

472

7414

G21

高等学校教材

# 《机械工程材料》学习指导

齐宝森 陈传忠 边 洁 徐 英 主编



A0941838

地 震 出 版 社

**图书在版编目(CIP)数据**

《机械工程材料》学习指导/齐宝森等编著. —北京:  
地震出版社, 2000. 10

ISBN 7-5028-1815-4

I. 机… II. 齐… III. 机械制造材料-高等学校-  
自学参考资料 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 42749 号

**《机械工程材料》学习指导**

齐宝森 陈传忠 边 洁 徐 英 主编

责任编辑:陈晏群

\*

**地 震 出 版 社**出版

北京民族学院南路 9 号

山东工业大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

\*

787×1092 1/16 9.75 印张 250 千字

2000 年 10 月第一版 2000 年 10 月第一次印刷

印数 0001—2000

ISBN 7-5028-1815-4/G · 154

(2349)定价:25.00 元

## 前 言

学习《机械工程材料》同学习其它课程一样,要讲究技巧和方法,即有一个如何学的方法问题。科学、正确的学习方法,能促进和保证学习任务的完成,可以触类旁通,举一反三;而不恰当的学习方法,则只会妨碍人的智力发挥,事倍功半,甚至如坠烟海,不得要领。然而有的学生却认为,学习就是“老师教啥就学啥,老师讲啥就记啥”,习惯于教师“满堂灌”,自己一味死记硬背。其结果往往是出力费时不少,而学习效果不好。为什么呢?原因之一就是他们不注意讲究学习方法,还不会学习。

世界著名科学家爱因斯坦曾以  $A=X+Y+Z$  的这个数学公式(式中:A代表成功,X代表艰苦努力,Y代表正确的方法,Z代表少说空话),来揭示自己在科学研究道路上成功的秘诀。它说明,光有艰苦劳动,而缺少正确的方法是不可能取得较大的科学成就的。我国古代教育,对学习方法的重要性早就有过精辟论述:“受之一鱼,解一餐之饥,授之以渔,终生复用。”这些至理名言,都说明一个道理:正确的学习方法是多么重要!要掌握好一门知识,必须采用科学、正确的学习方法,掌握读书技巧,这样才能使学习取得满意的效果。

当今的世界是科学技术一泻千里、飞速发展的时代,知识量急剧增长,技术更新越来越频繁,各种信息与日俱增。面对21世纪,如何培养跨世纪的人才呢?不仅要求学生知识多学一点、新一点,更重要的是使学生得到较有创造性的锻炼和创建。

随着科学技术的进步与发展,知识经济初见端倪,21世纪我国高等学校人才培养模式的重点就是加强学生学习能力,特别是创新能力的培养。即不仅要求学生多“学会”一些知识,更为重要的是培养学生的“会学”能力。本书编写的宗旨就是:启发、帮助和指导学生及时把握住学习的重点,充分发挥学生的主体作用,调动学生的主动性与积极性,使之能动地学好本课程,以期提高他们的自学能力和独立分析与解决问题的创新能力。

本书是与高等学校教材《机械工程材料》、《电厂金属材料》、《工程材料》等配套使用的有关学习方法的综合指导书,是机械类、近机械类各专业学习《机械工程材料》课程必不可少的学习方法与学习辅助教材。

全书共分为十章。第一至七章,与《机械工程材料》教材相呼应,各章内容包括:

- (1) 学习要求与重点分析;
- (2) 学习方法具体指导——主要有学习难点解析,图表、口诀、歌谣等助学、

助记法；

(3) 例题分析与解答 —— 针对初学者往往不知如何下手解题而首先详尽分析、说明了解题的思维分析方法,并在解答问题后又指出了应注意的问题等,以供初学者借鉴；

(4) 自测题 —— 模拟考试试题,旨在使学生自我检查学习效果,更有助于培养学生的自学能力与独立分析、独立解决问题的能力；

(5) 重点章节的课堂讨论提纲 —— 旨在充分调动学生学习的积极性与参与性,变被动学习为主动参与学习,使学生自觉掌握该课程的学习重点与难点；

(6) 各章小结 —— 主要供学生复习本章内容时参考,以使学生自觉地把握好本章主要内容与重点。

第八章为课程总复习指导、总复习测试题及参考答案等,以利于学生系统、全面地掌握本课程的主要内容。

第九章和第十章为实验指导,共列举了两种形式的实验指导。第九章介绍了常规形式的实验指导,共列出了六个实验,供学生选作;第十章是综合开放实验指导,是编者在长期教学实践中总结出来的,它更有利于培养学生独立动脑、分析与解决实际问题的综合能力,若实验时间充分的话,建议采用综合实验为宜。

另外在附录中列出了金相试样的制备方法,金相显微镜的构造与使用方法,热处理工艺代号及标注方法,布、洛、维氏硬度值换算表,洛氏硬度和其它硬度与强度换算表,国内外部分钢号对照表,常用钢的临界点、临界淬火直径,各种材料相对价格表,同时还列举了常用机械工程材料的牌号、成分、性能与用途等,供学生学习时参考。

本书主编为齐宝森、陈传忠、边洁、徐英,参加本教材实验部分编写的还有耿贵立、李士同、萧莉美等。本书主审为许本枢教授,谨此表示衷心感谢!

同时还要说明的是,在本书的编写过程中,曾先后得到彭其凤教授、孙希泰教授、李木森教授、王成国教授、孙玉璞教授等的鼎力相助和悉心指导,谨此致以诚挚谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在错误、缺点与不足之处,敬请广大师生与读者批评指正。

编 者

2000年7月

## 绪 论

### 一、学习要求与重点

#### (一) 学习要求

1. 了解学习本课程的目的与重要性；
2. 明确本课程的研究对象,主要内容及重点章节；
3. 牢记贯穿本课程的“纲”——材料的化学成分(化学组成)、组织结构与性能之间的相互关系与变化规律；
4. 充分认识本课程的性质及学习方法等。

#### (二) 学习重点

绪论课讲授的重点是本课程的重要性、研究对象、性质、主要内容梗概及相应重点章节说明等。使学生在课程伊始,对《机械工程材料》课程的特点就有足够了解与认识,以便学生能有放矢地制定自己的学习计划、选择恰当的学习方法。

### 二、学习方法指导

#### (一) 纲举目张

学习本课程,要紧紧抓住“材料的化学成分→加工工艺→组织、结构→性能→应用”之间的相互关系及其变化规律这个“纲”。

纲举目张,《机械工程材料》课程的各个部分、各章内容都是以此“纲”为主线索而展开的。希望学生在开始学习本课程就应充分认识到此点,并在学习过程中,始终牢牢把握住这个“纲”。

#### (二) 图表科学记忆法的应用

《机械工程材料》课程结构框架图及学习重点详见图 0-1 示。

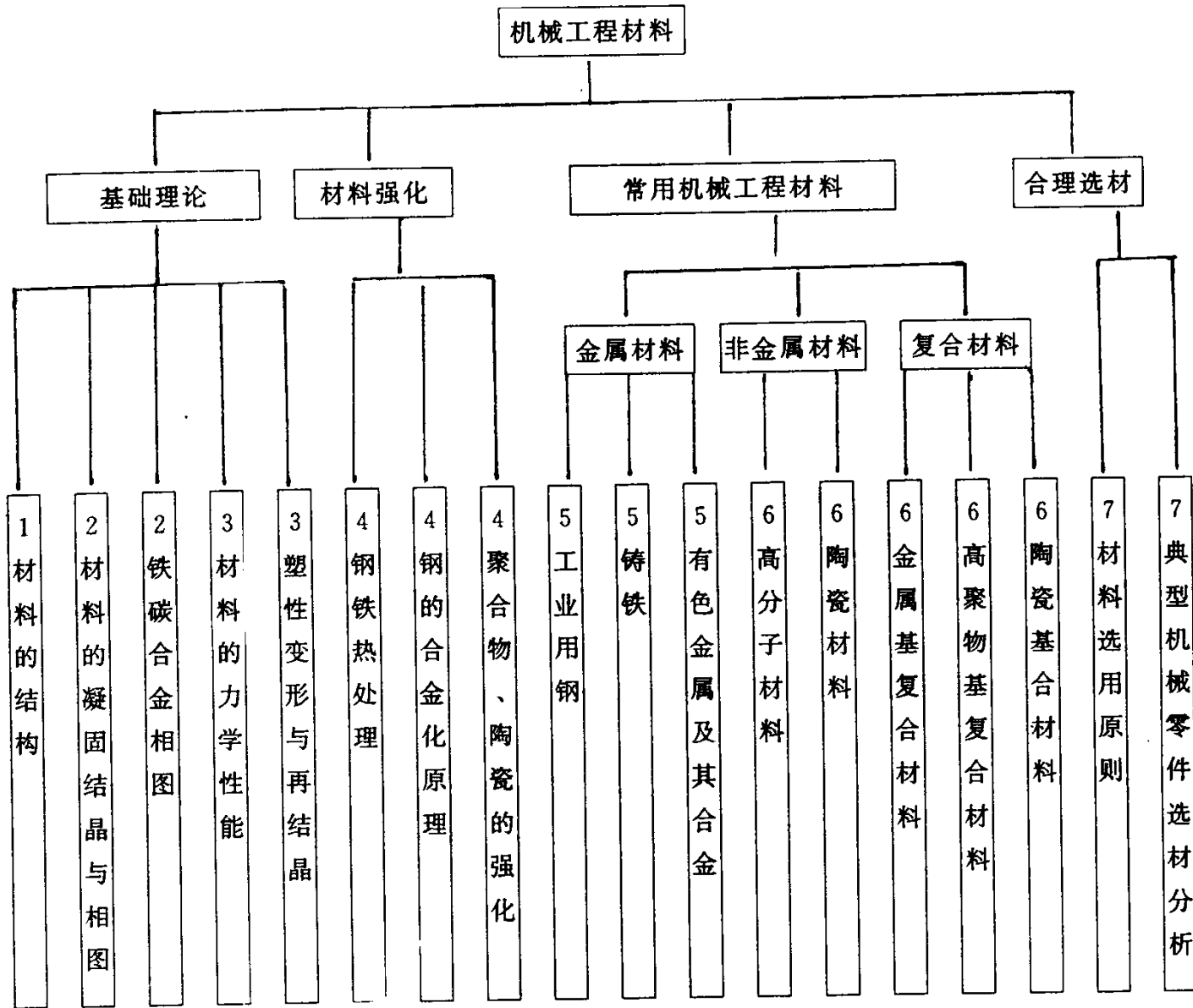


图 1-1 《机械工程材料》课程内容提要框图

## 第一章 机械工程材料的结构

### 一、学习要求与重点

#### (一) 本章学习要求

1. 熟悉三种典型金属晶体结构的特点,立方晶胞中晶面、晶向的表示方法,实际金属中晶体缺陷的种类、主要形式及其对材料性能的影响;
2. 掌握金属合金相结构的基本类型、性能特点及其在合金中的地位与作用;
3. 了解聚合物与陶瓷材料的结构特点;
4. 建立“相”、“组织”的概念。

#### (二) 本章学习重点

机械工程材料的微观结构是决定其性能的最根本性因素,为此本章介绍的机械工程材料的微观结构特点,特别是实际机械工程材料的结构特点等基础理论是十分必要的。

本章学习的重点是有关金属材料的晶体结构特点,它包括:

1. 熟悉纯金属三种典型的晶体结构(理想与实际)特点,立方晶胞中晶面与晶向的表示方法;
2. 掌握合金相结构的基本类型、分类、总的性能特点及其在合金中的地位与作用。

### 二、学习方法指导

#### (一) 联想记忆法的应用

本章学习中,名词、概念、基本术语固然较多,但只要结合实际学习,经常联系金工实习,联系微观结构对性能的影响等加深理解,是完全可以学好这部分内容的。

例如,学习金属晶体结构特点要列举实例,学习实际金属晶体缺陷要联系其对性能的影响;学习合金相结构,就要理解其在合金中的地位与作用等。

这样不仅可加深对概念的理解,而且把“材料的成分—工艺—组织结构—性能—应用”联系起来学习,更有助于把握本课程的主脉搏。

#### (二) 表格归纳法的应用

“表格归纳法”是深入理解、归纳、记忆有关内容的一种良好方式,以下列举一、二,供学习、复习时参考。

1. 三种典型金属晶体结构特点(表 1-1)

表 1-1 三种典型金属的晶体结构特点

晶格类型	代表符号	晶格常数	晶胞原子数	原子半径	致密度	配位数	密排面	密排方向	举例说明
体心立方	BCC (bcc)	$a$	2	$\frac{\sqrt{3}}{4}a$	0.68	8	$\{110\}$	$\langle 111 \rangle$	$\alpha$ -Fe, W, Mo, V
面心立方	FCC (fcc)	$a$	4	$\frac{\sqrt{2}}{4}a$	0.74	12	$\{111\}$	$\langle 110 \rangle$	$\gamma$ -Fe, Pb, Sn, Au, Ag
密排六方	HCP (hcp)	$c/a$	6	$\frac{1}{2}a$	0.74	12	六方底面	底面对角线	Zn, Mg, Be, Cd

## 2. 实际金属晶体缺陷特征(表 1-2)

表 1-2 实际金属的晶体结构特征

晶体缺陷类别	主要形式	对材料性能的影响
点缺陷	间隙原子 空位 置换原子	是金属扩散主要方式
线缺陷	刃型位错 螺型位错	加工硬化, 固溶强化, 弥散强化
面缺陷	晶界 亚晶界	易腐蚀、易扩散, 熔点低, 强度高, 细晶强化

## 3. 合金相结构的特征(表 1-3)

表 1-3 合金相结构的特征

类别	分类	在合金中位置及所起作用	主要力学性能特点
固溶体	间隙固溶体 置换固溶体	基体相 提高塑、韧性	塑、韧性好, 强度比纯组元高
金属化合物	正常价化合物 电子化合物 间隙相 具有复杂晶格间隙化合物	强化相 提高强度、硬度、耐磨性	熔点高, 硬度高而脆性大

## 三、习题分析与例解

## 【例题 1-1】

已知纯金属铝的原子直径为 0.2863nm, 试求其晶格常数。

## 1. 分析



纯金属——铝的晶体结构系 FCC, 在 FCC 晶胞中  $r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$ , 那么  $d = 2 \times \frac{\sqrt{2}}{4}a$ , 其晶格常数  $a$  与原子直径  $d$  之间的关系就十分明确了。

## 2. 解题

因为  $d = 2 \times \frac{\sqrt{2}}{4}a$ , 所以  $a = \sqrt{2} \times d = \sqrt{2} \times 2.8683 = 0.4056\text{nm}$ 。

## 3. 答案

金属铝的晶格常数为  $0.4056\text{nm}$ 。

## 4. 常见错误剖析

- (1) 粗枝大叶, 将已知条件原子直径  $d$ , 误以为是原子半径  $r$ , 产生错误;
- (2) 教材内容不熟悉、模糊, 将纯金属铝的晶体结构误认为是 BCC, 因而出错。

## 5. 更正措施

- (1) 课后首先应及时复习教材有关内容, 然后方可做作业;
- (2) 在做题时, 首先应仔细审题, 彻底搞清题意, 如已知条件是什么, 所求的又是什么, 所用教材中哪些方面内容, 如何应用? 即经过充分思考后, 方可动手解题。

## 6. 联想与归纳

对于立方晶胞来说, 晶格常数  $a$  与原子半径  $r$  之间的关系应符合关系式:  $r = \frac{\sqrt{2}}{4}a$  (FCC), 或  $r = \frac{\sqrt{3}}{4}a$  (BCC)。因此, 遇到此类问题时首先应判明是 FCC 还是 BCC 晶胞, 这是最关键之处; 其次, 应分析清楚已知条件与所求解问题之间的关系; 再之, 在运用此关系式计算后, 注意计算结果是否直接符合题意。

### 【例题 1-2】

绘出立方晶系的下列晶面与晶向:  $(011)$ 、 $(231)$ ;  $[111]$ 、 $[231]$ 。

#### 1. 分析

为了绘出  $(011)$ 、 $(231)$  晶面及  $[111]$ 、 $[231]$  晶向, 首先在图 1-1 所示立方晶胞中建立坐标系。

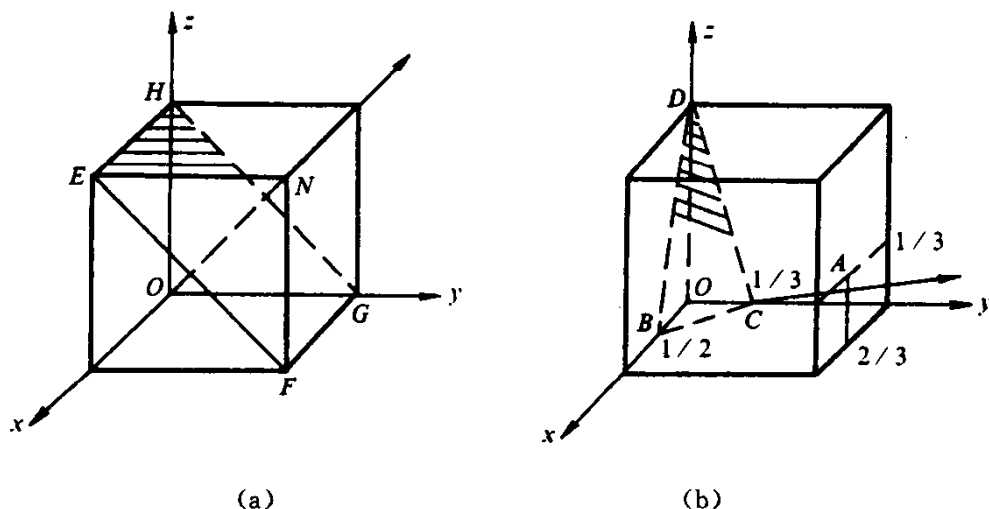


图 1-1 立方晶胞示意图

对于简单指数值的  $(011)$ 、 $[111]$ : 如何求  $(011)$  晶面呢? 先在图 1-1(a) 中找出其相应截距

值,即 $\infty, 1, 1$ ,然后画出此晶面;对晶向 $[111]$ ,在 1-1(a)图中找出坐标值为 $1, 1, 1$ 的某点 $N$ ,那么连接 $ON$ 的有向直线,即为所求晶向。

\* 再来分析(231),因一般要求在图 1-1(b)所示晶胞中画出待求的晶面,故对其应按求晶面指数的步骤反向进行。即对于晶面指数(231),由于它是求倒数后得来的,所以首先对 $2, 3, 1$ 分别取倒数得 $1/2, 1/3, 1$ ,此即所求晶面在坐标系中相应截距值;然后在图 1-1(b)中分别找出该晶面在 $x, y, z$ 轴上相应截距值 $1/2, 1/3, 1$ ;最后用直线将截距值对应的点连接,并用影线示出,此即为所绘的(231)晶面。

\* 对于晶向指数 $[231]$ :由于该指数值亦是经化简后得到的,那么首先应将 $2, 3, 1$ 恢复至化简前的状态即 $2/3, 1, 1/3$ ;然后在图 1-1(b)示晶胞中找出坐标值为 $(2/3, 1, 1/3)$ 的某点 $A$ ;最后从坐标原点 $O$ 出发,引一条射线 $OA$ ,此即为所绘的具有 $[231]$ 晶向指数的晶向。

## 2. 解答

见图 1-1 所示,图 1-1(a)中 EFGH 晶面即为所求的(011)晶面, $ON$ 晶向即为所求的 $[111]$ 晶向;图 1-1(b)中 BCD 晶面即为所求的(231)晶面, $OA$ 晶向即为所求的 $[231]$ 晶向。

## 3. 常见错误剖析

(1) 晶面指数与晶向指数的求解方法步骤混淆,具体表现在:求解晶面指数时,按晶向指数的步骤去求,反之依然;

(2) 画蛇添足,即在所求出的晶面指数或晶向指数表达式内加点或逗号,如 $(0, 1, 1)$ 、 $[1. 1. 1]$ 等;

(3) 不知从何处入手求解。

## 4. 更正措施

(1) 一定要将求解晶面指数与晶向指数的方法区分开来,注意要在理解的基础上记忆,例如求解晶面指数时为什么取倒数呢?当明确了为了避免出现零截距时就不难理解了;

(2) 阅读教材时一定认真、一丝不苟,防止粗心、马虎;

(3) 应注意,坐标原点的选取不是唯一的,视具体情况可以平移。

## 5. 联想与归纳

晶面指数与晶向指数的求法不外乎两种。

(1) 已知晶面指数值,欲求的是在立方晶胞中画出此晶面。其思考方法是依据晶面指数的求解步骤进行反向思考而展开,例如对于晶面(123),按照晶面指数的求解步骤反向进行就是先取倒数即 $1, 1/2, 1/3$ ,这就是说该晶面在坐标系的三条坐标轴上的截距值为 $1, 1/2, 1/3$ ,有了截距值该晶面就很容易绘出了。当已知晶向指数值时亦是如此,不过此时不用取倒数了,而是想方设法求出晶胞上某点的坐标值,例如对于晶向 $[123]$ ,其求解步骤的反向就是找出该晶向上的某点在坐标系中的坐标值,即回到化简前的状态来, $1/3, 2/3, 1$ ,那么该点就很容易找出,从坐标原点出发连至该点的有向直线即为所求的晶向。

(2) 在已知的立方晶胞中,若已知某晶面(或晶向)的位置,欲求该晶面(或晶向)的指数值。这时即可按照求解晶面指数(或晶向指数)的步骤来进行了。

(3) 一定要注意区分晶面族、晶向族与具体的某晶面、某晶向,例如 $\{100\}$ 晶面族,它包括(100)、(010)与(001)三个晶面,而(100)晶面即为一个具体的晶面。

\* 注:带\*号题目系思考题类型,以下类同。

## 四、本章内容小结

物质的结构有晶体结构与非晶态结构之分。而固体材料的微观结构是决定其性能的根本性因素。本章讨论的重点为金属的晶体结构,从纯金属与合金两方面分析了其晶体结构特点。在纯金属的晶体结构中,首先分析了理想晶体的结构特点(主要是体心立方、面心立方及密排六方晶格特点)以及立方晶系中晶面、晶向指数确定方法;在此基础上又讨论了实际金属中存在着的晶体缺陷类型,基本型式及对材料性能的影响。由于工程上实际应用的金属材料多为合金,因此掌握合金相结构的基本类型、分类、性能特点及在合金中的地位与作用是十分必要的。

另外在本章中也简要介绍了聚合物及陶瓷材料的结构特点,它为了解非金属材料奠定了基础。

## 五、本章自测题

### (一) 名词解释

1. 各向异性
2. 同素异构转变
3. 晶体与非晶体
4. 固溶强化

### (二) 填空题

1. 晶体与非晶体最根本的区别是\_\_\_\_\_。
2. 在 BCC 和 FCC 晶格中,单位晶胞内的原子数分别为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_,其致密度分别为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
3. 在一个立方晶胞中绘出 $(1\bar{1}0)$ 晶面和 $[0\bar{1}0]$ 晶向。
4. 指出图 1-2 示立方晶系中的晶面和晶向指数。  
晶面:ACHF \_\_\_\_\_; ABGF \_\_\_\_\_。  
晶向:AL \_\_\_\_\_; EB \_\_\_\_\_。
5. 实际金属中存在有\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三类晶体缺陷。其中,点缺陷包含\_\_\_\_\_,\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_;线缺陷的基本类型有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_;面缺陷主要指\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
6. 已知银的原子半径为 0.144nm,则其晶格常数为\_\_\_\_\_ nm。
7. FCC 晶格中,原子密度最大的晶面是\_\_\_\_\_,原子密度最大的晶向是\_\_\_\_\_。
8. BCC 晶格中,原子密度最大的晶面是\_\_\_\_\_,原子密度最大的晶向是\_\_\_\_\_。
9. 合金的相结构有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两大类。其中前者具有较高的\_\_\_\_\_性能,适宜做\_\_\_\_\_相;后者具有较高的\_\_\_\_\_,适宜做\_\_\_\_\_相。
10. 能显著提高金属材料的强度、硬度的同时,又不明显降低其塑性、韧性的强化方式称为\_\_\_\_\_。

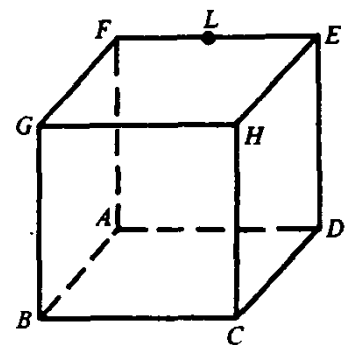


图 1-2 立方晶胞

## (三) 选择题

1. 工程上使用的金属材料一般都呈( )。  
A. 各向异性; B. 各向同性; C. 伪各向异性; D. 伪各向同性。
2. 当晶格常数相同时, FCC 晶体比 BCC 晶体( )。  
A. 原子半径大, 但致密度小; B. 原子半径小, 但致密度大;  
C. 原子半径大, 但致密度也大; D. 原子半径小, 但致密度也小。
3. 固溶体的晶体结构, ( )。  
A. 与溶剂的相同; B. 与溶质的相同;  
C. 与溶剂、溶质的都不相同; D. 是两组元各自结构的混合。
4. 间隙固溶体与间隙化合物的( )。  
A. 结构相同, 性能不同; B. 结构不同, 性能相同;  
C. 结构相同, 性能也相同; D. 结构和性能都不相同。
5. 在 FCC 晶格中, 原子密度最大的晶向是( )。  
A.  $\langle 100 \rangle$ ; B.  $\langle 110 \rangle$ ; C.  $\langle 111 \rangle$ ; D.  $\langle 123 \rangle$ 。
6. 在 BCC 晶格中, 原子密度最大的晶面是( )。  
A.  $\{100\}$ ; B.  $\{110\}$ ; C.  $\{111\}$ ; D.  $\{123\}$ 。

## (四) 判断题

1. 合金中凡成分相同、结构相同, 并与其它部分有界面分开的, 物理、化学性能均匀一致的组成部分叫相。 ( )
2. 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同的。 ( )
3. 固溶体的强度和硬度, 比组成固溶体的溶剂金属的强度和硬度高。 ( )
4. 间隙固溶体和置换固溶体均可形成无限固溶体。 ( )
5. 在立方晶系中,  $(111)$  与  $(1\bar{1}1)$  是互相平行的两个晶面。 ( )
6. 在立方晶系中, 原子密度最大的晶面间的距离也最大。 ( )
7. BCC 晶格中, 每个晶胞所包含的原子数为 4。 ( )
8. 实际金属是由许多结晶位向都完全相同的小晶粒组成的。 ( )

## (五) 综合分析题

- \* 1. 作图表示立方晶系中的  $(112)$ 、 $(234)$ 、 $(1\bar{3}2)$  晶面和  $[132]$ 、 $[210]$ 、 $[12\bar{1}]$  晶向。
2. 立方晶系中, 下列各晶面、晶向表示法是否正确? 不正确处请予改正:  
 $(1, -1, 2)$ 、 $(1/2, 1, 1/3)$ 、 $[-1, 1.5, 2]$ 、 $[1\bar{2}1]$ 。

## 第二章 凝固、结晶与相图

### 一、学习要求与重点

#### (一) 学习要求

1. 明确金属结晶的充分、必要条件,结晶的一般规律以及影响金属结晶后晶粒大小的途径与方法;

2. 熟悉匀晶、共晶(包括共析)这两类基本形式的二元合金相图(其中包括相图分析,典型合金的平衡结晶过程分析,杠杆定律的应用,以及掌握与区分相组分和组织组分这两种填写相图的方法等);

3. 熟练地掌握铁碳合金相图(包括默画铁碳合金相图、掌握 $\alpha$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}$ 、 $\gamma$ 等基本相,熟知相图中重要点、线的含义,能以冷却曲线及语言文字分析典型合金尤其是钢的平衡结晶过程,正确利用杠杆定律计算室温下钢的相组分、组织组分的相对百分含量以及掌握铁碳合金的成分—组织—性能之间关系等)。

#### (二) 学习重点

凡物质由液态转变为固态过程均称为凝固,物质由液态转变为固态晶体的过程则称作结晶。而相图则是研究材料的成分、组织结构与性能之间相互关系和变化规律的有力工具。

本章在确定工程材料结晶的一般规律,剖析金属结晶的充分、必要条件、结晶规律及控制结晶后晶粒大小的途径、方法,介绍匀晶、共晶型两类基本形式相图分析方法的基础上,重点讨论了铁碳合金相图。

铁碳合金相图是本课程的第一个重点章节,因为铁碳合金相图是研究钢铁材料的成分、相和组织的变化规律以及与性能之间关系的重要理论基础与有力工具。

此外,金属结晶的条件、结晶的一般规律及控制结晶后晶粒大小的途径与方法等亦应十分明确。

### 二、学习方法指导

#### (一) 本章的学习难点

1. 对相组分(相组成物)与组织组分(组织组成物)

这两个概念,不易理解,具体表现在:

(1) 填写相图(如 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图)时,混淆了相组分及组织组分这两种填写相图的不同形式;

(2) 计算相组分或组织组分的相对百分含量时,易混淆。

2. 反映在对典型合金(如亚共析或过共析钢)结晶过程的分析上

(1) 不理解为什么在两相区内,两平衡相的成分与相对百分含量随温度变化而沿各自相线变化的呢?

(2) 不明白为什么在书写三相共晶或共析反应式时必须注明温度与各相的成分点呢?

这两大难点是影响学习、消化本章内容的关键,应引起足够重视。

## (二)学习本章内容时应注意的几点

1. 注意区分相与组织,相组分(相组成物)与组织组分(组织组成物)的关系与区别

“相”实质上是晶体结构相同状态。因此,相与组织的区别就是结构与组织的区别,结构描述的是原子尺度,而组织则指的是显微尺度。

相——是指材料中结构相同、化学成分及性能均一的组成部分,相与相之间有界面分开。从结构上讲,“相”是合金中具有同一原子聚集状态,而固相即指具有一定的晶体结构和性质。

组织——一般系指用肉眼或在显微镜下所观察到的材料内部所具有的某种形态特征或形貌图像,实质上它是一种或多种相按一定方式相互结合所构成的整体的总称。因此,“相”构成了“组织”。

相与组织之间的关系——合金的组织可由单相固溶体或金属化合物组成,也可由一个固溶体和一个金属化合物或两个固溶体和两个金属化合物等组成。正是由于这些相的形态、尺寸、相对数量和分布的不同,才形成各式各样的组织。即组织可由单相组成,也可由多相组成。组织是材料性能的决定性因素。在相同条件下,不同组织对应着不同的性能。

相组分与组织组分——人们把在合金相图分析中出现的“相”称为相组分(即相组成物),出现的“显微组织”就称为组织组分(即组织组成物)。实际上相组分就表示“相”,组织组分就表示“组织”。

2. 运用联想、对比记忆法进一步区分“相”与“组织”

应联系二元合金(如 Fe-C 合金)结晶过程分析,区分相组分与组织组分;应对比不同成分的二元合金(如 Fe-C 合金)结晶过程分析,区分相组分与组织组分;应依据不同成分的二元合金(如 Fe-C 合金)的成分→组织→性能变化规律,区分相组分与组织组分。

3. 固溶体合金的结晶规律

匀晶反应生成固溶体,其平衡结晶特点是:

(1) 在一定过冷温度下,通过形核、长大两个过程进行结晶;

(2) 结晶是在变温下进行;

(3) 在结晶过程中两相成分不断发生变化,同时两相的相对重量比符合杠杆定律。但若快冷时,则易出现枝晶偏析。

4. 初生相(初晶)与次生相(二次相)的区别

初生相是由液体中首先结晶出来的固相,亦称初晶。而次生相系指由固溶体中析出的新固相,亦称二次相。在同一相图中,初生相  $\alpha$ (或  $\beta$ )与次生相  $\alpha_1$ (或  $\beta_1$ )是属于同一相,但却形成两种不同组织。这是由于它们的形成条件,形态,数量,分布等均不相同所致。初生相由于结晶温度较高、结晶条件较好,并以树枝状方式长大,所以一般较粗大。而次生相是在低温下仅靠原子扩散由固态中析出,结晶条件不好,故一般长得细小,大多分布于晶界或固溶体中。由于次生相的析出是通过原子在固溶体中的扩散来完成的,故快冷时可抑制或阻止次生相的析出,在室温下得到过饱和固溶体。过饱和固溶体与二次相的析出在工程上具有重要意义。

5. 杠杆定律及其应用

杠杆定律表示平衡状态下两平衡相的化学成分与相对重量之间的关系。可用来定量计算两平衡相分别占总合金的重量百分数,即各相的相对重量。亦可用它来近似确定组织中各组织组分的相对重量。

运用杠杆定律时要切实注意:

(1) 只适用于平衡状态;

(2) 只适用于两相区;

(3) 杠杆的总长度为两平衡相的成分点之间的距离,杠杆的支点一般为合金成分点,杠杆的位置由所处的温度决定;

(4) 当用杠杆定律计算组织组分时,必须依据该合金的平衡结晶过程分析,找出与组织相对应的两相区,使组织组分与相应的相组分相呼应,才能进而应用杠杆定律来近似计算组织组分的相对百分含量。

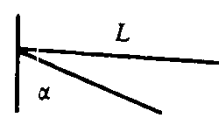
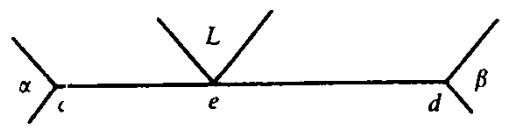
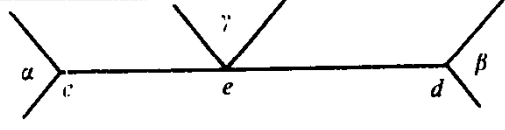
### 6. 共晶型反应产物的组织特征

共晶反应(共析反应)得到的反应产物为共晶体(共析体)组织,其组织特征是两相相间交替排列,并呈层状、点状、球状和螺旋状等。其结晶特点是:亦是在一定过冷度下,通过形核与长大过程进行结晶;结晶是在恒温下进行;在结晶过程中反应相、生成相的成分是恒定的;在三相水平线上不能应用杠杆定律;若冷却速度较快时,成分接近共晶合金的亚共晶或过共晶合金会抑制初生相的结晶,形成类似共晶组织的机械混合物,称为伪共晶组织。

### (三) 图表记忆法的应用

#### 1. 两类最基本形式的二元合金相图的特征归纳于表 2-1

表 2-1 匀晶、共晶型相图的特征

相图类型	相图特征	反应式	说明
匀晶		$L \rightarrow \alpha$	一种液相变温过程中转变为一种固相
共晶	共晶 	$L \xrightarrow{\text{恒温}} \alpha_c + \beta_d$	恒温下,一种成分的液相同时结晶出两种不同成分的新固相
	共析 	$\gamma_e \xrightarrow{\text{恒温}} \alpha_c + \beta_d$	恒温下,一种成分的固相同时析出两种不同成分的新固相

#### 2. 铁碳合金中的基本相与基本组织见表 2-2 示

铁碳合金的基本相有铁素体、奥氏体和渗碳体三种,其中前二种属于固溶体,后者属于化合物。铁素体、奥氏体均具有良好的塑性和韧性,而渗碳体则硬而脆。

由基本相所形成的铁碳合金的基本组织有铁素体、奥氏体、渗碳体(一次、二次、三次渗碳体之分)、珠光体、莱氏体(有低温与高温莱氏体之分)等五种。其特点归纳列于表 2-2 之中。

#### 3. 铁碳合金的分类特征

(1) 钢的分类,组织组分,相组分及其计算,如表 2-3 所示。

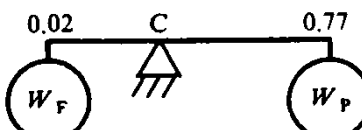
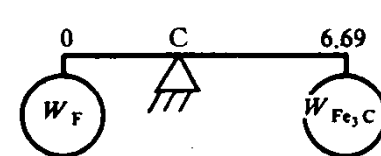
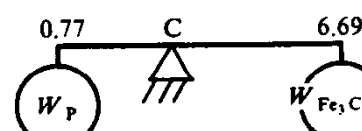
(2) 铁碳合金中的五种渗碳体的特征,见表 2-4 示。

(3) 铁碳合金的分类表,如表 2-5 所示。

表 2-2 铁碳合金中的基本组织

名称	符号	晶体结构	组织类型	定义	含碳量%	存在温度范围/°C	组织形态特征	主要力学性能	
铁素体	F	BCC	间隙固溶体	C 溶于 $\alpha$ -Fe 中	$\leq 0.0218$	$\leq 912$	块状, 片状	塑、韧性良好	
奥氏体	A	FCC	间隙固溶体	C 溶于 $\gamma$ -Fe 中	$\leq 2.11$	$\geq 727$	块状, 粒状	塑、韧性良好	
渗碳体	一次	$Cm_1$	具有复杂晶格的金属化合物 间隙化合物	从 L 中首先结晶出	6.69	$\leq 1227$	粗大片、条状	硬而脆	
	二次	$Cm_2$		由 A 中析出		$< 1148$	网状	硬而脆(耐磨性提高但强度明显下降)	
	三次	$Cm_3$		由 F 中析出		$< 727$	片状(断续)	增加脆性, 降低塑性	
珠光体	P	两相组织	机械混合物	$F + Fe_3C$	0.77	$\leq 727$	层片状或粒状	良好综合力学性能(强度较高, 具有一定塑、韧性)	
莱氏体	高温	$L_d$	两相组织	机械混合物	$A + Fe_3C$	4.3	727-1148	点状、短杆状或鱼骨状	硬而脆
	低温	$L_d'$	两相组织	机械混合物	$P + Fe_3C_1 + Fe_3C$	4.3	$\leq 727$	点状、短杆或鱼骨状	硬而脆

表 2-3 钢的分类, 组织组分与相组分的计算

钢的类别	含碳量%	组织组分	组织组分相对百分含量的计算	相组分	相组分相对百分含量的计算(室温下)
亚共析钢	0.0218 ~ 0.77	F+P	 $W_P = \frac{C - 0.02}{0.77 - 0.02} \times 100\%$ $W_F = 1 - W_P$	F + $Fe_3C$	 $W_F = \frac{6.69 - C}{6.69 - 0} \times 100\%$ $W_{Fe_3C} = 1 - W_F$ $= \frac{C - 0}{6.69 - 0} \times 100\%$
共析钢	0.77	P	100%		
过共析钢	0.77 ~ 2.11	$P + Fe_3C_1$	 $W_P = \frac{6.69 - C}{6.69 - 0.77} \times 100\%$ $W_{Fe_3C_1} = 1 - W_P$		

#### (四) 口诀助记法的应用

##### 1. 如何识记铁碳相图中特性点的含碳量

“韩探亮(含碳量)爬山, 携带四个蛋(0.0008%)。

日食其半(0.0218%), 爬至 E 点(2.11%) 已无蛋;

到达西天(C 点), ‘食点山’(4.3%)。”



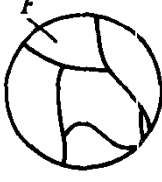
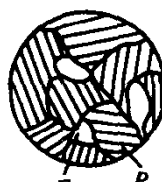
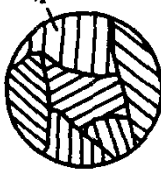
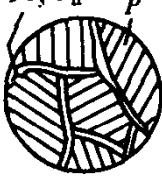

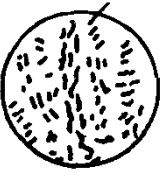
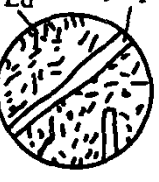
## 2. 如何正确、快速地填写经简化了的铁碳相图

## (1) 以相组分形式填写相图。

表 2-4 铁碳合金中的渗碳体

名称	符号	母相	形成温度(°C)	组织形态	分布情况	对性能的影响
一次渗碳体	$Fe_3C_I$	L	>1148	粗大板条状	在莱氏体上	增加硬脆性
二次渗碳体	$Fe_3C_{II}$	A	1148~727	网状	在A或P晶界上	严重降低强度和韧性
三次渗碳体	$Fe_3C_{III}$	F	<727	短条状	数量极少(沿晶界)	降低塑、韧性 (常忽略不计)
共晶渗碳体	$Fe_3C_{共晶}$	Lc	1148	块、片状	是莱氏体的基体相	产生硬脆性
共析渗碳体	$Fe_3C_{共析}$	As	727	细片状	与片状F构成层片状P	提高综合力学性能

表 2-5 铁碳合金的分类

合金种类	工业纯铁	碳 钢			白口铸铁		
		亚共析钢	共析钢	过共析钢	亚共晶白口铸铁	共晶白口铸铁	过共晶白口铸铁
含碳量(%)	<0.0218	0.0218~0.77	0.77	0.77~2.11	2.11~4.3	4.3	4.3~6.69
室温组织	F	F+P	P	P+ $Fe_3C_{II}$	P+ $Fe_3C_I$ + Ld'	Ld'	$Fe_3C_I$ +Ld'
室温组织形态							
力学性能	软	塑性、韧性好	综合力学性能好	硬度大	硬而脆		

铁碳相图二四五：二是共晶和共析；  
四种单相要牢记，液、奥、铁素、渗碳体；  
五个二相区易记，两“单”相会在一起。

## (2) 以组织组分形式填写相图。

铁碳组织图四七，不同之处在晶析；  
共晶下面分四区，共析下面区分七。

## (五) 如何利用铁碳合金相图分析钢的平衡结晶过程

## 1. 当用语言文字描述

- (1) 首先画出所分析成分合金的合金垂线；
- (2) 通过单相区时属于简单冷却；