



精品课程教材

GONGCHENG JISHU XUNLIAN ZHIDAO

# 工程技术训练指导

(非机械类)

主 编 王大镇 邱加栋  
副主编 刘菊东 许迺荣 邱仲潘



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 工程技术训练指导

## (非机械类)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 王大镇 | 邱加栋 |     |
| 副主编 | 刘菊东 | 许迥荣 | 邱仲潘 |
| 参 编 | 陈亚全 | 于红旗 | 王燕平 |
|     | 陈来三 | 弓清忠 | 张建寰 |

国防工业出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书是根据教育部最新颁布的工程材料与机械制造基础课程的教学基本要求,并结合厦门大学、集美大学等院校教学经验和教学改革需求,专门为非机械类专业学生工程技术训练实习(少学时)而编写的。编写中,坚持体现教材内容深度和广度适中、适度的原则,对传统的训练项目进行了精简,对基本工艺本着“少、精、严”的原则,删减了现在制造业中较少使用的一些工艺方法,增加了数控加工、塑料成型技术、特种加工、逆向工程与快速原型制造技术等内容。

本书可作为高等学校非机械类各专业的工程技术训练实习教材,也可供高职、高专、成人高校相关专业学生和企业机械工程技术人員参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程技术训练指导:非机械类/王城镇,邱加栋主

编. --北京:国防工业出版社,2010.10

ISBN 978-7-118-07052-1

I. ①工… II. ①王… ②邱… III. ①工程技术

IV. ①TB

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 189687 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)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 13¼ 字数 302 千字

2010 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

“工程技术训练”实践教学的目的是培养学生的制造工程意识,建立制造工程系统感和理性的知识,培养学生的综合工艺能力。工程技术训练(金工实习)是一门实践性很强的技术基础课,是机械类各专业学生学习工程材料及机械制造基础等课程必不可少的必修课,也是非机械类有关专业教学计划中重要的实践环节之一,为学生学习后继课程打下必要的实践基础。为此,本教材强调以实践教学为主,采用启发式的教学模式,不仅介绍金属的成型方法、加工方法和主要设备的工作原理及典型结构,工、夹、量具的使用方法,而且介绍了现代机械制造技术(如数控加工、塑料成型、特种加工、逆向工程与快速原型技术)。

本书结合厦门大学和集美大学多年教学实践的成果,加以精编。统览全书,本书有如下新特点:

(1)在教材内容编排上兼顾实习与课堂教学,既可以用来指导学生实习,也可以作为学生学习和教师讲授的教材。传统与现代工程技术并重,在精选传统工程技术中的金属成型工艺基础上,注重介绍已在现代工业企业中得到广泛应用的各种新技术、新材料和新工艺。

(2)在介绍各种成型工艺的同时,为帮助学生理解和掌握各种工艺方法的实质性问题,提高分析问题和解决问题的能力,每章安排了一些实例和实训报告。

(3)本书中的技术名词、定义符号均采用国际标准化组织(ISO)标准,有关数据采用国际标准(SI)和最新国家标准。

参加本书编写工作的有集美大学王大镇(第1章、第2章、第7章、各章实训报告)、于红旗(第3章)、王燕平(第4章)、陈亚全(第5章)、邱加栋(6.1、6.2节)、陈来三(6.3节)、许迺荣(第8章)、弓清忠(11.2节)、厦门大学张建寰(第9章)、邱仲潘(第10章、11.1节)。本书在编写过程中还得到了郑茂根、叶衔真、黄冠星、程隆双、闫勇刚、龚志坚等人员的大力协助,对他们所提供的资料和帮助在此一并表示感谢。集美大学王大镇、邱加栋任主编并统稿,集美大学刘菊东、许炯荣及厦门大学邱仲潘任副主编。

由于编写人员的水平所限,因此在编写过程难免有不足和需要提高之处,望广大读者不吝批评指正。

编 者

2010年05月

# 目 录

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第 1 章 工程材料与金属热处理</b>  | 1  |
| 1.1 材料的力学性能              | 1  |
| 1.2 常用的金属材料              | 3  |
| 1.2.1 钢的分类、牌号及性能特点       | 3  |
| 1.2.2 铸铁的分类及牌号           | 4  |
| 1.2.3 钢铁材料的火花鉴别          | 5  |
| 1.2.4 其他金属材料             | 6  |
| 1.3 常用的非金属材料             | 7  |
| 1.3.1 高分子材料              | 7  |
| 1.3.2 陶瓷及复合材料            | 8  |
| 1.4 钢的热处理                | 9  |
| 1.4.1 钢的热处理工艺            | 9  |
| 1.4.2 热处理常用的加热设备         | 11 |
| <b>第 2 章 铸造与锻压</b>       | 13 |
| 2.1 铸造                   | 13 |
| 2.1.1 铸造生产的特点与工艺过程       | 13 |
| 2.1.2 铸造工艺参数选择与确定        | 14 |
| 2.1.3 型(芯)砂的组成、性能及其制备    | 17 |
| 2.1.4 砂型与型芯制作            | 17 |
| 2.1.5 合金的熔炼、浇注成型及其铸件缺陷分析 | 21 |
| 2.1.6 特种铸造方法简介           | 25 |
| 2.1.7 铸造训练实例             | 28 |
| 2.2 锻压                   | 32 |
| 2.2.1 锻压加工分类及简介          | 32 |
| 2.2.2 常用锻压设备及其使用         | 33 |
| 2.2.3 自由锻造基本工艺及规则        | 36 |
| 2.2.4 胎模锻和锤上模锻           | 39 |
| 2.2.5 板料冲压设备与工艺          | 41 |
| 2.2.6 压力加工新工艺简介          | 43 |
| 2.2.7 锻造训练实例             | 44 |
| <b>第 3 章 焊接</b>          | 46 |
| 3.1 手工电弧焊                | 46 |

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 3.1.1 | 焊接过程 .....                  | 46 |
| 3.1.2 | 焊接设备与工具 .....               | 47 |
| 3.1.3 | 焊条 .....                    | 48 |
| 3.1.4 | 焊接工艺参数 .....                | 49 |
| 3.1.5 | 基本操作要领 .....                | 50 |
| 3.2   | 气焊和气割 .....                 | 51 |
| 3.2.1 | 气焊的特点和应用范围 .....            | 52 |
| 3.2.2 | 气焊设备和辅助器具 .....             | 52 |
| 3.2.3 | 焊丝、焊剂、气焊火焰及气焊操作要领 .....     | 55 |
| 3.2.4 | 气割 .....                    | 57 |
| 3.3   | 其他焊接方法 .....                | 59 |
| 3.3.1 | 电阻焊 .....                   | 59 |
| 3.3.2 | 钎焊 .....                    | 60 |
| 3.3.3 | CO <sub>2</sub> 气体保护焊 ..... | 60 |
| 3.3.4 | 氩弧焊 .....                   | 60 |
| 3.3.5 | 埋弧自动焊 .....                 | 61 |
| 3.3.6 | 等离子弧焊接与切割 .....             | 61 |
| 第4章   | 钳工 .....                    | 63 |
| 4.1   | 概述 .....                    | 63 |
| 4.2   | 划线 .....                    | 64 |
| 4.2.1 | 划线工具及其用法 .....              | 65 |
| 4.2.2 | 划线操作 .....                  | 67 |
| 4.3   | 锯削 .....                    | 68 |
| 4.3.1 | 锯削的工具 .....                 | 68 |
| 4.3.2 | 锯削操作要点 .....                | 69 |
| 4.3.3 | 锯条折断的原因及预防 .....            | 69 |
| 4.4   | 锉削 .....                    | 71 |
| 4.4.1 | 锉刀 .....                    | 71 |
| 4.4.2 | 锉削操作要点 .....                | 71 |
| 4.4.3 | 平面的锉削方法及锉削质量检测 .....        | 73 |
| 4.4.4 | 锉削操作注意事项 .....              | 74 |
| 4.5   | 孔和螺纹加工 .....                | 74 |
| 4.5.1 | 钻削设备及用途 .....               | 74 |
| 4.5.2 | 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔 .....           | 76 |
| 4.5.3 | 攻螺纹、套螺纹 .....               | 79 |
| 4.6   | 刮削、錾削和研磨 .....              | 82 |
| 4.6.1 | 刮削 .....                    | 82 |
| 4.6.2 | 錾削 .....                    | 83 |
| 4.6.3 | 研磨 .....                    | 87 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| <b>第 5 章 车削加工</b>     | 90  |
| 5.1 车削的基本知识           | 90  |
| 5.1.1 切削运动和切削用量       | 91  |
| 5.1.2 普通车床的组成         | 93  |
| 5.1.3 车刀              | 94  |
| 5.1.4 车床附件及工件装夹       | 97  |
| 5.1.5 常用测量工具          | 99  |
| 5.2 基本车削工艺            | 102 |
| 5.2.1 车端面、外圆及台阶       | 102 |
| 5.2.2 车槽和切断           | 104 |
| 5.2.3 钻孔、扩孔、铰孔与镗孔     | 104 |
| 5.2.4 车锥面             | 105 |
| 5.2.5 车螺纹             | 106 |
| 5.2.6 车成型面与滚花         | 109 |
| 5.2.7 车削加工的工艺特点       | 110 |
| <b>第 6 章 铣削、刨削和磨削</b> | 111 |
| 6.1 铣削加工              | 111 |
| 6.1.1 铣床及其附件          | 111 |
| 6.1.2 铣刀与工件安装         | 114 |
| 6.1.3 铣削工艺            | 116 |
| 6.1.4 齿轮加工            | 117 |
| 6.2 刨削加工              | 121 |
| 6.2.1 刨削的概念           | 121 |
| 6.2.2 刨削设备和刨刀         | 121 |
| 6.2.3 刨削基本工艺          | 123 |
| 6.3 磨削加工              | 125 |
| 6.3.1 砂轮及其安装          | 125 |
| 6.3.2 平面磨床结构与磨削运动     | 127 |
| 6.3.3 基本磨削工艺          | 129 |
| <b>第 7 章 数控加工</b>     | 132 |
| 7.1 数控加工概述            | 132 |
| 7.1.1 数控机床            | 132 |
| 7.1.2 数控加工工艺过程        | 134 |
| 7.1.3 数控编程            | 135 |
| 7.1.4 数控机床坐标轴及运动方向    | 136 |
| 7.1.5 数控机床的坐标系统       | 137 |
| 7.2 数控车床              | 138 |
| 7.2.1 数控车削加工工艺        | 138 |
| 7.2.2 数控车床的面板及加工操作    | 138 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 7.2.3 编程实例·····           | 144 |
| 7.3 数控铣床·····             | 145 |
| 7.3.1 数控铣床概述·····         | 145 |
| 7.3.2 数控铣床编程·····         | 145 |
| 7.3.3 数控铣床基本操作·····       | 146 |
| 7.3.4 编程实例·····           | 147 |
| 第8章 塑料成型技术·····           | 148 |
| 8.1 塑料的常见成型工艺·····        | 148 |
| 8.1.1 注塑成型·····           | 148 |
| 8.1.2 挤出成型·····           | 150 |
| 8.1.3 吹塑成型·····           | 151 |
| 8.2 塑料的其他成型工艺及二次加工·····   | 153 |
| 8.2.1 塑料的板材和片材成型·····     | 153 |
| 8.2.2 塑料的二次加工·····        | 154 |
| 第9章 特种加工·····             | 156 |
| 9.1 概述·····               | 156 |
| 9.2 电火花加工·····            | 157 |
| 9.2.1 电火花加工的基本原理·····     | 157 |
| 9.2.2 电火花成型机床的组成及作用·····  | 158 |
| 9.2.3 电火花加工的特点及应用·····    | 158 |
| 9.3 电火花线切割加工·····         | 159 |
| 9.3.1 电火花线切割加工原理·····     | 159 |
| 9.3.2 电火花线切割加工机床·····     | 159 |
| 9.3.3 电火花线切割加工的电极丝·····   | 160 |
| 9.3.4 电火花线切割加工编程·····     | 161 |
| 9.4 超声波加工·····            | 162 |
| 9.4.1 超声波加工的基本原理·····     | 162 |
| 9.4.2 超声波加工的特点、方法及应用····· | 163 |
| 9.5 激光加工·····             | 164 |
| 9.5.1 激光加工的基本原理·····      | 164 |
| 9.5.2 激光加工的特点、方法及应用·····  | 164 |
| 第10章 柔性制造系统·····          | 166 |
| 10.1 柔性制造系统的产生和发展·····    | 166 |
| 10.1.1 柔性制造系统的产生·····     | 166 |
| 10.1.2 柔性制造系统的发展·····     | 166 |
| 10.2 柔性制造系统的类型和组成·····    | 167 |
| 10.2.1 柔性制造系统的类型·····     | 167 |
| 10.2.2 柔性制造系统的组成·····     | 167 |
| 10.3 柔性制造系统应具有的功能·····    | 170 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 10.4 柔性制造系统的优点及其发展趋势      | 170        |
| <b>第11章 逆向工程与快速原型制造技术</b> | <b>172</b> |
| 11.1 逆向工程                 | 172        |
| 11.1.1 逆向工程概述             | 172        |
| 11.1.2 逆向工程的主要应用领域        | 172        |
| 11.1.3 逆向工程系统的组成          | 173        |
| 11.1.4 反求数据采集方法           | 174        |
| 11.1.5 反求数据的预处理           | 175        |
| 11.1.6 CAD模型重构            | 177        |
| 11.2 快速原型                 | 179        |
| 11.2.1 快速原型制造概述           | 179        |
| 11.2.2 快速原型的成型原理、特征及工程应用  | 179        |
| 11.2.3 快速成型工艺             | 181        |
| <b>工程技术训练报告</b>           | <b>186</b> |
| 1 工程材料与金属热处理训练报告          | 188        |
| 2 铸造与锻压训练报告               | 190        |
| 3 焊接训练报告                  | 192        |
| 4 钳工训练报告                  | 194        |
| 5 车削加工训练报告                | 195        |
| 6 铣削、刨削和磨削训练报告            | 196        |
| 7 数控加工训练报告                | 198        |
| 8 塑料成型训练报告                | 200        |
| 9 特种加工训练报告                | 201        |
| 10 柔性制造系统训练报告             | 202        |
| 11 逆向工程与快速原型制造技术训练报告      | 203        |
| <b>参考文献</b>               | <b>204</b> |

# 第 1 章 工程材料与金属热处理

## 【目的和要求】

1. 了解工程材料、材料成型工艺的分类及特点。
2. 了解热处理的分类、特点及应用。
3. 了解常用热处理的工艺特点及应用。
4. 了解热处理缺陷及其对零件质量的影响、以及对零件结构的基本要求。

## 1.1 材料的力学性能

常用的材料可分为金属材料和非金属材料两大类。

金属材料是最重要的工程材料,包括纯金属及其合金。工业上把金属材料分为两大部分。

(1)黑色金属 铁和以铁为基的合金(钢、铸铁和铁合金)。

(2)有色金属 黑色金属以外的所有金属及其合金。

应用最广的是黑色金属,它占整个结构材料和工具材料的 90%以上。

非金属材料是一个泛称,它指除金属材料之外的其他材料。它的种类很多,占材料品种总数的 98%以上。各种非金属材料具有不同的优异性能,而且原材料来源丰富,成型加工简便,成本相对低廉,因而应用十分广泛,已成为工程材料的重要组成部分。

材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能反映材料在使用过程中表现出来的特性,如物理性能、化学性能、力学性能等;工艺性能则指材料在加工过程中反映出的性能,如切削性能、铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能等。

通常情况下以材料的力学性能作为主要依据来选用金属材料。金属的力学性能指金属在力的作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力—应变关系的性能。金属力学性能所用的指标和依据称为金属的力学性能判据,主要力学性能有强度、塑性、硬度、韧性等。

### 1. 强度

强度指金属抵抗永久变形(塑性变形)和断裂的能力。工程上常用的强度判据是在拉伸试验中测得的屈服强度和抗拉强度。

(1)屈服强度 屈服强度是拉伸试样在试验过程中力不增加(保持恒定)仍能继续伸长(变形)时的应力,常用  $\sigma_s$  表示,单位为 MPa。

(2)抗拉强度 抗拉强度指拉伸试样拉断前所承受的最大拉应力,通常用  $\sigma_b$  表示,单

位为 MPa。

屈服强度和抗拉强度都是在拉伸试验机上通过拉伸试验法测得的数据。工程选用材料时,除要求有较高的抗拉强度外,还希望有一定的屈强比( $\sigma_s/\sigma_b$ )。屈强比越小,零件的可靠性越高,使用中若超载不会立即断裂;但若屈强比太小,则材料强度的有效利用率降低。抗拉强度是设计和选材的主要依据。

2. 塑性

塑性指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。塑性判据是以拉伸试验时拉伸试样断裂时的最大相对塑性变形量表示的。常用的塑性判据是材料断裂伸长率和断面收缩率。

塑性的断裂伸长率和断面收缩率通过拉伸试验与算法获得。材料的断裂伸长率和断面收缩率数值越大,表示材料的塑性越好,可用锻压等压力加工方法加工。若零件使用中稍有超载,也会因其塑性变形而不致突然断裂,增加了材料使用的安全可靠性能。

3. 硬度

硬度指材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是衡量金属软硬的性能指标,常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度,可用布氏硬度机、洛氏硬度机或维氏硬度机来测量。

(1)布氏硬度 布氏硬度机的压头是淬火钢球,直径规格为 2.5mm、5.0mm 和 10.0mm 三种。载荷的大小可以从 15.6N~3000N 范围按等级选取,载荷保持时间一般为 10s、30s、60s。

布氏硬度机不能测试太硬的材料,一般在 450HB 以上就不能使用。因压痕面积较大,故 HB 值的代表性较全面,且数据的重复性很好,但成品检验有困难。

(2)洛氏硬度 洛氏硬度机所用的压头、载荷、应力范围、适用的材料如表 1-1 所示。

表 1-1 洛氏硬度试验相关参数

| 标度  | 压 头           | 预载荷/N | 总载荷/N  | 应力范围   | 适用的材料       |
|-----|---------------|-------|--------|--------|-------------|
| HRA | 120°金刚石圆锥     | 98.07 | 588.4  | 70~85  | 硬质合金、表面淬火钢等 |
| HRB | φ1.588mm 淬火钢球 | 98.07 | 980.7  | 25~100 | 软钢、退火钢、铜合金等 |
| HRC | 120°金刚石圆锥     | 98.07 | 1471.1 | 20~67  | 淬火钢、调质钢等    |

洛氏硬度机可以用于检测硬度很高的材料,而且压痕很小,几乎不损伤工件表面,故在钢的热处理质量检查中应用最多。但洛氏硬度的压痕小,硬度值的代表性相对差些,重复性也不好。

(3)维氏硬度 维氏硬度机的压头是金刚石四棱锥体。试验时在载荷作用下,样品表面的压痕为四方锥形,测量其对角线长度,就可计算出硬度值(HV)。

4. 韧性

韧性指金属在断裂前吸收变形能量的能力。韧性指标有冲击韧性和断裂韧性等。金属材料抵抗冲击载荷作用下断裂的能力称为冲击韧性,常用  $a_k$  表示,单位 J/m<sup>2</sup>。断裂韧

性就是用来反映材料抵抗裂纹失稳扩展能力的指标,常用  $K_{Ic}$  表示。

非金属材料的力学性能表达有其特殊性,也可参考金属材料的相关指标。

## 1.2 常用的金属材料

### 1.2.1 钢的分类、牌号及性能特点

在工业上使用的金属材料中,以钢和铸铁的使用量最多。钢和铸铁(总称为钢铁材料)是以铁元素为主,加入碳等其他合金元素所组成的,故称为铁碳合金材料。一般把含碳量分数小于 2.11% 的铁碳合金称为钢,大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。

根据成分不同,钢可分为碳素钢(简称碳钢)和合金钢两类。

#### 1. 碳素钢

碳素钢中以铁和碳为主要元素,但常含有 Mn、Si、S、P 等杂质元素,其中 S、P 对钢的性能危害很大。因此根据 S、P 含量多少,把钢分为:普通质量钢( $S \leq 0.05\%$ ,  $P \leq 0.045\%$ )、优质钢( $S \leq 0.03\%$ ,  $P \leq 0.035\%$ )、高级优质钢( $S \leq 0.02\%$ ,  $P \leq 0.003\%$ )等。碳钢的性能主要取决于含碳质量分数的高低,随着含碳质量分数的增多,碳钢的强度、硬度提高,塑性和韧性降低。根据含碳质量分数的多少,碳钢分为低碳钢( $C \leq 0.25\%$ )、中碳钢( $C = 0.3\% \sim 0.6\%$ )和高碳钢( $C > 0.6\%$ )。低碳钢的强度、硬度低,塑性和韧性好,常用于受力较小的冲压件(如皮带轮罩壳、垫圈、自行车的挡泥板等)、焊接件等;高碳钢的强度高、塑性低,常用于制造受力较大的弹簧等零件;中碳钢既有一定的强度,也有一定的塑性,常用于制造受力较大、较复杂的轴类零件等。

工业上根据用途不同,将碳素钢分为碳素结构钢和碳素工具钢。

(1)碳素结构钢 该类钢主要用于各类结构件,根据钢的质量不同(即 S、P 的含量)分为普通碳素结构钢和优质碳素结构钢。

①普通碳素结构钢 普通碳素结构钢属于普通质量钢,其牌号表示方法为 Q 加 3 位数字。Q 为“屈”字的汉语拼音字首,后面的三位数字表示钢的屈服点(MPa)数值,如常用的 Q235A 钢,表示屈服点为 235MPa 的普通质量钢, A 表示质量等级(还有 B、C 和 D 级)。Q235 钢的旧牌号称为 A3 钢,一般受力不大,不重要的零件常用 Q235 钢制造,如用于制造螺钉、螺栓、螺母、角钢、垫圈、焊接件、桥梁建筑的结构件等。

②优质碳素结构钢 优质碳素结构钢常经热处理后使用,其牌号的一般表示方法为两位数字,表示该钢的含碳质量分数的万分数,如 45 钢,表示该钢的含碳质量分数为 0.45% 左右。

(2)碳素工具钢 碳素工具钢主要用于制造各种工具、模具及量具等。该钢的牌号表示方法是 T 后面加一位或两位数字组成, T 为“碳”字的汉语拼音首字母,后面的数字表示该钢含碳质量分数的千分数,如 T8A 钢,表示含碳质量分数为 0.8% 的高级碳素工具钢。常用的碳素工具钢有 T7、T8、T10、T12 等。

该类钢的含碳质量分数较多,强度大、硬度高、耐磨性好。该类钢一般经热处理后使用,常用于高强度、高耐磨性的零件和工具,如锉刀、锯条,简单小型冲模等。

#### 2. 合金钢

合金钢是在碳素钢的基础上再加入其他合金元素所形成的钢。合金元素的加入是为了改善与提高钢的力学性能和获得某些特殊性能。常用的合金元素有 Mn、Cr、Ni、Si、W、Mo、Ti 等。

按加入合金元素的含量多少可将合金钢分为低合金钢(合金元素的总含量 $<5\%$ )、中合金钢(合金元素的总含量 $5\% \sim 10\%$ )和高合金钢(合金元素的总含量 $>10\%$ )。

工业中将合金钢按用途不同分为合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢。

(1)合金结构钢 合金结构钢一般用来制造各种重要的机械零部件,其牌号为数字加化学元素符号再加数字,前面的两位数字表示钢的平均含碳质量分数的万分数,后面的数字表示含合金元素含量的百分数。如 60Si2Mn,60 表示含碳质量分数 $0.6\%$ ,Si2 表示含硅质量分数为 $2\%$ ,Mn 表示含锰质量分数为 $\leq 1.5\%$ 。此类钢中应用较多的是 40Cr 钢。

(2)合金工具钢 合金工具钢常用来制造各种刀具、模具和量具。其牌号表示方法和合金结构钢类似,不同的是第一位数字表示含碳质量的千分数,且大于 $1\%$ 时不标出。如 3Cr2W8V 钢,3 表示含碳质量分数 $0.3\%$ ,Cr2 表示含铬质量分数为 $2\%$ ,W8 表示含钨质量分数为 $8\%$ ,V 表示含钒质量分数为 $\leq 1.5\%$ 。

高速钢是常用的合金工具钢,含碳质量分数一般不标出,如 W18Cr4V,其含碳质量分数为 $0.7\% \sim 0.8\%$ 。常用于制造车刀、铣刀、刨刀和各种冲模等。

(3)特殊性能钢 特殊性能钢是指具有特殊物理和化学性能的合金钢。不锈钢是其中一种,常用的牌号为 1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti 等。

## 1.2.2 铸铁的分类及牌号

常用铸铁的成分与钢不同,铸铁的含碳质量分数大于 $2.11\%$ (常用 $2.5\% \sim 4\%$ ),其杂质含量远大于钢。铸铁的组织中有石墨存在,石墨的强度近于零,因此石墨存在相当于钢的基体上存在裂缝或空洞,使得铸铁的性能比钢低,特别是抗拉强度和塑性低,不能进行锻压加工,但其硬度和抗压强度较好,所以铸铁主要用于承受压力的零件。

工业上根据石墨的形态不同,将铸铁分为灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁。

### 1. 灰铸铁

灰铸铁中石墨以片状形态存在。组织中由于片状石墨的存在,其石墨片尖端有应力集中现象,使灰铸铁的抗拉强度及塑性低。其牌号为 HT(“灰铁”汉语拼音首字母)后加三位数字,三位数字表示最低的抗拉强度(MPa),常用的灰铸铁有 HT200、HT250、HT300 等共 6 种。

### 2. 可锻铸铁

可锻铸铁中石墨以团絮状的形态存在。组织中由于团絮状石墨对应力集中影响较小,故可锻铸铁的力学性能较灰铸铁高。可锻铸铁的牌号为三个拼音首字母和两组数字:如 KTH300-06、KTZ550-04。KT 表示可锻,H 和 Z 分别表示黑和珠的拼音首字母。前一组三位数字表示最低的抗拉强度(MPa),后一组数字表示最低的拉长率( $\%$ )。

### 3. 球墨铸铁

球墨铸铁中石墨以球状的形态存在。组织中由于球状石墨对应力集中影响更小,故球墨铸铁的性能最好。球墨铸铁的牌号表示和可锻铸铁类似,不同之处就是球铁的拼音字母为QT,如QT450-10、QT600-3等。

### 1.2.3 钢铁材料的火花鉴别

钢铁材料品种繁多,性能各异,因此对钢铁材料的鉴别是非常必要的。常采用的鉴别方法有火花鉴别法、涂色标志法及断口鉴别法等。这里仅简单介绍火花鉴别法。

#### 1. 火花鉴别的基本知识

火花鉴别法是利用钢铁材料在旋转的砂轮上磨削,根据所产生的火花形状、光亮度、色泽的不同特征来大致鉴别钢铁材料的化学成分。

钢铁材料在砂轮上磨削时所射出的全部火花称为火花束,它分为根部火花、中部火花和尾部火花。火花束中由灼热发光的粉末形成条状的火花称为流线。流线在中途爆炸而形成的稍粗而明亮的点称为节点。节点处射出的线称为芒线。流线或芒线上由节点、芒线所组成的火花称为节花。节花按爆发先后可分为一次花、二次花、三次花等。芒线附近呈现明亮的点称为“花粉”。有时在流线尾端会出现不同形状的尾花(菊花状尾花、狐尾花、羽状尾花等)。

#### 2. 常用的钢铁材料火花鉴别特征

碳是钢铁材料火花形成的基本元素,也是火花鉴别法测定的主要成分。由于含碳量的不同,其火花形状也不同。另外合金元素也会影响火花的特征。

(1)碳素钢的火花特征 随含碳量的增加,火花束中流线逐渐增多,长度逐渐缩短并变细,其形状也由挺直转向抛物线。芒线也逐渐变细变短。节花由一次花转而成二次花、三次花。色泽由草黄色带暗红色逐渐转为黄亮色再转为暗红色,光亮度逐渐增高。

如图 1-1 所示,为碳钢火花特征示意图,其中:

①低碳钢的火花束为粗流线,流线条数稀少,一次花较多,色泽草黄带暗红。

②中碳钢流线较直,中部较粗大,根部稍细,二次花较多,色泽呈黄色。

③高碳钢流线长,密而多,有二次花及三次花,色泽呈黄色且明亮。

(2)合金钢火花的特征 合金钢的火花特征与加入合金元素有关,例如 Ni、Si、Mo、W 等有抑制爆裂的作用,而 Mn、V、Cr 却可以助长爆裂。所以对合金钢火花的鉴别较难掌握,如图 1-2 所示,为几种合金钢火花特征示意图,其中:

①铬钢的火花束白亮,流线稍粗而长,爆裂多为一次花,花型较大,呈大星形,分叉多而细,附有很多碎“花粉”,爆裂的花心很明亮。

②镍铬不锈钢的火花呈黄色发光,火花束细,发光较暗,爆裂为一次花,五六根分叉,呈星形,尖端微有爆裂。

③高速钢火花束细长,流线数量少,无火花爆裂,色泽呈暗红色,根部和中部为断续流线,尾端膨胀而下垂呈狐尾状。

(3)灰铸铁火花特征 灰铸铁火花束细而短,尾花呈羽状,色泽呈暗红色。



(a) 低碳钢

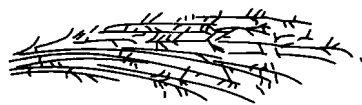


(b) 中碳钢



(c) 高碳钢

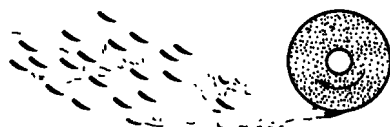
图 1-1 碳素钢火花特征



(a) 铬钢 (20Cr)



(b) 镍铬不锈钢



(c) 高速钢 (W18Cr4V)

图 1-2 几种合金钢火花特征

## 1.2.4 其他金属材料

工业上把钢铁以外的金属及其合金统称为非铁金属。下面介绍 Al(铝)、Cu(铜)及其合金。

### 1. 铝及其合金

纯铝是银白色的轻金属,它的密度小( $2.7\text{g/cm}^3$ ),导电、导热性好,仅次于 Ag(银)和 Cu,在大气中有良好的耐蚀性,塑性好(可达 80%),但强度低( $\sigma_b = 80\text{MPa} \sim 100\text{MPa}$ )。工业纯铝主要用来制造电线和强度要求不高的日用器皿等。

在纯铝中加入 Si、Cu、Mg、Mn 等合金元素,可得到具有较高强度的铝合金。铝合金用来制造轻质零件,特别在航空航天工业中得到了广泛应用。铝合金按其成分和工艺特点不同,分为变形铝合金和铸造铝合金两类。

(1)变形铝合金 变形铝合金有较高的强度和良好的塑性,可以通过压力加工制成各种型材(板、带、线等),常用的变形铝合金有防锈铝合金、硬铝铝合金和锻铝铝合金。

①防锈铝合金(LF) 具有较高的耐蚀性、良好的塑性和焊接性,强度适中,但切削加工性差。常用的牌号有 LF5、LF11、LF21 等,常用来制造轻载荷的冲压件及要求耐腐蚀的零件,如油箱、壳体、油管、日用品等。

②硬铝铝合金(LY) 该类合金通过热处理可获得相当高的强度,其耐蚀性比纯铝差。常用的牌号有 LY1、LY11 等,常用来制造中等强度的结构件,如骨架、支柱、螺旋桨叶片、螺栓和铆钉等。

③锻铝铝合金(LD) 该类合金的力学性能与硬铝相近,热塑性较好,适于锻造成型。常用锻铝的牌号有 LD6、LD7 等,主要用于承受较重载荷的锻件和模锻件,如内燃机零

件、导风轮等形状复杂的大型锻件。

(2)铸造铝合金 铸造铝合金有良好的铸造性和耐蚀性,广泛用于航空航天、仪表及机械制造等工业部门。铸造铝合金按主元素不同,分为铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金和铝锌合金四类。

## 2. 铜及其合金

纯铜又称紫铜,具有良好的导电性、导热性和耐蚀性,工业上纯铜主要用来制造导线、热交换器和油管等。纯铜的强度低,不宜制造受力较大的机器零件。在机械制造中广泛采用铜合金来制造零件,其中常用的是黄铜和青铜。

(1)黄铜 黄铜是以 Zn(锌)为主要添加元素的铜合金。铜中加 Zn 能提高其强度和塑性。为了提高黄铜的力学性能、耐蚀性和切削加工性,可在普通黄铜中再加入 Pb(铅)、Mn、Sn(锡)、Al 等元素组成特殊黄铜。

黄铜主要用来制造衬套和耐蚀零件等。

(2)青铜 青铜是以 Sn 为主要添加元素的铜合金。目前以 Al、Si、Pb 等元素代替 Sn 的铜合金,也称为青铜。为区别起见,前者称为普通青铜或锡青铜,后者称为特殊青铜或无锡青铜。

青铜主要用来制造轴瓦、涡轮及要求减摩、耐蚀的零件等。

# 1.3 常用的非金属材料

非金属材料指除金属材料外的所有固体材料。在机械制造中常用的是高分子材料、陶瓷材料和复合材料。这类材料的特点是密度小,耐蚀性优良,电绝缘性良好,来源广泛,成型工艺简单。目前,非金属材料已成为工程材料的重要组成部分。

## 1.3.1 高分子材料

高分子材料是以高分子化合物(分子量一般在 5000 以上)为主要成分组成的材料,常用的有塑料、橡胶等。

### 1. 塑料

塑料是以合成树脂为主要成分,加入填充剂、增强剂、稳定剂、着色剂、润滑剂等制成的。

(1)塑料的特性 塑料与金属相比,优点是质量轻、比强度高,化学稳定性好,减摩、耐磨性好,电绝缘性优良,消声和吸震性好,成型加工性好、方法简单且生产率高。塑料的缺点是强度、刚度低,耐热性差,易燃烧和易老化,导热性差,热膨胀系数大。为了克服这些缺点,研究人员正在不断研发新型的、耐热和高强度的塑料。

(2)塑料的分类及用途 根据树脂在加热和冷却时所表现的性质,塑料可以分为热塑性塑料和热固性塑料。

①热塑性塑料 热塑性塑料在加热时变软,冷却后变硬,再加热又可变软,可反复成型,基本性能不变,其制品使用的温度低于 120℃。热塑性塑料成型工艺简单,可直接经挤塑、注塑、压延、压制、吹塑成型,生产效率高。

常用的热塑性塑料有:

a. 聚乙烯(PE) 适用于薄膜、软管、瓶、食品包装以及承受小载荷的齿轮、塑料管、

板、绳等。

b. 聚氯乙烯(PVC) 适用于输油管、容器、阀门等耐腐蚀结构件,工业包装用薄膜(有毒,不能包装食品)等。

c. ABS塑料(A代表丙烯腈,B代表丁二烯,S代表苯乙烯) 应用于机械、电器、汽车、飞机、化工等行业,用来制造齿轮、叶轮、轴承、仪表盘等零件。

d. 有机玻璃(PMMP) 应用于航空、电子、汽车、仪表等行业中的透明件和装饰件等的制造。

②热固性塑料 该类塑料加热软化,冷却后坚硬,固化后再加热则不再软化或熔融,不能再次成型。热固性塑料抗蠕变性强,不易变形,耐热性强,但树脂性能较脆,强度不高,成型工艺复杂,生产率低。

常用的热固性塑料有:

a. 酚醛塑料(PF) 俗称“电木”,适用于制造开关壳、插座壳、水润滑轴承、耐腐蚀衬套、绝缘件等。

b. 环氧树脂(EP) 适用于制造玻璃纤维增强塑料、塑料模具、仪表、电器零件等。

## 2. 橡胶

橡胶是以生胶为主要原料,加入适量的硫化剂、软化剂、填充剂、防老化剂和骨架材料等而制成的。

(1)橡胶的特性 橡胶的主要特性是高弹性、耐蚀性、有较高的强度和优异的积储能量的能力,具有耐磨、隔声、绝缘等性能;缺点是易老化。

(2)橡胶的分类和用途 橡胶按来源分为天然橡胶和合成橡胶两种。合成橡胶分为通用橡胶和特种橡胶。橡胶在工业上用作运输胶带、轮胎、制动件、管道、密封件、减振件、传动件、电缆和绝缘件等。

## 1.3.2 陶瓷及复合材料

### 1. 陶瓷

陶瓷是以天然硅酸盐或人工合成无机化合物为原料,用粉末冶金法生产的无机非金属材料。它同金属材料、高分子材料一起被称为三大固体材料。

(1)陶瓷的特性 陶瓷的硬度很高,抗压强度高,耐高温、耐磨损,抗氧化和耐蚀性都很好。但陶瓷质脆、韧性很差,受冲击载荷时易碎裂,急热急冷条件下性能也较差。

(2)陶瓷的分类和用途 陶瓷按原料不同分为普通陶瓷和特种陶瓷;按用途不同分为日用陶瓷和工业陶瓷,工业陶瓷又可分为工程陶瓷和功能陶瓷。

普通陶瓷又称为传统陶瓷、硅酸盐陶瓷,其原料是粘土、长石、石英等天然硅酸盐矿物,包括日用陶瓷、建筑陶瓷等。

特种陶瓷又称为近代陶瓷,其原料是人工合成的金属氧化物、碳化物、氮化物、硼化物、硅化物等,特种陶瓷具有一些独特的性能,可满足工程结构的特殊需要。

陶瓷材料在机械、化工、冶金、电子、建筑等行业和某些新技术领域得到了广泛应用。

### 2. 复合材料

复合材料是由两种或两种以上性质不同的材料,经人工组合而成的多相固体材料。

(1)复合材料的特性 复合材料既保留了单一材料各自的优点,具有单一材料所没有