

高等学校教材

金属工艺学实习教材

JINSHU GONGYIXUE SHIXI JIAOCAI

袁嘉祥 主编



重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委有关金工实习最新基本要求,并结合高等工科院校金工实习实际编写而成的。

全书共分 13 章,主要内容有:金属材料及钢的热处理、铸造、锻压、焊接、车、铣、刨、磨、钳工加工、非金属材料及成型方法、数控机床及表面处理技术等。书中名词术语及技术标准均采用最新国家标准或有关部门标准。

本书适合作为高等工科院校工科本科各专业的“金工实习”教材,亦可供电视大学、职工大学有关专业学生选用,也可作为工程技术人员的参考用书。

高等学校教材 金属工艺学实习教材

袁嘉祥 主编
责任编辑 彭 宁

*

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆电力印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:428 千

1998年6月第1版 1998年6月第1次印刷

印数:1~12000

ISBN 7-5624-1727-X/TG·34 定价:20.00元

前 言

本书是根据国家教委 1995 年颁布的《高等学校工科本科金工实习教学基本要求》，并结合教学改革的需要及高等学校工科金工实习实际而编写的。

编写本教材的目的，是为帮助学生在进行金工教学实习时，正确地掌握材料的各种加工方法；了解毛坯和零件的工艺过程；指导实习操作，获得初步的操作技能；巩固感性知识，为后继课程的学习和今后的工作打下一定的实践基础。

为适应教学改革的需要，本教材增添了非金属材料及其成型方法、特种加工、数控机床及表面处理技术等新工艺、新技术的应用。编写过程中，力求做到既具有科学性、系统性，又具有适用性、先进性，努力反映现代科技新成就。各章后均有复习思考题，有助于学生消化、巩固和深化教学内容。

本教材中所涉及的各项技术标准及专业名词术语，均采用最新的国家标准或有关部门标准。

本书第三、七、九章由袁嘉祥编写，第一、十一、十二、十三章由魏镜弢编写，第八、十章由曹廷斌编写，第五、六章由孙东明编写，第二章由黄明华编写，第四章由李自良编写。最后由昆明理工大学袁嘉祥统稿并担任主编。

在本书的编写过程中，得到云南工业大学杨青云、晏连国及昆明冶金高等专科学校龚伟中等金工同行的大力支持和热忱帮助，特此致谢！

由于编者水平有限，书中难免有欠妥或错误之处，敬请批评指正。

编 者

1997 年 7 月

目 录

第一章 金属材料及钢的热处理	1
§ 1-1 金属的结构	1
一、金属的晶体结构	1
二、金属的结晶和同素异晶转变	2
三、合金的晶体结构	3
§ 1-2 铁碳合金	4
一、铁碳合金的基本组织	4
二、铁碳合金状态图	4
§ 1-3 钢的常用热处理	7
一、退火	7
二、正火	7
三、淬火	8
四、回火	8
五、钢的表面热处理	9
§ 1-4 常用金属材料	9
一、钢的分类	9
二、碳素钢	10
三、合金钢	11
四、铸铁	12
五、有色金属	13
§ 1-5 钢铁的鉴别方法	13
一、火花形成	13
二、常用钢的火花	13
复习思考题	15
第二章 铸造	16
§ 2-1 型砂	16
一、对型砂的性能要求	16
二、型砂的组成	17
三、型砂的配制	18
§ 2-2 砂型制造	18
一、手工造型使用的模样和工具	19
二、造型方法	20

§ 2-3 制造型芯	26
一、型芯的技术要求	26
二、型芯的制造方法	27
三、型芯的固定	28
§ 2-4 铸造工艺图的绘制	28
一、零件结构工艺分析	29
二、浇注位置选择原则	32
三、分型面的确定	32
四、浇注系统	32
§ 2-5 金属的熔化及其浇注	35
一、熔炼设备及熔化过程	35
二、铸件的浇注	38
三、铸件的落砂和清理	39
四、铸件质量分析	39
§ 2-6 特种铸造	41
一、熔模铸造	41
二、金属型铸造	43
三、压力铸造	43
四、离心铸造	44
复习思考题	45
第三章 锻压	49
§ 3-1 锻坯的加热和锻件的冷却	49
一、加热的目的	49
二、锻造温度范围	49
三、加热炉	50
四、加热缺陷	50
五、锻件的冷却	51
§ 3-2 自由锻	52
一、自由锻设备	52
二、自由锻的工序	54
三、自由锻工艺过程	58
§ 3-3 模型锻造和胎模锻	61
一、模型锻造	61
二、胎模锻	62
§ 3-4 板料冲压	63
一、冲压设备	64
二、板料冲压的基本工序	64

三、冲压模具	65
复习思考题	67
第四章 焊接	69
§ 4-1 手工电弧焊	69
一、焊接电弧和焊接过程	69
二、手工电弧焊焊机及用具	70
三、电焊条	72
四、主要焊接工艺参数的选择	74
五、手工电弧焊操作要领	75
六、焊接接头和坡口	76
七、焊接位置	77
八、手工电弧焊安全技术	77
§ 4-2 气焊与气割	78
一、气焊的过程及其特点	78
二、气焊设备	78
三、气焊火焰	81
四、气焊基本操作技术	82
五、氧气切割	83
§ 4-3 其它焊接方法	84
一、埋弧自动焊	84
二、气体保护焊	85
三、电阻焊	86
四、钎焊	89
§ 4-4 焊接缺陷及检验	89
一、焊接缺陷	89
二、焊接质量检验	89
复习思考题	91
第五章 切削加工的基础知识	92
§ 5-1 切削加工的基本概念	92
一、切削加工	92
二、机械加工的切削运动	92
三、机械加工的切削三要素	93
§ 5-2 零件的加工质量	94
一、表面粗糙度	94
二、尺寸精度	96
三、形状精度	96
四、位置精度	96

§ 5-3 常用量具	97
一、游标卡尺	97
二、千分尺	98
三、百分表	99
四、内径百分表	100
五、直角尺	100
六、万能角度尺	101
七、塞规与卡规	101
八、厚薄规	102
九、块规	103
§ 5-4 常用刀具材料	103
一、对刀具切削部分材料的基本要求	104
二、常用刀具材料	104
复习思考题	106
第六章 车削加工	107
§ 6-1 普通车床	107
一、普通车床的编号	107
二、普通车床的组成和作用	110
三、普通车床的传动系统	111
§ 6-2 车刀	118
一、车刀的组成及结构形式	118
二、车刀的几何角度	119
三、车刀的刃磨	121
四、车刀的安装	122
§ 6-3 工件的安装及所用附件	123
一、三爪卡盘安装工件	123
二、四爪卡盘安装工件	124
三、用顶尖安装工件	124
四、用芯轴安装工件	125
五、用花盘安装工件	125
六、中心架和跟刀架的应用	126
§ 6-4 车削加工	126
一、车外圆面	126
二、车端面	127
三、切槽和切断	127
四、钻孔和镗孔	128
五、车锥面	128
六、车螺纹	130

七、车成形面	132
八、滚花	133
§ 6-5 其它车床简介	133
一、六角转塔车床	133
二、立式车床	135
三、数控车床	136
§ 6-6 典型零件车削工艺	136
一、轴类零件	136
二、盘套类零件	138
复习思考题	140
第七章 刨削加工	142
§ 7-1 牛头刨床	143
一、牛头刨床的编号	143
二、牛头刨床的组成及其作用	143
三、B6065 牛头刨床的传动系统	144
四、B6065 牛头刨床的调整	144
§ 7-2 刨刀	145
一、刨刀的几何参数及其特点	145
二、刨刀的种类及其应用	146
§ 7-3 刨削时工件的安装方法	146
一、平口钳安装	147
二、压板、螺栓安装	148
三、专用夹具安装	148
§ 7-4 各种表面的刨削	148
一、刨水平面	148
二、刨垂直面	148
三、刨斜面	149
四、刨矩形工件	149
五、刨 T 形槽	150
六、刨成形面	150
§ 7-5 刨削类机床	151
一、龙门刨床	151
二、插床	152
§ 7-6 拉削简介	153
复习思考题	154
第八章 铣削加工	155
§ 8-1 铣床	157

一、万能卧式铣床	157
二、立式铣床	160
§ 8-2 铣刀	160
一、铣刀	160
二、铣刀的安装	162
§ 8-3 铣床的主要附件	163
一、回转工作台	163
二、万能铣头	165
三、分度头	166
四、平口钳	168
§ 8-4 铣床常用装夹方法	169
一、用平口钳装夹工件	169
二、用压板螺栓装夹工件	169
三、用分度头装夹工件	169
§ 8-5 铣削的基本工作	169
一、铣平面	169
二、铣斜面	170
三、铣台阶	171
四、铣沟槽	171
五、铣螺旋槽	173
六、铣成形面	175
§ 8-6 齿形加工简介	175
一、成形法	175
二、展成法	176
复习思考题	179
第九章 磨削加工	180
§ 9-1 磨削的工艺特点及磨削运动	180
一、磨削工艺特点	180
二、磨削运动	181
§ 9-2 砂轮	182
一、砂轮的种类及选用	182
二、砂轮的检查、安装、平衡和修整	182
§ 9-3 外圆磨床及磨削方法	183
一、外圆磨床的编号及组成	183
二、工作台液压传动原理	184
三、外圆磨削方法	185
§ 9-4 内圆磨床及磨削方法	188

一、内圆磨床的编号及组成	188
二、内圆磨削方法	188
三、圆锥面的磨削及检验	189
§ 9-5 平面磨床及磨削方法	190
一、平面磨床的编号及组成	190
二、电磁吸盘的构造及工作原理	191
三、平面磨削方法	191
复习思考题	192
第十章 钳工	193
§ 10-1 钳工工作台和虎钳	193
一、钳工工作台	193
二、台虎钳	194
§ 10-2 划线	195
一、划线工具及其使用方法	195
二、划线基准	199
三、划线类型	199
§ 10-3 锯割	201
一、手锯的结构	201
二、锯割方法和步骤	203
§ 10-4 锉削	205
一、锉刀及其选用	205
二、锉削的操作方法	207
§ 10-5 錾削	208
一、錾削工具	209
二、錾削操作方法	210
§ 10-6 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔	213
一、钻孔	213
二、扩孔、铰孔和铰孔	219
§ 10-7 攻丝和套扣	221
一、攻丝	221
二、套扣	223
§ 10-8 刮削与研磨	224
一、刮削	224
二、研磨	226
§ 10-9 装配	228
一、装配的基本知识	229
二、典型零部件的装配	230

复习思考题	231
第十一章 非金属材料及其成型方法	233
§ 11-1 高分子材料	233
一、塑料	233
二、橡胶	236
§ 11-2 陶瓷材料	237
一、陶瓷的种类	237
二、陶瓷的生产方法	237
三、陶瓷的性能与应用特点	238
§ 11-3 复合材料	239
一、复合材料的特点和分类	239
二、复合材料的成型方法	240
复习思考题	242
第十二章 数控机床与特种加工	243
§ 12-1 数控机床	243
一、数控机床的基本概念	243
二、数控机床的组成及特点	243
三、数控编程基础	244
§ 12-2 特种加工	248
一、电火花加工	248
二、电解加工	250
三、激光加工	253
四、超声加工	253
复习思考题	255
第十三章 表面处理技术	256
§ 13-1 表面机械处理	256
§ 13-2 电镀及阳极氧化处理	257
一、电镀	257
二、电镀金属	257
三、阳极氧化处理	258
§ 13-3 表面强化	260
复习思考题	261
参考文献	262

第一章 金属材料及钢的热处理

金属材料是现代制造业最主要使用的材料,它具有比其它材料远为优越的综合性能,如物理性能、化学性能、力学性能、工艺性能,因而广泛应用于现代科技和日常生活中,可采用各种加工方法制成各种形状和性能的零件。本章主要介绍金属材料的基础知识,如金属和合金的晶体结构;合金的性能和它的成分、组织间关系的变化规律;钢的常用热处理等。

§ 1-1 金属的结构

一、金属的晶体结构

固态物质按其原子排列,可分为晶体和非晶体两种。绝大部分金属和合金都为晶体。

晶体中,原子呈规则重复的空间排列,图 1-1a 为原子排列最简单的晶体示意图。为了便于描述晶体中的原子排列规律,把每个原子抽象成一个点,以假想的线条连接起来,在空间形成的格架就称为晶格,如图 1-1b 所示。组成晶格的最小几何单元称为晶胞,如图 1-1c 所示。

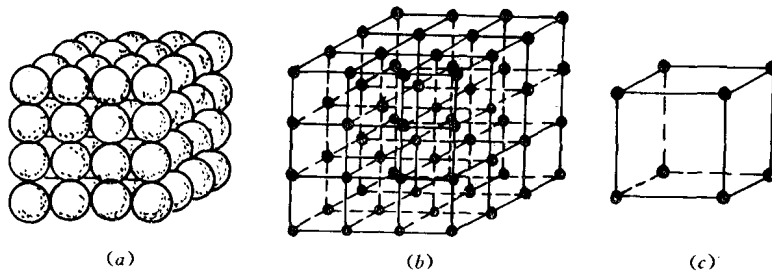


图 1-1 晶胞与晶格示意图
(a)晶体中原子排列 (b)晶格 (c)晶胞

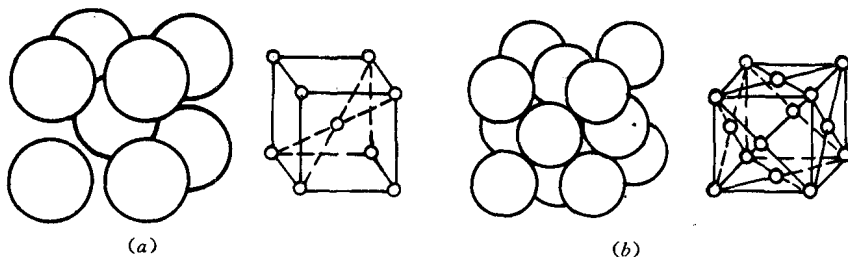


图 1-2 体心立方晶格和面心立方晶格
(a)体心立方晶格 (b)面心立方晶格

(1)体心立方晶格如图 1-2a 所示。属于这种晶格类型的有铬、钼、钨、钒及 α -铁(温度在 912°C 以下的纯铁)等。这类金属具有较好的强度和塑性。

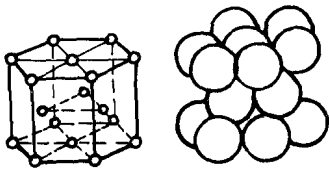


图 1-3 密排六方晶格

(2)面心立方晶格如图 1-2b 所示。属于这种晶格类型的有铝、铜、金、银、镍及 γ -铁(温度在 1394~912°C 的纯铁)。这类金属的塑性都很好。

(3)密排六方晶格如图 1-3 所示。属于这种晶格类型的有铍、镁、锌、 α -钛及 β -铬等。

二、金属的结晶和同素异晶转变

1. 金属的结晶

金属由液态转变为晶体的过程叫结晶。

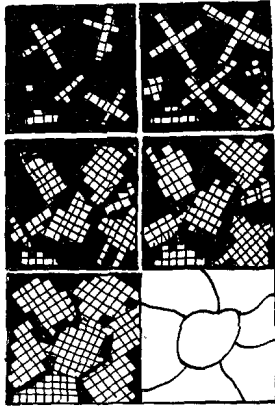


图 1-4 结晶过程示意图

金属的结晶是通过不断形成晶核与晶核的不断长大,即由晶核的产生和长大两个基本过程组成,如图 1-4 所示。结晶首先是由形成一些细小的晶体(晶核)开始的,此后晶粒不断长大,与此同时,在金属液体中又不断产生新的晶核并长大,直至液态金属完全消失。每个晶核长大成的晶体叫晶粒。晶粒内原子排列一致的称为单晶体,晶粒之间形成晶界。

金属结晶后晶粒的粗细对机械性能影响很大,晶粒愈细小,其机械性能愈好。晶粒粗细与结晶时的冷却速度有关。每一种金属都有固定的凝固温度。金属结晶时,总是低于这个温度才能结晶,所以实际的结晶温度与金属的理论结晶温度之间存在温度差,称为过冷度 ΔT ,如图 1-5 所示。当冷却速度较快时,过冷度较大。在这种情况下结晶时,晶核较多,晶粒较细,机械性能较好。反之,晶粒较粗,金属的机械性能较差。

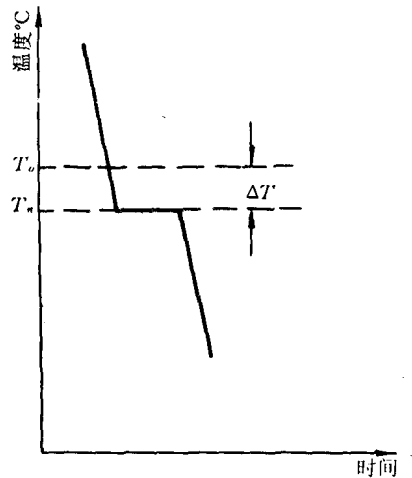


图 1-5 金属的冷却曲线

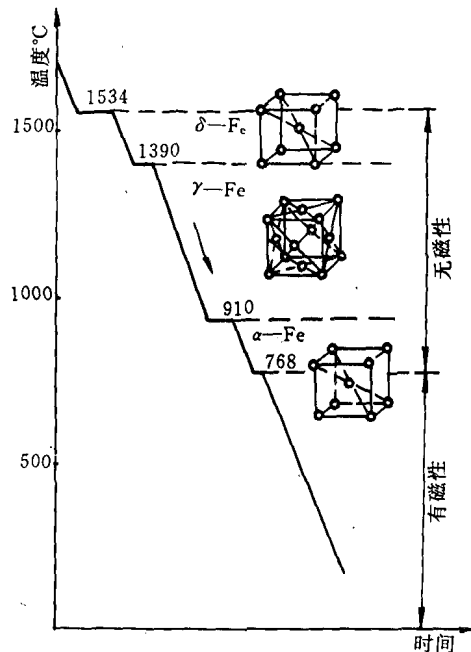


图 1-6 铁的同素异晶转变

2. 金属的同素异晶转变

有些金属如铁、钴、钛、锰、锡等,在结晶以后继续冷却的过程中还会发生晶格类型的转变,这种在固态下产生晶格类型的转变称为同素异晶转变。这一转变与液态金属的结晶过程很相似,也包括晶核的形成和晶粒的长大两个阶段,为区别于液态结晶,称之为二次结晶或重结晶。最典型的是铁的同素异晶转变,如图 1-6 所示。铁在 1538~1394°C 为体心立方晶格,叫 δ 铁;在 1394~912°C 时为面心立方晶格,叫 γ 铁;在 912°C 以下时,又为体心立方晶格,叫 α 铁。铁在同素异晶转变过程中,由于晶格的比容不同,使体积发生变化,有可能引起结构应力。铁的同素异晶转变也影响到钢,钢之所以能够通过热处理改变其性能,与铁的同素异晶转变有关。

三、合金的晶体结构

工业上使用的金属材料以合金为主,很少使用纯金属。合金比纯金属具有更好的机械性能和工艺性能,价格却比纯金属便宜。

合金是由两种或两种以上金属或金属与非金属元素组成的。合金的组成元素称为组元。由两个组元组成的合金称为二元合金,如黄铜就是铜和锌组成的二元合金;其它由三个组元或四个组元组成的合金称为三元合金和四元合金,硬铝就是由铝、铜和镁组成的三元合金。合金的构造分为:

1. 固溶体

在液态下大多数合金的组元都能相互溶解,成为一个均匀的液体,故只有一个液相。如果这种相互溶解的状态在凝固后仍能保留下来,即组元在固态下仍能相互溶解,则可形成固溶体。所以由两种或两种以上物质相互溶解构成单一均匀的物质即固溶体。固溶体具有溶剂组元的晶格类型。例如碳溶解在 α -Fe 中的固溶体称为铁素体,具有体心立方晶格。

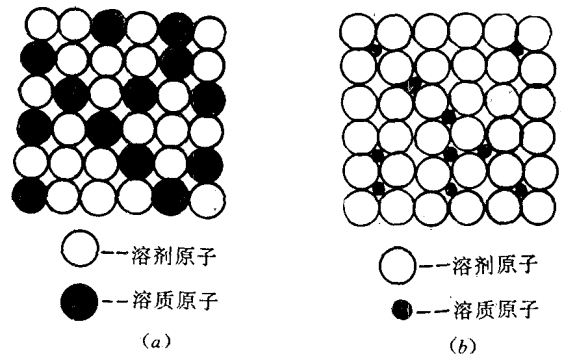


图 1-7 固溶体的两种类型
(a)置换固溶体 (b)间隙固溶体

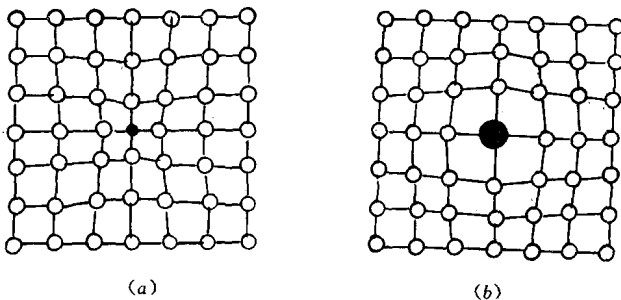


图 1-8 形成固溶体时的晶格畸变
(a)溶剂原子大于溶质原子 (b)溶剂原子小于溶质原子

根据溶质原子在溶剂晶格中所占据的位置,可将固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体。置换固溶体晶格结点上的某些溶剂原子被溶质原子代替,间隙固溶体是溶质原子嵌入各结点之间的空隙中,如图 1-7 所示。

由于各种元素的原子半径不同,当它们形成固溶体后,使溶剂晶格发生歪扭和畸变,如图 1-8 所示。这种畸变使塑性变形阻力增加,晶面间的相对滑移阻力也增加,表现为固溶体的强度和硬度升高。这种现象称为固溶强化。

2. 金属化合物

组成合金的元素间不仅会形成固溶体,还会相互作用形成金属化合物。金属化合物的晶体除了有离子键、共价键结合外,还存在相当程度的金属键结合,故具有明显的金属性质,如 Fe_3C 、 CuZn 、 Cr_7C_3 、 MoC 、 VC 等。

金属化合物一般具有较高的熔点,很高的硬度与脆性,如 VC 的硬度高达 $\text{HV}2010$,熔点高达 3023°C ,而延伸率 $\delta\approx 0$ 。金属化合物在合金中含量的多少、分布与组成对合金性能影响很大。金属化合物在合金中含量过多往往会导致合金的塑性、韧性下降。

§ 1-2 铁碳合金

钢铁是现代工业中应用最广泛的金属材料,其基本组成元素是铁和碳,故统称为铁碳合金。

合金的结构远比纯金属复杂。为了更好地研究和应用合金,就必须了解合金中各种组织与合金的成分之间的变化规律。合金状态图就是研究这些规律的有效工具。

合金状态图是通过实验制作出来的。它用图解方法表示合金的状态、组织、温度和成分之间的变化规律。最为典型的是铁碳合金状态图。

一、铁碳合金的基本组织

1. 铁素体

碳溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中形成的固溶体,称为铁素体,用符号 F 表示。它仍保持 $\alpha\text{-Fe}$ 的体心立方晶格。由于碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度很小,在 600°C 时的溶解度仅有 0.006% ,在 727°C 时溶解度最大达 0.02% ,因此其性能与纯铁几乎相同,塑性、韧性较好,强度、硬度较低,延伸率较高 $\delta=45\%\sim 50\%$ 。

2. 奥氏体

碳溶于 $\gamma\text{-Fe}$ 中形成的固溶体,称为奥氏体,用符号 A 表示。它仍保持 $\gamma\text{-Fe}$ 的面心立方晶格。由于面心立方晶格的间隙较大,因而奥氏体的溶碳能力较强,在 1148°C 时可溶碳 2.06% ,在 723°C 时能溶碳 0.77% 。奥氏体的强度、硬度较低,塑性很好,适于压力加工。钢大多数加热到奥氏体温区内进行锻造。

3. 渗碳体

渗碳体是铁与碳形成的金属化合物 Fe_3C 。它具有不同于铁和碳的复杂晶体结构,其含碳量为 6.69% 。渗碳体的硬度很高,脆性很大,塑性、韧性极差。室温下,铁碳合金中的碳几乎全部以渗碳体的形式存在,成为铁碳合金的重要强化相。

4. 珠光体

珠光体是由铁素体和渗碳体组成的机械混合物,用符号 P 表示。软而韧的铁素体和硬的渗碳体层片相间,使珠光体具有较高的强度,又有较好的塑性和韧性。

二、铁碳合金状态图

图 1-9 为简化的铁碳合金状态图。

1. 铁碳合金状态图中点和线的意义

(1) ACD ——液相线。液态合金冷却到此线时开始结晶。在此线以上的区域为液态区。

(2) AECF——固相线。合金冷却到此线时结晶完毕。此线以下的合金为固体状态。

(3) GS——铁素体析出线，习惯用 A_3 表示。奥氏体冷却到 GS 线时，开始析出铁素体。

(4) ES——渗碳体析出线，习惯用 A_{cm} 表示。奥氏体冷却到 ES 线时，开始析出渗碳体。

(5) PSK——共析线，习惯用 A_1 表示。奥氏体冷却到 PSK 线时，同时析出铁素体和渗碳体的机械混合物，称为共析转变，所以此线称为共析线，转变产物为珠光体。

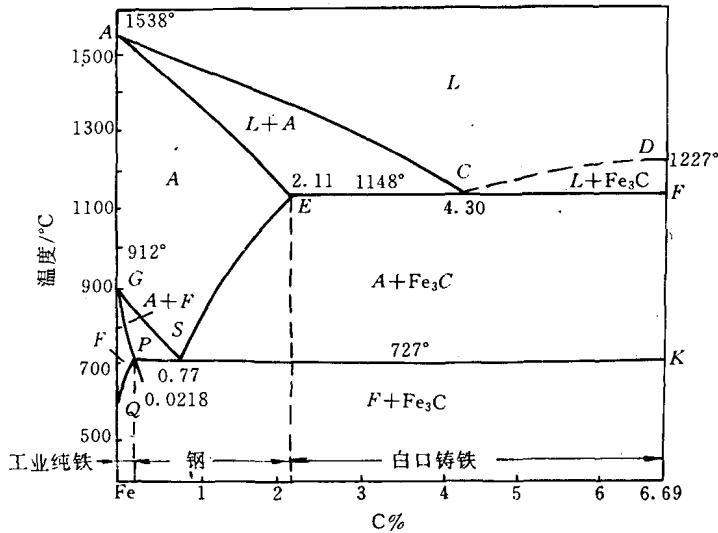


图 1-9 简化的 Fe-Fe₃C 相图

(6) ECF——共晶线。合金冷却到此线时同时结晶出奥氏体和渗碳体的机械混合物(共晶体)，称为莱氏体，习惯以 Le 表示。

(7) C——共晶点。

(8) S——共析点。

2. 钢的组织转变过程

根据铁碳合金状态图，含碳量大于 2.11% 的铁碳合金为铁；含碳量小于 2.11% 的为钢。依据含碳量可把钢分为含碳量等于 0.77% 的钢为共析钢，含碳量小于 0.77% 的钢为亚共析钢，含碳量大于 0.77% 的钢为过共析钢。

现以含碳量为 0.4%、0.77%、1.2% 的三种为例，说明在冷却过程中的组织转变。

含碳量为 0.4% 的亚共析钢，在高温时组织为奥氏体，冷却到 GS 线时，开始析出铁素体。当冷却到 PSK 线时，发生共析转变，余下的奥氏体全部转变为珠光体。因此，亚共析钢在室温时的组织为铁素体和珠光体，如图 1-10 所示。

含碳为 0.77% 的共析钢高温组织为单一奥氏体，冷却到 S 点时，奥氏体发生共析转变，全部转变为珠光体。故室温时共析钢的组织为珠光体，如图 1-11 所示。

含碳为 1.2% 的过共析钢在高温时组织也为单一奥氏体。当冷却到 ES 线时，开始从奥氏体中析出渗碳体。随着温度的下降，析出的渗碳体增加，剩余的奥氏体减少。当冷却到 PSK 线时，发生共析转变，剩余的奥氏体转变为珠光体。因此室温下过共析钢的组织为渗碳体和珠光体，如图 1-12 所示。

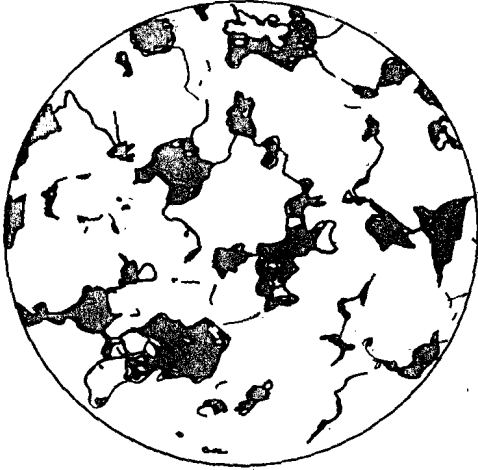


图 1-10 亚共析钢的显微组织

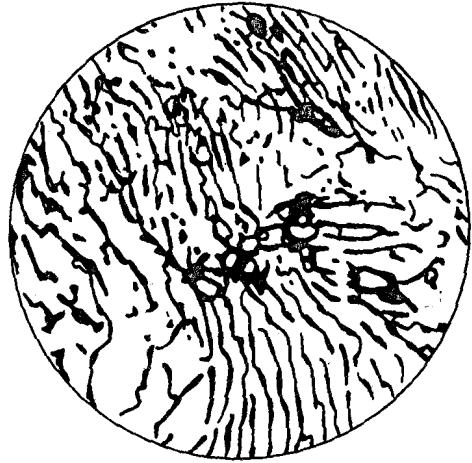


图 1-11 珠光体的显微组织



图 1-12 过共析钢的显微组织



图 1-13 共晶铸铁的显微组织

3. 生铁的组织变化

根据含碳量,生铁可分为亚共晶生铁、共晶生铁和过共晶生铁。其含碳量分别为 2.11%~4.3%、4.3%、4.3%~6.69%。

用分析钢的方法可同样分析生铁的组织变化。室温时亚共晶生铁的组织为珠光体、二次渗碳体和莱氏体;共晶生铁的组织为珠光体和渗碳体,如图 1-13;过共晶生铁的组织为一次渗碳体和莱氏体。

在 1148~727°C 的冷却过程中,由于奥氏体中碳的溶解度不断减少,所以在此温度区要从奥氏体中不断析出渗碳体。为区别从奥氏体中析出的渗碳体和直接从液态合金中析出的渗碳体,把前者称为二次渗碳体,后者称为一次渗碳体。