

全国高职高专教育规划教材

# 机械工程基础

金旭星 主 编

Mechanical Engineering Foundation



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

全国高职高专教育规划教材

# 机械工程基础

Jixie Gongcheng Jichu

金旭星 主编



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容提要

本书是全国高职高专教育规划教材。

本书充分吸取了高职高专院校在探索培养高端技能型人才方面所取得的成功经验和教学改革成果,精选教学内容与更新基础相结合,既去除了理论性较强且不适应高职人才培养的内容,又增加了部分与专业密切的新知识。全书简明易懂,更具启发性,书中案例力求密切联系工程实际,注重培养学生的实践能力、应用能力和创新能力,充分体现“高等教育”和“职业教育”并重的高职教育特色。

全书共 13 章,包括机械工程材料、互换性技术基础、刚体静力学基础、杆件的拉压、圆轴的扭转、直梁的弯曲、平面运动机构、齿轮传动机构、其他常用机构、滚动轴承、轴与轴毂联接、液压传动基础、机构运动仿真及有限元分析等基本内容。其中,机构运动仿真及有限元分析内容属于选学内容。每章末均布置了一定量的典型习题,以加强读者对知识点的理解和掌握。

本书可作为高职高专院校机械类、近机械类及非机类专业学生学习机械工程基础课程的教材,也可供有关教师及工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械工程基础 / 金旭星主编. —北京: 高等教育出版社, 2012. 3

ISBN 978 - 7 - 04 - 034753 - 1

I. ①机… II. ①金… III. ①机械工程-高等职业教育-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 026645 号

|      |     |      |     |      |     |      |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 策划编辑 | 毛红斌 | 责任编辑 | 毛红斌 | 封面设计 | 张雨微 | 版式设计 | 马敬茹 |
| 插图绘制 | 尹莉  | 责任校对 | 胡晓琪 | 责任印制 | 张福涛 |      |     |

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
印 刷 北京七色印务有限公司  
开 本 787mm × 1092mm 1/16  
印 张 13.5  
字 数 330 千字  
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
版 次 2012 年 3 月第 1 版  
印 次 2012 年 3 月第 1 次印刷  
定 价 20.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 34753-00

# 前 言

为适应当前及今后相当时间高职院校“2+1”或“2.5+0.5”的教育模式要求,对专业技术基础课进行有机融合是一种必然趋势。

本书从高职教育培养高端技能型人才的定位出发,以“必需、够用”为原则构建课程教学内容,把金属材料及热处理、互换性技术、工程力学、机械设计基础、液压传动等常规课程内容优化整合;同时,选编了机械方面较前沿的知识内容,以此来构建“机械工程基础”课程。学生通过对本书的学习和实践,可具备一定的机械基础理论以及高等技术应用能力。

在内容组织上,本书共分13章。在内容的编排上,本书力求知识体系清晰完整、循序渐进,语言规范、通俗易懂,本书所涉及的机电产品标准件,均配以典型实物照片进行说明,图文并茂,体现了高职教育课程的建设特色。

在内容的创新方面,为使学生多了解现代机械方面较前沿的知识,具备一定的可持续发展能力,本书选编了新型工程材料简介,利用Pro/E软件对机构进行运动仿真及有限元静力分析等选学内容,体现了本书的先进性。

本书建议学时为110学时左右,具体分配见参考学时分配表。

参考学时分配表

| 序号 | 授课内容          | 学时分配 |    |
|----|---------------|------|----|
|    |               | 讲课   | 实践 |
| 1  | 机械工程材料        | 8    | 2  |
| 2  | 互换性技术基础       | 6    | 2  |
| 3  | 刚体静力学基础       | 10   | 0  |
| 4  | 杆件的拉压         | 6    | 0  |
| 5  | 圆轴的扭转         | 4    | 2  |
| 6  | 直梁的弯曲         | 6    | 2  |
| 7  | 平面运动机构        | 6    | 2  |
| 8  | 齿轮传动机构        | 12   | 2  |
| 9  | 其他常用机构        | 8    | 0  |
| 10 | 滚动轴承          | 6    | 0  |
| 11 | 轴毂联接          | 6    | 2  |
| 12 | 液压传动基础        | 8    | 0  |
| 13 | 机构的运动仿真及有限元分析 | 6    | 4  |
| 合计 |               | 92   | 18 |

## II 前言

---

本书由无锡职业技术学院机械设计教研室组织编写。第1、3、4、13章由无锡职业技术学院金旭星编写,第2、12章由浙江商业职业技术学院余有芳编写,第5、6、8章由河南农业职业学院徐宏伟编写,第7、9、10、11章由无锡职业技术学院吕伟文编写,全书由金旭星担任主编。浙江大学盛奎川教授对全书进行了认真仔细的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者  
2012年2月

# 目 录

|              |                      |    |               |                            |     |
|--------------|----------------------|----|---------------|----------------------------|-----|
| <b>第 1 章</b> | <b>机械工程材料</b> .....  | 1  | <b>第 7 章</b>  | <b>平面运动机构</b> .....        | 91  |
| 1.1          | 金属材料的性能 .....        | 1  | 7.1           | 平面机构自由度与<br>运动副 .....      | 92  |
| 1.2          | 常用金属材料 .....         | 6  | 7.2           | 平面机构运动简图 .....             | 94  |
| 1.3          | 常用非金属材料 .....        | 10 | 7.3           | 机构具有确定运动的<br>条件 .....      | 97  |
| 1.4          | 新型工程材料简介 .....       | 11 | 7.4           | 平面四杆机构 .....               | 100 |
| 1.5          | 金属的热处理 .....         | 14 | 习题 .....      | 105                        |     |
| 1.6          | 机械零件材料的选用 .....      | 17 | <b>第 8 章</b>  | <b>齿轮传动机构</b> .....        | 108 |
| 习题 .....     | 18                   |    | 8.1           | 齿轮传动的特点及<br>类型 .....       | 108 |
| <b>第 2 章</b> | <b>互换性技术基础</b> ..... | 20 | 8.2           | 渐开线齿廓 .....                | 111 |
| 2.1          | 互换性的意义 .....         | 20 | 8.3           | 直齿圆柱齿轮的主要<br>参数及几何尺寸 ..... | 112 |
| 2.2          | 尺寸公差 .....           | 21 | 8.4           | 渐开线直齿圆柱齿轮的<br>啮合传动 .....   | 114 |
| 2.3          | 几何公差 .....           | 28 | 8.5           | 渐开线直齿圆柱齿轮的<br>加工 .....     | 116 |
| 习题 .....     | 41                   |    | 8.6           | 斜齿圆柱齿轮传动 .....             | 117 |
| <b>第 3 章</b> | <b>刚体静力学基础</b> ..... | 44 | 8.7           | 直齿锥齿轮传动 .....              | 119 |
| 3.1          | 静力分析基础 .....         | 44 | 8.8           | 蜗杆传动 .....                 | 120 |
| 3.2          | 平面力系的平衡方程 .....      | 50 | 8.9           | 定轴轮系 .....                 | 123 |
| 习题 .....     | 57                   |    | 习题 .....      | 124                        |     |
| <b>第 4 章</b> | <b>杆件的拉压</b> .....   | 60 | <b>第 9 章</b>  | <b>其他常用机构</b> .....        | 127 |
| 4.1          | 杆件拉压时的内力 .....       | 61 | 9.1           | 带传动机构 .....                | 127 |
| 4.2          | 杆件的拉压强度 .....        | 62 | 9.2           | 链传动机构 .....                | 130 |
| 4.3          | 杆件的拉压变形 .....        | 65 | 9.3           | 凸轮机构 .....                 | 133 |
| 习题 .....     | 67                   |    | 9.4           | 螺旋机构 .....                 | 135 |
| <b>第 5 章</b> | <b>圆轴的扭转</b> .....   | 69 | 习题 .....      | 136                        |     |
| 5.1          | 圆轴的扭转内力 .....        | 70 | <b>第 10 章</b> | <b>滚动轴承</b> .....          | 139 |
| 5.2          | 圆轴的扭转强度 .....        | 72 | 10.1          | 滚动轴承的结构及<br>类型 .....       | 139 |
| 习题 .....     | 75                   |    |               |                            |     |
| <b>第 6 章</b> | <b>直梁的弯曲</b> .....   | 78 |               |                            |     |
| 6.1          | 直梁的弯曲内力 .....        | 79 |               |                            |     |
| 6.2          | 直梁的弯曲强度 .....        | 83 |               |                            |     |
| 6.3          | 提高梁抗弯强度的措施 .....     | 85 |               |                            |     |
| 习题 .....     | 88                   |    |               |                            |     |

---

|               |                    |     |               |                          |     |
|---------------|--------------------|-----|---------------|--------------------------|-----|
| 10.2          | 滚动轴承的代号            | 143 | 12.4          | 液压马达                     | 172 |
| 10.3          | 滚动轴承的寿命<br>计算      | 144 | 12.5          | 液压辅助元件                   | 173 |
|               | 习题                 | 148 |               | 习题                       | 175 |
| <b>第 11 章</b> | <b>轴和轴毂联接</b>      | 150 | <b>第 13 章</b> | <b>机构运动仿真及有限元<br/>分析</b> | 177 |
| 11.1          | 轴的分类               | 150 | 13.1          | 运动仿真及有限元<br>分析的意义        | 177 |
| 11.2          | 轴的结构设计             | 153 | 13.2          | Pro/E 机构运动仿真<br>分析       | 178 |
| 11.3          | 轴毂联接               | 156 | 13.3          | Pro/E 有限元分析              | 192 |
|               | 习题                 | 160 |               | 习题                       | 198 |
| <b>第 12 章</b> | <b>液压传动基础</b>      | 162 | <b>附录 I</b>   | <b>常用型钢规格表</b>           | 200 |
| 12.1          | 液压传动的工作原理<br>及系统组成 | 163 | <b>附录 II</b>  | <b>常用滚动轴承</b>            | 204 |
| 12.2          | 液压传动的工作<br>介质      | 166 |               | <b>主要参考文献</b>            | 208 |
| 12.3          | 液压泵                | 169 |               |                          |     |

# 第 1 章

## 机械工程材料

### 学习目标



- (1) 了解工程材料的主要类型及应用特点。
- (2) 掌握金属材料的力学性能特点。
- (3) 了解测定材料硬度的类型及方法。
- (4) 掌握常用黑色金属的类型及应用特点。
- (5) 理解各种钢热处理方法的应用特点。

### 1.1 金属材料的性能

金属材料是人类社会发展的重要物质基础,它是现代工程技术发展的重要支柱之一。金属材料具备许多优异的性能,这些性能可分为两类:一类是使用性能,反映材料在使用过程中所表现出来的特性,如力学性能、物理性能和化学性能。另一类是工艺性能,反映材料在加工制造过程中所表现出来的特性。

#### 1.1.1 金属材料的力学性能

任何一台机器都是由零件、部件组成的,而零件在使用时都承受外力的作用。材料在外力作用下所表现出来的特性就是力学性能。它的主要指标是强度、刚度、硬度、塑性、冲击韧性和疲劳强度等。这些指标既是选材的重要依据,又是控制、检验材料质量的重要参数。

材料受外力作用时会引起尺寸与形状的改变,这种外力叫载荷,尺寸和形状的改变叫变形。载荷与变形的关系可用试验的方法测定。

##### 1. 强度

强度是材料在载荷作用下抵抗塑性变形或破坏的能力。抵抗外力的能力越大,则材料强度越高。抵抗塑性变形的能力称为屈服强度,抵抗破坏的能力称为破坏强度。

材料受到外力作用时,在材料内部将产生一个抵抗变形及破坏的力,由于该力的性质属于材料内部不同截面上的相互作用,故称为内力。需要说明的是,内力总是成对出现且等值、反向、共



线,内力的合力恒为零。但内力与外力的划分又与所取对象的范围有关。随所取对象的范围不同,内力与外力是可以互相转化的。

在单位截面面积上产生的内力称为应力,工程上单位常用兆帕、吉帕,  $1 \text{ MPa}$ (兆帕) =  $1 \text{ N/mm}^2$ ,  $1 \text{ GPa}$ (吉帕) =  $1\ 000 \text{ MPa}$ 。

一般把垂直于受力截面的应力分量称为正应力,用  $\sigma$  表示;相切于截面的应力分量称为剪应力或切应力,用  $\tau$  表示。

## 2. 刚度

刚度是指零件在载荷作用下,在弹性范围内抵抗变形的能力。抵抗变形的能力越大,则零件的刚度越高。零件的最大刚度与材料的性质及零件的形状尺寸有关。刚度一般以绝对或平均变形量表示。

在机械工程中,强度和刚度分别以应力和变形量的实际值与许用值进行比较的形式进行衡量和评判。

## 3. 硬度

硬度是指金属材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划伤的能力。因此硬度也可以看做是材料对局部塑性变形的抗力。

硬度是衡量材料性能的一个综合的工程量或技术量。通常材料硬度越高,耐磨性越好,强度也越高。

测定硬度的方法很多,常用的有布氏硬度测试法和洛氏硬度测试法。测定硬度的工具称为硬度计,如图 1-1 所示。



图 1-1 硬度计

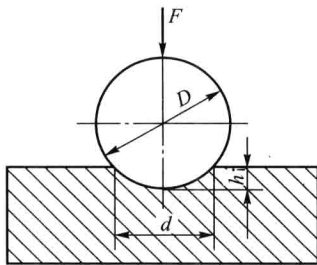


图 1-2 布氏硬度试验原理

(1)布氏硬度及其测定。试验原理如图 1-2 所示,将直径为  $D$  的淬硬钢球,在规定载荷  $F$  的作用下压入被测金属表面,保持一定时间后卸除载荷,测定残留压痕直径  $d$ ,求出压痕球冠形的表面积  $A$ ,压痕单位面积上所承受的平均压力即为布氏硬度值。

当试验载荷和球体直径一定时,压痕直径  $d$  越大,则布氏硬度值越小,即材料的硬度越低。在实际应用时,只要测出压痕直径  $d$ ,就可在专用表中查出相应的布氏硬度值,符号为 HBS 或 HBW。

布氏硬度试验的优点是测定的数据准确稳定,数据重复性强,但压痕的面积较大,对金属表面的损伤也大,而且不易测定太薄零件的硬度,也不适合于测定表面质量要求较高的成品件硬度。布氏硬度试验一般多适用于测定原材料、半成品及微小部分性能不均匀的材料的硬度。

(2)洛氏硬度及其测定。洛氏硬度的测定与布氏硬度测定类似,将锥顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为  $1.5875 \text{ mm}$  的淬火钢球作为压头,以一定的载荷压入被测金属材料的表层,然后根据压痕的深度来确定硬度值。在相同的试验条件下,压痕深度越小,则材料的硬度值越高。

洛氏硬度值没有单位,只是根据不同的试验材料、不同的压头和所加压力大小,分 HRA、HRB、HRC 三种标记。其中 HRA 与 HRC 是用锥顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体为压头,采用的总载荷分别为  $588 \text{ N}$  与  $1\ 471 \text{ N}$ ;而 HRB 值的测定则采用直径为  $1.5875 \text{ mm}$  的淬火钢球作为压头,总载荷为  $980 \text{ N}$ 。中等硬度材料可用 HRC 测量,软材料用 HRB 测量,较硬的材料用

HRA 测量,其中 HRC 应用最广。

与布氏硬度相比,洛氏硬度试验操作简单、方便、迅速,适用的硬度范围广,可用来测量薄片和成品,但测量结果不如布氏硬度精确,故至少需在试样上不同部位测定三点,取其算术平均值。洛氏硬度试验不宜用于测定各微小部分性能不均匀的材料,其余材料均可根据硬度的不同,在 HRA、HRB、HRC 中选择对应的测量方法。

(3)维氏硬度及其测定。测定维氏硬度时,以顶角为  $136^\circ$  的金刚石四棱锥体,在较小的载荷(常用  $50\sim 1\,000\text{ N}$ )作用下压入被测材料表面,并按规定保持一定时间,然后用附在试验计上的显微镜测量压痕的对角线长度,以凹痕单位面积上所承受的压力作为维氏硬度值,用符号 HV 表示。维氏硬度法所测得的压痕轮廓清晰,数值较准确,测量范围广,采用较小的压力可以测量硬度高的薄件而不致于将被测件压穿。

#### 4. 塑性

塑性是指材料断裂前发生不可逆永久变形的能力。材料断裂前的塑性变形愈大,表示它的塑性愈好,反之则表示其塑性差。常用的塑性指标是断后伸长率和断面收缩率。

(1)断后伸长率。断后伸长率是指试样(图 1-3)拉断后的标距伸长量与原始标距的百分比,即标距的相对伸长,用  $\delta$  表示,计算式为:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中: $l_0$ ——试样原始的标距长度;

$l_1$ ——试样断裂后的标距长度。

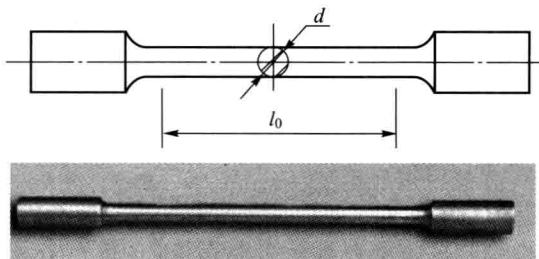


图 1-3 拉伸试样

(2)断面收缩率。断面收缩率是指试样拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用符号  $\psi$  表示,计算式为:

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中: $A_0$ ——试样的原始横截面积;

$A_1$ ——试样拉断后缩颈处的最小横截面积。

工程上常将延伸率大于 5% 的材料称为塑性材料,而将延伸率小于 5% 的材料称为脆性材料。对于塑性材料,其常用的强度指标是屈服极限,且其抗拉与抗压强度基本相等;对于脆性材料,其抗拉强度一般小于其抗压强度,其抵抗冲击载荷的能力更差。

拉伸试验是测定静态力学性能指标的常用方法。通常将材料制成标准试样,装在拉伸试验机上(图 1-4),对试样缓慢施加拉力,使之不断地产生变形,直到拉断试样为止。根据拉伸试验

过程中的载荷和对应的变形量关系,可画出材料的拉伸曲线。如图1-5所示为低碳钢的拉伸曲线。对于塑性材料的拉伸曲线,一般可分为弹性 $Oe$ 、屈服 $es$ 、强化 $sb$ 、颈缩 $bk$ 四个阶段;对于脆性材料的拉伸曲线,则没有明显的屈服和颈缩阶段。

图1-5中的纵坐标表示载荷 $F$ ,横坐标表示变形量 $\Delta l$ 。通过拉伸曲线可测定材料的强度与塑性。图中 $s$ 点及 $b$ 点的 $F/A$ 值称为该材料的屈服极限 $\sigma_s$ 及强度极限 $\sigma_b$ 。

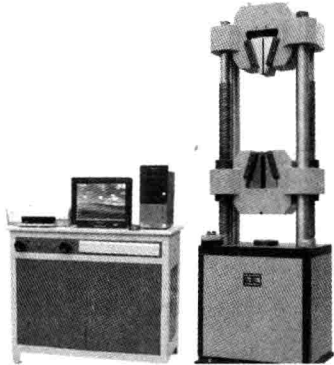


图 1-4 拉伸试验机

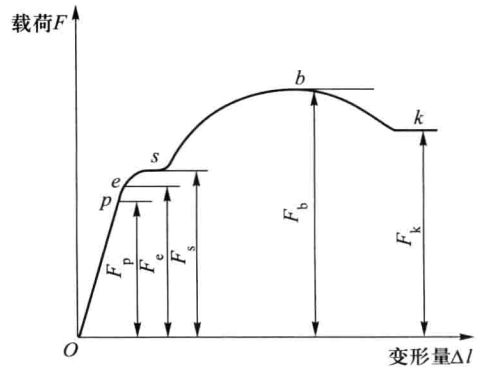


图 1-5 低碳钢拉伸曲线

## 5. 疲劳强度

材料在循环应力作用下,在一处或几处产生局部永久性累积损伤,经一定循环次数后产生裂纹或突然产生断裂的过程称为疲劳,这种破坏称为疲劳破坏。

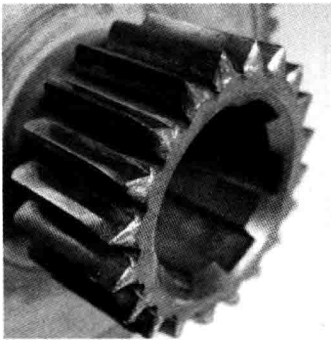


图 1-6 疲劳破坏的齿轮

许多机械零件,如各种轴、齿轮、弹簧、连杆等经常受到大小或方向周期性变化的载荷作用。这种交变载荷常常会使材料在小于其破坏强度极限,甚至小于其屈服极限的情况下,经多次循环后,在没有明显的外观变形时发生断裂。如图1-6所示为疲劳破坏的齿轮。

疲劳断裂与静载荷下断裂不同,无论是脆性材料还是塑性材料,疲劳破坏都是突然发生的,常常会造成严重事故,具有很大的危害。

金属零件的疲劳破坏与很多因素有关,人们可通过改善零件的结构形状,避免应力集中,改善表面粗糙度,进行表面热处理和表面强化处理来提高金属材料的疲劳强度。

### 1.1.2 金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是指金属材料所具有的能够适应各种加工工艺要求的能力,它是力学、物理、化学性能的综合表现。它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

#### 1. 铸造性能

铸造是将熔融金属浇入与工件形状相应的铸造型腔中,待其冷却后,得到毛坯或零件的成型方法,如图1-7所示。

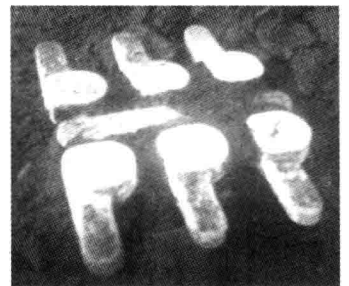


图 1-7 金属材料的铸造

铸造性能是指金属在铸造生产中表现出的工艺性能,如流动性、收缩性、偏析性及吸气性等。如果某一金属材料在液态时流动能力大,不容易吸收气体,冷凝过程中收缩小,凝固后铸件的化学成分均匀,则认为这种金属材料具有良好的铸造性能。在常用的金属材料中,灰铸铁和青铜有良好的铸造性能。

## 2. 锻造性能

锻造是一种利用锻压机械对金属坯料施加压力,使其产生塑性变形以获得具有一定机械性能、一定形状和尺寸锻件的加工方法,如图 1-8 所示。

锻造性能是指锻造金属材料的难易程度。若金属材料在锻造时塑性好(能发生大的塑性变形而不破坏),变形抗力小(锻造时消耗能量小),则称该金属锻造性能好;反之,则锻造性能差。所以金属的锻造性能是金属的塑性和变形抗力两者的综合。

钢的锻造性能与化学成分有关,低碳钢的锻造性能比中碳钢、高碳钢好;普通碳钢的锻造性能比同样含碳量的合金钢好;铸铁则没有锻造性能。

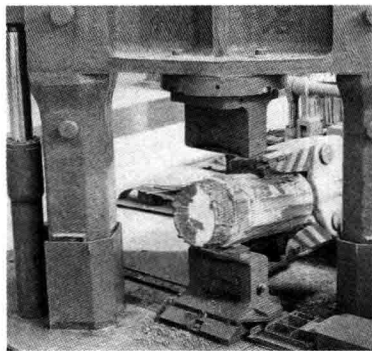


图 1-8 金属材料的锻造

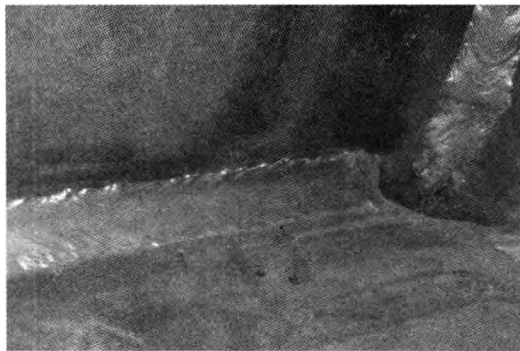


图 1-9 材料的焊接

## 3. 焊接性能

焊接是被焊工件的材质(同种或异种)通过加热、加压或两者并用,并且用或不用填充材料,使工件的材质达到原子间的结合而形成永久性连接的工艺,如图 1-9 所示。

焊接性能是指金属材料对焊接成形的适应性,也就是指在一定的焊接工艺条件下金属材料获得优质焊接接头的难易程度。焊接性能好的材料可用一般的焊接方法和焊接工艺进行焊接,焊缝中不易产生气孔、夹渣或裂纹等缺陷,其焊接接头强度与母材相近。焊接性能差的金属材料要采用特殊的焊接方法和工艺才能进行焊接。

金属的焊接性能很大程度上受金属本身材质(如化学成分)的影响。在常用金属材料中低碳钢有良好的焊接性能,而高碳钢和铸铁焊接性能则较差。

## 4. 切削加工性能

切削加工是一种用切削工具(包括刀具、磨具和磨料)把坯料或工件上多余的材料层切去,使工件获得规定的几何形状、尺寸和表面质量的加工方法,如图 1-10 所示。

切削加工性能是指金属材料被切削加工的难易程度。金属材料的切削加工性能不仅与材料本身的化学成分、金相组

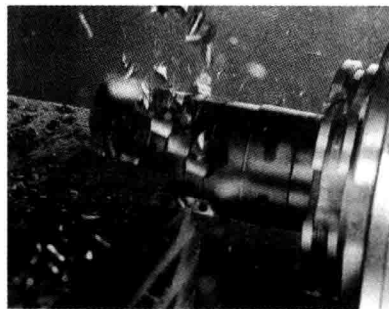


图 1-10 材料的切削加工

织有关,还与刀具的几何参数等因素有关。通常可根据材料的硬度和韧性对材料的切削加工性能作大致的判断。工件材料硬度过高,刀具易磨损,寿命短,甚至不能切削加工;硬度过低,容易黏刀,且不易断屑,加工后表面粗糙,所以硬度过高或过低、韧性过大的材料,其切削性能较差。碳钢硬度为150~250HBS时,有较好的切削加工性;灰口铸铁具有良好的切削加工性能。

## 1.2 常用金属材料

金属材料是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。金属材料一般可分为黑色金属材料和有色金属材料两类。黑色金属主要指铁、锰、铬及其合金,如钢、生铁、铁合金、铸铁等,黑色金属以外的金属称为有色金属。

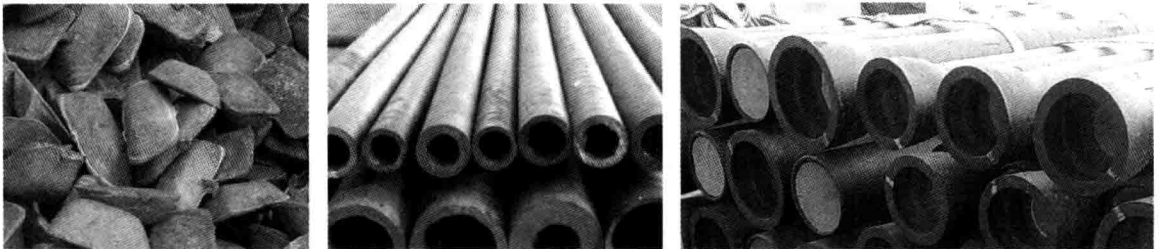
### 1.2.1 黑色金属材料

#### 1. 铸铁

铸铁是含碳质量分数大于2.11%的铁碳合金。由于铸铁具有良好的铸造性、吸振性、切削加工性及一定的力学性能,并且价格低廉、生产设备简单。所以在机器零件材料中占有很大的比重,广泛地用来制作各种机架、底座、箱体、缸套等形状复杂的零件。

根据碳在铸铁中存在的形态不同,铸铁可分为下列几种。

(1)白口铁。白口铁非常脆硬,切削加工困难。工业上很少直接用它来制造机器零件,而主要作为炼钢的原料,故又名生铁,其断口呈亮白色,如图1-11(a)所示。



(a) 白口铁

(b) 灰铸铁

(c) 球墨铸铁

图 1-11 铸铁材料

(2)灰铸铁。灰铸铁具有良好的铸造性、耐磨性、抗振性和切削加工性,因此是目前生产中用得最多的一种铸铁,如图1-11(b)所示。灰铸铁的牌号是用两个汉语拼音字母和一组力学性能数值来表示的。灰铸铁有HT100、HT150、HT200、HT250、HT300和HT350六个牌号,牌号中“HT”是“灰铁”两字汉语拼音的第一个字母,其后的数字表示其最低的抗拉强度。表1-1所示为常用灰铸铁的牌号、力学性能及应用。

表 1-1 常用灰铸铁的牌号、力学性能及应用(部分摘自 GB/T 9439—2010)

| 类别                | 牌号    | 铸铁壁厚<br>/mm | 抗拉强度<br>$\sigma_b$ /MPa | 硬度/HBS <sup>①</sup> | 用途举例   |
|-------------------|-------|-------------|-------------------------|---------------------|--|
| 铁素体<br>灰铸铁        | HT100 | 2.5~10      | $\geq 130$              | 110~166             | 低载荷和不重要的零件,如盖、外罩、手轮、<br>支架、底板、手柄等  |
|                   |       | 10~20       | $\geq 100$              | 93~140              |  |
|                   |       | 20~30       | $\geq 90$               | 87~131              |  |
|                   |       | 30~50       | $\geq 80$               | 82~122              |  |
| 铁素体<br>珠光体<br>灰铸铁 | HT150 | 2.5~10      | $\geq 175$              | 137~205             | 承受中等应力的铸件,如普通机床的支柱、<br>底座、齿轮箱、刀架、床身、轴承座、工作台、<br>带轮、泵壳、阀体、法兰、管路及一般工作条<br>件的零件                           |
|                   |       | 10~20       | $\geq 145$              | 119~179             |  |
|                   |       | 20~30       | $\geq 130$              | 110~166             |  |
|                   |       | 30~50       | $\geq 120$              | 105~157             |  |
| 珠光体<br>灰铸铁        | HT200 | 2.5~10      | $\geq 220$              | 157~236             | 承受较大应力和要求一定气密性或耐蚀性<br>的较重要铸件,如汽缸、齿轮、机座、机床床<br>身、立柱、汽缸体、汽缸盖、活塞、制动轮、泵<br>体、阀体、化工容器等                      |
|                   |       | 10~20       | $\geq 195$              | 148~222             |  |
|                   |       | 20~30       | $\geq 170$              | 134~200             |  |
|                   |       | 30~50       | $\geq 160$              | 129~192             |  |
|                   | HT250 | 4.0~10      | $\geq 270$              | 175~262             |  |
|                   |       | 10~20       | $\geq 240$              | 164~247             |  |
|                   |       | 20~30       | $\geq 220$              | 157~236             |  |
|                   |       | 30~50       | $\geq 200$              | 150~225             |  |
| 孕育<br>铸铁          | HT300 | 10~20       | $\geq 209$              | 182~272             | 承受高的应力,要求耐磨、高气密性的重要<br>铸件,如剪床、压力机、自动机床和重型机<br>床床身、机座、机架、齿轮、凸轮、衬套、大型<br>发动机曲轴、汽缸体、缸套、高压油缸、水<br>缸、泵体、阀体等 |
|                   |       | 20~30       | $\geq 250$              | 168~251             |  |
|                   |       | 30~50       | $\geq 230$              | 161~241             |  |
|                   | HT350 | 10~20       | $\geq 340$              | 199~298             |  |
|                   |       | 20~30       | $\geq 290$              | 182~272             |  |
|                   |       | 30~50       | $\geq 260$              | 171~257             |  |

(3)球墨铸铁。球墨铸铁是一种性能优良的铸铁,如图 1-11(c)所示。其强度、塑性和韧性等力学性能远远超过灰铸铁而接近于普通碳素钢,同时又具有灰铸铁的一系列优良性能,如良好的铸造性、耐磨性、切削加工性和低的缺口敏感性等。因此球墨铸铁常用于制造承受冲击载荷的零件,如传递动力的齿轮、曲轴、连杆等。

球墨铸铁的牌号用两个汉语拼音字母和两组力学性能数值来表示。如 QT400-17,牌号中“QT”是“球铁”两字汉语拼音的第一个字母,其后两组数字分别表示最低抗拉强度为 400MPa,最低伸长率为 17%。表 1-2 所示为常用球墨铸铁的牌号、力学性能及应用。

<sup>①</sup> 国家标准 GB/T231.1—2002《金属布氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》中规定布氏硬度只用 HBW 表示,但是其他标准中许多材料仍按照旧标准的试验方法采用 HBS(淬火钢球做压头)和 HBW 表示硬度,所以本书中还会出现 HBS。

表 1-2 常用球墨铸铁的牌号、力学性能及应用(部分摘自 GB/T 1348—2009)

| 基本类型      | 牌号       | 力学性能            |                     |             |         | 用途举例   |
|-----------|----------|-----------------|---------------------|-------------|---------|--|
|           |          | $\sigma_b$ /MPa | $\sigma_{0.2}$ /MPa | $\delta$ /% | HBS     |  |
|           |          | 不小于             |                     |             |         |  |
| 铁素体       | QT400-18 | 400             | 250                 | 18          | 130~180 | 农机具犁铧、犁柱；汽车拖拉机轮毂、离合器壳、差速器壳、拨叉；阀体、阀盖、汽缸；铁路垫板、电动机壳、飞轮壳等  |
|           | QT400-15 | 400             | 250                 | 15          | 130~180 |  |
|           | QT450-10 | 450             | 310                 | 10          | 160~210 |  |
| 铁素体+珠光体   | QT500-7  | 500             | 320                 | 7           | 170~230 | 内燃机油泵齿轮；铁路机车轴瓦、机器座架；传动轴、飞轮、电动机等                        |
| 珠光体+铁素体   | QT600-3  | 600             | 370                 | 3           | 190~270 | 柴油机/汽油机曲轴、凸轮轴、汽缸套、连杆；部分磨床、铣床、车床主轴；农机具脱粒机齿条、负荷齿轮；起重机滚轮； |
| 珠光体       | QT700-2  | 700             | 420                 | 2           | 225~305 | 小型水轮机主轴等   |
| 珠光体或回火组织  | QT800-2  | 800             | 480                 | 2           | 245~335 |  |
| 贝氏体+回火马氏体 | QT900-2  | 900             | 600                 | 2           | 280~360 | 内燃机曲轴、凸轮轴；汽车螺旋齿轮、转向轴；拖拉机减速齿轮；农具犁铧等                     |

(4)可锻铸铁。可锻铸铁是由白铸铁经长时间高温石墨化退火而得到的一种铸铁。可锻铸铁实际上并不能锻造，“可锻”仅表示它具有一定的塑性，其强度比灰铸铁高，但铸造性能比灰铸铁差，由于它生产周期长，工艺复杂且成本高，已逐渐被球墨铸铁所取代。

可锻铸铁的牌号用三个汉语拼音字母和两组力学性能数值来表示。如“KTH”表示黑心可锻铸铁，“KTZ”表示珠光体可锻铸铁，“KTB”表示白心可锻铸铁。如 KTH350-10 表示黑心可锻铸铁，最低抗拉强度为 350 MPa，最低断后伸长率为 10%。

## 2. 碳素钢

通常把含碳质量分数在 2.11% 以下的铁碳合金称为钢。实际应用的碳素钢含有少量的杂质，如硅(Si)、锰(Mn)、硫(S)、磷(P)等。碳素钢可以轧制成板材和型材，也可以锻造成各种形状的锻件。

按含碳质量分数分为：

低碳钢——含碳质量分数 $\leq 0.25\%$ ；

中碳钢—— $0.25\% < \text{含碳质量分数} \leq 0.6\%$ ；

高碳钢——含碳质量分数 $> 0.6\%$ 。

按钢的质量，即主要根据钢中有害杂质(硫、磷)的含量可分为：

普通碳素钢——含硫质量分数 $\leq 0.055\%$ ；含磷质量分数 $\leq 0.045\%$ ；

优质碳素钢——含硫质量分数 $\leq 0.045\%$ ；含磷质量分数 $\leq 0.040\%$ ；

高级优质碳素钢——含硫质量分数 $\leq 0.03\%$ ；含磷质量分数 $\leq 0.035\%$ 。

按用途分为:

碳素结构钢——主要用于制造各种工程构件(如桥梁、船舶、建筑用钢)和机器零件(如齿轮、轴、连杆、螺栓、螺钉等)。这类钢一般属于低、中碳钢。

碳素工具钢——主要用于制造各种刀具、量具、模具。这类钢一般属于高碳钢。

### 3. 合金钢

为了提高钢的性能,有意识地在碳素钢中加入一定量的合金元素(如硅、锰、铬、镍、钼、钒、钛等),即炼成合金钢。由于合金元素的加入,细化了钢的晶粒,提高了钢的综合力学性能。合金钢按用途一般可分为合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢三类。

## 1.2.2 有色金属材料

有色金属作为现代工业技术中不可缺少的重要材料,具有一些黑色金属材料不具备的特殊性能,如良好的导热性、导电性及耐腐蚀性等。以下介绍几种常见有色金属材料。

### 1. 铜与铜合金

(1)纯铜。纯铜外观呈紫红色,又称紫铜。它具有良好的导电、导热性能,极好的塑性及较好的耐腐蚀性,但力学性能较差,不宜用来制造结构零件,常用来制造导电材料和耐腐蚀性元件。

(2)黄铜。黄铜是铜与锌的合金。它色泽美观,有良好的防腐性能及机械加工性能。黄铜中锌的含量在30%左右,随着锌的含量增加,强度增加而塑性下降。黄铜可以铸造,也可以压力加工。除了铜和锌以外,再加入少量其他元素的铜合金叫特殊黄铜,如锡黄铜、铅黄铜等。黄铜一般用于制造耐腐蚀和耐磨零件,如阀门、子弹壳、管件等。

(3)青铜。除黄铜和白铜(铜镍合金)外,其余铜合金统称为青铜。铜锡合金称为锡青铜,其余青铜称为无锡青铜。

锡青铜是铜与锡的合金。它有很好的力学性能、铸造性能、耐腐蚀性和减摩性,是一种很重要的减摩材料。主要用于制造摩擦零件和耐腐蚀零件,如蜗轮、轴瓦、衬套等。

除锡以外的其他合金元素与铜组成的合金,统称为无锡青铜。主要包括铝青铜、硅青铜和铍青铜等。它们通常作为锡青铜的代用材料使用。

### 2. 铝及铝合金

(1)纯铝。纯铝是一种密度小( $2.72\text{ g/cm}^3$ ),熔点低( $660\text{ }^\circ\text{C}$ ),导电、导热性好,塑性好,强度、硬度低的金属。由于铝表面能生成一层极致密的氧化铝膜,能阻止铝继续氧化,故铝在空气中具有良好的抗腐蚀能力,主要用做导电材料或制造耐腐蚀零件。

(2)铝合金。铝中加入适量的铜、镁、硅、锰等元素即构成了铝合金。它具有足够的强度、较好的塑性和良好的抗腐蚀性,且多数可热处理强化,根据铝合金的成分及加工成形特点,可分为变形铝合金和铸造铝合金两大类。

变形铝合金具有较高的强度和良好的塑性,可通过压力加工制作各种半成品,可以焊接。主要用做各类型材和结构件,如飞机构架、螺旋桨、起落架等。

变形铝合金又可按性能及用途分为防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金、锻铝合金和特殊铝合金等五种。它们的牌号以相应的汉语拼音字母加上序号数字表示。例如:防锈铝合金以LF表示;硬铝合金以LY表示;超硬铝合金以LC表示;锻铝合金以LD表示;特殊铝合金以LT表示。



铸造铝合金包括铝镁、铝锌、铝硅、铝铜等合金。它们有良好的铸造性能,可以铸成各种形状复杂的零件,但塑性差,不宜进行压力加工。应用最广的是硅铝合金,称为硅铝明。各类铸造铝合金的代号均以“ZL”加三位数字组成,第一位数字表示合金类别,第二、三位数字是顺序号,如ZL102、ZL201等。

### 3. 轴承合金

轴承合金是用来制造滑动轴承的特定材料。对轴承合金的要求是:摩擦系数小、耐磨性好、抗压强度高、导热性好等。

(1)锡基轴承合金(锡基巴氏合金)。锡基合金中含有锑和铜等元素。例如ZSnSb11Cu6,Z代表铸造,含Sb为11%,含Cu为6%,其余为Sn。

(2)铅基轴承合金(铅基巴氏合金)。铅基合金中含有锑、锡和铜等元素,常用的合金有ZPbSb16Sn16Cu2,含Sb为16%,含Sn为16%,含Cu为2%,其余为Pb。

## 1.3 常用非金属材料

非金属材料由非金属元素或化合物构成的材料。自19世纪以来,随着生产和科学技术的进步,尤其是无机化学和有机化学工业的发展,人类以天然的矿物、植物、石油等为原料,制造和合成了许多新型非金属材料,如水泥、人造石墨、特种陶瓷、合成橡胶、合成树脂(塑料)、合成纤维等。这些非金属材料因具有各种优异的性能,为天然的非金属材料和某些金属材料所不及,从而在近代工业中的用途不断扩大,并迅速发展。

### 1. 工程塑料

塑料是一种以合成树脂为主要成分,加上其他添加剂(如增强剂、增塑剂、固化剂、稳定剂等)组成的高分子有机化合物。

按受热后所表现的性能不同,塑料可分为热塑性塑料和热固性塑料两大类。

热塑性塑料经加热后软化并熔融成流动的黏稠液体,冷却后即成形固化,此过程是物理变化,可反复多次进行,其性能并不发生显著变化,如聚乙烯、聚氯乙烯、聚酰胺(尼龙)等。这类塑料的优点是成形加工简便,具有较高的机械性能,可多次回收利用,缺点是耐热性和刚性较差。

热固性塑料经加热后软化,冷却后成形固化,发生化学变化,再加热时不再转化(即变化是不可逆的),如酚醛、环氧、氨基塑料等。这类塑料具有耐热性高,受压不易变形等优点。缺点是力学性能不好,但可加入填料,以提高其强度。

工程塑料是指用以代替金属材料作为工程结构的塑料。它们的机械强度高、质轻、绝缘、减摩、耐磨,或具备耐热、耐蚀等特种性能,成形工艺简单,生产效率高,是一种良好的工程材料。

常用的工程塑料有:

(1)ABS塑料。具有硬、韧、刚的综合特性,力学性能较好,并且耐热、耐腐蚀,易于成形加工,常用来做泵的叶轮、齿轮、家用电器的外壳以及小轿车车身等。

(2)聚酰胺(PA)。又名尼龙,是热塑性塑料。它具有坚韧、耐磨、耐疲劳、耐油、耐水、无毒等优良的综合性能,可用做一般机械零件,减摩、耐磨件及传动件,如轴承、齿轮、蜗轮、高压密封圈等。