



工程训练国家级实验教学示范中心配套教材

# 机械制造技术训练

(第二版)

JIXIE ZHIZAO JISHU XUNLIAN

主 编 于兆勤 郭钟宁 何汉武



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

工程训练国家级实验教学示范中心配套教材

# 机械制造技术训练

## (第二版)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 于兆勤 | 郭钟宁 | 何汉武 |
| 副主编 | 李伟华 | 余冠洲 | 杨灿明 |
| 参 编 | 谢小柱 | 黄惠平 | 石俊杰 |



北航

C1824305

华中科技大学出版社  
中国·武汉

TH16  
229-2

## 内 容 简 介

本书是为了适应科学技术的不断发展及教学改革不断深入进行而编写的。全书共分16章,包括钢的热处理、铸造、压力加工、焊接、钳工、车工、铣工、刨工、磨工、数控车、数控铣、电火花加工、快速成形、激光加工等。

本书可作为高等学校机械类、非机械类专业的机械工程训练教材,也可供相关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术训练/于兆勤,郭钟宁,何汉武主编.—2版.—武汉:华中科技大学出版社,2015.4  
ISBN 978-7-5680-0791-7

I. ①机… II. ①于… ②郭… ③何… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 073691 号

机械制造技术训练(第二版)

于兆勤 郭钟宁 何汉武 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:刘 勤

封面设计:潘 群

责任校对:马燕红

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:787mm×1082mm 1/16

印 张:18.75

字 数:363千字

版 次:2010年8月第1版 2015年8月第2版第1次印刷

定 价:36.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究



# 前言

“机械制造工程训练”是工科类本科生进行综合性的工程实践和学习现代制造工艺必修的技术基础课程。其目标是学习工艺知识,增强工程实践能力,提高综合素质,培养创新精神和创新能力,其作用是其他课程无法替代的。

现代科技和工业的飞速发展,制造技术日新月异,新材料、新技术、新工艺不断涌现,促使“机械制造工程训练”课程的教学内容不断更新和丰富。同时市场经济条件下对人才需求也发生了很大的变化,这就要求学生在学到较宽的现代科学技术基础理论和必需的专业知识的同时,必须进行综合工程实践能力的训练。由于工程训练教学内容的不断扩大与教学学时的不足,有必要对工程训练的教学内容、教学方法进行改革,传统的工程训练已经开始向现代工程训练转变,传统的训练内容不断减少,先进制造技术的训练内容不断增多。为了适应课程改革的需要,在传统教材的基础上,认真总结各兄弟院校关于本课程教学内容与课程体系教学改革的经验,并结合自身的教学实践,特编写本书。

在编写本书的过程中,遵循“实用为主、够用为度”的指导原则,强调知识面的宽度,着重介绍实践操作指导与工艺设备的作用。为适应科学技术的快速发展,减少了传统工程训练的内容,加强了数控加工、特种加工和其他先进制造技术的相关内容。每章开始附有学习及实践引导,书后附有工程训练安全要点。

全书共分16章。主要内容包括:钢的热处理、铸造、锻压、焊接、钳工、车工、铣工、刨工、磨工、数控车、数控铣、电火花加工、快速成型、激光加工等。语言力求通俗易懂,内容力求精练并结合实际。

参加本书第一版编写的人员有于兆勤、何汉武、李伟华、余冠洲、肖曙红、张凤林、张洪、郑传治、杨灿明、郭钟宁、袁慧、唐勇军、谢小柱、黄惠平、梁焱、石俊杰。全书由于兆勤、郭钟宁、何汉武担任主编。

于兆勤、谢小柱负责第二版的改版工作。由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015年5月

# 目录

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| <b>第 1 章 金属材料及其热处理</b>         | (1)  |
| 1.1 金属材料的分类                    | (1)  |
| 1.2 钢的热处理                      | (5)  |
| <b>第 2 章 铸造成形</b>              | (10) |
| 2.1 铸造基础知识                     | (10) |
| 2.2 砂型铸造工艺                     | (12) |
| 2.3 铸件生产                       | (18) |
| 2.4 特种铸造                       | (21) |
| <b>第 3 章 锻压成形</b>              | (24) |
| 3.1 自由锻                        | (25) |
| 3.2 板料冲压成形                     | (30) |
| <b>第 4 章 焊接成形</b>              | (35) |
| 4.1 焊条电弧焊                      | (36) |
| 4.2 气焊与气割                      | (42) |
| 4.3 其他焊接方法                     | (44) |
| 4.4 焊接缺陷                       | (46) |
| <b>第 5 章 切削加工基础和零件加工质量检验技术</b> | (48) |
| 5.1 切削加工基础                     | (48) |
| 5.2 常用量具及其使用方法                 | (53) |
| <b>第 6 章 车削加工</b>              | (60) |
| 6.1 车床                         | (60) |
| 6.2 车刀                         | (64) |
| 6.3 车外圆、端面和台阶                  | (65) |
| 6.4 车槽、切断、车成形面和滚花              | (67) |
| 6.5 车锥面                        | (70) |
| 6.6 孔加工                        | (70) |
| 6.7 车螺纹                        | (72) |

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| 6.8 典型零件车削工艺简介 .....        | (75)         |
| <b>第7章 铣削加工 .....</b>       | <b>(80)</b>  |
| 7.1 概述 .....                | (80)         |
| 7.2 铣床 .....                | (81)         |
| 7.3 铣刀及其安装 .....            | (82)         |
| 7.4 分度头 .....               | (84)         |
| 7.5 典型表面铣削 .....            | (86)         |
| <b>第8章 刨削加工 .....</b>       | <b>(93)</b>  |
| 8.1 概述 .....                | (93)         |
| 8.2 牛头刨床 .....              | (94)         |
| 8.3 刨刀的安装与工件的装夹 .....       | (95)         |
| 8.4 典型表面的刨削 .....           | (97)         |
| <b>第9章 磨削加工 .....</b>       | <b>(100)</b> |
| 9.1 砂轮 .....                | (100)        |
| 9.2 外圆磨床及其磨削工作 .....        | (104)        |
| 9.3 平面磨床及其磨削工作 .....        | (107)        |
| <b>第10章 钳工和装配 .....</b>     | <b>(111)</b> |
| 10.1 划线 .....               | (112)        |
| 10.2 锯削 .....               | (117)        |
| 10.3 锉削 .....               | (118)        |
| 10.4 孔及螺纹加工 .....           | (120)        |
| 10.5 典型零件的加工 .....          | (127)        |
| 10.6 装配 .....               | (128)        |
| <b>第11章 数控加工基础知识 .....</b>  | <b>(132)</b> |
| 11.1 数控加工的基本原理 .....        | (132)        |
| 11.2 数控机床编程基础知识 .....       | (136)        |
| <b>第12章 数控车削加工 .....</b>    | <b>(146)</b> |
| 12.1 数控车床 .....             | (146)        |
| 12.2 常用加工指令 .....           | (147)        |
| 12.3 数控车床操作 .....           | (158)        |
| 12.4 加工操作 .....             | (166)        |
| <b>第13章 数控铣床操作与加工 .....</b> | <b>(170)</b> |
| 13.1 数控铣床概述 .....           | (170)        |
| 13.2 数控系统 .....             | (171)        |



|                                             |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| 13.3 数控铣床加工操作 .....                         | (175)        |
| <b>第 14 章 电火花加工 .....</b>                   | <b>(186)</b> |
| 14.1 电火花成形加工 .....                          | (186)        |
| 14.2 电火花线切割加工 .....                         | (191)        |
| 14.3 电火花数控线切割加工操作 .....                     | (193)        |
| <b>第 15 章 快速成形技术 .....</b>                  | <b>(203)</b> |
| 15.1 概述 .....                               | (203)        |
| 15.2 快速成形类型 .....                           | (205)        |
| 15.3 快速成形技术的应用 .....                        | (208)        |
| 15.4 便携式三维打印机(3DP)操作 .....                  | (211)        |
| <b>第 16 章 激光加工 .....</b>                    | <b>(217)</b> |
| 16.1 概述 .....                               | (217)        |
| 16.2 激光加工工艺 .....                           | (218)        |
| 16.3 激光加工设备 .....                           | (221)        |
| 16.4 激光加工的应用 .....                          | (225)        |
| 16.5 加工训练实例一:YAG 激光打标加工 .....               | (229)        |
| 16.6 加工训练实例二:CO <sub>2</sub> 激光雕刻切割加工 ..... | (237)        |
| <b>附录 工程训练安全要点 .....</b>                    | <b>(247)</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                           | <b>(249)</b> |

# 第1章 金属材料及其热处理

## 学习及实践引导

- 1 了解金属材料的分类及特点。
- 2 学会使用金像显微镜分析材料组织。
- 3 学习和了解常用热处理的工艺特点及应用。
- 4 了解布氏、洛氏、维氏硬度的测量原理,掌握测量方法。



## 1.1 金属材料的分类

在各种工程和机械零件上应用的材料称为工程材料。工程材料按照其化学组成可以分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料、复合材料四大类。其中金属材料是目前应用最为广泛的材料,金属材料中钢铁材料所占的比例最大,为80%以上。以汽车为例,在汽车上两万多个零件中,金属材料所占的比例达86%,而钢铁就占了80%以上。因此,金属材料在现代化生产中占有重要的地位,有必要了解金属材料尤其是钢铁材料的分类以及相关的知识。



### 1.1.1 金属材料的分类

金属材料可以分为黑色金属和有色金属:黑色金属主要是指铁、铬、锰等金属,经常泛指钢铁及其合金;有色金属是指除了黑色金属之外的其他的金属及其合金。

#### 1. 碳钢

碳钢的碳质量分数为0.02%~2.11%,按照碳质量分数可以分为低碳钢

( $w_c < 0.25\%$ )、中碳钢( $w_c = 0.3\% \sim 0.6\%$ )、高碳钢( $w_c > 0.6\%$ );按照硫、磷的质量分数可以分为普通碳素钢( $w_s \leq 0.035\%$ ,  $w_p \leq 0.035\%$ )、优质碳素钢( $w_s \leq 0.030\%$ ,  $w_p \leq 0.030\%$ )、高级优质碳素钢( $w_s \leq 0.020\%$ ,  $w_p \leq 0.020\%$ )。

碳钢按照用途分类还可以分为碳素结构钢和碳素工具钢。碳素结构钢用于制造工程构件,如桥梁、船舶、建筑构件等,以及一些要求不高的机械零件,如齿轮、轴、连杆、螺钉、螺母等。碳素工具钢用于制造各种刀具、量具、模具等,一般为高碳钢,在质量上都是优质钢或者高级优质钢。

(1) 普通碳素结构钢 普通碳素结构钢的牌号用“Q+数字”表示,其中Q代表屈服强度,后面的数字代表屈服强度的数值,如Q235表示屈服强度为235 MPa。碳素结构钢一般不经热处理直接在供应状态下使用,常用的有Q195、Q215、Q235等,通常用来制造螺栓、螺母、法兰、键、轴等零件。

(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢的牌号采用两位数表示钢中碳的平均质量分数的万分数,如45钢表示钢中碳的平均质量分数为0.45%,08钢表示钢中碳的平均质量分数为0.08%。优质碳素结构钢主要用于制造机械零件,一般都要进行热处理以提高其力学性能。

(3) 碳素工具钢 碳素工具钢的牌号用“T+数字”表示,T代表碳素工具钢,后面的数字表示钢中碳的平均质量分数的千分数。如T8、T10、T12分别代表碳的平均质量分数为0.8%、1.0%、1.2%的碳素工具钢,如果为高级优质碳素工具钢则数字后面加A,如T12A。碳素工具钢经过热处理(淬火+低温回火)可以获得很高的硬度,因此用于制造尺寸较小的量具、刀具、模具等,比如T12可以用来制造硬度要求很高(60~62 HRC)的钻头、丝锥、锉刀、刮刀等。

## 2. 铸铁

铸铁按照显微组织中碳(石墨)的形态分为白口铸铁(碳与铁形成高硬度但很脆的 $Fe_3C$ )、灰铸铁(碳以片状石墨形态出现)、球墨铸铁(碳以球状石墨出现)、蠕墨铸铁(碳以蠕虫状石墨出现)、可锻铸铁(碳以团絮状石墨出现)。其中,白口铸铁硬度高,但很脆,用于制造不受冲击的耐磨零件。

(1) 灰铸铁 灰铸铁牌号的表示方法为“HT+数字”,数字表示最低抗拉强度。常用的灰口铸铁牌号为HT100、HT150、HT200等。灰铸铁抗拉强度和塑性低,但铸造性能和减振性能好,主要铸造汽车发动机汽缸、车床床身等承受压力及振动的部件。

(2) 球墨铸铁 球墨铸铁的牌号由“QT+数字-数字”组成。两组数字分别表示最低抗拉强度数值和最小断后伸长率数值。主要牌号有QT500-7、

QT800-2 等。球墨铸铁具有很高的强度和韧度,因此可以用于制造一些轴类零件(如汽车曲轴、连杆、机床主轴等)来代替部分钢(如 40 钢、40Cr 等)。

(3) 可锻铸铁 可锻铸铁的牌号由“KTH+数字-数字”或“KTZ+数字-数字”组成。H 表示黑心可锻铸铁,Z 表示珠光体可锻铸铁,其后面的两组数字分别表示材料的最低抗拉强度数值和最小断后伸长率数值。其主要牌号有 KTH350-10、KTZ550-04 等。可锻铸铁不可以锻造,主要用于制造一些复杂的薄壁铸造零件,比如汽车前、后轮壳,减速器壳,万向节壳等。

(4) 蠕墨铸铁 蠕墨铸铁主要用于制造一些热循环条件下的铸件,比如柴油机汽缸、汽缸盖、排气管等。

### 3. 合金钢

合金钢按照用途可以分为合金结构钢、合金工具钢、特殊性能钢三大类。

(1) 合金结构钢 合金结构钢的牌号用“数字+合金元素符号+数字”表示,前面的数字表示钢中碳的平均质量分数的万分数,后面的数字表示合金元素的平均质量分数的百分数,合金元素的平均质量分数小于 1.5% 时,牌号中只标合金元素不标平均质量分数。如 60Si2Mn 中碳的平均质量分数为 0.6%,Si 的平均质量分数为 2%,Mn 的平均质量分数小于 1.5%。合金结构钢主要用于制造重要的工程构件和机械零件。

(2) 合金工具钢 合金工具钢的牌号与合金结构钢类似,也是用“数字+合金元素符号+数字”表示,只是前面的数字表示碳的平均质量分数的千分数,如果钢的碳的平均质量分数大于 1% 时,不标前面的数字,但其中的高速钢碳的平均质量分数小于 1% 也不标碳含量。如 9SiCr,C 的平均质量分数为 0.9%,Si 和 Cr 的平均质量分数小于 1.5%。

(3) 特殊性能钢 特殊性能钢的表示方法与合金工具钢完全相同,但钢中碳的平均质量分数分别小于 0.03% 以及 0.08% 时,牌号前加 00 及 0,如奥氏体不锈钢 06Cr18Ni11Ti,C 的平均质量分数小于 0.08%,Cr 的平均质量分数为 17%~19%,Ni 的平均质量分数为 9%~12%,Ti 的平均质量分数为 0.4%~0.7%。

## 1.1.2 钢铁材料的显微组织观察

### 1. 铁碳合金的平衡组织

铁碳合金的显微组织是研究和分析钢铁材料性能的基础,所谓平衡组织是指合金在极为缓慢的冷却条件下(如退火状态,即接近平衡状态)所得到的组织。不同碳质量分数的铁碳合金在平衡状态下的室温显微组织特征及其名称如表 1-1 所示。

表 1-1 不同碳质量分数的铁碳合金在室温下的显微组织

| 类 别   |         | $w_C/(%)$      | 显 微 组 织                                                | 浸 蚀 剂    |
|-------|---------|----------------|--------------------------------------------------------|----------|
| 工业纯铁  |         | $<0.02$        | 铁素体(F)                                                 | 4%硝酸酒精溶液 |
| 碳 钢   | 亚共析钢    | $0.02\sim0.77$ | 铁素体(F)+珠光体(P)                                          | 4%硝酸酒精溶液 |
|       | 共析钢     | 0.77           | 珠光体(P)                                                 | 4%硝酸酒精溶液 |
|       | 过共析钢    | $0.77\sim2.11$ | 珠光体(P)+二次渗碳体( $Fe_3C_{II}$ )                           | 苦味酸钠溶液   |
| 白口 铸铁 | 亚共晶白口铸铁 | $2.11\sim4.3$  | 珠 光 体 (P) + 二 次 渗 碳 体 ( $Fe_3C_{II}$ ) + 莱氏体( $L_d'$ ) | 4%硝酸酒精溶液 |
|       | 共晶白口铸铁  | 4.3            | 莱氏体( $L_d'$ )                                          | 4%硝酸酒精溶液 |
|       | 过共晶白口铸铁 | $4.3\sim6.69$  | 莱氏体 ( $L_d'$ ) + 一 次 渗 碳 体 ( $Fe_3C_I$ )               | 4%硝酸酒精溶液 |

## 2. 显微组织观察

使用光学金相显微镜可以观察到钢铁的组织,这是研究金属材料内部组织和缺陷的主要方法之一。

金相显微镜属于精密仪器,使用时要细心、谨慎。使用前应先了解显微镜的基本原理、构造及各主要部件的位置和作用,然后再按照使用规程和应注意事项进行操作。图 1-1 所示为一种常用的金相显微镜的光学系统和构造。

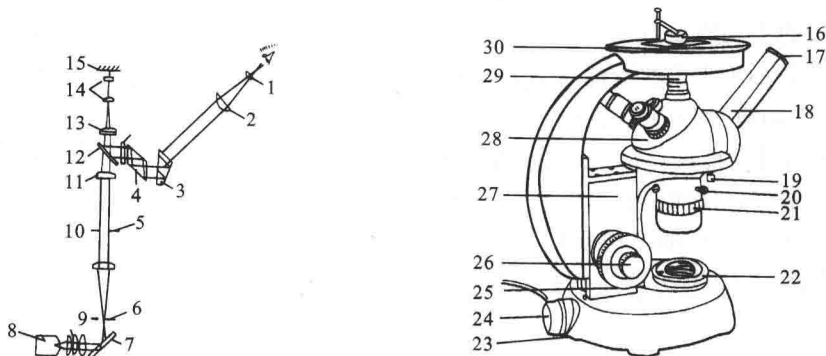


图 1-1 XJB-1 型金相显微镜的光学系统和构造

- 1—接目镜;2—物镜;3,4—棱镜;5,21—视场光阑;6,22—孔径光阑;7—反光镜;  
 8—灯泡;9—聚光镜组;10,11—聚光镜;12—半反射镜;13—辅助透镜;14—物镜组;  
 15—试样;16—样品;17—目镜;18—目镜筒;19—固定螺钉;20—调节螺钉;23—偏心圈;  
 24—光源;25—粗动调焦手轮;26—微动调焦手轮;27—传动箱;28—转换器;29—物镜;30—载物台

金相显微镜的操作方法如下:先将显微镜接通电源,根据放大倍数选用所需物镜和目镜,分别安装在物镜座及目镜筒上,将试样放在载物台中心,并将观察面朝向物镜,用双手旋转粗调旋钮,将载物台降下,使样品靠近物镜,但不接触。然后边观察目镜边用双手旋转粗调旋钮,使载物台慢慢上升,待看到组织时,再旋转微调旋钮,直至图像清晰为止。



## 1.2 钢的热处理

把钢在固态下加热到一定温度,进行必要的保温,并以适当的速度将其冷却到室温,以改变钢的内部组织,从而得到所需性能的工艺方法称为热处理。热处理的目的是改变金属材料的组织和性能,绝大多数机械零件都要经过热处理,提高强度、硬度或者其他性能才能投入使用。热处理既可以作为预先热处理以消除上一道工序所遗留的某些缺陷,并为下一道工序准备好条件;也可作为最终热处理进一步改善材料的性能,从而充分发挥材料的潜力,达到零件的使用要求。

常用的热处理方法有两类:一类是常规热处理,主要包括退火、正火、淬火、回火等;另一类为表面热处理,主要包括表面淬火和表面化学热处理。表面淬火包括火焰加热表面淬火、感应加热表面淬火、激光加热表面淬火;表面化学热处理包括渗碳、渗氮、碳氮共渗、渗金属等。某些零件如齿轮、销轴等,使用时希望它的心部保持一定的韧性,又要求表面层具有耐磨性、耐蚀性、抗疲劳性,因此可以使用表面淬火或者表面化学热处理来实现表面的高硬度和高耐磨性,而且可以保证心部的强度和韧性。



### 1.2.1 钢的热处理工艺

常规热处理的工艺主要包括加热、保温、冷却三个过程,按照冷却速度的不同可以分为退火、正火、淬火以及与淬火配合的回火,如图 1-2 所示。

#### 1. 退火

退火是指把工件加热到适当的温度(对碳钢一般加热至  $780\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),保温一定时间后随炉冷却的热处理方法。工具钢和某些重要结构零件的合金钢有时硬度较高,铸、锻、焊后的毛坯有时硬度不均匀,存在着内应力。为了便于

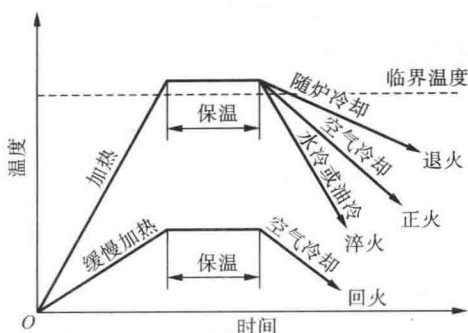


图1-2 常规的热处理工艺(退火、正火、淬火、回火)

切削加工,并保持加工后的精度,常对工件施以退火处理。退火后,工件的硬度较低,消除了内应力,同时还可以使材料的内部组织均匀细化,为进行下一步热处理(如淬火等)做好准备。

## 2. 正火

将工件放到炉中加热到适当温度,保温后出炉空冷的热处理方法称为正火。正火实质上是退火的另一种形式,其作用与退火相似。与退火不同之处是加热(对碳钢而言,一般加热至 $800\sim 930\text{ }^{\circ}\text{C}$ )和保温后,放在空气中冷却而不是随炉冷却。由于冷却速度比退火快,因此,正火工件获得的组织比较细密,比退火工件的强度和硬度稍高,而塑性和韧性稍低。但这一点对于一般低碳钢而言差别并不明显,对中碳钢零件而言,有时由于正火后的硬度适中,更适合于切削加工。又由于正火冷却时不占炉子,可使生产效率提高,成本降低。所以一般低碳和中碳结构钢等,多用正火代替退火。

## 3. 淬火

淬火是指将工件加热到适当的温度(对碳钢一般加热到 $760\sim 820\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),保温后在水中或油中快速冷却的热处理方法。工件经淬火后可获得高硬度的组织,因此淬火可提高钢的强度和硬度。但工件淬火后脆性增加、内部产生很大的内应力,使工件变形甚至开裂。所以,工件淬火后一般都要及时进行回火处理,并在回火后获得适度的强度和韧性。

## 4. 回火

将淬火后的工件重新加热到某一温度区间并保温后,在油中或空气中冷却的操作称为回火。回火的温度大大低于退火、正火和淬火时的加热温度,因此回火并不使工件材料的组织发生转变。回火的目的是减小或消除工件在淬火时所形成的内应力,适当降低淬火钢的硬度,减小脆性,使工件获得较高的强度

和韧度,即较好的综合力学性能。

根据回火温度不同,回火操作可分为低温回火、中温回火和高温回火。

(1) 低温回火 回火温度为  $150\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。低温回火可以部分消除淬火造成的内应力,适当地降低钢的脆性,提高韧度,同时工件仍保持高硬度。低温回火一般多用于工具、量具。

(2) 中温回火 回火温度为  $300\sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。淬火工件经中温回火后,可消除大部分内应力,硬度有较大的下降,但是具有一定的韧度和弹性。一般用于处理热锻模、弹簧等。

(3) 高温回火 回火温度为  $500\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。高温回火可以消除绝大部分因淬火产生的内应力,硬度也有显著的下降,塑性有较大的提高,使工件具有高强度和高韧度等综合力学性能。淬火后再加高温回火,通常称为调质处理。一般要求具有较高综合力学性能的重要结构零件,如汽车传动轴、坦克的扭力轴等,都要经过调质处理。用于调质处理的钢多为中碳优质结构钢和中碳低合金结构钢。也把用于调质处理的钢称为调质钢。

## 1.2.2 金属材料硬度的测定方法

硬度是指材料表面抵抗比它更硬的物体压入的能力。硬度的测试方法很多,生产中常用的硬度测试方法有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度三种试验方法。

### 1. 布氏硬度

布氏硬度试验法按照国家标准《金属材料 布氏硬度试验 第1部分:试验方法》(GB/T 231.1—2009)的规定,是用一直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球作为压头,在载荷  $F$  的作用下压入被测试金属表面,保持一定时间后卸载,测量金属表面形成的压痕直径  $d$ ,以压痕的单位面积所承受的平均压力作为被测金属的布氏硬度值(见图 1-3)。

布氏硬度用 HBW 表示,适用于测量硬度值在 650 以下的材料。标注硬度值时,代表其硬度值的数字置于 HBW 前面。旧国标规定:布氏硬度试验压头有两种,即硬质合金球和淬火钢球,压头为淬火钢球时,布氏硬度用符号 HBS 表示,压头为硬质合金球时,布氏硬度用 HBW 表示。因新旧标准的交替存在一定的过渡期,本书中涉及 HBS 硬度值时仍沿用原表示方法和数值。

### 2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验法是用一锥顶角为  $120^{\circ}$  的金刚石圆锥体或直径为  $1.558\text{ mm}$  ( $1/16\text{ in}$ ) 的淬火钢球为压头,以一不定的载荷压入被测试金属材料表面,根据压痕深度可直接在洛氏硬度计的指示盘上读出硬度值,其测量原理如图 1-4 所

示。常用的洛氏硬度指标有 HRA、HRB 和 HRC 三种,具体规范见表 1-2。洛氏硬度测试操作迅速、简便,且压痕小不损伤工件表面,适于成品检验。

图 1-5 所示为硬度计指示器。

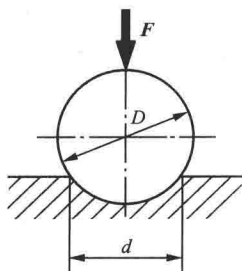


图 1-3 布氏硬度测量原理

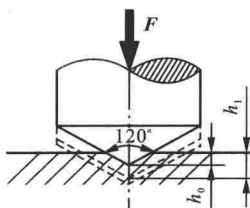


图 1-4 洛氏硬度测量原理

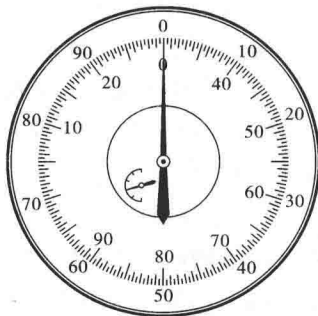


图 1-5 硬度计指示器

表 1-2 洛氏硬度试验规范

| 标尺符号 | 所用压头         | 总载荷/N  | 测量范围 HR | 应用举例                    |
|------|--------------|--------|---------|-------------------------|
| HRA  | 120°金刚石圆锥    | 588.4  | 60~88   | 碳化物、硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢等 |
| HRB  | φ1.588 mm 钢球 | 980.7  | 25~100  | 软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁         |
| HRC  | 120°金刚石圆锥    | 1471.1 | 20~70   | 淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢         |

注: HRA、HRC 所用刻度为 100, HRB 为 130。

以下以 HR150A 型洛氏硬度计为例介绍洛氏硬度操作方法。

据试样材料及预计硬度范围,选择压头类型和初、主载荷;根据试样形状和大小,选择适宜工作台,将试样平稳地放在工作台上;顺时针方向转动工作台升降手轮,将试样与压头缓慢接触使指示器指针或指示线至规定标志即加上初载荷;调整指示器后,将操纵手柄向前扳动,加主载荷,应在 4~8 s 内完成。待大指针停止转动后,再将卸载手柄扳回,卸除主载荷;卸除载荷(应在 2 s 内完成)后,按指示器大指针所指刻度线读出硬度值。以金刚石圆锥体作压头(HRA 和 HRC)的按刻度盘的下圈标记为“C”的黑色格子读数,若是以淬火钢球作为压头的则按内圈标记为“B”的红色格子读数;逆时针方向旋转手轮,降下工作台,取下试样。

### 1.2.3 热处理常用设备及其使用方法

常规热处理加热和保温过程中使用的设备为热处理炉,热处理炉按照加热

的方法可分为电阻炉、燃气炉、燃油炉等;按照加热时炉内气氛可以分为空气气氛热处理炉、可控气氛热处理炉,如真空热处理炉、气体渗碳炉等就属于可控气氛热处理炉;按照加热温度可以分为高温、中温、低温热处理炉;按照生产方式可以分为箱式热处理炉、网带式连续热处理炉、台车式炉等。中温箱式电阻炉是小型零件热处理生产和实验最常用的设备,其结构如图 1-6 所示,其最高加热温度为  $950^{\circ}\text{C}$ 。

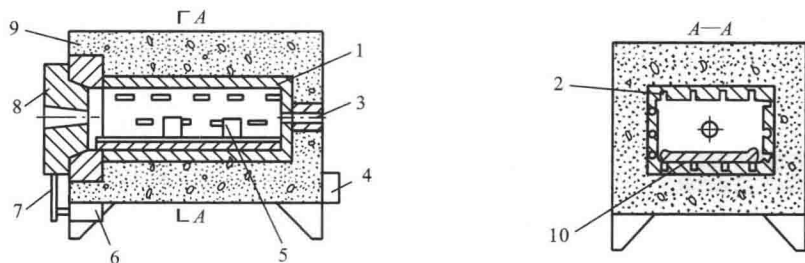


图 1-6 中温箱式电阻炉结构

1—加热室;2—电阻丝孔;3—测温孔;4—接线盒;5—工件;  
6—控制开关;7—挡铁;8—炉门;9—隔热层;10—炉底板

中温箱式电阻炉热处理加热温度能够实现自动测量及控制,工作时利用热电偶将炉内的温度信号转换成电势信号,电势信号通过测量机构、温度指示机构转换成仪表指针的指示值。同时,温度调节器把测得的实际炉温与给定机构给定的温度进行比较得到偏差值,调节机构根据偏差值发出相应的信号,驱动执行机构改变输出给电炉的电流,以消除偏差值,从而将炉温控制在某一给定值附近。

## 复习思考题

- 1-1 简述碳钢的分类和牌号。
- 1-2 可锻铸铁是否可以锻造加工?
- 1-3 钢的普通热处理方法有哪几种?
- 1-4 轴类、弹簧类及刀具类零件分别采用什么热处理工艺?
- 1-5 金属材料的硬度的含义是什么?
- 1-6 布氏、洛氏及维氏硬度的测量原理有什么不同?

# 第2章 铸造成形

## 学习及实践引导

- ..... 1 了解铸造的基本工艺、特点及应用。
- ..... 2 了解型砂材料的特性及组成。
- ..... 3 熟悉并实践简单砂型铸造的操作工艺,掌握基本的造型方法。
- ..... 4 了解其他各种类型铸造工艺的特点及应用。

铸造是指将液态金属注入具有和零件形状相适应的铸型型腔中,待其冷却凝固后获得毛坯或零件的成形方法。用铸造方法得到一定形状与性能的金属件称为铸件。

铸造生产的优点是适应性强(可制造各种合金类别、形状和尺寸的铸件),成本低廉。其缺点是生产工序多,铸件质量难以控制,铸件的力学性能较差,工人劳动强度大。铸造主要用于受冲击力小、形状复杂的毛坯制造,如机床床身、发动机汽缸体、各种支架、箱体等零件的生产。



## 2.1 铸造基础知识

铸造常用的金属有:铸铁、铸钢、铸造有色合金。其中,铸铁(特别是灰铸铁)用得最普遍。

铸造生产方法有砂型铸造和特种铸造两大类。砂型铸造是用型砂紧实成