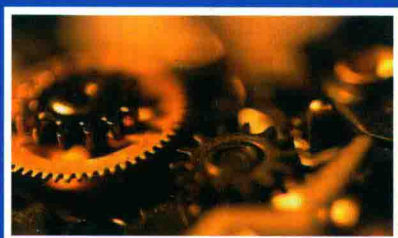


# 金工实习教程

JINGONG SHIXI JIAOCHENG

主编 康进兴 杨竹芳 何卫锋  
主审 李应红



国防工业出版社  
National Defense Industry Press



# 金工实

|    |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|
| 主编 | 康进兴 | 杨竹芳 | 何卫锋 |
| 参编 | 姚东野 | 王学德 | 林 梅 |
|    | 朱绒霞 | 孙 权 | 贾文铜 |
| 主审 | 李应红 |     |     |

国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书从本科生金属工艺实习课程教学实际出发,以培养学生实际操作能力为目标,结合编者多年教学经验编写而成。本书主要内容包括金工实习基础知识、钢的热处理、焊接、钳工、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、现代先进制备技术等。

本书可作为航空航天类院校工科各专业本科生金工实习教学和实习指导教材,也可供工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

金工实习教程/康进兴,杨竹芳,何卫锋主编. —北京:  
国防工业出版社,2016.9

ISBN 978-7-118-10989-4

I. ①金… II. ①康… ②杨… ③何… III. ①金属  
加工-实习-教材 IV. ①TG-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 206376 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

※

开本 787×1092 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$  字数 285 千字

2016 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 34.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

# 前 言

本书根据空军工程大学 2013 年制定的教学大纲和“金工实习”课程标准编写而成,适用于飞行器动力工程专业、机械工程及其自动化专业、弹药工程专业、兵器工程专业、火力指挥与控制工程专业、电气工程及其自动化专业、无人机工程专业、管理工程专业、安全工程专业本科生金工实习教学使用。

随着科学技术的进步,机械制造中越来越多地采用新技术、新工艺,特别是航空航天工业中,新技术的应用更加普遍。同时,院校教学设施也在逐步更新,教学理念也由以教为主向以学为中心转变,学生动手能力的培养越来越受到重视。在本书编写过程中,编者努力探索军事航空新技术与新装备对保障人才的需求,探索“金工实习”课程在空军工程大学各专业中的地位 and 作用,力争使本书在教学中有更高的起点,教学内容与新装备、新技术联系更紧密。为此,本教材在介绍金工实习基础知识的基础上,以传统的金属加工技术、操作技巧为主,增加了现代先进制备技术的内容。

本书由空军工程大学“金工实习”课程教研组编写,全书共 9 章,第 1 章由何卫锋编写,第 2 章由康进兴编写,第 3 章由姚东野编写,第 4、8 章由王学德编写,第 5、6、7 章由杨竹芳编写,第 9 章由林梅编写。朱绒霞、孙权、贾文铜承担了部分章节的编写工作。

李应红院士担任本书主审,并提出许多宝贵意见和建议,在此表示感谢。

感谢为本书出版付出劳动的工作人员。

本书在编写过程中,参考了有关文献资料,在此对作者和出版社表示衷心感谢。由于编者水平、经验所限,书中难免有错漏之处,敬请读者给予批评指正。

编者

2016 年 2 月

# 目 录

|                     |    |
|---------------------|----|
| <b>第1章 金工实习基础知识</b> | 1  |
| 1.1 工程材料基础知识        | 1  |
| 1.1.1 工程材料的分类       | 1  |
| 1.1.2 金属材料的力学性能     | 2  |
| 1.1.3 常用金属材料        | 6  |
| 1.2 常用量具及用法         | 9  |
| 1.2.1 游标卡尺          | 9  |
| 1.2.2 千分尺           | 11 |
| 1.2.3 百分表           | 13 |
| 1.2.4 万能角度尺         | 15 |
| 1.2.5 量规            | 15 |
| <b>第2章 钢的热处理</b>    | 17 |
| 2.1 概述              | 17 |
| 2.2 钢的整体热处理         | 18 |
| 2.2.1 退火            | 18 |
| 2.2.2 正火            | 20 |
| 2.2.3 淬火            | 20 |
| 2.2.4 回火            | 22 |
| 2.3 钢的表面热处理         | 24 |
| 2.3.1 钢的化学热处理       | 24 |
| 2.3.2 钢的表面淬火        | 28 |
| 2.4 常用热处理设备         | 29 |
| 2.4.1 热处理加热炉        | 29 |
| 2.4.2 冷却装置          | 30 |
| 2.5 常见热处理缺陷及防止措施    | 32 |
| 2.5.1 氧化与脱碳         | 32 |
| 2.5.2 淬火缺陷及预防       | 32 |

|                 |    |
|-----------------|----|
| <b>第3章 焊接</b>   | 35 |
| 3.1 概述          | 35 |
| 3.1.1 焊接定义及特点   | 35 |
| 3.1.2 焊接方法及分类   | 36 |
| 3.2 电弧焊         | 38 |
| 3.2.1 焊接电弧      | 38 |
| 3.2.2 手工电弧焊     | 38 |
| 3.2.3 埋弧焊       | 48 |
| 3.2.4 气体保护电弧焊   | 49 |
| 3.2.5 其他常用熔焊方法  | 50 |
| 3.3 压焊          | 54 |
| 3.3.1 电阻焊       | 54 |
| 3.3.2 摩擦焊       | 55 |
| 3.3.3 超声波焊接     | 56 |
| 3.3.4 扩散焊接      | 56 |
| 3.4 钎焊          | 56 |
| 3.5 焊接检验        | 58 |
| 3.5.1 焊接工艺设计    | 58 |
| 3.5.2 焊接缺陷与焊接变形 | 60 |
| 3.5.3 焊接质量检验    | 64 |
| <b>第4章 钳工</b>   | 65 |
| 4.1 概述          | 65 |
| 4.2 划线          | 66 |
| 4.2.1 划线工具      | 66 |
| 4.2.2 钳工划线方法    | 69 |
| 4.3 锯削          | 71 |
| 4.3.1 锯削工具及其选用  | 71 |
| 4.3.2 锯削的基本操作   | 72 |
| 4.3.3 典型零件的锯削   | 74 |
| 4.4 锉削与刮削       | 75 |
| 4.4.1 锉削工具      | 75 |
| 4.4.2 锉刀的握法     | 76 |
| 4.4.3 锉削姿势与要领   | 77 |
| 4.4.4 锉削施力和速度   | 77 |
| 4.4.5 常用锉削方法    | 78 |
| 4.4.6 锉削操作注意事项  | 79 |

|            |             |           |
|------------|-------------|-----------|
| 4.4.7      | 刮刀及其用法      | 79        |
| 4.4.8      | 刮削精度检验      | 80        |
| 4.4.9      | 平面刮削        | 81        |
| 4.4.10     | 曲面刮削简介      | 82        |
| 4.5        | 孔加工         | 82        |
| 4.5.1      | 钻孔基本知识      | 82        |
| 4.5.2      | 钻孔基本技能      | 83        |
| 4.5.3      | 扩孔          | 85        |
| 4.5.4      | 铰孔          | 85        |
| 4.5.5      | 铰孔与铰平面      | 86        |
| 4.6        | 攻螺纹和套螺纹     | 87        |
| 4.6.1      | 攻螺纹         | 87        |
| 4.6.2      | 套螺纹         | 90        |
| 4.7        | 铰削          | 91        |
| 4.7.1      | 铰削工具        | 92        |
| 4.7.2      | 铰削操作方法      | 92        |
| <b>第5章</b> | <b>车削加工</b> | <b>94</b> |
| 5.1        | 概述          | 94        |
| 5.1.1      | 车削的特点       | 95        |
| 5.1.2      | 车削运动        | 95        |
| 5.2        | 车床          | 96        |
| 5.2.1      | 卧式车床        | 96        |
| 5.2.2      | 卧式车床的传动系统   | 98        |
| 5.3        | 车刀          | 99        |
| 5.3.1      | 车刀的结构       | 99        |
| 5.3.2      | 车刀的组成及角度    | 100       |
| 5.3.3      | 车刀的刃磨       | 104       |
| 5.3.4      | 车刀的安装       | 104       |
| 5.4        | 车削基本操作      | 105       |
| 5.4.1      | 车外圆         | 105       |
| 5.4.2      | 车端面         | 106       |
| 5.4.3      | 车台阶         | 107       |
| 5.4.4      | 切槽和切断       | 108       |
| 5.4.5      | 车圆锥面        | 109       |
| 5.4.6      | 车成形面        | 111       |
| 5.4.7      | 车螺纹         | 113       |
| 5.4.8      | 孔加工         | 116       |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 5.4.9 滚花 .....        | 117 |
| <b>第6章 铣削加工</b> ..... | 119 |
| 6.1 概述 .....          | 119 |
| 6.1.1 铣削特点 .....      | 119 |
| 6.1.2 铣削用量 .....      | 120 |
| 6.2 铣床 .....          | 121 |
| 6.2.1 卧式铣床 .....      | 121 |
| 6.2.2 立式铣床 .....      | 122 |
| 6.3 铣刀 .....          | 123 |
| 6.3.1 带孔铣刀及其安装 .....  | 123 |
| 6.3.2 带柄铣刀及其安装 .....  | 125 |
| 6.4 铣床附件及工件安装 .....   | 126 |
| 6.4.1 铣床附件 .....      | 126 |
| 6.4.2 工件安装 .....      | 129 |
| 6.5 铣削基本操作 .....      | 132 |
| 6.5.1 铣削平面 .....      | 132 |
| 6.5.2 铣斜面 .....       | 133 |
| 6.5.3 铣沟槽 .....       | 135 |
| 6.5.4 铣成形面 .....      | 136 |
| 6.5.5 铣齿形 .....       | 137 |
| <b>第7章 刨削加工</b> ..... | 140 |
| 7.1 概述 .....          | 140 |
| 7.1.1 刨削加工的特点 .....   | 140 |
| 7.1.2 刨削加工范围 .....    | 141 |
| 7.2 刨床 .....          | 141 |
| 7.2.1 牛头刨床 .....      | 142 |
| 7.2.2 龙门刨床 .....      | 146 |
| 7.3 刨刀及其安装 .....      | 147 |
| 7.3.1 刨刀 .....        | 147 |
| 7.3.2 刨刀的安装 .....     | 147 |
| 7.3.3 工件的安装 .....     | 148 |
| 7.4 刨削工艺 .....        | 149 |
| 7.4.1 刨平面 .....       | 149 |
| 7.4.2 刨沟槽 .....       | 149 |
| 7.4.3 刨成形面 .....      | 150 |
| 7.5 插削 .....          | 151 |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 7.5.1 插床 .....           | 151        |
| 7.5.2 插刀 .....           | 152        |
| 7.5.3 插削的应用及特点 .....     | 153        |
| <b>第8章 磨削加工 .....</b>    | <b>155</b> |
| 8.1 概述 .....             | 155        |
| 8.2 砂轮 .....             | 156        |
| 8.2.1 砂轮的特性 .....        | 157        |
| 8.2.2 砂轮标记和选用 .....      | 159        |
| 8.2.3 砂轮的安裝和修整 .....     | 160        |
| 8.3 常用磨削机床 .....         | 161        |
| 8.3.1 磨床类型与型号 .....      | 161        |
| 8.3.2 万能外圆磨床 .....       | 161        |
| 8.4 磨削加工 .....           | 165        |
| 8.4.1 外圆磨削 .....         | 165        |
| 8.4.2 在万能外圆磨床上磨削锥面 ..... | 170        |
| 8.4.3 磨削内圆 .....         | 172        |
| 8.4.4 平面磨削及操作 .....      | 174        |
| <b>第9章 先进制造技术 .....</b>  | <b>177</b> |
| 9.1 加工中心 .....           | 177        |
| 9.2 数控车削加工 .....         | 181        |
| 9.3 数控铣削加工 .....         | 185        |
| 9.4 特种加工技术 .....         | 189        |
| 9.4.1 3D 打印技术 .....      | 189        |
| 9.4.2 激光加工 .....         | 191        |
| 9.4.3 离子束加工 .....        | 193        |
| <b>参考文献 .....</b>        | <b>195</b> |

---

# 第 1 章

## 金工实习基础知识

---

### 1.1 工程材料基础知识

#### 1.1.1 工程材料的分类

工程材料是指制造工程结构、机器零件和工模具等所使用的材料,包括金属材料、高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料。

##### 1. 金属材料

金属材料包括黑色金属材料和有色金属材料。黑色金属材料是指以铁为基的钢铁材料,又称铁类合金。黑色金属以外的所有金属及其合金称为有色金属,又称非铁合金。常用的有色金属材料有铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金、镁及镁合金等。

在工程材料中,金属材料(尤其是钢铁材料)使用最广泛,是现代工业、农业、国防及科学技术的重要物质基础。

##### 2. 高分子材料

高分子材料包括塑料、橡胶和纤维。高分子材料有像金属材料一样良好的延展性,像无机非金属材料一样优良的绝缘性和耐腐蚀性,还具有密度小、容易加工成形、原材料丰富、价格低廉等优点。其缺点是强度比金属差,熔点低,化学稳定性不及无机非金属材料,易老化等。高分子材料是工程上发展较快的一类新型结构材料,广泛用于科学技术、国防建设和国民经济各个领域。

##### 3. 无机非金属材料

传统无机非金属材料包括陶瓷、玻璃、水泥、耐火材料和天然矿物材料等,新型无机非金属材料包括先进陶瓷、无机涂层、无机纤维等。无机非金属材料有许多优良的性能,如耐压强度高、硬度大、耐高温、耐磨损、抗腐蚀等。此外,水泥在胶凝性能上,玻璃在光学性能上,陶瓷在耐蚀及介电性能上,耐火材料在隔热性能上都具有优异的特性,为金属材料和高分子材料所不及。但与金属材料相比,其断裂强度低、缺少延展性,属于脆性材料;与高分子材料相比,其密度较大、制造工艺较复杂。

#### 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组合而成的一种多相固体材料。在复合材料中通常以一种材料为基体,而另一种材料为增强体。基体是连续相,增强体则以独立形态分布于基体之上。各种材料在性能上互相取长补短,使复合材料的综合性能优于原组成材料,从而满足了各种不同的要求。混凝土胶合板和玻璃钢都是典型的复合材料。近代科学技术,特别是航空航天、导弹、火箭、原子能工业等领域对材料的性能提出了越来越高的要求,复合材料因此得到了迅速发展。

在金工实习过程中所使用的主要是金属材料。

#### 1.1.2 金属材料的力学性能

金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在服役条件下应具备的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能,它决定了材料的使用范围与使用寿命。对于大多数工程材料来说,力学性能是其最重要的使用性能。工艺性能是指材料的可加工性,即零件在冷、热加工制造过程中应具备的与加工工艺相适应的性能,包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能以及切削加工性能等。关于材料的工艺性能将在相关章节中分别进行讨论,本节只讨论金属材料的力学性能。

力学性能是指金属材料在外力作用下抵抗变形或断裂的能力,也称为机械性能,是零件设计和选材的主要依据。常用的力学性能包括弹性、刚度、强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

##### 1. 弹性与刚度

弹性、强度和塑性是材料承受静载荷的性能,可通过静载拉伸试验来测定。

将被测量材料加工成标准拉伸试样(图 1-1-1(a)),在拉伸试验机上夹紧试样两端,缓慢地对试样施加轴向载荷,使试样在外力作用下被拉长直至断裂(图 1-1-1(b))。试验机会自动绘出试样在每一瞬间的载荷  $F$  与伸长量( $\Delta L$ )的关系曲线,分别用应力  $\sigma$ (载荷  $F$  和原始横截面积  $S_0$  的比值,单位为 MPa)和应变  $\varepsilon$ (伸长量  $\Delta L$  与原始标距长度  $L_0$  的比值)代替  $F$  和  $\Delta L$  便可得到拉伸应力—应变曲线。图 1-1-2 是低碳钢的应力—应变曲线。

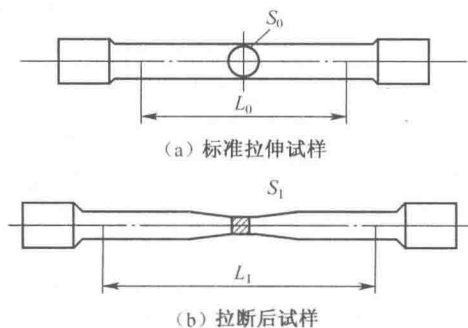


图 1-1-1 拉伸试样示意图

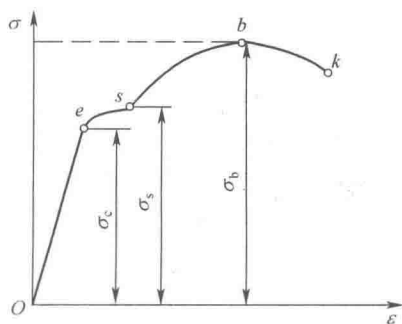


图 1-1-2 低碳钢应力—应变曲线

在应力—应变曲线上,  $e$  点以前的变形为弹性变形, 即外力去除后试样可恢复到原来的长度。  $e$  点对应的应力是弹性变形阶段的最大应力, 称为弹性极限, 用  $\sigma_e$  表示。材料受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度, 其指标是弹性模量  $E$ , 单位为 MPa。弹性模量值越大, 刚度越大。弹性模量的大小主要取决于材料的本性, 除随温度升高而逐渐降低外, 其他强化材料的手段如热处理、冷热加工、合金化等对其影响很小。可以通过增加该截面积或改变截面形状来提高零件的刚度。

## 2. 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗变形或断裂的能力。根据外力的作用方式不同, 强度指标有屈服极限(屈服强度)、强度极限(抗拉强度)、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等, 其中屈服极限、强度极限应用最多。

屈服极限是材料在外力作用下开始产生塑性变形所对应的最低应力值, 用  $\sigma_s$  表示, 即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-1-1)$$

式中:  $F_s$  为应力—应变曲线  $s$  点对应的载荷。

强度极限是材料在外力作用下抵抗断裂所能承受的最大应力值, 用  $\sigma_b$  表示, 即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-1-2)$$

式中:  $F_b$  为应力—应变曲线上  $b$  点对应的载荷。

工程上大多数零件都是不允许产生塑性变形的, 即不能在超过屈服极限的条件下工作, 否则会使零件失去原有精度甚至报废; 更不能在超过强度极限的条件下工作, 否则会导致零件的破坏, 特别是对于低塑性或脆性材料, 强度极限更应作为主要的设计指标。

## 3. 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形(永久变形)而不断裂的能力。通过拉伸试验测得的塑性指标有伸长率( $\delta$ )和断面收缩率( $\psi$ )。

伸长率是试样被拉断时的相对伸长量, 即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

式中:  $L_1$  为试样被拉断后的标距长度。

断面收缩率是试样被拉断后断口截面的相对收缩量, 即

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-1-4)$$

式中:  $S_1$  为试样断口处的最小横截面积。

伸长率和断面收缩率的数值越大, 表明材料的塑性越好。

材料的塑性指标在工程技术中十分重要, 许多成形工艺都要求材料具有较好的塑性, 如锻造、轧制、拉拔、挤压、冲压等都是利用材料自身的塑性加工成形的。从零件工作的可靠性来看, 在超载时, 也能利用塑性变形使材料的强度提高而避免突然断裂。

#### 4. 硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的性能指标,也可以说是材料抵抗局部塑性变形的能力,是材料的重要性能之一。目前生产中最常用的测定硬度方法有布氏硬度、洛氏硬度等。

布氏硬度的测量原理如图 1-1-3 所示。用规定载荷  $F$  把直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球压入试件表面并保持一定时间,而后卸除载荷,根据钢球在试样表面上的压痕直径  $d$  测定被测金属的硬度值。压头为钢球时用 HBS 表示,适于测量布氏硬度小于 450HBS 的材料;压头为硬质合金时用 HBW 表示,适于测量布氏硬度小于 650HBW 的材料。

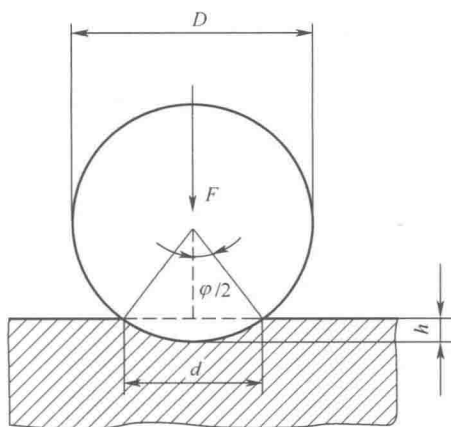


图 1-1-3 布氏硬度测量原理

布氏硬度试验压痕面积较大,试验数据较稳定,重复性也好,常用于测定铸铁、有色金属、低合金结构钢等较软的材料。但布氏硬度不适于测量成品零件和薄壁零件。

洛氏硬度的测量原理如图 1-1-4 所示。将锥角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球压入被测金属表面,然后根据压痕的深度来确定试样的硬度。压痕越深,材料越软,洛氏硬度值越低。被测材料的硬度可直接由硬度计的刻度盘读出。根据压头和压力的不同,洛氏硬度有 3 种常用的表示方法,即 HRA、HRB、HRC,其中以 HRC 应用最广,表 1-1-1 列出了洛氏硬度的试验规范。

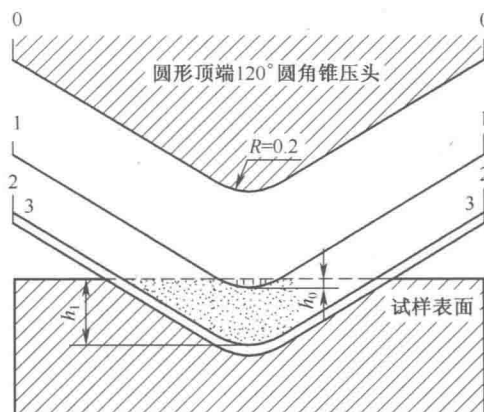


图 1-1-4 洛氏硬度测量原理

表 1-1-1 洛氏硬度试验规范

| 标度  | 压头            | 预载荷/N | 总载荷/N     | 应用范围   | 适用材料         |
|-----|---------------|-------|-----------|--------|--------------|
| HRA | 120°金刚石圆锥     | 98.07 | 60×9.807  | 70~85  | 硬质合金、表面淬火的钢等 |
| HRB | 直径 1.588mm 钢球 | 98.07 | 100×9.807 | 25~100 | 软钢、退火钢、铜合金等  |
| HRC | 120°金刚石圆锥     | 98.07 | 150×9.807 | 20~67  | 淬火钢、调制钢等     |

洛氏硬度试验操作简单、迅速,适用范围广,可直接测量成品件及高硬度材料;但由于洛氏硬度压痕较小,测量结果分散度较大,不宜测量极薄工件及渗层、镀层的硬度。

硬度是表征金属材料力学性能的一个综合参量,生产上可以根据测定的硬度值估计出材料的近似强度极限和耐磨性。此外,硬度与材料的冷成形性、切削加工性(最佳切削硬度范围是 170~230HBS)、可焊性等工艺性能之间也存在一定的联系,可作为选择加工工艺时的参考。

5. 冲击韧性

冲击韧性简称韧性,是材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。工程上常用一次摆锤冲击试验(图 1-1-5)来测定材料的冲击韧性。摆锤冲断带缺口的冲击试样所做的冲击功  $A_k$  与试样缺口原始横截面积  $S$  的比值即材料的冲击韧性值,用  $a_k$  表示,单位为焦耳(J)。

$$A_k = G(h_1 - h_2)g \tag{1-1-5}$$

$$a_k = \frac{A_k}{S} \tag{1-1-6}$$

式中  $G$  为摆锤的质量; $h_1$ 、 $h_2$  分别为冲击前后摆锤的高度。

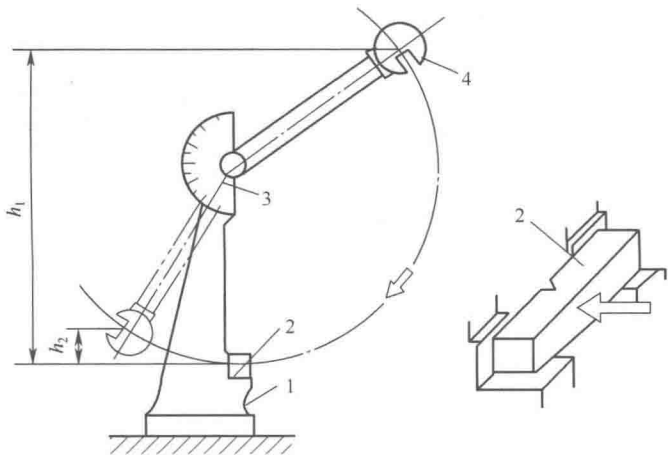


图 1-1-5 冲击试验原理

1—支座;2—试样;3—刻度盘;4—摆锤。

冲击韧性指标的实际意义在于揭示材料的变脆倾向。材料的  $a_k$  值随温度的降低而减小,且在某一温度范围内, $a_k$  值发生急剧降低,表明断裂由韧性状态向脆性状态发生转变,此温度范围称为韧脆转变温度( $T_k$ )。韧脆转变温度越低,材料的低温冲击韧性就越好,这对于在低温条件下工作的机械构件非常重要。

应当指出,在冲击载荷工作下的机械零件,很少是受大能量一次冲击而破坏的,往往是经受小能量的多次冲击,因冲击损伤的积累引起裂纹扩展,而造成断裂。

## 6. 疲劳强度

许多机械零件,如轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等,都是在交变载荷的作用下工作的。虽然这些零件所承受的应力低于材料的屈服点,但经过较长时间的工作后会产生裂纹或突然发生断裂,这种现象称为疲劳破坏。疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一,据统计,在机械零件失效中大约有 80% 以上属于疲劳破坏,而在疲劳破坏前没有明显的变形,因此危害很大。疲劳强度是用来衡量金属抵抗疲劳破坏能力的性能指标,是金属材料在规定次数(对钢铁来说为  $10^7$  次)交变载荷作用下仍不发生断裂时的最大应力,用符号  $\sigma_{-1}$  表示。

### 1. 1. 3 常用金属材料

#### 1. 钢

工业上将碳的质量分数为 0.02%~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,而且原料丰富、价格较为低廉,是应用最广泛、最重要的工程材料之一。

钢的分类方法很多,按成分可分为碳素钢和合金钢,按冶金质量可分为普通钢、优质钢、高级优质钢和特级优质钢,按用途则可分为结构钢、工具钢和特殊用途钢。下面介绍几种常用的钢种。

##### 1) 碳素结构钢

碳素结构钢也称普通碳素结构钢,其牌号是由代表屈服强度的字母 Q、屈服强度值、质量等级符号(A、B、C、D)及脱氧方法符号(F、b、Z、TZ)四部分按顺序组成。主要钢号有 Q195、Q215、Q235A、Q235C、Q255、Q275 等。

碳素结构钢含碳量较低,钢中有害元素和非金属夹杂物较多,但冶炼容易、工艺性好、价格低廉,在力学性能上能满足一般工程构件及普通机器零件的要求,所以工程上用量很大。这类钢通常以热轧态供应,一般不需进行热处理。其中含碳量较低的 Q195、Q215 钢其塑性和韧性较好,有一定的强度,常用于制造承受载荷不大的桥梁、建筑等构件,也用于制造普通螺钉、铆钉、冲压件和焊接件等;Q235 钢含碳量居中,既有较高的塑性又有适中的强度,是应用最为广泛的一种碳素结构钢,可用于制造承受较大载荷的建筑、车辆、桥梁等构件,也可用于制作一般的机器零件,如转轴、拉杆、螺栓等;Q255、Q275 钢含碳量稍高,具有较高的强度,塑性也较好,可进行焊接,常轧成工字钢、角钢、钢板、钢管及其他各种型材,也用于制作简单机械的链、销、连杆、齿轮等。

##### 2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的牌号是用钢中平均含碳量的万分数来表示的,如 45 钢的平均含碳量为 0.45%。

与碳素结构钢相比,优质碳素结构钢对成分及杂质的限制较严格,钢的均匀性和表面质量好,塑性和韧性较高,经适当热处理后,其力学性能可达到一定水平。其中,08、08F、10、10F 钢含碳量低,塑性、韧性好,具有优良的冷成形性能和焊接性能,常冷轧成薄板,用于制作仪表外壳、汽车和拖拉机的冷冲压件等;含碳量稍高的 15、20、25 钢强度较高,塑性

较好,用于制作尺寸较小、负荷较轻、表面要求耐磨、心部强度要求不高的渗碳零件,如活塞、样板等;具有中碳成分的 30、35、40、45、50 钢经热处理后具有良好的综合力学性能,即具有较高的强度、塑性和韧性,常用于制作轴、杆、齿轮类承受冲击及磨损的零件;含碳量较高的 55、60、65 钢热处理后具有很高的弹性及适量的韧性,常用来制作弹簧、钢丝绳、火车轮、钢轨等。

### 3) 低合金结构钢

低合金结构钢是在碳素结构钢的基础上加入少量合金元素而形成的,牌号的表示方法与碳素结构钢相同,按其屈服强度的高低分为 5 个级别,即 Q295、Q345、Q390、Q420 和 Q460。

与相同含碳量的碳素结构钢相比,低合金结构钢的强度可提高 20%~30%以上,并有较好的塑性、韧性、焊接性能及冷热加工性能,常轧成钢板及各种型材,一般不需要热处理。低合金结构钢主要用来制造各种要求强度较高的工程结构件,如船舶、车辆、高压容器、锅炉、输油输气管道、大型钢结构件等,在建筑、石油、化工、铁道、造船、机车车辆、农机农具等诸多领域都得到了广泛的应用。

### 4) 合金结构钢

合金结构钢包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢等。合金结构钢的牌号用“两位数字(平均含碳量的万分数)+元素符号+数字(该合金元素质量分数,小于 1.5%不标出,1.5%~2.5%标 2;2.5%~3.5%标 3,依次类推)”表示,如 40Cr、20CrMnTi、60Si2Mn 等。

这类钢由于加入了一定量的合金元素,提高了淬透性,经适当的热处理后具有较高的强度极限和屈服比(屈服极限与强度极限的比值),较高的韧性和疲劳强度以及较低的韧脆转变温度,可用于制造各种机器零件,如齿轮、曲轴、连杆、车床主轴等。

### 5) 碳素工具钢

碳素工具钢分为优质碳素工具钢和高级优质碳素工具钢,其编号方法是在“T”后面加上数字,该数字表示平均含碳量的千分数,若为高级优质钢,则在数字后面加“A”,如 T12A 代表平均含碳量为 1.2%的高级优质碳素工具钢。

碳素工具钢含碳量为 0.65%~1.35%,这是为了保证工件淬火后具有高硬度、高耐磨性。

含碳量越高,未溶渗碳体越多,钢的耐磨性越好,但韧性下降。因此,制造承受冲击负荷的工具时,如凿子、锤子、冲头等,应使用 T7、T8 钢;制造冲击较小、但要求高硬度和高耐磨性的工具时,如小钻头、形状简单的小冲模、手工锯条等,应使用 T9、T10、T11 钢;制造要求高硬度和高耐磨性、但不受冲击的工具时,如挫刀、刮刀、量具等,应使用 T12、T13 钢。高级优质碳素工具钢(T7A~T13A),由于其淬火时产生裂纹的倾向相对较小,多用于制造形状较为复杂的工具。

### 6) 合金工具钢

合金工具钢的牌号是用“数字+合金元素符号+数字”来表示的,牌号前面的数字表示平均含碳量,当平均含碳量小于 1%时,该数字为平均含碳量的千分数;当平均含碳量大于等于 1%时,含碳量不标出。合金元素的表示方法与合金结构钢相同。例如,9SiCr 代表平均含碳量为 0.9%,平均含 Si 量小于等于 1.5%,平均含 Cr 量小于等于 1.5%的合金

工具钢;Cr12 代表平均含碳量大于等于 1%,平均含 Cr 量为 12% 的合金工具钢。

合金工具钢是在碳素工具钢的基础上加入 Si、Mn、Cr、W、Mo、V 等合金元素形成的,具有高的硬度、耐磨性、淬透性和热硬性,以及足够的强度和韧性,主要用于制造各种刀具、模具、量具等工具,如 Cr12、Cr4W2MoV 等可用来制造冷作模具,9SiCr、CrWMn 可用来制造量具;W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2 可用来制造刀具。

## 2. 铸铁

铸铁是碳质量分数大于 2.11% (一般为 2.5%~4.0%) 的铁碳合金,含有较多 Si、Mn、S、P 等元素。铸铁是历史上使用最早、最便宜的金属材料之一。虽然铸铁的强度极限、塑性和韧性均比钢差,但其铸造性能极好,生产工艺和生产设备简单,减震性和耐磨性好,切削加工性好,所以在工程上得到非常广泛的应用。

工业上常用的铸铁有灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁。

### 1) 灰铸铁

灰铸铁中的石墨呈片状,其牌号以 HT  $\times\times\times$  表示。其中,“HT”代表“灰铁”,“ $\times\times\times$ ”是最低强度极限值(MPa),如 HT100,其  $\sigma_b \geq 100\text{MPa}$ 。

灰铸铁的力学性能比钢低,焊接性能很差,不能锻造但其抗压强度与同基体的碳钢差不多,具有良好的铸造性能、切削加工性能、减震和减摩性能。用于制造承受压力和震动的零件,如机床床身、各种箱体、壳体、泵体、缸体等。

### 2) 可锻铸铁

可锻铸铁中的石墨是团絮状,其牌号以 KT $\times\times\times$ - $\times\times$  表示。其中,“KT”表示“可铁”,第一组数字表示最低强度极限,第二组数字表示最低伸长率,如 KT300-6,其  $\sigma_b \geq 300\text{MPa}$ , $\delta \geq 6\%$ 。

可锻铸铁的强度比灰铸铁高,还具有一定的塑性和较高的韧性。尽管如此,可锻铸铁还是不能进行锻造加工。根据基体组织的不同,可锻铸铁分为铁素体可锻铸铁和珠光体可锻铸铁。铁素体可锻铸铁具有较高的塑性和韧性,多用于制造受冲击、振动等形状复杂的零件,如汽车、拖拉机前后轮壳、减速机壳、制动器等。珠光体可锻铸铁的强度和耐磨性比铁素体可锻铸铁高,有较高的硬度和一定的塑性,可用于制造要求强度高和耐磨的零件,如曲轴、凸轮轴、连杆、齿轮、活塞环、轴套、扳手、万向接头等。

### 3) 球墨铸铁

球墨铸铁中的石墨呈近似球状分布,其牌号以 QT  $\times\times\times$ - $\times\times$  表示。其中,“QT”表示“球铁”,第一组数字表示最低强度极限,第二组数字表示最低伸长率,如 QT700-2,其  $\sigma_b \geq 700\text{MPa}$ , $\delta \geq 2\%$ 。

球墨铸铁的力学性能比灰铸铁高得多,其强度极限、塑性、韧性、弯曲强度和疲劳强度明显优于灰铸铁,综合力学性能接近于钢,特别是屈强比高于碳钢,其缺点是消震性能低,主要用来制造受力复杂、负荷较大、要求耐磨的铸件(替代部分铸钢、锻钢件),如发动机的曲轴、连杆和机床的主轴等。

### 4) 蠕墨铸铁

蠕墨铸铁中的石墨是蠕虫状,其牌号以 RuT  $\times\times\times$  表示。其中,“RuT”表示“蠕铁”,后面的数字表示最低强度极限,如 RuT420,其  $\sigma_b \geq 420\text{MPa}$ 。