

普通高等院校工程训练系列规划教材

# 机械工程创新 实训教程

钟美鹏 王国华 胡旭兵 主编



清华大学出版社

普通高等院校工程训练系列规划教材

# 机械工程创新 实训教程

钟美鹏 王国华 胡旭兵 主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

全书共分5篇14章,每章均选取生产中应用的实例,结合生产实践,以教学要求为基础,以实际应用为主线,将抽象零散的内容连接起来,形象地阐述每一章节的内容及作用。根据机械工程创新实训教学的需要,本书附有机械工程创新实训报告。

本书的编写体系和内容以培养学生的综合能力为目标,可作为本科院校,特别是应用型本科院校机械工程创新实训的实习教材,也可作为高职院校的实习教学参考读物。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

机械工程创新实训教程/钟美鹏,王国华,胡旭兵主编. —北京:清华大学出版社,2018  
(普通高等院校工程训练系列规划教材)  
ISBN 978-7-302-50188-6

I. ①机… II. ①钟… ②王… ③胡… III. ①机械工程—高等学校—教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 105731 号

责任编辑:赵 斌

封面设计:傅瑞学

责任校对:王淑云

责任印制:丛怀宇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印装者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:16.5

字 数:402千字

版 次:2018年5月第1版

印 次:2018年5月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:42.00元

产品编号:079910-01



改革开放以来,我国贯彻科教兴国、可持续发展的伟大战略,坚持科学发展观,国家的科技实力、经济实力和国际影响力大为增强。如今,中国已经发展成为世界制造大国,国际市场上已经离不开物美价廉的中国产品。然而,我国要从制造大国向制造强国和创新强国过渡,要使我国的产品在国际市场上赢得更高的声誉,必须尽快提高产品质量的竞争力和知识产权的竞争力。清华大学出版社和本编审委员会联合推出的“普通高等院校工程训练系列规划教材”,就是希望通过工程训练这一培养本科生的重要环节,依靠作者们根据当前的科技水平和社会发展需求所精心策划与编写的系列教材,培养出更多视野宽、基础厚、素质高、能力强和富于创造性的人才。

我们知道,大学、大专和高职高专都设有各种各样的实验室,其目的是通过这些教学实验,使学生不仅能比较深入地掌握书本上的理论知识,而且能更好地掌握实验仪器的操作方法,领悟实验中所蕴涵的科学方法。但由于教学实验与工程训练存在较大的差别,因此,如果我们的大学生不经过工程训练这样一个重要的实践教学环节,当毕业后步入社会时,就有可能感到难以适应。

对于工程训练,我们认为这是一种与社会、企业及工程技术的接口式训练。在工程训练的整个过程中,学生所使用的各种仪器设备都是来自社会、企业的产品,有的还是现代企业正在使用的主流产品。这样,学生一旦步入社会,步入工作岗位,就会发现他们在学校所进行的工程训练与社会、企业的需求具有很好的一致性。另外,凡是接受过工程训练的学生,不仅为学习其他相关的技术基础课程和专业课程打下了基础,而且同时具有一定的工程技术素养。这样就为他们进入社会与企业,更好地融入新的工作群体,展示与发挥自己的才能创造了有利的条件。

近10年来,国家和高校对工程实践教育给予了高度重视,我国的理工科院校普遍建立了工程训练中心,拥有前所未有的、极为丰富的教学资源,同时面向大量的本科学生群体。这些宝贵的实践教学资源,像数控加工、特种加工、先进的材料成型、表面贴装、数字化制造等硬件和软件基础设施,与企业发展及工程技术发展密切相关。而这些涉及多学科领域的教学基础设施,又可以通过教师和工程技术人员的创造性劳动,转化和衍生出我国社会与企业所迫切需求的课程与教材,使国家投入的宝贵资源发挥其应有的教

育教学功能。

为此,本系列教材的编写,将贯彻下列基本原则:

(1) 努力贯彻教育部和财政部有关“质量工程”的文件精神,注重课程改革与教材改革配套进行。

(2) 符合教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组所制定的课程教学基本要求。

(3) 在整体将注意力投向先进制造技术的同时,要力求把握常规制造技术与先进制造技术的关联,掌握制造基础知识。

(4) 先进的工艺技术,是发展我国制造业的关键技术之一。因此,在教材的内涵方面,要着力体现工艺设备、工艺方法、工艺创新、工艺管理和工艺教育的有机结合。

(5) 注重培养学生独立获取知识的能力,增强学生的工程实践能力和创新思维能力。

(6) 融会实践教学改革的最新成果,体现知识的基础性和实用性,以及工程训练和创新实践的可操作性。

(7) 慎重选择主编和主审,慎重选择教材内容,严格遵循国家技术标准。

(8) 注重各章节间的内部逻辑联系,力求做到文字简练,图文并茂,便于自学。

本系列教材的编写和出版,是我国高等教育课程和教材改革中的一种尝试,一定会存在许多不足之处。希望全国同行和广大读者不断提出宝贵意见,以便我们编写出的教材更好地为教育教学改革服务,更好地为培养高质量的人才服务。

普通高等院校工程训练系列规划教材编审委员会

主任委员:傅水根

2008年2月于清华园



机械工程创新实训是工科类学生获得机械制造基本知识的必修课。通过学习和操作技能的训练,学生可获得机械加工的基本知识,并具备相应的动手能力,为后续课程的学习打下良好的基础。学生在机械工程创新实训的过程中,通过独立的实践操作,即可将有关机械工程创新实训的基本理论、基本知识、基本方法与实践有机地结合起来。因此,机械工程创新实训可以有针对性地提高学生的创新意识,为培养学生的综合能力打下理论与实践基础。根据机械工程创新实训的教学要求,考虑到学校各专业的特点及教学大纲的变化,本教材在编写过程中注重把握机械工程创新实训与工程材料和机械制造基础这两门课程的分工配合,全书共分 5 篇 14 章。每个章节均选取了生产中应用的实例,结合生产实践,以教学要求为基础,以实际应用为主线,把抽象零散的教材内容连接起来,形象地阐述每一章节的内容及作用。本教材在材料牌号、技术条件、技术术语等方面均采用最新国家标准和法定计量单位,编写中注重程序化,即教师教课与学生学习按规范化的程序进行,教师讲一点,学生练一点,如此反复进行。这种程序化的教与学的结合,既有助于教师教学,又有助于学生学习。

本书由嘉兴学院教师钟美鹏、王国华和胡旭兵三人主编。限于编者的水平,书中欠妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

嘉兴学院副教授:钟美鹏

2018 年 3 月于嘉兴学院



## 第1篇 知识储备

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1 机械工程创新实训基本理论知识 .....     | 3  |
| 1.1 金属材料的性能 .....          | 3  |
| 1.1.1 工艺性能与使用性能 .....      | 3  |
| 1.1.2 金属材料的机械性能 .....      | 3  |
| 1.1.3 常用金属材料 .....         | 4  |
| 1.2 钢的热处理 .....            | 7  |
| 1.2.1 钢的热处理工艺 .....        | 7  |
| 1.2.2 钢的退火和正火 .....        | 7  |
| 1.2.3 钢的淬火和回火 .....        | 8  |
| 1.2.4 表面热处理 .....          | 9  |
| 1.2.5 热处理常用设备 .....        | 11 |
| 1.2.6 热处理常见缺陷 .....        | 12 |
| 1.3 机械制造工艺基本理论 .....       | 12 |
| 1.3.1 机械加工工艺过程基本概念 .....   | 12 |
| 1.3.2 定位与定位基准 .....        | 13 |
| 1.4 金属塑性变形 .....           | 16 |
| 1.5 机械工程创新实训简介 .....       | 17 |
| 1.5.1 机械工程创新实训的目的和要求 ..... | 17 |
| 1.5.2 机械工程创新实训安全技术 .....   | 18 |

## 第2篇 冷加工

|                        |    |
|------------------------|----|
| 2 钳工 .....             | 23 |
| 2.1 钳工概述 .....         | 23 |
| 2.1.1 钳工的工作范围 .....    | 23 |
| 2.1.2 钳工的加工特点 .....    | 23 |
| 2.1.3 钳工常用的设备和工具 ..... | 23 |
| 2.2 常用量具 .....         | 25 |
| 2.2.1 常用量具及其使用方法 ..... | 25 |
| 2.2.2 量具维护与保养 .....    | 30 |
| 2.3 划线 .....           | 31 |
| 2.3.1 划线的分类和作用 .....   | 31 |

|       |            |    |
|-------|------------|----|
| 2.3.2 | 划线工具及其用途   | 32 |
| 2.4   | 划线方法与步骤    | 35 |
| 2.4.1 | 平面划线方法与步骤  | 35 |
| 2.4.2 | 立体划线方法与步骤  | 35 |
| 2.5   | 锯削         | 36 |
| 2.5.1 | 手锯         | 36 |
| 2.5.2 | 锯切操作       | 37 |
| 2.6   | 锉削         | 38 |
| 2.6.1 | 锉刀         | 38 |
| 2.6.2 | 锉削操作要领     | 39 |
| 2.7   | 钻孔、扩孔和铰孔   | 41 |
| 2.7.1 | 钻孔         | 41 |
| 2.7.2 | 扩孔与铰孔      | 43 |
| 2.8   | 攻螺纹和套螺纹    | 44 |
| 2.8.1 | 攻螺纹        | 44 |
| 2.8.2 | 套螺纹        | 46 |
| 2.9   | 装配         | 47 |
| 2.9.1 | 装配工艺过程     | 47 |
| 2.9.2 | 装配方法       | 48 |
| 2.9.3 | 典型连接件装配方法  | 48 |
| 2.9.4 | 部件装配和总装配   | 50 |
| 2.9.5 | 拆卸工作       | 51 |
| 2.9.6 | 装配新工艺      | 52 |
| 3     | 车削加工       | 53 |
| 3.1   | 车削概述       | 53 |
| 3.2   | 车床         | 55 |
| 3.2.1 | 机床的型号      | 55 |
| 3.2.2 | 卧式车床的组成    | 56 |
| 3.2.3 | 其他车床       | 58 |
| 3.2.4 | 车床传动       | 59 |
| 3.3   | 车刀         | 60 |
| 3.3.1 | 车刀的结构      | 60 |
| 3.3.2 | 车刀的刃磨      | 61 |
| 3.3.3 | 车刀的安装      | 62 |
| 3.4   | 零件的安装及车床附件 | 63 |
| 3.4.1 | 三爪自定心卡盘    | 63 |
| 3.4.2 | 四爪单动卡盘     | 64 |
| 3.4.3 | 顶尖、跟刀架及中心架 | 65 |
| 3.4.4 | 心轴         | 66 |
| 3.4.5 | 花盘及弯板      | 67 |

|       |                  |     |
|-------|------------------|-----|
| 3.5   | 车床操作要点 .....     | 68  |
| 3.5.1 | 刻度盘及其手柄的使用 ..... | 68  |
| 3.5.2 | 车削步骤 .....       | 69  |
| 3.6   | 车削工艺 .....       | 70  |
| 3.6.1 | 车端面 .....        | 70  |
| 3.6.2 | 车圆柱面 .....       | 71  |
| 3.6.3 | 车圆锥面及成形面 .....   | 73  |
| 3.6.4 | 车台阶面 .....       | 75  |
| 3.6.5 | 车槽及切断 .....      | 76  |
| 3.6.6 | 车螺纹 .....        | 77  |
| 3.6.7 | 滚花 .....         | 78  |
| 3.7   | 车削综合工艺分析 .....   | 79  |
| 3.7.1 | 轴类、套类零件的车削 ..... | 79  |
| 3.7.2 | 车削综合工艺 .....     | 80  |
| 3.8   | 工件材料的切削加工性 ..... | 80  |
| 4     | 铣削加工 .....       | 82  |
| 4.1   | 铣工概述 .....       | 82  |
| 4.2   | 铣床 .....         | 86  |
| 4.2.1 | 万能卧式铣床 .....     | 86  |
| 4.2.2 | 升降台铣床及龙门铣床 ..... | 87  |
| 4.3   | 铣刀及其安装 .....     | 88  |
| 4.3.1 | 铣刀 .....         | 88  |
| 4.3.2 | 铣刀的安装 .....      | 89  |
| 4.4   | 铣床附件及工件安装 .....  | 90  |
| 4.4.1 | 铣床附件及其应用 .....   | 90  |
| 4.4.2 | 工件的安装 .....      | 93  |
| 4.5   | 铣削基本操作 .....     | 95  |
| 4.5.1 | 铣平面 .....        | 95  |
| 4.5.2 | 铣斜面 .....        | 97  |
| 4.5.3 | 铣键槽 .....        | 97  |
| 4.5.4 | 铣成形面 .....       | 98  |
| 4.5.5 | 铣齿形 .....        | 99  |
| 5     | 板料冲压 .....       | 101 |
| 5.1   | 冲压设备 .....       | 101 |
| 5.2   | 板料冲压的基本工序 .....  | 102 |
| 5.3   | 冲模 .....         | 105 |
| 5.4   | 冲压件的结构设计 .....   | 106 |
| 6     | 刨削加工 .....       | 108 |
| 6.1   | 刨工概述 .....       | 108 |

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| 6.2   | 刨床 .....          | 109 |
| 6.2.1 | 牛头刨床 .....        | 109 |
| 6.2.2 | 龙门刨床 .....        | 112 |
| 6.3   | 刨刀及其安装 .....      | 113 |
| 6.4   | 刨削基本操作 .....      | 114 |
| 6.4.1 | 刨平面 .....         | 114 |
| 6.4.2 | 刨沟槽 .....         | 116 |
| 6.4.3 | 刨成形面 .....        | 117 |
| 7     | 磨削加工 .....        | 118 |
| 7.1   | 磨工概述 .....        | 118 |
| 7.2   | 磨床 .....          | 119 |
| 7.3   | 砂轮的安裝、平衡及修整 ..... | 121 |
| 7.3.1 | 砂轮的特性 .....       | 121 |
| 7.3.2 | 砂轮的安裝、平衡及修整 ..... | 122 |
| 7.4   | 零件的安裝及磨床附件 .....  | 123 |
| 7.5   | 磨削工艺 .....        | 124 |

### 第3篇 热加工

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| 8     | 焊接 .....          | 129 |
| 8.1   | 焊接概述 .....        | 129 |
| 8.1.1 | 焊接定义 .....        | 129 |
| 8.1.2 | 焊接方法分类及发展现状 ..... | 129 |
| 8.2   | 电弧焊 .....         | 130 |
| 8.2.1 | 焊接电弧 .....        | 131 |
| 8.2.2 | 焊条电弧焊 .....       | 131 |
| 8.2.3 | 其他常用电弧焊方法 .....   | 135 |
| 8.2.4 | 焊接设备 .....        | 138 |
| 8.3   | 其他焊接方法 .....      | 141 |
| 8.3.1 | 气焊 .....          | 141 |
| 8.3.2 | 电阻焊 .....         | 142 |
| 8.3.3 | 电渣焊 .....         | 143 |
| 8.3.4 | 螺柱焊 .....         | 144 |
| 8.3.5 | 摩擦焊 .....         | 144 |
| 8.3.6 | 激光焊 .....         | 145 |
| 8.3.7 | 高频焊 .....         | 146 |
| 8.3.8 | 扩散焊 .....         | 146 |
| 8.3.9 | 钎焊 .....          | 147 |
| 8.4   | 焊接检验 .....        | 147 |
| 8.4.1 | 常见焊接缺陷 .....      | 147 |
| 8.4.2 | 焊接质量检验 .....      | 149 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 8.5 常用金属材料的焊接 .....       | 150        |
| <b>9 锻压 .....</b>         | <b>152</b> |
| 9.1 锻压概述 .....            | 152        |
| 9.2 金属的加热与锻件的冷却 .....     | 153        |
| 9.2.1 下料 .....            | 153        |
| 9.2.2 坯料加热 .....          | 153        |
| 9.2.3 锻件冷却 .....          | 156        |
| 9.2.4 锻后热处理 .....         | 156        |
| 9.3 自由锻造 .....            | 157        |
| 9.3.1 自由锻的主要设备 .....      | 157        |
| 9.3.2 自由锻的基本工序及其操作 .....  | 158        |
| 9.3.3 自由锻件常见缺陷及产生原因 ..... | 161        |
| 9.4 模锻 .....              | 161        |
| <b>10 铸造 .....</b>        | <b>163</b> |
| 10.1 铸造概述 .....           | 163        |
| 10.2 造型与制芯 .....          | 164        |
| 10.2.1 铸型的组成 .....        | 164        |
| 10.2.2 型(芯)砂的组成 .....     | 165        |
| 10.2.3 型(芯)砂的性能 .....     | 166        |
| 10.2.4 型(芯)砂的制备 .....     | 166        |
| 10.2.5 模样、芯盒与砂箱 .....     | 166        |
| 10.2.6 手工造型 .....         | 168        |
| 10.2.7 制芯 .....           | 170        |
| 10.2.8 浇注系统 .....         | 172        |
| 10.2.9 冒口 .....           | 172        |
| 10.3 熔炼与浇注 .....          | 173        |
| 10.3.1 铸铁 .....           | 173        |
| 10.3.2 铸铁熔炼 .....         | 174        |
| 10.3.3 浇注工艺 .....         | 176        |
| 10.4 特种铸造 .....           | 177        |
| 10.4.1 熔模铸造 .....         | 177        |
| 10.4.2 压力铸造 .....         | 178        |
| 10.4.3 金属型铸造 .....        | 178        |
| 10.4.4 离心铸造 .....         | 179        |
| 10.4.5 低压铸造 .....         | 179        |
| 10.5 铸件的落砂、清理及缺陷分析 .....  | 180        |
| <b>第4篇 先进制造技术与工艺</b>      |            |
| <b>11 特种加工技术 .....</b>    | <b>185</b> |
| 11.1 数控电火花线切割加工 .....     | 185        |

|                     |                                  |     |
|---------------------|----------------------------------|-----|
| 11.1.1              | 数控电火花线切割加工机床的分类与组成               | 185 |
| 11.1.2              | 数控电火花线切割的加工工艺与工装                 | 186 |
| 11.1.3              | 数控电火花线切割机床的操作                    | 189 |
| 11.1.4              | 数控快走丝电火花线切割加工实例                  | 198 |
| 11.2                | 电火花成形加工                          | 201 |
| 11.2.1              | 电火花成形加工的原理                       | 201 |
| 11.2.2              | 电火花成形加工的特点及应用范围                  | 202 |
| 11.2.3              | 电火花加工的局限性                        | 203 |
| 11.2.4              | 电火花成形加工在模具制造业中的应用                | 204 |
| 11.3                | 电解加工                             | 204 |
| 11.4                | 超声波加工                            | 206 |
| 12                  | 快速成形技术                           | 208 |
| 12.1                | 快速成形技术简介                         | 208 |
| 12.2                | 快速成形工艺应用                         | 209 |
| <b>第5篇 机械工程创新实训</b> |                                  |     |
| 13                  | 综合与创新训练                          | 213 |
| 13.1                | 综合与创新训练概述                        | 213 |
| 13.1.1              | 综合与创新训练简介                        | 213 |
| 13.1.2              | 综合与创新训练的意义                       | 214 |
| 13.2                | 毛坯种类与选择                          | 214 |
| 13.2.1              | 毛坯的种类                            | 214 |
| 13.2.2              | 毛坯的选择                            | 215 |
| 13.3                | 加工方法选择及经济性分析                     | 216 |
| 13.3.1              | 零件加工方法的选择                        | 216 |
| 13.3.2              | 加工经济性分析                          | 218 |
| 13.4                | 典型零件的综合工艺过程分析                    | 219 |
| 13.4.1              | 轴类零件                             | 219 |
| 13.4.2              | 盘套类零件                            | 221 |
| 13.5                | 创新                               | 223 |
| 13.6                | 创新设计与加工工艺实例                      | 224 |
| 13.6.1              | 活塞高精度磨削加工的弹性套式夹具                 | 224 |
| 13.6.2              | 超声作用下双曲盘研磨凸度滚子加工装置及加工方法          | 225 |
| 13.6.3              | 圆柱滚子超精磨削精度和表面质量在线监测装置及<br>在线监测方法 | 227 |
| 13.6.4              | 四平面往复式圆柱滚子研磨方法与装置                | 228 |
| 14                  | 案例汇总及实训总结                        | 231 |
| 14.1                | 机械工程创新实训案例汇总                     | 231 |
| 14.2                | 机械工程创新实训总结                       | 252 |

# 第 1 篇

## 知识储备

### 金属材料的应用

#### 1.1.1 金属材料的应用

金属材料是指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。

金属材料在国民经济中占有重要地位，广泛应用于机械、建筑、交通、能源、国防等领域。金属材料具有强度高、塑性好、加工性能优良等特点，是制造各种机械零件和工程结构的主要材料。

金属材料的应用范围非常广泛，从日常生活用品到大型工程结构，从航空航天到海洋工程，金属材料都发挥着不可替代的作用。

#### 1.1.2 金属材料的机械性能

在机械设计中，一般机械零件都是在常温、常压条件下使用的，但在某些特殊条件下，如高温、高压、低温、腐蚀等，金属材料会受到不同的应力作用，从而产生不同的机械性能。

金属材料的主要机械性能包括强度、硬度、塑性、韧性、疲劳强度等。强度是指材料抵抗外力作用而不发生永久变形的能力；硬度是指材料抵抗局部塑性变形的能力；塑性是指材料在断裂前发生永久变形的能力；韧性是指材料在冲击载荷作用下吸收能量的能力；疲劳强度是指材料在交变应力作用下抵抗疲劳破坏的能力。



# 机械工程创新实训 基本理论知识



## 基本要求

- (1) 了解金属材料的分类、牌号和应用；
- (2) 了解热处理的目的和作用、常用热处理方法和热处理工艺过程；
- (3) 了解常用热处理生产设备的基本结构和操作方法。

## 1.1 金属材料的性能

### 1.1.1 工艺性能与使用性能

金属材料的性能一般分为工艺性能和使用性能两类。

所谓工艺性能是指机械零件在加工制造过程中,金属材料在所定的冷、热加工条件下表现出来的性能。金属材料工艺性能的好坏,决定了它在制造过程中加工成形的适应能力。由于加工条件不同,要求的工艺性能也就不同,如铸造性能、可焊性、可锻性、热处理性能、切削加工性等。

所谓使用性能是指机械零件在使用条件下,金属材料表现出来的性能,它包括机械性能、物理性能、化学性能等。金属材料使用性能的好坏,决定了它的使用范围与使用寿命。

### 1.1.2 金属材料的机械性能

在机械制造业中,一般机械零件都是在常温、常压和非强烈腐蚀性介质中使用的,且在使用过程中各机械零件都将承受不同载荷的作用。金属材料在载荷作用下抵抗破坏的性能,称为机械性能,也称为力学性能。

金属材料的机械性能是零件设计和选材时的主要依据。外加载荷性质不同(例如拉伸、压缩、扭转、冲击、循环载荷等),对金属材料要求的机械性能也将不同。常用的机械性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧性、多次冲击抗力和疲劳极限等。

(1) 强度 强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗破坏(过量塑性变形或断裂)的性能。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等形式,所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。各种强度间常有一定的联系,使用中一般以抗拉强度作为最基本的强度指标。

(2) 塑性 塑性是指金属材料在载荷作用下,产生塑性变形(永久变形)而不破坏的能力。

(3) 硬度 硬度是衡量金属材料软硬程度的指标。目前生产中最常用的测定硬度的方法是压入硬度法,它是用一定几何形状的压头在一定载荷下压入被测试的金属材料表面,根据被压入程度来测定其硬度值。

常用的方法有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRA、HRB、HRC)和维氏硬度(HV)等。

(4) 疲劳 前面所讨论的强度、塑性、硬度都是金属在静载荷作用下的机械性能指标。实际上,许多机器零件都是在循环载荷下工作的,在这种条件下零件会产生疲劳。

(5) 冲击韧性 以很大速度作用于机件上的载荷称为冲击载荷,金属在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力叫做冲击韧性。

### 1.1.3 常用金属材料

工业上将碳的质量分数小于 2.11% 的铁碳合金称为钢,钢具有良好的使用性能和工艺性能,因此获得了广泛的应用。

#### 1. 钢的分类

钢的分类方法很多,常用的有以下几种。

(1) 按化学成分分 碳素钢可以分为低碳钢(碳的质量分数 $<0.25\%$ )、中碳钢(碳的质量分数为 $0.25\% \sim 0.6\%$ )、高碳钢(碳的质量分数 $>0.6\%$ )；合金钢可以分为低合金钢(合金元素总的质量分数 $\leq 5\%$ )、中合金钢(合金元素总的质量分数为 $5\% \sim 10\%$ )、高合金钢(合金元素总的质量分数 $>10\%$ )。

(2) 按用途分 结构钢(主要用于制造各种机械零件和工程构件)、工具钢(主要用于制造各种刀具、量具和模具等)、特殊性能钢(具有特殊的物理、化学性能的钢,可分为不锈钢、耐热钢、耐磨钢等)。

(3) 按品质分 普通碳素钢( $W_P \leq 0.045\%$ ,  $W_S \leq 0.05\%$ )、优质碳素钢( $P \leq 0.035\%$ ,  $S \leq 0.035\%$ )、高级优质碳素钢( $W_P \leq 0.025\%$ ,  $W_S \leq 0.025\%$ )，此处  $W_P$  和  $W_S$  分别表示元素 P 和 S 的质量分数。

#### 2. 碳素钢的牌号、性能及用途

碳素结构钢的牌号用“Q+数字”表示,其中“Q”为屈服点的“屈”字的汉语拼音字首,数字表示屈服强度的数值。若牌号后标注字母,则表示钢材质量等级不同。

优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示钢的平均碳的质量分数的万分数,例如,20 钢的平均碳的质量分数为 0.2%。

表 1-1 所示为常见碳素结构钢的牌号、机械性能及其用途。

#### 3. 合金钢的牌号、性能及用途

为了提高钢的性能,在碳素钢基础上特意加入合金元素所获得的钢称为合金钢。

合金结构钢的牌号用“两位数(平均碳的质量分数的万分数)+元素符号+数字(该合金元

素的质量分数,小于 1.5%不标出; 1.5%~2.5%标 2; 2.5%~3.5%标 3,以此类推)”表示。

表 1-1 常见碳素结构钢的牌号、机械性能及其用途

| 类别          | 常用牌号  | 机械性能                   |                         |                    | 用 途                                                   |
|-------------|-------|------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------|
|             |       | 屈服点<br>$\sigma_s$ /MPa | 抗拉强度<br>$\sigma_b$ /MPa | 伸长率<br>$\delta$ /% |                                                       |
| 碳素<br>结构钢   | Q195  | 195                    | 315~390                 | 33                 | 塑性较好,有一定的强度,通常轧制钢筋、钢板、钢管等。可作为桥梁、建筑物等的构件,也可用作螺钉、螺帽、铆钉等 |
|             | Q215  | 215                    | 335~410                 | 31                 |                                                       |
|             | Q235A | 235                    | 375~460                 | 26                 |                                                       |
|             | Q235B |                        |                         |                    |                                                       |
|             | Q235C |                        |                         |                    |                                                       |
|             | Q235D |                        |                         |                    |                                                       |
|             | Q255  | 255                    | 410~510                 | 24                 | 强度较高,可轧制成形钢、钢板,作构件用                                   |
| Q275        | 275   | 490~610                | 20                      |                    |                                                       |
| 优质碳素<br>结构钢 | 08F   | 175                    | 295                     | 35                 | 塑性好,可制造冷冲压零件                                          |
|             | 10    | 205                    | 335                     | 31                 | 冷冲压性与焊接性能良好,可用作冲压件及焊接件,经过热处理也可以制造轴、销等零件               |
|             | 20    | 245                    | 410                     | 25                 |                                                       |
|             | 35    | 315                    | 530                     | 20                 |                                                       |
|             | 40    | 335                    | 570                     | 19                 | 经调质处理后,可获得良好的综合机械性能,用来制造齿轮、轴类、套筒等零件                   |
|             | 45    | 355                    | 600                     | 16                 |                                                       |
|             | 50    | 375                    | 630                     | 14                 |                                                       |
|             | 60    | 400                    | 675                     | 12                 |                                                       |
|             | 65    | 410                    | 695                     | 10                 | 主要用来制造弹簧                                              |

对合金工具钢的牌号而言,当碳的质量分数小于 1%,用“一位数(表示碳质量分数的千分数)+元素符号+数字”表示;当碳的质量分数大于 1%时,用“元素符号+数字”表示。(注:高速钢碳的质量分数小于 1%,其碳的质量分数也不标出)。

常用合金钢的牌号、机械性能及其用途如表 1-2 所示。

表 1-2 常见合金钢的牌号、机械性能及其用途

| 类别                | 常用牌号     | 机械性能                   |                         |                    | 用 途                                                          |
|-------------------|----------|------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------|
|                   |          | 屈服点<br>$\sigma_s$ /MPa | 抗拉强度<br>$\sigma_b$ /MPa | 伸长率<br>$\delta$ /% |                                                              |
| 低合金<br>高强度<br>结构钢 | Q295     | ≥295                   | 390~570                 | 23                 | 具有高强度、高韧性、良好的焊接性能和冷成形性能。主要用于制造桥梁、船舶、车辆、锅炉、高压容器、输油输气管道、大型钢结构等 |
|                   | Q345     | ≥345                   | 470~630                 | 21~22              |                                                              |
|                   | Q390     | ≥390                   | 490~650                 | 19~20              |                                                              |
|                   | Q420     | ≥420                   | 520~680                 | 18~19              |                                                              |
|                   | Q460     | ≥460                   | 550~720                 | 17                 |                                                              |
| 合金<br>渗碳钢         | 20Cr     | 540                    | 835                     | 10                 | 主要用于制造汽车、拖拉机中的变速齿轮、内燃机上的凸轮轴、活塞销等机器零件                         |
|                   | 20CrMnTi | 835                    | 1080                    | 10                 |                                                              |
|                   | 20Cr2Ni4 | 1080                   | 1175                    | 10                 |                                                              |
| 合金<br>调质钢         | 40Cr     | 785                    | 980                     | 9                  | 主要用于汽车和机床上的轴、齿轮等                                             |
|                   | 30CrMnTi | —                      | 1470                    | 9                  |                                                              |
|                   | 38CrMoAl | 835                    | 980                     | 14                 |                                                              |