



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12.5" GUIHUA JIAOCAI

金工实习

JIN GONG SHI XI

主编◎刘振昌 刘焕牢



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

金工实习

主 编 刘振昌 刘焕牢
副主编 王 雷 尹辉彦
主 审 王海峰

北 京
冶金工业出版社
2014

内 容 简 介

本书主要内容为:金属材料热处理,钳工,焊工,车削,铣削、刨削、磨削,数控车床,数控铣床等8个教学模块。

本书可作为普通高等教育、高职高专、成人院校机械工程、机械制造机自动化、模具、机电一体化及近机械类专业课程金工实习教材,也可作为相关工程技术人员参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

金工实习/刘振昌等主编. —北京:冶金工业出版社,2014.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6739-5

I. ①金… II. ①刘… III. ①金属加工—实习—高等学校—教材 IV. ①TG—45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 187612 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

ISBN 978-7-5024-6739-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京明兴印务有限公司印刷

2014 年 9 月第 1 版,2014 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;20.5 印张;496 千字;326 页

38.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

前 言

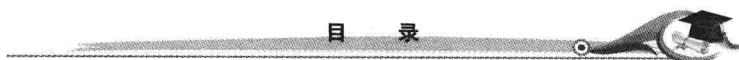
本书记叙了模块教学法与课题研究、任务驱动等相结合的实训教学改革特点。在编写过程中注重以教学“实用、够用、活用”为原则,从应用型人才培养要求出发,以零件加工过程为主线,将各工种操作技能所需基本知识进行优化设计;在内容上注重加强基础、做到系统性强、少而精,重点突出、层次分明,特色鲜明;在能力培养方面注重培养工程素质教育和培养技术应用能力、创新能力、分析问题和解决问题的能力;参编的有教师与工程师的有机结合,目的是缩小教材理论与实际应用之间的差距,使学生能真正掌握有用的知识,实现理论与实践相结合。在编写过程中注重贴近生产实际,突出高等高专教育改革的特点,认真总结和汲取各院校最新的教学成果和教改经验,汲取国内同类教材的精华。

本书由刘振昌、刘焕牢任主编,王海峰教授主审。参加编写的有广东海洋大学刘焕牢(项目八、全书统稿、校对),甘肃畜牧工程职业技术学院刘振昌(项目二、四、五、实训指导书及全书统稿、校对)、王雷(项目六、七)、尹辉彦(项目一、三)。

本书在编写过程中得到了广东海洋大学、甘肃畜牧工程职业技术学院领导和同仁的大力支持,同时书中引用了专家、学者相关资料,已列书后参考文献,编者对相关编者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中若有不妥之处,恳求读者提出宝贵意见。

编者
2014年8月



目 录

项目一 工程材料及热处理	(1)
课题1 工程材料	(1)
课题2 钢的热处理	(23)
课题3 钢的热处理设备	(30)
课题4 综合技能训练	(34)
项目二 钳工	(46)
课题1 钳工基础	(46)
课题2 划 线	(49)
课题3 锯 削	(58)
课题4 锉削	(63)
课题5 钻、扩、铰孔及攻、套螺纹	(69)
课题6 錾削、矫正、弯形	(78)
课题7 综合技能训练	(86)
项目三 焊工	(91)
课题1 概述	(91)
课题2 气焊与气割	(94)
课题3 焊条电弧焊	(101)
课题4 埋弧焊	(105)
课题5 非熔化极气体保护焊	(108)
课题6 熔化极气体保护焊	(111)
课题7 综合技能训练	(115)
项目四 车削	(122)
课题1 车床及车削	(122)
课题2 车刀	(132)
课题3 轴类零件加工	(140)
课题4 套类零件加工	(151)
课题5 偏心件加工	(155)
课题6 综合技能训练	(160)



项目五 铣削、刨削、磨削	(168)
课题1 铣削	(168)
课题2 刨削	(183)
课题3 磨削	(191)
项目六 数控机床	(202)
课题1 数控车床认知	(202)
课题2 数控车床操作	(210)
课题3 一般轴类零件加工	(229)
课题4 一般套类零件加工	(242)
课题5 螺纹的加工	(245)
课题6 综合技能训练	(249)
项目七 数控铣床(加工中心)	(255)
课题1 数控铣床(加工中心)认知	(255)
课题2 数控铣床(加工中心)操作	(260)
课题3 简单零件加工	(281)
课题4 综合技能训练	(294)
项目八 电火花线切割加工机床	(301)
课题1 电火花线切割加工机床认知	(301)
课题2 电火花线切割加工机床操作	(312)
课题3 综合技能训练	(319)
参考文献	(321)



项目一 工程材料及热处理



课题 1 工程材料

知识点 1 工程材料及其分类

一、工程材料

人类社会产生和发展不可或缺的一样东西是生产工具,最初从简单的依靠自然物质,再到使用磨砺过的石器,接着发现并使用青铜,然后是铁器的广泛使用,而这些生产工具的每次选择都代表着人类社会的进步,所以总以其时代的生产工具来命名该阶段的人类社会,例如石器时代、青铜器时代。其实,不管是石器还是青铜器,它们都是所谓的材料,因此,材料就是人类社会不可或缺的物质基础,是对人类有用的固体物质。

随着人类社会的不断发展,材料也衍化出很多的种类。其中研究最广也尤为重要的一类是工程材料,工程材料就是各个工程领域所使用的材料,比如机械、建筑、水利、航天、化工、能源等工程领域,它随着科技的不断进步也形成了一门科学,是许多工业化国家的重点发展学科之一。近代工程材料的发展主要有三个阶段:

20 世纪初到 40、50 年代机械化生产代替简单的手工生产,各种机械和机械结构件的制造带动了整个社会的生产,因此,当时发展的主要对象是一般性能的金属材料。

60 年代后,世界的军事竞赛从海洋转移到了太空,作为物质基础的材料,一般性能的金属材料已不再适用了,这时需要耐高温高压、高强度和比模量等高性能的材料,所以,发展的主要对象转移到了陶瓷材料、高分子材料和复合材料。

80 年代后,信息和能源已成为时代的主流发展,各种信息和能源材料广发运用到各类产业当中,比如光电子材料、低维材料、薄膜材料、生物材料。

随着科技的不断发展,相信会出现更多新型材料,使材料这门科学得到更充分更完整的拓展。20 世纪之后,特别是近几年来,非金属材料如工程陶瓷等,有了迅速的发展,在某些领域上在逐步代替金属材料、并显示了明显的优点。但目前机械工业中应用最广的仍为金属材料。工厂里的各种机械、设备,大地上奔驰的火车,横跨江河的桥梁;无不主要是由金属材料制成的。图 1-1 所示为世界上第一座弧线形斜拉桥南京长江第三大桥。该桥全长 15.6km,其中跨江大桥长 4744m,主桥跨径 648m。

又由于各种现代研究手段的发展与应用,从而大大加深了人们对金属材料微观结构与宏观性能关系的认识。因此,金属材料学近几十年来得到了迅速的发展。



图 1-1 世界上第一座弧线形斜拉桥

二、工程材料的分类

工程材料的种类繁多,用途广泛,有许多不同的分类方法,工程上通常按照化学成分和结合键的特点来划分,主要分为三大类:金属材料、非金属材料和复合材料。更详细的归类如图 1-2 所示。

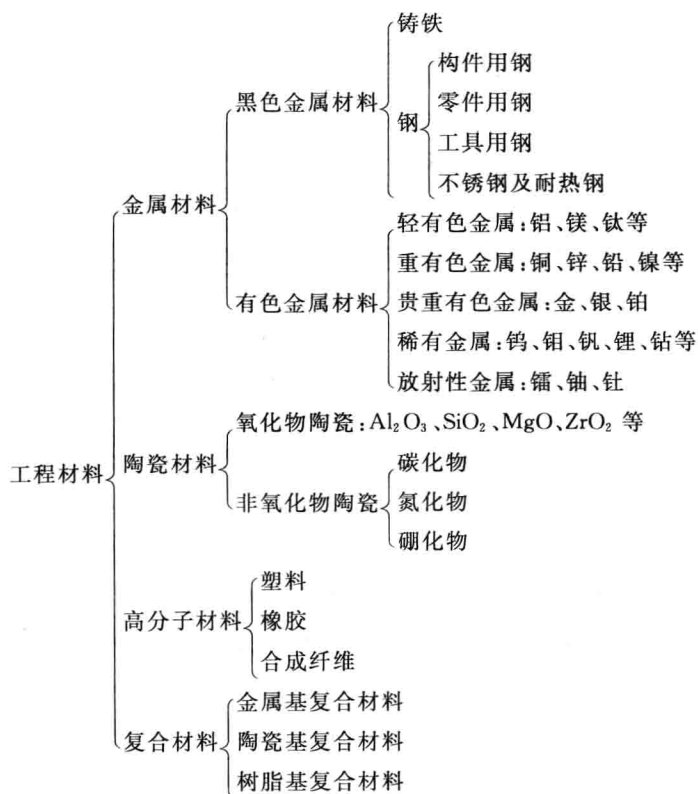


图 1-2 工程材料的分类

知识点 2 金属材料

金属材料是各大产业中使用率最高的一种材料,生活生产中各类大大小小的工具有



50%以上都是用金属材料制作成的,还有大型的重工设备其零部件基本上都是由金属材料加工成的。所谓金属材料是指由金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称。金属材料的品种繁多,工程上常用的金属材料主要有黑色及有色金属材料。其中,黑色金属也称为钢铁,是铁、锰、铬及其合金。钢铁是世界上的头号金属材料,年产量高达数亿吨,广泛用于工农业生产及国民经济各部门。通常所说的钢铁是钢与铁的总称,实际上钢铁材料是以铁为基体的铁碳合金,当碳的质量分数小于 2.11% 时称为钢,当碳的质量分数大于 2.11% 时称为铁。又将这一类钢分别称为非合金钢和铸铁。非合金钢和铸铁是应用极其广泛的重要金属材料,都是以铁为基主要由铁和碳组成的铁碳合金。了解铁碳合金成分与组织、性能的关系,有助于我们更好地研究和使用钢铁材料。

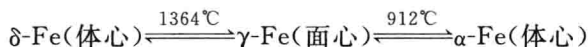
铁与碳可以形成一系列化合物: Fe_3C 、 Fe_2C 、 FeC 等。 Fe_3C 的含碳量为 6.69%,铁碳合金含碳量超过 6.69%,脆性很大,没有实用价值,所以下面讨论的铁碳相图,实际是 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图。相图的两个组元是 Fe 和 Fe_3C 。

一、 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 系合金的组元与基本相

(一)组元

1. 纯铁

Fe 是过渡族元素,1 个大气压下的熔点为 1538°C , 20°C 时的密度为 $7.87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。纯铁在不同的温度区间有不同的晶体结构(同素异构转变),即



工业纯铁的力学性能大致如下:抗拉强度 $\sigma_b = 180 \sim 230 \text{ MPa}$,屈服强度 $\sigma_{0.2} = 100 \sim 170 \text{ MPa}$,伸长率 $\delta = 30\% \sim 50\%$,硬度为 $50 \sim 80 \text{ HBS}$ 。

可见,纯铁强度低,硬度低,塑性好,很少做结构材料,由于有高的磁导率,主要作为电工材料用于各种铁芯。

2. Fe_3C

Fe_3C 是铁和碳形成的间隙化合物,晶体结构十分复杂,通常称渗碳体,可用符号 Cm 表示。 Fe_3C 具有很高的硬度但很脆,硬度约为 $950 \sim 1050 \text{ HV}$,抗拉强度 $\sigma_b = 30 \text{ MPa}$,伸长率 $\delta = 0$ 。

(二)基本相

$\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图中除了高温时存在的液相 L,和化合物相 Fe_3C 外,还有碳溶于铁形成的几种间隙固溶体相:

(1)高温铁素体。碳溶于 $\delta\text{-Fe}$ 的间隙固溶体,体心立方晶格,用符号 δ 表示。

(2)铁素体。碳溶于 $\alpha\text{-Fe}$ 的间隙固溶体,体心立方晶格,用符号 α 或 F 表示。F 中碳的固溶度极小,室温时约为 0.0008%, 600°C 时约为 0.0057%,在 727°C 时溶碳量最大,约为 0.0218%,但也不大,在后续的计算中,如果无特殊要求可忽略不计。力学性能与工业纯铁相当。

(3)奥氏体。碳溶于 $\gamma\text{-Fe}$ 的间隙固溶体,面心立方晶格,用符号 γ 或 A 表示。奥氏体中碳的固溶度较大,在 1148°C 时最大达 2.11%。奥氏体强度较低,硬度不高,易于塑性变形。

(三) $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图

$\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图中各点的温度、含碳量及含义: $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图及相图中各点的温度、含碳量



等如图 1-3 所示及见表 1-1。

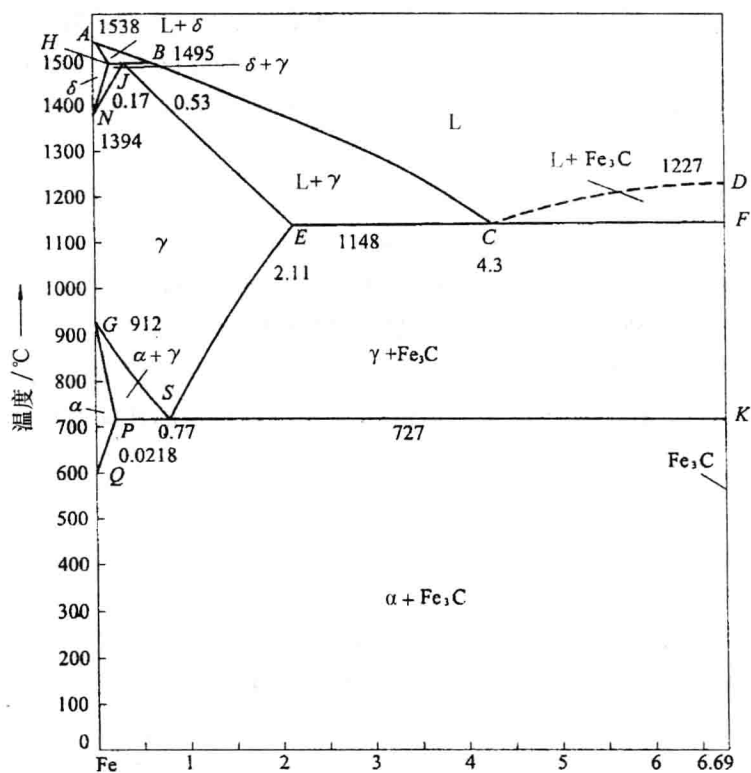


图 1-3 Fe-Fe₃C 相图

表 1-1 Fe-Fe₃C 相图中各点的温度、含碳量及含义

符号	温度/℃	含碳量质量/%	含义
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.53	包晶转变时液态合金的成分
C	1148	4.30	共晶点
D	1227	6.69	Fe ₃ C 的熔点
E	1148	2.11	碳在 γ-Fe 中的最大溶解度
F	1148	6.69	Fe ₃ C 的成分
G	912	0	α-Fe→γ-Fe 同素异构转变点
H	1495	0.09	碳在 δ-Fe 中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点
K	727	6.69	Fe ₃ C 的成分
N	1394	0	γ-Fe→δ-Fe 同素异构转变点
P	727	0.0218	碳在 α-Fe 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点
Q	600 (室温)	0.0057 (0.0008)	600℃(或室温)时碳在 α-Fe 中的最大溶解度



(四) Fe-Fe₃C 相图中的点和线

1. 三个特性点

J 点为包晶点。合金在平衡结晶过程中冷却到 1495℃ 时。*B* 点成分的 *L* 与 *H* 点成分的 δ 发生包晶反应,生成 *J* 点成分的 *A*。包晶反应在恒温下进行,反应过程中 *L*、 δ 、*A* 三相共存,反应式为: $L_B + \delta_H \xrightarrow{1495^\circ\text{C}} A_J$ 或 $L_{0.53} + \delta_{0.09} \xrightarrow{1495^\circ\text{C}} A_{0.17}$ 。

C 点为共晶点。合金在平衡结晶过程中冷却到 1148℃ 时。*C* 点成分的 *L* 发生共晶反应,生成 *E* 点成分的 *A* 和 Fe₃C。共晶反应在恒温下进行,反应过程中 *L*、*A*、Fe₃C 三相共存,反应式为: $L_C \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} A_E + \text{Fe}_3\text{C}$ 或 $L_{4.3} \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} A_{2.11} + \text{Fe}_3\text{C}$ 。

共晶反应的产物是 *A* 与 Fe₃C 的共晶混合物,称莱氏体,用符号 *Le* 表示,所以共晶反应式也可表达为: $L_{4.3} \xrightarrow{1148^\circ\text{C}} Le_{4.3}$ 。

莱氏体组织中的渗碳体称为共晶渗碳体。在显微镜下莱氏体的形态是块状或粒状 *A* (727℃ 时转变为珠光体)分布在渗碳体基体上。

S 点为共析点。合金在平衡结晶过程中冷却到 727℃ 时 *S* 点成分的 *A* 发生共析反应,生成 *P* 点成分的 *F* 和 Fe₃C。共析反应在恒温下进行,反应过程中 *A*、*F*、Fe₃C 三相共存,反应式为: $A_S \xrightarrow{727^\circ\text{C}} F_P + \text{Fe}_3\text{C}$ 或 $A_{0.77} \xrightarrow{727^\circ\text{C}} F_{0.0218} + \text{Fe}_3\text{C}$ 。

共析反应的产物是铁素体与渗碳体的共析混合物,称珠光体,用符号 *P* 表示,因而共析反应可简单表示为: $A_{0.77} \xrightarrow{727^\circ\text{C}} P_{0.77}$ 。

P 中的渗碳体称为共析渗碳体。在显微镜下 *P* 的形态呈层片状。在放大倍数很高时,可清楚看到相间分布的渗碳体片(窄条)与铁素体片(宽条)。

P 的强度较高,塑性、韧性和硬度介于渗碳体和铁素体之间,其力学性能如下:

抗拉强度/ σ_b 770MPa; 伸长率/ δ 20%~35%;

冲击韧性/ a_k 30~40J/cm²; 硬度/HB 180kgf/mm²

2. 相图中的特性线

相图中的 *ABCD* 为液相线;*AHJECF* 为固相线。

水平线 *HJB* 为包晶反应线。碳含量 0.09%~0.53% 的铁碳合金在平衡结晶过程中均发生包晶反应。

水平线 *ECF* 为共晶反应线。碳含量在 2.11%~6.69% 之间的铁碳合金,在平衡结晶过程中均发生共晶反应。

水平线 *PSK* 为共析反应线。碳含量 0.0218%~6.69% 之间的铁碳合金,在平衡结晶过程中均发生共析反应。*PSK* 线在热处理中亦称 *A₁* 线。

GS 线是合金冷却时自 *A* 中开始析出 *F* 的临界温度线,通常称 *A₃* 线。

ES 线是碳在 *A* 中的固溶线,通常称 *A_{cm}* 线。由于在 1148℃ 时 *A* 中溶碳量最大可达 2.11%,而在 727℃ 时仅为 0.77%,因此碳含量大于 0.77% 的铁碳合金自 1148℃ 冷至 727℃ 的过程中,将从 *A* 中析出 Fe₃C。析出的渗碳体称为二次渗碳体(Fe₃C_{II})。*A_{cm}* 线亦是自 *A* 中开始析出 Fe₃C_{II} 的临界温度线。



PQ线是碳在F中的固溶线。在727℃时F中溶碳量最大可达0.0218%，室温时仅为0.0008%，因此碳含量大于0.0008%的铁碳合金自727℃冷至室温的过程中，将从F中析出 Fe_3C 。析出的渗碳体称为三次渗碳体($\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$)。PQ线亦为从F中开始析出 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 的临界温度线。

$\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 数量极少，往往可以忽略。

二、典型铁碳合金的平衡结晶过程

根据Fe- Fe_3C 相图，铁碳合金可分为三类：

工业纯铁($C \leq 0.0218\%$)

钢($0.0218\% < C \leq 2.11\%$)

- 亚共析钢($0.0218\% < C < 0.77\%$)
- 共析钢($C = 0.77\%$)
- 过共析钢($0.77 < C \leq 2.11$)

白口铸铁($2.11\% < C < 6.69\%$)

- 亚共晶白口铸铁($2.11\% < C < 4.3\%$)
- 共晶白口铸铁($C = 4.3\%$)
- 过共晶白口铸铁($4.3\% < C < 6.69\%$)

下面分别对以上七种典型铁碳合金的结晶过程进行分析。

(一)工业纯铁

以含碳0.01%的铁碳合金为例，其冷却曲线(见图1-4)和平衡结晶过程如下：

合金在1点以上为液相L。冷却至稍低于1点时，开始从L中结晶出 δ ，至2点合金全部结晶为 δ 。从3点起， δ 逐渐转变为A，至4点全部转变完了。4—5点间A冷却不变。自5点始，从A中析出F。F在A晶界处生核并长大，至6点时A全部转变为F。在6—7点间F冷却不变。在7—8点间，从F晶界析出 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 。因此合金的室温平衡组织为F + $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 。F呈白色块状； $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ 量极少，呈小白片状分布于F晶界处。若忽略 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$ ，则组织全为F。

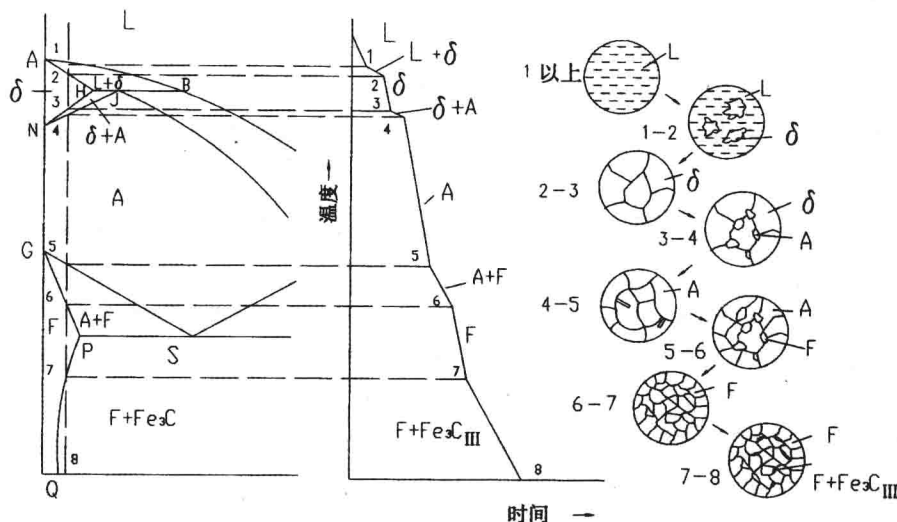


图1-4 工业纯铁结晶过程示意图

(二) 共析钢

其冷却曲线和平衡结晶过程如图 1-5 所示。

合金冷却时,于 1 点起从 L 中结晶出 A,至 2 点全部结晶完了。在 2—3 点间 A 冷却不变。至 3 点时,A 发生共析反应生成 P。从 3'继续冷却至 4 点,P 皆不发生转变。因此共析钢的室温平衡组织全部为 P,P 呈层片状。

共析钢的室温组织组成物也全部是 P,而组成相为 F 和 Fe_3C ,它们的相对质量为

$$F\% = \frac{6.69 - 0.77}{6.69} \times 100\% = 88\%; \text{Fe}_3\text{C}\% = 1 - F\% = 12\%$$

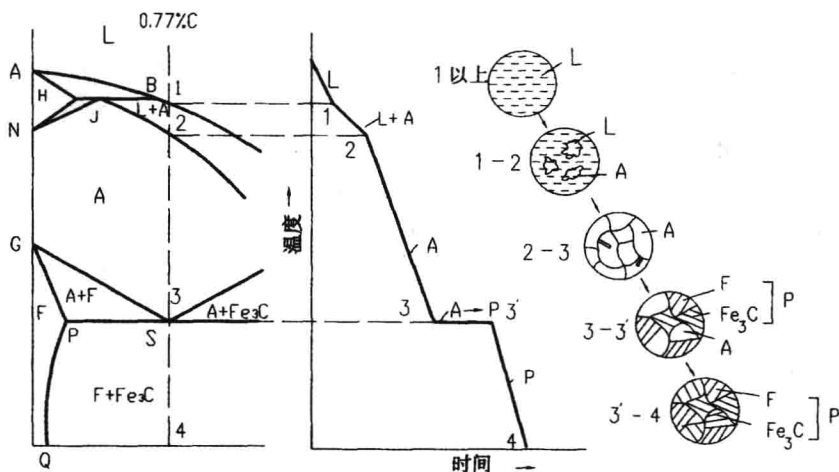


图 1-5 共析钢结晶过程示意图

(三) 亚共析钢

以含碳 0.4% 的铁碳合金为例,其冷却曲线和平衡结晶过程如图 1-6 所示。

合金冷却时,从 1 点起自 L 中结晶出 δ ,至 2 点时,L 成分变为 0.53% C, δ 变为 0.09% C,发生包晶反应生成 $\text{A}_{0.17}$,反应结束后尚有多余的 L。2' 点以下,自 L 中不断结晶出 A,至 3 点合金全部转变为 A。在 3—4 点间 A 冷却不变。从 4 点起,冷却时由 A 中析出 F,F 在 A 晶界处优先析核并长大,而 A 和 F 的成分分别沿 GS 和 GP 线变化。至 5 点时,A 的成分变为 0.77% C,F 的成分变为 0.0218% C。此时 A 发生共析反应,转变为 P,F 不变化。从 5' 继续冷却至 6 点,合金组织不发生变化,因此室温平衡组织为 F+P。F 呈白色块状;P 呈层片状,放大倍数不高时呈黑色块状。碳含量大于 0.6% 的亚共析钢,室温平衡组织中的 F 常呈白色网状,包围在 P 周围。

含 0.4% C 的亚共析钢的组织组成物(F 和 P)的相对质量为

$$P\% = \frac{0.4 - 0.02}{0.77 - 0.02} \times 100\% = 51\%; F\% = 1 - 51\% = 49\%$$

组成相(F 和 Fe_3C)的相对质量为

$$F\% = \frac{6.69 - 0.4}{6.69} \times 100\% = 94\%; \text{Fe}_3\text{C}\% = 1 - 94\% = 6\%$$

由于室温下 F 的含碳量极微,若将 F 中的含碳量忽略不计,则钢中的含碳量全部在 P

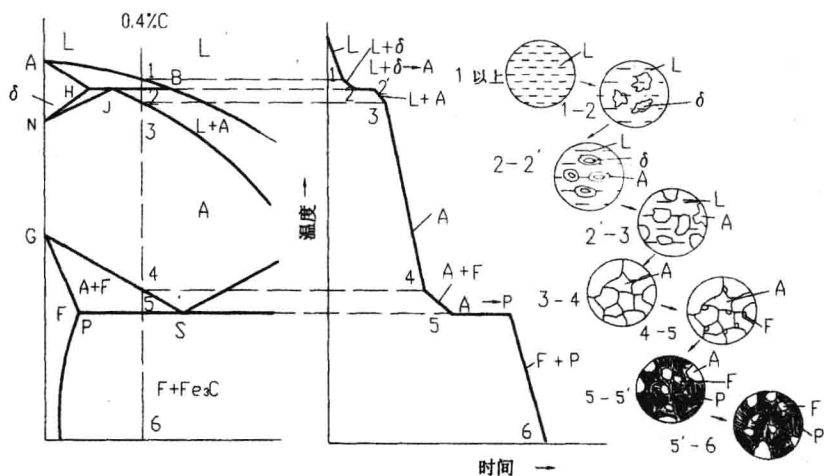


图 1-6 亚共析钢结晶过程示意图

中,所以亚共析钢的含碳量可由其室温平衡组织来估算。即根据 P 的含量可求出钢的含碳量为: $C\% = P\% \times 0.77\%$ 。由于 P 和 F 的密度相近,钢中 P 和 F 的含量(质量分数)可以近似用对应的面积分数来估算。

(四)过共析钢

以碳含量为 1.2% 的铁碳合金为例,其冷却曲线和平衡结晶过程如图 1-7 所示。

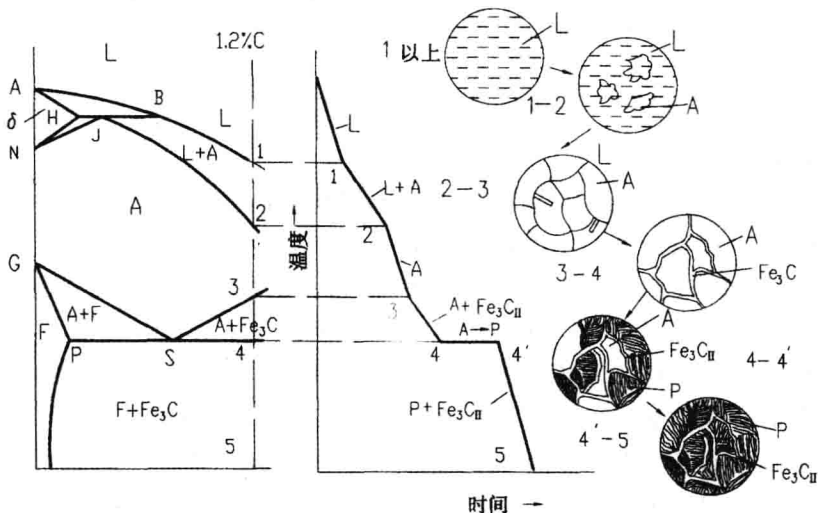


图 1-7 过共析钢结晶过程示意图

合金冷却时,从 1 点起自 L 中结晶出 A,至 2 点全部结晶完了。在 2—3 点间 A 冷却不变,从 3 点起,由 A 中析出 Fe_3C_{II} , Fe_3C_{II} 呈网状分布在 A 晶界上。至 4 点时 A 的碳含量降为 0.77%, 4—4' 发生共析反应转变为 P,而 Fe_3C_{II} 不变化。在 4'—5 点间冷却时组织不发生转变。因此室温平衡组织为 $Fe_3C_{II} + P$ 。在显微镜下, Fe_3C_{II} 呈网状分布在层片状 P 周围。

含 1.2% C 的过共析钢的组成相为 F 和 Fe_3C ; 组织组成物为 Fe_3C_{II} 和 P, 它们的相对质量为: $Fe_3C_{II}\% = \frac{1.2 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 100\% = 7\%$; $P\% = 1 - 7\% = 93\%$

(五) 共晶白口铸铁

共晶白口铸铁的冷却曲线和平衡结晶过程如图 1-8 所示。

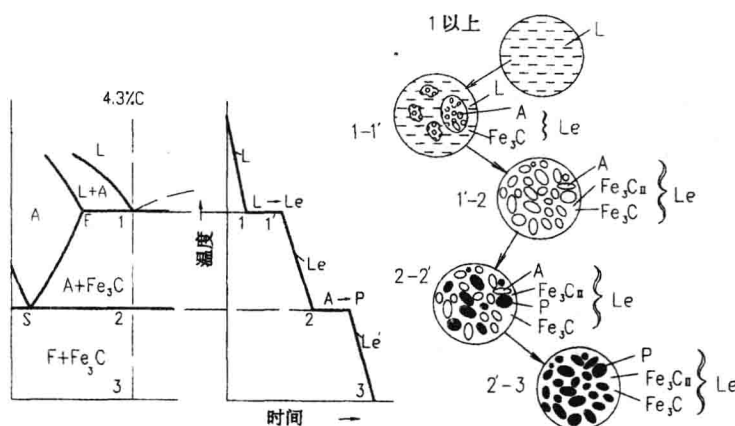


图 1-8 共晶白口铸铁结晶过程示意图

合金在 1 点发生共晶反应,由 L 转变为(高温)莱氏体 Le(A+Fe₃C)。在 1'-2 点间,Le 中的 A 不断析出 Fe₃C_{II}。Fe₃C_{II}与共晶 Fe₃C 无界线相连,在显微镜下无法分辨,但此时的莱氏体由 A+Fe₃C_{II}+Fe₃C 组成。由于 Fe₃C_{II}的析出,至 2 点时 A 的碳含量降为 0.77%,并发生共析反应转变为 P;高温莱氏体 Le 转变成低温莱氏体 Le'(P+Fe₃C_{II}+Fe₃C)。从 2'至 3 点组织不变化。所以室温平衡组织仍为 Le',由黑色条状或粒状 P 和白色 Fe₃C 基体组成。

共晶白口铸铁的组织组成物全为 Le',而组成相还是 F 和 Fe₃C,它们的相对质量可用杠杆定律求出。

(六) 亚共晶白口铸铁

以碳含量为 3%的铁碳合金为例,其冷却曲线和平衡结晶过程如图 1-9 所示。

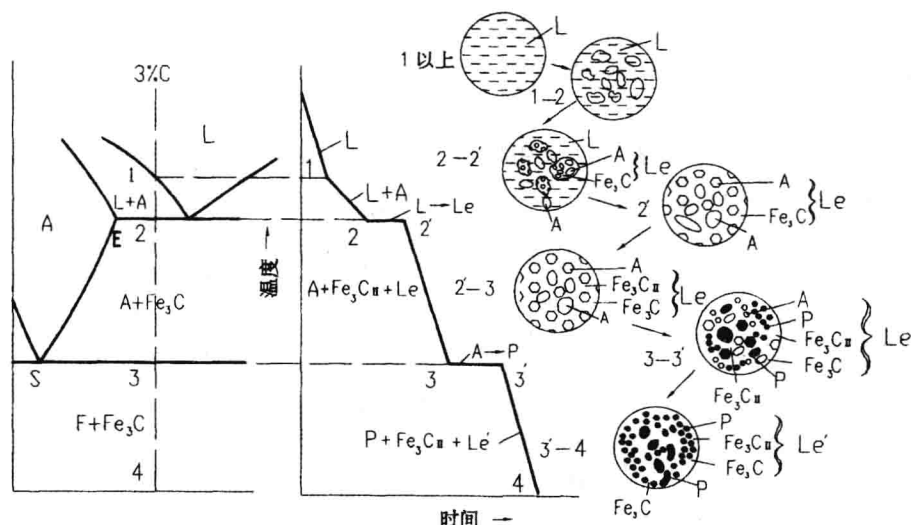


图 1-9 亚共晶白口铸铁结晶过程示意图

合金自 1 点起,从 L 中结晶出初生 A,至 2 点时 L 的成分变为含 4.3%C(A 的成分变为



含 2.11%), 发生共晶反应转变为 Le, 而 A 不参与反应。在 2'-3 点间继续冷却时, 初生 A 不断在其外围或晶界上析出 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$, 同时 Le 中的 A 也析出 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 。至 3 点温度时, 所有 A 的成分均变为 0.77%, 初生 A 发生共析反应转变为 P; 高温莱氏体 Le 也转变为低温莱氏体 Le' 。在 3' 以下到 4 点, 冷却不引起转变。因此室温平衡组织为 $\text{P} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} + \text{Le}'$ 。网状 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 分布在粗大块状 P 的周围, Le' 则由条状或粒状 P 和 Fe_3C 基体组成。

亚共晶白口铸铁的组成相为 F 和 Fe_3C 。组织组成物为 P、 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 和 Le' 。它们的相对质量可以两次利用杠杆定律求出。

先求合金钢冷却到 2 点温度时初生 $A_{2.11}$ 和 $L_{4.3}$ 的相对质量

$$A_{2.11} \% = \frac{4.3 - 3}{4.3 - 2.11} \times 100 \% = 59 \% ; L_{4.3} \% = 1 - 59 \% = 41 \%$$

$L_{4.3}$ 通过共晶反应全部转变为 Le, 并随后转变为低温莱氏体 Le' , 所以 $\text{Le}' \% = \text{Le} \% = L_{4.3} \% = 41 \%$ 。

再求 3 点温度时(共析转变前)由初生 $A_{2.11}$ 析出的 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 及共析成分的 $A_{0.77}$ 的相对质量: $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \% = \frac{2.11 - 0.77}{6.69 - 0.77} \times 59 \% = 13 \% ; A_{0.77} \% = \frac{6.69 - 2.11}{6.69 - 0.77} \times 59 \% = 46 \%$ 。

由于 $A_{0.77}$ 发生共析反应转变为 P, 所以 P 的相对质量就是 46%。

(七) 过共晶白口铸铁

过共晶白口铸铁的结晶过程与亚共晶白口铸铁大同小异, 唯一的区别是: 其先析出相是一次渗碳体(Fe_3C_1)而不是 A, 而且因为没有先析出 A, 进而其室温组织中除 Le' 中的 P 以外再没有 P, 即室温下组织为 $\text{Le}' + \text{Fe}_3\text{C}_1$, 组成相也同样为 F 和 Fe_3C , 它们的质量分数的计算仍然用杠杆定律, 方法同上。

它们的常用牌号及用途如下:

(1) 碳钢。

碳钢是指 $W_c \leq 2.11 \%$, 并含有少量硅、锰、磷、硫等杂质元素的铁碳合金。碳钢具有一定的力学性能和良好的工艺性能, 且价格低廉, 在工业中广泛应用。主要分为四类见表 1-2。

表 1-2 常用碳钢的牌号、应用及说明

类别	牌号	应用举例	说明
碳素结构钢(主要用于制作各种机械零件和工程构件, 一般属于低、中碳钢)	Q215A 级	承受载荷不大的金属结构件, 如薄板、铆钉、垫圈、地脚螺栓及焊接件等	碳素钢的牌号是由代表钢材屈服点的汉语拼音第一个字母 Q、屈服点(强度)值(MPa)、质量等级符号、脱氧方法四个部分组成。其中质量等级共分四级, 分别以 A、B、C、D 表示
	Q235A 级	金属结构件、钢板、钢筋、型钢、螺母、连杆、拉杆等, Q235C 级、Q235D 级可用作重要的焊接结构	

续表 1-2

类别	牌号	应用举例	说明
优质碳素结构钢(有害杂质元素磷、硫受到严格限制,非金属夹杂物含量较少,塑性和韧性较好,主要制作较重要的机械零件)	15 钢	强度低、塑性好,一般用于制造受力不大的冲压件,如螺栓、螺母、垫圈等。经过渗碳处理或氧化处理可用作表面要求耐磨、耐腐蚀的机械零件,如凸轮、滑块等	牌号的两位数字表示平均含碳量的万分数,45 钢即表示平均碳的质量分数为 0.45%。含锰量较高的钢,须加注化学元素符号 Mn
	45 钢	综合力学性能和切削加工性能均较好,用于强度要求较高的重要零件,如曲轴、传动轴、齿轮、连杆等	
铸造碳钢(铸钢的 $W_C = 0.15\% \sim 0.6\%$ 。主要用来制作形状复杂、难以进行锻造或切削加工,而要求较高强度和韧性的零件)	ZG200—400	有良好的塑性、韧性和焊接性能,用于受力不大、要求韧性好的各种机械零件,如机座、变速箱壳等	ZG 代表铸钢。其后面第一组数字为屈服点(MPa);第二组数字为抗拉强度(MPa)。ZG200—400 表示屈服强度为 200MPa,抗拉强度为 400MPa 的碳素铸钢
碳素工具钢($W_C = 0.65\% \sim 1.35\%$,这类钢经热处理后具有较高的硬度和耐磨性,主要用于制作低速切削刀具,以及一般模具、低精度量具等)	T8A	淬火、回火后,常用于制造要求有较高硬度和耐磨性的工具,如冲头、木工工具、剪切金属用的剪刀等	碳素工具钢的牌号用“T”和数字组成。数字表示钢的平均含碳量的千分数。若牌号末尾加“A”,则表示高级优质钢。若牌号末尾加合金元素,则表示钢中加入该合金元素的含量较高,例如 T8Mn
	T10A	用于制造耐磨性要求较高、不受剧烈振动、具有一定韧性及具有锋利刃口的各种工具,如刨刀、车刀、钻头、丝锥、手锯锯条、拉丝模、冷冲模等	

(2) 铸铁。

铸铁是指在凝固过程中经历共晶转变,用于生产铸件的铁基合金的总称。铸铁含有的碳和杂质较多,力学性能要比钢差,不能锻造,但铸铁具有优良的铸造性、减振性及耐磨性,且价格低廉、生产设备和工艺简单。根据碳在铸铁中的存在形式,铸铁可分为以下几种:白口铸铁、灰口铸铁、麻口铸铁,由于白口铸铁和麻口铸铁它们本身的缺陷比较大,所以工业上基本很少直接使用,一般常用的是灰口铸铁,按石墨形态不同,灰口铸铁又分为灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁和蠕墨铸铁。它们常用的牌号及用途见表 1-3。