

第六章 有色金属及其合金

NON-FERROUS METALS AND ALLOYS

铝及铝合金

滑动轴承合金

THE END

第一节 铝及铝合金

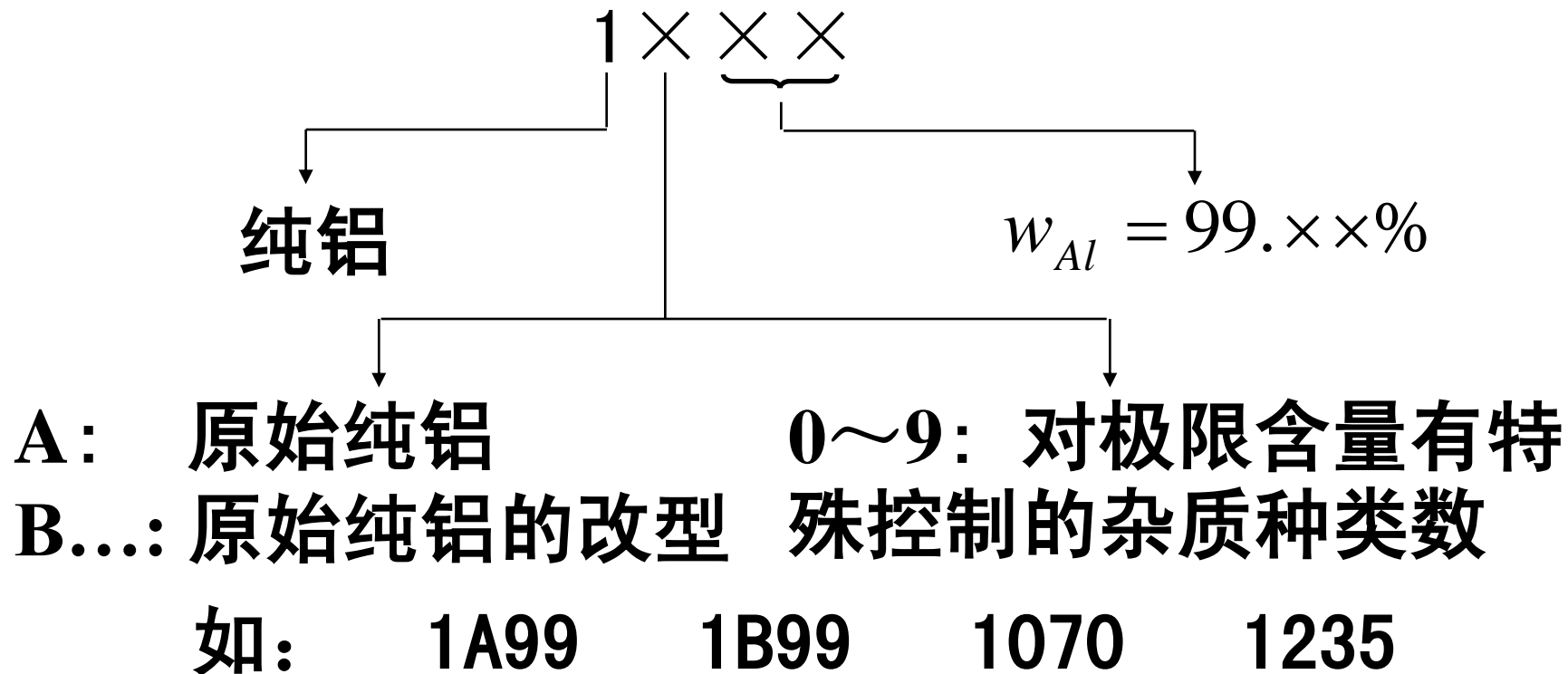
一、工业纯铝 ($w_{Al} \geq 99.00\%$)

1. 工业纯铝的特性

- 比重小
- 优良的导电、导热性
- 良好的塑性: $\psi \approx 80\%$, fcc
- 良好的低温韧性: -253°C 不降低
- 良好的抗大气腐蚀性: Al_2O_3 膜致密
- 低强度: $\sigma_b \approx 80-100\text{Mpa}$

THE END

2. 编号



3. 应用

电线, 电缆, 包覆材料等

THE END

二、铝合金 常加合金元素：Si Cu Mg Mn Zn

1. 铝合金的分类及强化机制

1) 铝合金的分类

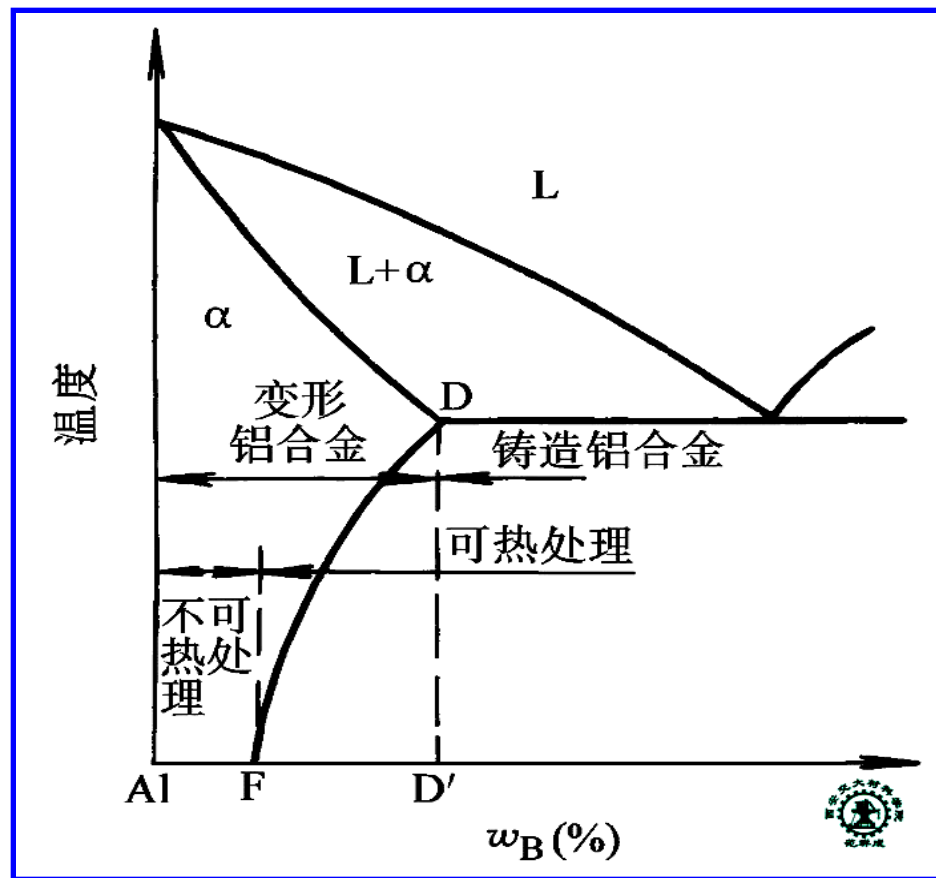
铝合金

变形铝合金

铸造铝合金

D点以左 (F以右的可热处理强化, F以左的不可热处理强化)

D点以右, 共晶点附近



铝合金相图的一般形式

THE END

2) 强化机制

(1) 固溶强化

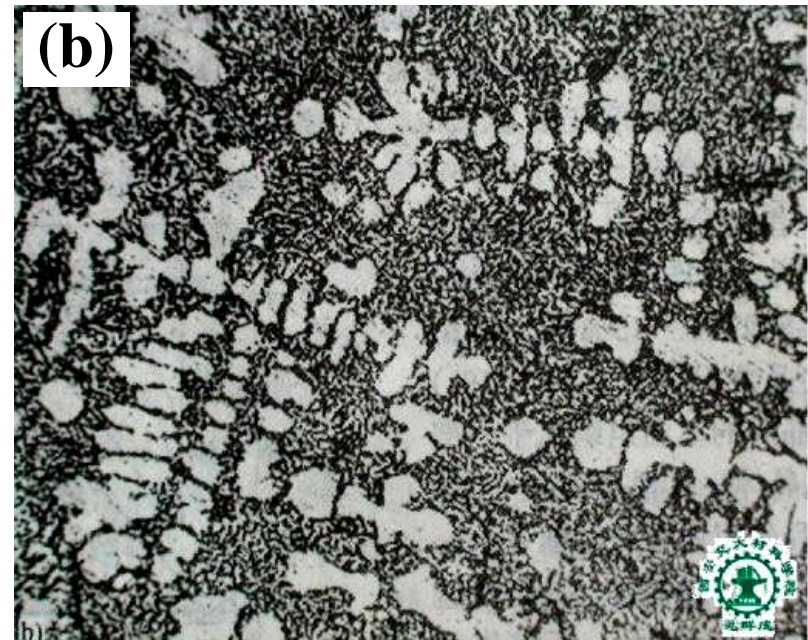
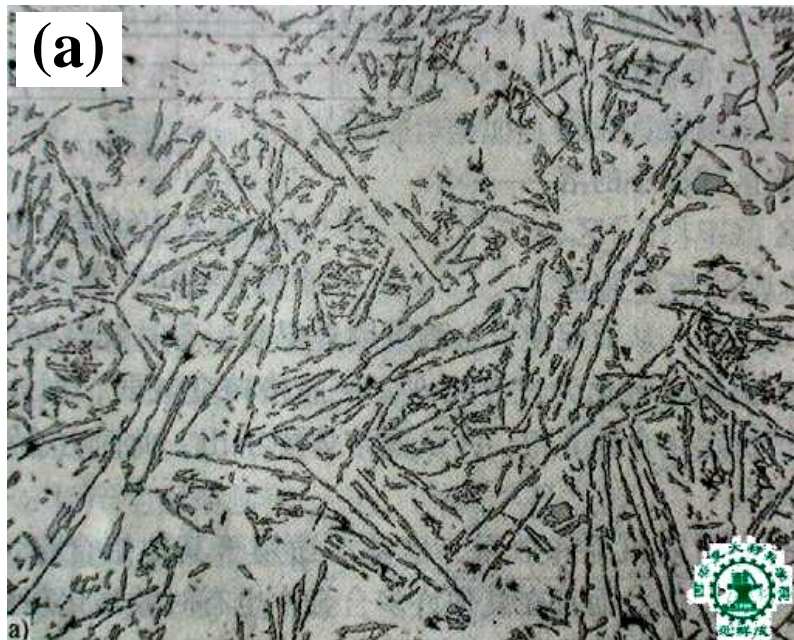
铝合金中的 α 相是固溶体，它是合金元素在 Al 中的固溶体， α 相的强度和硬度明显高于 Al 的强度和硬度

(2) 形变强化

变形铝合金具有较好的塑性和韧性，可通过塑性变形来提高合金的强度和硬度。塑性加工成型的同时，强度、硬度也提高

(3) 细晶强化（变质处理）

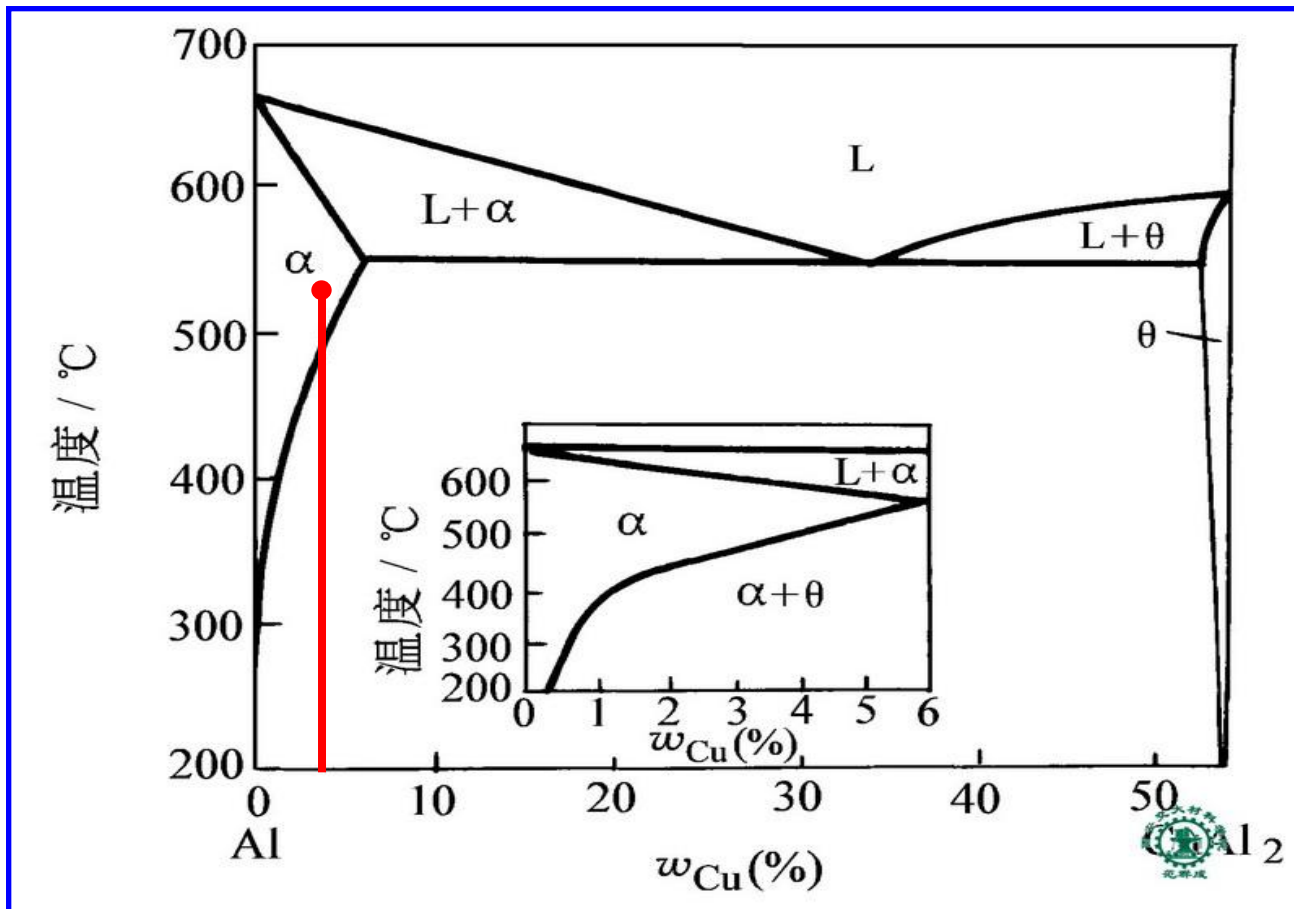
铸造铝合金铸造性能良好，适于铸造形成零、构件毛坯。铸造时向熔液中加入形核剂（变质剂），可细化结晶组织，使合金的强度、硬度、塑性、韧性同时提高



ZA1Si12 的铸态组织 (a) 变质前 150× (b) 变质后 350×

(4) 时效强化 (第二相强化)

讲一个故事：一个偷懒的实验员



Al-Cu 合金相图的 Al 端部分

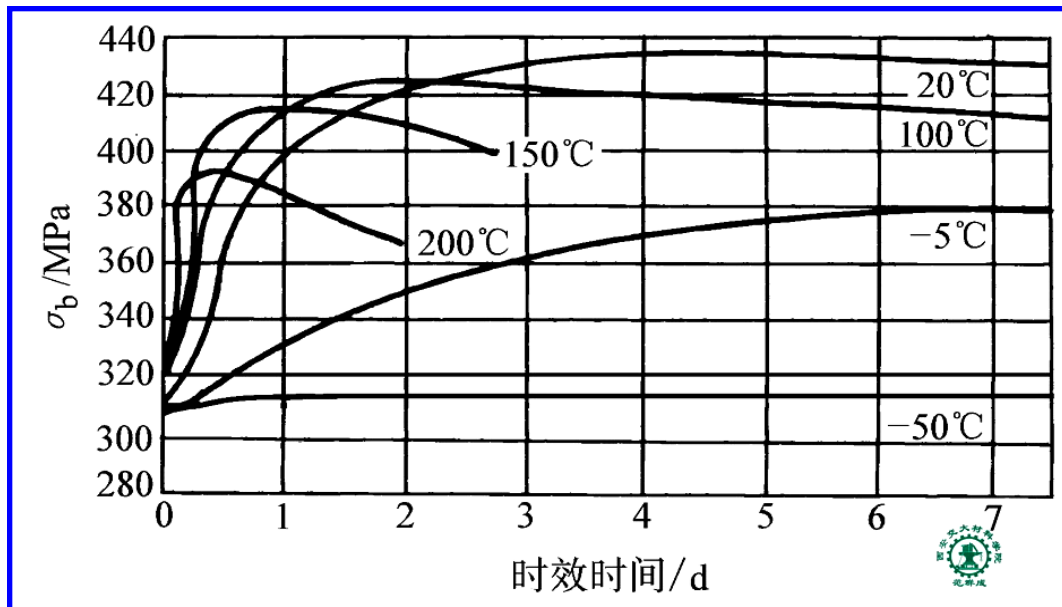
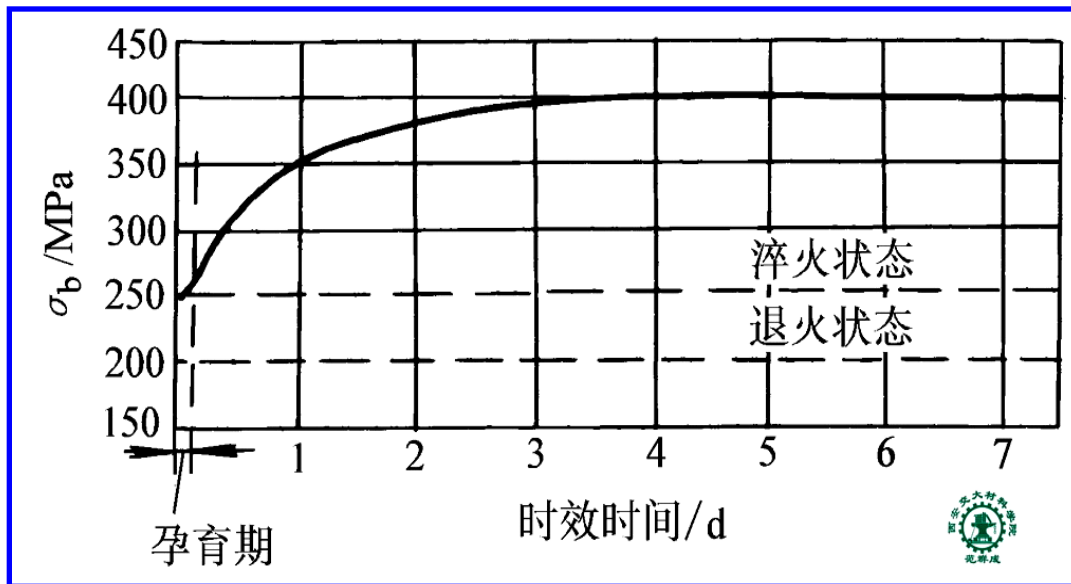
THE END

固溶（淬火）+ 时效处理 — 将合金加热到单相 α 固溶体状态后快冷，得到过饱和 α 固溶体，此过程称为固溶处理。将所得到的过饱和 α 固溶体在室温长时间放置（自然时效）或在低于饱和固溶度线的温度保温（人工时效），此过程称为**时效处理**。

在时效过程中，过饱和 α 固溶体中会析出细小的弥散分布的第二相微粒，使合金的强度不断提高，这种强化称为**时效强化**。如果时效时间过长，则随着第二相颗粒不断聚集长大，合金强度会逐渐降低，称为过时效。

THE END

$W_{Cu} = 4\%$ 的铝合金自然时效曲线



$W_{Cu} = 4\%$ 的铝合金在不同温度下的时效曲线

THE END

2. 变形铝合金

1) 分类及牌号

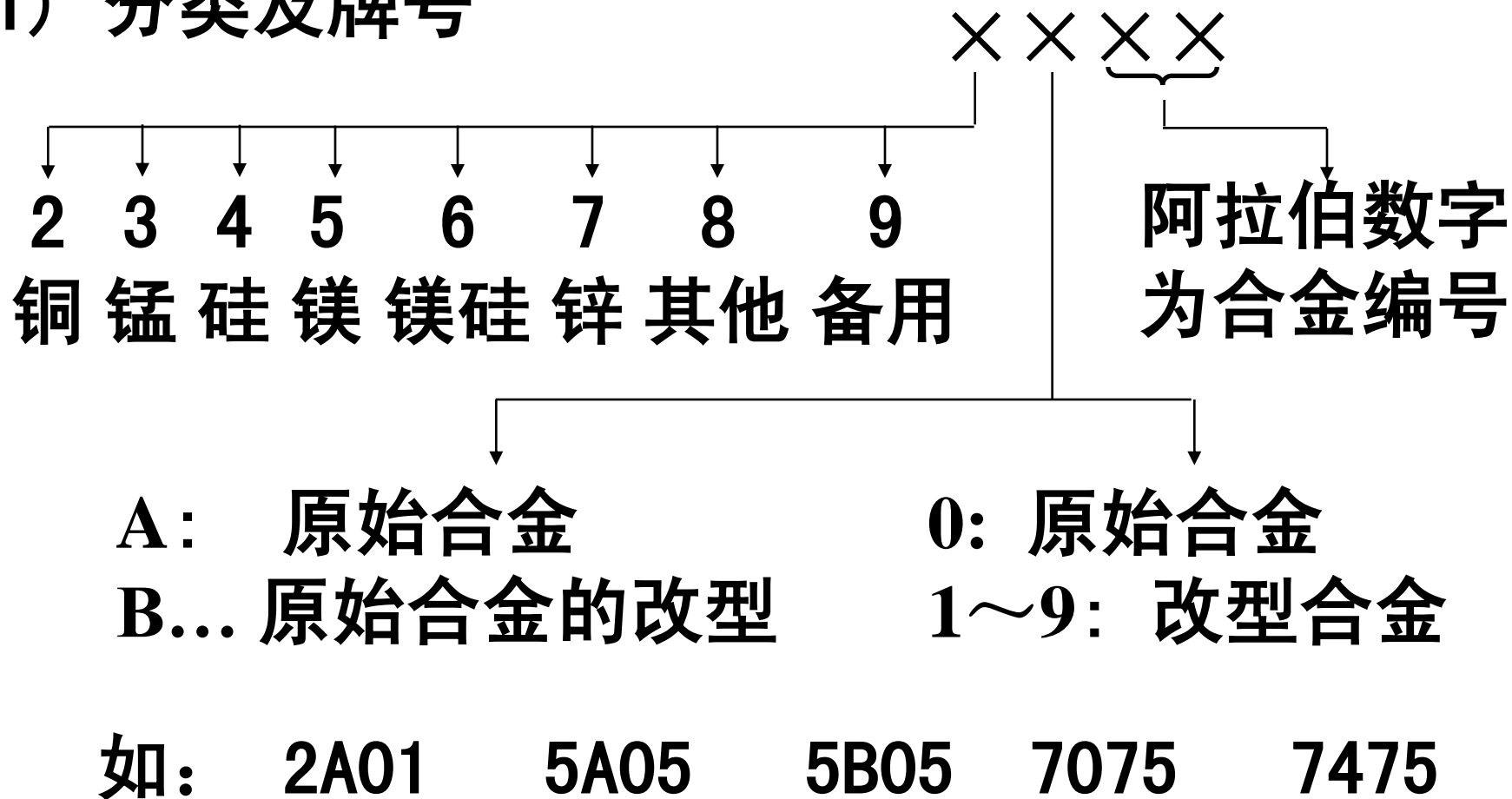


表 6-1 常用变形铝合金的牌号、化学成分、力学性能及用途举例 (GB/T 3190—1996)

组别	牌号 (旧牌号)	化学成分 ω (%)						半成 品状 态 ^①	力学性能 ^② (不小于)			用 途
		Si	Cu	Mn	Mg	Zn	其他		σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_{10} (%)	
铝铜 合金	2A01 (LY1)	0.50	2.20~3.00	0.20	0.20~0.50	0.10	Fe0.5 Ti0.15	线材 CZ	300	—	24	工作温度不超过 100℃ 的结构用中等强度铆钉
	2A11 (LY11)	0.70	3.80~4.80	0.40~0.80	0.40~0.80	0.30	Fe0.70 Ti0.15	线材 CZ	363~ 373	177~ 196	15	中等强度的结构零件, 如骨架、模锻的固定接头、支柱、螺旋桨叶片、局部微粗的零件、螺栓和铆钉
	2A12 (LY12)	0.50	3.80~4.90	0.30~0.90	1.20~1.80	0.30	Fe0.50 Ni0.10	板线 CZ	407~ 427	270~ 275	11~ 13	高强度的结构零件, 如骨架、蒙皮、隔框、肋、梁、铆钉等 150℃ 以下工作的零件
	2A14 (LD10)	0.60~1.20	3.90~4.80	0.40~1.00	0.40~0.80	0.30	Fe0.70 Ti0.15	板线 CS	420	330	5	承受重载荷的锻件和模锻件
	2A50 (LD5)	0.70~1.20	1.80~2.60	0.40~0.80	0.40~0.80	0.30	Fe0.70 Ni0.10 Ti0.15	板线 CS	420	330	7	形状复杂中等强度的锻件及模锻件
	2A70 (LD7)	0.35	1.90~2.50	0.20	1.40~1.80	0.30	Fe0.90~1.50 Ni0.90 Ti0.02~0.10	板线 CS	415	270	13	内燃机活塞在高温下工作的复杂锻件, 板材可作高温下工作的结构件
铝锰 合金	3A21 (LF21)	0.60	0.20	1.00~1.60	—	0.10	Fe 0.70	板材 M	95~ 147	—	18~ 22	焊接油箱、油管、铆钉以及轻载荷零件及制品
铝镁 合金	5A05 (LF5)	0.50	0.10	0.30~0.60	4.80~5.50	0.20	Fe 0.50	板材 M	280	150	15	焊接油箱、油管、焊条、铆钉以及中载荷零件及制品
	5B05 (LF10)	0.40	0.20	0.20~0.60	4.70~5.70	—	Fe 0.40 Ti 0.15	板材 M	280	150	15	焊接油箱、油管、焊条、铆钉以及中载荷零件及制品
铝锌 合金	7A04 (LC4)	0.50	1.40~2.00	0.20~0.60	1.80~2.80	5.00~ 7.00	Fe 0.50 Cr 0.10~0.25	板材 CS	481~ 490	402~ 412	7	结构中主要受力件, 如飞机大梁、桁架、加强框、蒙皮接头及起落架
	7A09 (LC9)	0.50	1.20~2.00	0.15	2.00~3.00	5.10~ 6.10	Fe 0.50 Cr 0.16~0.30 Ti 0.10	板材 CS	481~ 490	412~ 422	7	结构中主要受力件, 如飞机大梁、桁架、加强框、蒙皮接头及起落架
铝锂 合金	8090	0.20	1.00~1.60	0.10	0.60~1.30	0.25	Li 2.20~2.27 Ti 0.10 Zr 0.04~0.16	板材 CS	—	—	—	飞机结构件、火箭和导弹壳体、燃料箱等

① M——包铝板材退火状态; CZ——包铝板材淬火自然时效状态; CS——包铝板材淬火人工时效状态。

② 力学性能主要摘自 GB/T 3880—1997。

2) 性能特点

- 较高塑性、韧性
- 较高强度、硬度
- 较好抗腐蚀性能
- 适合于塑性加工成形

3) 应用

如飞机的：蒙皮，铆钉，大梁，框架，螺钉...

3. 铸造铝合金

1) 分类及牌号

牌号 ZAl+主要合金元素符号及其平均质量分数

如: ZAlSi12

代号

ZL × × ×

1

2

3

4

铝硅系

铝铜系

铝镁系

铝锌系

合金序号

如:

ZL102

ZL203

ZL302

ZL401

表 6-3 常用铸造合金的代号、成分、力学性能及用途 (GB/T 1173-1995)

类别	牌号	代号	化学成分 ω (%)						力学性能 (不低于)					用途	
			Si	Cu	Mg	Mn	其他	Al	铸造方法	热处理	σ_b /MPa	δ (%)	HBs		
硅铝合金	ZAlSi12	ZL 102	10.0~13.0						余量	SB JB SB J	F F T2 T2	143 153 133 143	4 2 4 3	50 50 50 50	形状复杂的零件, 如飞机、仪器零件、抽水机壳体
	ZAlSi9Mg	ZL 104	8.0~10.5		0.17~0.30	0.2~0.5			余量	J J	T1 T6	192 231	1.5 2	70 70	工作温度为 250℃ 以下形状复杂的零件, 如电动机壳体、气缸体
	ZAlSi5Cu1Mg	ZL 105	4.5~5.5	1.0~1.5	0.40~0.60				余量	J J	T5 T7	231 173	1.5 1	70 65	工作温度为 250℃ 以下形状复杂的零件, 如风冷发动机的气缸头、机匣、液体泵壳体
	ZAlSi7Cu4	ZL 107	6.5~7.5	3.5~4.5					余量	SB J	T6 T6	241 271	2.5 3	90 100	强度和硬度较高的零件
	ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL 109	11.0~13.0	0.5~1.5	0.8~1.3		Mn0.8~1.5		余量	J J	T1 T6	192 241	0.5 —	90 100	较高温度下工作的零件, 如活塞
	ZAlSi9Cu2Mg	ZL 1011	8.0~10.0	1.3~1.8	0.4~0.6	0.10~0.35	Ti0.10~0.35		余量	SB J	T6 T6	251 310	1.5 2	90 100	活塞及高温下工作的其他零件
铝铜合金	ZAlCu5Mn	ZL 201		4.5~5.3		0.6~1.0	Ti0.15~0.35		余量	S S	T4 T5	290 330	3 4	70 90	砂型铸造工作温度为 175~300℃ 的零件, 如内燃机的气缸头、活塞
	ZAlCu4	ZL 203		4.0~5.0					余量	J J	T4 T5	202 222	6 3	60 70	中等负荷, 形状比较简单的零件
铝镁合金	ZAlMg10	ZL 301			9.5~11.5				余量	S	T4	280	9	20	大气或海水中工作的零件, 承受冲击载荷、外形不太复杂的零件, 如舰船配件、氨泵壳体等
	ZAlMg5Si1	ZL 303	0.8~1.3		4.5~5.5	0.1~0.4			余量	S, J	F	143	1	55	
铝锌合金	ZAlZn11Si7	ZL 401	6.0~8.0		0.1~0.3		Zn9.0~13.0		余量	J	T1	241	1.5	90	结构形状复杂的汽车、飞机、仪器零件, 也可制造日用品
	ZAlZn6Mg	ZL 402			0.5~0.65		Cr0.4~0.6 Zn5.0~6.5 Ti0.15~0.25		余量	J	T1	231	4	70	

注: J—金属模; S—砂模; B—变质处理; F—铸态; T1—人工时效; T2—退火; T4—固溶处理+自然时效; T5—固溶处理+不完全人工时效; T6—固溶处理+完全人工时效; T7—固溶处理+稳定化处理。

2) 性能特点

- 力学性能不如变形铝合金
- 良好的铸造性能
- 成本较低
- 适合于形状复杂的零构件、箱体、壳体等

3) 应用

如：内燃机活塞，汽缸体，壳体...

第二节 滑动轴承合金

SLIDING BEARING ALLOYS

比滚动轴承

承压面大

拆装方便

转动平稳

保护轴颈

一、对滑动轴承合金的性能要求

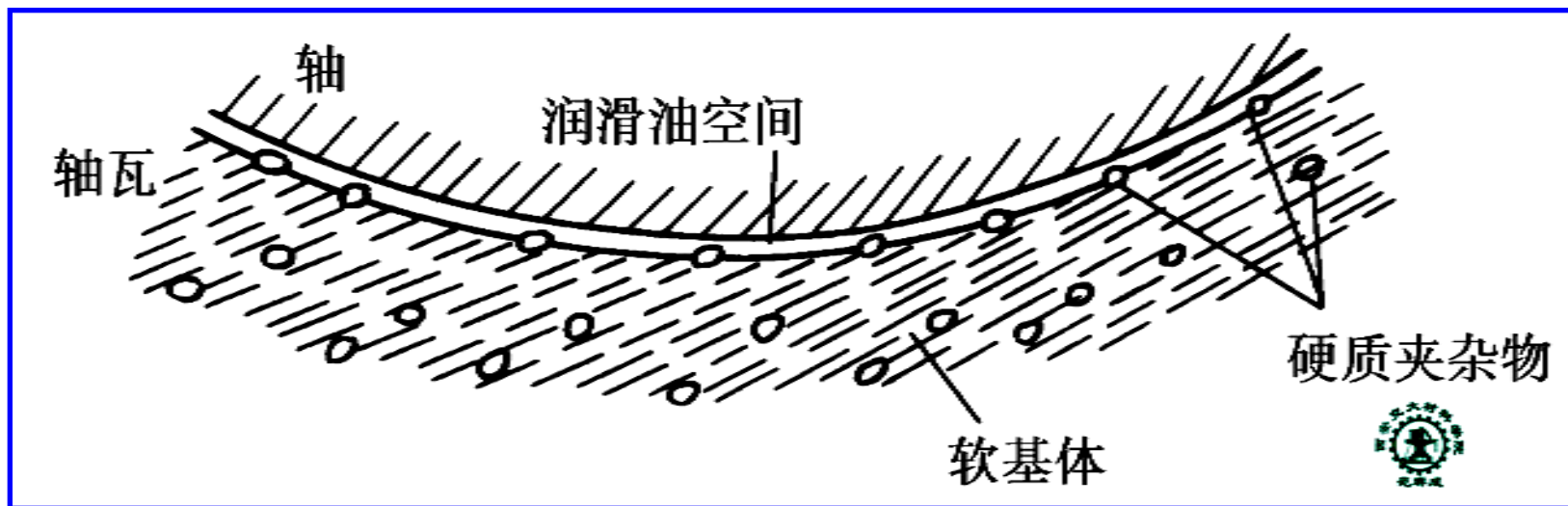
- 适中的硬度
- 良好的减摩性、磨合性、抗咬合性、蓄油性
- 热胀系数小，导热性好，抗腐蚀

THE END

二、对滑动轴承合金的组织要求

软基体 + 硬质点

硬基体 + 软质点



软基体硬质点轴瓦与轴的分界面示意图

二、常用滑动轴承合金

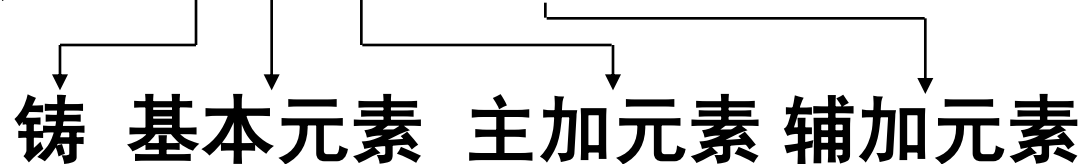
表6-10铸造轴承合金的牌号、成分、硬度和用途 (GB/T 1174-1992)

分类	牌号	化学成分 ω (%)									硬度 HBS (不全)	主要用途举例
		Sn	Pb	Cu	Zn	Al	Sb	As	其他	杂质 (小于)		
锡基	ZSnSb12Pb10Cu4	其余	9.0 ~ 11.0	2.5 ~ 5.0	—	—	11.0 ~ 13.0	0.1	Fe0.1	0.55	29	性硬、耐 压、适 用于 一般 轴衬 但主 轴不 适用 于高 温部 件
	ZSnSb11Cu6	其余	0.35	5.5 ~ 6.5	—	—	10.0 ~ 12.0	0.1	Fe0.1	0.55	27	较硬、 用于 大功 率汽 轮机 和透 气机 等轴 衬
	ZSnSb8Cu4	其余	0.35	3.0 ~ 4.0	—	—	7.0 ~ 8.0	0.1	Fe0.1	0.55	24	韧性 与 ZSnSb4Cu4 相同、 用于 一般 机械 轴衬
	ZSnSb4Cu4	其余	0.35	4.0 ~ 5.0	—	—	4.0 ~ 5.0	0.1	—	0.50	20	耐蚀、 耐磨、 用于 内燃 机及 高速 轴衬
铅基	ZPbSb16Sn16 Cu2	15.0 ~ 17.0	其余	1.5 ~ 2.0	0.15	—	15.0 ~ 17.0	0.3	Bi0.1 Fe0.1	0.60	30	轻负 荷高 速轴 衬如 汽车 、发 动机 等
	ZPbSb15Sn5Cu3Cd2	5.0 ~ 6.0	其余	2.5 ~ 3.0	0.15	—	14.0 ~ 16.0	0.6 ~ 1.0	Cd1.75 ~ 2.25	0.40	32	重负 荷柴 油机 轴衬
	ZPbSb15Sn10	9.0 ~ 11.0	其余	0.7	—	—	14.0 ~ 16.0	0.6	Bi0.1 Fe0.1	0.45	24	中负 荷中 速机 械轴 衬
	ZPbSb15Sn5	4.0 ~ 5.5	其余	0.5 ~ 1.0	0.15	—	14.0 ~ 15.5	0.2	Bi0.1 Fe0.1	0.75	20	汽车 和拖 拉机 发动 机轴 衬
	ZPbSb10Sn6	5.0 ~ 7.0	其余	0.7	—	—	9.0 ~ 11.0	0.25	Bi0.1 Fe0.1	0.70	18	重负 荷高 速机 械轴 衬

铜基	ZCuSn5Pb5Zn5	4.0 ~ 6.0	4.0 ~ 9.0	其余	4.0 6.0	—	0.2 5	—	Ni2.5 Fe0.3	0.70	60	高强度，适用于中速及受较大固定载荷的轴承，如电动机、泵、机床用轴瓦
	ZCuSn10P1	9.0 ~ 11.5	0.2 5	其余	—	—	—	—	P0.5 ~ 1.0	0.70	90	
	ZCuPb15Sn8	7.0 ~ 9.0	1.3 ~ 7.0	其余	2.0	—	0.5 0	—	Ni2.0 Fe0.25	1.0	65	高耐磨性、高导热性，适用于高速、高温（350℃）、重负荷下工作的轴承，如航空发动机、高速柴油机等的轴瓦
	ZCuPb30	1.0	2.7 ~ 3.3	其余	—	—	0.2 0	—	Mn0.3	1.0	25	
	ZCuAl10Fe3	0.3	0.2	其余	0.4	8.5 ~ 1.0	—	Fe2.0 ~ 4.0	Ni3.0 Mn1.0	1.0	110	
铝基	ZAlSn6Cu1Ni1	5.5 ~ 7.0	—	0.7 ~ 1.3	—	其余	—	Fe0.7 Si0.7	Ni0.7 ~ 1.3	1.5	40	耐磨、耐热、耐蚀，适用于高速、重载发动机轴承

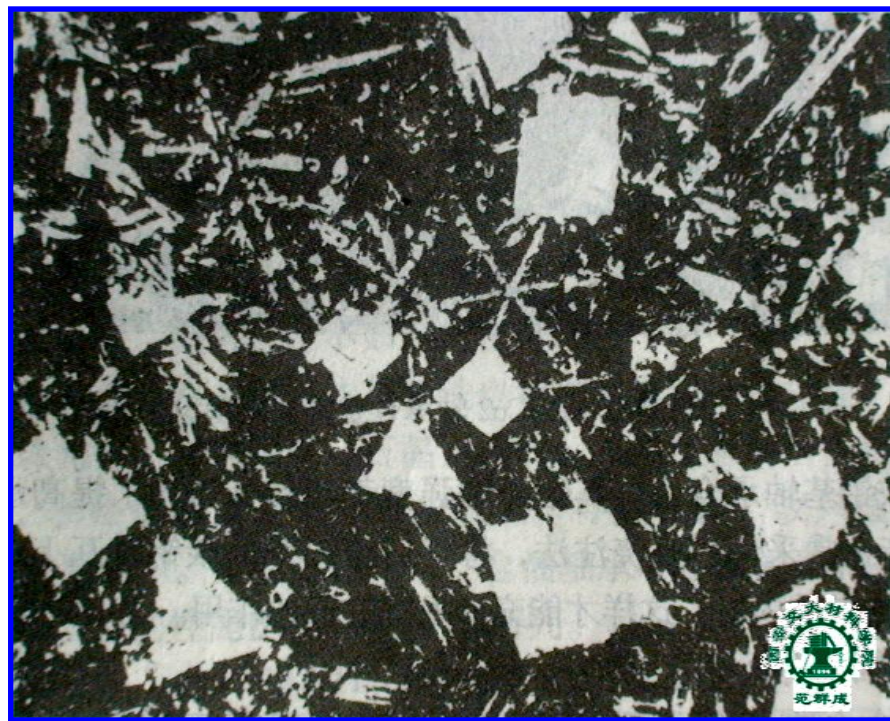
1. 锡基和铅基轴承合金（巴氏合金）

1) 锡基轴承合金 如：ZSnSb11Cu6



软基体 + 硬质点
↓ ↓
Sn基固溶体 化合物

用于重型动力机械
如：气轮机，高速内
燃机，涡轮压缩机等



THE END

ZSnSb11Cu6轴承合金的显微组织×100

2) 铅基轴承合金 如: $ZPbSb16Sn16Cu2$

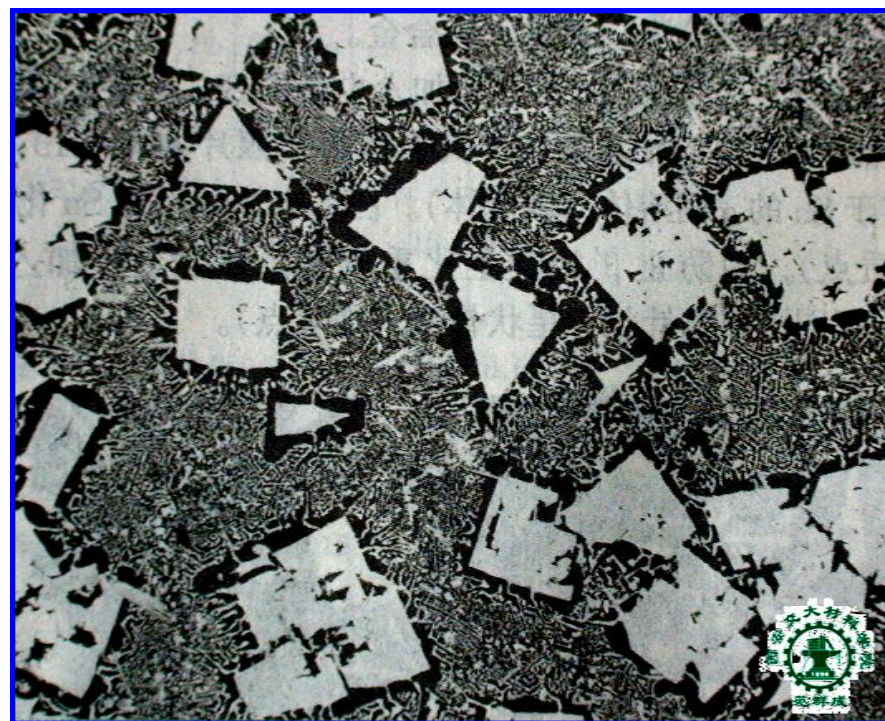
铸 基本元素 主加元素 辅加元素

软基体 + 硬质点

↓ ↓

$Pb+SnSb$ $SnSb+Cu_2Sb$

用于轻载、低速机械
如: 汽车, 拖拉机等



$ZPbSb16Sn16Cu_2$ 轴承合金的
显微组织 $\times 100$

2. 铜基轴承合金

1) 锡青铜 如:



铸 基本元素 主加元素 辅加元素
 软基体 + 硬质点



用于较大载荷中速轴承,如: 电机, 机床, 泵等

2) 铅青铜 如: ZCuPb30

硬基体 + 软质点

Cu

Pb

用于重载高速高温轴承, 如: 航空发动机, 高速柴油机等

THE END