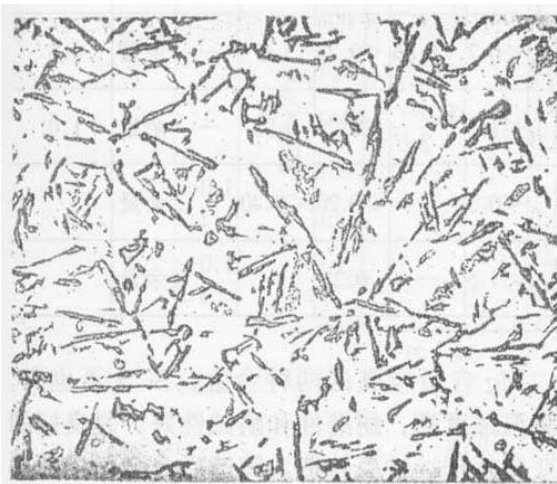
铸造Al-Si合金的变质处理:

目的: 粗大针状Si相变为条状或细粒状

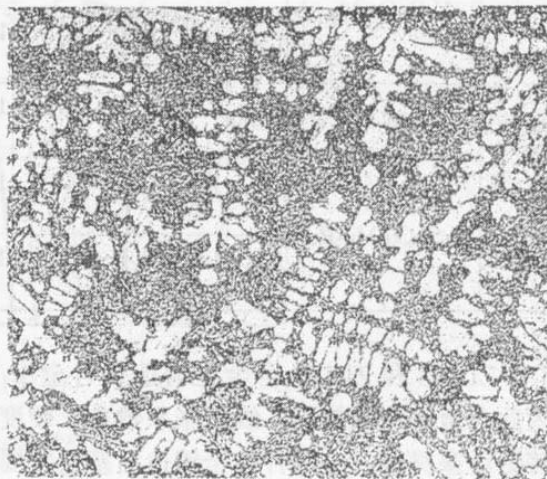
处理方法: 钠盐变质剂 ($2/3 \text{ NaF} + 1/3 \text{ NaCl}$)



Al-Si合金相图



(a) 未经变质处理



(b) 经过变质处理

图 9-3 ZL102 合金的铸态组织





第二节 铜及其合金

一、纯铜(紫铜)

特点： 1、面心立方晶格，无同素异构转变
2、塑性高、强度低， $\delta \rightarrow 50\%$ ， $\sigma_b \rightarrow 240\text{MPa}$
3、导电和导热性好，抗腐蚀

用途： 电机、电器和机械制造等部门
(如导线、电气开关、垫片等)

强化方法：

合金化：加Zn、Sn、Ni、Al、Si、Pb等元素。

铜合金分类：

- ① 黄铜：Cu-Zn合金—普通制造业
- ② 青铜：含Sn或Al、Si、Pb等元素的合金—普通制造业
- ③ 白铜：Cu-Ni合金—精密机械、仪表等行业



第二节 铜及其合金

二、黄铜

1、普通黄铜：

——Cu-Zn合金

常见相：

α ：Zn在Cu中的固溶体

β ：电子化合物Cu-Zn为基的固溶体

牌号：

“H”+数字(平均含Cu量)

Zn%<39%:

α 黄铜(单相)

39%<Zn%<45%:

$\alpha+\beta$ 黄铜(双相)

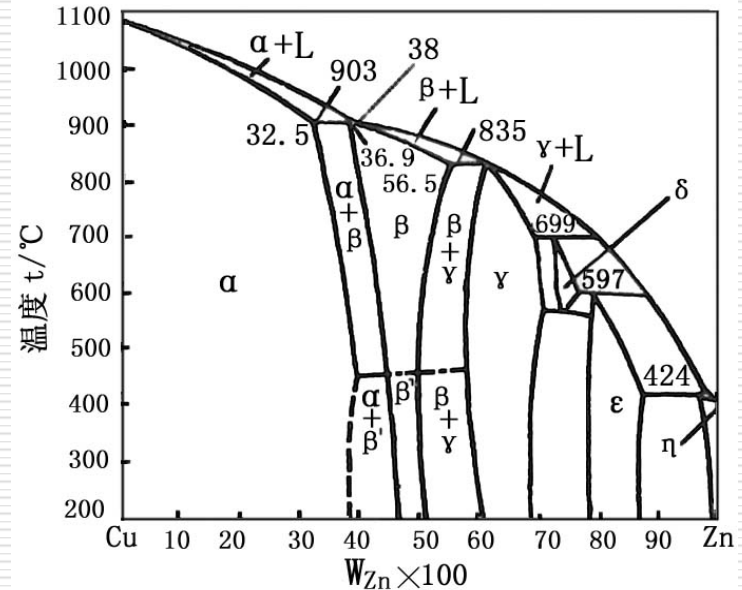


图 9-4 Cu-Zn 合金相图



黄铜制品



第二节 铜及其合金

(1) 单相黄铜 (α)

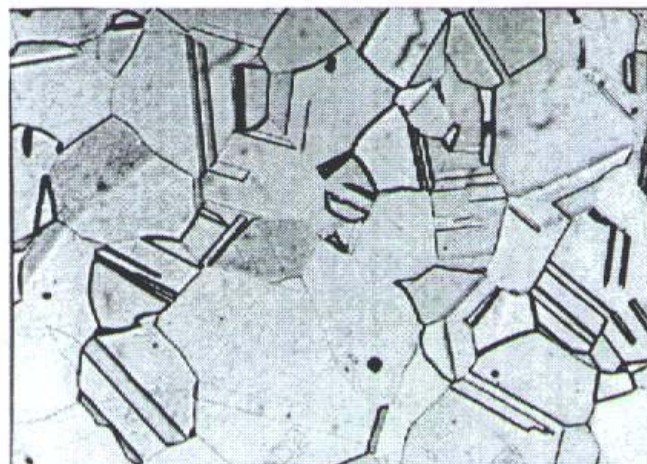
常见牌号：H80、H68、H70（弹壳黄铜）

特 点：塑性很好，可进行冷、热加工

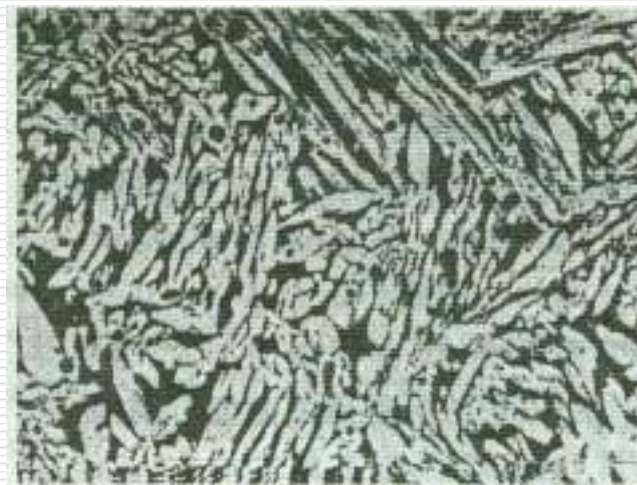
(2) 双相黄铜 ($\alpha+\beta$)

常见牌号：H59、H62

特 点：仅适合于热加工



单相 α 黄铜显微组织



铸态 $\alpha+\beta'$ 双相黄铜显微组织



第二节 铜及其合金

2、特殊黄铜

对Cu-Zn合金进一步合金化，如添加Al、Fe、Si、Mn、Pb、Ni等元素。按添加第二主加元素不同可分为：铝黄铜、铁黄铜、硅黄铜、锰黄铜、铅黄铜、镍黄铜。

特点：具有更高的强度、硬度、抗腐蚀性和良好的铸造性能

牌号：“H”+添加元素符号+平均成分

如：H**Sn90—1**表示平均成分为**90%Cu、1% Sn**，余为锌的锡黄铜



第二节 铜及其合金

三、青铜

锡 青 铜: **Cu-Sn**合金——人类历史上应用最早的合金

无锡青铜: **Cu-Al** (铝青铜)、
Cu-Be (铍青铜) 等

又称为**特殊青铜**

牌 号: “Q”+主加元素符号+主加元素
平均含量 (或+其他元素平
均含量)

如**QSn4-3**: 4%Sn、3%Zn, 其余为Cu

QAl9-4: 9%Al、4%Fe, 其余为Cu

QBe1.9: 1.9%Be, 其余为Cu



第二节 铜及其合金

表 9-5 各种青铜的牌号、成分、性能和主要用途

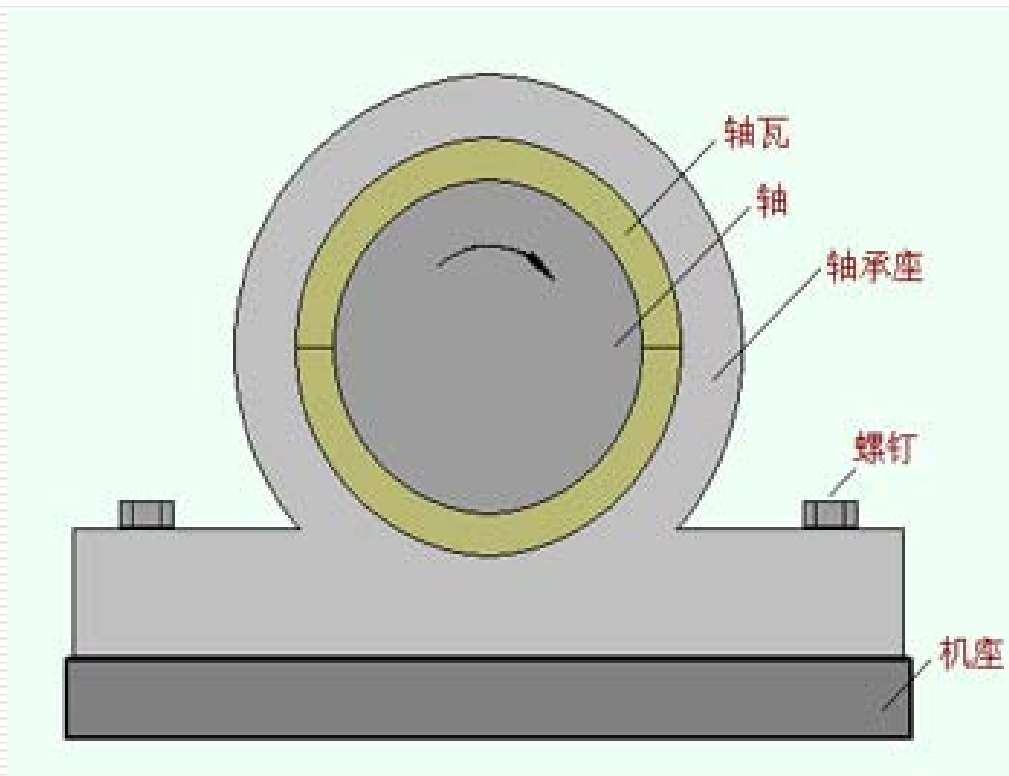
类别	牌 号	化 学 成 分 (%)		状 态	机械性能			用 途
		主加元素	其 它		σ_s (MPa)	δ (%)	HBS	
锡 青 铜	QSn4-3	Sn: 3.5~4.5	Zn: 2.7~3.7 Cu: 其余	T L	350 550	40 4	60 160	制作弹性元件、化工设备的耐蚀零件、抗磁零件、造纸工业用刮刀
	QSn7-0.2	Sn: 6.0~8.0	P: 0.10~0.25 Cu: 其余	T L	360 500	64 15	75 180	制作中等负荷、中等滑动速度下承受摩擦的零件,如抗磨垫圈、轴套、蜗轮等
	ZCuSn5Pb5Zn5	Sn: 4.0~6.0	Zn: 4.0~6.0 Pb: 4.0~6.0 Cu: 其余	S J	180 200	8 10	59 64	在较高负荷、中等滑速下工作的耐磨、耐蚀零件,如轴瓦、衬套、离合器等
	ZCuSn10P1	Sn: 9.0~11.0	P: 0.5~1.0 Cu: 其余	S J	220 250	3 5	79 89	用于高负荷和高滑速下工作的耐磨零件,如轴瓦等
铅 青 铜	ZCuPb30	Pb: 27.0~33.0	Cu: 其余	J			25	要求高滑速的双金属轴瓦减摩零件
	ZCuPb15Sn8	Sn: 7.0~9.0 Pb: 13.0~17.0	Cu: 其余	S J	170 200	5 6	59 64	制造冷轧机的铜冷却管、冷冲击的双金属轴承等
铝 青 铜	ZCuAl9Mn2	Al: 8.5~10.0 Mn: 1.5~2.5	Cu: 其余	S J	390 440	20 20	83 93	耐磨、耐蚀零件,形状简单的大型铸件和要求气密性高的铸件
	ZCuAl9Fe4Ni4Mn2	Ni: 4.0~5.0 Al: 8.5~10.0 Fe: 4.0~5.0	Mn: 0.8~2.5 Cu: 其余	S	630	16	157	要求强度高、耐蚀性好的重要铸件,可用于制造轴承、齿轮、蜗轮、阀体等
铍 青 铜	QBe2	Be: 1.9~2.2	Ni: 0.2~0.5 Cu: 其余	T L	500 850	40 4	90 250	重要的弹簧和弹性元件,耐磨零件以及在高速、高压和高温下工作的轴承

表中符号的意义: T—退火状态; L—冷变形状态; S—砂型铸造; J—金属型铸造。

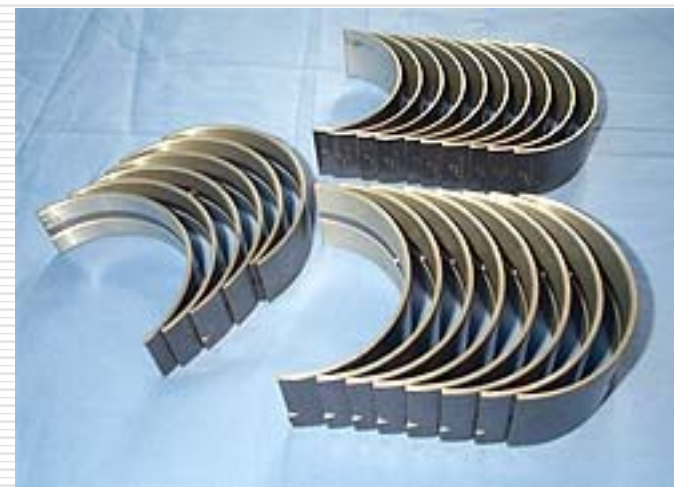


第三节 轴承合金

——滑动轴承，非钢铁材料



滑动轴承的结构



轴瓦



轴套



第三节 轴承合金

一、轴承合金的性能及组织要求

工作条件：支撑轴高速旋转，强烈摩擦，承受周期性载荷

性能要求：

- ① 良好的减摩性： 摩擦系数 \downarrow ， 磨合性能 \uparrow
- ② 足够的力学性能： 抗压强度、 疲劳强度 \uparrow

组织要求：

- ① 软基体+硬质点

锡基和铅基轴承合金(巴氏合金)

- ② 硬基体+软质点

铜基和铝基轴承合金、灰铸铁

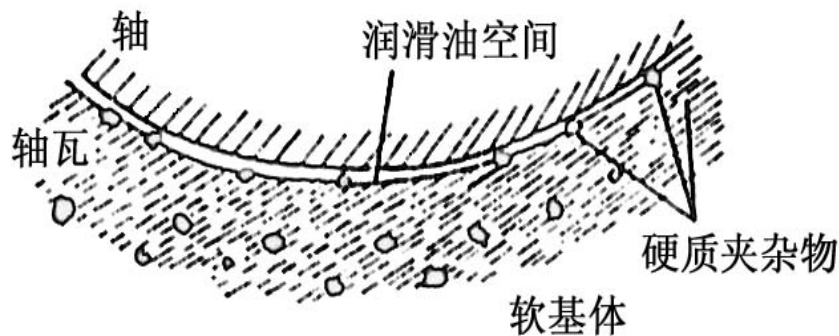


图 9-9 轴承合金组织示意



第三节 轴承合金

二、常用轴承合金

1、锡基和铅基轴承合金（巴氏合金）

牌 号：

ZCH+基体与主加元素符号+主加元素与辅加元素含量(%)

如：ZCHSnSb8-4：8%Sb、4%Cu

ZCHPbSb16-16-2：8%Sb、16%Sn、2%Cu

特 点：

强度低，不能承受大的压力，
与钢做成“双金属轴承”，又称
为“挂衬”工艺

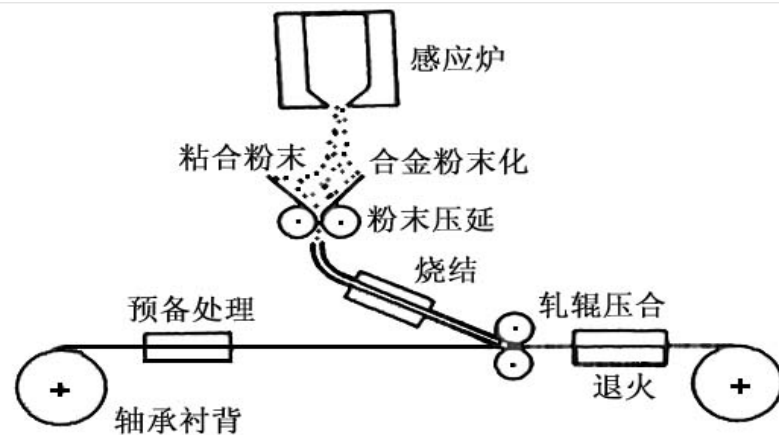


图 9-12 粉末烧结法生产轴承材料示意图(挂衬)



第三节 轴承合金

(1) 锡基轴承合金

组织特点：软基体+硬质点

性能特点：

减摩性↑、抗腐蚀性↑

疲劳强度↓、工作温度↓

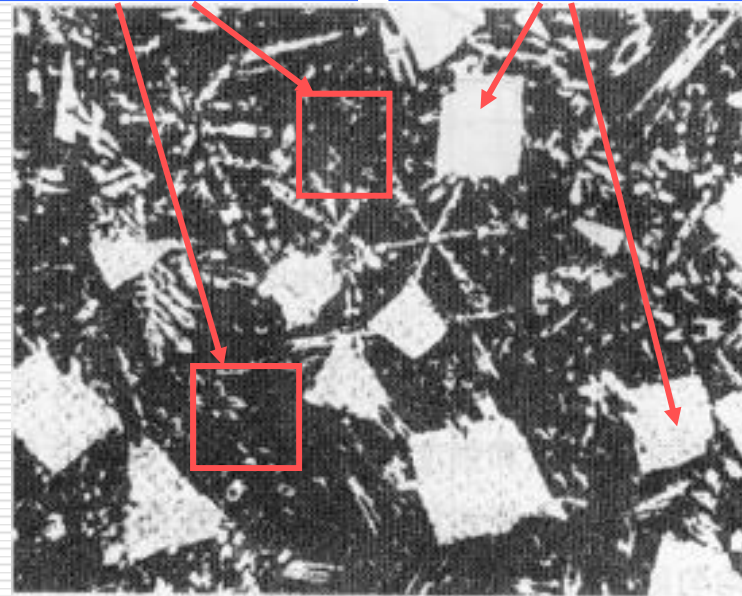
价格昂贵(Sn短缺)

用 途：

重要轴承：重型机器的高速轴承

α 固溶体(HB30)

β 固溶体(HB110)



ZCHSnSb11-6轴承合金的显微组织



第三节 轴承合金

(2) 铅基轴承合金

组织特点:

性能特点:

摩擦系数 \uparrow 、疲劳强度 \downarrow

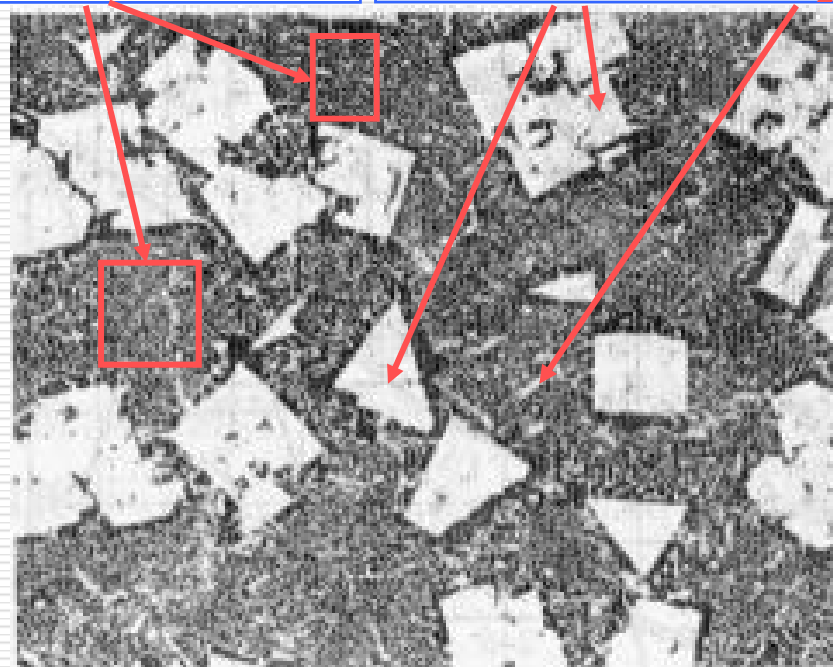
价格便宜

用 途:

中低载荷下的中速轴承

$(\alpha+\beta)$ 共晶体(HB8)

β 相(HB30)及 Cu_2Sb



ZChPbSb16-16-2轴承合金的显微组织



第三节 轴承合金

2、铜基轴承合金

➤ **ZQSn10-1 (锡青铜): 10%Sn、1%Pb**

特点：强度高，适于高速、重载荷的柴油机轴承。

可以直接做成轴承，无需“挂衬”

➤ **ZQPb30 (铅青铜): 30%Pb**

特点：疲劳强度高，摩擦系数低，工作温度高，适于高负荷、高速重要轴承，需“挂衬”



第三节 轴承合金

3、铝基轴承合金

——新型减摩材料，密度小，导热性好，疲劳强度高且价格低廉。将逐渐代替锡基、铅基和铜基轴承合金，因而可大量节约工业用铜。（硬基体+软质点）

(1) Al-Sn 轴承合金：Al-20%Sn-1%Cu

特点：疲劳强度↑，耐磨性、耐热性、耐蚀性↑

适于高速、重载的发动机轴承（如高速汽车、拖拉机的柴油机轴承）

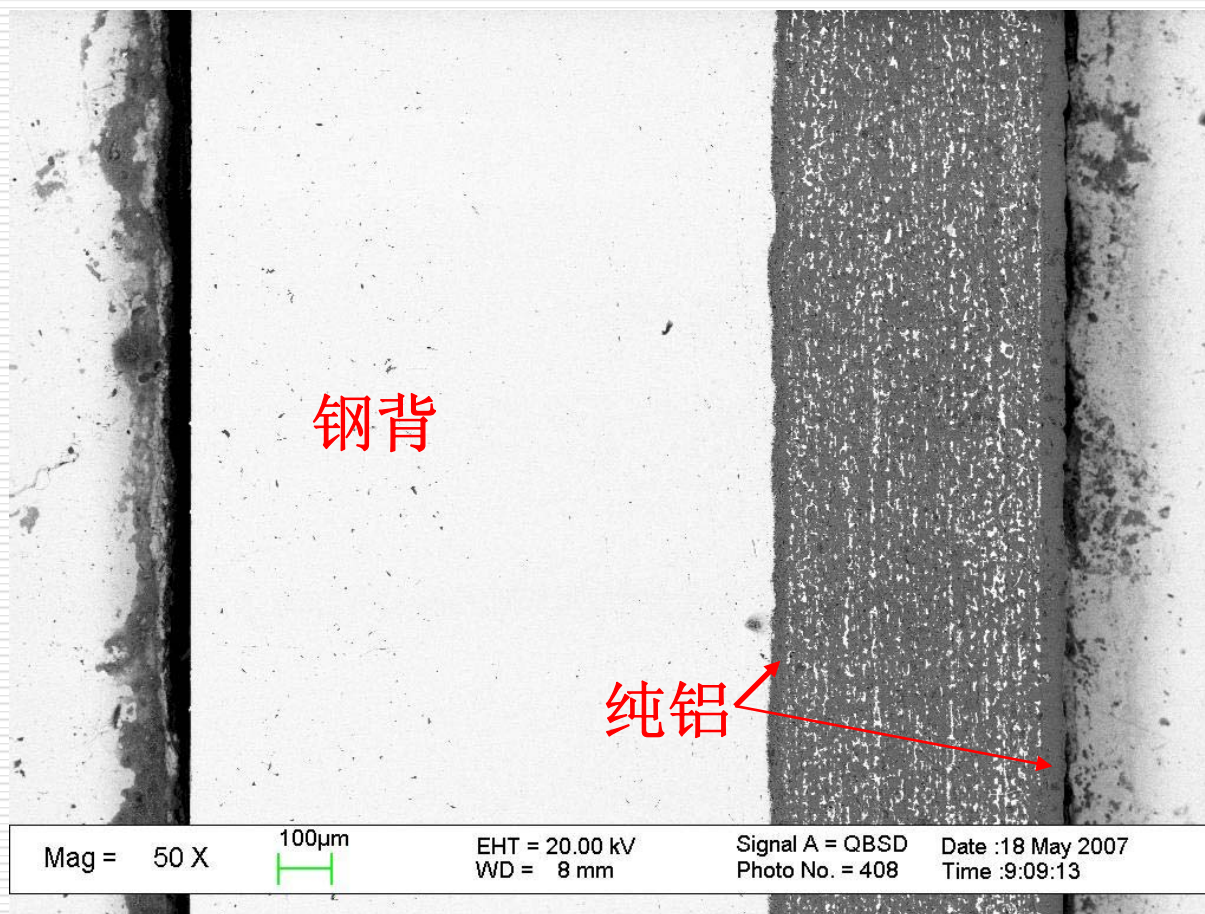
* Al-Pb 轴承合金：价格便宜，但Pb 属重金属。

(2) Al-Sb-Mg轴承合金：Al-4%Sb-0.5%Mg

特点：疲劳强度、耐磨性高，适于中等负荷的内燃机用轴承



第三节 轴承合金

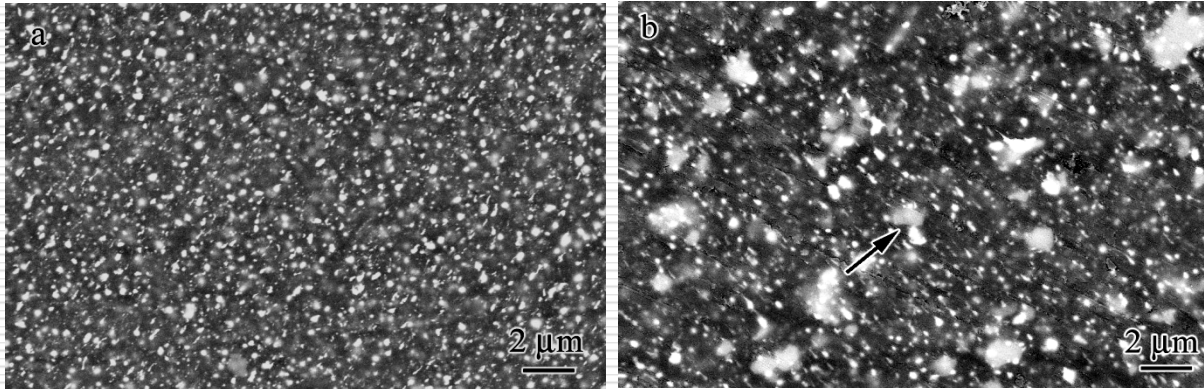


AlSn12Cu轴承合金

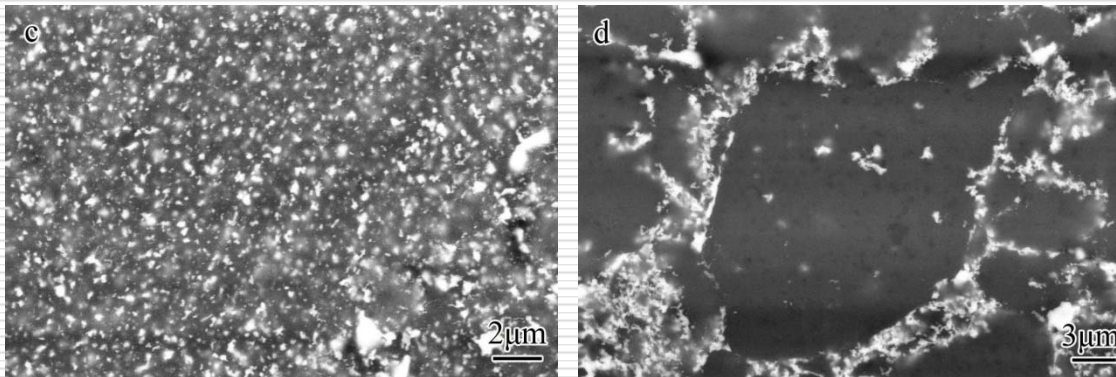


第三节 轴承合金

3、铝基轴承合金——组织特点：硬基体+软质点



Al-10%Pb(a)、Al-10%Pb-4.5%Cu(b)合金球磨30小时后在723 K退火1小时后的SEM形貌像



Al-20%Sn(a)、Al-10%Pb-4.5%Cu(b)合金球磨30小时后在473 K©、523 K(d)退火1小时后的SEM形貌像

