

An abstract graphic design featuring mechanical elements. A large green vertical bar is on the left. Overlaid on it and the white background are stylized mechanical parts: a horizontal shaft with a pulley at the top, a large gear in the center, a smaller gear below it, and a shaft with a pulley at the bottom. The parts are rendered with black and white halftone patterns. The title '机械制造基础学习指导' is written vertically in blue on the right side.

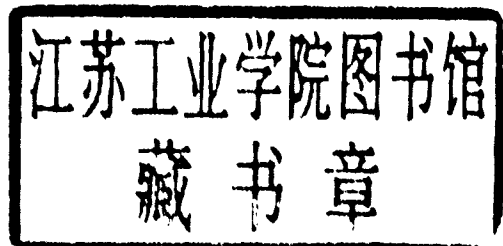
机械制造基础学习指导

韩克筠 主编
黄晋国 副主编

中央广播电视大学出版社

机械制造基础学习指导

韩克筠主编 黄晋国 副主编



中央广播电视大学出版社

(京)新登字163号

机械制造基础学习指导

韩克筠主编 黄晋国 副主编

*

中央广播电视大学出版社出版
新华书店总店科技发行所发行
北京师范学院 印刷厂 印装

*

开本787×1092 1/16 印张7.25 千字181
1991年10月第1版 1991年10月第1次印刷
印数 1—7000

定价3.05元

ISBN 7-304-00642-0/TH·20

前 言

本书是为指导中央广播电视大学机电工程专业的学生学习机械制造基础课程而编写的。

本书主要阐述本课程的教学基本要求；指出各章的重点、难点并予以分析提示；对各章节的基本概念、基本理论和方法要点进行了系统的、简要的归纳总结；并通过若干典型实例予以辅导，帮助学生巩固所学知识，掌握正确的工艺思路和方法。书后附有机制造基础实验指导和教学大纲。

为适应远距离教学的要求，本书编写时，力求重点突出，通俗易懂。教材中已讲过的内容和插图，本书尽量不再重复，以便压缩篇幅，减轻学生的负担，故本书应与教材配套使用。

本书是学生学习本课程的主要参考书，也可作为辅导教师贯彻本课程教学要求和组织辅导课的依据。

参加本书编写的有：张远明（第一篇），张建强（第二篇），雷红旗（第三、第五篇），黄晋国（第四篇）。

本书是在韩克筠副教授指导下编写的，他对初稿提出了许多修改意见。教材的主编颜景平教授担任本书主审，对书稿进行了最后的审阅。

由于教学急需，编写时间短促，并限于编者水平，书中错漏和欠妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者 1991年4月

目 录

第一篇 工程材料	1
第一章 铁碳合金.....	1
第二章 钢的热处理.....	7
第三章 合金钢.....	12
第四章 有色金属.....	16
第五章 其它材料.....	17
第六章 材料的选用.....	20
第二篇 毛坯成形方法	23
第七章 铸造.....	23
第八章 锻压.....	31
第九章 焊接.....	37
第十章 毛坯选择.....	42
第三篇 公差与配合	45
第十一章 尺寸公差与配合.....	45
第十二章 形状和位置公差.....	51
第十三章 表面粗糙度.....	55
第四篇 切削加工	57
第十四章 切削加工的基础知识.....	57
第十五章 各种表面的加工.....	62
第十六章 零件的结构工艺性.....	68
第十七章 数控加工 特种加工简介.....	72
第十八章 机械加工工艺过程.....	74
第五篇 质量检测	79
第十九章 几何量检测.....	79
第二十章 组织性能检验.....	81
机械制造基础实验指导	84
实验一 钢的热处理.....	84
实验二 常用金属材料的显微组织观察.....	86
实验三 冲模的装拆.....	88
实验四 金属材料的可切削性.....	90
实验五 用立式光学比较仪测量轴.....	93
实验六 用内径百分表测量孔.....	97
实验七 位置误差的测量.....	100
中央广播电视大学机电专业用机械制造基础教学大纲	105

第一篇 工程材料

工程材料一般可分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料等几大类。其中，金属材料是工程中应用最为广泛的一大类，它包括黑色金属（钢铁等）和有色金属（铝及合金、铜及合金、钛及合金、轴承合金等）两类。

本篇着重讨论金属材料，特别是黑色金属材料中的钢铁。而陶瓷材料、高分子材料和复合材料等类则在第五章中统一介绍。

工程材料的性能包括物理、化学、机械和工艺性能。

(1) 物理性能主要有密度、熔点、热导性、电导性、磁性和热膨胀性等。

(2) 化学性能包括耐蚀性、抗氧化性等。

(3) 机械性能是工程材料最重要的性能。它一般指强度、硬度、塑性、韧性和疲劳性能等。

(4) 工艺性能表示材料进行加工的难易程度。它包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削加工性能等。

第一章 铁碳合金

基 本 要 求

1. 理解金属晶体结构与结晶的基本概念，熟悉金属的三种典型晶体结构和金属结晶的一般过程，了解过冷度对结晶后组织的影响及细化晶粒的方法。

2. 弄清组元、相、组织等基本概念，掌握固溶体和化合物的性能特点，熟悉匀晶和共晶相图，了解分析相图的基本方法。

3. 掌握铁素体、奥氏体、渗碳体、珠光体和莱氏体等铁碳合金的基本组织，熟知 Fe-Fe₃C 相图中重要点、线的意义，了解亚共析钢、共析钢和过共析钢的结晶过程，弄清在室温下得到的平衡组织。

4. 基本掌握铁碳合金的成分、组织与性能之间的关系。

5. 识别碳钢和铸铁的牌号，知道它们的主要用途。

基 本 内 容

铁碳合金，即钢和铸铁，是现代工业中应用最广泛的工程材料。铁碳合金相图是研究铁碳合金的基本工具。本章内容包括三个部分，首先介绍金属的晶体结构与结晶，然后讨论合金的相结构和二元合金相图，最后重点论述介稳态的 Fe-Fe₃C 相图及其基本应用。本章是本篇的核心章节。

一、金属的晶体结构与结晶

1. 金属的晶体结构

固态物质可分为晶体与非晶体两类。原子（或离子）呈规则堆积的固态物质称为晶体。

晶体中原子（或离子）在空间呈规则排列的方式称为晶体的结构。

（1）晶格与晶胞

为了描述晶体中原子（或离子）规则排列的方式，而把晶体中的原子（或离子）抽象成几何点，并用假想的直线把它们连接起来所得到的空间格架称为晶格。晶格的结点为原子中心的平衡位置。晶格中的最小几何组成单元称为晶胞。实际上，晶格就是由晶胞在三维空间的重复排列构成的。

（2）金属的三种典型晶格

金属的晶格类型很多，但最常见的有体心立方、面心立方和密排六方晶格。

体心立方晶格的特征是在其晶胞的中心位置上还有一个原子。属于体心立方晶格的金属有铬、钼、钨、钒、 α 铁等。而面心立方晶格的特征则是在其晶胞的六个侧面面心上均有一个原子。属于该晶格的金属有铜、铝、镍、 γ 铁等。

（3）实际金属结构的特点

实际金属结构的一个特点是多晶体（只有极少数单晶体），即由许多晶格类型相同但晶格取向不同的小单晶体组成。每个小单晶体称为晶粒。晶粒之间的界面称为晶界。另一个特点是晶格中原子排列有缺陷，这些缺陷包括点缺陷（空位和间隙原子）、线缺陷（位错）和面缺陷（晶界、亚晶界等）。

2. 金属的结晶

物质由液态凝固后形成晶体结构称为结晶。对于金属，不仅有液-固转变的结晶过程，有时还有固-固转变的过程。因此，从广义上来说，金属的结晶概念包含两层意思：液-固转变过程或固-固转变过程。前者称为一次结晶，后者称为二次结晶（或重结晶），亦称为同素异构转变。

（1）结晶的条件和结晶的过程

在无限缓慢的冷却条件下，液态纯金属开始结晶的温度称为金属的理论结晶温度(T_0)。在实际生产中，液态金属总是要冷却到低于 T_0 以下的某一个温度 T_c 时才开始结晶，这种现象称为过冷， $\Delta T = T_0 - T_c$ 称为过冷度。冷速愈大，过冷度也愈大，结晶的温度就愈低。由此可见，过冷是金属结晶的必要条件。

金属结晶的过程是不断生成晶体核心（自发形核或非自发形核）和核心不断长大，直至液态金属结晶完毕的过程。结晶后一般都形成多晶体。

（2）晶粒大小及其细化方法

晶粒的大小，对金属的性能有重大影响。一般来说，晶粒愈细，强度和硬度就愈高，塑性和韧性也愈好。这种强化方式亦称为细晶强化，是金属强化的基本方式之一。

在生产中，常用来细化晶粒的方法有增大过冷度（增大冷却速度）和变质处理。其共同的目的都是通过增大形核率（增加核心数目）来细化晶粒。

二、合金的结构与相图

在工程上应用的金属材料基本上都是合金。由一种金属元素同一种或几种其他元素组成的具有金属特征的物质就叫做合金。

1. 合金的相结构

（1）组元、相、组织和组织组成物等概念

组元是组成合金的独立的、最根本的单元。它可以是纯元素，也可以是稳定的化合物。

相是指合金中具有相同聚集状态、化学成分和晶体结构并有明显界面隔开的均匀部分。

组织系指材料内部的微观形态或形貌图象。

组织组成物则为合金在不同条件下形成的组织中，各具有一定显微特征（形貌、大小及分布等）的独立部分。合金的组织由组织组成物构成。

(2) 固溶体和化合物

固溶体是指溶质组元溶于溶剂晶格中而形成的单一均匀的固体。固溶体的晶体结构与其溶剂组元的晶体结构相同是这一类合金相的结构特点。根据溶质原子在溶剂晶格中所处的位置不同，固溶体可分为间隙固溶体和置换固溶体。

由于溶质原子的溶入，使固溶体的晶格发生畸变。从而增大了位错运动的阻力，造成塑性变形困难，导致固溶体的强度、硬度升高，塑性和韧性稍有下降或变化不大。这种现象称为固溶强化。它是金属强化的重要手段。

金属化合物是组元间相互作用形成的新相。它的晶体结构与其组成元素的晶体结构完全不同。常见的金属化合物有正常价化合物、电子化合物和间隙化合物。其中，间隙化合物，特别是间隙相对于铁碳合金的强化具有重要意义。

固溶体的性能特点是有一定的强度，良好的塑性和韧性。故在合金材料中常作为基体。金属化合物的性能特点则是高硬度和高熔点，因而在合金中宜作为强化相。

2. 二元合金相图

相图是表示在无限缓慢的冷却条件下合金系中的各种合金在不同温度下呈现的相状态及相与相之间关系的图形。目前，具体的相图都是由实验数据建立的。

(1) 匀晶相图的特点

两组元在液态下互溶，在固态下形成无限固溶。相线有液相线（结晶开始线）和固相线（结晶终止线）。相区有液相区、固相区（ α 固溶体）和两相区（ $L+\alpha$ ）。

在匀晶系中，合金的结晶过程是在一个温度范围内完成的。这一点与纯金属的结晶不同。

(2) 二元共晶相图的特点

二元共晶相图参见教材图1-11，两组元在液态下互溶，在固态下不溶（特例），并发生共晶反应。共晶相图有三个相，即L相、Pb相和Sb相。有六个相区，除L、Pb和Sb三个单相区外，还有三个两相区，即（ $L+Pb$ ）、（ $L+Sb$ ）和（ $Pb+Sb$ ）。

共晶相图的基本特点是具有共晶反应。在共晶温度下（DCE直线对应的温度），C点成分（共晶成分）的液体将同时结晶出两种成分和结构均不相同的固相。共晶反应的产物（ $Pb+Sb$ ）称为共晶体，它是两相的机械混合物。

三、介稳态的Fe-Fe₃C相图

1. 铁碳合金的基本组织

纯铁最重要的特性是具有同素异构转变。即， $\delta\text{-Fe} \xrightleftharpoons{1394^{\circ}\text{C}} \gamma\text{-Fe} \xrightleftharpoons{912^{\circ}\text{C}} \alpha\text{-Fe}$ 。

$\alpha\text{-Fe}$ 和 $\delta\text{-Fe}$ 都属于体心立方晶格， $\gamma\text{-Fe}$ 则属于面心立方晶格。

当铁与碳形成合金时，铁与碳的结合方式有两种：一种是碳原子溶解到铁的晶格中形成间隙固溶体，另一种是铁与碳化合生成碳化物（渗碳体）。

铁碳合金的基本组织有铁素体、奥氏体、渗碳体、珠光体和莱氏体。它们的性质、结构

和性能特点参见表 Z1-1。

表 Z1-1 铁碳合金基本组织的性质及性能特点

名称	符号	定 义	最大 含碳量	性 能 特 点
铁素体	F	碳在 α -Fe 中的固溶体, 铁碳合金的基本相, 体心立方晶格	0.02%	较好的塑性和韧性, 但强度、硬度较低, 常作为基体
奥氏体	A	碳在 γ -Fe 中的固溶体, 铁碳合金的基本相, 面心立方晶格	2.11%	存在于高温, 高塑性, 低的变形抗力, 常作为锻造状态组织
渗碳体	Fe_3C	铁与碳结合生成的新相, 铁碳合金的基本相, 复杂晶格	6.69%	硬而脆, 是钢中主要的强化相
珠光体	P	共析反应产物。铁素体和渗碳体的机械混合物	0.77%	有较高的综合机械性能, 是铁碳合金中常用的组织
莱氏体 (低温)	L'_d	共晶反应产物。珠光体与渗碳体的机械混合物	4.3%	硬而脆, 基本无利用价值

2. 铁碳合金相图分析 (详见教材图1-12)

(1) 铁碳相图中重要的特征线

GS——亦称 A_3 线, 奥氏体转变成铁素体的开始线, 或铁素体转变成奥氏体的终止线。

ES——又叫 A_{cm} 线, 碳在奥氏体中的溶解度线。奥氏体冷却到此线时, 将开始从奥氏体中析出二次渗碳体。

PSK——亦称 A_1 线, 或共析反应线。共析反应温度为 727°C , 共析成分为 $0.77\%\text{C}$ 。各种成分的铁碳合金冷却到此线时, 其中奥氏体的含碳量均变成 0.77% 而发生共析反应生成珠光体, 珠光体是铁素体和渗碳体的机械混合物。

ECF——共晶反应线。共晶反应温度为 1148°C , 共晶成分为 $4.3\%\text{C}$ 。当含碳量为 4.3% 的液态合金冷却到此线时, 将发生共晶反应而形成莱氏体, 它是奥氏体与渗碳体的机械混合物。

PQ——碳在铁素体中的溶解度线。铁素体冷却到此线时, 将要析出三次渗碳体。

(2) 铁碳相图中重要的特征点

C——共晶点 (1148°C , $4.3\%\text{C}$);

S——共析点 (727°C , $0.77\%\text{C}$);

E——碳在奥氏体中的最大溶解度 (1148°C , $2.11\%\text{C}$)。

(3) 铁碳合金的分类

在铁碳相图中, 根据组织和性能, 铁碳合金可分成纯铁、钢和白口铸铁。表 Z1-2 列出了铁碳合金的分类、成分和平衡组织。

(4) 钢的平衡结晶过程

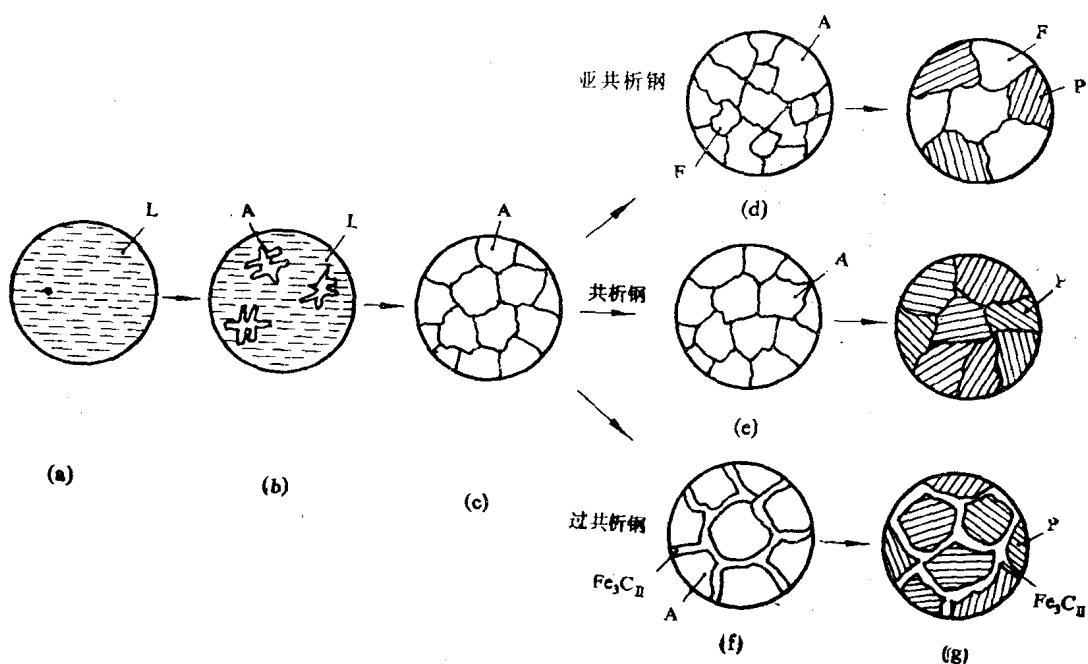
亚共析钢、共析钢和过共析钢的平衡结晶过程及组织特征如图 Z1-1 所示。

(5) 含碳量与组织、机械性能的关系

随着含碳量的增加, 铁碳合金的强度、硬度升高, 而塑性和韧性下降, 这主要是由于珠光体的量增多的缘故。当含碳量大于 0.9% 时, 渗碳体以明显的网状分布于珠光体周围, 不但使塑性和韧性显著下降, 也使得强度随之下降。

表Z1-2 铁碳合金的分类、成分及组织

	类 别	分 类	含碳量范围	平衡组织
铁 碳 合 金	铁	工业纯铁	$<0.02\%$	$F + Fe_3C_{III}$
		亚共析钢	$0.02 \sim 0.77\%$	$F + P$
	钢	共 析 钢	0.77%	P
		过共析钢	$0.77 \sim 2.11\%$	$P + Fe_3C_{II}$
	铸 铁	亚共晶铸铁	$2.11 \sim 4.3\%$	$P + Fe_3C_{II} + L'd$
		共晶铸铁	4.3%	$L'd$
		过共晶铸铁	$4.3 \sim 6.69\%$	$L'd + Fe_3C_I$



图Z1-1 钢的平衡结晶过程和组织形成示意图

(a) AC 线以上温度； (b) AC 线以下，AE 线以上温度； (c) AE 线以下温度； (d) GS 线以下，PSK 线以上温度； (e) PSK 线以上温度； (f) ES 线以下，PSK 线以上温度； (g) PSK 线以下温度。

3. 铁碳相图的应用

铁碳相图在铸造方面、锻造方面和热处理方面的应用主要表现在制定浇注温度、锻造温度和热处理加热温度上。

四、碳钢和铸铁

1. 钢中杂质对性能的影响

硅和锰是钢中有益的杂质。它们大部分溶于铁素体，使铁素体强化，提高钢的强度。

硫和磷是钢中的有害杂质。硫能引起钢的“热脆”，而磷能造成钢的“冷脆”。钢中硫、磷含量越低，钢的质量就越好。

2. 碳钢的种类、牌号、成分及性能

常用的碳钢分类方法有三种。按钢中硫、磷含量的高低,可把碳钢分成普通碳钢、优质碳钢和高级优质碳钢;按钢中含碳量,又可分为低碳钢($<0.25\%C$)、中碳钢($0.25\% \leq C \leq 0.6\%$)和高碳钢($>0.6\%C$);按钢的用途,还可分为碳素结构钢和碳素工具钢。

碳钢的牌号、成分和性能详见教材部分。

3. 铸铁的种类、牌号、性能及用途

在缓冷的条件下,石墨可从含碳和硅较高的铁水或奥氏体中直接析出来。实际上,工业用铸铁(灰口铸铁)是由钢的基体和石墨组成。钢的基体一般有三种,即铁素体、铁素体+珠光体、珠光体。根据石墨的形态,灰口铸铁可分为灰铸铁(片状)、球墨铸铁(球状)、蠕墨铸铁(蠕虫状)和可锻铸铁(团絮状)。

常用铸铁材料见教材。

重点、难点分析

一、组织与相

组织与相密切相关。组织是材料内部的微观形貌图象,相(这里指其形貌)是组织的基本组成部分。同样的相,当其形貌(大小、形态和分布)不同时,会出现不同的微观形貌图象,即会出现不同的组织(或组织组成物)。既可能成为独立的单相组织,也可能与别的相一起构成各种复相组织。例如,铁素体相,既可作为单相的铁素体组织,也可与渗碳体一道构成珠光体组织。

二、熟记Fe-Fe₃C相图

Fe-Fe₃C相图是该篇内容的核心。对于铁碳合金的选用、热加工及热处理都具有重要的指导意义。熟记Fe-Fe₃C相图要从以下几个方面入手。

1. 弄清Fe-Fe₃C相图的结构特点。简化的铁碳相图是由共晶部分和共析部分组成的。
2. 记住相图中四个单相区的位置。除了水平线以外,任何两单相区之间一定是双相区,且是由这两个单相构成的双相区。
3. 记住特征点和特征线的位置。牢牢掌握它们的物理意义及实际使用价值。
4. 熟悉亚共析钢、共析钢和过共析钢在室温时的平衡组织。弄清铁碳合金基本组织与基本相的关系。

思 考 题

1. 晶格有何意义?为什么常用晶胞来表示晶格?
2. 为什么实际金属的结构一般都是多晶体?
3. 细晶强化和固溶强化的特点是什么?哪一种更理想?
4. 共晶(或共析)反应有何特点?共晶产物(或共析产物)属于几种组织?是由几个相构成的?
5. 铁碳合金的基本相有哪些?如何从基本相导出基本组织?
6. 在铁碳合金中,渗碳体有几种形态?对铁碳合金的性能有何影响?

第二章 钢的热处理

基 本 要 求

1. 熟悉过冷奥氏体等温转变C曲线, 具有应用C曲线分析实际问题的初步能力。
2. 基本掌握常见组织(珠光体类、马氏体类组织和回火组织)的形态和性能特点。
3. 掌握淬火、回火、退火及正火的目的、主要工艺参数及其应用。
4. 基本弄清有关淬透性的概念及其实际应用意义。
5. 了解奥氏体化过程、马氏体转变过程和淬火钢回火转变过程的基本特点。
6. 理解感应加热表面淬火和表面化学热处理的基本原理。了解常用的渗碳和氮化工艺。初步认识电镀、氧化、磷化和电泳的特点。

基 本 内 容

热处理是通过控制加热、保温和冷却过程来改变金属材料的组织, 以改善金属材料的工艺性能和使用性能的一种非常重要的方法。它的一个最重要的特点是在处理前后基本上不改变工件的形状和尺寸。可进行热处理的先决条件是材料在加热和冷却过程中具有同素异构转变或在固态下有溶解度的变化。

本章共分五节, 内容主要包括两个方面, 即热处理基本原理和热处理工艺。前两节论述了钢的热处理基本原理, 核心问题是钢在加热和冷却过程中组织与性能的变化规律。第三、四节则着重介绍钢的各种常用的热处理工艺及其应用, 其中包括表面热处理和表面化学热处理。第五节的内容是简介表面复层处理方法。本章是本篇的重点内容之一。

一、钢的热处理基本原理

1. 钢的奥氏体化

大多数情况下, 热处理加热的目的在于使钢转变为奥氏体组织。依据铁碳相图, 加热温度必须达到某个相变点以上(如 A_1 、 A_s 及 A_{cm}) 奥氏体化过程才能进行。钢的奥氏体化包括奥氏体的形成和奥氏体晶粒度。

奥氏体形成的基本过程包括四个阶段, 即奥氏体形核、晶核长大、残余渗碳体溶解及奥氏体均匀化。钢的奥氏体化过程需要铁、碳原子的扩散, 故必须在加热时保持一定的时间, 以获得稳定的、均匀的奥氏体组织。

奥氏体的晶粒大小对热处理后钢的组织 and 性能有重大影响。所以, 控制奥氏体晶粒大小是热处理中的关键之一。奥氏体晶粒度表示奥氏体的晶粒大小, 它包括三种不同概念的晶粒度。其中最重要的是本质晶粒度。本质晶粒度不代表奥氏体具体的晶粒大小, 只表示奥氏体晶粒长大的倾向。

2. 过冷奥氏体冷却时的转变

冷却是热处理三个阶段中最重要的阶段。因为钢的性能最终取决于奥氏体冷却转变后的组织。

钢在冷却时的转变, 其根本问题是过冷奥氏体的转变及其产物。这也是本章的重点。

(1) 过冷奥氏体等温转变曲线——C曲线

过冷奥氏体等温转变曲线表达了不同温度下过冷奥氏体等温转变量与时间的关系。同时，也指出了过冷奥氏体等温转变的产物。它是研究过冷奥氏体转变的重要工具。

图 Z2-1 为共析钢 C 曲线(虚线为 CCT 曲线)的示意图,图中各线、各区域的意义如下:

A_1 ——对应于铁碳相图中共析转变的临界温度;

M_s ——马氏体转变开始线;

M_f ——马氏体转变终止线;

v_k ——临界冷却速度。即过冷奥氏体全部转变成马氏体的最小冷却速度;

在 A_1 线以上为奥氏体稳定存在区;

在 A_1 线以下和转变开始线以左为过冷奥氏体区;

在转变终了线以右为转变产物(珠光体或贝氏体)区;

在转变开始线和转变终了线之间为转变过渡区,同时存在着奥氏体和珠光体或奥氏体和贝氏体;

在大约 550°C 左右,孕育期最短,过冷奥氏体最不稳定,此处常称为 C 曲线的“鼻尖”;

在“鼻尖”以上称为高温转变区,生成珠光体型组织(珠光体、索氏体和屈氏体);

在“鼻尖”以下至 M_s 之间为中温转变区,生成贝氏体型组织(上贝氏体和下贝氏体);

在 M_s 以下为低温转变区,生成马氏体。

(2) 过冷奥氏体等温转变产物

过冷奥氏体等温转变产物包括珠光体型组织、贝氏体型组织和马氏体型组织。在实际生产中,珠光体型组织和马氏体组织应用得尤为广泛。表 Z2-1 为共析钢过冷奥氏体等温转变产物小结。

3. 淬火钢在回火时的转变

淬火钢的组织是由马氏体和残余奥氏体所组成,它们是不稳定的组织。随着回火温度的升高(在 A_1 以下),淬火钢的组织要发生四个阶段的变化。即马氏体的分解、残余奥氏体的转变、渗碳体的聚集长大和铁素体的回复与再结晶。

淬火钢的回火转变产物与其发生转变的温度直接相关。根据回火温度的不同,回火可分为低温回火、中温回火和高温回火。相应的回火组织及其性能特点归纳于表 Z2-2。

二、钢的热处理工艺

1. 钢的各种常用热处理工艺及应用

常用热处理工艺包括退火、正火、淬火、回火及表面热处理工艺。它们的特点归纳于表 Z2-3。

2. 淬透性的概念及应用

钢的淬透性是指钢在淬火时所获得的淬硬层深度的能力,也就是钢在淬火时获得马氏体

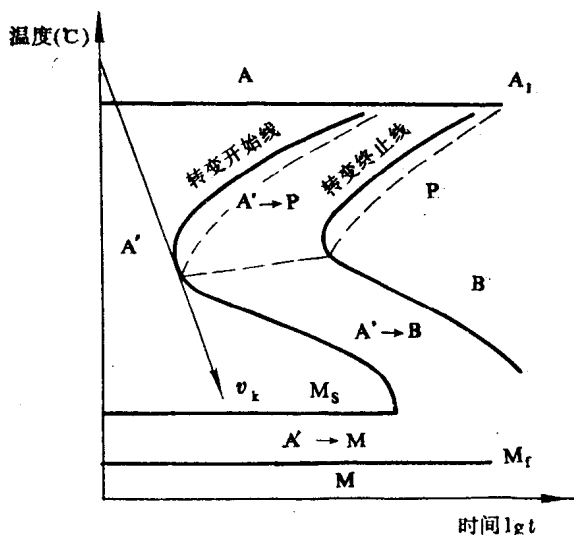


图 Z2-1 共析钢 C 曲线示意图

表Z2-1 共析钢过冷奥氏体等温转变产物小结

转 变 产 物		转变温度	转变类型及组织	组织形态	性 能 特 点
珠光体P	珠光体P	$A_1 \sim 650^\circ\text{C}$	扩散型转变, 组织为铁素体与渗碳体的机械混合物	片 状	硬度较低, 韧性较好, 综合机械性能良好。其强度和硬度随转变温度下降而升高
	索氏体S	$650 \sim 600^\circ\text{C}$		细 片 状	
	屈氏体T	$600 \sim 500^\circ\text{C}$		极细片状	
贝氏体B	上贝氏体B _上	$500 \sim 350^\circ\text{C}$	半扩散型转变(铁原子不扩散), 组织为过饱和铁素体与渗碳体混合物	羽毛状	机械性能介于珠光体与马氏体之间。B _上 较脆, B _下 韧性较好, 综合机械性能优良
	下贝氏体B _下	$350 \sim M_s$		黑针状	
马氏体M	马氏体M	$M_s \sim M_f$	非扩散型转变, 组织为碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体	$<0.3\%\text{C}$, 板条状	高硬度, 马氏体的硬度取决于其含碳量的高低。片状马氏体硬而脆, 板条马氏体强而韧
				$0.3\% < \text{C} \% < 1.0\%$, 板条状 + 片状	
				$>1.0\%\text{C}$, 片状	

表Z2-2 回火组织及其性能特点小结

回火类型	回火温度	回火组织	组 织 形 态	性能特点及应用
低温回火	$150 \sim 250^\circ\text{C}$	回火马氏体	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的过饱和固溶体和在其上弥散分布的 ϵ 碳化物组成的复相组织	具有淬火钢的高硬度和高耐磨性, 降低了淬火钢的脆性和残余应力 用于工、模、量具钢、轴承钢、渗碳钢等的处理
中温回火	$350 \sim 500^\circ\text{C}$	回火屈氏体	保持着马氏体形貌的铁素体与细粒状的渗碳体的复相组织	具有极高的弹性极限和屈服强度, 一定的韧性 主要用于弹簧及弹性元件
高温回火	$500 \sim 650^\circ\text{C}$	回火索氏体	正常铁素体与粒状渗碳体的复相组织	具有适当的强度、较高的塑性、韧性, 即良好的综合机械性能 广泛用于处理各种重要零件, 如轴、齿轮、连杆等

的能力。它的大小可用规定条件下淬硬层的深度来表示。淬硬层越深, 就表明钢的淬透性越好。

钢的淬透性的高低取决于过冷奥氏体的稳定性, 或者说, 取决于钢的临界冷却速度。过冷奥氏体的稳定性愈大, 钢的临界冷却速度愈小, 则钢的淬透性就愈大。因此, 钢的淬透性从本质上反映了过冷奥氏体的稳定性。影响过冷奥氏体稳定性的因素, 都是影响淬透性的因素。过冷奥氏体的稳定性主要取决于其含碳量和合金元素的含量, 所以, 奥氏体的含碳量和合金元素的含量是影响钢的淬透性的最主要因素。

淬透性对机械设计中的选材有非常重大的影响, 因为不同的受力状态, 要求工件在整个截面上的性能不一样。在铸、锻、焊等热加工过程中, 钢材的淬透性也是必须考虑的。

三、表面复层处理

表面复层处理主要是通过化学或电化学的方法使工件材料的表面获得功能膜层、保护膜层或装饰层。目的是提高工件的耐蚀性、耐磨性或外观装饰性。常用的方法有电镀(镀锌、

镀锡、镀铜、镀银、镀金、镀铬、镀镍等)、氧化、磷化、电泳等。

表Z2-3 各种常用热处理工艺

热处理名称	热处理的目的	加热温度范围	冷却方式	处理后组织	应用
扩散	消除严重的组织不均匀	1050~1150℃	缓慢冷却, 通常炉冷	平衡组织	消除钢锭、铸件的组织不均匀
完全退火	细化晶粒, 调匀组织, 降低硬度, 提高可切削性能	A _{c1} 以上 30~50℃		F+P	主要用于亚共析钢, 常作为预先热处理, 有时也作最终热处理
球化	降低硬度, 改善切削性能, 为淬火作好组织上的准备	A _{c1} 以上 20~30℃		粒状P	主要用于共析钢和过共析钢, 常作为预先热处理(粗加工前)
去应力	消除应力, 防止变形、开裂	500~600℃		组织不变	常用于铸件、冷加工件
正火	细化组织, 提高机械性能, 提高低碳钢的切削性能	A _{c1} 以上 30~50℃	空冷	P+F (或P)	用于亚共析钢淬火前的预热处理, 有时亦可作为最终热处理
	破碎网状的二次渗碳体, 为球化退火作准备	A _{cm} 以上 30~50℃		P	常用于过共析钢球化退火前
淬火	获得马氏体, 以提高钢的硬度、强度及耐磨性	A _{c1} 以上 30~50℃	急剧冷却 (>v _K)	M+A _残	用于各种钢件
		A _{c1} 以上 30~50℃	通常水冷、或油冷	M+A _残 +碳化物	
低温回火	降低淬火应力, 提高工件的韧性, 防止变形、开裂	150~250℃	—	回火M	多用于工、模、量具的处理
中温回火	提高弹性极限和屈服强度, 提高韧性, 降低硬度	350~500℃	—	回火T	主要用于弹簧、弹性元件的处理
高温回火	获得优良的综合机械性能	500~650℃	快冷 (油、水冷)	回火S	广泛用于各种重要零件, 如轴、齿轮等的处理
高频淬火	提高表面硬度、耐磨性及疲劳强度	A _{c1} 以上80~150℃, 水冷, 180~200℃回火或自回火		表面: 回火M	宜用于中碳钢制作的中、小轴、齿轮零件
渗碳	提高表面耐磨性、疲劳强度, 保持心部韧性	900~950℃渗碳, 直接淬火, 低温回火		表层: 回火M+碳化物	主要用于重要的齿轮等零件
氮化	提高表面的硬度, 耐磨性和疲劳强度	500~570℃氮化		表层: 氮化层	适用于各种耐磨性和精度要求很高的零件

重点、难点分析

一、掌握几个重要的概念

1. 本质晶粒度

本质晶粒度是一个重要概念, 除了弄清和熟记它本身的定义之外, 还要从下面两个方面进一步理解。

本质晶粒度只表明钢在一定温度范围内(930℃左右)的晶粒长大倾向。当加热温度超过这个温度范围时, 本质晶粒度所表示的晶粒长大倾向就失去了意义。所以, 这时即使是本质

细晶粒钢，它的奥氏体晶粒也可能会迅速长大，甚至可能会超过本质粗晶粒钢。

本质晶粒度的实际意义在于：一方面是由于大多数的优质碳钢和合金钢都是用来制造机械零件的，而这些工件都需要热处理（加热温度大多在930℃以下），所以，优质碳钢及合金钢都应是本质细晶粒钢。另一方面是有些热处理工艺，如渗碳、渗金属等，必须在高温下长期保温才能实现，这时只能采用本质细晶粒钢。

2. 临界冷却速度(v_K)

临界冷却速度是表示奥氏体在连续冷却过程中不发生分解而全部过冷到马氏体区的最小冷速，通常也称为“淬火临界冷速”。可以用与等温C曲线鼻尖处相切的冷却速度来示意地表示。

v_K 值愈小，钢在淬火时愈容易获得M组织，即钢接受淬火的能力愈大。

临界冷却速度的大小与C曲线的位置有关。除了钴以外，所有的合金元素(溶于奥氏体)都使C曲线向右移而导致 v_K 减小。如40Cr的 v_K 就比45钢的小得多。一般而言，所有提高过冷奥氏体稳定性而使C曲线右移的因素都将会减小 v_K 。

3. 钢的淬透性

钢的淬透性是钢的重要热处理工艺性能。为了进一步理解和掌握淬透性的概念，必须注意一些容易混淆的地方。

钢的淬透性是钢的一种工艺性能，对于一种钢来说，它是完全确定的。由于它的度量是用规定条件下的淬硬层深度来表示，所以，它可以用于钢种之间的比较。而实际工件的淬硬层深度是指它在具体条件下获得的，是不确定的。例如，在同样奥氏体化条件下，同一种钢的淬透性是相同的，但是，水淬比油淬的淬硬层深，小件比大件的淬硬层深。而决不能说，同一种钢水淬比油淬的淬透性大，小件比大件的淬透性大。

要把钢的淬透性与淬硬性区别开。淬硬性是指钢在淬火后能够获得的马氏体的最高硬度，它主要取决于马氏体的含碳量。

二、掌握过冷奥氏体等温转变曲线及应用

首先要掌握和熟知C曲线中各特征线、区域的意义，如转变类型、转变产物等。在此基础上才有可能运用C曲线来分析和解决实际生产中遇到的问题。

C曲线是制定热处理工艺参数和热加工后冷却工艺条件的重要依据。C曲线的实际应用主要在等温冷却的情况下。在实际生产中，过冷奥氏体的等温转变行为完全符合C曲线的规律。只要知道了等温转变的温度，便可以从C曲线中找出相应的产物。但是，在生产中遇到的往往是为了获得一定的转变产物而制定其等温转变温度和时间的问题。例如，共析钢工件锻后的等温退火工艺中，为了获得便于切削加工的珠光体组织，可依据共析钢的C曲线，选择其等温转变温度大约在680℃左右，这样所得到的珠光体硬度为HB200左右。再如，在等温淬火工艺的制定中，等温温度和时间应根据所要求的组织和性能，从该钢种的C曲线上选定。

在连续冷却的情况下，过冷奥氏体的转变是在一个温度范围内进行的。所以，只有在缺少连续冷却转变曲线的时候，才能用等温转变C曲线来估计连续冷却过程中过冷奥氏体的转变产物及性能。

思 考 题

1. 比较下列名词：

(1) 奥氏体与过冷奥氏体。

(2) 马氏体与回火马氏体。

(3) 索氏体与回火索氏体。

2. 为什么亚共析钢淬火时要加热到 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 而过共析钢只要加热到 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$?

3. T10 和 T12 钢同样加热到 760°C 水淬, 试比较两种钢马氏体硬度的高低和钢的耐磨性的好坏。

4. 生产热轧低碳钢时, 有时轧后采用吹风或进行喷雾冷却, 有何作用? 试说明其原因。

5. 淬火能否显著提高低碳钢工件的硬度?

6. 表面淬火为什么能淬硬表面层而保持心部组织不变? 这和淬火时没有淬透有何不同?

7. 渗碳和氮化工艺的应用范围有何差异?

第三章 合金钢

基本要求

1. 熟悉合金钢分类和编号的方法, 基本做到从钢的牌号可以判断出它的钢种类型、大致的化学成分和主要用途。

2. 了解合金元素在钢中的作用, 即合金钢的基本原理。

3. 基本熟悉合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢中的不锈钢的主要用途、合金化原则、典型钢种和常用热处理。

4. 对耐热钢、耐磨钢有初步的认识。

基本内容

合金钢就是在碳钢中有目的地加入一种或几种元素而获得的具有一定性能的钢。随着科学技术和生产水平的不断提高, 合金钢的应用日趋广泛, 在工业用钢中的地位也就更显重要。本章共分五节, 第一节主要是讨论合金元素在钢中的作用, 即合金化原理。其余四节着重介绍各种类型的合金钢。本章是本篇的重点内容之一。

一、合金元素在钢中的作用

合金元素在钢中的作用很复杂。它主要表现在如下几个方面。

1. 合金元素对钢中基本相的影响

合金钢中常用的合金元素很多, 按照其与碳结合的倾向大小, 可分为非碳化物形成元素 (Co、Ni、Si、Cu、B 等) 和碳化物形成元素 (Ti、V、W、Mo、Cr、Mn 等)。合金元素在钢中的存在形式主要有两种: 或溶解于钢中的基本相 (铁素体、奥氏体和渗碳体); 或形成特殊碳化物 (如 VC、TiC、 Cr_{23}C_6 等)。

非碳化物形成元素和大部分的锰基本上都溶解于铁素体 (或奥氏体) 中而形成合金铁素体 (或合金奥氏体), 并产生固溶强化的作用, 使合金铁素体的强度、硬度升高, 塑性和韧性下降 (Cr、Ni、Mn 含量少时略有上升)。其中, Si、Mn、Ni 的强化作用较大。