

目 录

第一部分 内容摘要和习题	1
第一章 概论.....	1
第二章 金属的结构.....	2
第三章 金属的结晶.....	6
第四章 金属的塑性变形与再结晶.....	8
第五章 二元合金相图	11
第六章 铁碳合金相图	14
第七章 钢的热处理	17
第八章 合金钢	25
第九章 铸铁	38
第十章 有色金属及其合金	41
第十一章 高分子材料	42
第十二章 陶瓷材料	46
第十三章 复合材料	48
第十四章 机器零件的失效与选材	50
第二部分 课堂讨论指导书	54
课堂讨论一 铁碳相图	54
课堂讨论二 钢的热处理	55
课堂讨论三 合金钢	59
课堂讨论四 材料的选择和使用	60
第三部分 实验指导书	63
实验一 铁碳合金平衡组织分析.....	63
附录一 金相显微镜的基本原理、构造及使用	68
附录二 金相试样的制备.....	73
实验二 钢的热处理.....	77
附录三 硬度计的使用.....	81
实验三 碳钢热处理后的显微组织观察.....	89
*实验四 钢的淬透性测定	94
实验五 常用金属材料的显微组织观察.....	96
*实验六 非金属材料及复合材料的组织与性能分析	103
*实验七 综合实验	107
附录 普通碳素结构钢编号新国家标准	110

* 为选修实验

第一部分 内容提要 and 习题

第一章 概 论

一、内容提要

本章简要地介绍了人类特别是我们祖先使用材料的发展进程,明确了工程材料学的研究对象和主要任务。

物质存在的形式取决于其内部原子(离子)的排列方式、电子构造及运动状态。工程材料学的任务就是研究材料的化学成分、组织结构与性能之间的关系及选材的一般规律,这是贯穿本课始终的一条主线。我们在进行机械设计、选材、加工处理和研制新材料时,都必须紧紧围绕这条主线来进行。

本章重点要求掌握物质的聚集状态与原子、分子间作用力和热运动之间的关系;掌握晶体与非晶体之间的差别;熟悉四种结合键的特性、相应晶体物质的主要性能及固体材料的分类。现将其综合在表 1-1 中:

表 1-1 固体材料小结

材料名称	构成物质	结合键	主要性能
金属材料	金属+金属(或非金属)	以金属键为主	高导电、导热性,正的电阻温度系数,塑性良好。
陶瓷材料	金属与非金属(通常为氧)的化合物	以离子键为主	高硬度、高脆性、高稳定性。
高分子材料	有机化合物的聚合	共价键+分子键	良好的耐蚀性与绝缘性,高强度、良好塑性、比重轻。
复合材料	两种或两种以上材料的组合	混合键	高强度、刚度。高比弹性模量,耐高温、耐疲劳、耐蚀、耐震。

二、习题

(一) 解释名词

晶体、金属键、离子键、分子键、共价键。

(二) 填空题

1. 材料科学的任务是揭示材料的_____之间的相互关系及变化规律。
2. 材料的性能主要包括_____两个方面。
3. 晶体物质的基本特征是_____。
4. 固体中的结合键可分为_____种,它们是_____、_____、_____、_____。
5. 结合键是指_____。
6. 共价键比分子键具有更_____的结合力。
7. 简单金属的结合键是_____,过渡金属的结合键是_____。
8. 金属晶体比离子晶体具有较_____的导电能力。

(三) 是非题

1. 晶体是较复杂的聚合体。 ()
2. 结构材料是指工程上要求机械性能的材料。 ()
3. 物质的状态反映了原子或分子之间的相互作用和它们的热运动。 ()
4. 比重较大的金属是黑色金属,比重较小的金属为有色金属。 ()

(四) 选择正确答案

1. 在原子的聚合体中,若原子间距为平衡距离,作规则排列,并处于稳定状态,则其对应的能量分布为: a. 最高; b. 最低; c. 居中。
2. 决定晶体结构和性能最本质的因素是: a. 原子间的结合能; b. 原子间的距离; c. 原子的大小。

3. 金属键的特征是: a. 具有饱和性; b. 没有饱和性; c. 具有各向异性。
4. 共价晶体具有: a. 高强度; b. 低熔点; c. 不稳定结构。
5. 稀土金属属于: a. 黑色金属; b. 有色金属; c. 易熔金属。

(五) 综合分析题

1. 试比较离子晶体与分子晶体的结构特征及性能特点。
2. 试比较金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料在结合键上的差别。
3. 石墨(大部分为金属键)和金刚石(全为共价键)都是纯碳,但前者是电的良导体而后者是电的不良导体。试根据金属键和共价键的特性解释这一现象。

第二章 金属的结构

一、内容提要

金属材料是目前应用最广泛的工程材料。本章涉及的是金属材料学中最基本、最简单的知识。

1. 固态金属的特性:

- 1) 良好的导电、导热性。
- 2) 良好的塑性。
- 3) 不透明、有光泽。

4) 正的电阻温度系数。

金属的这些特性都是由金属键的性质决定的。

2. 晶体的特性与结构:

晶体内部的原子(或离子)在三维空间的规则排列,使之具有: a. 确定的熔点; b. 各向异性。而非晶体中,原子是散乱排列的,故不具备以上特性。

X 射线结构分析表明,绝大多数金属均为体心立方、面心立方和密排六方这三种典型的结构。其基本的结构参数见表 2-1:

表 2-1 三类常见晶格小结

金属名称	晶格类型	晶格特征	晶胞原子数	原子半径	配位数	致密度%
Cr Mo W V <u>α-Fe</u> <u>δ-Fe</u>	体 心 立 方 B. C. C.	$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma$ $=90^\circ$	2	$\frac{\sqrt{3}}{4}a$	8	68
Al Cu Ni <u>γ-Fe</u>	面 心 立 方 F. C. C	$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma$ $=90^\circ$	4	$\frac{\sqrt{2}}{4}a$	12	74
Mg Cd Zn Be	密 排 六 方 H. C. P	$a=b \neq c$ $\alpha=\beta=90^\circ$ $\gamma=120^\circ$	6	$\frac{1}{2}a$	12	74

3. 金属晶体中的晶面与晶向:

金属的许多性能及金属中发生的许多现象都与晶面和晶向有密切关系。因此,分析和表达晶格中晶面和晶向的特点是十分重要的。

4. 晶体缺陷与性能:

在实际金属晶体中,不可避免地存在着各种缺陷,如点缺陷、线缺陷和面缺陷。它们的共同特点是破坏了晶格的完整性,造成晶格畸变,并直接影响晶体的性能。

1) 点缺陷: 主要有晶格空位和间隙原子两种,它们通过对原子移动的微观过程的影响而影响金属的性能。

2) 线缺陷: 主要形式是两类位错。它使得金属滑移容易进行,从而降低了金属的强度。但当金属中的位错密度很高时,由于位错运动阻力的增大,金属的强度反而提高。

3) 面缺陷: 主要形式是晶界和亚晶界,它们除提高金属的塑性变形抗力、提高强度与硬度外,还能使变形分散在各晶粒内部,因此提高塑性与韧性。

5. 金属中的扩散

扩散是指原子超过平均原子间距的迁移现象。影响扩散的主要因素是温度、结构、表面及晶体缺陷。扩散影响金属内部组织转变的微观过程,从而影响其性能。扩散在金属的固态转变中也有十分重要的意义。

在本章中,应重点掌握晶体结构的各种基本概念;金属的三种典型晶格(体心、面心和

密排六方),立方晶系中晶面、晶向指数的表示方法;实际金属中的三类晶体缺陷(点、线和面缺陷);固态金属中的两种主要扩散机制(空位及间隙扩散)和影响扩散的主要因素。

二、习题

(一) 解释名词

致密度、晶格、晶胞、单晶体、多晶体、晶粒、亚晶粒、晶界、晶体的各向异性、刃型位错、空位、间隙原子。

(二) 填空题

1. 同非金属相比,金属的主要特性是_____。
2. 晶体与非晶体最根本的区别是_____。
3. 金属晶体中最主要的点缺陷是_____和_____。
4. 位错分两种,它们是_____和_____,多余半原子面是_____位错所特有的。
5. 在立方晶系中, $\{120\}$ 晶面族包括_____等晶面。
6. 点缺陷有_____和_____两种;面缺陷中存在大量的_____。
7. γ -Fe、 α -Fe 的一个晶胞内的原子数分别为_____和_____。
8. 当原子在金属晶体中扩散时,它们在内、外表面上的扩散速度较在体内的扩散速度_____。

(三) 是非题

1. 因为单晶体是各向异性的,所以实际应用的金属材料在各个方向上的性能也是不相同的。 ()
2. 金属多晶体是由许多结晶方向相同的单晶体组成的。 ()
3. 因为面心立方晶格的配位数大于体心立方晶格的配位数,所以面心立方晶格比体心立方晶格更致密。 ()
4. 在立方晶系中, (123) 晶面与 $[12\bar{3}]$ 晶向垂直。 ()
5. 在立方晶系中, (111) 与 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 是互相平行的两个晶面。 ()
6. 在立方晶系中, (123) 晶面与 $(\bar{3}12)$ 晶面属同一晶面族。 ()
7. 在立方晶系中,原子密度最大的晶面间的距离也最大。 ()
8. 在金属晶体中,当存在原子浓度梯度时,原子向各个方向都具有相同的跃迁几率。 ()
9. 因为固态金属的扩散系数比液态金属的扩散系数小得多,所以固态下的扩散比液态下的慢得多。 ()
10. 金属理想晶体的强度比实际晶体的强度稍高一些。 ()
11. 晶体缺陷的共同之处是它们都能引起晶格畸变。 ()

(四) 选择正确答案

1. 正的电阻温度系数的含义是: *a.* 随温度升高导电性增大; *b.* 随温度降低电阻降低; *c.* 随温度增高电阻减小。

2. 晶体中的位错属于: *a.* 体缺陷; *b.* 面缺陷; *c.* 线缺陷; *d.* 点缺陷。

3. 亚晶界是由: *a.* 点缺陷堆积而成; *b.* 位错垂直排列成位错墙而构成; *c.* 晶界间的相互作用构成。

4. 在面心立方晶格中, 原子密度最大的晶向是: *a.* $\langle 100 \rangle$; *b.* $\langle 110 \rangle$; *c.* $\langle 111 \rangle$ 。

5. 在体心立方晶格中, 原子密度最大的晶面是: *a.* $\{100\}$; *b.* $\{110\}$; *c.* $\{111\}$ 。

6. α -Fe 和 γ -Fe 分别属于什么晶格类型: *a.* 面心立方和体心立方; *b.* 体心立方和面心立方; *c.* 均为面心立方; *d.* 均为体心立方。

(五) 综合分析题

1. 标出图 2-1 中给定的晶面与晶向:

$OO'B'B$: _____; $\overrightarrow{OB}$: _____;

ODC' : _____; $\overrightarrow{OC}$: _____;

$AA'C'C$: _____; $\overrightarrow{OD}$: _____;

$AA'D'D$: _____; $\overrightarrow{OD'}$: _____。

2. 作图表示立方晶系中的 (110) 、 (112) 、 (120) 、 (234) 、 $(\bar{1}32)$ 晶面和 $[111]$ 、 $[132]$ 、 $[210]$ 、 $[12\bar{1}]$ 晶向。

3. 常见的金属晶体结构有几种? 它们的原子排列和晶格常数各有什么特点? α -Fe、 γ -Fe、Al、Cu、Ni、Pb、Cr、V、Mg、Zn 各属何种晶体结构?

4. 画出体心立方、面心立方和密排六方晶体中原子最密的晶面和晶向、写出它们的晶面和晶向指数并求出单位面积及单位长度上的原子数。

5. 填出表 2-2 中三种典型金属的基本参量:

表 2-2

晶格类型	晶胞内平均原子数	r 和 a 的关系	配位数	晶格致密度
<i>B.C.C.</i>				
<i>F.C.C.</i>				
<i>H.C.P.</i>				

6. 已知 α -Fe 的晶格常数 $a = 2.87 \times 10^{-10} \text{m}$, γ -Fe 的晶格常数 $a = 3.64 \times 10^{-10} \text{m}$, 试求出 α -Fe 和 γ -Fe 的原子半径和致密度。

7. 在常温下, 已知铁的原子直径 $d = 2.54 \times 10^{-10} \text{m}$, 铜的原子直径 $d = 2.55 \times 10^{-10} \text{m}$, 求铁和铜的晶格常数。

8. 实际金属晶体中存在哪些晶体缺陷? 它们对性能有什么影响?

9. 立方晶系中, 下列各晶面、晶向表示法是否正确? 不正确的请改正: $(1, -1, 2)$ 、 $(\frac{1}{2}, 1, \frac{1}{3})$ 、 $[-1, 1.5, 2]$ 、 $[12\bar{1}]$ 。

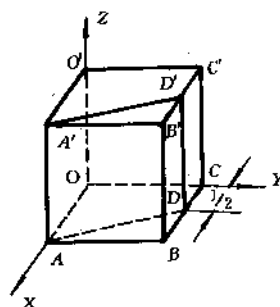


图 2-1

第三章 金属的结晶

一、内容提要

金属结晶的基本规律是研究金属内部组织转变的基础。结晶过程中生核长大的概念及结晶的规律,在固态相变中也具有普遍意义。

结晶过程的推动力是液相和固相之间要有自由能差(ΔF)、即结晶过程需要过冷。过冷是金属结晶的必要条件。结晶的结果是形成由许多晶粒(相互间位向不同的单晶体)所组成的多晶体物质。由于细晶粒材料具有较好的常温力学性能,因而细化晶粒就成为结晶过程中控制组织以提高使用性能的一个重要手段。通过提高过冷度和进行变质处理,可以使晶粒细化。

1. 在自发生核条件下,过冷度越大,结晶过程的推动力就越大,生核速率 N 和长大线速度 G 均增大,但 N 比 G 增大的要快。在实际金属的过冷范围内,控制 N/G 这个比值,就可以控制结晶后晶粒的大小(即晶粒度)。因此可以通过增大过冷度达到细化晶粒的目的。

2. 在非自发生核条件下,可以按“结构相似、大小相当”的原则,利用杂质或加入变质剂,以增加晶核数量或阻碍晶核长大,达到提高形核率、控制晶核长大,从而细化晶粒的目的。

3. 当金属铸锭凝固时,由于表层与内部冷却条件的不同,铸锭组织出现表层细晶区、柱状晶区和中心等轴晶区。通过改变熔化温度、浇注温度、浇注速度等浇注条件和铸锭模尺寸与材料等因素,可以改变柱状晶区与中心等轴晶区的相对大小,得到所需的铸锭组织。

4. 在金属的实际结晶条件下,由于过冷度较大与杂质的存在,多是以树枝晶的形式长大的。

本章重点要求掌握结晶过程中生核和长大的概念,特别是非自发生核和树枝状长大的观点;掌握过冷度的概念,过冷度对结晶过程的影响规律及获得细晶的方法。

二、习题

(一) 解释名词

结晶、过冷度、自发生核、非自发生核、晶粒度、变质处理。

(二) 填空题

1. 结晶过程是依靠两个密切联系的基本过程来实现的,这两个过程是_____和_____。
2. 在金属学中,通常把金属从液态过渡为固体晶态的转变称为_____;而把金属从一种固态过渡为另一种固体晶态的转变称为_____。
3. 当对金属液体进行变质处理时,变质剂的作用是_____。
4. 液态金属结晶时,结晶过程的推动力是_____,阻力是_____。

5. 能起非自发生核作用的杂质,必须符合_____的原则。

6. 过冷度是指_____,其表示符号为_____。

7. 过冷是结晶的_____条件。

8. 细化晶粒可以通过_____和_____两种途径实现。

9. 典型铸锭结构的三个晶区分别为:_____、_____和_____。

(三) 是非题

1. 凡是由液体凝固成固体的过程都是结晶过程。 ()
2. 室温下,金属晶粒越细,则强度越高、塑性越低。 ()
3. 金属由液态转变成固态的结晶过程,就是由短程有序状态向长程有序状态转变的过程。 ()
4. 在实际金属和合金中,自发生核常常起着优先和主导的作用。 ()
5. 纯金属结晶时,生核率随过冷度的增加而不断增加。 ()
6. 当晶核长大时,随过冷度增大,晶核的长大速度增大。但当过冷度很大时,晶核长大的速度很快减小。 ()
7. 当过冷度较大时,纯金属晶体主要以平面状方式长大。 ()
8. 当形成树枝状晶体时,枝晶的各次晶轴将具有不同的位向,故结晶后形成的枝晶是一个多晶体。 ()
9. 在工程上评定晶粒度的方法是在放大 100 倍的条件下,与标准晶粒度图作比较,级数越高、晶粒越细。 ()
10. 过冷度的大小取决于冷却速度和金属的本性。 ()

(四) 选择正确答案

1. 金属结晶时,冷却速度越快,其实际结晶温度将: a. 越高; b. 越低; c. 越接近理论结晶温度。
2. 为细化晶粒,可采用: a. 快速浇注; b. 加变质剂; c. 以砂型代金属型。
3. 实际金属结晶时,通过控制生核速率 N 和长大速度 G 的比值来控制晶粒大小,在下列情况下获得粗大晶粒: a. N/G 很大时; b. N/G 很小时; c. N/G 居中时。

(五) 综合分析题

1. 试画出纯金属的冷却曲线,分析曲线中出现“平台”的原因。
2. 金属结晶的基本规律是什么? 晶核的形成率和成长速度受到哪些因素的影响?
3. 在实际应用中,细晶粒金属材料往往具有较好的常温力学性能,试从过冷度对结晶基本过程的影响,分析细化晶粒、提高金属材料使用性能的措施。
4. 如果其它条件相同,试比较在下列铸造条件下铸件晶粒的大小:
 - 1) 金属模浇注与砂模浇注;
 - 2) 变质处理与不变质处理;
 - 3) 铸成薄件与铸成厚件;

- 4) 浇注时采用震动与不采用震动。
5. 为什么钢锭希望尽量减少柱状晶区?

第四章 金属的塑性变形与再结晶

一、内容提要

塑性变形是金属在外力作用下表现出来的一种行为。塑性变形不仅改变金属的外形,而且使金属内部组织和结构发生相应变化。经塑性变形后的金属在随后的加热过程中,内部组织也发生一系列变化,这些都对性能有明显的影响:

1. 单晶体与多晶体塑性变形的比较:

单晶体金属塑性变形的的基本方式是滑移和孪生。在滑移时,实际测定的滑移应力要比理论计算值小3—4个数量级,这种差异是位错运动造成的。多晶体塑性变形时,由于晶界和晶粒的作用,增大了对塑性变形的抗力。细晶粒金属材料晶界多,故强度较高,塑性、韧性也比较好。

2. 塑性变形时组织和性能的变化:

塑性变形造成晶格歪扭、晶粒变形和破碎,出现亚结构,甚至形成纤维组织。当变形量很大时,还会产生变形织构现象。当外力去除后,金属内部还存在残余内应力。

更为重要的是:塑性变形使位错密度增加,从而使金属的强度、硬度增加而塑性、韧性下降,即产生加工硬化。

3. 变形金属在再加热时组织和性能的变化:

变形金属被再加热时,随加热温度的升高,将发生回复、再结晶与晶粒长大等过程。再结晶后,金属形成新的无畸变的并与变形前相同晶格形式的等轴晶粒,同时位错密度降低,加工硬化现象消失,金属性能全面恢复到变形前的水平。

再结晶的开始温度主要取决于变形度。变形度越大,再结晶开始温度越低。大变形度(70~80%)的再结晶温度与熔点的关系为:

$$T_{\text{再}}(\text{K}) = 0.4T_{\text{熔}}(\text{K})$$

再结晶后的晶粒大小与加热温度和预先变形度有关。加热温度越低或预先变形度越大,其再结晶后晶粒越细。但要注意临界变形度的情况。对于一般金属,当变形度为2~10%时,由于变形很不均匀,会出现晶粒的异常长大,导致性能急剧下降。

本章涉及的基本知识内容较多,重点要掌握拉伸曲线及其所反映的常规机械性能指标;塑性变形的机制;加工硬化的本质及实际意义;再结晶的概念和应用;冷热加工的区别等。

二、习题

(一) 解释名词

塑性变形、塑性、强度、滑移、加工硬化、回复、再结晶、热加工、滑移系、硬位向。

(二) 填空题

1. 加工硬化现象是指 金属在塑性变形过程中，加工硬化的结果，使金属对塑性变形的抗力 增大，造成加工硬化的根本原因是 位错密度增加。
2. 滑移的实质是 晶体的一部分沿一定的晶面和晶向发生相对位移。
3. 金属塑性变形的的基本方式是 滑移和孪生。
4. α -Fe 发生塑性变形时，其滑移面和滑移方向分别为 111 和 110。
5. 影响多晶体塑性变形的两个主要因素是 晶粒大小 和 晶界取向。
6. 变形金属的最低再结晶温度是指 再结晶开始温度，其数值与熔点间的大致关系为 $T_{\text{再}} = 0.4T_{\text{熔}}$ 。
7. 钢在常温下的变形加工称为 冷加工，而铅在常温下的变形加工称为 热加工。
8. 影响再结晶开始温度的因素为 变形程度、原始晶粒大小 和 杂质含量。
9. 再结晶后晶粒度的大小主要取决于 变形程度 和 退火温度。

(三) 是非题

1. 在体心立方晶格中，滑移面为 $\{111\} \times 6$ ，滑移方向为 $\langle 110 \rangle \times 2$ ，所以滑移系为 12。 ()
2. 滑移变形不会引起金属晶体结构的变化。 ()
3. 因为 B.C.C 晶格与 F.C.C 晶格具有相同数量的滑移系，所以两种晶体的塑性变形能力完全相同。 ()
4. 孪生变形所需要的切应力要比滑移变形时所需的小得多。 ()
5. 金属的预先变形度越大，其开始再结晶的温度越高。 ()
6. 变形金属的再结晶退火温度越高，退火后得到的晶粒越粗大。 ()
7. 金属铸件可以通过再结晶退火来细化晶粒。 ()
8. 热加工是指在室温以上的塑性变形加工。 ()
9. 再结晶能够消除加工硬化效果，是一种软化过程。 ()
10. 再结晶过程是有晶格类型变化的结晶过程。 ()

(四) 选择正确答案

1. 能使单晶体产生塑性变形的应力为：a. 正应力；b. ☒ 切应力；c. 复合应力。
2. 面心立方晶格的晶体在受力时的滑移方向为：a. $\langle 111 \rangle$ ；b. $\langle 110 \rangle$ ；c. $\langle 100 \rangle$ 。
3. 体心立方与面心立方晶格具有相同数量的滑移系，但其塑性变形能力是不相同的，其原因是面心立方晶格的滑移方向较体心立方晶格的滑移方向：a. 少；b. 多；c. 相等。
4. 金属的最低再结晶温度可用下式计算：a. $T_{\text{再}}(^{\circ}\text{C}) = 0.4T_{\text{熔}}(^{\circ}\text{C})$ ；b. $T_{\text{再}}(\text{K}) = 0.4T_{\text{熔}}(\text{K})$ ；c. $T_{\text{再}}(\text{K}) = 0.4T_{\text{熔}}(^{\circ}\text{C}) + 273$ 。
5. 变形金属再加热时发生的再结晶过程是一个新晶粒代替旧晶粒的过程，这种新晶粒的晶型是：a. 与变形前的金属相同；b. 与变形后的金属相同；c. 形成新的晶型。
6. 加工硬化使：a. 强度增大、塑性降低；b. 强度增大、塑性增大；c. 强度减小、塑性降低。

性增大; *d*. 强度减小、塑性减小。

7. 再结晶后: *a*. 形成等轴晶, 强度增大; *b*. 形成柱状晶, 塑性下降; *c*. 形成柱状晶, 强度升高; *d*. 形成等轴晶, 塑性升高。

(五) 综合分析题

1. 指出下列名词的主要区别:

- 1) 弹性变形与塑性变形;
- 2) 韧性断裂与脆性断裂;
- 3) 再结晶与二次再结晶;
- 4) 加工硬化与变质处理。

2. 说明下列现象产生的原因:

- 1) 晶界处滑移的阻力最大;
- 2) 实际测得的晶体滑移所需的临界切应力比理论计算得到的数值小;
- 3) Zn, α -Fe, Cu 的塑性不同。

3. 说明滑移变形与孪生变形的区别。

4. 为什么细晶粒钢强度高, 塑性、韧性也好?

5. 与单晶体的塑性变形相比较, 说明多晶体塑性变形的特点。

6. 金属塑性变形后组织和性能会有什么变化?

7. 在图 4-1 所示的晶面、晶向中, 哪些是滑移面, 哪些是滑移方向? 就图中情况能否构成滑移系?

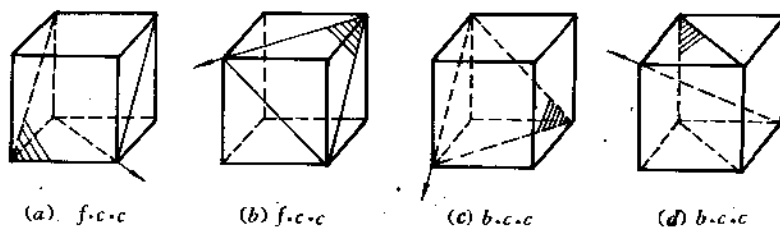


图 4-1

8. 用低碳钢板冷冲压成形的零件, 冲压后发现各部位的硬度不同, 为什么? 如何解决?

9. 拉制半成品铜丝的过程如图 4-2 所示, 试画出不同阶段的组织与性能变化示意图, 并对图形加以解释。

10. 已知金属钨、铁、铅、锡的熔点分别为 3380°C 、 1538°C 、 327°C 和 232°C , 试计算这些金属的最低再结晶温度, 并分析钨和铁在 1100°C 下的加工、铅和锡在室温 (20°C) 下的加工各为何种加工?

11. 铜的熔点为 1083°C , 试求其再结晶退火温度。

12. 何谓临界变形度? 分析造成临界变形度的原因。

13. 热加工对金属的组织 and 性能有何影响? 钢材在热变形加工 (如锻造) 时, 为什么

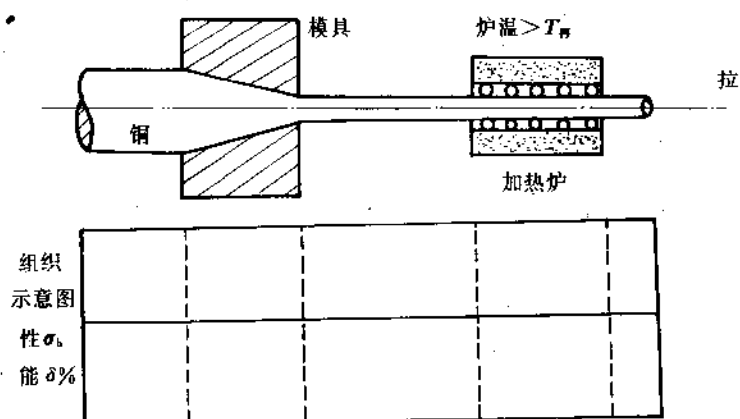


图 4-2

不出现硬化现象？

14. 在制造齿轮时,有时采用喷丸法(即将金属丸喷射到零件表面上)使齿面得以强化。试分析强化原因。

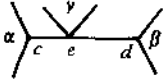
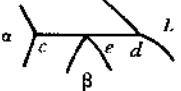
第五章 二元合金相图

一、内容提要

由于合金具有强度高、硬度高、韧性好、耐磨、耐蚀、耐热等优良性能,因此在工程上使用的金属材料极大多数是合金。二元合金是最简单、最基本的合金。二元相图是研究二元合金的成分、组织、性能之间关系的有力工具。本章介绍了如下四种最基本的简单相图与反应类型。

反应类型	相图特征	反应式	定 义
匀晶反应		$L \rightarrow \alpha$	一种液相在变温过程中转变为一种固相的反应
共晶反应		恒温 $L_e \rightarrow \alpha_c + \beta_d$	恒温下,一种液相同时结晶出两种不同成分的固相的反应

续表

反应类型	相图特征	反应式	定 义
共析反应		恒温 $\gamma_e \rightarrow \alpha_c + \beta_d$	恒温下,一种固相同时析出两种不同成分的固相的反应
包晶反应		恒温 $L_d + \alpha_c \rightarrow \beta_e$	恒温下,一种液相与一种固相相互作用生成一种新的固相的反应

本章的重点内容为:

1. 匀晶转变过程及特点。固溶体结晶的特点是:

- 1) 在一定的过冷度下,通过生核、长大两个过程进行结晶;
- 2) 变温进行;
- 3) 结晶时,两相成分发生变化;
- 4) 在两相区,两相的重量比符合杠杆定律;
- 5) 快冷时易出现枝晶偏析。

2. 杠杆定律及其应用。杠杆定律表示平衡状态两个平衡相的重量之间的关系,可利用它来计算两个平衡相分别占总合金的重量百分数,即各相的相对重量,亦可用它来确定组织中各组织组成物的相对重量。在运用杠杆定律时要注意以下几点:

- 1) 只适用于平衡状态;
- 2) 只适用于两相区;
- 3) 杠杆的长度为两平衡相的成分点之间的距离,杠杆的支点为合金成分,杠杆的位置由所处的温度决定。
3. 共晶相图中典型合金的结晶过程。
4. 合金性能与相图之间的关系。
5. 弄清下列概念:组元、相、组织、组织组成物。

二、习题

(一) 解释名词

组元、相、组织、组织组成物、固溶体、金属间化合物、间隙相、枝晶偏析、固溶强化。

(二) 填空题

1. 固溶体的强度和硬度比溶剂的强度和硬度_____。
2. Cu-Ni 合金进行塑性变形时,其滑移面为_____。
3. 固溶体出现枝晶偏析后,可用_____加以消除。
4. 以电子浓度因素起主导作用而生成的化合物称_____。
5. 共晶反应式为_____,共晶反应的特点是_____。

(三) 是非题(正确的打√,错误的打×)

1. 间隙固溶体一定是无限固溶体。
2. 间隙相不是一种固溶体,而是一种金属间化合物。X
3. 平衡结晶获得的 20%Ni 的 Cu-Ni 合金比 40%Ni 的 Cu-Ni 合金的硬度和强度要高。
4. 在共晶相图中,从 L 中结晶出来的 β 晶粒与从 α 中析出的 β_1 晶粒具有相同的晶体结构。
5. 一个合金的室温组织为 $\alpha + \beta_1 + (\alpha + \beta)$,它由三相组成。

(四) 选择正确答案

1. 固溶体的晶体结构与 a . 溶剂; b . 溶质; c . 其它晶型 相同。
2. 间隙相的性能特点是: a . 熔点高、硬度低; b . 硬度高、熔点低; c . 硬度高、熔点高。
3. 在发生 $L \rightarrow \alpha + \beta$ 共晶反应时,三相的成分: a . 相同; b . 确定; c . 不定
4. 共析成分的合金在共析反应 $\gamma \rightarrow \alpha + \beta$ 刚结束时,其组成相为: a . $\gamma + \alpha + \beta$; b . $\alpha + \beta$; c . $(\alpha + \beta)$ 。
5. 一个合金的组织为 $\alpha + \beta_1 + (\alpha + \beta)$,其组织组成物为: a . α, β ; b . $\alpha, \beta_1, (\alpha + \beta)$; c . α, β, β_1 。

(五) 综合题

1. 什么是固溶强化? 造成固溶强化的原因是什么?
2. 间隙固溶体和间隙相有什么不同?
3. 将 20kg 纯铜与 30kg 纯镍熔化后慢冷至如图 5-1 温度 T_1 ,求此时:
 - 1) 两相的成分;
 - 2) 两相的重量比;
 - 3) 各相的相对重量;
 - 4) 各相的重量。
4. 图 5-2 为 Pb-Sn 相图,
 - 1) 用冷却曲线表示 96%Pb 的 Pb-Sn 合金的平衡结晶过程,画出室温平衡组织示意图,标上各组织组成物。
 - 2) 计算该合金室温组织中组成相的相对重量。
 - 3) 计算该合金室温组织中组织组成物的相对重量。
 - 4) 指出该合金系室温组织中含 β_1 最多的合金成分。
 - 5) 指出该合金系室温组织中共晶体最多和最少的合金的成分或成分范围。
5. 某合金相图如图 5-3 所示,
 - 1) 标上(1)~(3)区域中存在的相。
 - 2) 标上(4),(5)区域中的组织。
 - 3) 相图中包括哪几种转变? 写出它们的反应式。
6. 发动机活塞用 Al-Si 合金铸件制成,根据相图(图 5-4),选择铸造用 Al-Si 合金的

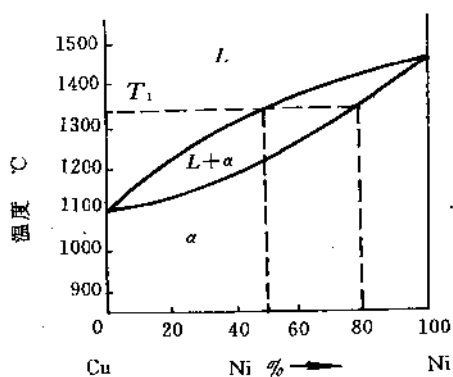


图 5-1

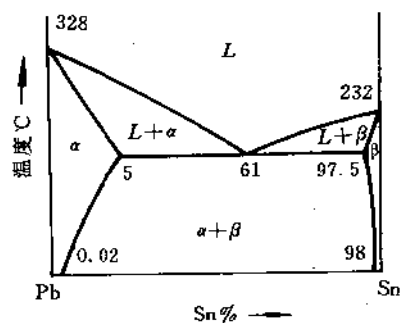


图 5-2

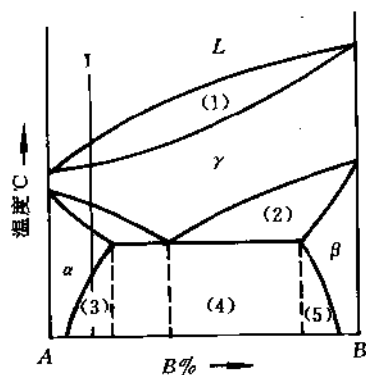


图 5-3

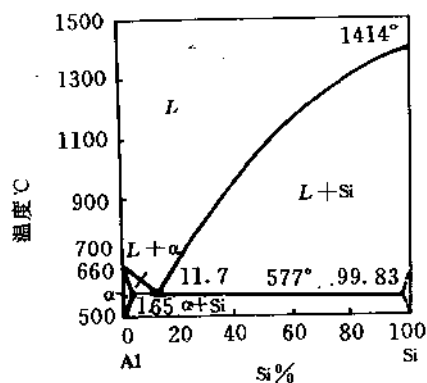


图 5-4

合适成分,简述原因。

第六章 铁碳合金相图

一、内容提要

铁碳合金是工业中应用最广泛最重要的工程材料,铁碳相图是研究铁碳合金的成分、相和组织的转变规律及其性能之间关系的重要工具。本章是本课程的重点章,要求熟练掌握下列内容。

1. 熟记铁碳相图,能默画出铁碳相图,记住重要的点的温度、成分和意义(B, C, E, F, P, S 点),以及一些重要线的意义(ECF, PSK, GS, ES 线)。

2. 弄清铁碳合金中各种相($L, \delta, \alpha, \gamma, Fe_3C$)的本质和特征。

3. 运用铁碳相图,分析典型成分的铁碳合金的结晶过程(用冷却曲线表示),计算室温平衡组织中组成相及组织组成物的相对重量。

Fe-C 合金	组织	组成相 %		组织组成物 %	
纯铁	F	F	100%	F	100%
亚共析钢	$F+P$	F, Fe_3C	$Fe_3C\% = \frac{C}{6.69} \times 100\%$ $F\% = 1 - Fe_3C\%$	F, P	$P\% = \frac{C}{0.77} \times 100\%, F\% = 1 - P\%$
共析钢	P			P	100%
过共析钢	$P+Fe_3C$			P, Fe_3C	$Fe_3C\% = \frac{C-0.77}{6.69-0.77} \times 100\%,$ $P\% = 1 - Fe_3C\%$
亚共晶白口铸铁	$P+Fe_3C + L'$			P, Fe_3C, L'	$L'\% = \frac{C-2.11}{4.3-2.11} \times 100\%,$ $Fe_3C\% = \frac{2.11-0.77}{6.69-0.77} \times (1 - L'\%),$ $P\% = 1 - L'\% - Fe_3C\%$
共晶白口铸铁	L'			L'	100%
过共晶白口铸铁	$L'+Fe_3C$			L', Fe_3C	$Fe_3C\% = \frac{C-4.3}{6.69-4.3} \times 100\%,$ $L'\% = 1 - Fe_3C\%$

4. 熟练画出铁碳合金室温平衡组织示意图,正确标出各组织组成物,熟悉各种组织的特征。如:过共析钢(T12)室温平衡组织为 $P+Fe_3C$, 其组织特征是:白色网状 Fe_3C 包围在层片状 P 周围,组织示意图见图 6-1。

5. 铁碳合金的成分—组织—性能之间的关系。对于亚共析钢,根据碳含量可求出组织组成物的相对重量,进而可估算其性能(强度、硬度、塑性)。

6. 各种碳钢的编号及应用

7. 弄清一些重要概念:同素异构转变、 $\alpha-Fe$ 、铁素体、奥氏体、珠光体、低温莱氏体、共析渗碳体、二次渗碳体

为了深入理解和熟练掌握本章内容,配合讲课将安排一次课堂讨论和一次实验。

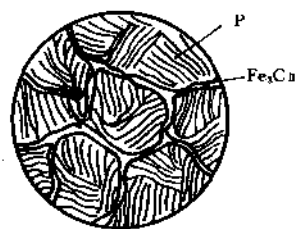


图 6-1

二、习题

(一) 解释名词:

同素异构转变、 $\alpha-Fe$ 、铁素体、珠光体。

(二) 填空题

1. 珠光体的本质是 $\alpha-Fe$ 和 Fe_3C 的机械混合物

2. Fe_3C 的本质是 Fe_3C 。
3. 一块纯铁在 912°C 发生 $\alpha\text{-Fe} \rightarrow \gamma\text{-Fe}$ 转变时, 体积将 增大。
4. F 的晶体结构为 体心立方; A 的晶体结构为 面心立方。
5. 共析成分的铁碳合金室温平衡组织是 珠光体, 其组成相是 $\alpha\text{-Fe}$ 和 Fe_3C 。
6. 在铁碳合金室温平衡组织中, 含 Fe_3C_1 最多的合金成分点为 E , 含 L_1 最多的合金成分点为 C 。
7. 用显微镜观察某亚共析钢, 若估算其中的珠光体含量为 80% , 则此钢的碳含量为 0.8% 。

(三) 是非题

1. 铁素体的本质是碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙相。 错
2. 20 钢比 T12 钢的碳含量要高。 错
3. Fe_3C_1 与 Fe_3C_2 的形态与晶体结构均不相同。 对
4. 在退火状态(接近平衡组织), 45 钢比 20 钢的硬度和强度都高。 对
5. 在铁碳合金平衡结晶过程中, 只有成分为 $4.3\%\text{C}$ 的铁碳合金才能发生共晶反应。 对

(四) 选择正确答案

1. 奥氏体是: a. 碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体; b. 碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体; c. 碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的有限固溶体。 a
2. 珠光体是一种: a. 单相固溶体; b. 两相混合物; c. Fe 与 C 的化合物。 b
3. T10 钢的含碳量为: a. 0.10% ; b. 1.0% ; c. 10% 。 b
4. 铁素体的机械性能特点是: a. 强度高、塑性好、硬度低; b. 强度低、塑性差、硬度低; c. 强度低、塑性好、硬度低。 c
5. 能进行锻造的铁碳合金有: a. 亚共析钢; b. 共析钢; c. 亚共晶白口铸铁。 a

(五) 综合题

1. 对某一碳钢(平衡状态)进行相分析, 得知其组成相为 $80\%F$ 和 $20\%\text{Fe}_3\text{C}$, 求此钢的成分及其硬度。
2. 用冷却曲线表示 E 点成分的铁碳合金的平衡结晶过程, 画出室温组织示意图, 标上组织组成物, 计算室温平衡组织中组成相和组织组成物的相对重量。
3. 10kg 含 $3.5\%\text{C}$ 的铁碳合金从液态缓慢冷却到共晶温度(但尚未发生共晶反应)时所剩下的液体的成分及重量。
4. 比较退火状态下的 45 钢、T8 钢、T12 钢的硬度、强度和塑性的高低, 简述原因。
5. 同样形状的两块铁碳合金, 其中一块是 15 钢, 一块是白口铸铁, 用什么简便方法可迅速区分它们?
6. 为什么碳钢进行热锻、热轧时都加热到奥氏体区?
7. 说出 Q235A, 15, 45, 65, T8, T12 等钢的钢类、含碳量, 各举出一个应用实例。
8. 下列零件或工具用何种碳钢制造: 手锯锯条、普通螺钉、车床主轴。