

# 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

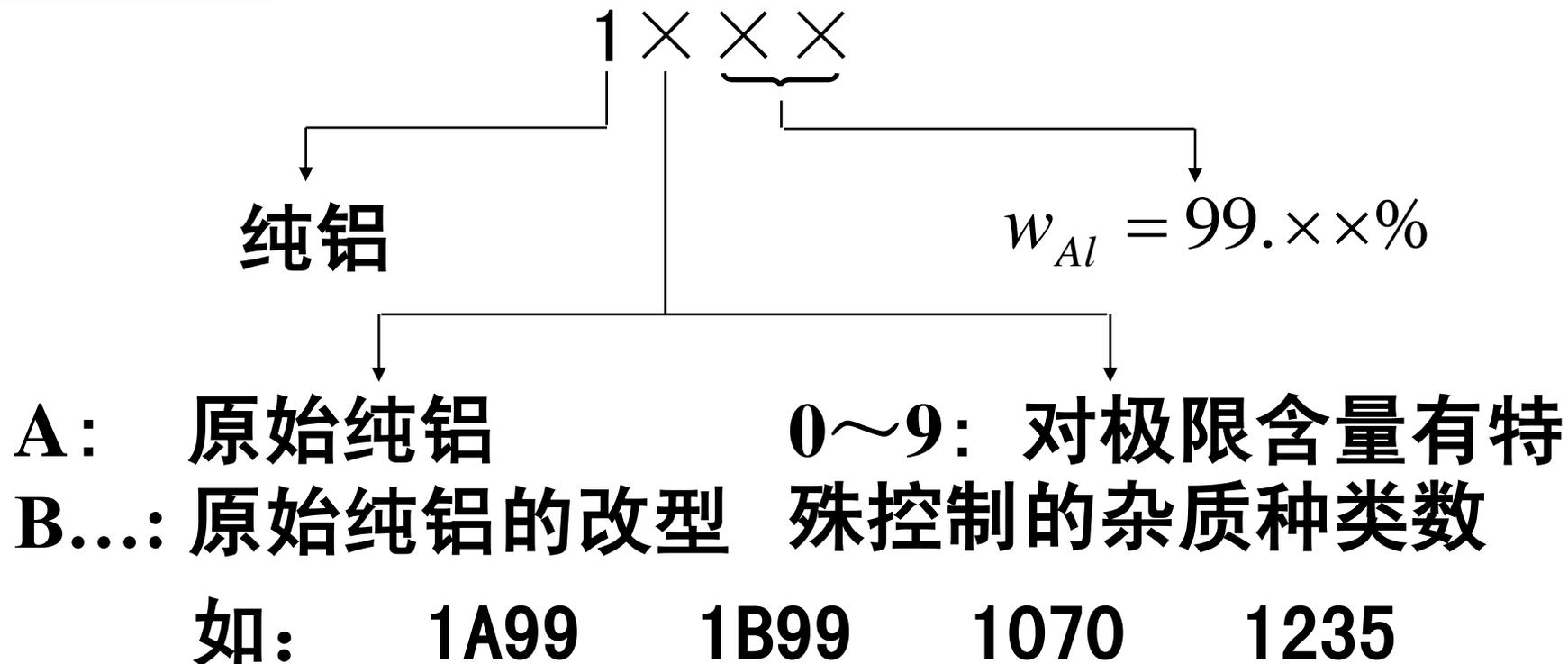
## 一、工业纯铝 ( $w_{Al} \geq 99.00\%$ )

### 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:  $-253^\circ\text{C}$ 不降低
- 良好的抗大气腐蚀性:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 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

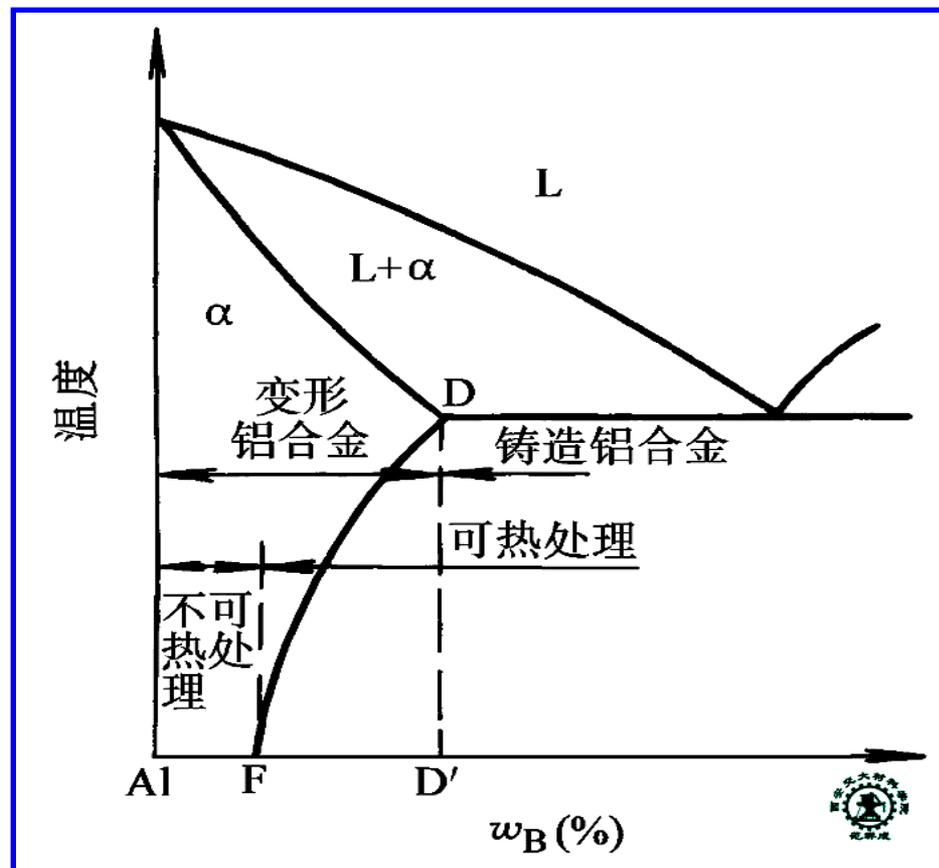
铝合金

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

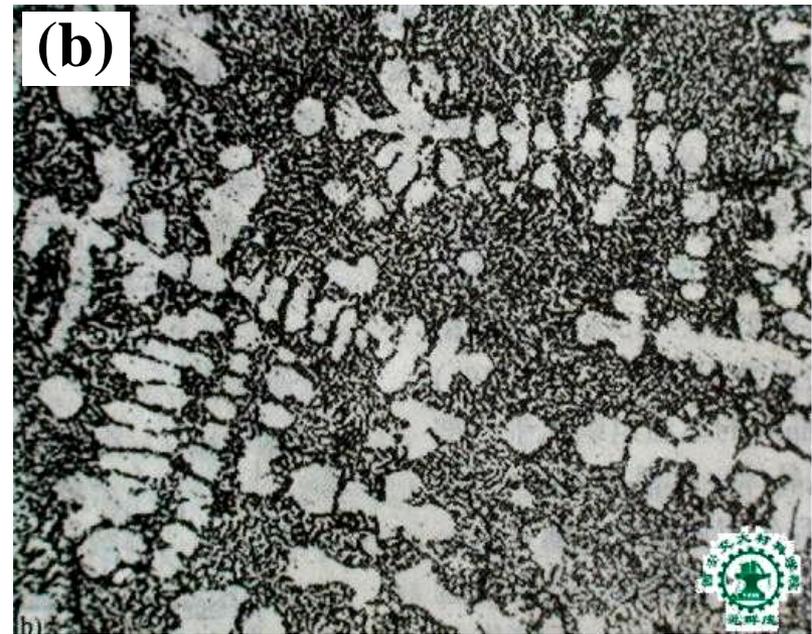
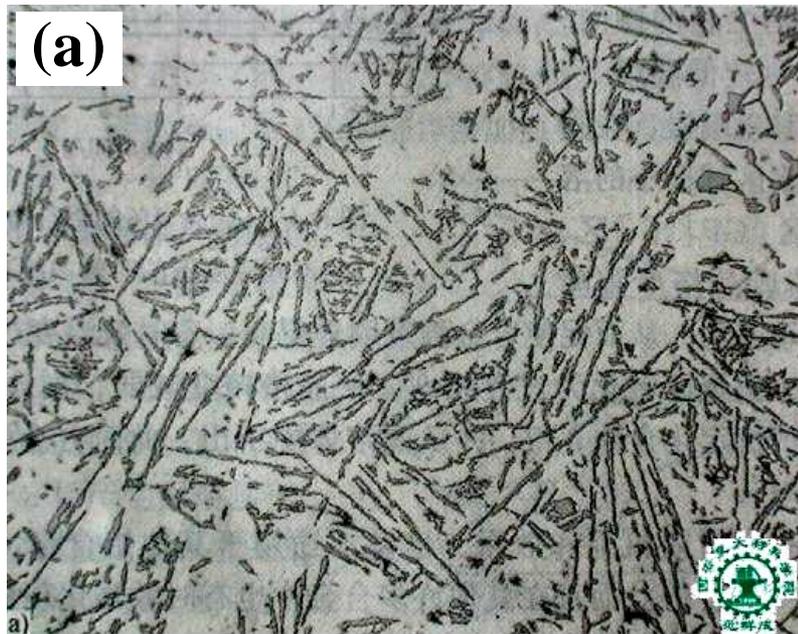
铝合金中的  $\alpha$  相是固溶体，它是合金元素在 Al 中的固溶体， $\alpha$  相的强度和硬度明显高于 Al 的强度和硬度

### (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）

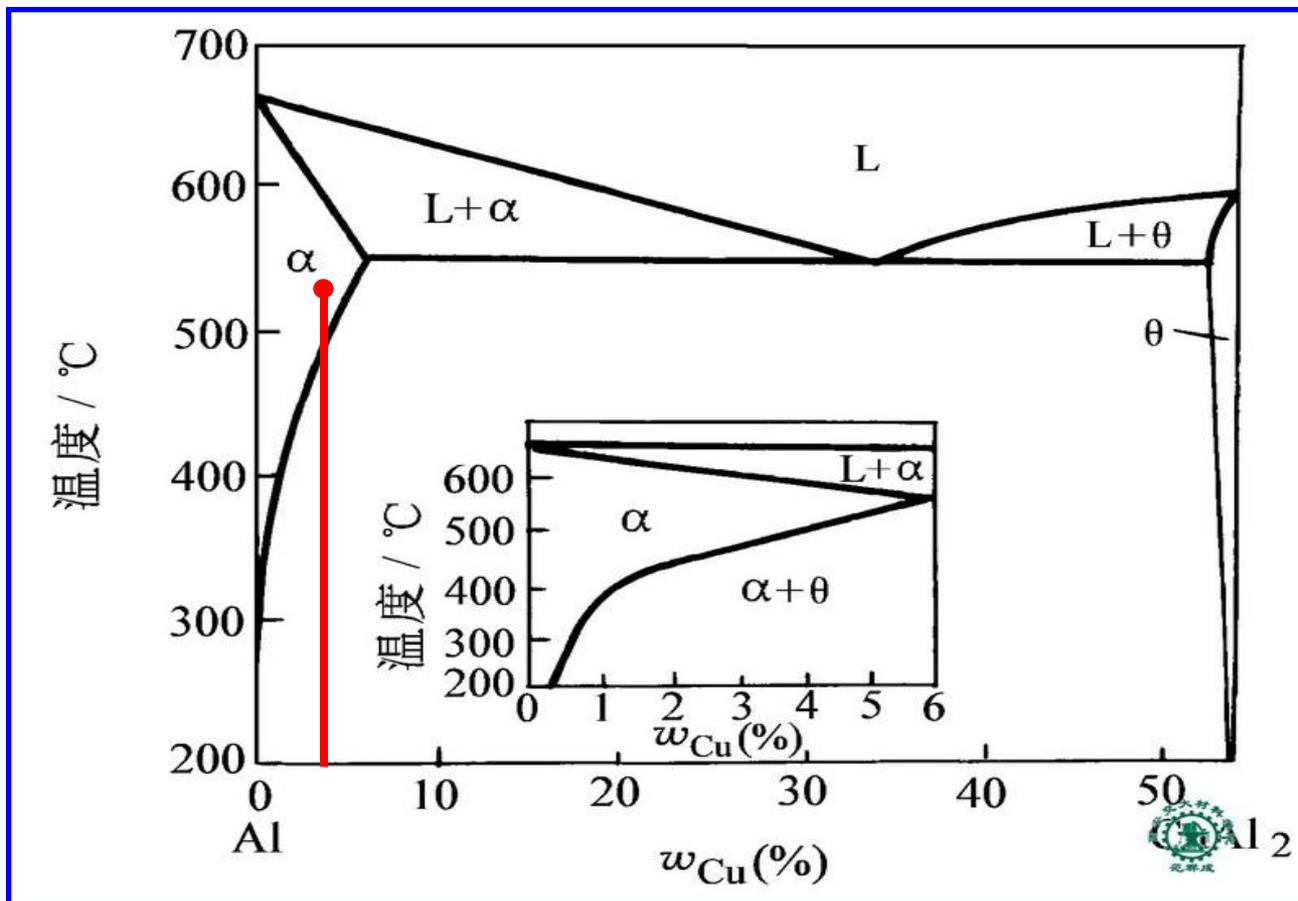
铸造铝合金铸造性能良好，适于铸造形成零、构件毛坯。铸造时向熔液中加入形核剂（变质剂），可细化结晶组织，使合金的强度、硬度、塑性、韧性同时提高



ZA1Si12 的铸态组织 (a) 变质前  $150\times$  (b) 变质后  $350\times$

## (4) 时效强化 (第二相强化)

讲一个故事：一个偷懒的实验员



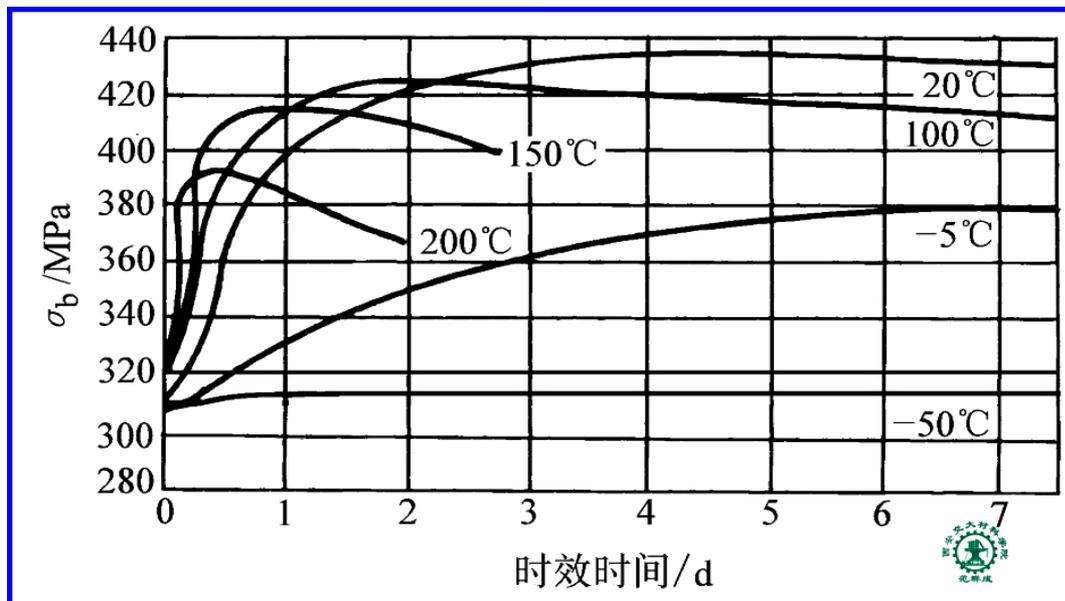
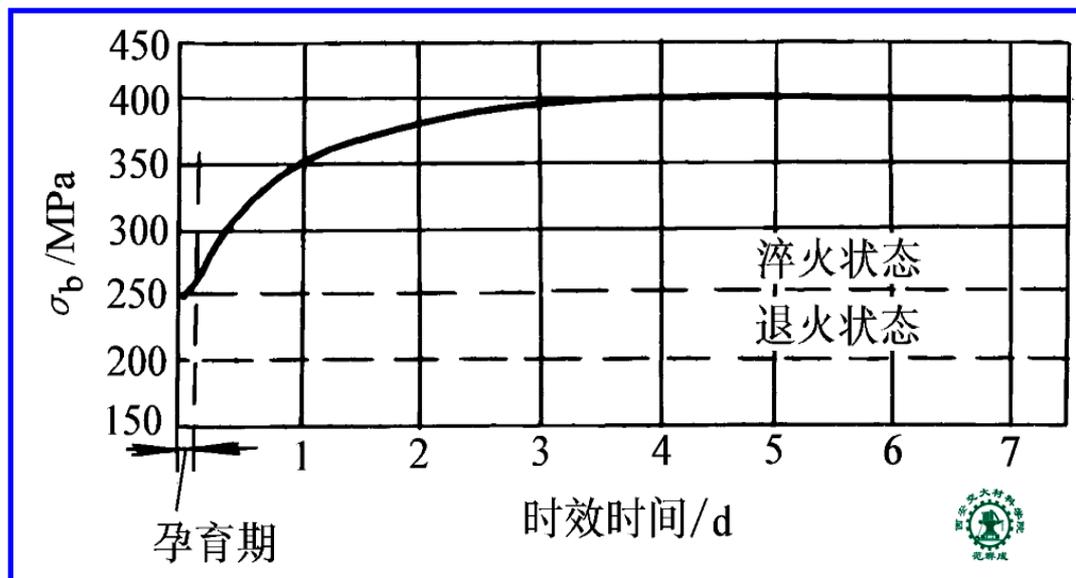
Al-Cu 合金相图的 Al 端部分

THE END

**固溶（淬火）+ 时效处理** — 将合金加热到单相  $\alpha$  固溶体状态后快冷，得到过饱和  $\alpha$  固溶体，此过程称为固溶处理。将所得到的过饱和  $\alpha$  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  $\alpha$  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。

### $W_{Cu} = 4\%$ 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

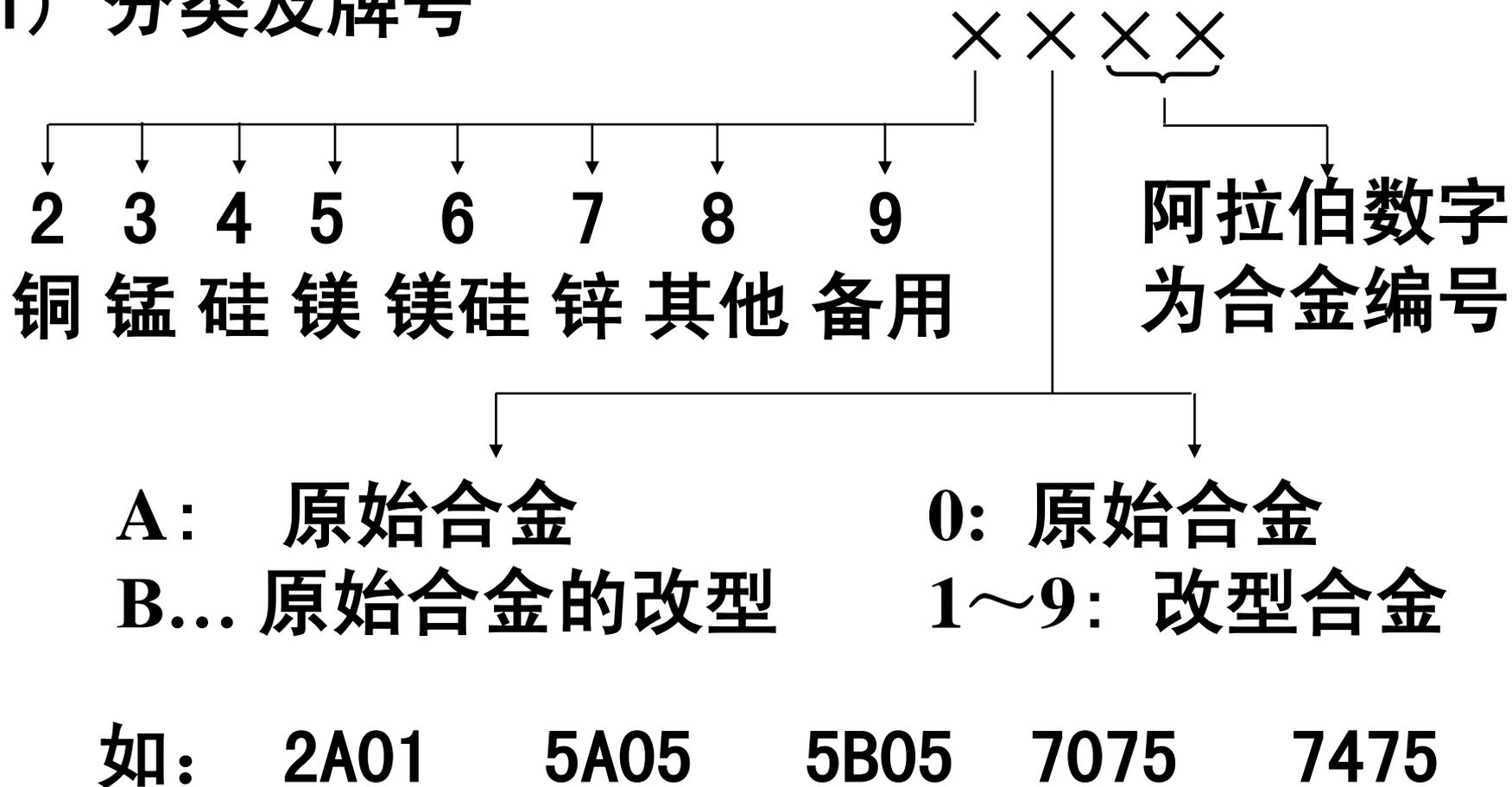


表 6-1 常用变形铝合金的牌号、化学成分、力学性能及用途举例 (GB/T 3190—1996)

组别	牌号 (旧牌号)	化学成分 $\omega$ (%)						半成 品状 态 <sup>①</sup>	力学性能 <sup>②</sup> (不小于)			用 途
		Si	Cu	Mn	Mg	Zn	其他		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta_{10}$ (%)	
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
铝锆 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	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ (%)	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

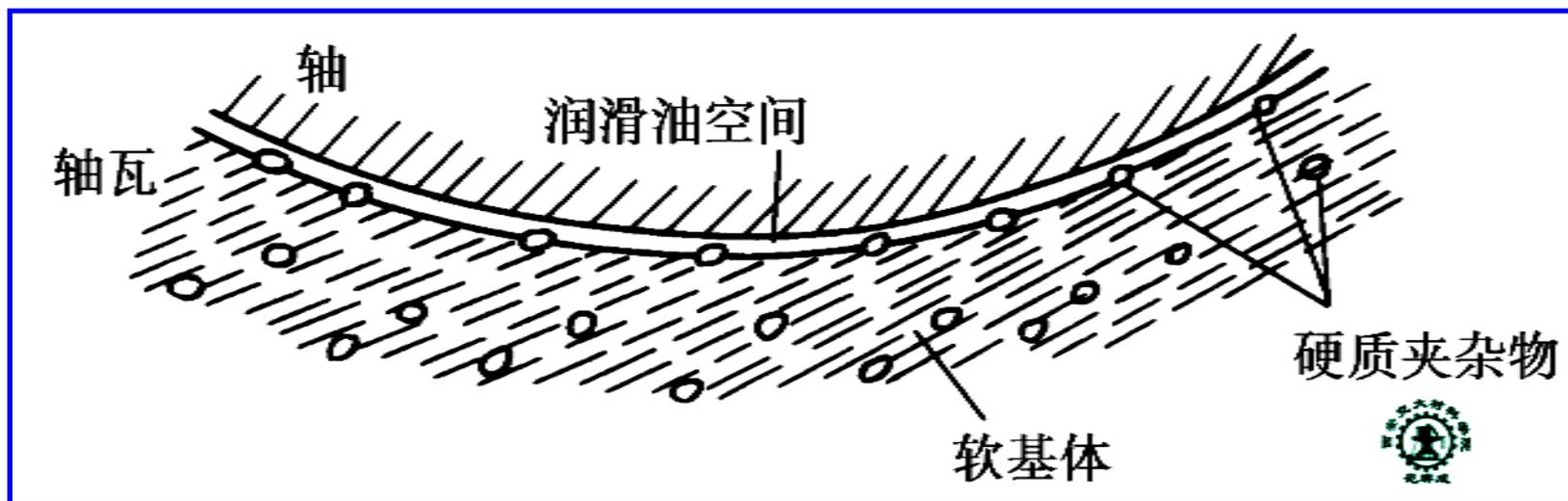
- 适中的硬度
- 良好的减摩性、磨合性、抗咬合性、蓄油性
- 热胀系数小，导热性好，抗腐蚀

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

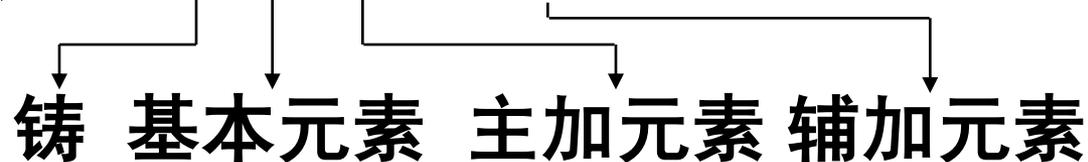
表6-10铸造轴承合金的牌号、成分、硬度和用途 (GB/T 1174-1992)

分类	牌号	化学成分 $\omega$ (%)									硬度 HBS (不全)	主要用途举例
		Sn	Pb	Cu	Zn	Al	Sb	As	其他	杂质 (不大于)		
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 平内 轴衬 及燃 油机 等
	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

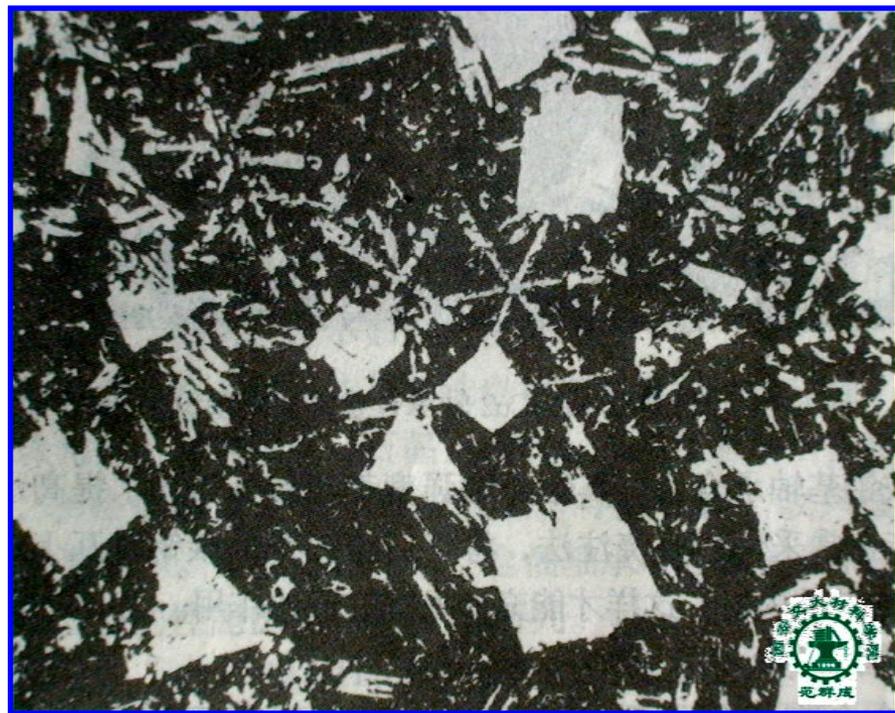
# 1. 锡基和铅基轴承合金（巴氏合金）

## 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