

**内容提要** 本手册主要介绍铸造有色合金用的实际数据资料。全书共分七章：第一章为基本知识；第二章至第五章本着以铝、铜合金为主的原则，详细介绍了铸造有色合金（铝合金、铜合金、锌合金及轴承合金）的合金材料、熔炼工艺、铸造工艺（以砂型铸造工艺为主）、铸件清理、铸造缺陷及修补等；第六章概要地介绍了有色合金熔炉；最后一章提供了有色合金铸造生产中常用的金属材料和非金属材料的技术规格。此外，书末编有附录。

本书可供从事有色合金铸造生产的工人和技术人员使用，也可供大专院校铸造专业师生参考。

## 铸造有色合金手册

《铸造有色合金手册》编写组 编

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·印张25<sup>1</sup>/<sub>8</sub>·插页3·字数 667千字

1978年4月北京第一版·1978年4月北京第一次印刷

印数：00,001—23,000·定价2.45元

统一书号：15033·434

# 目 录

## 前 言

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一章 基本知识 .....             | 1  |
| 第一节 金属学基本知识 .....          | 1  |
| 一、金属的结晶过程 .....            | 1  |
| 二、状态图 .....                | 2  |
| 三、金相检验 .....               | 15 |
| 四、常用机械性能的概念及符号 .....       | 18 |
| 第二节 有色合金熔炼基本知识 .....       | 19 |
| 一、金属液温度的均匀性 .....          | 19 |
| 二、金属液的蒸发和沸腾 .....          | 20 |
| 三、溶解热 .....                | 22 |
| 四、气体的溶解和除气 .....           | 23 |
| 五、金属液的氧化、脱氧和固态氧化物的去除 ..... | 25 |
| 六、晶粒细化 .....               | 31 |
| 第三节 铸件的凝固 .....            | 33 |
| 一、铸件的凝固方式 .....            | 33 |
| 二、影响铸件凝固的因素 .....          | 33 |
| 三、铸件凝固的控制 .....            | 35 |
| 第四节 合金的铸造性能及其测定 .....      | 36 |
| 一、流动性 .....                | 37 |
| 二、收缩 .....                 | 40 |
| 三、热裂 .....                 | 45 |
| 四、铸造应力 .....               | 48 |
| 五、偏析 .....                 | 51 |
| 六、吸气 .....                 | 54 |
| 七、气密性 .....                | 58 |
| 第五节 造型材料及其性能测定 .....       | 59 |
| 一、型、芯砂及其性能测定 .....         | 59 |
| 二、铸造用原砂及其性能测定 .....        | 62 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 三、铸造用粘土及其性能测定 .....      | 80  |
| 第二章 铸造铝合金 .....          | 89  |
| 第一节 铸造铝合金材料 .....        | 89  |
| 一、铸造铝合金的成分和分组 .....      | 89  |
| 二、铸造铝-硅合金 .....          | 89  |
| 三、铸造铝-铜合金 .....          | 127 |
| 四、铸造铝-镁合金 .....          | 137 |
| 五、铸造铝-锌合金 .....          | 147 |
| 六、铸造铝合金的金相检验 .....       | 152 |
| 七、铸造铝合金的机械性能 .....       | 168 |
| 八、铸造铝合金的物理性能 .....       | 180 |
| 九、铸造铝合金的铸造性能和应用 .....    | 184 |
| 第二节 铸造铝合金的熔炼 .....       | 187 |
| 一、铸造铝合金熔炼的冶金过程 .....     | 187 |
| 二、铸造铝合金的熔炼工艺 .....       | 203 |
| 三、废料重熔 .....             | 240 |
| 四、浇注 .....               | 242 |
| 第三节 铝合金的砂型铸造工艺 .....     | 245 |
| 一、铸造工艺对零件结构的要求 .....     | 245 |
| 二、确定铸造工艺方案的原则 .....      | 250 |
| 三、浇注系统 .....             | 251 |
| 四、冒口 .....               | 267 |
| 五、冷铁 .....               | 276 |
| 六、常用铸造工艺参数 .....         | 283 |
| 七、型砂、芯砂及涂料 .....         | 290 |
| 八、铝铸件砂型工艺实例 .....        | 300 |
| 第四节 铝合金的细孔铸造与增压铸造 .....  | 329 |
| 一、细孔铸造 .....             | 329 |
| 二、增压铸造 .....             | 333 |
| 第五节 铝合金的金属型铸造与低压铸造 ..... | 336 |
| 一、金属型铸造 .....            | 336 |
| 二、低压铸造 .....             | 341 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第六节 铸件的清理、铸造缺陷及修补 .....  | 351 |
| 一、铸件的清理 .....            | 351 |
| 二、铸件的缺陷及其预防 .....        | 352 |
| 三、铸件缺陷的修补 .....          | 357 |
| 第七节 铝铸件的热处理 .....        | 363 |
| 一、热处理的目的是分类 .....        | 363 |
| 二、铝铸件热处理的特点 .....        | 366 |
| 三、热处理规范和操作 .....         | 370 |
| 四、热处理缺陷及其消除方法 .....      | 378 |
| 五、热处理用炉 .....            | 380 |
| 第三章 铸造铜合金 .....          | 383 |
| 第一节 铸造铜合金材料 .....        | 383 |
| 一、纯铜（紫铜） .....           | 383 |
| 二、青铜 .....               | 387 |
| 三、黄铜 .....               | 406 |
| 四、铸件壁厚对铜合金机械性能的影响 .....  | 422 |
| 五、合金元素及杂质对铜合金的影响总表 ..... | 422 |
| 六、铜合金金相检验资料 .....        | 430 |
| 第二节 铸造铜合金的熔炼 .....       | 434 |
| 一、熔炼铜合金的冶金过程 .....       | 434 |
| 二、铸造铜合金的熔炼工艺 .....       | 445 |
| 三、铜合金熔炼过程的控制 .....       | 485 |
| 第三节 铜合金的砂型铸造工艺 .....     | 488 |
| 一、确定铜合金铸造工艺方案的原则 .....   | 488 |
| 二、浇注系统的尺寸 .....          | 490 |
| 三、冒口 .....               | 506 |
| 四、冷铁 .....               | 512 |
| 五、工艺参数 .....             | 515 |
| 六、型砂、芯砂及涂料 .....         | 516 |
| 七、铜铸件砂型工艺实例 .....        | 520 |
| 第四节 铜合金的金属型铸造和离心铸造 ..... | 551 |
| 一、金属型铸造 .....            | 551 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 二、离心铸造 .....               | 552 |
| 第五节 铜合金铸件的清理、铸造缺陷及修补 ..... | 558 |
| 一、铸件的清理 .....              | 558 |
| 二、铜铸件的缺陷及其预防 .....         | 563 |
| 三、铸件缺陷的修补 .....            | 572 |
| 第六节 铜铸件的热处理 .....          | 583 |
| 一、铜合金的热处理特点 .....          | 583 |
| 二、各种铜合金的热处理规范 .....        | 584 |
| 第四章 铸造锌合金 .....            | 585 |
| 第一节 铸造锌合金材料 .....          | 585 |
| 一、铸造锌合金概述 .....            | 585 |
| 二、合金元素在锌合金中的作用 .....       | 589 |
| 三、铸造锌合金的牌号、化学成分及性能 .....   | 591 |
| 第二节 铸造锌合金的熔炼 .....         | 593 |
| 一、原材料的选用与准备 .....          | 593 |
| 二、锌合金的熔炼 .....             | 593 |
| 三、炉前检验 .....               | 595 |
| 第五章 轴承合金 .....             | 596 |
| 第一节 轴承合金材料概述 .....         | 596 |
| 一、对轴承合金材料的性能要求 .....       | 596 |
| 二、轴承合金的分类 .....            | 598 |
| 第二节 锡锑轴承合金 .....           | 598 |
| 一、锡锑轴承合金概述 .....           | 598 |
| 二、锡锑轴承合金的牌号、性能及其应用 .....   | 600 |
| 第三节 铅锑轴承合金 .....           | 603 |
| 一、铅锑轴承合金概述 .....           | 603 |
| 二、铅锑轴承合金的化学成分、性能及其应用 ..... | 606 |
| 第四节 锡锑、铅锑轴承合金的熔铸 .....     | 611 |
| 一、轴承钢壳的清洗与挂锡 .....         | 611 |
| 二、轴承合金的熔制 .....            | 614 |
| 三、轴承合金的浇注 .....            | 616 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 四、锡、铅铟合金轴承浇注质量检验及缺陷分析 .....        | 632 |
| 五、锡铟、铅铟轴承合金显微组织金相试剂 .....          | 634 |
| 六、锡、铅铟轴承合金的回收 .....                | 637 |
| 第五节 铜铅轴承合金 .....                   | 638 |
| 一、铜铅轴承合金概述 .....                   | 638 |
| 二、铜铅轴承合金 ZQPb30 的化学成分、性能及其应用 ..... | 643 |
| 三、铜铅合金 ZQPb30 轴承离心铸造工艺 .....       | 648 |
| 四、铜铅合金 ZQPb30 轴承静止浇注工艺 .....       | 654 |
| 五、铜铅合金轴承浇注质量检验 .....               | 656 |
| 六、铜铅合金轴承常见缺陷及防止方法 .....            | 657 |
| 第六节 铝基轴承合金 .....                   | 659 |
| 一、铝基轴承合金概述 .....                   | 659 |
| 二、铝基轴承合金的牌号、化学成分、性能及应用 .....       | 663 |
| 三、铝合金-钢板双金属轴瓦材料概述 .....            | 665 |
| 第六章 有色合金熔炉 .....                   | 668 |
| 第一节 各种熔炉的结构与性能 .....               | 668 |
| 一、坩埚炉 .....                        | 668 |
| 二、感应电炉 .....                       | 681 |
| 三、反射炉 .....                        | 696 |
| 四、电弧炉 .....                        | 701 |
| 五、无声碳极电阻炉 .....                    | 701 |
| 第二节 熔炉的选择 .....                    | 704 |
| 第七章 金属材料和非金属材料 .....               | 706 |
| 第一节 金属材料 .....                     | 707 |
| 纯金属 .....                          | 707 |
| 第二节 非金属材料 .....                    | 723 |
| 一、铸造有色合金用造型原砂的主要矿源及产品 .....        | 723 |
| 二、铸造有色合金用造型粘土的主要矿源及产品 .....        | 728 |
| 三、耐火材料 .....                       | 731 |
| 四、其他非金属材料 .....                    | 735 |
| 附录 .....                           | 756 |

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| 1. 常用单位及其换算             | 756           |
| 附表1 公制计量单位表             | 756           |
| 附表2 其他常用单位及其换算关系        | 757           |
| 附表3 长度单位换算表             | 760           |
| 附表4 面积和地积单位换算表          | 762           |
| 附表5 体积和容积(容量)单位换算表      | 764           |
| 附表6 重量单位换算表             | 766           |
| 2. 常用数学数据               | 768           |
| 附表7 常用数学符号              | 768           |
| 附表8 常见几何图形的面积           | 769           |
| 附表9 常见几何体的体积及侧面积        | 770           |
| 附表10 乘方、方根、圆周长、圆面积及倒数表  | 773           |
| 3. 常用理化数据               | (774~775之间插页) |
| 附表11 元素周期表              | (774~775之间插页) |
| 附表12 元素的晶体结构            | 776           |
| 附表13 常用盐类物质的物理性质        | 780           |
| 4. 热电偶分度表               | 781           |
| 附表14 铂铑-铂热电偶分度表         | 781           |
| 附表15 镍铬-镍硅(镍铬-镍铝)热电偶分度表 | 786           |
| 附表16 镍铬-考铜热电偶分度表        | 790           |
| 5. 国内外常用工业标准代号          | 793           |
| 附表17 国内外常用工业标准代号表       | 793           |

# 第一章 基本知识

## 第一节 金属学基本知识

### 一、金属的结晶过程

金属在一般情况下皆为多晶体，即由许多晶粒组成(图 1-1)。这是由金属的结晶过程所决定的(图 1-2)。金属的结晶由两个阶段完成：成核与长大。即在液体金属的各处，首先生成尺寸微小的结晶核，然后这些结晶核逐渐长大，液体金属逐渐被消耗，最后全部液体变为固体。一个晶体在各方向的成长速度并不一样，在某些方向的成长速度比另一些方向的大，其结果形成如图 1-2 所示的树枝状结晶。一个枝状晶在成长到一定程度，便与其周围另一些枝状晶相碰而受阻碍，这时晶粒不能继续长大，余下的液体金属就在枝晶间凝固，同时形成各晶粒的接触面即晶界。一

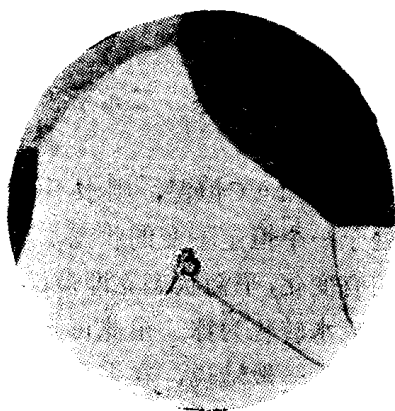


图1-1 金属的多晶结构

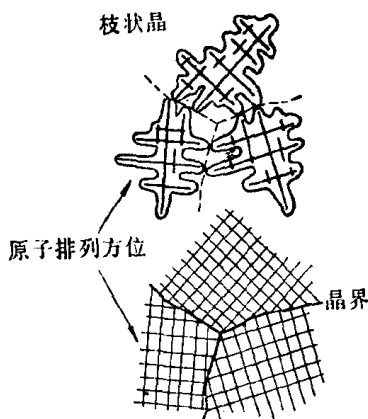


图1-2 金属凝固过程示意图



般来说相邻各晶粒的方位各不相同。

由以上结晶过程可知，当开始形成的晶核数越多，则金属的晶粒数也将越多，晶粒就变得很细；在相反的情况下就形成粗大晶粒。如果液体金属只形成一个结晶核，则金属便凝固成单晶体。

了解了金属的结晶过程，便可以人为地控制该过程，从而改善金属材料性能。在铸造生产中广泛应用的变质处理便是一例。

## 二、状态图

### 1. 相、组元及相平衡的概念

如果一容器内同时装有水和冰，称容器内有二个相：固相和液相。这二相皆由一个组元  $H_2O$  所组成。糖溶于水时形成一个均匀的相：糖水；该液相由糖和水二个组元组成。如水和油同装在一容器内，则二个组元形成二个相。

由以上例子可知，相是体系内的各个均匀部分，相与相之间有分界面。组元是组成体系内各相的物质，它的量不受其它组元的约束而独立变化。如任意改变糖和水量，可制取不同甜度的糖水，即糖和水是独立变量，因此为该体系的二个组元。不能把氢和氧看成为糖水这个体系中的组元，因为氢和氧只能在一定比例下（二个氢原子和一个氧原子）才能组成水分子，而不能任意改变，它们在体系内不是独立变量。

根据体系内的组元数，可将体系分为单元系、二元系和三元系等。

在第一个例子中，如保持一大气压和  $0^\circ C$  恒温，则水不能继续冻结，冰也不能化开，水和冰处于一个恒定不变的状态，称为二相平衡。如果这时温度或压力稍有变化，平衡状态立即被破坏，冰转化为水（温度或压力升高时）或水转化为冰。由此可知，体系的状态受温度、压力等因素的支配。一般地说，在多元系，状态由温度、压力及组元的浓度来决定。在研究合金状态时，总是将压力固定为一大气压，因此可以认为温度和浓度是决定状态的

两个因素。

## 2. 合金中的相

合金中出现的相有三种：纯金属、固溶体和金属间化合物。

### 固溶体

在固态下  $B$  金属溶于  $A$  金属而形成的相称为固溶体。

根据晶体结构固溶体可分为二种：置换型固溶体和侵入型固溶体。如图 1-3 所示，前者是  $B$  金属的原子占住了  $A$  金属原子的位置，而后者则是  $B$  金属的原子硬侵入到  $A$  金属的原子间的空隙中。金属元素之间形成的固溶体一般为置换型固溶体，而金属元素和原子半径与之相差很大的非金属元素之间一般容易形成侵入型固溶体。如碳、氢、氮、硼等元素固溶于金属中，便是这种情况。

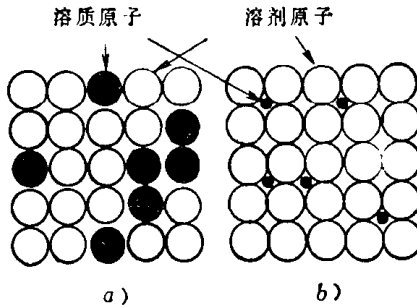


图1-3 a—置换型固溶体；b—侵入型固溶体

### 有序、无序化转变

由图 1-3 可知，无论置换型固溶体或侵入型固溶体，其中的原子排列都是无秩序的。

有些固溶体，在高温下表现为无秩序（图 1-4 a），而在低温下保温较长时间或缓慢冷却时，原子的排列便转为有秩序的（图 1-4 b）。这种转化称为有序化转变。

有序、无序化转变与相变不同：相变是在一定的转化温度晶格本身发生变化；而有序、无序化转变，在转化点只有原子排列

上的变化趋势，要完全转变还需要一个相当宽的温度范围。

原子排列转为有序后，金属某些性能有变化，如导电率有所提高等。含 Zn39~58% 的黄铜，在 454~468 °C 发生有序无序化转变。

### 金属间化合物

在铝-铜合金中，如果选择适当的成分，一个铜原子便与二个铝原子结合，生成分子式为  $\text{CuAl}_2$  的金属间化合物。这个金属间化合物是铝-铜合金中的一种重要组成相。

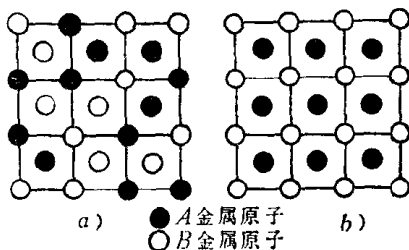


图1-4 a—无序 b—有序排列

有的金属间化合物中的各元素虽然也严格按原子数的一定的整数比来结合，但它与离子化合物不同，不服从各元素的原子价数相等的原则。如在  $\text{CuAl}_2$  中，Al 的原子价总数为  $(+3) \times 2 = +6$ ，如果按原子价结合，Cu 的原子价应为  $-6$ ，而实际上 Cu 的原子价是  $+1$  或  $+2$ 。

金属间化合物具有如下特点：

- (1) 反应生成热小，化合物只在固态下稳定，在液态或气态下一般被分解；
- (2) 组成金属间化合物的金属原子，可被其它溶质原子所置换而形成固溶体；
- (3) 缺少金属所具有的特性，即晶格结构复杂，质硬而脆以及具有较大的电阻率。

### 3. 二元状态图的表示方法

二元状态图，由一纵轴和横轴构成的座标来表示。纵轴表示温度，横轴表示成分（图 1-5）。横轴的两端表示组元 A 和 B，而横轴上的任意点则表示某一种成分的合金。越靠近 A，A 组元的含量越大而 B 组元的含量越少。

如果将横轴分成 100 等分，可直接从横轴上读出各组元的含

量。在合金状态图中，可根据需要分成若干等分，并由A点至B点记数表示B组元的百分含量。

#### 4. 杠杆定律

如果在某温度  $t^{\circ}\text{C}$  有  $\alpha$  和  $\beta$  二相的平衡，则由此二相混合而成的成分为  $C$  的合金（图1-5），其中的  $\alpha$  和  $\beta$  的重量比将服从如下关系：

$$\frac{\alpha \text{ 相的重量}}{\beta \text{ 相的重量}} = \frac{\overline{\beta C}}{\overline{\alpha C}}$$

此式与力学上的杠杆关系相同，即以  $C$  点为支点的杠杆上，在  $\alpha$  端挂有  $\alpha$  相、

$\beta$  端挂有  $\beta$  相而达力学平衡时的情况相同，因此称为杠杆定律。它是在相混合物中衡量各相所占的比例的一个很重要的关系式。

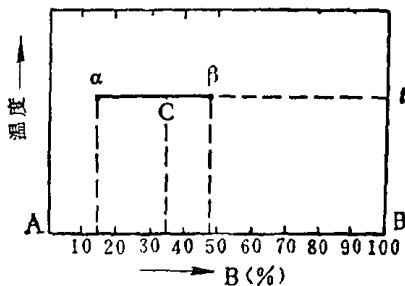


图1-5 合金的杠杆关系

#### 5. 相 律

金属中发生的各种变化都与相平衡有关，由下式表示的相律对分析相平衡及构成相图都是很有用的。

$$F = n + 2 - r$$

式中  $n$  为组元数， $r$  为相数， $F$  为自由度。所谓自由度，就是可以任意变化的状态量的数，即相当于数学中的自变量的数。决定金属状态的量，如前所述有温度、压力及浓度。因研究金属状态时一般将压力固定为一大气压，所以从相律的一般式中应去掉一个状态量，在这种情况下相律的公式变为如下形式：

$$F = n + 1 - r$$

现在试应用相律来分析金属的凝固过程。

纯金属：组元数  $n = 1$ 。相数：在熔融状态或全部凝固后，只有液相或固相，即相数  $r = 1$ ，因此  $F = 1 + 1 - 1 = 1$ ；在凝固阶段，液相和固相共存，即相数  $r = 2$ ，因此  $F = 1 + 1 - 2$

= 0。

纯金属在熔融状态或全部凝固后，其自由度  $F = 1$ ，即有一个状态量可以任意变化而不改变金属的存在状态。这个状态量是什么呢？压力已经固定为一大气压，由于是纯金属，浓度也是一定的，所以任意变化的量只能是温度。在凝固阶段  $F = 0$ ，说明温度也不能变化，换句话说，纯金属的凝固是在一定的温度下进行的，一旦温度发生变化，便表明已经不存在固液两相共存的状态。

二元合金：组元数  $n = 2$ ，因此随着  $r = 1, 2, 3$  而变时， $F$  则变为  $2, 1$  或  $0$ 。当  $r = 2$  时  $F = 1$ ，即当固定温度或浓度中的一个状态量时，其余一个状态量可以任意变化而不改变二相共存状态。当  $r = 3$  时  $F = 0$ ，即一个确定成分的合金在一定的温度下才有三相共存的状态。

## 6. 各种类型的二元合金状态图

实际的合金状态图看起来十分复杂，但不外乎由均晶型、共晶型、包晶型、偏晶型和生成金属间化合物的五种基本型组合而成。

下面简单分析它们的特点。

### 均晶型

所谓均晶，是指 A、B 二组元无论在液态下或在固态下不受其浓度限制都能互相完全溶解而形成固溶体。图 1-6 为典型的均晶型状态图，由图可以了解以下三点：

1)  $A'$  和  $B'$  分别为 A、B 二组元的熔点。液相线

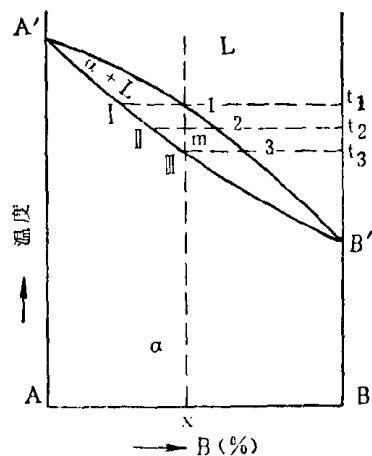


图 1-6 均晶型状态图

A'123B' 以上为液相区 (L 相区), 固相线 A' I II III B' 以下为固相区 ( $\alpha$  相区), 液相线和固相线之间为 A、B 二组元的溶液和固溶体共存区 ( $\alpha + L$  相区)。

2) 液体金属在液相线开始凝固, 到固相线凝固完毕; 在凝固阶段, 固、液二相的重量比始终服从杠杆定律。

如成分为  $x$  的合金, 由液相进行冷却时, 温度降到  $t_1$  便开始析出  $\alpha$  固相与液相相平衡。温度继续下降到  $t_2$  时, 有  $(L)_2$  与  $[\alpha]_I$  的平衡, 它们的重量比则服从杠杆定律:

$$\frac{(L)_2 \text{ 的重量}}{[\alpha]_I \text{ 的重量}} = \frac{II m}{m_2}$$

式中  $(L)_2$ ——浓度为 2 的液相 L;

$[\alpha]_I$ ——浓度为 I 的固相  $\alpha$ 。

温度下降到  $t_3$ , 即到了固相线, 全部合金凝固成固溶体  $[\alpha]_I$  或写成  $[\alpha]_3$ , 它的量相当于 III 3, 用杠杆定律可写成:

$$\frac{(L)_3 \text{ 的重量}}{[\alpha]_I \text{ 的重量}} = \frac{0}{III 3}$$

式中 0 表示  $(L)_3$  已经不存在。

3) 在凝固阶段, 固相与液相的浓度不断发生变化; 固相的浓度沿固相线变化, 而液相的浓度则沿液相线变化。

仍以  $x$  成分的合金为例分析。在  $t_1$ , 开始析出的是  $[\alpha]_I$ , 即比起合金浓度  $x$  含 A 组元较多而含 B 组元较少。随着温度下降,  $\alpha$  相中的 B 组元浓度沿固相线 I II III 而增加, 最后于 III 点达到合金浓度  $x\%$ 。至于液相的情况, 因开始析出的固相, 其中含 A 组元较多, 所以与之平衡的液相中 A 组元相应减少。随着比合金浓度  $x$  含 A 较多的固相不断析出, 剩下的液相中含 A 量也不断降低, 即液相中的 A 组元浓度沿液相线 123 而下降, 与此同时 B 组元的浓度则沿此线而增加, 直至 3 点液相全部消失为止。

在此, 值得注意的是, 固相的浓度变化, 是通过固溶体中各组元的扩散作用来完成, 因此只有在冷却过程足够缓慢的条件下才能使业已结晶出来的晶粒不断改变其浓度, 成为内外均匀的相。

在铸造条件下实际上不能实现这样缓慢的凝固过程，所以每个晶粒的中心处和其外层的浓度是不一致的，这种现象称为晶间偏析。结晶温度间隔越大和冷却速度越快，晶间偏析的倾向也越大。

图 1-7 为特殊类型的均晶型状态图，在纯金属 A 有同素异型转化时形成此类图。

### 共晶型

共晶反应的特点，是由液相同时析出相互被混合均匀的二种固相，该混合物或由 A、B 二组元组成，或由它们的二种固溶体所组成。这种均匀的机械混合物称为共晶体。

图 1-8 为典型的共晶反应型状态图。可将其内容作如下几点说明：

1) 特性线的含义：

A'e—— $\alpha$  固溶体的液相线，  
或称  $\alpha$  相的初晶线；

B'e—— $\beta$  固溶体的液相线，  
或称  $\beta$  相的初晶线；

A'E—— $\alpha$  相的固相线；

B'E'—— $\beta$  相的固相线；

EE'——共晶线；

EM——B 在 A 中的溶解度  
线；

E'M'——A 在 B 中的溶解度线；

各区域中的相如图 1-8 所示。

2) 因为共晶反应的特点，是从一个液相同时析出两个固相，所以发生共晶反应时有三相相平衡。根据相律  $F = 0$ ，即一定浓度的液相在一定的温度（共晶温度）下才能发生共晶反应。如

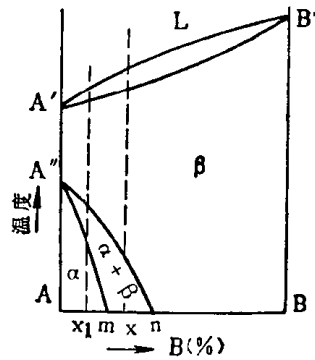


图 1-7 特殊类型的固溶型状态图

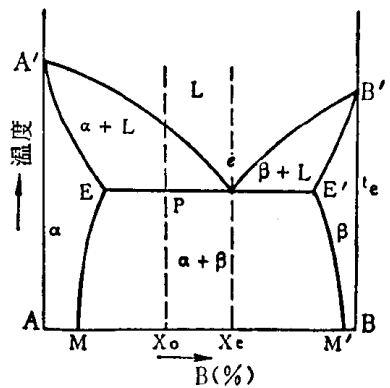
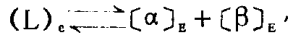


图 1-8 共晶型状态图

图中  $x_e$  浓度的液相，温度降至共晶温度  $t_e$  时发生如下共晶反应：



共晶体中各相的重量比为：

$$\frac{[\alpha]_E}{[\beta]_{E'}} = \frac{\overline{eE'}}{\overline{Ee}}$$

共晶反应结束，液相全部消失后，如果以缓慢的速度继续冷却合金，则  $\alpha$  与  $\beta$  的浓度各沿其溶解度线  $EM$  和  $E'M'$  而变化，到了常温即变为  $[\alpha]_M + [\beta]_{M'}$  的共晶体。

3) 成分在共晶线  $EE'$  范围内的合金，即使其浓度不为  $x_e$ ，也都发生共晶反应。这是因为当合金凝固时首先析出初晶后，到了共晶温度总要剩下浓度为  $x_e$  的液相的缘故。如成分为  $x_0$  的合金，冷却到  $t_e$  时除初晶  $[\alpha]_E$  外还有液相  $(L)_e$  与之相平衡。其重量比为：

$$\frac{[\alpha]_E}{(L)_e} = \frac{\overline{Pe}}{\overline{EP}}$$

重量相当于  $\overline{EP}$  的液相  $(L)_e$ ，在共晶温度下具有共晶浓度，故由此便发生共晶反应。

图 1-9 为由二种纯金属之间发生共晶反应的状态图。

图 1-10 为共晶型状态图的特殊形式，在 A 组元有同素异型转

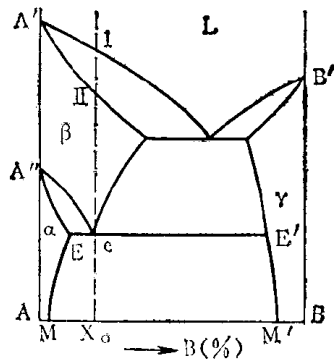
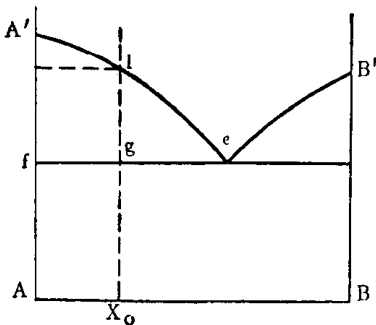
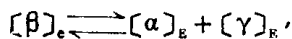


图1-9 由纯金属之间形成共晶体的状态图

图1-10 共析型状态图

化时形成。在  $e$  点发生类似共晶反应的转化（称共析转化）：





此类反应因在固相之间进行，所以其反应速度一般是比较慢的。

**包晶型**

包晶反应的特点，是在一种液相和一种固相之间发生反应，生成另一种固相。即有三相共存状态，根据相律  $F = 0$ ，因此只有一定浓度的液相和固相，在一定的温度下才发生包晶反应。

图 1-11 为典型的包晶型状态图。除在包晶线 ( $pP'P$ ) 和包晶点 ( $P'$ ) 发生的转化以外，其余部分与前面讨论的情况相同。现举  $x_p$ 、 $x_o$  和  $x_l$  三种成分的合金，研究包晶反应过程。

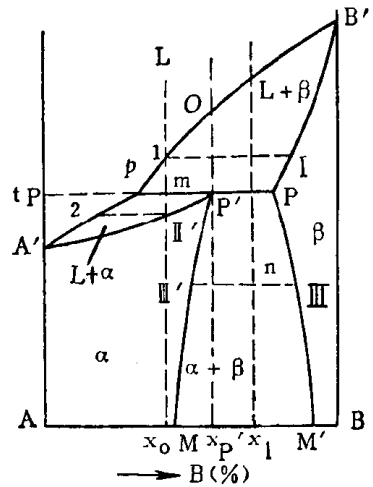
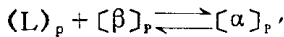


图1-11 包晶型状态图

$x_p$  合金：高温下为均匀的 L 相；温度降至与液相线相遇的 O 点，开始析出固溶体  $\beta$ ；随温度继续下降，不断析出  $\beta$  相，L 与  $\beta$  的浓度则各沿  $B'p$  和  $B'P$  而变化。当温度降到包晶温度  $tP$  时液相与固相的浓度各变为  $(L)_p$  和  $(\beta)_p$ ，这二相之间便发生如下包晶反应：



即合金全部转化成浓度为  $P'$  的  $\alpha$  固溶体。因  $P'$  点恰好在  $\alpha$  固溶体的溶解度线上 ( $(\alpha)_{p'}$  为被 B 组元饱和的固溶体)，所以当温度进一步下降时，从  $\alpha$  相晶界重新析出  $\beta$  相。

值得注意的是，只有在液相  $(L)_p$  与固相  $(\beta)_p$  的重量比符合杠杆定律所示的比例 ( $(L)_p : (\beta)_p = \overline{P'P} : \overline{pP'}$ ) 时，反应结束后  $(L)_p$  与  $(\beta)_p$  才被全部消失，否则反应生成新相  $\alpha$  后仍残留部分  $(L)_p$  或  $(\beta)_p$ 。在下面的例子中可以看到这点。

$x_o$  合金：温度降至  $m$  点时有  $(L)_p$  与  $(\beta)_p$  固液二相相平衡，在此温度下这二相发生包晶反应而析出新的固相  $\alpha$ 。但是本成分合