



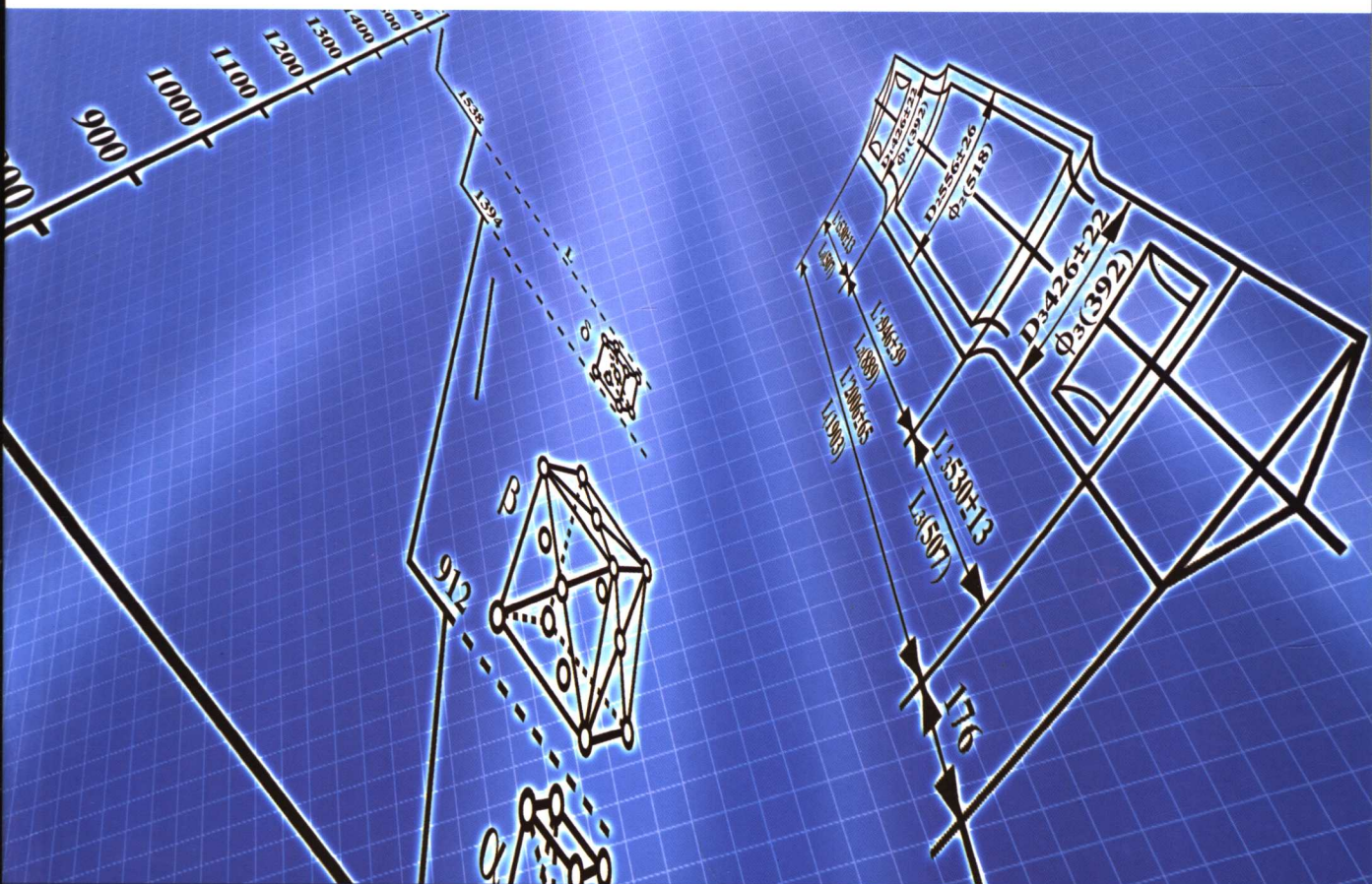
PUTONG GAODENG XUEXIAO ZHIYE JIAOYU JIAOCAI

• 普通高等学校职业教育教材 •

机械制造基础

J I X I E Z H I Z A O J I C H U

马素玲 主编 葛飞 覃鸿 副主编 刘靖岩 主审



中国轻工业出版社

ZHONGGUO QINGGONGYE CHUBANSHE

普通高等学校职业教育教材

机械制造基础

马素玲 主 编
葛 飞 覃 鸿 副主编
刘靖岩 主 审

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造基础/马素玲主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2006. 2

普通高等学校职业教育教材

ISBN 7-5019-5245-0

I. 机... II. 马... III. 机械制造-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 001985 号

责任编辑: 王 淳

策划编辑: 王 淳

责任终审: 孟寿萱

封面设计: 刘 鹏

版式设计: 马金路

责任校对: 郎静瀛

责任监印: 胡 兵

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京工大印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.75

字 数: 350 千字

书 号: ISBN 7-5019-5245-0/TH·066 定价: 24.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010—65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010—85119817 65128898 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

41281J4X101ZBW

前 言

本书是根据教育部颁发的《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系的改革与建设项目计划》以及《高职高专教育专业人才培养目标及规格》等有关规定,为普通高等学校职业教育两年制课程而编写的实验教材,也可供工程技术人员参考使用。

本书的编写注重文字叙述,简明扼要,通俗易懂,形式上图文并茂,采用最新的国家标准编写,注重精选内容,突出重点,强调实用性。本书的编写更注重理论联系实际,强调基本理论在生产实践中的应用,学生学习后有利于其实际动手能力的提高。

本书由辽宁信息职业技术学院马素玲担任主编,郑州牧业工程高等专科学校葛飞、湖北三峡职业技术学院覃鸿担任副主编,辽宁信息职业技术学院刘靖岩担任主审。全书共分九章。其中,第1章、第2章由郑州牧业工程高等专科学校葛飞编写;第3章、第4章、第6章、第7章由辽宁信息职业技术学院马素玲编写;第5章由湖北三峡职业技术学院许小明编写;第8章由湖北三峡职业技术学院张翼编写;第9章由湖北三峡职业技术学院覃鸿编写。

本书在编写过程中王德滨、吕思科、张安全、徐兵、周曲珠、王瑞、李灵佳、诸葛晓舟、张江城老师给予帮助、并大量参阅了各兄弟院校的相关教材和资料,在这里特向其编著者表示由衷的谢意。

由于编者水平有限,加之教材涉及面广,书中难免有不妥之处,甚至错误的地方,真诚地希望读者批评指正。

编者

目 录

第1章 机械工程材料

1.1 金属的结晶和合金的结构	1
1.1.1 金属的晶体结构	1
1.1.2 金属的结晶过程和同素异构转变	3
1.1.3 合金的晶体结构	4
1.1.4 二元合金相图	5
1.2 铁碳合金	6
1.2.1 铁碳合金的基本组织	6
1.2.2 铁碳合金相图	7
1.2.3 钢的分类和应用	9
1.3 钢的热处理概念	14
1.3.1 钢的热处理基本原理	14
1.3.2 钢的热处理工艺	16
1.4 铸铁	20
1.4.1 灰口铸铁	21
1.4.2 可锻铸铁	22
1.4.3 球墨铸铁	22
1.4.4 蠕墨铸铁	23
1.5 有色金属	23
1.5.1 铝及铝合金	23
1.5.2 铜及铜合金	24
1.6 其它材料简介	26
1.6.1 硬质合金	26
1.6.2 高分子材料	27
1.6.3 陶瓷材料	29
1.7 思考题	30

第2章 金属毛坯的成型方法

2.1 铸造	32
2.1.1 金属的铸造性能	32
2.1.2 砂型铸造	33
2.1.3 特种铸造	36
2.2 锻压加工	38
2.2.1 金属的塑性变形	38

2.2.2 锻造	39
2.2.3 板料冲压	42
2.3 焊接	43
2.3.1 手工电弧焊	44
2.3.2 其它焊接方法简介	46
2.4 思考题	48

第3章 测量技术基础

3.1 测量技术基础知识	49
3.1.1 概述	49
3.1.2 长度基准和尺寸传递系统	49
3.1.3 量块	50
3.2 测量误差	51
3.2.1 测量误差的来源	51
3.2.2 测量误差的分类	51
3.2.3 测量不确定度	52
3.3 孔、轴尺寸公差检测	52
3.3.1 通用计量器具测量孔、轴尺寸	52
3.3.2 光滑极限量规检验孔、轴尺寸	55
3.4 形状和位置误差的检测	57
3.4.1 形状和位置误差的检测原则	57
3.4.2 形状和位置误差的评定	57
3.4.3 形状误差的检测	58
3.4.4 位置误差的检测	60
3.5 圆柱齿轮误差检测	66
3.5.1 齿轮传动的使用要求	66
3.5.2 齿轮、齿轮副公差与极限偏差项目	66
3.5.3 圆柱齿轮误差检测	67
3.6 螺纹的检测	72
3.6.1 综合检测	72
3.6.2 单项检测	73
3.7 思考题	74

第4章 金属切削原理与刀具

4.1 基本定义	76
4.1.1 工件上的表面与切削运动	76
4.1.2 切削用量与合成切削速度	76
4.1.3 刀具的几何参数	77
4.1.4 切削层	81
4.2 金属切削的物理基础	81

4.2.1 切屑的形成·····	81
4.2.2 切削力·····	83
4.2.3 切削热与切削温度·····	85
4.3 刀具磨损与刀具寿命·····	86
4.3.1 刀具磨损形式·····	86
4.3.2 刀具磨损原因·····	86
4.3.3 刀具磨损过程·····	87
4.3.4 刀具寿命·····	87
4.4 工件材料的切削加工性·····	88
4.4.1 切削加工性的评定指标·····	88
4.4.2 影响材料切削加工性的主要因素·····	88
4.4.3 常用金属材料的切削加工性·····	88
4.4.4 改善材料切削加工性的途径·····	89
4.5 金属切削条件的合理选择·····	89
4.5.1 刀具材料的选择·····	89
4.5.2 刀具几何参数的选择·····	90
4.5.3 刀具寿命的选择·····	92
4.5.4 切削用量的选择·····	93
4.5.5 切削液的选择·····	93
4.6 思考题·····	94

第5章 金属切削加工

5.1 金属切削机床的基本知识·····	96
5.1.1 金属切削机床的分类·····	96
5.1.2 金属切削机床型号的编制方法·····	97
5.1.3 金属切削机床的运动·····	99
5.1.4 金属切削机床的传动系统·····	100
5.2 车削加工·····	101
5.2.1 概述·····	101
5.2.2 CA6140 型卧式车床·····	102
5.2.3 车刀·····	109
5.3 铣削加工·····	110
5.3.1 概述·····	110
5.3.2 铣床·····	111
5.3.3 万能分度头·····	115
5.4 磨削加工·····	116
5.4.1 概述·····	116
5.4.2 M1432A 型万能外圆磨床·····	117
5.4.3 砂轮·····	118
5.5 齿轮加工·····	119

5.5.1 概述	119
5.5.2 Y3150E 型滚齿机	120
5.5.3 齿轮刀具	122
5.6 其它切削加工简介	123
5.6.1 钻床及孔加工刀具	123
5.6.2 镗床及镗刀	124
5.6.3 刨床、拉床类机床	125
5.7 特种加工	128
5.7.1 电火花加工	128
5.7.2 电解加工	129
5.7.3 其它特种加工方法简介	130
5.8 思考题	131

第6章 机械加工质量

6.1 概述	133
6.1.1 机械加工精度	133
6.1.2 机械加工表面质量	133
6.2 影响机械加工精度的主要因素	134
6.2.1 工艺系统的几何误差对加工精度的影响	135
6.2.2 工艺系统力效应对加工精度的影响及控制措施	136
6.2.3 工艺系统热变形对加工精度的影响及控制措施	139
6.3 机械加工精度的综合分析	140
6.3.1 加工误差的分类	140
6.3.2 加工误差的统计分析	141
6.4 影响机械加工表面质量的因素	144
6.4.1 影响零件表面粗糙度的因素	144
6.4.2 影响零件表面层物理力学性能的因素	145
6.5 提高机械加工质量的途径与方法	147
6.5.1 提高机械加工精度的途径	147
6.5.2 提高机械加工表面质量的方法	149
6.6 思考题	151

第7章 机械加工工艺规程制定

7.1 概述	153
7.1.1 生产过程与工艺过程	153
7.1.2 机械加工工艺过程的组成	153
7.1.3 生产类型与工艺特征	155
7.1.4 机械加工工艺规程	156
7.1.5 制定机械加工工艺规程的原则和步骤	158
7.2 机械加工工艺规程编制的准备工作	158

7.2.1	原始资料准备及产品工艺性分析	158
7.2.2	零件的结构工艺性	159
7.2.3	毛坯的选择	161
7.3	机械加工工艺路线的拟定	162
7.3.1	基准及其分类	162
7.3.2	定位基准的选择	163
7.3.3	表面加工方法的确定	165
7.3.4	加工顺序的安排	168
7.4	工序设计	170
7.4.1	加工余量的确定	170
7.4.2	工序尺寸及其公差确定	172
7.4.3	机床及工艺装备的选择	179
7.4.4	切削用量的确定	180
7.4.5	时间定额的确定	180
7.5	工艺方案的技术经济分析	181
7.5.1	工艺成本的组成	181
7.5.2	工艺方案的比较	181
7.6	提高机械加工生产率的工艺措施	183
7.6.1	缩短基本时间	183
7.6.2	缩短辅助时间	184
7.6.3	缩短布置工作地时间	184
7.6.4	缩短准备和终结时间	185
7.6.5	高效及自动化加工	185
7.7	思考题	185

第8章 机床夹具

8.1	概述	187
8.1.1	机床夹具的作用	187
8.1.2	机床夹具的分类	187
8.1.3	机床夹具的组成	188
8.2	工件在夹具中的定位	189
8.2.1	工件的装夹方法	189
8.2.2	工件定位的基本原理	190
8.2.3	常见定位方式及其所用定位元件	194
8.3	定位误差分析与计算	198
8.3.1	定位误差及其产生的原因	199
8.3.2	常见定位方式的定位误差计算	200
8.3.3	定位误差的分析与计算实例	202
8.3.4	组合表面定位	202
8.4	工件在夹具中的夹紧	203

8.4.1 夹紧装置的组成及基本要求	203
8.4.2 夹紧力三要素的确定	204
8.4.3 典型夹紧机构	205
8.4.4 夹紧动力源装置	207
8.5 各类机床夹具简介	207
8.5.1 车床夹具	207
8.5.2 钻床夹具	208
8.5.3 铣床夹具	209
8.5.4 镗床夹具	212
8.5.5 其它机床夹具	213
8.6 思考题	214

第9章 装配工艺基础

9.1 概述	215
9.1.1 机械装配的生产类型及特点	215
9.1.2 机械产品的装配精度	216
9.2 保证装配精度正确解算装配尺寸链的方法	216
9.2.1 装配尺寸链的建立	216
9.2.2 装配尺寸链的解法	218
9.3 装配工艺规程的编制	224
9.3.1 制定装配工艺规程的基本要求及主要依据	224
9.3.2 装配工作的基本内容	225
9.3.3 制定装配工艺规程的步骤、方法和内容	225
9.4 思考题	227
思考题答案	229
参考文献	239

第 1 章 机械工程材料

1.1 金属的结晶和合金的结构

1.1.1 金属的晶体结构

不同的材料具有不同的力学性能。如：高碳钢比低碳钢具有较高的强度与硬度，但是塑性与韧性却低得多。材料的力学性能取决于材料的组织结构，而材料的组织结构是由它的化学成分和加工工艺决定的，化学成分是决定组织结构的内因，而加工工艺是决定组织结构的外因。即使是化学成分相同的材料，加工工艺以及热处理状态不同，力学性能差别很大，如含碳量为 0.8% 的碳素工具钢 T8，退火状态硬度只有 20HRC，而经过淬火处理后，其硬度可高达 60HRC 以上。因此，只有从金属的内部结构加以分析，才能掌握金属材料性能变化的规律。

1.1.1.1 晶体的概念

固体物质按照原子排列的特征不同，可分为晶体和非晶体两大类。晶体是指内部原子在空间按照一定规则排列的物质，如金刚石、石墨及固态的金属、合金、食盐等，如图 1-1 (a) 所示。非晶体是指内部原子排列无一定规则的物质，如玻璃、塑料、石蜡、松香等。

晶体与非晶体具有显著不同的特点。首先，由于晶体内部原子的有规则排列，晶体内部不同位向原子排列的密度不同，原子间的结合力也不同，因此在不同的方向表现出不同的性能，这就是晶体的各向异性。而非晶体由于内部原子的无规则排列，从而在不同的方向表现出相同的性能，即各向同性。此外，晶体具有固定的熔点，如铁的熔点为 1538℃，铜为 1083℃，而非晶体则没有固定的熔点。

1.1.1.2 金属晶体结构的基本知识

(1) 晶格

为了便于描述晶体内部原子排列的规则，假设将原子抽象为点，称为结点；再用假想的直线连接结点，便形成一个空间格架，称为晶格；晶格中各个不同方位的原子面，称为晶面；不同方向的原子列称为晶向。晶格如图 1-1 (b) 所示。

(2) 晶胞

晶体中原子排列具有周期性变化的特点，通常把晶格中具有空间排列规则特征的最基本几何单元称为晶胞，晶胞如图 1-1 (c) 所示。晶格就是由许多形状、大小和位向相同的晶胞在空间堆积而成的。

(3) 晶格常数

晶胞三个棱边的长度称为晶格常数，用 a 、 b 、 c 表示，其大小以埃 (Å) 为单位 ($1\text{Å} = 10^{-8}\text{cm}$)。棱边夹角用 α 、 β 、 γ 表示。图 1-2 为晶胞的晶格常数与棱边夹角示意图。当晶格常数 $a=b=c$ 、棱边夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 时，称为简单立方晶胞。由简单立方晶胞组成的晶格称为简单立方晶格。

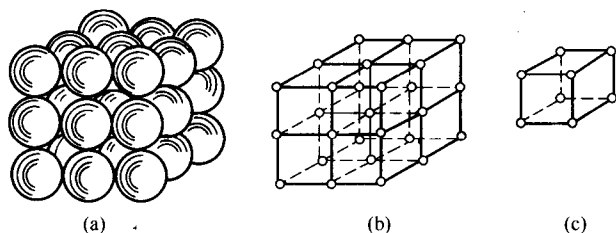


图 1-1 晶体结构示意图
(a) 晶体 (b) 晶格 (c) 晶胞

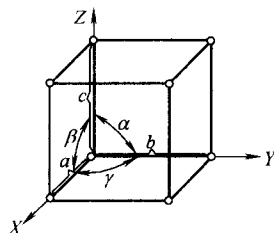


图 1-2 晶胞的晶格常数、棱边夹角

1.1.1.3 常见金属的晶格类型

常见金属的晶格类型主要有体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格三种。



图 1-3 体心立方晶格

(1) 体心立方晶格

这种晶格的晶胞是一个立方体，其原子排列特征是：立方体的 8 个顶角和立方体的中心各有 1 个原子，如图 1-3 所示。由于晶胞顶角的原子是晶格中邻近的 8 个晶胞所共用，只有晶胞中心的原子为该晶胞独有，所以

每个体心立方晶格晶胞的实有原子数为： $1/8 \times 8 + 1 = 2$ 个。

属于体心立方晶格的金属有 α -Fe、Cr、W、Mo、V 等。

(2) 面心立方晶格

这种晶格的晶胞也是立方体，但其原子排列特征是：8 个顶角和 6 个面的中心都各有 1 个原子，如图 1-4 所示。同样，晶胞顶角原子为邻近 8 个晶胞共有，各面中心的原子为相邻 2 个晶胞共有，所以每个面心立方晶格晶胞的实有原子数为： $1/8 \times 8 + 1/2 \times 6 = 4$ 个。

属于面心立方晶格的金属有 γ -Fe、Al、Cu、Ni、Ag、Au 等。

(3) 密排六方晶格

这种晶格的晶胞是一个正六方柱体，其原子排列特征是：12 个顶角和上、下面中心各有 1 个原子，晶胞内部还有 3 个原子，如图 1-5 所示。每个密排六方晶格晶胞的实有原子数为： $1/6 \times 12 + 1/2 \times 2 + 3 = 6$ 个。

属于密排六方晶格的金属有 Mg、Zn、Be、Cd 等。

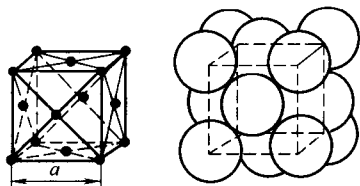


图 1-4 面心立方晶格

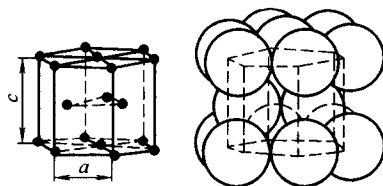


图 1-5 密排六方晶格

晶体由原子排列位向完全一致的晶格组成，称之为单晶体。理想的单晶体在自然界中非常少见，只有采用专门的方法才能获得，如单晶硅、单晶锗等。很多金属，理想晶体在单晶体时表现出明显的各向异性，而实际金属虽然微观上是单晶体结构，但宏观上是多个小单晶体（即晶粒）组织，并且存在各种缺陷，因此不同位向上的性能差异互相综合抵消，掩盖了

单晶体的各向异性，从而在宏观上表现出各向同性。

1.1.2 金属的结晶过程和同素异构转变

金属结晶时形成的组织，对金属材料的性能有很大影响。研究金属与合金的结晶过程，了解其基本规律，对于掌握金属材料的组织和性能是非常重要的。

1.1.2.1 金属的结晶过程

(1) 结晶的概念

液态金属凝固后形成晶体组织结构的过程，称为结晶。从本质上看，金属的结晶是金属原子的聚集状态由无规则的液态转变为规则排列的固态晶体的过程。金属的结晶过程可用冷却曲线来表示，冷却曲线是用热分析法测定出来的，如图 1-6 所示。当金属由液体冷却时，温度不断下降，达到某一温度时出现一个水平台阶，这个台阶对应的温度即结晶温度，这是因为结晶时有潜热放出，抵消了冷却散热，所以温度保持不变，结晶完成以后，不再产生结晶潜热，金属温度随冷却时间增加而继续下降。由此可见，结晶温度实质是散热和结晶潜热产生动态平衡时的温度。

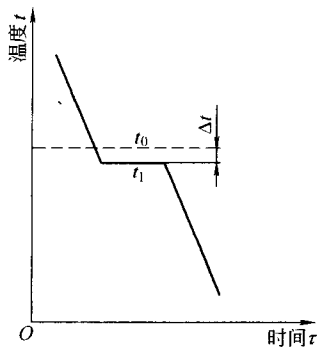


图 1-6 金属冷却曲线

每种金属都有固定的熔点即固定的结晶温度，是在极缓慢的冷却条件下测定的，称为理论结晶温度 t_0 。在实际生产中以一定的冷却速度冷却结晶时，实际结晶温度 t_1 都低于理论结晶温度 t_0 。理论结晶温度与实际结晶温度之差，称为过冷度，用 Δt 来表示， $\Delta t = t_0 - t_1$ ，冷却速度越大，过冷度也越大，则金属的实际结晶温度越低。

(2) 结晶的过程

金属的结晶过程由晶核的形成和晶核的长大两个环节组成的。液态金属冷却到一定温度时，先在液体内部形成一批细小的晶胚作为结晶的核心，称之为晶核，然后晶核逐渐长大，并扩展到整个液体。晶核的长大实质是液体金属原子向晶核表面集结不断迁移的过程。当过冷度较大时，晶核主要沿着有利于散热的方向，通常以树枝状方式长大，形成枝晶。枝晶继续长大，最后形成晶粒。晶粒之间形成晶界，晶界把晶粒连结起来组成多晶体。

(3) 晶粒大小及其控制

晶粒的大小对力学性能影响很大。一般情况下，晶粒愈细小，则金属强度、硬度越好，塑性、韧性也越高。工程中经常利用细化晶粒来提高材料强度，这种方法称为细晶强化。

金属晶粒的大小主要取决于结晶过程中的形核率 N 和晶核长大速率 G ，其中形核率 N 是指单位体积中单位时间内形成的晶核数目，晶核长大速率 G 是指单位时间内晶核长大的平均速度。形核率 N 大，则结晶后晶粒多而细；而晶核长大速率 G 大，则晶粒长大快，晶粒就粗大。因此，生产中经常采用以下方法控制晶粒的大小：

1) 增加过冷度 一般情况下，由于冷却速度提高，过冷度增大，形核率增加得快，晶粒得以细化。但当冷却速度过大时，过冷度很大，导致液态金属原子扩散困难，形核率反而减小，使结晶进行困难，并不能达到细化晶粒的结果。提高冷却速度，增大过冷度是细化晶粒达到强化效果的常用方法。

2) 变质处理（也称孕育处理） 变质处理是在液体金属浇注前专门加入可成为非自发晶

粒的固体变质剂，增加晶核数，提高形核率，达到细化晶粒的目的。如在钢中加入铝、钒等；铝合金中加入钛、锆、硼等；大型铸件加入硅铁、硅钙合金等变质剂。

3) 振动和搅拌 结晶过程中，采用机械振动、超声振动和电磁振动等方法，造成枝晶破碎，增加形核数，可以达到细化晶粒的目的。

此外，采用压力加工和热处理等方法，也能够使金属晶粒进一步得到细化。

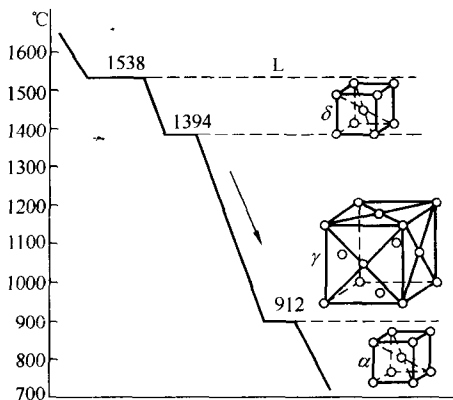
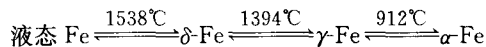


图 1-7 纯铁的冷却曲线

1.1.2.2 纯铁的同素异晶转变

多数金属冷却结晶后，晶格类型不再变化，一直保持至室温，如铝、铜等金属。但有一些金属，如铁、钴、锰、钛、锡等，固态时因温度变化会发生晶格类型的变化。金属在固态时晶格类型随温度变化发生变化的现象，称为同素异晶转变，也称同素异构转变。图 1-7 为纯铁的冷却曲线，1538°C 以上为液态，用符号 L 来表示；1538°C~1394°C 之间，纯铁具有体心立方晶格，即 δ -Fe；1394°C~912°C 之间，纯铁具有面心立方晶格，即 γ -Fe；912°C 以下，纯铁具有体心立方晶格，即 α -Fe；再继续冷却，晶格类型不再发

生变化，一直保持体心立方晶格的 α -Fe 至室温。如果将室温的纯铁进行加热，上述转变可逆向进行。纯铁的同素异晶转变可概括如下：



纯铁的同素异晶转变具有重要的实际意义，它是钢铁热处理的主要基础，也是钢铁材料的性能可以调节改善，并得到广泛应用的重要原因。

1.1.3 合金的晶体结构

工业中纯金属由于力学性能不高，很少使用，应用的多数是它们的合金。合金的晶体结构即合金的相结构，根据元素间相互作用不同，可分为固溶体和金属化合物两类。

1.1.3.1 固溶体

固溶体是指在合金中一种元素的晶格中溶入另一种或多种其它元素的原子而形成的均匀相，其中保留晶格的元素称溶剂，溶入晶格的元素称溶质。其特点是保持原来溶剂的晶体结构不变。根据溶质原子在溶剂晶格中分布的位置不同，固溶体可以分为置换固溶体和间隙固溶体。

置换固溶体是溶剂晶格中某些原子被溶质原子所取代而形成的固溶体，如铜镍合金等，如图 1-8 (a) 所示。当溶剂原子半径较大而溶质原子半径较小时，溶质原子则可以溶入溶剂晶格的间隙处而形成的固溶体是间隙固溶体，如铁碳合金中的铁素体，就是碳溶于 α -Fe 中形成的间隙固溶体，如图 1-8 (b) 所示。

由于溶质原子的溶入，常常引起晶格畸变，导致晶体位错运动时的阻力加大，变形抗力增大，使合金的强度、硬度提高。这种通过溶入溶质原子形成固溶

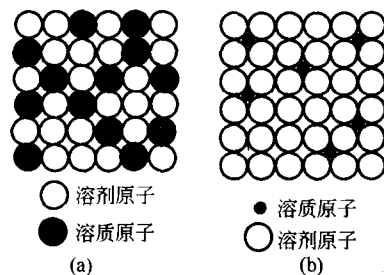


图 1-8 固溶体的两种类型

(a) 置换固溶体 (b) 间隙固溶体

体而强化材料的手段称固溶强化，是提高金属材料力学性能的重要途径。

1.1.3.2 金属化合物

合金中组成元素相互作用而形成的新相称为金属化合物，金属化合物可用一定的分子式来表示，如 Fe_3C 、 Mg_2Si 等。合金中金属化合物可提高硬度和强度，但会降低塑性和韧性，是金属材料中的重要强化相。 Fe_3C 晶体结构如图 1-9 所示。

实际应用中，固溶体或金属化合物一般都不是单独存在，而是由多种固溶体和金属化合物形成的多相复合组织，称为机械混合物。如钢铁就是铁素体和渗碳体或铁素体和石墨等组成的机械混合物，其中铁素体是固溶体，渗碳体是金属化合物。机械混合物的综合力学性能主要取决于各组成相的性能、数量、形态、大小和分布状况等。

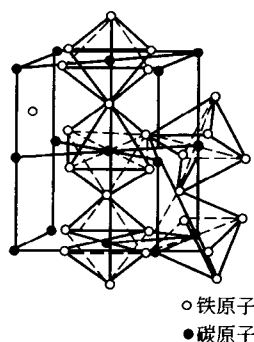


图 1-9 Fe_3C 晶体结构

1.1.4 二元合金相图

合金相图是表示在平衡条件下合金成分、温度和组织状态之间相互关系的图形，又称状态图或平衡图。利用相图可以分析不同成分的合金在不同温度下的组织状态，掌握温度变化时的相变规律，还可根据组织状态估测合金的性能，所以合金相图是研究合金的组织形成和变化规律的有力工具，是制定铸造、锻压、焊接和热处理等热加工工艺的重要依据。

二元合金相图是最简单、最基本的相图，因此掌握二元合金的成分、温度和组织状态之间的关系与变化规律是研究其它复杂成分合金的基础。合金相图一般是通过热分析法而测定绘制的，这里以 Cu-Ni 二元合金相图为例加以分析。

图 1-10 (a) 是 Cu-Ni 二元合金相图，纵坐标表示温度，横坐标表示成分。图中 A 点为纯铜的熔点 1083°C ，B 点为纯镍的熔点 1452°C 。 $Aa_3a_2a_1B$ 为合金开始结晶的温度线，称为液相线。而 $Ab_3b_2b_1B$ 为合金结晶终了的温度线，称为固相线。液相线以上合金均为液态，称液相区，用 L 表示；固相线以下合金均为固态，称固相区，用 α 表示；液相线与固相线之间的区域为液相与固相共存的两相区，用 $L+\alpha$ 表示。

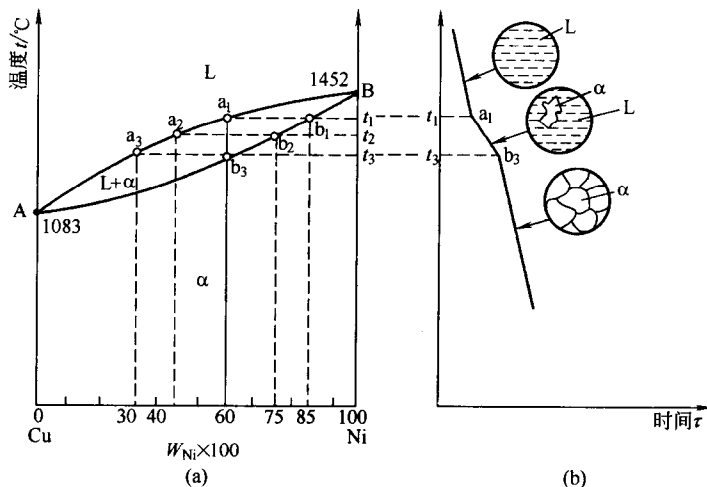


图 1-10 Cu-Ni 二元合金相图及冷却曲线

(a) Cu-Ni 二元合金相图 (b) 冷却曲线

图 1-10 (b) 是 $W_{Ni}=60\%$ 的 Cu-Ni 合金的冷却过程, 当液态合金以缓慢的冷却速度冷却至 t_1 温度即 a_1 点时, 开始从液态合金中结晶析出固态的 α 相, 随着温度的不断下降, α 相不断增多, 而剩余液相的量不断减少, 当温度缓冷至 t_3 温度即 b_3 点时, 转变结束后全部转变为固态的 α 相。

此外, 还有如 Ag-Au、Fe-Cr 等合金在固态下能以任何比例相互溶解而构成的匀晶相图, 如 Fe-Sn、Al-Si 等合金在液态完全互溶而在固态下有限互溶或发生其它转变的共晶相图, 这里不再详述。

1.2 铁碳合金

由铁和碳两种元素组成的合金称为铁碳合金。铁碳合金是工业中应用最广泛的金属材料, 钢、铁均属于铁碳合金。铁和碳在液体时能够无限互溶, 在固态时碳能溶解于铁的晶格之中, 形成间隙固溶体。当碳含量超过铁的溶解度时, 可以形成 Fe_3C 、 Fe_2C 、 FeC 等一系列金属化合物, 由于碳含量较高的 Fe_2C 、 FeC 性能极脆, 无实用价值, 故只研究碳含量小于 6.69% 的铁碳合金, 即 Fe- Fe_3C 合金。通常所说的铁碳合金相图也只是 Fe- Fe_3C 合金相图。

1.2.1 铁碳合金的基本组织

铁和碳相互作用而形成的基本组织主要有五种, 其晶体结构和性能介绍如下:

(1) 铁素体 (F)

碳溶于 α -Fe 中形成的间隙固溶体是铁素体, 用 F 表示。铁素体保持 α -Fe 的体心立方晶格。碳在 α -Fe 中的溶解度很小, 温度升高略有增加, 室温时很小, 727°C 时溶解度最大为 0.0218%。铁素体性能近似于工业纯铁, 强度、硬度很低, 塑性和韧性很好, 很少单独用作工程结构材料。铁素体是单相固溶体, 是铁碳合金组织中的重要基本相。

(2) 奥氏体 (A)

碳溶于 γ -Fe 中形成的间隙固溶体是奥氏体, 用 A 表示。奥氏体保持 γ -Fe 的面心立方晶格。由于面心立方晶格原子间隙比体心立方晶格大, 所以奥氏体的碳溶解度较大, 在 727°C 时溶解度为 0.77%, 在 1148°C 时溶解度最大值达到 2.11%。奥氏体强度、硬度一般, 但塑性、韧性较好, 适用于锻压等压力加工。奥氏体也是单相固溶体, 是铁碳合金组织中存在于 727°C 以上温度的重要基本相。

(3) 渗碳体 (Fe_3C)

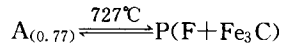
铁和碳形成的稳定的金属化合物是渗碳体, 用 Fe_3C 表示。渗碳体碳含量为 6.69%。硬度高, 但塑性、韧性极低, 熔点为 1227°C, 能以片状、球状和网状等各种形态存在于铁碳合金中, 对铁碳合金性能影响较大。渗碳体是铁碳合金中的重要强化相, 渗碳体是亚稳定的金属化合物, 在一定条件下可以分解为铁和石墨, 是铸铁石墨化的重要机理。

(4) 珠光体 (P)

由铁素体和渗碳体形成的机械混合物是珠光体, 用 P 表示。珠光体碳含量为 0.77%。珠光体显微组织为黑白交替的片层状组织, 组织致密, 性能介于渗碳体和铁素体之间, 强度较好, 硬度适中, 塑性、韧性良好。珠光体是铁碳合金组织中的重要基本相。

珠光体是奥氏体在温度降至 727°C 时固态转变分解的产物, 是从奥氏体中同时析出两种互不相溶的组织即铁素体和渗碳体组成的两相复合组织, 这一转变称为共析转变, 对应的温

度 727℃称为共析温度。珠光体的共析转变过程可表示为：



(5) 莱氏体 (Ld)

由奥氏体和渗碳体组成的机械混合物是莱氏体，用 Ld 表示。莱氏体碳含量为 4.3%。由于莱氏体中碳含量较高，故其性能与渗碳体接近，硬度高、脆性大、塑性差，是白口铸铁的基本组织，是铁碳合金组织的脆性相。

莱氏体是铁碳合金溶液在 1148℃时直接由液态结晶转变的产物，是从溶液中同时结晶出固态的奥氏体和渗碳体组成的两相复合组织，这种转变称为共晶转变，相应的温度 1148℃称为共晶温度。莱氏体的共晶转变过程可表示为：



1.2.2 铁碳合金相图

铁碳合金相图是表示不同成分的铁碳合金在缓慢加热、冷却条件下，不同温度时的组织状态的图形。铁碳合金相图是制定热加工工艺和合理选材的重要依据，也是钢铁热处理的重要理论基础。铁碳合金相图在选材、铸造、锻压、焊接工艺、热处理等方面有着重要的应用。

1.2.2.1 Fe-Fe₃C 相图分析

Fe-Fe₃C 合金相图中，横坐标表示碳含量，纵坐标表示温度。横坐标原点处为纯铁，碳含量为 0%；右端为 Fe₃C，碳含量为 6.69%。由于 W_C > 5% 的铁碳合金力学性能极差，无实用价值，故铁碳合金相图上仅 Fe-Fe₃C 部分有实用意义。为了便于研究分析，将其简化。图 1-11 是简化后的 Fe-Fe₃C 合金相图。

(1) Fe-Fe₃C 相图中的特性点

相图中的主要特性点的温度、成分及含义见表 1-1。由于

实验条件、测试方法以及杂质的影响，图中特性点的数据可能略有出入。

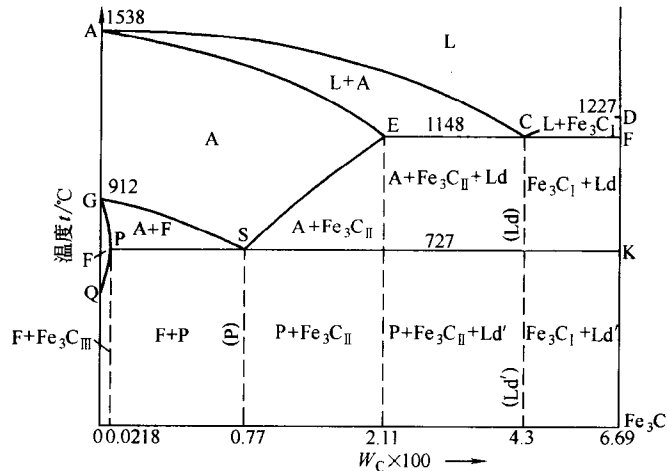


图 1-11 Fe-Fe₃C 合金相图

表 1-1 简化 Fe-Fe₃C 相图特性点

符号	温度/℃	含碳量/%	含 义
A	1538	0	纯铁熔点
C	1148	4.3	共晶点
D	1227	6.69	渗碳体熔点
E	1148	2.11	碳在 γ-Fe 中的最大溶解度点
G	912	0	纯铁同素异晶转变点
P	727	0.0218	碳在 α-Fe 中的最大溶解度点
S	727	0.77	共析点
Q	600	0.008	碳在 α-Fe 中的溶解度