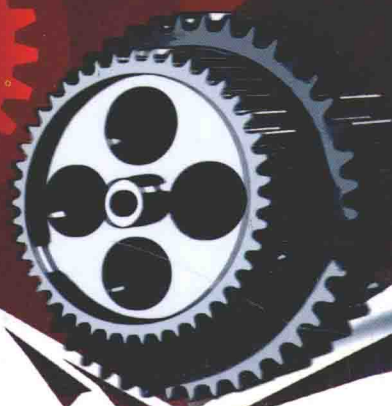




应用型本科 机械类专业“十三五”规划教材



# 工程训练

◆主编 孙涛 陈本德



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

应用型本科机械类专业“十三五”规划教材

# 工程训练

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 孙 涛 | 陈本德 |     |
| 副主编 | 伍文进 | 张 磊 | 秦录芳 |
|     | 邬志军 | 阮成光 |     |

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书共分7章,主要介绍与工程训练有关的基础知识和操作方法,包括:工程材料与制造技术基础,铸造、焊接与塑性成形技术,车削加工,铣削、刨削与磨削加工,钳工,数控加工和先进制造技术。同时,本书对各工种列举了加工实例,便于学生学习和应用。

本书可作为大学机械类及近机械类各专业本科、专科的工程训练课教材,同时可供成人高校、电视大学、职工大学、函授大学选用,也可供机械制造行业的工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程训练/孙涛,陈本德主编. — 西安:西安电子科技大学出版社,2015.9

应用型本科机械类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3813-3

I. ①工… II. ①孙… ②陈… 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199449号

策划编辑 高樱

责任编辑 马武装 刘莉莉

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029) 88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 16.5

字 数 327千字

印 数 1~3000册

定 价 29.00元

ISBN 978-7-5606-3813-3/TH

**XDUP 4105001-1**

\*\*\*\*\*如有印装问题可调换\*\*\*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版

# 前 言

本书是应用型本科机械类专业“十三五”规划教材,是应用型本科院校理工科类专业学生“工程训练”课程教学用书。本书以“培养高素质的工程技术类应用型人才”为指导思想,在内容上突出“先进性和适用性”,结合编者多年实践教学经验编写而成。

应用型本科教育要求其培养的毕业生应具备熟练应用高新技术的能力,具有实践动手能力和创新精神,能够与企业实现无缝对接。实践教学有利于培养和锻炼学生综合运用所学专业理论和技能、独立工作的能力,有利于开发学生的创造能力,也有利于培养学生良好的职业道德、意志品质、心理承受能力和团结协作精神,使他们毕业后能尽快地适应岗位工作。

通过对本书的学习,学生可以了解毛坯和零件的加工工艺过程,正确地掌握材料及零件的主要加工方法,并获得基本操作技能,同时对机械制造的全过程有一个初步的了解,为以后的学习及工作打下一定的实践基础。

机械学科发展日新月异,新的加工设备、加工技术和加工工艺不断发展,要适应时代的发展,培养适合企业需求的人才,除了了解传统的机械加工设备、技术和工艺方法,更需要了解和学习现今机械加工技术的发展情况和未来的发展方向。因此,本书与其他同类教材相比,在内容编排上体现了“先进性和适用性”。

本书在介绍传统工种基础知识和操作方法的同时,也着重介绍了各种刀具材料、数控刀具的结构和选用,以及数控车床、数控铣床(加工中心)、数控线切割和数控电火花的编程操作等当今机械加工技术所需的内容。同时,本书对一些先进制造技术的发展也进行了介绍,有利于扩展学生的知识面。

此外,全书贯彻由浅入深、循序渐进的原则,在首先介绍工程材料和制造技术基础内容的基础上,以操作过程和操作技术为主,依次对各种加工技术进行介绍,并列举了加工实例,以培养学生掌握实际基本技能的能力。同时,每章最后都附有复习思考题,以引导学生独立思考,培养其分析问题和解决问题的能力。

本书由孙涛(徐州工程学院)和陈本德(三江学院)同志主编,伍文进(徐州工程学院)、张磊(徐州工程学院)、秦录芳(徐州工程学院)、邬志军(皖西学院)和阮成光同志担任副主编。其中,孙涛编写了第1章和第5章,陈本德编写了第2章,秦录芳编写了第3章,张磊

编写了第4章，伍文进编写了第6章和第7章部分内容，阮成光编写了第7章部分内容。邬志军负责全书的统稿工作。

本书可作为大学机械类及近机械类各专业本科、专科的工程训练课教材，同时可供成人高校、电视大学、职工大学、函授大学选用，也可供机械制造行业的工程技术人员参考使用。

由于编者水平有限，本书不足之处在所难免，衷心希望读者批评指正。

编 者

2015年3月

# 目 录

|                              |    |                             |     |
|------------------------------|----|-----------------------------|-----|
| <b>第1章 工程材料与制造技术基础</b> ..... | 1  | 2.3.1 概述                    | 64  |
| <b>1.1 工程材料</b> .....        | 1  | 2.3.2 锻造的生产过程               | 65  |
| 1.1.1 材料的发展与概述               | 1  | 2.3.3 锻造的成形方法               | 68  |
| 1.1.2 工程材料的分类与应用             | 2  | 2.3.4 板料冲压                  | 78  |
| 1.1.3 工程材料的性能                | 4  | 2.3.5 先进塑性成形技术简介            | 83  |
| 1.1.4 机械产品常用的金属材料            | 5  | 2.3.6 塑性成形操作安全注意事项          | 84  |
| 1.1.5 金属热处理的基本概念             | 8  | <b>复习思考题</b>                | 85  |
| 1.1.6 刀具常用材料                 | 11 |                             |     |
| <b>1.2 机械制造技术</b> .....      | 15 | <b>第3章 车削加工</b> .....       | 86  |
| 1.2.1 机械制造技术概念               | 15 | <b>3.1 车削概述</b> .....       | 86  |
| 1.2.2 零件的加工质量                | 17 | 3.1.1 车削运动                  | 86  |
| 1.2.3 常用量具和使用                | 20 | 3.1.2 切削用量                  | 87  |
| <b>复习思考题</b>                 | 32 | <b>3.2 普通车床</b> .....       | 89  |
|                              |    | 3.2.1 车床型号                  | 89  |
| <b>第2章 铸造、焊接与塑性成形技术</b> ..   | 33 | 3.2.2 普通车床结构                | 89  |
| <b>2.1 铸造</b> .....          | 33 | 3.2.3 刻度盘及刻度盘手柄的使用          | 90  |
| 2.1.1 铸造生产概述                 | 33 | <b>3.3 车刀</b> .....         | 91  |
| 2.1.2 造型材料                   | 33 | 3.3.1 车刀的材料                 | 91  |
| 2.1.3 造型与造芯方法                | 35 | 3.3.2 车刀的组成                 | 92  |
| 2.1.4 铸造工艺                   | 39 | 3.3.3 车刀的种类和结构形式            | 92  |
| 2.1.5 铸型浇注、落砂、清理及缺陷分析        | 40 | 3.3.4 车刀的角度                 | 93  |
| 2.1.6 铸造操作主要安全注意事项           | 43 | <b>3.4 车削加工时工件的装夹</b> ..... | 94  |
| <b>2.2 焊接</b> .....          | 43 | <b>3.5 基本车削操作</b> .....     | 96  |
| 2.2.1 概述                     | 43 | 3.5.1 车外圆                   | 96  |
| 2.2.2 焊条电弧焊                  | 44 | 3.5.2 车端面                   | 98  |
| 2.2.3 气体保护焊                  | 51 | 3.5.3 车台阶轴                  | 99  |
| 2.2.4 气焊与气割                  | 54 | 3.5.4 切断和车外沟槽               | 99  |
| 2.2.5 其他焊接方法                 | 56 | 3.5.5 钻孔和镗孔                 | 101 |
| 2.2.6 焊接操作主要安全注意事项           | 63 | 3.5.6 车圆锥面                  | 102 |
| <b>2.3 塑性成形技术</b> .....      | 64 | 3.5.7 车特形面                  | 103 |
|                              |    | 3.5.8 车三角螺纹                 | 104 |
|                              |    | 3.5.9 滚花加工                  | 106 |

|                             |     |                           |     |
|-----------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 3.5.10 车削端面槽 .....          | 107 | 5.3.2 铼削的工具 .....         | 155 |
| 3.6 车工综合工艺举例 .....          | 108 | 5.4 锯削 .....              | 156 |
| 3.7 车削操作安全注意事项 .....        | 108 | 5.4.1 锯削的概念 .....         | 156 |
| 复习思考题 .....                 | 109 | 5.4.2 锯削的工具 .....         | 156 |
| <b>第4章 铣削、刨削与磨削加工</b> ..... | 110 | 5.4.3 锯削的操作 .....         | 157 |
| 4.1 铣削 .....                | 110 | 5.4.4 锯削的应用 .....         | 160 |
| 4.1.1 铣削概述 .....            | 110 | 5.5 铰削 .....              | 161 |
| 4.1.2 铣床常用刀具及铣床的主要附件 .....  | 113 | 5.5.1 铰削的概念 .....         | 161 |
| 4.1.3 铣削基本操作 .....          | 117 | 5.5.2 铰削的工具 .....         | 161 |
| 4.1.4 铣削综合工艺举例 .....        | 122 | 5.5.3 铰削的操作 .....         | 163 |
| 4.1.5 铣床操作安全注意事项 .....      | 124 | 5.5.4 铰削的应用 .....         | 167 |
| 4.2 刨削 .....                | 124 | 5.6 孔加工 .....             | 168 |
| 4.2.1 刨削概述 .....            | 124 | 5.6.1 钻孔 .....            | 169 |
| 4.2.2 刨刀及工件的安装 .....        | 130 | 5.6.2 扩孔 .....            | 173 |
| 4.2.3 刨削基本操作 .....          | 131 | 5.6.3 铰孔 .....            | 174 |
| 4.2.4 刨削综合工艺举例 .....        | 133 | 5.6.4 铰孔 .....            | 176 |
| 4.2.5 刨床操作安全注意事项 .....      | 135 | 5.7 攻螺纹和套螺纹 .....         | 176 |
| 4.3 磨削 .....                | 135 | 5.7.1 攻螺纹 .....           | 177 |
| 4.3.1 磨削概述 .....            | 135 | 5.7.2 套螺纹 .....           | 179 |
| 4.3.2 砂轮 .....              | 139 | 5.8 刮削 .....              | 180 |
| 4.3.3 工件的安装及磨床附件 .....      | 141 | 5.8.1 刮削的概念 .....         | 180 |
| 4.3.4 磨削基本操作 .....          | 142 | 5.8.2 刮削的工具 .....         | 180 |
| 4.3.5 磨削综合工艺举例 .....        | 145 | 5.8.3 刮削的操作 .....         | 181 |
| 4.3.6 磨床操作安全注意事项 .....      | 145 | 5.9 钳工综合工艺举例 .....        | 182 |
| 复习思考题 .....                 | 146 | 5.10 钳工操作安全注意事项 .....     | 183 |
| <b>第5章 钳工</b> .....         | 148 | 5.11 机械的装配和拆卸 .....       | 184 |
| 5.1 钳工概述 .....              | 148 | 5.11.1 装配的概念 .....        | 184 |
| 5.1.1 钳工的加工特点 .....         | 148 | 5.11.2 典型装配的方法 .....      | 187 |
| 5.1.2 钳工工种的分类 .....         | 148 | 5.11.3 装配和拆卸的注意事项 .....   | 190 |
| 5.1.3 钳工常用的设备和工具 .....      | 148 | 5.11.4 装配综合工艺举例 .....     | 191 |
| 5.2 划线 .....                | 149 | 复习思考题 .....               | 191 |
| 5.2.1 划线的概念 .....           | 149 | <b>第6章 数控加工</b> .....     | 193 |
| 5.2.2 划线的工具及其用法 .....       | 150 | 6.1 数控加工概述 .....          | 193 |
| 5.2.3 划线操作 .....            | 154 | 6.1.1 数控加工的概念 .....       | 193 |
| 5.3 铼削 .....                | 155 | 6.1.2 数控加工编程基础 .....      | 194 |
| 5.3.1 铼削的概念 .....           | 155 | 6.2 数控车床的加工 .....         | 199 |
|                             |     | 6.2.1 数控车床的概念 .....       | 199 |
|                             |     | 6.2.2 数控车床坐标系与工件坐标系 ..... | 200 |

|                                      |     |                           |     |
|--------------------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 6.2.3 数控车床的编程指令·····                 | 202 | 安全操作规程·····               | 228 |
| 6.2.4 数控车床刀具·····                    | 204 | 复习思考题·····                | 229 |
| 6.2.5 数控车床对刀方法·····                  | 208 | <b>第7章 先进制造技术</b> ·····   | 231 |
| 6.2.6 数控车床加工示例·····                  | 209 | <b>7.1 特种加工</b> ·····     | 231 |
| 6.2.7 数控车床及车削加工中心的<br>安全操作规程·····    | 211 | 7.1.1 数控线切割·····          | 231 |
| <b>6.3 数控铣床与加工中心的加工</b> ·····        | 211 | 7.1.2 数控电火花加工·····        | 239 |
| 6.3.1 数控铣床与加工中心的概念·····              | 211 | 7.1.3 其他特种加工技术简介·····     | 244 |
| 6.3.2 数控铣床与加工中心的<br>机床坐标系与工件坐标系····· | 213 | <b>7.2 高速高效加工技术</b> ····· | 248 |
| 6.3.3 数控铣床与加工中心编程指令·····             | 214 | 7.2.1 高速切削加工技术简介·····     | 249 |
| 6.3.4 加工中心(数控铣床)刀具·····              | 217 | 7.2.2 高效磨削加工技术·····       | 250 |
| 6.3.5 数控铣床与加工中心对刀方法·····             | 223 | 7.2.3 车铣复合加工技术·····       | 252 |
| 6.3.6 数控铣床与加工中心加工示例·····             | 224 | 复习思考题·····                | 254 |
| 6.3.7 数控铣床及加工中心的                     |     | 参考文献·····                 | 256 |

# 第1章 工程材料与制造技术基础

## 1.1 工程材料

### 1.1.1 材料的发展与概述

世界是由物质构成的,材料就是人们用来制成各种机器、器件、结构等具有某种特性的物质实体。材料是人类社会生活的物质基础,材料的发展引起时代的变迁,推动人类文明和社会的进步。

在古代,生活、祭祀和先进武器等的需求促进了新材料的应用。在现代,材料广泛用于大众的生活和不断发展的制造业中。人们对高品质生活的不断追求和对高性能器具的广泛需求,是新材料发展的动力。在知识经济时代,材料、能源和信息并列为现代科学技术的三大支柱,其作用和意义尤为突出。

人类文明的发展史,就是利用材料、制造材料和创造材料的历史。从人类的出现到21世纪的今天,人类的文明程度不断提高,材料及材料科学也在不断发展。在人类文明的过程中,有学者将材料的发展归纳为以下八个发展阶段:天然材料→陶瓷→青铜→铁→钢→有色金属→高分子材料→新型材料。

#### 1. 使用纯天然材料的阶段

距今约300万年前~距今约1万年前,人类只能使用天然材料(如兽皮、甲骨、羽毛、树木、草叶、石块等),相当于人们通常所说的旧石器时代。在这一阶段的后期,人们在制造器物方面有了技巧,但都只是纯天然材料的简单加工,如石针和石刀。

#### 2. 使用陶瓷的阶段

距今约1万年前陶器开始出现,人们用黏土或以黏土、长石、石英为主的混合物,经成型、干燥、烧制(烧制温度低于 $1200^{\circ}\text{C}$ ),得到坚硬的陶器。陶器的出现成为新石器时代开始的标志之一。陶器是人类创造的第一种无机非金属材料,陶器也是最早的耐火材料,为以后的铜、铁冶炼提供了物质条件。

3000多年前的殷、周时期,通过炉窑烧制,温度达到 $1200^{\circ}\text{C}$ ,能将金属氧化物烧制成釉瓷。釉瓷的用途更为广泛,质地比陶器更为细腻,且外观美观。

#### 3. 使用青铜的阶段

我国青铜的冶炼可追溯到公元前3600年,晚于埃及和西亚民族(伊朗、伊拉克),到殷、西周时期已经发展到较高水平。青铜即铜锡合金,其冶炼温度较低,制作器具的成型性好,是人类最早大规模利用的金属材料。当时,青铜的用途非常广泛,包括钱币、武

器、工具以及社会生活的其他方面。

#### 4. 使用铁的阶段

铁器的使用大约追溯到公元前1000年,中国最早关于使用铁制工具的文字记载是《左传》中的晋国铸铁鼎。由于铁具有比青铜更好的性能,如:铁制农具的强度和硬度比铜高、更加耐用、价格便宜,铁制盔甲比铜制盔甲轻、增加了战士的灵活性,铁制兵器比铜制兵器轻巧、锋利和耐用,因此铁器的崛起宣告青铜器退出历史舞台。

#### 5. 使用钢的阶段

距今1800年前出现了两步炼钢技术,即先炼成铁、再炼成钢。但大规模的炼钢工业出现在19世纪70年代的英国。从此以后,钢轨、钢桥、钢船、钢枪、钢炮等逐步取代了铸铁。1898年美国机械工程师Taylor和冶金工程师White发明了工具钢W18Cr4V(高速钢),在当时使得车削速度提高了几倍,对机械工业的发展起了极其重要的推动作用;1916年英国科学家Harry Brearley发明的不锈钢开始工业规模生产,为化学工业的发展做出了重大贡献。

#### 6. 使用有色金属的阶段

近代以来,人们除发展钢铁材料以外,还进一步发展金、银、铜、钛、铝、镁、钨等有色金属及其合金材料。有色合金的强度和硬度一般比纯金属高,电阻比纯金属大、电阻温度系数小,具有良好的综合机械性能。对有色金属资源的开发和利用,不只是对钢铁材料的补充,更重要的是可发挥和开发钢铁材料不具备的各种特殊性能。如:钛合金具有比强度高、抗腐蚀、耐高温等优点,故广泛用于航空航天、航海等行业。

#### 7. 使用高分子材料的阶段

天然高分子材料(丝、皮、毛等)从远古就已经被人们发现并利用。现代,高分子材料已与金属材料、无机非金属材料相同,成为科学技术、经济建设中的重要材料。如:由高分子黏合剂与聚丙烯腈制成的高强度、高模量碳纤维复合材料成为飞行器理想的壳体;可抗酸、碱、盐溶液和蒸汽等腐蚀的聚四氟乙烯广泛用于各行各业。

#### 8. 使用新型材料的阶段

20世纪人类进入新材料时代,新材料技术成为全球新技术革命的四大标志之一。新材料和传统材料相比具有优异的性能和特定的功能,是信息、航天、生物、能源等高技术行业的重要物质基础。新材料技术的发展会对国家、社会和个人产生重要的影响,如:超纯硅、砷化镓研制成功,导致大规模和超大规模集成电路的诞生,使计算机运算速度从每秒几十万次提高到现在的每秒百亿次以上。金属与无机材料的复合、金属与高分子材料的复合、无机材料与高分子材料的复合等,这些新材料技术的发展使生产力得到了极大的提高,推动了人类社会的发展。

### 1.1.2 工程材料的分类与应用

工程材料是用于制造工程结构和机械零件并主要要求力学性能的结构材料。按照材料的组成与结合键特点,工程材料可以划分为四种材料类型。

#### 1. 金属材料

金属材料是以金属键结合为主的材料。其具有良好的导电性、导热性、延展性和金属

光泽等特点,用量最大、应用最广泛。金属材料包括黑色金属和有色金属。

铁及铁合金称为黑色金属,即钢铁材料,其世界年产量已达10亿吨,在机械产品中的用量已占整个用材的60%以上。

除钢铁以外,铝、铜、钛、镍等金属及其合金称为有色金属。通常,有色金属分为5类:重金属(如:Cu、Zn)、轻金属(如:Al、Mg)、贵金属(如:Ag、Au)、半金属(如:Si、As)、稀有金属(如:Ti、W)。有色合金常分为4类:重有色金属合金(如:铜合金、镍合金)、轻有色金属合金(如:铝合金、镁合金)、贵有色金属合金(如:银合金)、稀有金属合金(如:钛合金)。有色金属的产量和用量不如黑色金属多,但其具有许多优良的特性,如特殊的电、磁、热性能,耐蚀性能及高的比强度(强度与密度之比)等,已成为现代工业中不可缺少的金属材料。

## 2. 陶瓷材料

陶瓷材料是以共价键和离子键结合为主的材料,具有硬度高、熔点高、绝缘性优良、抗氧化性和耐腐蚀好等特点。陶瓷材料分为传统陶瓷、近代陶瓷和金属陶瓷三类。

传统陶瓷又称普通陶瓷,以黏土(塑性组分)、长石(熔剂组分)、石英(惰性组分)等天然矿物为原料,经粉碎、混合、磨细、成型、干燥、烧成等工序制成,适用于日用、电气、化工、建筑等行业,如装饰瓷、餐具、耐蚀容器等。

近代陶瓷又称特种陶瓷,是以人工合成材料为原料的陶瓷,可分为氧化物陶瓷、氮化物陶瓷和碳化物陶瓷。氧化物陶瓷以 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 为主要成分,氮化物陶瓷最常用的有氮化硅和氮化硼陶瓷,碳化物陶瓷主要成分有SiC、WC、TiC等。特种陶瓷硬度高、耐高温、化学稳定性好,普遍适用于刀具、密封环、高温轴承等场合。

金属陶瓷以金属氧化物或碳化物为主要成分,加入适量的金属粉末,通过粉末冶金的方法制成,具有某些金属性质。金属陶瓷是金属切削刀具、模具和耐磨零件的重要材料。

## 3. 高分子材料

高分子材料是以分子键和共价键结合为主的材料,具有塑性高、耐蚀性强、电绝缘性好、减振性好和密度小等特点,包括塑料、橡胶及合成纤维等。高分子材料在机械、电气、纺织、汽车、飞机、轮船等制造工业和化学、交通运输、航空航天等行业中被广泛应用。

## 4. 复合材料

复合材料是由两种或两种以上物理和化学性质不同的物质采用适当的工艺组合而成的一种多相固体材料,而且这种多相固体材料的性能比单一材料的性能优越。按基体材料分类,复合材料可以分为聚合物基复合材料、金属基复合材料和无机非金属基复合材料。聚合物基复合材料以有机聚合物(热固性树脂、热塑性树脂及橡胶等)为基体;金属基复合材料以金属(铝、镁、钛等)为基体;无机非金属基复合材料以陶瓷材料(也包括玻璃和水泥)为基体。

复合材料在航空航天、交通运输、化学工业、电气工业、建筑工业、机械工业和体育用品等方面的用途非常广泛,如:“科曼奇”直升机的机身有70%是由复合材料制成的;第四代战斗机F/A-22中聚合物基复合材料的比例占到24%,主要用于机翼、尾翼、中机身蒙皮和隔框等;用复合材料制造的汽车部件较多,如车体、驾驶室、挡泥板、保险杠、引

擎罩、仪表盘和驱动轴等；聚合物基复合材料由于具有优异的电绝缘特性，被广泛地用于电机、电工器材的制造中；复合材料在机械制造工业中，用于制造各种叶片、风机和各种机械部件如齿轮、皮带轮和防护罩等；在体育用品方面，复合材料被用于制造赛车、赛艇、皮艇、划桨、撑杆、球拍、弓箭、雪橇等。

### 1.1.3 工程材料的性能

工程材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用条件下表现出的性能，包括力学性能、物理性能和化学性能等；工艺性能指材料在加工过程中反映出的性能。

#### 1. 工程材料的力学性能

材料在外力作用下所表现出的各种性能称为力学性能。常见的有强度、硬度、塑性、冲击韧性和断裂韧性等。

##### 1) 强度

强度是指在外力作用下材料抵抗变形和断裂的能力，是材料最重要、最基本的力学性能指标之一。

图1-1是低碳钢的应力—应变曲线，由于曲线是在缓慢加载前提下进行试验的，所以可以看做是在静载荷条件下得出的静载强度，包括比例极限 $\sigma_p$ 、弹性极限 $\sigma_e$ 、屈服极限 $\sigma_s$ 和强度极限 $\sigma_b$ 。

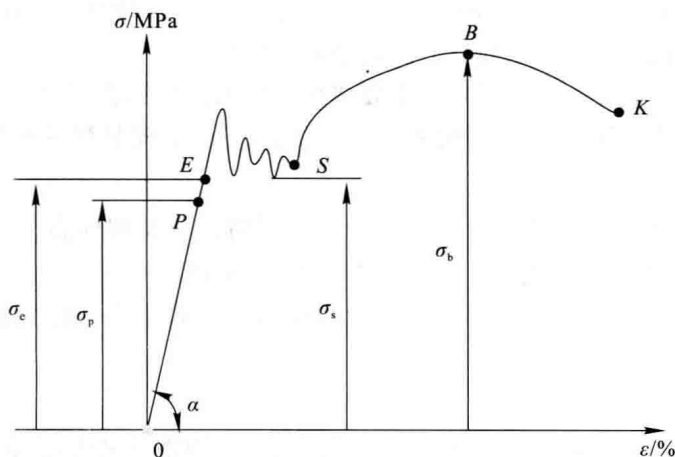


图1-1 低碳钢的应力—应变曲线

比例极限 $\sigma_p$ 是指材料在不偏离应力与应变正比关系(胡克定律)条件下所能承受的最大应力。

弹性极限 $\sigma_e$ 是指材料保持完全弹性变形的最大应力，它是衡量材料抵抗弹性变形能力的指标，在工程上亦叫刚度。

当应力超过 $\sigma_e$ 后，应力与应变之间的直线关系被破坏，并出现屈服平台或屈服齿。如果卸载，试样的变形只能部分恢复，而保留一部分残余变形，即塑性变形，这说明变形进入弹塑性变形阶段。此时所对应的应力就称为材料的屈服强度或屈服点 $\sigma_s$ ，它表示材料抵抗微量塑性变形的能力。

当应力超过 $\sigma_s$ 后,试样发生明显而均匀的塑性变形,若使试样的应变增大,则必须增加应力值,这种随着塑性变形的增大,塑性变形抗力不断增加的现象称为加工硬化或形变强化。当应力达到 $\sigma_b$ 时,试样的均匀变形阶段终止,此最大应力 $\sigma_b$ 称为材料的强度极限或抗拉强度,它表示材料对最大均匀塑性变形的抗力。

除此之外,变载时的强度也是衡量材料工作性能的一项重要指标。最常用的指标是疲劳强度,它是指材料在无数次交变载荷作用下不致断裂的最大应力,用 $\sigma_{-1}$ 表示。实际上,一般试验规定,钢经受 $10^6 \sim 10^7$ 次、有色金属经受 $10^7 \sim 10^8$ 次交变载荷作用而不断裂的最大应力为疲劳强度。金属的疲劳强度与抗拉强度之间的近似关系为:碳素钢的 $\sigma_{-1} = (0.4 \sim 0.55) \sigma_b$ ,灰铸铁的 $\sigma_{-1} = 0.4 \sigma_b$ ,有色金属的 $\sigma_{-1} = (0.3 \sim 0.4) \sigma_b$ 。

## 2) 塑性

材料在外力作用下,产生塑性变形而不断裂的性能称为塑性。塑性的大小用伸长率 $\delta$ 和断面收缩率 $\psi$ 表示。 $\delta$ 和 $\psi$ 值愈大,材料的塑性愈好。

## 3) 硬度

硬度是指在外力作用下材料抵抗局部塑性变形的能力,即抵抗外物压入其表面的能力。常用的硬度有布氏硬度HB、洛氏硬度HR和维氏硬度HV。布氏硬度测定结果较准确,但压痕大,不适合成品检验;洛氏硬度压痕小,可用于较薄工件或表面较薄硬化层的检测;维氏硬度测定所用载荷小、压痕浅,适用于测定零件表面的薄硬化层、镀层及薄片材料的硬度,同时,载荷可调范围宽,对软、硬材料都适用。

此外,工程材料的力学性能还有:衡量材料抵抗冲击载荷能力的冲击韧度 $a_k$ 或冲击功 $A_k$ 、衡量材料抵抗裂纹扩展能力的断裂韧性 $K_{IC}$ 和衡量材料抵抗磨损能力的耐磨性等。

## 2. 工程材料的其他性能

工程材料除了力学性能之外,还包括物理性能、化学性能和工艺性能。物理性能主要包括材料的电性能、磁性能、光性能、热性能等;化学性能包括抗腐蚀性、抗氧化性等;工艺性能包括铸造性能、塑性加工性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

### 1.1.4 机械产品常用的金属材料

金属材料是国民经济建设的重要生产资料。金属材料的品种规格繁多,性能和用途各异,在机械、冶金、矿山、石油、化工、轻工、建筑、制造、纺织等行业应用十分广泛。金属材料可分为两大类:钢铁和非铁金属(或有色金属)。

#### 1. 钢铁材料

钢铁是钢和铁的统称。钢和铁都是以铁和碳为主要元素组成的合金。钢铁材料是工业中应用最广、用量最大的金属材料。钢铁材料分为生铁、铸铁和钢三类。

##### 1) 生铁的分类

生铁是碳的质量分数大于2%的铁碳合金(工业生铁一般含碳量为2.11%~4.3%),用铁矿石经高炉冶炼而成。按用途可将生铁分为炼钢生铁和铸造生铁;按化学成分可将生铁分为普通生铁和特种生铁(包括天然合金生铁和铁合金)。

##### 2) 铸铁的分类

碳的质量分数超过2%的铁碳合金称为铸铁(工业用铸铁一般含碳量为2.5%~

3.5%)。铸铁一般用铸造生铁经冲天炉等设备重熔，用于浇注机器零件。按断口颜色可将铸铁分为灰铸铁、白口铸铁和麻口铸铁；按化学成分可将铸铁分为普通铸铁和合金铸铁；按生产工艺和组织性能可将铸铁分为普通灰铸铁、孕育铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和特殊性能铸铁。

3) 钢的分类

碳的质量分数不超过2%的铁碳合金称为钢。按用途可将钢分为结构钢、工具钢、特殊钢和专业用钢；按化学成分可将钢分为碳素钢和合金钢，具体分类方法见表1-1。

碳钢的编号方法如表1-2所示。

表1-1 钢 的 分 类

| 分类方法   | 分类名称 |           | 说 明                                                                                                                                                                                                                             |
|--------|------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 按用途分   | 结构钢  | 建筑及工程用结构钢 | 建筑及工程用结构钢（简称建造用钢），是指用于建筑、船舶、锅炉或其他工程上制作金属结构件的钢。这类钢大多为低碳钢，因为它们多要经过焊接施工，含碳量不宜过高，一般都是在热轧供应状态或正火状态下使用                                                                                                                                |
|        |      | 机械制造用结构钢  | 机械制造用结构钢是指用于制造机械设备上结构零件的钢。这类钢基本上都是优质钢或高级优质钢，往往要经过热处理、冷塑成形和机械切削加工后才能使用                                                                                                                                                           |
|        | 工具钢  |           | 工具钢是指用于制造各种工具的钢。<br>按其化学成分，通常分为：碳素工具钢、合金工具钢和高速钢；按照用途又可分为：刀具钢（或称刀具钢）、模具钢（包括冷作模具钢和热作模具钢）、量具钢                                                                                                                                      |
|        | 特殊钢  |           | 特殊钢是指用特殊方法生产，具有特殊物理、化学性能或力学性能的钢，主要有：不锈钢耐酸钢、耐热不起皮钢、高电阻合金钢、低温用钢、耐磨钢、磁钢（包括硬磁钢和软磁钢）、抗磁钢、超高强度钢（ $\sigma_b \geq 1400 \text{ MPa}$ 的钢）                                                                                                 |
|        | 专业用钢 |           | 专业用钢是指各个工业部门专业用途的钢。如：机床用钢、重型机械和农机用钢、汽车用钢、航空航天用钢、石油和化工机械用钢、锅炉用钢、电工用钢等                                                                                                                                                            |
| 按化学成分分 | 碳素钢  |           | 碳素钢是指含碳量 $w_c$ 低于2%，并含有少量锰、硅、硫、磷、氧等杂质元素的铁碳合金。<br>按其含碳量的不同可分为：工业纯铁（ $w_c \leq 0.04\%$ 的铁碳合金）、低碳钢（ $w_c \leq 0.25\%$ 的钢）、中碳钢（ $w_c = 0.25\% \sim 0.6\%$ 的钢）和高碳钢（ $w_c > 0.6\%$ 的钢）。按照钢的质量和用途的不同，碳素钢通常又分为：普通碳素结构钢、优质碳素结构钢和工具碳素钢三大类 |
|        | 合金钢  |           | 合金钢是指在碳素钢的基础上，为了改善钢的性能，在冶炼时特意加入一些合金元素（如铬、镍、硅、锰、钼、钨、钒、钛、硼等）而炼成的钢。<br>按其合金元素的种类不同，可分为：铬钢、锰钢、铬锰钢、铬镍钢、铬钼钢、硅锰钢和硅锰钼钒钢等。按其合金元素的总含量，可分为：低合金钢（合金元素含量小于5%）、中合金钢（合金元素含量为5%~10%）和高合金钢（合金元素含量大于10%）                                          |

表1-2 碳钢的编号方法

| 分类      | 编号方法      |                                                                                   | 常用牌号及用途                                                                                                                                                                                                |
|---------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | 举 例       | 说 明                                                                               |                                                                                                                                                                                                        |
| 碳素结构钢   | Q235-A.F  | “Q”为“屈”字的汉语拼音字首，后面的数字为屈服点（MPa）。A、B、C、D依次代表质量等级从低到高。F、b、Z、TZ分别表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢和特殊镇静钢 | 碳素结构钢主要用于各类建筑工程，制造承受静载荷的各种金属构件及不需要热处理的机械零件和一般焊接件。如：Q195、Q215、Q235钢焊接性能好，塑性和韧性好，有一定强度，常轧制成钢筋和焊接钢管等。用于桥梁、建筑等结构和制造普通螺钉、螺母等零件；Q255和Q275钢强度较高，塑性、韧性较好，可进行焊接，通常轧制成型钢、条钢和钢板作结构件以及制造简单机械的连杆、齿轮和联轴节等零件          |
| 优质碳素结构钢 | 40Mn      | 数字表示单位为0.01%的平均含碳量。化学元素符号Mn表示钢中的含锰量较高                                             | 优质碳素结构钢的硫磷含量低于0.035%，主要用来制造较为重要的机件。如：20钢属于低碳钢，常用来制造螺钉、螺母、垫圈、小轴以及冲压件、焊接件；45钢属于中碳钢，在机械结构中用途最广，常用来制造轴、丝杠、齿轮、连杆、套筒、键、重要螺钉和螺母等；65、75钢等属于高碳钢，不仅强度、硬度高，且弹性优良，常用来制造小弹簧、发条、钢丝绳、轧辊等                              |
| 碳素工具钢   | T8A       | “T”为“碳”字的汉语拼音字首，后面的数字表示单位为0.1%的平均含碳量，A表示高级优质                                      | 碳素工具钢用于制作刀具、模具和量具。如：T7钢具有良好的韧性，但耐磨性不高，适于制作切削软材料的刀具和承受冲击负荷的工具，如木工工具、镰刀、锤子等；T8Mn钢淬透性较好，适于制作断口较大的木工工具、煤矿用凿、石工凿和要求变形小的手锯条、横纹锉刀等；T12钢硬度高、耐磨性好，但是韧性低，适于制作不受冲击的，要求硬度高、耐磨性好的切削工具和测量工具，如刮刀、钻头、铰刀、扩孔钻、丝锥、板牙和千分尺等 |
| 铸造碳钢    | ZG200-400 | “ZG”代表碳钢，后面的第一组数字表示屈服点（MPa），第二组数字表示抗拉强度（MPa）                                      | ZG200-400为低碳铸钢，用于制造机座、变速箱体等受力不大，但要求韧性的零部件；ZG230-450为低碳铸钢，用于制造轴承盖、底板、阀体、机座等负载不大、韧性较好的零部件；ZG310-570为中碳铸铁，用于制造联轴器、大齿轮、缸体、轴等重负载零件；ZG340-640为高碳铸铁，用于制造强度、硬度和耐磨性要求很高的零件，如：起重运输机齿轮、联轴器、齿轮、车轮、阀轮、叉头等           |

## 2. 有色金属材料

有色金属材料通常是指除去钢铁(又称黑色金属材料)以外的所有金属。在工业生产中，应用较为广泛的是铝、铜、锌、钛、镍等金属及其合金和轴承合金。

### 1) 铝合金

铝是目前工业中用量最大的有色金属。纯铝为纯白色，具有密度小( $2.72 \text{ g/cm}^3$ )、无磁性、良好的导电和导热性、极好的塑性、耐腐蚀性好等特点。

按照成分,纯铝可以分为高纯铝、工业高纯铝和工业纯铝。纯铝的应用很少,主要用于科学试验和化学工业或者用于配制铝合金。

纯铝的强度和硬度很低,不宜做工程结构材料,向铝中加入适量Si、Cu、Mg、Zn等元素(主加元素)和Cr、Ti、Zr、B、Ni等元素(辅加元素),组成铝合金,可提高铝的强度并保持纯铝的特性。铝合金根据其成分和工艺特点,可分为形变铝合金和铸造铝合金两大类。铝合金在高耐腐蚀性的薄板容器(如焊接油箱)、窗框、飞机骨架、发动机的活塞和气缸体等方面都有广泛应用。

### 2) 铜合金

铜合金以纯铜为基体加入一种或几种其他元素所构成的合金。纯铜呈紫红色,又称紫铜。纯铜密度为 $8.96\text{ g/cm}^3$ ,熔点为 $1083^\circ\text{C}$ ,具有优良的导电性、导热性、延展性和耐蚀性。铜合金主要用于制作发电机、母线、电缆、开关装置、变压器等电工器材和热交换器、管道、太阳能加热装置的平板集热器等导热器材。

常用的铜合金分为黄铜、青铜、白铜三大类。

### 3) 钛合金

钛是同素异构体,熔点为 $1668^\circ\text{C}$ ,在低于 $882^\circ\text{C}$ 时呈密排六方晶格结构,称为 $\alpha$ 钛;在 $882^\circ\text{C}$ 以上呈体心立方晶格结构,称为 $\beta$ 钛。利用钛的上述两种结构的不同特点,向钛中添加适当的合金元素,使其相变温度及相分含量逐渐改变而得到不同组织的钛合金。室温下,钛合金有三种基体组织,钛合金也就分为以下三类: $\alpha$ 合金、 $(\alpha+\beta)$ 合金和 $\beta$ 合金。中国分别以TA、TC、TB表示。

钛是20世纪50年代发展起来的一种重要的结构金属,钛合金因具有比强度高、耐腐蚀性好、耐热性高等特点而被广泛用于各个领域。许多国家都认识到钛合金材料的重要性,相继对其进行研究开发,钛合金在航空航天、海洋工业、医疗器械等行业得到了广泛应用。

### 4) 轴承合金

轴承合金是制造轴承用的合金的总称。对轴承材料,要求与轴表面的摩擦系数小,轴颈的磨损少,而且能承受足够大的比压。常用的轴承合金有巴比合金、青铜、铸铁等。

## 1.1.5 金属热处理的基本概念

### 1. 金属热处理工艺基本知识

金属热处理是指通过对工件的加热、保温和冷却,使金属或合金的组织结构发生变化,从而获得预期的性能(如机械性能、加工性能、物理性能和化学性能等)的操作工艺。工件热处理的目的是通过热处理这一重要手段,来改变(或改善)工件内部组织结构,从而获得所需要的性能并提高工件的使用寿命。

热处理工艺一般包括加热、保温、冷却三个过程,有时只有加热和冷却两个过程。这些过程互相衔接,不可间断。

加热是热处理的重要工序之一。金属加热时,工件暴露在空气中,常常发生氧化、脱碳(即钢铁零件表面碳含量降低),这对于热处理后零件的表面性能有很不利的影响。因而金属通常应在可控气氛或保护气氛中、熔融盐中和真空中加热,也可用涂料或包装方法进

行保护加热。

加热温度是热处理工艺的重要工艺参数之一,选择和控制加热温度,是保证热处理质量的主要问题。加热温度随被处理的金属材料和热处理的目的不同而异,但一般都是加热到相变温度以上,以获得高温组织。显微组织转变需要一定的时间,因此当金属工件表面达到要求的加热温度时,还须在此温度保持一定时间,使内外温度一致,使显微组织转变完全,这段时间称为保温时间。采用高能密度加热和表面热处理时,加热速度极快,一般就没有保温时间,而化学热处理的保温时间往往较长。

冷却也是热处理工艺过程中不可缺少的步骤,冷却方法因工艺不同而不同,主要是控制冷却速度。一般退火的冷却速度最慢,正火的冷却速度较快,淬火的冷却速度更快。钢种不同对冷却有不同的要求,例如空硬钢(空冷硬化钢的简称)就可以用正火的冷却速度进行淬硬。

在热处理时,因工件的大小不同,形状不同,材料的化学成分不同,要采用不同的加热速度、最高加热温度、保温时间和冷却速度。通常把加热速度、最高加热温度、保温时间和冷却速度称为工件热处理的四个要素,也称工艺参数。正确地确定工艺参数和保证实施好工艺,就能获得预期的效果,并将得到满意的性能。

从数学的观点看,热处理的质量是温度 and 时间的函数,所以工件的热处理工艺规范可用时间—温度为坐标表示出来。任何工件的热处理,都应包括四个重要因素:加热速度 $V$ 、最高加热温度 $T$ 、保温时间 $h$ 、冷却速度 $V_c$ 。图1-2为金属热处理规范示意图。

金属热处理工艺大体可分为整体热处理、表面热处理和化学热处理三大类。根据加热介质、加热温度和冷却方法的不同,每一大类又可分为若干不同的热处理工艺。同一种金属采用不同的热处理工艺,可获得不同的组织,从而具有不同的性能。钢铁是工业上应用最广的金属,而且钢铁显微组织也最为复杂,因此钢铁热处理工艺种类繁多。

整体热处理是对工件整体加热,然后以适当的速度冷却,以改变其整体力学性能的金属热处理工艺。钢铁整体热处理有退火、正火、淬火和回火四种基本工艺。

## 2. 整体热处理的基本知识

### 1) 退火

退火是将工件加热到适当温度,根据材料和工件尺寸采用不同的保温时间,然后在一定条件下进行缓慢冷却(冷却速度最慢),目的是使金属内部组织达到或接近平衡状态,获得良好的工艺性能和使用性能,可为进一步淬火作组织准备。退火后的金相显微组织如图1-3所示。

### 2) 正火

正火是将工件加热到适当的温度后在空气中冷却,正火的效果同退火相似,但正火的冷却速度稍快于退火,得到的组织也更细,常用于改善材料的切削性能,也可用于对一些要求不高的零件作为最终热处理,正火后的金相显微组织如图1-3(b)所示。

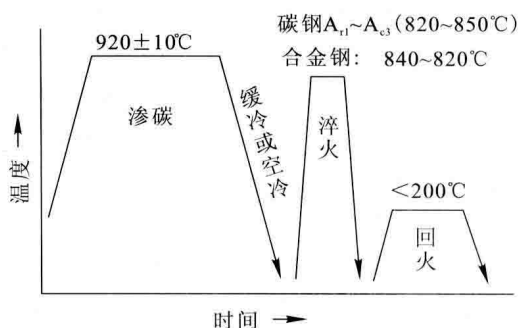


图 1-2 热处理规范示意图