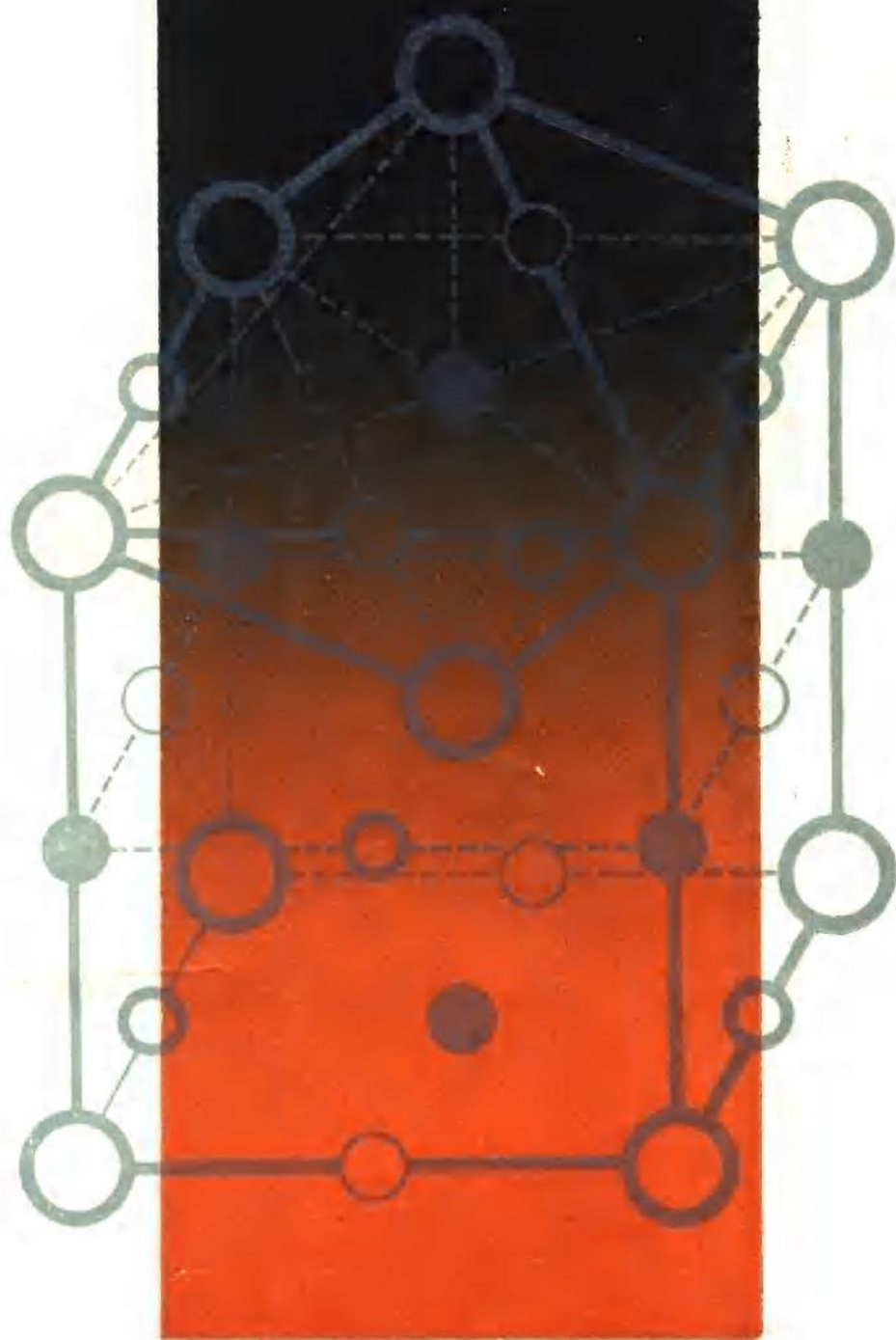




热处理工实践

余忠荪 张士林 宋炎炎 薄鑫涛 编

上海科学技术出版社

TG156
15
3

热 处 理 工 实 践

余忠荪 张士林 合编
宋炎炎 薄鑫涛

6744 / 19

上海科学技术出版社

B

488249

内 容 提 要

本书共分八章,分别介绍了热处理基础理论、钢的退火与正火、钢的淬火、钢的回火、合金钢的热处理;同时还介绍了钢的化学热处理、钢的表面热处理的工艺和设备;附录介绍了感应线圈的设计和热处理工艺参数等。

本书适合于热处理工程技术人员和技术工人、管理干部阅读,也可供大专院校和中等技术学校学生参考。

热 处 理 工 实 践

余忠荪 张士林 宋炎炎 薄鑫涛 合编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 常熟市兴隆印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12 字数 281,000

1988 年 5 月第 1 版 1988 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—7,500

ISBN 7-5323-0640-2/TG·29

统一书号: 15119·2560 定价: 3.10 元

序 言

我国的现代化建设正在日益发展,科学技术的重要作用正在发挥,人们对科技的重要性的认识也逐步在深化。就生产部门看,除了要有一批高、中、初级工程技术人员外,还必须要有一支强大的技术工人队伍,才能创造出各种各样的、符合现代科学技术要求的、符合人们高质量要求的设备、仪器和装置。十年前,我国就重视了对新工人队伍进行技术培训,上海科技出版社为此出版了一系列工人初级读物,满足了社会的需要,有利于提高整个队伍的水平。今天,技术工人队伍在发展,数量和质量都要求提高,因此,要尽快出版适合当前技术人员和中级技术工人所需读物,本书就是在这种情况下编写出版的。

《热处理工实践》以实用为目的,力求紧密联系生产实践,指导生产实践。本书在编写过程中,收集了一部分具有实效的新材料、新工艺、新设备,同时也收进了一部分科研成果。本书除适合五级技术工人的要求外,为了也能适合一般热处理技术人员的要求,特加强了热处理理论部分。但在写法上理论部分又不宜单独成章,而是放入各有关章节,便于读者以工艺为主深入阅读。

《热处理工实践》第一、二章由上海工业大学余忠荪编写,第三、四、五章由上海工业大学张士林编写,第六章由上海热处理厂薄鑫涛编写,第七章由上海热处理厂宋炎炎编写,附录由张士林、宋炎炎编写。

由于时间仓猝,书中难免有一些缺点和错误,希望广大读者提出宝贵意见。

目 录

序 言

第一章 热处理基础理论	1
第一节 铁碳合金	1
一、铁碳合金的基本组元	1
二、铁碳合金状态图	3
第二节 合金元素在钢中的作用	10
一、合金元素的分类	10
二、合金元素对铁碳状态图的影响	10
三、合金元素在钢中存在的形式	11
第三节 钢的加热转变	12
一、奥氏体的形成过程	12
二、影响奥氏体化因素	13
三、奥氏体晶粒度	13
第四节 钢的冷却转变图	14
一、过冷奥氏体等温转变曲线图	14
二、影响C曲线的因素	15
三、过冷奥氏体连续冷却转变图	16
第二章 钢的退火与正火	18
第一节 退火的组织转变	18
一、珠光体转变机理	18
二、珠光体组织形态与性能	19
第二节 退火	20
一、完全退火的目的	20
二、完全退火工艺	21
三、不完全退火及球化退火	22
四、等温退火	24
五、扩散退火	66
六、相变温度以下的退火	22
第三节 正火	28
一、正火的目的	28
二、正火、退火的组织缺陷	29
第三章 钢的淬火	30
第一节 钢淬火时的组织转变	30
一、马氏体的形成过程	30
二、马氏体的晶体结构与性能	31
三、两种组织形态的马氏体	32

四、马氏体转变特点	34
第二节 淬火工艺	35
一、淬火加热温度	35
二、淬火保温时间	36
三、淬火介质及冷却特性	37
四、淬火冷却方法	38
五、冷处理	42
六、钢的淬透性与淬硬性	43
第三节 淬火缺陷及其防止	46
一、淬火应力	46
二、淬火变形	47
三、淬火裂纹	48
四、氧化与脱碳	48
第四章 钢的回火	50
第一节 回火的组织转变与性能	50
一、钢在回火时的组织转变	50
二、机械性能与回火温度的关系	52
第二节 钢的回火工艺	53
一、回火温度	53
二、回火时间	54
三、回火后的冷却	54
四、回火中的一些问题	54
第三节 淬火回火工艺的发展	55
一、钢的亚温淬火	55
二、残余奥氏体的应用	56
三、锻造余热淬火	57
四、奥氏体晶粒和碳化物的超细化处理	58
五、控制马氏体、贝氏体组织形态的淬火	58
第五章 合金钢热处理	61
第一节 加入合金元素的目的	61
一、合金元素对钢的性能的影响	61
二、合金元素对热处理的影响	61
第二节 合金结构钢	62
一、合金调质钢及其热处理	62
二、弹簧钢及其热处理	63
三、滚动轴承钢及其热处理	67
第三节 合金工具钢	69
一、工作条件及性能要求	69
二、工具钢的分类及编号	69
三、低合金工具钢的热处理	71
四、高速钢热处理	71
五、模具钢的热处理	76
第四节 不锈钢及其热处理	80

一、不锈钢的化学成分	81
二、常用不锈钢的热处理	81
第六章 钢的化学热处理	85
第一节 化学热处理的基本过程	85
一、化学介质的分解	86
二、活性原子的吸收	86
三、渗入元素的扩散	86
四、影响化学热处理过程的主要因素	87
第二节 钢的渗碳	87
一、渗碳工件的技术要求及常用渗碳钢	87
二、固体渗碳	88
三、液体渗碳	91
四、气体渗碳	93
五、渗碳后的热处理	99
六、渗碳工件的质量检查及金相检验标准	102
七、渗碳工件常见缺陷及防止和返修措施	103
第三节 钢的渗氮	105
一、渗氮的基本过程	105
二、铁-氮系状态图	106
三、渗氮层组织及碳、合金元素对渗氮的影响	107
四、渗氮用钢	108
五、渗氮钢的预先热处理	110
六、气体渗氮	110
七、渗氮工件的质量检查、常见缺陷及防止措施	117
八、离子渗氮	120
第四节 软氮化	123
一、软氮化的基本原理和过程	125
二、软氮化特点	126
三、气体软氮化工艺	126
四、渗层性能	128
第五节 钢的碳氮共渗	128
一、碳氮共渗的特点	128
二、共渗层的技术要求	129
三、中温气体碳氮共渗	129
四、共渗件的组织性能与缺陷	131
第六节 钢的渗金属	132
一、渗铬	132
二、渗硼	132
第七章 钢的表面热处理	134
第一节 感应加热表面热处理	134
一、感应加热的特点和在热处理中的应用	134
二、感应加热的基本原理	135
三、感应加热的相变特点、淬火组织和性能	138

四、感应加热淬火用感应器.....	141
五、高、中频感应加热表面淬火工艺	147
六、感应加热热处理后工件的质量检验和缺陷分析.....	155
第二节 其他表面淬火方法的简述	157
一、火焰加热表面淬火.....	157
二、电接触加热表面淬火与电解液加热表面淬火.....	159
附录	161
一、常用盐浴的组成及工作温度范围	161
二、淬火、回火用油闪点.....	161
三、金属的硬度试验与国内外钢号编号对照	162
四、钢的火花鉴别	169
五、高、中频表面淬火感应器的设计与制造实例.....	176

第一章 热处理基础理论

随着现代工业和科学技术的发展,对钢铁材料的性能要求越来越高。提高钢铁材料性能的途径,主要是合金化和热处理。热处理是将钢铁材料经过不同的加热、保温和冷却,达到改变钢铁材料组织,或者将钢铁零件进行表面合金化与热处理,从而改变零件表面化学成分与组织,来获得我们所要求的性能的一种工艺。热处理所涉及的科学技术领域日益扩大,并且越来越密切。本书只对钢铁材料热处理的基本方法作一介绍。

热处理在现代工业中发挥着重要作用,它能充分发挥材料潜力,提高工件使用性能,减轻装备重量,节约材料,降低成本,延长使用寿命。因此,世界各工业国都把它看作是进行竞争的强有力手段之一。现代机床工业中,有60~70%的工件要经过热处理,汽车、拖拉机的零件中有70~80%的要进行热处理,而滚动轴承、工具、模具则几乎100%要进行热处理。显然,随着我国工农业、国防、科技的迅速发展,热处理将发挥更加重要的作用。

第一节 铁 碳 合 金

一、铁碳合金的基本组元

铁碳合金是工业上应用最广的一种金属材料,它的基本组元是铁和碳两个元素。普通碳素钢和铸铁都是铁碳合金。合金钢和合金铸铁则是加入了某些合金元素的铁碳合金。为了充分发挥热处理的作用,必须了解钢铁材料的成分、组织和性能之间的关系以及它们之间的变化规律。下面简略介绍铁碳合金的组元和基本相。

1. 纯铁

铁是由无数的铁原子按一定的点阵排列而组成的一种晶体,它在 912°C 以下为体心立方结构,称为 $\alpha\text{-Fe}$ 。超过 912°C 就由体心立方晶格转变为面心立方晶格,称为 $\gamma\text{-Fe}$ 。当温度升高,超过 1390°C 以后,又会转变为体心立方晶格,称为 $\delta\text{-Fe}$,直到超过 1535°C ,铁就开始熔化。同一个铁元素,随着温度不同会发生晶体结构的变化,我们就称它为同素异构转变。正因为铁的这种同素异构转变,使铁碳合金出现了许多复杂的变化。

铁的体心立方晶胞和面心立方晶胞如图1-1所示。

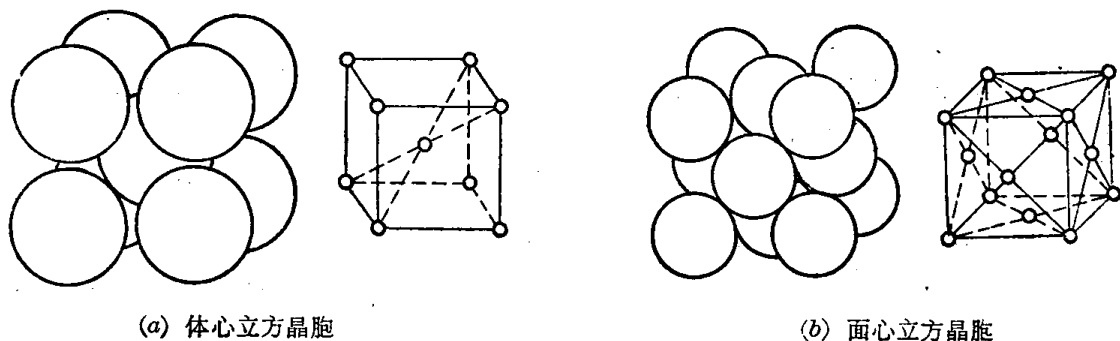


图1-1 体心立方晶胞和面心立方晶胞

纯铁在工业中无广泛应用,因为它的强度低,价格昂贵。体心立方的铁具有铁磁性。

2. 铁素体

铁碳合金有固溶体和金属化合物两相。固溶体是两个组元能互相溶解的均匀相,固溶体的晶格类型与其中某一组元的晶格类型相同,而另一组元的原子能占据在基体组元晶格的某一位置上。例如铁碳合金中的铁素体就称为碳溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体,也称溶剂。铁素体的晶体是体心立方结构。碳原子占据在体心立方晶体结构的间隙处,因为它的数量少,被称为溶质。铁素体通常以符号F表示,由于 $\alpha\text{-Fe}$ 的间隙很小,固溶入的碳很少,所以铁素体的含碳量很低,在 727°C 时,其含碳量最大也只有 0.0218% C。随着温度降低,含碳量逐渐减少, 600°C 时含碳量为 0.0057% ,到室温含碳量几乎为零。铁素体的性能如下:

抗拉强度 σ_b	180~280 兆帕
屈服强度 σ_s	100~170 兆帕
延伸率 δ	30~50%
断面收缩率 ψ	70~80%
冲击韧性 α_k	160~200 焦/厘米 ²
硬度 HB	50~80

可见铁素体的强度,硬度不高,但具有良好的塑性和韧性,铁素体的显微组织为多边形晶粒组织,如图1-2所示。在 770°C 以下具有铁磁性。

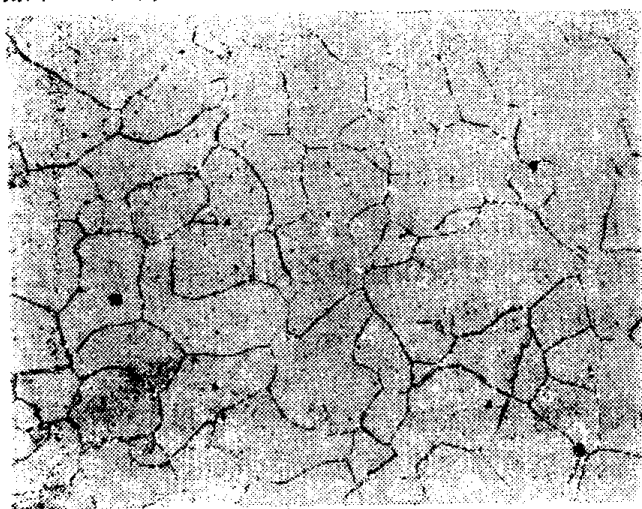


图1-2 铁素体的显微组织 $\times 200$

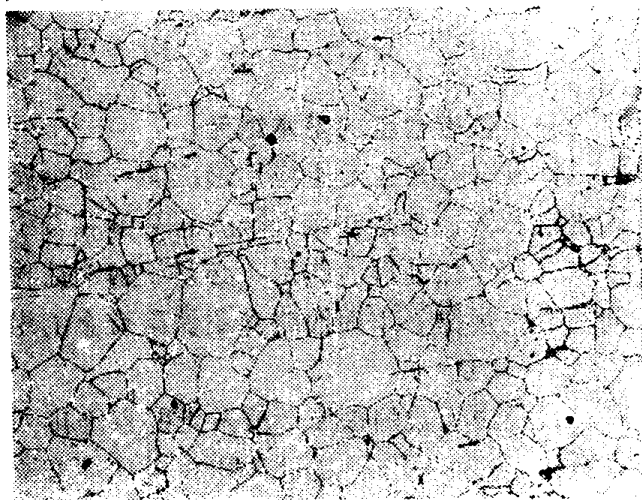


图1-3 奥氏体显微组织 $\times 170$

3. 奥氏体

碳溶于 $\gamma\text{-Fe}$ 中的间隙固溶体,就称为奥氏体,以符号A表示。奥氏体是面心立方晶格。虽然面心立方晶格致密度比体心立方晶格大,但面心立方晶格中的间隙,比体心立方晶格边上的间隙要大,故面心立方的溶碳能力就比体心立方大得多。奥氏体的溶碳能力随温度而不同,当温度在 1140°C 时,奥氏体含碳量最大,可达 2.11% C;随温度降低,含碳逐渐减少,在 727°C 时,含碳量为 0.77% 。

奥氏体性能与含碳量有关,与晶粒大小也有关,一般硬度为HB 170~220,延伸率 δ 为40~50%。由于强度和硬度较低,塑性较好,常用来加工成型。

奥氏体存在于 727°C 以上高温范围内,其显微组织也呈多边形晶粒,晶界较平直。如图1-3所示。

奥氏体为非铁磁性相。

4. 渗碳体

渗碳体是由铁和碳组成的金属化合物,它的晶体结构很复杂,如图 1-4 所示。渗碳体的分子式为 Fe_3C , 以符号 C 表示。渗碳体含碳量为 6.69% C , 熔点为 1227°C , 没有同素异构转变。它的硬度很高,相当于 HB 800, 塑性和韧性极差,呈现硬而脆。

渗碳体不受 4% 的硝酸酒精腐蚀,在显微镜下呈白亮色,若用碱性苦味酸钠腐蚀,则在显微镜下呈黑色。渗碳体形状多种,可呈片状、粒状、网状等。渗碳体的含量多少,它的形状及分布如何,对钢的性能都有很大的影响。

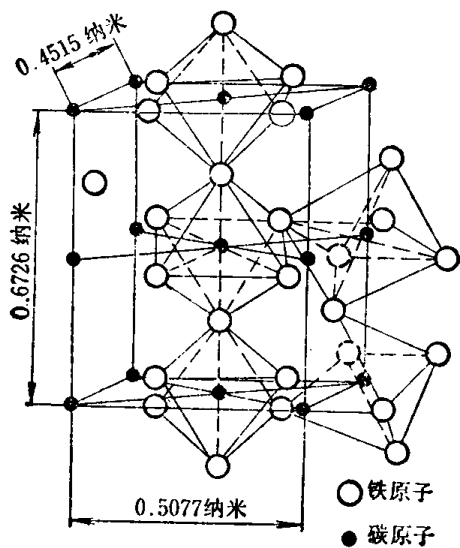


图 1-4 Fe_3C 的晶格结构

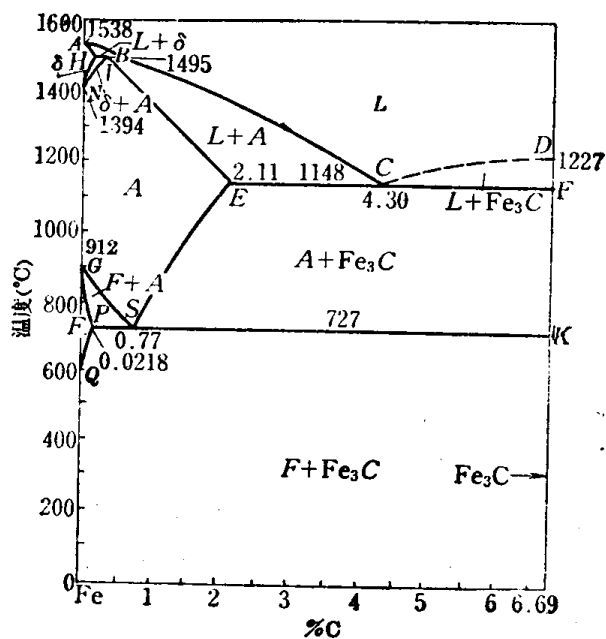


图 1-5 Fe- Fe_3C 相图

二、铁碳合金状态图

1. Fe- Fe_3C 相图图形分析

在铁碳合金中,有多种铁碳化合物,当含碳量大于 5% 时,合金性能极脆,没有实用价值。因此,在铁碳合金相图中,只研究 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 部分。所谓铁碳相图,实际上就是指 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图。由于铁具有同素异构转变,各同素异构的溶解碳原子的能力各不相同,所以 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图就比较复杂,如图 1-5 所示。

铁碳状态图属于复杂的二元合金状态图,纵坐标为温度,横坐标为含碳量的质量百分

表 1-1 Fe- Fe_3C 相图中的特性点

特性点	温度($^\circ\text{C}$)	含碳量(%)	含义
A	1538	0	纯铁的熔点
C	1148	4.3	共晶点
D	~ 1227	6.69	渗碳体的熔点
E	1148	2.11	碳在奥氏体中的最大溶解度
F	1148	6.69	渗碳体的成分
G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 同素异晶转变点
K	727	6.69	渗碳体的成分
P	727	0.0218	碳在铁素体中最大溶解度
S	727	0.77	共析点
Q	600	~ 0.0057	碳在铁素体中的溶解度

表 1-2 Fe-Fe₃C 相图中的特性线

特 性 线	含 义
AC	铁碳合金的液相线, 液态合金开始结晶出奥氏体
CD	铁碳合金的液相线, 液态合金开始结晶出渗碳体
AE	铁碳合金的固相线, 即奥氏体的结晶终了线
ECF	铁碳合金的固相线, 即 $L_0 \rightarrow A_E + Fe_3C$ 共晶转变线
GS	奥氏体转变为铁素体的开始线
GP	奥氏体转变为铁素体的终了线
ES	碳在奥氏体中溶解度线
PQ	碳在铁素体中溶解度线
PSK	$A_S \rightarrow F_P + Fe_3C$ 共析转变线

① 表格中各特性线的含义, 均是指合金在缓慢冷却过程中的相变, 如果是加热过程, 则相反。

数。图中各点均按国际惯用的符号标注, 各点的含碳量、温度及其意义列于表 1-1 中。相图中各线条的特性列于表 1-2。

从图 1-5 中可看出, $ABCD$ 为液相线, $AHJECD$ 为固相线。铁碳合金有包晶、共晶和共析恒温反应, 水平线即为恒温转变。下面为此相图的几点简要的说明。

(1) ECF 水平线 (1148°C) 为共晶转变线, 在此温度发生的转变是 $L_0 \rightarrow \gamma_E + Fe_3C_I$ 。其中字母右下角符号代表某点, 如 C 点、 E 点, 发生这一共晶转变获得的产物是奥氏体与渗碳体的混合物, 又称为莱氏体, 以 L_d 表示。这种反应发生在含碳量为 $2 \sim 6.69\%$ 的合金中, 是液态转变为固态, 这对研究铸铁比较重要。

(2) PSK 水平线 (727°C) 为共析转变线, 又称为 A_1 线。在此温度发生的转变是 $\gamma_s \rightarrow \alpha_p + Fe_3C_{II}$ 。发生这一共析转变获得的产物是铁素体与渗碳体的混合物, 又称为珠光体, 以 P 符号表示。这种反应是在固态下发生的。含碳量在 0.02 以上的合金, 都有这种转变。这种转变对研究钢铁热处理极为重要。

(3) GS 线, 是不同含碳量的奥氏体析出铁素体的开始线, 通常又称为 A_3 线, 它处于一定的温度范围。

(4) ES 线, 是碳在奥氏体中的溶解度曲线, 通常又称为 A_{cm} 线, 它也是处于一定温度范围。对于含碳量大于 0.77% 的铁碳合金, 自 1148°C 冷至 727°C 的过程中, 从 ES 线可看出, 奥氏体要析出渗碳体才能达到平衡状态。为了将这种渗碳体与从液态中转变产物一次渗碳体 (Fe_3C_I) 相区别, 称二次渗碳体 (Fe_3C_{II})。

(5) PQ 线, 是碳在铁素体中的溶解度曲线。因为铁素体的含碳量在 727°C 达到最高为 $0.0218\% \text{C}$, 室温含量为 $0.006\% \text{C}$, 所以一般铁碳合金都含有三次渗碳体 (Fe_3C_{III}) 析出。析出 Fe_3C_{III} 对含碳量较高的合金意义不大, 但对于低碳钢板等也必须重视。

2. 典型铁碳合金的结晶过程

工业上使用的铁碳合金, 根据其含碳量的不同, 可分为钢和铸铁两大类。

(1) 钢 含碳量为 $0.0218 \sim 2.11\% \text{C}$ 。当钢被加热到 A_3 和 A_{cm} 以上时, 钢的金相组织便转变为奥氏体, 呈单相组织, 人们通常利用这种组织的塑性进行加工。钢是被广泛应用的一种铁碳合金。钢又可分三类:

亚共析钢	含碳量小于 $0.77\% \text{C}$
共析钢	含碳量为 $0.77\% \text{C}$

过共析钢

含碳量大于 0.77% C

(2) 铸铁 含碳量为 2.11~6.69% C 之间。由于含碳量很高, 有大量的渗碳体, 因此铸铁呈脆性, 不能加工锻造, 但铸造性能较好。铸铁也可分为三类:

亚共晶白口铸铁

含碳量小于 4.3% C

共晶白口铸铁

含碳量为 4.3% C

过共晶白口铸铁

含碳量大于 4.3% C

下面我们讨论几组典型铁碳合金的结晶过程及组织变化情况, 以进一步加深对平衡图的了解。选取的典型合金如图 1-6 所示。

i) 共析钢

图 1-6 中的 ② 代表含碳量为 0.77% 的共析钢, 当它处于 t_1 温度以上时 (即 1 点以上), 合金为液态。当它冷却与液相线相交时 (即 1 点), 液态中开始析出 γ 固溶体 (即奥氏体), 继续冷却到 t_2 时, 液态全部凝固, 形成 γ 固溶体, 温度继续冷却, 从 $t_2 \sim t_3$ 这个区域, 合金组织没有任何变化; 当冷至 t_3 温度时 (727°C), 发生共析转变, 奥氏体转变为珠光体。共析钢室温下组织为珠光体。如图

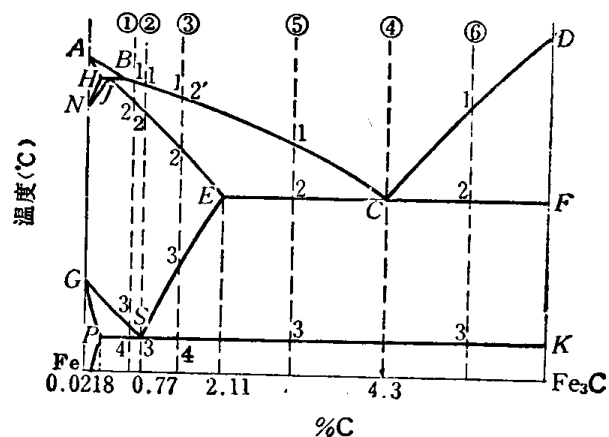


图 1-6 选取典型铁碳合金的位置

1-7 所示, 珠光体是铁素体和渗碳体的层片状相间的机械混合物, 呈指纹状。图中白色基体为铁素体, 黑色片层为渗碳体 (铁素体较易腐蚀, 合金经腐蚀后, 渗碳体凸起。实际上, 黑色片层乃是渗碳体及其阴影)。

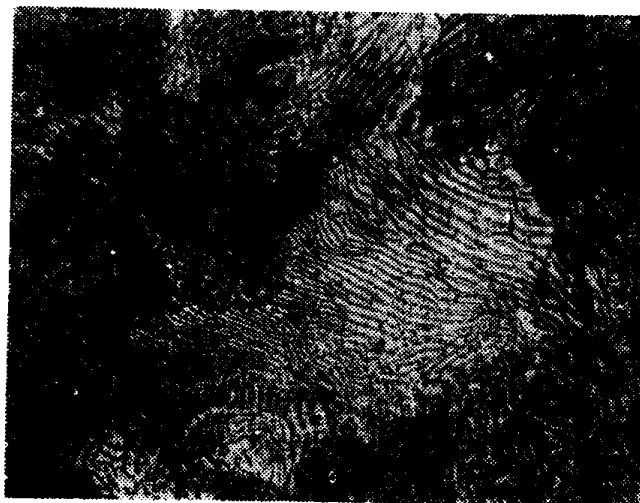


图 1-7 珠光体组织 $\times 850$

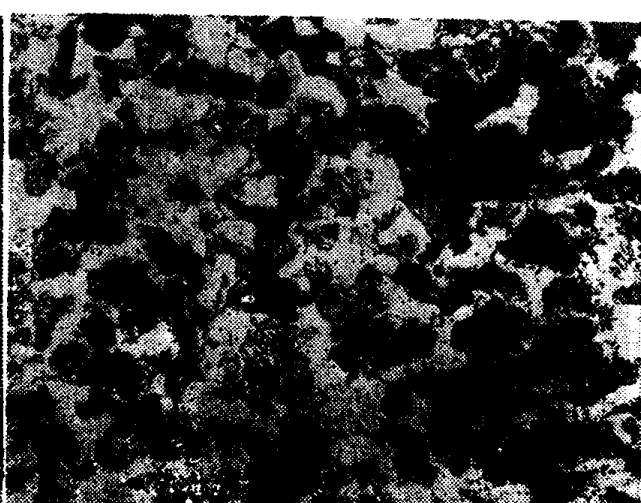


图 1-8 亚共析钢平衡组织 $\times 850$

ii) 亚共析钢

图 1-7 中的 ① 代表含碳量为 0.5% 的亚共析钢。当温度冷至 t_1 时, 合金开始析出奥氏体; $t_1 \sim t_2$ 这个区域奥氏体数量不断增加; 当冷至 t_2 时, 合金全部转变为奥氏体, $t_2 \sim t_3$ 这个区域, 组织没有任何变化; 当冷至 t_3 温度时, 与 GS 线相交, 奥氏体就开始析出铁素体; 温度由 t_3 降到 t_4 这个区域, 铁素体数量不断增加。但是, 这个区域析出的铁素体其含碳量沿 GP 线变化的, 奥氏体中含碳量也沿 GS 线变化。当温度冷至 t_4 时 (共析温度), 留下来的奥氏体含碳量为 S 点的含碳量 (0.77% C)。在这个温度下发生共析转变, 奥氏体全部转变为珠光

体。所以室温下亚共析钢的平衡组织为铁素体+珠光体组织。如图 1-8 所示, 白色部分为铁素体, 黑色为珠光体。实际上, 从 727°C 冷至室温时, 在铁素体中还会析出三次渗碳体 ($\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$), 但因数量很少, 对含碳稍高的铁碳合金影响不大, 一般略而不计。

亚共析钢中含碳量越高, 则珠光体量越多, 而铁素体量越少。如图 1-9 a、b、c 所示。因此可以根据亚共析钢的平衡组织来估计其含碳量。

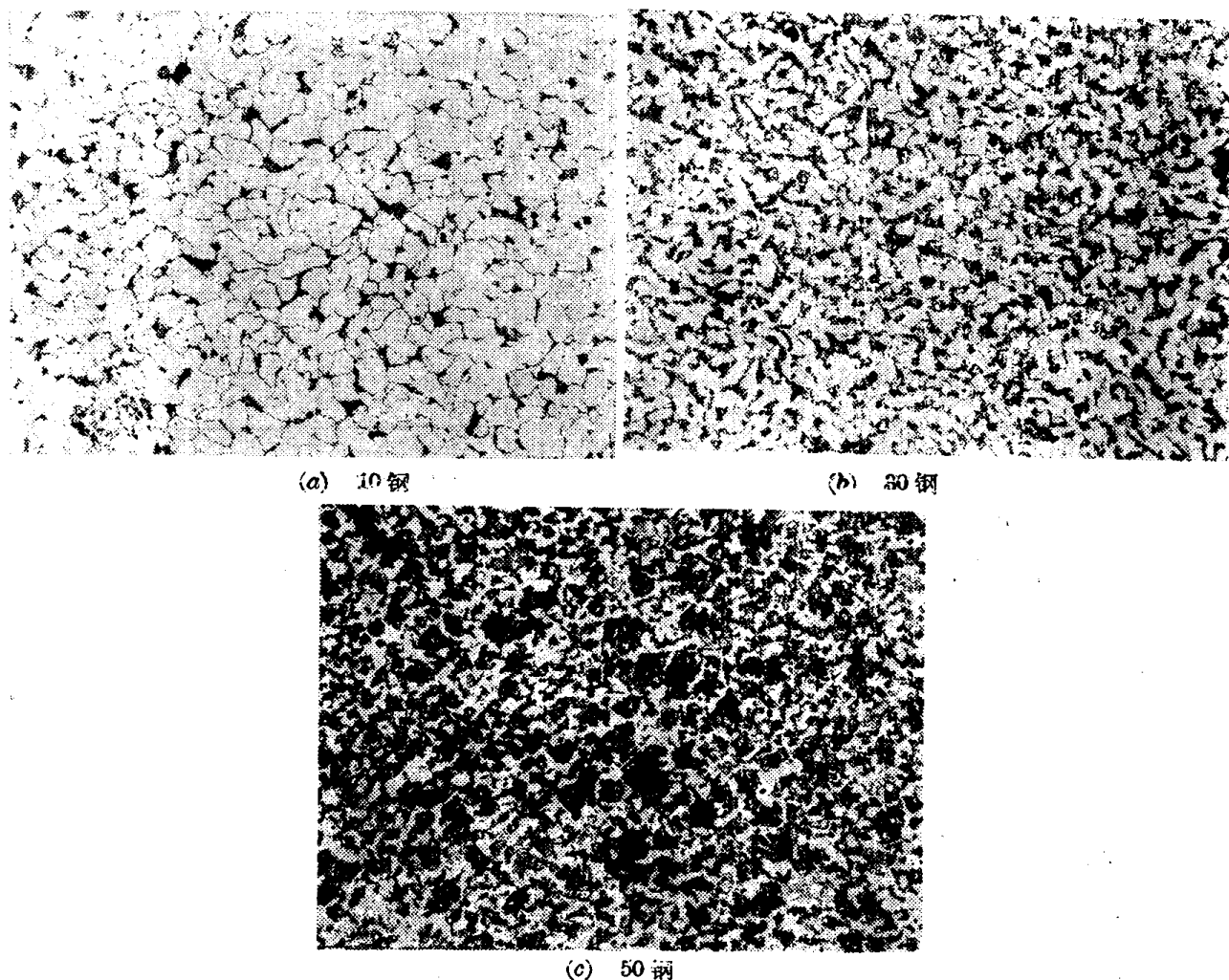


图 1-9 不同含碳量的亚共析钢平衡组织 $\times 200$

iii) 过共析钢

图 1-6 中③代表含碳为 1.2% 的过共析钢。 t_3 温度以上的结晶过程与共析钢、亚共析钢相同。当温度冷却到 t_3 温度时, 与 ES 线相交, 奥氏体中开始析出二次渗碳体 ($\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$), 由于渗碳体含碳很高, 故此时奥氏体的含碳量开始减少, 析出的二次渗碳体一般沿奥氏体晶粒间界分布(呈网状分布)。当温度冷到 t_4 点时, 奥氏体的含碳量也沿 ES 线降到 S 点成分 (0.77% C), 在此温度下进行共析反应, 奥氏体转变为珠光体, 如图 1-10 所示。分布在晶粒边界呈网状的白色部分为渗碳体, 其他为层片状的珠光体组织。

过共析钢慢冷时, 会在奥氏体晶界析出网状渗碳体, 使钢呈现很大的脆性, 工件容易崩裂。一旦出现网状渗碳体, 必须通过加热后快冷(正火)或其他方法予以消除。

iv) 共晶白口铸铁

图 1-6 中④代表含碳为 4.3% C 的共晶白口铸铁。因为这种铸铁的断口有白亮光泽, 故称为白口铸铁。当温度冷至 t_1 时 (1148°C), 合金发生共晶转变 $L \rightarrow \gamma_E + \text{Fe}_3\text{C}_I$, 即液态凝

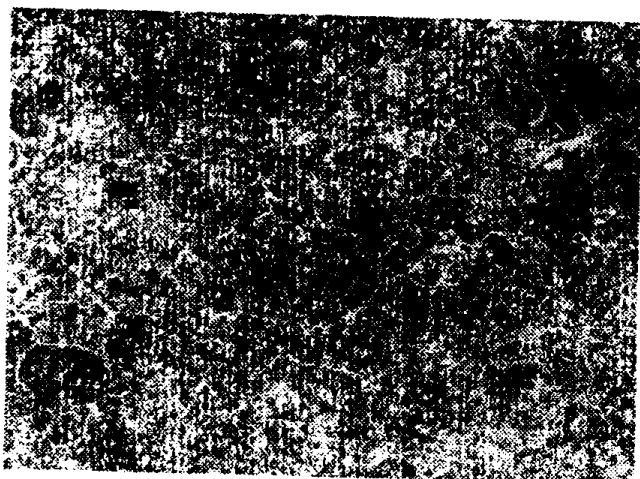


图 1-10 过共析钢平衡组织 ×200

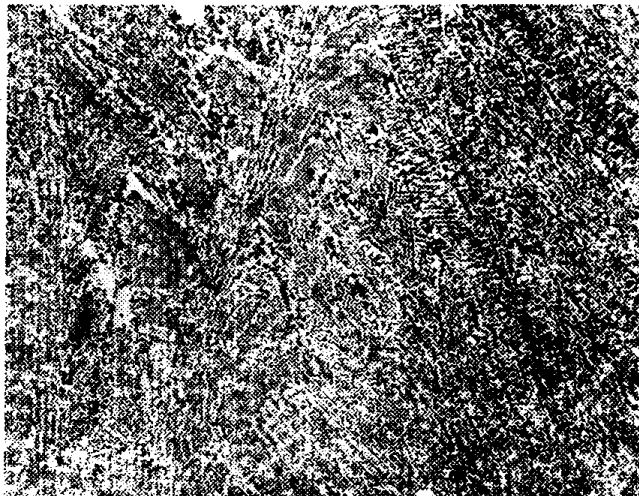


图 1-11 共晶白口铸铁平衡组织 ×200

固, 转变为奥氏体和渗碳体。这种共晶转变产物, 我们取名为莱氏体。当温度继续冷却时, 莱氏体中的奥氏体成分要沿 ES 线变化, 含碳量降低, 从奥氏体中析出二次渗碳体。当继续冷却至 t_2 时, 奥氏体进行共析转变成为珠光体。所以共晶白口铸铁在室温下的莱氏体组织, 是由珠光体, 二次渗碳体和共晶渗碳体所组成, 如图 1-11 所示, 其中白色部分为渗碳体, 阴暗部分为珠光体。

v) 亚共晶白口铸铁

图 1-6 中⑤代表含碳为 3.5% C 的亚共晶白口铸铁。当温度冷至 t_1 时, 液体中开始析出奥氏体。继续冷至 t_2 时, 剩余的液体到达 O 点成分, 进行共晶转变形成莱氏体。当温度从 t_2 冷至 t_3 过程中, 奥氏体将析出二次渗碳体 (Fe_3C_{II})。当温度到 t_3 时, 奥氏体含碳量为共析成分 (0.77% C), 进行共析转变, 奥氏体转变为珠光体。故室温组织是由珠光体、二次渗碳体和莱氏体 (珠光体 + 二次渗碳体 + 渗碳体) 所组成, 如图 1-12 所示, 组织中的二次渗碳体与渗碳体基体连在一起无法区分, 故组织中只看到黑色枝晶状的珠光体, 分布在共晶莱氏体的基体上。



图 1-12 亚共晶白口铸铁平衡组织 ×100

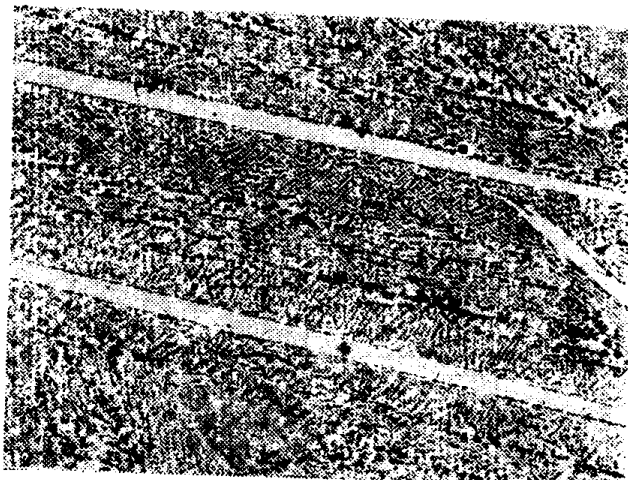


图 1-13 过共晶白口铸铁平衡组织 ×100

vi) 过共晶白口铸铁

图 1-6 中⑥代表含碳为 5% C 的过共晶白口铸铁。其结晶过程与亚共晶白口铸铁相似, 所区别的是共晶转变前从液体中析出的不是奥氏体而是片状的一次渗碳体, 一次渗碳体在以后的冷却过程中不发生任何变化。从 t_2 冷到 t_3 时, 奥氏体析出二次渗碳体, 直到 t_3 点

发生共析转变。故过共晶白口铸铁的室温平衡组织应由一次渗碳体及莱氏体所组成，即 $\text{Fe}_3\text{C}_\text{I}$ + 莱氏体（珠光体 + $\text{Fe}_3\text{C}_\text{II}$ + $\text{Fe}_3\text{C}_\text{I}$ ）。如图 1-13 所示，其中粗大白色板条状为初生渗碳体，基体为共晶莱氏体。

3. 含碳量对碳钢的组织 and 性能的影响

(1) 含碳量对钢的平衡组织的影响

共析钢的平衡组织是共析珠光体，含碳极低的碳钢的平衡组织是铁素体。随着含碳量的增加，平衡组织便可出现珠光体和铁素体，而且珠光体的量，亦随着含碳量的增加而线性增加，直到含碳量达到 0.77% 的共析成分时，整个平衡组织都变为珠光体。当含碳量超过共析成分之后，平衡组织中除珠光体外，还将出现渗碳体 ($\text{Fe}_3\text{C}_\text{II}$)，而且随着含碳量的增加，二次渗碳体的数量也会增加。

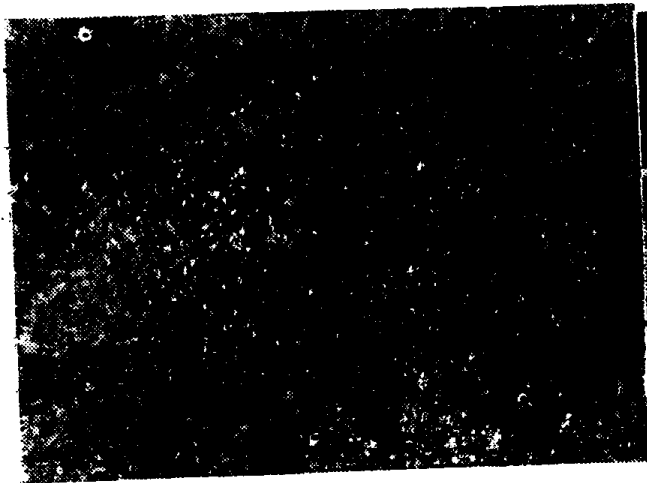


图 1-14 共析钢中铁素体沿珠光体晶粒边界分布 ×500



图 1-15 过共析钢中渗碳体沿珠光体晶粒边界分布 ×500

碳钢由于含碳量的不同，发生了铁素体、珠光体、渗碳体等相对量的变化，这些数量上的

变化，都可用杠杆定律进行计算。而且它们的组织形态和分布，也会发生变化。如含碳量很低的钢，铁素体会成为基体，珠光体会沿晶界分布，见图 1-9 a。含碳量接近共析成分时，珠光体变为基体，铁素体可能沿晶界分布，如图 1-14 所示。当超过共析成分时，珠光体为基体，渗碳体就可能沿晶界呈网状分布，如图 1-15 所示。

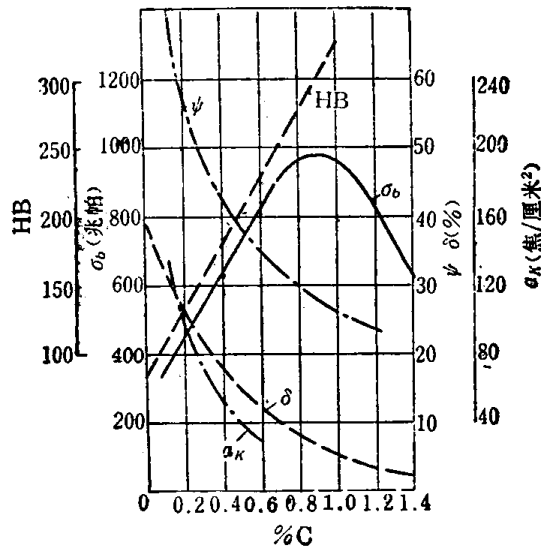


图 1-16 含碳量对钢的机械性能的影响

(2) 含碳量对钢的机械性能的影响

由于在不同成分的钢的平衡组织中，各相的数量及分布不同，故不同成分的钢具有不同的性能。渗碳体硬度很高，一般认为是一种强化相。当基体组织是铁素体时，钢的强度和硬度是不高的。

当渗碳体数量增加，而且与铁素体构成层片状的珠光体时，钢的强度与硬度得到提高，故在钢中，珠光体量愈多时，钢的强度与硬度愈高，但塑性、韧性则有相应的降低。对于过共析钢，渗碳体明显地呈网状分布在晶界时，则钢的塑性、韧性大大降低，强度也随之降低了。

含碳量对钢的机械性能的影响,如图 1-16 所示。由图可见,由于 0.9% C 的钢随着含碳量的增加强度增加,当大于 0.9% C 时,由于网状渗碳体出现,强度反而降低了。塑性、韧性则随着含碳量增加而下降。工业上使用的钢的含碳量一般不超过 1.2~1.3% C。

4. 铁碳相图在生产上的应用

铁碳相图表示了铁碳合金成分与组织的变化,由于钢的性能取决于钢的成分和组织,故钢的性能也从铁碳相图上得到了提示。铁碳相图可作为机械设计时选材的参考工具,也可作为铸锻焊热加工时确定加工工艺参数的重要依据。下面分别将这些应用简述如下:

(1) 在材料选择方面的应用

一般机械零件,可选用低碳和中碳钢制造,要求高强度、高耐磨的零件,则可选用高碳钢制造。要求塑性韧性好为主的零件,可选用含碳 0.25% C 以下碳钢制造。要求强度、韧性、塑性这三种综合机械性能都好的零件,可选用 0.35~0.55% C 的中碳钢制造。要求强度、硬度高的、弹性好的零件,如弹簧,可选用 0.6~0.8% C 的中碳钢制造。对于一些工具、要求硬度高,并需有韧性配合的,则可选用 0.7~0.9% C 的钢制造,对某些切削工具、测量工具、模具,要求硬度高、耐磨性好的,则可选用 1~1.2% C 的钢制造为宜。要求很耐磨、而可不考虑冲击韧性的零件,则可选用亚共晶铸铁,同时白口铸铁可经可锻化退火处理,成为可锻铸铁而被广泛应用。

(2) 在铸造方面的应用

铸造生产中,我们要知道:加热到多少温度,才能使一定含碳量的铁碳合金能够熔化;降温时要降到多少温度,液态开始凝固;降到多少温度,凝固结束,全部变为固态金属。这些参数,在铁碳平衡图上都已经表示清楚了。例如:液态金属降温到 ABC 线时,就要开始凝固,降到 JEC 线时,凝固结束,全部变为固态金属。从平衡图还可看出,钢比铁的熔化温度和浇注温度都要高,共晶成分的铁碳合金(铸铁),结晶温度最低,故具有良好的铸造性能。因此这种成分的铸铁,已获得了广泛的应用。

(3) 在锻造方面的应用

已经知道,奥氏体的强度较低,塑性较好,变形加工就经常在奥氏体状态进行。那么要把钢材加热到多少温度,才能完成 α 固溶体转变为 γ 固溶体呢,铁碳平衡图都已经表示清楚了。从相图出发,可以正确选择加工温度范围,选择原则是:开始轧制或锻压温度不要过高,否则氧化严重,甚至过热、过烧,出现晶界熔化现象。终轧温度、终锻温度也不能过低,否则也可能由于塑性变差而使工件出现破裂。

(4) 在焊接方面的应用

焊接时,熔化金属处于很高的温度,焊缝到母材各区域(附近)都会受到高温的影响。由于金属处于不同温度,就可能是不同的组织,冷却到室温后就可能由组织的不同而引起性能的差异。对于合金钢更要注意,甚至焊接冷却后,得到马氏体组织,故焊接金属常常须采用热处理方法,对其性能加以改善。

至于热处理与 Fe-Fe₃C 相图关系就更密切了,在下面各章中都有不同程度的牵涉到。在应用 Fe-Fe₃C 相图时,要注意两个方面:

i) 钢铁材料中,含有其他杂质或合金元素,这些杂质和元素都会影响相图中线和点的位置,故应用相图时,要考虑到它的变化。

ii) 相图是在极缓慢的加热速度和冷却速度条件下得到的,而实际生产中,冷却速度都