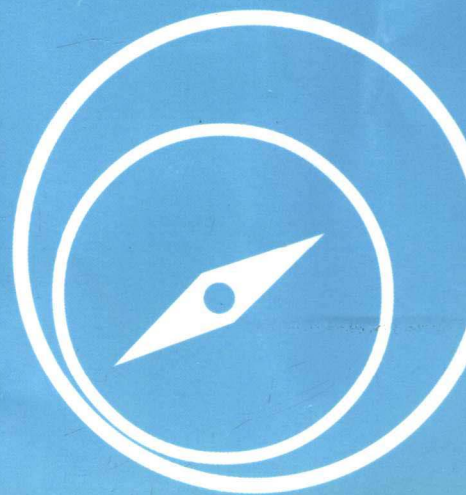


机械制造基础

学习指导与习题

■ 京玉海 编 著
■ 黄经元 主 审

重庆大学出版社



机械制造基础 学习指导与习题

京玉海 编 著
黄经元 主 审

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是《机械制造基础》课程的配套教材,内容包括《机械制造基础》课程中各章的内容提要与习题。本书信息量大,题目类型多,共有是非题 175 题、选择题 240 题、填空题 130 题、问答及分析题 125 题,书末还有部分习题的参考答案,供读者参考。

本书可作为高等工业学院机械类、近机械类学生学习《机械制造基础》、《金属材料与热处理》等课程的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础学习指导与习题/京玉海编著. —重庆:

重庆大学出版社,2006.2

ISBN 7-5624-3597-9

I. 机... II. 京... III. 机械制造—高等学校—教学参考资料 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 008863 号

机械制造基础学习指导与习题

京玉海 编 著

黄经元 主 审

责任编辑:周 立 版式设计:周 立

责任校对:邹 忌 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:7.25 字数:181千

2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-3597-9 定价:11.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书是《机械制造基础》课程的配套教材,是根据教育部基础课程教学指导委员会颁发的“机械制造基础教学基本要求”编写的。

本书内容包括《机械制造基础》课程中各章的内容提要和习题。本书的编写融汇了作者多年教学经验,其主要特点是:

◆内容提要部分阐述了《机械制造基础》教材中各章的基本内容和学习重点。对各章的基本概念、基本理论进行了系统的、简要的归纳总结,以便学生更好的掌握所学的知识。

◆题目信息量大,题目类型多,包括是非题、选择题、填空题、问答题、分析题、计算题等,既考虑有助于对基本理论的学习与掌握,又充分重视对实际问题的了解与分析,以逐步培养学生分析问题和解决问题的能力。

◆本书编写时力求重点突出,通俗易懂。教材已讲过的内容和插图,本书尽量不再重复,以便压缩篇幅,减轻学生负担。

◆书末有部分习题的参考答案,供读者参考。

◆全部采用了国家最新标准。

本书可作为高等工业学校机械类及近机类学生学习《机械制造基础》、《金属材料与热处理》等课程的参考教材。

全书由南昌大学京玉海编写,由九江职业技术学院黄经元审阅。

由于编者水平有限,书中难免出现错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编者
2006年1日

目 录

| | |
|--------------------|-----|
| 第 1 篇 工程材料 | 1 |
| 第 1 部分 内容摘要 | 1 |
| 第 2 部分 复习思考题 | 16 |
| 第 2 篇 铸造 | 30 |
| 第 1 部分 内容摘要 | 30 |
| 第 2 部分 复习思考题 | 37 |
| 第 3 篇 压力加工 | 48 |
| 第 1 部分 内容摘要 | 48 |
| 第 2 部分 复习思考题 | 52 |
| 第 4 篇 焊接 | 59 |
| 第 1 部分 内容摘要 | 59 |
| 第 2 部分 复习思考题 | 64 |
| 第 5 篇 金属切削加工 | 71 |
| 第 1 部分 内容摘要 | 71 |
| 第 2 部分 复习思考题 | 86 |
| 部分习题参考答案 | 102 |
| 第 1 篇 工程材料 | 102 |
| 第 2 篇 铸造 | 103 |
| 第 3 篇 压力加工 | 105 |
| 第 4 篇 焊接 | 105 |
| 第 5 篇 金属切削加工 | 106 |

第 I 篇

工程材料

第 1 部分 内容摘要

1.1.1 材料的力学性能

| 性能指标 | 定义 | 衡量指标 | 备注 |
|------|----------------------------------|-----------------------------------|--|
| 强度 | 金属材料在力的作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力 | 屈服点 σ_s 抗拉强度 σ_b | ①布氏硬度测的硬度值比较准确、稳定;不能测太硬的物体 ($< 450\text{HBS}$ 或 $< 650\text{HBW}$)。洛氏硬度的测试简单迅速,适用范围广;可测成品和薄片;测量的结果不如布氏硬度准确 ②韧性值不直接用于设计计算。受多次小能量冲击载荷的零件主要取决于强度和塑性的良好配合 |
| 弹性 | 金属材料在外力作用下产生变形,当外力去除后能恢复其原来形状的性能 | 弹性极限 σ_e | |
| 塑性 | 金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不破坏的能力 | 伸长率 δ 断面收缩率 ψ | |
| 硬度 | 金属材料抵抗更硬的物体压入其内的能力 | 布氏硬度 HB 洛氏硬度 HR | |
| 韧性 | 金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力 | 冲击韧性 α_k | |
| 疲劳强度 | 金属材料经无数次交变载荷作用而不致引起断裂的最大应力值 | 疲劳强度 σ_{-1} | |

注:屈服点是指材料产生屈服现象时所对应的应力。脆性材料没有明显的屈服现象,则以 $\varepsilon = 0.2\%$ 时所对应的应力作为该材料的条件屈服点 $\sigma_{0.2}$ 。

1.1.2 金属的晶体结构

(1) 基本概念

① 晶体与非晶体:

两者的主要区别是:

- a. 晶体中原子(或分子)按一定的几何规律作周期的重复排列;
- b. 晶体具有固定的熔点;
- c. 晶体具有各向异性。

②晶格:为了便于表明晶体内部的原子排列规律,把每个原子看成一个点,点与点之间用直线连接起来而形成的空间格子。

③晶胞:能完全反映晶格原子排列特征的最小几何单元。

④晶格常数:晶胞的棱边长度,晶格常数和棱面夹角表示晶胞的形状和大小。

(2) 常见金属晶格类型

| 晶格类型 | 原子分布 | 原子数 | 原子半径 | 致密度 |
|--------|---|-----|-----------------------|------|
| 体心立方晶格 | 在立方体的中心和八个顶角上各有一个原子 | 2 | $\frac{\sqrt{3}}{4}a$ | 0.68 |
| 面心立方晶格 | 在立方体六个表面的中心和八个顶角上各有一个原子 | 4 | $\frac{\sqrt{2}}{4}a$ | 0.74 |
| 密排六方晶格 | 除在晶胞的十二个顶角上和上下两个六方底面的中心各有一个原子外,在晶胞的中间还有三个原子 | 6 | $\frac{1}{2}a$ | 0.74 |

1.1.3 金属的结晶

(1) 结晶的概念

物质从液态转变为固态的过程称为凝固。而结晶是指由液态转变为晶体的过程,即金属与合金从液态的无序状态转变为原子有规则排列的晶体结构的过程。理解结晶的概念应着重掌握以下几点:

◆纯金属的结晶在恒温下进行,其结晶过程可用冷却曲线表示。

◆纯金属的结晶需要一定的过冷度,即过冷是金属结晶的必要条件。过冷度 ΔT 是指理论结晶温度 T_0 与实际结晶温度 T_n 之差 ($\Delta T = T_0 - T_n$)。冷却速度越大,过冷度越大。

◆金属的结晶包括两个过程:晶核的形成和晶核的长大。

(2) 晶粒大小及其控制

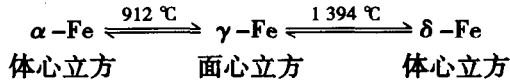
晶粒越细,则金属的强度、硬度、塑性和韧性越好。控制晶粒大小的方法有:增加过冷度(或增加冷却速度,如用金属型代替砂型、降低浇注温度、慢速浇注等)、变质处理、附加振动(机械振动、超声波振动、电磁搅拌等)。

(3) 金属的同素异晶转变

金属在固态下发生晶格类型改变的过程称为同素异晶转变。它与液态金属结晶相比具有以下特点:

- ①遵循金属结晶的一般规律;
- ②具有较大的过冷倾向;
- ③常伴随着体积的变化,因而在金属中引起较大的内应力,故易引起金属材料的变形。

铁的同素异晶转变式为:



(4) 实际金属的晶体结构

- 点缺陷 { 空位
 { 间隙原子
- 线缺陷: 主要形式是位错 { 刃型位错
 { 螺型位错
- 面缺陷 { 晶界
 { 亚晶界

1.1.4 合金的结构和二元合金相图

(1) 基本概念

- ①组元: 组成合金的最基本的物质。
- ②相: 合金中具有相同化学成分、相同晶体结构的均匀部分。
- ③固溶强化: 因形成固溶体而引起合金强度、硬度升高的现象。
- ④合金相图: 用来表示合金在不同成分、温度下的组织状态, 以及它们之间相互关系的一种图形, 亦称状态图或平衡图。


(2) 合金的结构

| 合金的结构 | 定义 | 晶格类型特点 | 性能特点 |
|-------|--|-------------|---------------------|
| 固溶体 | 两组元在固态下彼此互相溶解, 从而形成成分和性能均匀的固态合金 | 保持溶剂的晶格类型 | 产生固溶强化, 且具有较好的塑性和韧性 |
| 化合物 | 合金中各组成元素原子按一定比例互相作用而生成的一种新的具有金属特性的物质 | 形成一种新的晶格类型 | 硬而脆 |
| 机械混合物 | 组成合金两组元既不互相溶解, 也不产生化合反应, 而是按一定重量比混合而成的一种物质 | 各自保持各自的晶格类型 | 介于两组元之间 |

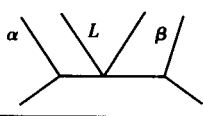
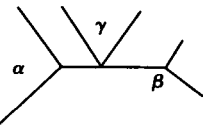
注: ①固态合金的相结构可分为固溶体和金属化合物两大类。

②根据溶质原子在溶剂晶格中分布情况不同可将固溶体分为置换固溶体和间隙固溶体两种。

(3) 二元合金相图

| 相图类型 | 定义 | 相图特征 | 反应式 | 反应类型 |
|------|-----------------------------|---|------------------------|----------------------------|
| 匀晶相图 | 两组元在液态及固态下都能以任何比例相互溶解而构成的相图 |  | $L \rightarrow \alpha$ | 匀晶反应: 一种液相在变温过程中转变为一种固相的反应 |

续表

| 相图类型 | 定义 | 相图特征 | 反应式 | 反应类型 |
|------|-----------------------------------|---|---|----------------------------------|
| 共晶相图 | 两组元在液态时能完全互溶,在固态时有限互溶,并能发生共晶转变的相图 |  | 恒温 $L \rightarrow \alpha + \beta$ | 共晶反应: 恒温下, 一种液相同时结晶出两种不同成分的固相的反应 |
| 共析相图 | 与共晶相图相似, 区别在于转变前的母相不是液相而是固相 |  | 恒温 $\gamma \rightarrow \alpha + \beta$ | 共析反应: 由某种单相固溶体中同时析出两种新的固相的转变过程 |

1.1.5 铁碳合金相图

(1) 铁碳合金的基本组织

| 基本组织 | 定义 | 代号 | 碳的质量分数/% | 性能特点 | 晶格类型 |
|------|------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|--------|
| 铁素体 | 碳溶解在 α -Fe 中所形成的间隙固溶体 | F | 727 °C: 0.021 8 室温: 0.008 | 与纯铁相似 | 体心立方晶格 |
| 奥氏体 | 碳溶解在 γ -Fe 所形成的间隙固溶体 | A | 1 148 °C: 2.11 727 °C: 0.77 | 硬度较低而塑性较高 | 面心立方晶格 |
| 渗碳体 | 铁与碳所形成的金属化合物 | Fe_3C | 6.69 | 硬而脆 | 复杂斜方晶格 |
| 珠光体 | 铁素体与渗碳体所形成的机械混合物 | P | 0.77 | 介于两组元之间 | |
| 莱氏体 | 奥氏体(或珠光体)与渗碳体所形成的机械混合物 | Ld(或 Ld') | 4.3 | 硬而脆 | |

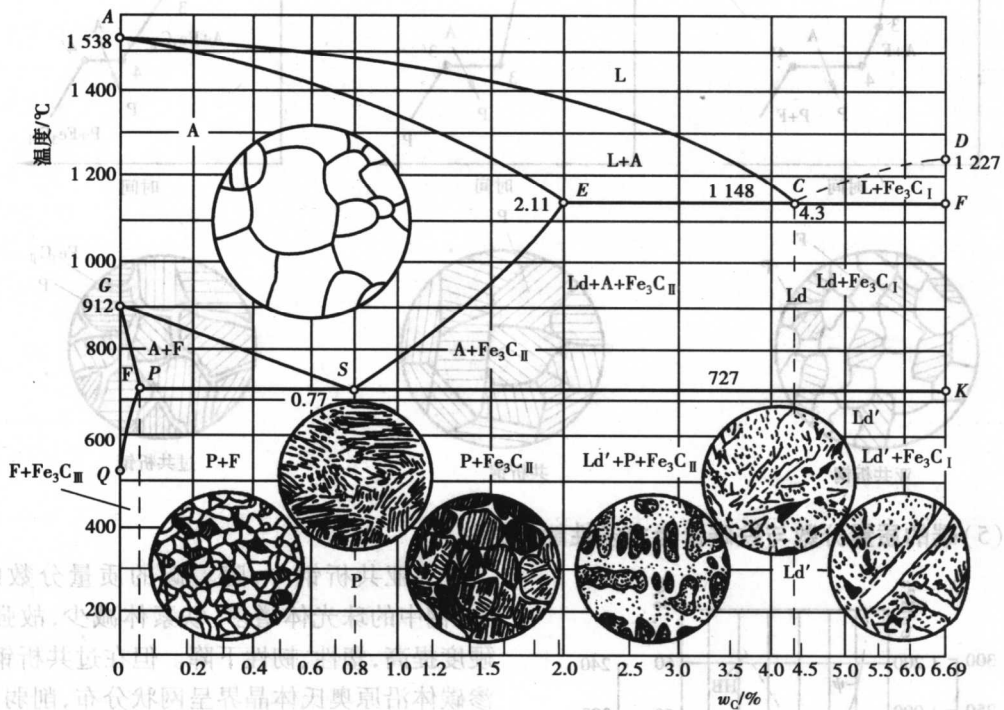
(2) 点、线含义

| 点 | 含义 | 温度 / °C | 含碳量 / % | 特性线 | 含义 |
|---|-------------------------------------|---------|---------|----------------|--|
| A | 纯铁的熔点 | 1 538 | 0 | AC, CD | 液相线 |
| C | 共晶点 | 1 148 | 4.3 | AE, ECF | 固相线 |
| D | 渗碳体的熔点 | 1 227 | 6.69 | GS(A_3) | 冷却时奥氏体开始析出铁素体温度线 |
| E | 碳在 γ -Fe 中的最大溶解度点, 也是钢铁分界点 | 1 148 | 2.11 | ECF | 共晶线 $L \rightarrow A + Fe_3C$, 即转变产物为莱氏体 |
| G | α -Fe 与 γ -Fe 同素异晶转变点 | 912 | 0 | PSK(A_1) | 共析线 $A \rightarrow F + Fe_3C$, 即转变产物为珠光体 |
| P | 碳在 α -Fe 中的最大溶解度点 | 727 | 0.021 8 | ES(A_{cm}) | 碳在奥氏体中的溶解度曲线 |
| S | 共析点 | 727 | 0.77 | PQ | 碳在铁素体中的溶解度曲线 |

(3) 铁碳合金分类

| 分 类 | $w_c/\%$ | 室温组织 | 结晶过程 |
|------|----------------------------------|------------------------|---|
| 纯铁 | <0.0218 | F 或 F + Fe_3C_{II} | |
| 钢 | 亚共析钢 $0.0218 \leq w_c < 0.77$ | P + F | $L \rightarrow L + A \rightarrow A \rightarrow A + F \rightarrow P + F$ |
| | 共析钢 $= 0.77$ | P | $L \rightarrow L + A \rightarrow A \rightarrow P$ |
| | 过共析钢 $0.77 < w_c \leq 2.11$ | P + Fe_3C_{II} | $L \rightarrow L + A \rightarrow A \rightarrow A + Fe_3C_{II} \rightarrow P + Fe_3C_{II}$ |
| 白口铸铁 | 亚共晶白口铸铁 $2.11 < w_c < 4.3$ | P + Fe_3C_{II} + Ld' | $L \rightarrow L + A \rightarrow A + Ld + Fe_3C_{II} \rightarrow P + Ld' + Fe_3C_{II}$ |
| | 共晶白口铸铁 $= 4.3$ | Ld' + Fe_3C_I | $L \rightarrow Ld \rightarrow Ld'$ |
| | 过共晶白口铸铁 $4.3 < w_c < 6.69$ | Ld' + Fe_3C_I | $L \rightarrow L + Fe_3C_I \rightarrow Ld' + Fe_3C_I$ |

(4) 各相区组织

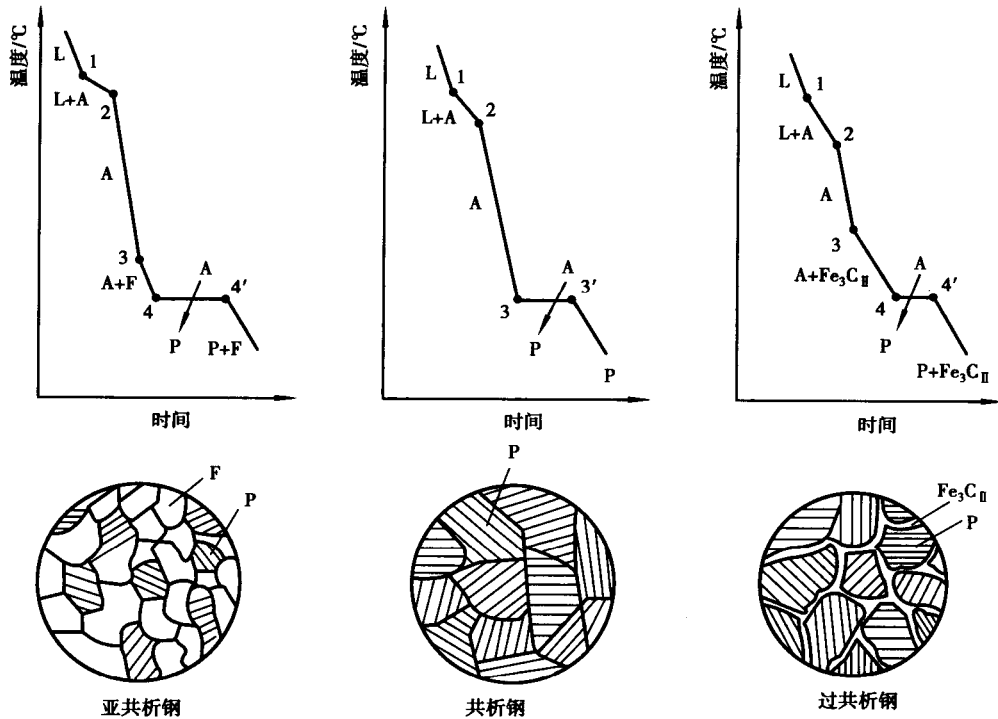


[注]①若要填各区域存在的相则与上图不同,请注意区别。

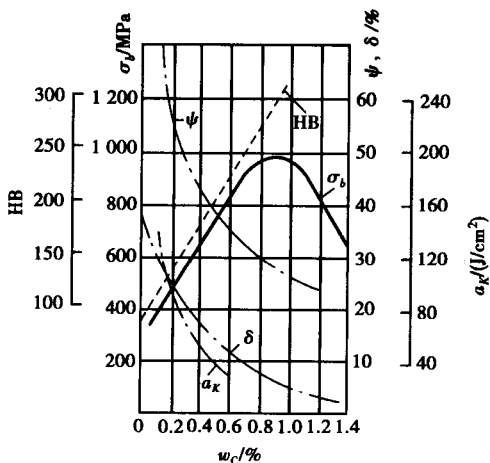
②所谓 Fe_3C_I 、 Fe_3C_{II} 、 Fe_3C_{III} , 它们的碳的质量分数、晶体结构和本身的性质都相同, 其区别在于渗碳体的来源、形态及分布状况有所不同。

| | Fe_3C_I | Fe_3C_{II} | Fe_3C_{III} |
|----|-----------|--------------|---------------|
| 来源 | 液态 | 奥氏体 | 铁素体 |
| 形态 | 条片状 | 网状 | 断续的片状 |
| 分布 | | 沿奥氏体晶界 | 沿铁素体晶界 |

③结晶过程及室温组织示意图：



(5) 碳的质量分数与铁碳合金力学性能间的关系



在亚共析钢中，随着碳的质量分数的增加，钢中的珠光体增多，铁素体减少，故强度、硬度提高，塑性、韧性下降。但在过共析钢中，渗碳体沿原奥氏体晶界呈网状分布，削弱了各晶粒间的结合力，从而降低了钢的强度并增加了脆性。因此，碳的质量分数超过了 0.9% 的钢，其硬度虽然继续增加，但强度却明显下降。特别是在白口铸铁中渗碳体作为基体存在时，其塑性和韧性大大下降，因此白口铸铁具有很高的脆性。

1.1.6 钢的热处理

不论哪一种热处理工艺,都要经历加热、保温和冷却三个阶段,其中保温的作用在于使零件内外温度一致,并获得细而成分均匀的奥氏体晶粒。

热处理与其他加工方法(铸造、锻压、焊接、切削加工等)的区别是:它只改变金属材料的组织和性能,而不改变其形状和大小。

为了区别实际加热和冷却时的临界点,一般将加热时的临界点加标符号“c”,如 A_{c1} 、 A_{c3} 、 A_{cm} ;冷却时的临界点加标符号“r”,如 A_{r1} 、 A_{r3} 、 A_{rcm} 。

(1) 钢的热处理基本原理

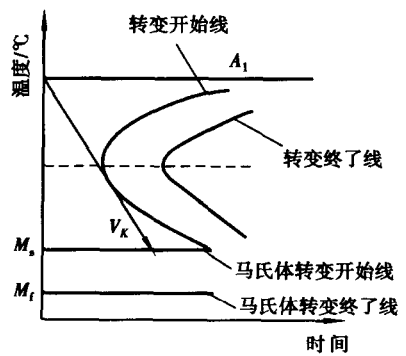
1) 钢的奥氏体化

奥氏体的形成过程也是由形核和长大两个过程来完成的。该过程可以归纳为以下三个阶段:奥氏体晶核的形成和长大、残余渗碳体的溶解、奥氏体成分均匀化。

奥氏体的晶粒大小除了与加热温度和保温时间有关外,还与奥氏体中碳的质量分数及合金元素的质量分数有关。

2) 过冷奥氏体冷却时的组织转变

共析钢 C 曲线如右图。



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 | $A_{r1} \sim 650 \text{ } ^\circ\text{C}$ | 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 | $650 \sim 600 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | 细片状 | |
| | 屈氏体 T | $600 \sim 550 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | 极细片状 | |
| 贝氏体 B | 上贝氏体 $B_{\text{上}}$ | $550 \sim 350 \text{ } ^\circ\text{C}$ | 半扩散型转变, 组织为过饱和碳的铁素体和渗碳体组成的两相混合物 | 羽毛状 | 主要取决于组织形态。上贝氏体强度低、塑性和韧性差, 基本上无使用价值。下贝氏体具有较高的强度和硬度外, 还具有良好塑性和韧性 |
| | 下贝氏体 $B_{\text{下}}$ | $350 \sim 230 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | 黑色针片状 | |
| 马氏体 M | 马氏体 | $M_s \sim M_f$ | 非扩散型转变, 组织为碳在 α -Fe 中的过饱和固溶体 | $w_c < 0.2\%$, 板条状 $0.2\% < w_c < 1\%$, 板条状 + 片状 $w_c > 1\%$, 片状 | 硬度高。马氏体的硬度主要取决于马氏体中碳的质量分数。片状马氏体硬而脆, 板条状马氏体强而韧 |

在实际生产中常用相应的 C 曲线来粗略地定性分析连续冷却转变所得到的产物与性能, 大家应重点掌握根据 C 曲线判断常用碳钢在炉冷、空冷、油冷、水冷等不同冷却条件下的组织与性能。

3) 马氏体转变的主要特点

- ① 转变速度极快, 内应力较大;
- ② 晶格发生严重畸变, 塑性变形阻力增大;
- ③ 奥氏体中的碳的质量分数愈高, 则 M_s 与 M_f 愈低;
- ④ 马氏体转变不能完全进行到底, 会有少量的残余奥氏体被保留下来, 奥氏体的碳的质量分数愈高, 淬火后残余奥氏体的量愈多。

(2) 钢的热处理工艺

1) 退火的目的

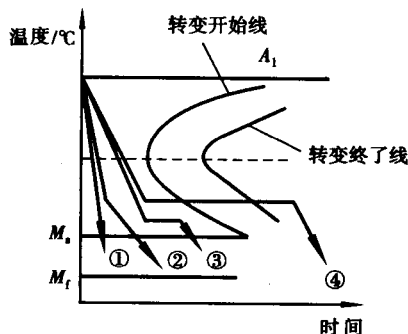
- ① 调整钢件的硬度, 改善切削加工性能;
- ② 消除残余应力, 稳定工件尺寸, 并防止其变形和开裂;
- ③ 细化晶粒, 改善组织, 提高钢的力学性能和工艺性能;
- ④ 为最终热处理(淬火、回火)做好组织上的准备。

2) 正火目的与退火相似, 其主要应用场合是

- ① 改善低碳钢和低碳合金钢的切削加工性;
- ② 消除过共析钢中二次渗碳体, 为球化退火做好组织准备;
- ③ 作为普通结构零件的最终热处理——中碳钢。

3) 常用淬火方法

| 淬火方法 | 应用范围 |
|-------|---------------------|
| 单液淬火① | 适用于形状简单的工件或小件 |
| 双液淬火② | 适用于处理形状复杂的碳钢件 |
| 分级淬火③ | 适用于形状复杂、小型的碳钢及合金钢工件 |
| 等温淬火④ | 适用于复杂、尺寸精度要求高的小型工件 |



4) 渗氮

① 气体渗氮: 加热温度一般为 500 ~ 560 °C, 其特点为:

a. 工件不需再进行淬火处理便具有高的硬度和耐磨性, 且在 500 ~ 600 °C 时仍保持高的硬度 (即红硬性)。

b. 显著提高了工件的疲劳极限, 且使工件具有良好的耐蚀性能。

c. 处理温度低, 工件变形小。

d. 氮化所需时间长。

渗氮处理主要用于耐磨性和精度要求很高的零件或要求耐热、耐蚀的耐磨件, 如高精度机床丝杠、镗床镗杆、精密传动齿轮和轴、汽轮机阀门和阀杆、发动机气缸和排气阀等。

② 离子氮化: 大大缩短了渗氮时间, 并且还能降低工件表面渗氮层的脆性, 明显地提高韧性和疲劳极限。

5) 钢的各种常用热处理工艺及应用

| 种类 | | 热处理目的 | 加热温度范围 | 冷却方式 | 热处理后组织 | 应用 |
|------|----|--|--|-----------|-------------------------|---|
| 完全 | 退火 | 细化晶粒,消除内应力与组织缺陷,降低硬度,为随后的切削加工和淬火做好组织准备 | $A_{c_3} + 30 \sim 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ | 缓慢冷却,通常炉冷 | P + F | 主要用于亚共析成分的碳钢和合金钢的铸件、锻件及热轧型材,也可用于焊接结构 |
| 球化 | | 球化渗碳化,以降低硬度,改善切削加工性,并为淬火做好组织准备 | $A_{c_1} + 10 \sim 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | 球状 P | 主要用于共析或过共析成分的碳钢和合金钢 |
| 去应力 | | 消除内应力,防止变形和开裂 | $500 \sim 600 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | 组织不变 | 主要用于消除铸件、锻件、焊接件或切削加工过程中的残余应力 |
| 正火 | | 细化组织,提高机械性能,提高低碳钢的切削性能 | $A_{c_3} + 30 \sim 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ | 空冷 | S + F(或 S) | 用于亚共析钢淬火前的预备热处理。有时亦可作为最终热处理 |
| | | 破碎网状的二次渗碳体,为球化退火做准备 | $A_{c_{cm}} + 30 \sim 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | S + Fe ₃ C | 常用于过共析钢球化退火前 |
| 淬火 | | 获得马氏体,以提高钢的强度和硬度及耐磨性,获得优良使用性能 | $A_{c_3} + 30 \sim 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ $A_{c_1} + 30 \sim 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ | 水冷或油冷 | M + A _残 | 用于各种钢件 |
| 低温 | 回火 | 降低淬火内应力和脆性 | $150 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 250 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | 回火 M | 用于处理各种工具(刀具、模具、量具)、滚动轴承、渗碳件及表面淬火的工件等 |
| 中温 | | 提高弹性极限和屈服强度,提高韧性,降低硬度 | $350 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 500 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | 回火 T | 用于处理各种弹簧、发条及锻模等 |
| 高温 | | 获得优良的综合机械性能 | $500 \text{ } ^\circ\text{C} \sim 650 \text{ } ^\circ\text{C}$ | | 回火 S | 用于处理各种重要的零件,如曲轴、连杆、齿轮、轴等,也可作为某些精密工件(量具、模具等)的预备热处理 |
| 高频淬火 | | 提高表面硬度、耐磨性及疲劳强度 | $A_{c_3} + 80 \sim 150 \text{ } ^\circ\text{C}$, 水冷, $180 \sim 200 \text{ } ^\circ\text{C}$, 回火 | | 表层 M _回 | 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 | $900 \sim 930 \text{ } ^\circ\text{C}$ 渗碳后淬火 + 低温回火 | | 表层 M _回 + 碳化物 | 主要用于重要的齿轮等零件 |
| 氮化 | | 提高表面硬度、耐磨性和疲劳强度 | $500 \sim 560 \text{ } ^\circ\text{C}$ 氮化 | | 表层: 氮化物 | 使用于各种耐磨性和精度要求很高的零件 |

注:①在 $250 \sim 350 \text{ } ^\circ\text{C}$ 及 $450 \sim 650 \text{ } ^\circ\text{C}$ 范围回火时,钢的冲击韧性反而显著降低的现象称为回火脆性。前者称为低温回火脆性或不可逆回火脆性;后者称为高温回火脆性或可逆回火脆性。

②渗碳后的组织和热处理:渗碳后的热处理为淬火(一次淬火法或直接淬火法) + 低温回火。最终组织为:表层为 M_回 + 少量 A_残, 硬度可达 $58 \sim 64 \text{ HRC}$;心部组织取决于钢的淬透性,通常碳钢为 F + P, 硬度约为 $10 \sim 15 \text{ HRC}$;合金钢为低碳 M 或低碳 M + F, 强韧性较好,硬度约为 $30 \sim 45 \text{ HRC}$ 。

③回火时的组织转变包括:马氏体的分解($< 200 \text{ } ^\circ\text{C}$);残余奥氏体的转变($200 \sim 300 \text{ } ^\circ\text{C}$);渗碳体的形成($250 \sim 400 \text{ } ^\circ\text{C}$);渗碳体的聚集长大,铁素体再结晶($> 400 \text{ } ^\circ\text{C}$)。

④淬透性与淬硬性:淬透性是指在规定的条件下,决定钢材淬硬深度和硬度分布的特性。它主要取决于钢的化学成分和奥氏体化条件。大多数合金元素溶入奥氏体后使 C 曲线右移,降低了钢的临界冷却速度,从而提高了钢的淬透性;奥氏体化温度愈高,保温时间愈长,则奥氏体晶粒愈粗大,成分愈均匀,钢的淬透性提高。钢的淬硬性是指钢经淬火后能达到的最高硬度,它主要取决于钢中碳的质量分数,更确切地说是取决于马氏体中碳的质量分数。

6) 热处理工序安排

①预备热处理:其目的是改善毛坯的加工性能,消除内应力和为最终热处理做准备。它包括退火、正火、时效和调质等。

a. 退火和正火:一般安排在毛坯制造之后粗加工之前进行,但也有将正火安排在粗加工之后进行的。

b. 调质:一般安排在粗加工之后和半精加工阶段之前进行。

②最终热处理:目的主要是提高零件材料的硬度和耐磨性,包括各种淬火、渗碳和氮化处理等。

a. 淬火:分整体淬火和表面淬火两种。淬火经常安排在半精加工之后和精加工之前进行。一般的工艺路线为:毛坯制造→正火(退火)→粗加工→调质→半精加工→表面淬火→精加工。

b. 渗碳淬火:一般安排在半精加工和精加工之间进行。一般的加工路线为:下料→锻造→正火→粗加工及半精加工→渗碳淬火→精加工。

c. 氮化处理:氮化工序位置应尽量靠后安排。氮化零件的加工工艺路线一般为:下料→锻造→退火→粗加工→调质→半精加工→除应力→粗磨→氮化→精磨、超精磨或研磨。对于热处理变形更小的真空离子氮化,则可以安排在精磨之后作为最后一道工序进行。

1.1.7 钢的分类、编号及应用

(1) 钢中杂质元素

1) 锰:是有益元素,其作用是脱硫、脱氧,还能形成合金铁素体和合金渗碳体。

2) 硅:也是有益元素,其脱氧能力比锰强,此外也能溶解于铁素体中使铁素体强化。

3) 硫、磷:都是有害元素,前者会使钢材出现热脆,后者会使钢材出现冷脆。

(2) 合金元素在钢中的作用

1) 合金元素对钢中基本相的影响

①形成合金铁素体:会引起铁素体的晶格发生畸变,产生固溶强化,因而铁素体的强度、硬度增高,塑性、韧性有所下降,尤以锰、硅、镍的强化效果最为明显。

②形成合金碳化物

弱碳化物形成元素(锰),易溶于渗碳体中,形成合金渗碳体,其稳定性、硬度比渗碳体略高。

中等碳化物形成元素(铬、钼、钨),既能形成合金渗碳体,又能形成特殊碳化物。特殊碳化物比合金渗碳体具有更高的熔点、硬度、耐磨性及稳定性。

强碳化物形成元素(钒、铌、锆、钛),一般形成特殊碳化物。

2) 合金元素对钢热处理的影响

①细化晶粒:除锰、磷以外,大多数合金元素均在不同程度上有细化晶粒作用,其中尤以强碳化物形成元素的影响最为显著。

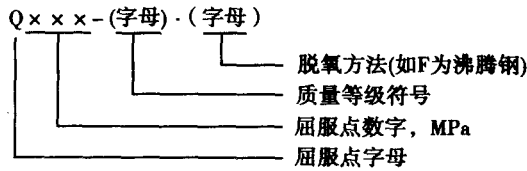
②提高淬透性:除钴以外,大多数合金元素熔入奥氏体后均能增加过冷奥氏体的稳定性,使C曲线右移,从而提高钢的淬透性。主要元素有:锰、硅、镍、硼。

③增加残余奥氏体的含量:除铝、钴外,大多数合金元素都能使 M_s 、 M_f 下降,从而使淬火组织中的残余奥氏体量增加。

④提高红硬性:合金元素提高了钢回火过程中抵抗软化的能力,即回火稳定性,故采用相同温度回火时,合金钢的硬度比碳钢高。

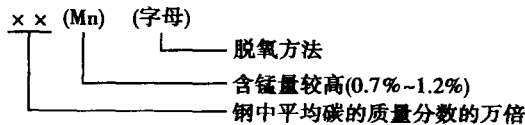
(3) 钢的编号

1) 碳素结构钢



常见牌号有 Q195、Q215、Q235、Q255、Q275。常为热轧钢板、钢带、型钢等,可供焊接、铆接一般工程构件,大多不予热处理而直接在供应状态下使用。

2) 优质碳素结构钢



应用:

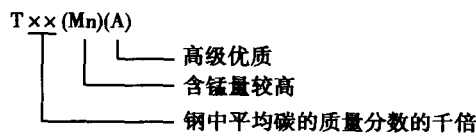
08F: 用作薄板、冲压件等。

10~25: 用作表面要求耐磨并承受一定冲击载荷的机械零件,最终热处理为渗碳后淬火 + 低温回火。

35~50: 用作承受较大交变载荷与冲击载荷的机械零件,如齿轮、连杆、主轴等,最终热处理为调质处理。

55~70: 用作各种尺寸较小的弹性零件(如弹簧)、车轮及受力不大的耐磨件,最终热处理为淬火 + 中温回火。

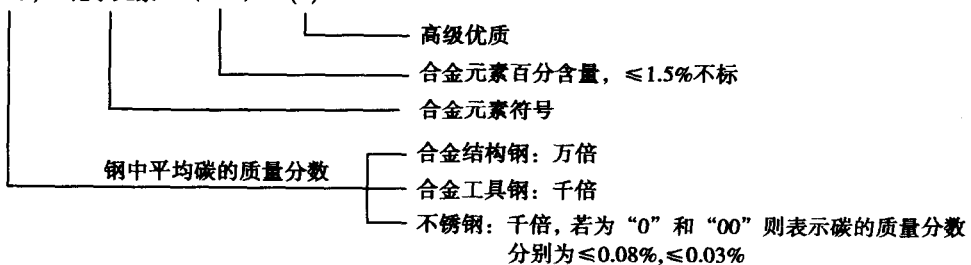
3) 碳素工具钢



应用: 主要用作各种刀具、量具和模具,最终热处理为淬火 + 低温回火。

4) 合金钢

(数字) + 化学元素 + (数字) + (A)



[注]①滚动轴承钢的编号为:

GCr x x
 钢中平均铬的质量分数的倍

②耐磨钢的编号为:

ZGMn13- x
 x 品种代号,1、2、3、4分别适用于低冲击件、普通件、复杂件和高冲击件
 13 含锰量13%

③低合金高强度结构钢的编号同碳素结构钢,但其质量等级分为A,B,C,D,E 五级。

(4) 各种合金钢的成分、热处理特点、性能特点及用途

| 钢种 典型牌号 | 碳的 质量 分数 | 合金元素及主要作用 | 热处理特点 | 使用组织 | 性能特点及应用 |
|------------------------------|------------------|--|-----------------------------|---|---|
| 低强钢 Q295 ~ Q460 | 0.1% ~ 0.2% | Mn 强化铁素体, 细化珠光体, V、Nb、Ti 细化晶粒 | 热轧空冷 | P + F | 较好的塑性、韧性、成形性及可焊性, 较高的强度, 用于工厂构件, 如桥梁、船等 |
| 渗碳钢 20Cr 20CrMnTi | 0.1% ~ 0.2% | Cr、Ni、Mn 提高淬透性, Ti、V、W 等阻碍晶粒长大 | 渗碳后 淬火 + 低温回火 | 表层: $M_{回} +$ 碳化物 心部: $M_{回} + T + F$ | 表面高硬度、耐磨性, 心部具有良好的韧性, 用于制造重要的齿轮、轴类零件 |
| 调质钢 40Cr 40MnB | 0.25% ~ 0.50% | Cr、Ni、Mn、Si、B 提高淬透性, Mo 防止第二类回火脆 | 淬火 + 高温回火 | $S_{回}$ | 良好的综合机械性能, 用于制作轴类、连杆、螺栓、齿轮等重要零件 |
| 弹簧钢 60Si2Mn | 0.5% ~ 0.7% | Si、Mn 提高淬透性, 强化铁素体, Cr、V、W 提高淬透性、回火稳定性及耐热性 | 淬火 + 中温回火 | $T_{回}$ | 高的弹性极限、屈强比及疲劳强度, 足够的韧性, 用于制作各种弹簧 |
| 滚动轴承钢 GCr15 | 0.95% ~ 1.15% | Cr 提高淬透性、耐磨性及接触疲劳极限, Si、Mn 提高淬透性 | 球化退火, 淬火 + 低温回火 | $M_{回} +$ 碳化物 | 高硬度、耐磨性及接触疲劳强度、足够的韧性, 用于制作轴承、丝杠等 |
| 量具刀具钢 9SiCr CrWMn | 0.75% ~ 1.5% | Cr、Si、Mn 提高淬透性、回火稳定性, W、V 提高回火稳定性、耐磨性 | 球化退火, 淬火 + 低温回火 | $M_{回} +$ 碳化物 | 硬度高、耐磨性好, 有一定的红硬性, 用于制造各种低速切削刀具 |
| 高速钢 W18Cr4V W6Mo5Cr4V2 | >0.7% | Cr 提高淬透性, W、Mo、V 提高红硬性、耐磨性、淬透性 | 锻造(多次) 球化退火 淬火 + 三次回火 | $M_{回} +$ 碳化物 | 高硬度、耐磨性和红硬性, 用于制造各种高速切削的刀具 |