

# 合金钢、铸铁、有色合金的显微组织观察

## 一、实验目的

1. 观察和研究各种不同类型合金材料的显微组织特征。
2. 了解这些合金材料的成分、显微组织对性能的影响。

## 二、观察下列合金试样的组织

编号	钢号	处理过程	显微组织	腐蚀剂
1	W18Cr4V	铸造	屈氏体+莱氏体	4%硝酸酒精
2	W18Cr4V	退火	碳化物+索氏体	//
3	W18Cr4V	1280 °C 油 淬	马氏体+初生碳化物 +A'	//
4	W18Cr4V	1280 °C 油 淬 560°C回火	回火马氏体+碳化物	//
5	1Cr18Ni9Ti	1100 °C 固 溶 处理	奥氏体（内有孪晶）	王水（注 1）
6	灰口铸铁（基 P）	铸造	4%硝酸酒精	P+片状石墨
7	可锻铸铁（F 基）	可锻化退火	4%硝酸酒精	F+团絮石墨
8	球墨铸铁（F+P 基）	铸造	4%硝酸酒精	牛眼睛
9	硅 铝 明 （ZL102）	铸造未变质	0.5HF 水溶液	（Si + $\alpha$ ）共晶
10	硅 铝 明 （ZL102）	铸造变质	0.5HF 水溶液	$\alpha$ + （Si+ $\alpha$ ）
11	单 相 黄 铜 （H70）	冷加工退火	3%FeCl <sub>3</sub> +10%HCl 水溶液	单相 $\alpha$ （孪晶）
12	两 相 黄 铜 （H63）	铸造退火	3%FeCl <sub>3</sub> +10%HCl 水溶液	$\alpha$ + $\beta$ '
13	锡基巴比合金 ZChSnSb11—6	铸造	4%硝酸酒精	$\alpha$ （黑基体）+ $\beta$ '（方块） +Cu <sub>3</sub> Sn 星状

### 三、实验内容讨论

#### (一) 合金钢

合金钢的显微组织比碳钢复杂，在合金钢中存在的基本相有：合金铁素体、合金奥氏体、合金碳化物（包括合金渗碳体、特殊碳化物）及金属间化合物等。其中合金铁素体与合金渗碳体及大部分合金碳化物的组织特征与碳钢中的铁素体和渗碳体无明显区别，而金属间化合物的组织形态则随种类不同而各异，合金奥氏体在晶粒内常常存在滑移线和孪晶特征。

##### 1. 高速钢

高速钢是高合金工具钢，具有良好的红硬性，即使工作温度达到 600℃ 时，仍保持高的硬度和切削性能。经常用它来制造各种刀具。这里以典型的 W18Cr4V（简称 18—4—1）钢为例加以分析研究。

W18Cr4V 的化学成分为：0.7~0.8% C，17.5~19% W，3.8~4.4% Cr，1.0~1.4% V，< 0.3% Mo。由于钢中存在大量合金元素（大于 20%），因此除了形成合金铁素体与合金渗碳体外，还会形成各种合金碳化物（如  $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$ 、VC 等），这些组织特点决定了高速钢具有优良的切削性能。

A. 高速钢的铸态组织：按组织特点分类，高速钢属莱氏体钢，在一般铸造条件下存在以具有鱼骨状碳化物为特征的共晶莱氏体组织。图 1 所示为 W18Cr4V 钢的铸态组织。在显微镜下观察时，除共晶莱氏体外还有部分呈暗黑色的  $\delta$  共析体组织和少量马氏体（呈亮白色部分）。

B. 高速钢的退火组织：高速钢铸态组织极不均匀，特别是共晶组织中粗大碳化物的存在，使钢的性能显著降低，因此，高速钢铸造后必须经过锻造、退火，以改善碳化物的分布状况。图 2 所示为 W18Cr4V 钢经锻造及退火后的显微组织，组织中呈亮白色较大块状为一次碳化物，较细小块状为二次碳化物，基体组织是索氏体。

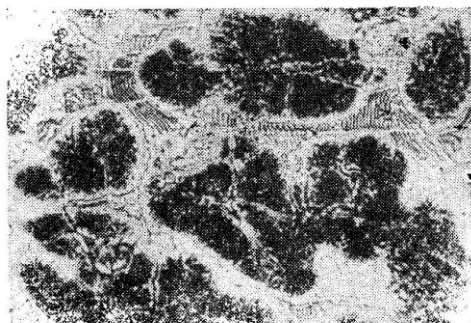


图 1 W18Cr4V 钢铸造状态的  
显微组织（800X）  
浸蚀剂：4% 硝酸酒精溶液

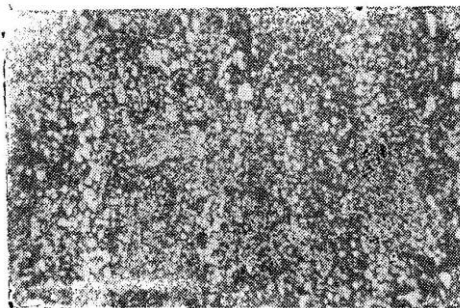


图 2 W18Cr4V 钢经锻造及退火后的  
显微组织（500X）  
浸蚀剂：4% 硝酸酒精溶液

C.高速钢淬火组织：高速钢优良的热硬性及高的耐磨性，只有经淬火及回火后才能获得。W18Cr4V 钢通常采用较高的淬火温度（1270~1280℃），以保证奥氏体充分合金化，淬火时可在油中或空气中冷却，图 3 为 W18Cr4V 钢经 1270~1280℃淬火后的显微组织，其组织为在马氏体及残余奥氏体的基体上分布有一次碳化物的颗粒。在金相显微镜下观察时，马氏体不易显示。

D.高速钢回火组织：经淬火后高速钢组织中存在相当数量（约 30~40）的残余奥氏体，需经 560℃回火（一般（2~3 次）加以消除。回火时从马氏体和部分残余奥氏体中析出高度分散的碳化物，降低了残余奥氏体中碳和合金元素的含量，使其稳定性降低，在冷却过程中这些奥氏体就会转变成马氏体。

图 4 所示为 W18Cr4V 钢经淬火及 560℃回火后的显微组织，其中呈白色块状的为合金碳化物（ $W_2C$ 、 $V_4C_3$ ），暗黑色基底是回火马氏体和少量残余奥氏体。

## 2.不锈钢

不锈钢在大气、海水及化学介质中具有良好的抗腐蚀能力。以 1Cr18Ni9Ti 为例，其成分为：≤0.12%C，17~19%Cr，8~11%Ni，0.6~0.9%Ti。铬在钢中的主要作用是产生钝化作用，提高电极电位而使钢的抗腐蚀性加强。镍的加入在于扩大γ 区及降低  $M_s$  点，以保证室温下具有奥氏体组织。

1Cr18Ni9Ti 钢的热处理方法是进行固溶处理（1050~1100℃迅速水淬），使其组织上得到全奥氏体组织（内有孪晶），才具有良好的耐腐蚀性能。但若使用温度较高（450~850℃）时，从奥氏体晶界处又会有碳化铬（ $Cr_{23}C_6$ ）析出，引起晶间腐蚀。为防止晶界腐蚀的产生，钢中的含碳量应降低至于 0.06% 以下，或是加入少量的钛或铌，经加热到 1100~1150℃水冷，获得全奥氏体组织，才具有良好的抗腐蚀性能。其组织呈现出单一奥氏体晶粒，并有明显的孪晶。

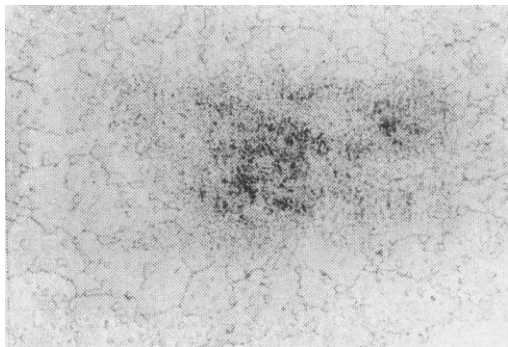


图 3 W18Cr4V 钢  
处理状态：1270~1280℃淬火  
放大倍数：500X  
浸 蚀 剂：10%硝酸酒精溶液

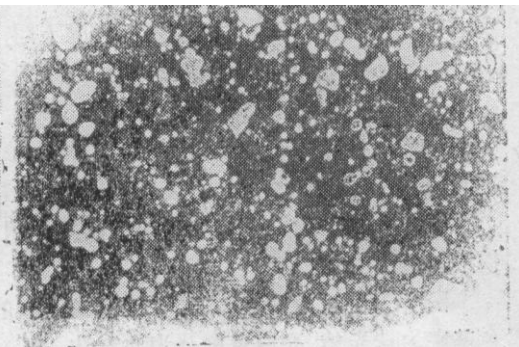


图 4 W18Cr4V 钢  
处理状态：淬火及 560℃三次回火  
放大倍数：500X  
浸 蚀 剂：4%硝酸酒精溶液

## （二）铸铁

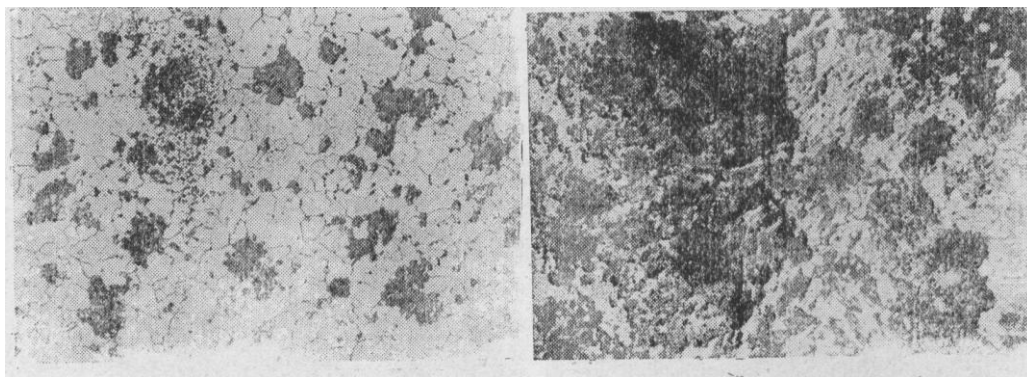
### 1.普通灰口铸铁

普通灰口铸铁中碳全部或部分以自由碳—片状石墨形式存在，断口呈现灰色。其显微组织根据石墨化程度的不同为铁素体或珠光体或铁素体+珠光体基体上分布片状石墨。灰口铸铁的基体在未经腐蚀的试片上呈白亮色，经过硝酸酒精腐蚀后和碳钢一样。在铁素体基体的灰口铸铁中看到晶界清晰的等轴铁素体晶粒。在珠光体基体的灰口铸铁中，珠光体片的大小随冷却速度而异。

由于石墨的强度和塑性几乎等于零，这样可以把铸铁看成是布满裂纹和空洞的钢，因此铸铁的抗拉强度与塑性远比钢低。且石墨数量越多，尺寸越大，石墨对基体的削弱作用也愈大。

### 2.可锻铸铁

可锻铸铁又叫马铁或展性铸铁，它是由白口铸铁经退火处理而得到的一种铸铁，其中石墨呈团絮状，因而大大减弱了对基体的割裂作用，与普通灰铸铁相比，具有较高的机械性能，尤其具有较高的塑性和韧性。根据基体不同，可锻铸铁可分铁素体可锻铸铁及珠光体可锻铸铁。



（a）铁素体基体可锻铸铁（100X）

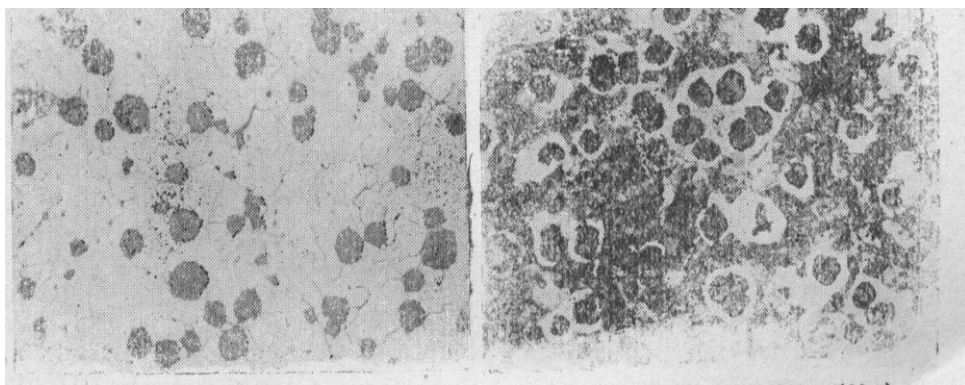
（b）珠光体基体可锻铸铁（320X）

浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液

### 3.球墨铸铁

它是用镁、钙及稀土元素（铈族元素）球化剂进行球化处理，使石墨变为球状。由于石墨呈球状对基体的削弱作用最小，使球墨铸铁的金属基体强度利用率高达 70~90%（灰铸铁只达到 30%左右），因而其机械性能远远优于普通灰铸铁和可锻铸铁。球墨铸铁的基体也有铁素体、珠光体和铁素体+珠光体三种，在后一种基体中球状石墨的周围总是铁素体，其外层才是珠光体，有如牛眼形状。这是由于共晶转变中形成的石墨是优良的石墨化中心，所以铁素体总是包围着石墨球。目前应用最广泛的是前面两种基体。



(a) 铁素体基体球墨铸铁

放大倍数: 100X

浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液

(b) 铁素体+珠光体基体球墨铸铁

放大倍数: 320X

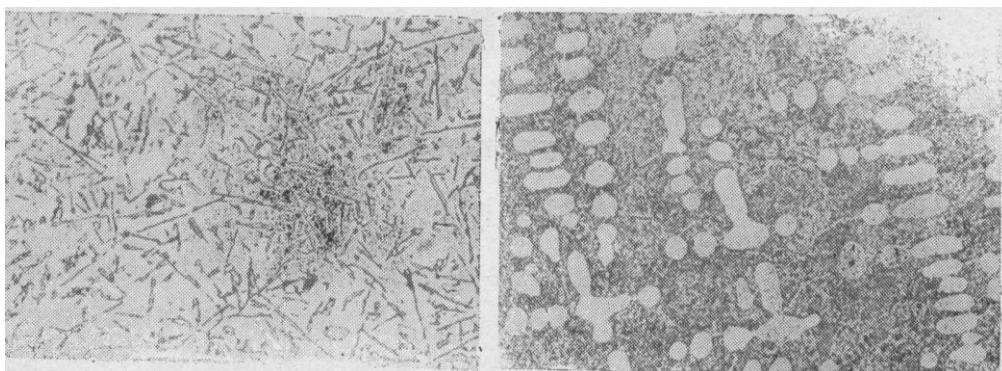
浸蚀剂: 4%硝酸酒精溶液

### (三) 有色金属

#### 1. 铝合金

① 铸造铝合金: 应用最广泛的铸造铝合金为含有大量硅的铝合金, 即所谓硅铝明。典型的硅铝明牌号为 ZL102。含硅 11~13%, 成分在共晶成分附近, 因而具有优良的铸造性能——流动性好, 铸件致密, 不容易产生铸造裂纹。铸造后几乎全部得到共晶组织即灰色的粗大针状的共晶硅分布在发亮的铝的 $\alpha$  固溶体的基体上, 这种粗大的针状硅晶体严重降低合金的塑性。

为提高硅铝明的力学性能, 通常进行变质处理, 即在浇注前向合金溶液中加入占合金重量 2~3% 的变质剂 (常用  $2/3\text{NaF}+1/3\text{NaCl}$ )。处理后使共晶点从 11.6%Si 右移, 故使原来的合金变为了亚共晶组织, 其组织为初生 $\alpha$  固溶体枝晶 (亮底) 及细的共晶体 ( $\alpha + \text{Si}$ ) (黑底), 由于共晶中的硅呈细



(a) 未经变质处理 (100X)

浸蚀剂: 0.5%HF 溶液

(b) 已变质处理 (100X)

浸蚀剂: 0.5%HF 溶液

小圆形颗粒, 因而使合金的强度与塑性提高。

② 形变铝合金: 硬铝 Al—Cu—Mg 系时效合金, 是重要的形变铝合金。由于它的强度大和硬度高, 故称为硬铝。在国外又称为杜拉铝。近代机器制

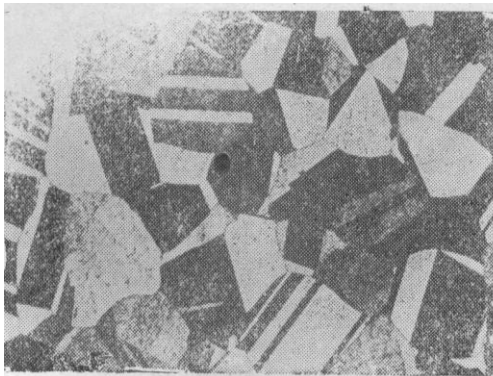
造和飞机制造业中得到广泛应用。在合金中形成了  $\text{CuAl}_2$  ( $\theta$  相) 和  $\text{CuMgAl}_2$  ( $S$  相)。这两个相在加热时均能溶入合金的固溶体内, 并在随后的时效热处理过程中通过形成“富集区”、“过渡相”而使合金达到强化。而后者 ( $S$  相) 在合金强化过程中的作用更大, 因之, 常把它称为强化相。

硬铝的自然时效组织与淬火组织毫无区别。由不同方位的固溶体晶粒组成 (在光学显微镜下  $G$ 、 $P$  区是无法辨认的), 只能通过  $X$ —光线结构分析及电子衍射来证实。

## 2. 黄铜

①  $\alpha$  单相黄铜: 含锌在 36% 以下的黄铜属单相  $\alpha$  固溶体, 典型牌号有  $H70$  (即三七黄铜)。铸态组织:  $\alpha$  固溶体呈树枝状 (用氯化铁溶液腐蚀后, 枝晶主轴富铜, 呈亮色, 而枝间富锌呈暗色), 经变形和再结晶退火其组织为多边形晶粒, 有退火变晶。由于各种晶粒方位不同, 所以具有不同的颜色。退火处理后的  $\alpha$  黄铜能承受极大的塑性变形, 可以进行冷加工。

②  $\alpha + \beta$  两相黄铜: 含锌为 36—45% 的黄铜为  $\alpha + \beta'$  两相黄铜, 典型牌号有  $H62$ 。在室温下  $\beta'$  相较  $\alpha$  相硬得多, 因而只能承受微量的冷态变形, 但  $\beta'$  相在  $600^\circ\text{C}$  以上即迅速软化, 因此可以进行热加工。



单相黄铜 ( $H70$ ) 的显微组织

放大倍数: 100X

浸蚀剂: 3%  $\text{FeCl}_2$  + 10%  $\text{HCl}$  溶液



两相黄铜 ( $H62$ ) 的显微组织

放大倍数: 100X

浸蚀剂: 3%  $\text{FeCl}_2$  + 10%  $\text{HCl}$  溶液

## 3. 巴比合金

① 锡基巴比合金：主要有 ZChSnSb11—6，含 11% Sb，6% Cu。合金含 11% Sb 可以形成软的 $\alpha$  固溶体（锑在锡中的 $\alpha$  固溶体）基体及少量镶嵌在基体上的 $\beta'$ （以化合物 SnSb 为基的 $\beta'$  固溶体）两相组织，铜加入可形成  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ，避免比重偏析产生。黑色基体 $\alpha$ （软基）和具有方形和三角形的白色粗晶为 $\beta'$  固溶体（硬质点），白色针状和星状的是化合物  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  晶体，也是硬质夹杂。这种轴承合金摩擦系数小，硬度适中，疲劳抗力高，是一种优良的轴承合金。但价格较贵，只用于最重要的轴承上。

② 铅基巴比合金：ZChPbSn16—16—2 是最常用的铅基轴承合金，属于过共晶合金，其组织：白色方块为初生相 $\beta$  相（SnSb），花纹状软基体是 $\alpha$ （Pb）+  $\beta$  共晶体。白色针状晶体是化合物  $\text{Cu}_2\text{Sb}$ 。化合物  $\text{Cu}_2\text{Sb}$ ，SnSb 是合金中的硬质点。这种轴承合金含锡量少，成本较低，铸造性能及耐磨性较好。一般用于中、低载荷的轴瓦。

#### 四、实验要求

##### （一）.实验材料及设备

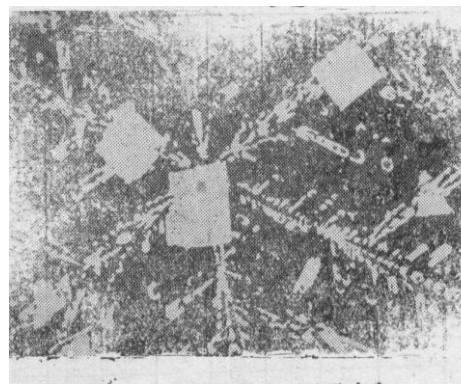
- 1.金相显微镜
- 2.合金钢、铸铁和有色金属金属样品
- 3.相应金相图册

##### （二）实验步骤

- 1.观察几种合金钢组织的特征。分析其成分、组织和性能的关系。
- 2.观察几种铸铁组织的特征。分析其组织的形成。
- 3.比较变质处理与未变质处理的硅铝明的显微组织。
- 4.了解铜合金和轴承合金的组织特征。
- 5.将所观察到的金相组织，用示意图画出。

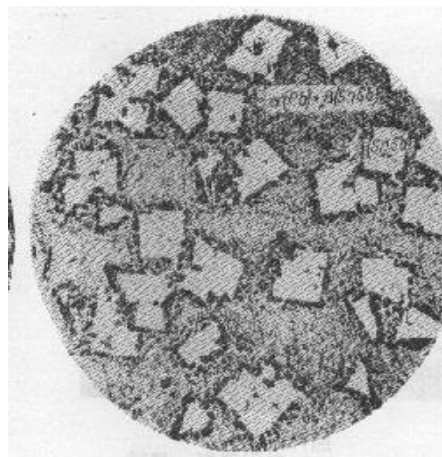
#### 五、实验报告要求

- 1.明确实验目的
- 2.根据组织观察，分析合金的显微组织特征以及组织对性能的影响。



ZChSnSb11—6 轴承合金  
的显微组织

浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液



ZChPbSn16—16—2 的  
显微组织

浸蚀剂：4%硝酸酒精溶液