

# 铸造工艺学

湖南大学铸造教研室编



湖南人民出版社

# 铸 造 工 艺 学

湖南大学铸造教研室编

湖南人民出版社

1973年7月

# 铸造工艺学

湖南大学铸造教研室编

\*

湖南人民出版社出版

湖南省新华书店发行

湖南省新华印刷一厂印刷

\*

1974年7月第1版第1次印刷

印数：1—30,000册

统一书号：15102·92 定价：1.00元

## 毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

自然科学是人们争取自由的一种武装。……人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

中国靠我们来建设，我们必须努力学习。

## 编 者 的 话

随着社会主义革命和社会主义建设事业的蓬勃发展，机械工厂铸造新工人迅速增加，许多工厂业余技术教育和工人自学都要求有一本合适的教材。为了适应这种需要，我们在原编的铸造工人夜校教材《铸造工艺学》的基础上，广泛听取了铸造工人和技术人员的意见，在内容、分量和深度方面都作了较大的修改和补充。

这本《铸造工艺学》的主要特点是：①内容以砂型铸造铸件为主，兼顾了铸钢、有色金属及各种基本的特种铸造方法，并对铸件缺陷产生的原因及防止方法作了分析；②叙述方式尽量以生产工艺过程为线索，保持了相关联内容的密切联系，但删除了生产中常见易懂的操作说明，而围绕着优质、高产、低成本的生产铸件进行分析论述，并增补了必要的基础理论知识；③取材力求来自湖南省内有关工厂生产经验，也适当引用了外地经验和有关资料，以便参考对比。

由于我们的思想水平和业务能力有限，加之编写教材的经验不足，本书中可能有不少缺点和错误，恳切地希望读者批评指正。

在本教材的编写、修订过程中，得到了湖南动力机械厂和湖南机床厂等单位的大力支持和热情帮助，在此顺致谢意。

湖南大学铸造教研室

1973年7月

# 目 录

<b>第一章 合金的性能</b> .....	( 1 )
第一节 合金的机械性能.....	( 1 )
第二节 铁碳状态图.....	( 5 )
第三节 合金的铸造性能.....	( 18 )
<b>第二章 铸铁及其熔炼</b> .....	( 25 )
第一节 铸铁的分类、组织与性能.....	( 25 )
第二节 各种铸铁的特性、用途及制造方法.....	( 31 )
第三节 铸铁的冲天炉熔炼.....	( 51 )
<b>第三章 铸钢及其熔炼</b> .....	( 98 )
第一节 铸钢的分类及牌号.....	( 98 )
第二节 电弧炉炼钢.....	(102)
第三节 其他炼钢方法.....	(117)
第四节 铸钢件的热处理.....	(123)
<b>第四章 铸造用有色合金及其熔炼</b> .....	(129)
第一节 铜合金及其熔炼.....	(129)
第二节 铝合金及其熔炼.....	(148)
第三节 轴承合金.....	(157)
<b>第五章 造型材料</b> .....	(164)
第一节 造型材料应具备的性能.....	(164)
第二节 造型原材料的选用.....	(172)
第三节 粘土砂混合料的配制.....	(185)
第四节 水玻璃砂的配制.....	(200)
第五节 自硬砂和流态自硬砂的配制.....	(206)

第六节	油砂和合脂砂的配制	(214)
第七节	涂料的配制	(225)
<b>第六章</b>	<b>模型制造</b>	(231)
第一节	铸件浇注位置和分型面的选择	(232)
第二节	造型方法的选择	(240)
第三节	制芯方法的选择	(257)
第四节	铸造工艺参数的选定	(263)
<b>第七章</b>	<b>砂型制造</b>	(292)
第一节	造型制芯的基本工艺	(292)
第二节	铸铁件的浇注系统	(301)
第三节	其他合金的浇注系统特点	(324)
第四节	冒口、冷铁和铸筋	(339)
第五节	铸型的烘干工艺	(358)
第六节	铸型的合箱工艺	(366)
<b>第八章</b>	<b>铸件缺陷分析及防止方法</b>	(376)
第一节	铸件的孔眼缺陷	(380)
第二节	铸件的裂纹缺陷	(388)
第三节	铸件的表面缺陷	(392)
第四节	铸件形状、尺寸和重量不合格	(400)
第五节	铸件成分、组织及性能不合格	(405)
第六节	铸件缺陷的修补	(413)
<b>第九章</b>	<b>特种铸造</b>	(418)
第一节	金属型铸造	(418)
第二节	压力铸造	(430)
第三节	离心铸造	(435)
第四节	熔模精密铸造	(442)
第五节	其他特种铸造方法	(449)

# 第一章 合金的性能

纯金属的机械性能往往不能满足要求，所以铸造生产中很少用纯金属生产铸件，而总是采用合金。

合金是两种或两种以上的金属，或者金属与非金属互相熔合在一起组成的金属材料。例如钢和生铁都是铁与碳及其他元素（硅、锰、磷、硫等）的合金。通常把适于铸造方法生产零件毛坯的合金（如铸铁、铸钢、铸铜、铸铝等）统称为铸造合金。

不同的合金具有不同的性能。为了合理地选择、利用材料，正确地制订生产工艺，我们需要了解各种铸造合金。各种铸造合金的化学成分和性能特点在后续各章中将要分别介绍，本章主要介绍有关金属材料的机械性能、铸造性能和合金的内部结构与组织等方面的基本知识。

## 第一节 合金的机械性能

金属材料的机械性能，通常用强度、弹性、塑性、硬度和冲击韧性等性能指标来表示。

### 一、强度

强度是表示金属材料受到外力作用时，金属材料抵抗变形、



破坏的能力的性能指标。

当材料受到外力作用时，在它的内部就产生一种大小与外力相等，方向与外力相反的抵抗力。材料单位面积上产生的抵抗力叫做应力。材料在外力作用下破坏时的最大应力，叫做材料的强度极限。通常所说的强度，就是指材料的强度极限。

按照作用力的不同，强度分为抗拉强度，抗压强度，抗弯强度，抗扭强度等。图1—1所示，是各种受力的情况。我们经常碰到的是抗拉强度，它的计算式如下：

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{公斤/毫米}^2$$

式中 $\sigma_b$ ——金属材料的抗拉强度；

$P_b$ ——拉伸断裂时的最大外力，  
单位为公斤；

$F_0$ ——试样原来的横截面积，  
单位为毫米<sup>2</sup>。

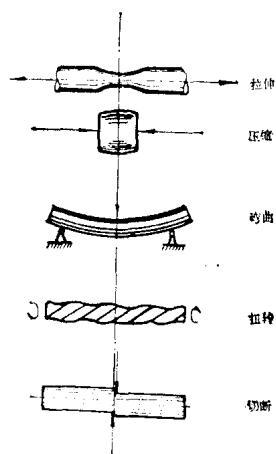


图1—1 几种简单的受力情况

## 二、硬 度

硬度是说明金属材料软硬性质的指标。它表示材料对另一物体压陷它表面的抵抗能力。按测量硬度的方法不同，硬度分为布氏硬度、洛氏硬度、威氏硬度、肖氏硬度等几种。用得较多的是布氏硬度和洛氏硬度。

测量布氏硬度时，以一定直径（有10毫米、5毫米、2.5毫米等三种）的淬火钢球，在一定的压力下（分别为3000公斤、

750公斤、187.5公斤) 压入被测试件表面, 以压痕球面上受的平均压力作为布氏硬度值, 用HB表示。数值愈大, 材料愈硬。布氏硬度法适于测量硬度不超过450HB的材料。铸铁的硬度一般在143—269HB范围内, 故常用布氏硬度法测量其硬度。

测量洛氏硬度时, 用顶角为 $120^\circ$ 的金刚石圆锥体或直径为1.58毫米的淬火钢球在一定压力下压入试件表面, 根据压坑的深浅来决定材料的硬度。洛氏硬度根据测量硬度范围不同, 分别用不同的压印器和压力来测量, 并分别用HRA、HRB、HRC(也可用RA、RB、RC)来表示。测得的数值愈大, 说明材料愈硬。洛氏硬度法的测量范围广, 可以测量经热处理的高硬度材料的硬度值。并且因压痕小, 不影响试件的表面质量, 但精确度不如布氏硬度法高。

### 三、弹性和塑性

金属材料在外力作用下或多或少总会产生变形。在一般情况下, 只是由于变形量很小, 用肉眼看不出来。

在外力作用下材料产生变形, 外力消失后又恢复原来的形状, 材料的这种性质叫做弹性。这种随着外力的消失而消失的变形叫做弹性变形。例如, 在允许范围内弹簧的变形是弹性变形。材料的弹性变形量愈大, 说明它的弹性愈好。

在外力作用下产生变形, 外力消失后, 变形仍然部分地保持下来, 这种变形叫做塑性变形或永久变形。金属材料在外力作用下不破坏而产生永久变形的性能叫做塑性。在不破坏的前提下, 永久变形量愈大, 说明材料的塑性愈好。金属材料的塑

性常以延伸率来表示。延伸率愈大，塑性愈好。延伸率的大小，可用下式计算：

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

其中 $\delta$ ——延伸率；

$L_0$ ——试样原来的长度；

$L$ ——试样受拉伸断裂后的长度。

金属材料是既有弹性又有塑性的材料。其弹性与塑性的表现是有条件的。在常温下，当外力的大小未超过某一数值，且作用时间不太长时，一般金属材料的变形是弹性的；当外力超过这一数值时，变形是塑性的。例如球墨铸铁，当应力大于其抗拉强度的70~80%时，就产生塑性变形；而小于70~80%时，则只产生弹性变形。有些金属材料（如灰铸铁），常温下塑性很差，拉断时也无明显的塑性变形。另外，金属材料表现为塑性或弹性尚与温度有关。如钢和铸铁，当温度高于400~620℃时，变形全为塑性变形。

#### 四、冲击韧性

材料的冲击韧性是表示材料抵抗冲击负荷的能力的性能指标。用于动载荷下工作的零件（如曲轴、连杆等）都要求冲击韧性好。冲击韧性是用试样在冲击断裂时单位截面积上所消耗的功来表示的，即：

$$a_K = \frac{A_K}{F} \text{公斤} \cdot \text{米} / \text{厘米}^2$$

其中 $a_K$ ——冲击韧性(冲击值)；

$A_K$ ——折断试样所消耗的冲击功(公斤·米)；

$F$ ——试样断裂处的截面积(厘米<sup>2</sup>)。

表1—1 常用金属材料的机械性能

	灰铸铁	稀土孕	可 锻	球 墨 铸 铁		铸 钢	45号钢
		育铸铁	铸 铁	铁素体	珠光体		
抗拉强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	<32	35~45	30~70	45~55	65~75	45~60	65~80
延伸率 %			4~15	15~25	<5	20~30	24~26
冲击韧性 (公斤·米/厘米 <sup>2</sup> )		2.5~3	3~5	5~15	<3.5	<15 (有切口)	5~9 (有切口)

## 第二节 铁碳状态图

合金的机械性能不仅因合金的种类和化学成分的不同而异,而且因加工处理的方法不同而不同。例如,含碳量同为0.8%的两块钢,一起放入炉内加热到800℃左右,保温一段时间,然后将其中的一块淬水急冷至常温,让另一块随炉缓慢冷却至常温。结果,淬水急冷的那一块钢,硬度很高,可以做切削加工用的刀具;随炉慢冷的那一块,硬度很低,可以被切削加工。又如,在同一个灰铸铁铸件上,薄的部分硬度较高,厚的部分硬度较低。这是为什么呢?原来合金的机械性能主要决定于它的内部结构和组织。任何事物的变化,都有内因和外因两个因素起作用,“外因是变化的条件,内因是变化的根据,外因通过内因而起作用。”合金的内部结构和组织既决定于合金的种类和

化学成分(内因), 也与所处的温度和冷却条件(外因)有关。

铁碳合金状态图(简称铁碳状态图)是说明不同成分的铁碳合金在不同温度下是什么状态和组织, 以及这种组织和状态如何随温度的变化而变化的规律的图。钢和铸铁都是成分不同的铁碳合金, 是制造机器的主要结构材料。所以每个铸造工作者对铁碳状态图都应该了解。

为便于学习, 在介绍铁碳状态图之前, 先介绍有关纯金属的内部构造和合金的组织等方面的基本知识。

## 一、纯金属的内部构造

这里我们只介绍固态金属的内部构造。

任何物质都是由原子组成的。固体物质按原子排列的特点可以分为晶体和非晶体两大类。原子无规则地聚集在一起所构成的固体物质叫做非晶体, 如松香、玻璃等。原子按一定的几何形状有规则地排列构成的固体物质叫做晶体。所有的金属都是晶体。

为便于说明晶体中原子排列的规则, 人为地把各原子的中心用直线条分别串联起来, 于是就构成一个如图 1—2 所示的空间立体图形。这个由原子有规则地排列所构成的空间立体图形叫做空间晶格。空间晶格中的各结点(即各条直线的交点)是各原子中心所在的位置。空间晶格中能全面地反映原子排列规则、且具

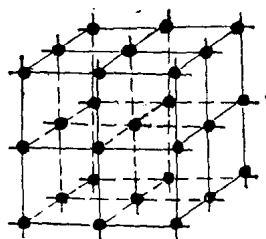


图 1—2 空间晶格

有简单外形的最基本的单位叫做晶胞。

金属中的晶格有各种不同的类型，常见的有下列二种：

1. **体心立方晶格** (图 1—3 a)，原子分布在各立方体的各结点和中心处。属于这一类的金属有钼、铬以及 $\alpha$ 铁(即温度在 $1539\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 之间和 $910^{\circ}\text{C}$ 以下的纯铁)等。

2. **面心立方晶格**(图1—3b)，原子分布在立方体的各结点和各面的中心处。属于这一类的金属有铜、铝、 $\gamma$ 铁(温度在 $1400^{\circ}\text{C}\sim 910^{\circ}\text{C}$ 之间的纯铁)等。

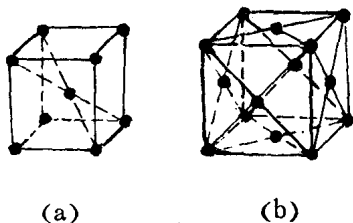


图 1—3 常见的金属晶格

## 二、金属的结晶过程和同素异晶转变

### 1. 金属的结晶过程

金属的结晶过程就是它的凝固过程。纯金属是在一定温度下结晶的。它的结晶转变可以由冷却曲线反映出来。冷却曲线是温度随时间而变化的曲线，是用实验方法做出来的。图1—4是纯金属冷却曲线的示意图。当液态金属冷却到点 1 所示的温度 ( $T_s$ —凝固温度)时,便开始结晶。由于凝固时放出潜热,温度不再下降,所以曲线 1—2 是水平的。到点 2 时,结晶完毕。随后,温度又继续下降,

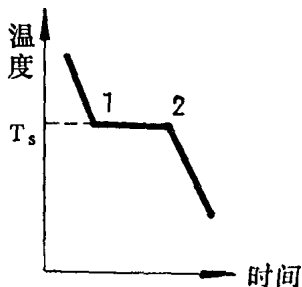


图 1—4 纯金属的冷却曲线

直至室温。

结晶过程可以分为生核与核心长大两个阶段。晶核可以自发地生成；外来杂质也可以起晶核作用。在晶核出现后，液体金属中的原子就以它为中心按一定几何形状不断地排列起来形成晶体。当成长着的晶体有某些地方接触时，那些接触之处就彼此阻碍，其他各处继续

成长，一直到晶体的各个面互相接触为止。由于彼此接触的结果，便形成了外形不规则的晶体，即晶粒。结晶过程示意于图

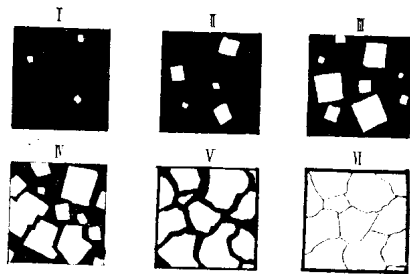


图 1—5 结晶过程示意图

1—5。晶粒的大小决定于两个因素。一方面决定于晶核的数目，如果在一定体积内晶核的数目多，晶粒的数目也就多，于是，晶粒就小。另一方面决定于晶粒的成长速度。成长的速度愈大，则晶粒的数目就愈少，晶粒也就愈粗。

## 2. 金属的同素异晶转变

多数金属在结晶以后其晶格类型都不变。但有些金属（如铁、锰、钛）的晶格

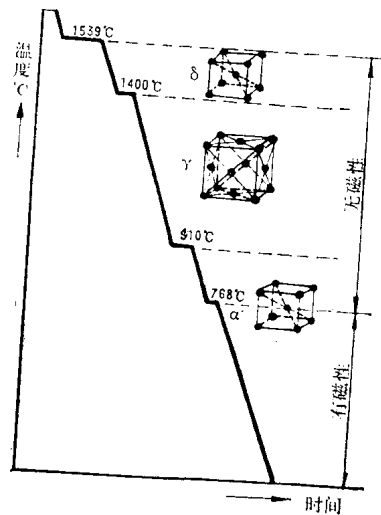


图 1—6 铁的同素异晶转变

类型却因温度而异。金属在固态时晶格类型的改变叫做金属的同素异晶转变。

图 1—6 是具有同素异晶转变的纯铁的冷却曲线。在 1539°~1400℃ 时，为体心立方晶格，叫做  $\delta$  铁。在 1400℃~910℃ 时为面心立方晶格，叫做  $\gamma$  铁。在 910℃ 以下时为体心立方晶格，叫做  $\alpha$  铁。另外，铁在 768℃ 还有磁性转变。在 768℃ 以下时，铁具有磁性，而在 768℃ 以上时，将失去磁性。这只是磁性转变，并非同素异晶转变。铁在同素异晶转变时有体积变化。如由  $\gamma$  铁变为  $\alpha$  铁时，体积将增大。

### 三、合金的组织 and 状态图

#### 1. 合金的内部结构和组织

合金是由两种或两种以上的金属元素，或金属元素与非金属元素组成的具有金属特性的物质。组成合金的元素叫做组元。组元一般指的是纯元素，但稳定的化合物也可以看作一个组元。

合金的各组元之间可以形成以下三种基本的组织。

(1) **机械混合物**：合金的各组成部分彼此之间不发生任何作用，也就是说各部分机械地混合在一起。各组元各按原来的晶格类型构成晶体。机械混合物的性能介于各组元的性能之间。铅铋合金就是形成机械混合物的典型合金。

(2) **化合物**：合金各组元的原子按一定的整数比化合形成的一种金属化合物。它具有与原来晶格不同的新的晶格。例如  $\text{Fe}_3\text{C}$  就是铁和碳按原子比例为 3:1 组成的化合物（铁与碳的重



量比为93.33:6.67)。

化合物的性能与组元的性能有显著的不同，例如铁的硬度为 $HB = 80$ ；石墨(碳)的硬度为 $HB = 3$ ；而化合物 $Fe_3C$ 的硬度达到 $HB = 800$ 。

(3) **固溶体**：是合金的二组元在固态时仍保持互相溶解的状态所形成的均匀的固体。固溶体具有基本组元(溶剂)的晶格，而被溶组元(溶质)的原子则溶入溶剂的晶格中。例如碳溶解于 $\gamma-Fe$ 中形成的奥氏体和碳溶解于 $\alpha-Fe$ 中形成的铁素体就是典型的固溶体。

固溶体的性能与组元原有的性能不同，一般来说，它比组元具有更高的机械性能。

## 2. 合金的状态图

状态图是表示不同温度下合金成分与组织之间的关系的关系图。它可以帮助我们了解在不同温度下组织变化的情况，从而掌握合金性质变化的规律。

合金的状态图是用实验方法做出来的。在极缓慢冷却的条件下，作出一系列不同成分的合金的冷却曲线；从冷却曲线上找出各合金的结晶转变温度(即临界点)；再把这些临界点标在温度——成分坐标图上，将各相应的临界点连接起来便构成了该系列合金的状态图。

现以铅(pb)铈(sb)合金为例说明状态图的构成方法。用铅和铈配成一系列不同成分的合金，试验做出它们的冷却曲线(图1-7a)。从冷却曲线上可找出各种合金的结晶转变温度。现将它们列表如下：