

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

现代机械工程系列精品教材

普通高等教育“十三五”工程训练系列规划教材



# Engineering Training Practical Course

## 工程训练实用教程

张玉华 杨树财 © 主编

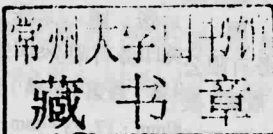


机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

“十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系列精品教材  
普通高等教育“十三五”工程训练系列规划教材

# 工程训练实用教程

主编 张玉华 杨树财  
参编 于志祥 纪珊 石春源 徐雯雯  
孙汝苇 郭静兰 陈明明



机械工业出版社

本书是根据教育部普通高等学校工程训练教学指导委员会要求,结合高校工程训练中心实际情况、国内外高等工程教育发展状况和编者多年实践教学经验编写而成的,主要从高等学校本科生和专科生所必备的工程训练实训技能出发,结合工程训练实训项目进行针对性强化训练,使本科生和专科生掌握相应的专业技能和基础知识,并在熟悉实训设备操作的同时掌握机械制造基本技能;其次,对于大众读者,本书几乎包括了与基础制造相关的所有基础知识,如工程材料及热处理、材料成形训练、切削加工训练、数控加工训练和特种加工训练等内容,因此,对于大众读者也同样适用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程训练实用教程/张玉华,杨树财主编. —北京:  
机械工业出版社, 2017. 8

“十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械  
工程系列精品教材 普通高等教育“十三五”工程训练  
系列规划教材

ISBN 978-7-111-56932-9

I. ①工… II. ①张… ②杨… 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 (2017) 第 115598 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 丁昕祯 责任编辑: 丁昕祯 杨 璇 任正一

封面设计: 张 静 责任校对: 郑 婕

责任印制: 张 博

三河市国英印务有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.75 印张 · 434 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-56932-9

定价: 37.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前言

本书是根据教育部普通高等学校工程训练教学指导委员会要求,结合高校工程训练中心实际情况、国内外高等工程教育发展状况和编者多年实践教学经验编写而成的。本书共有四个模块11章内容,其中模块一为工程训练基础知识,内容包括工程材料与钢的热处理、切削加工基础知识,共2章;模块二为材料成形训练与实践,内容包括铸造成形及其基本技能训练、焊接成形及其基本技能训练,共2章;模块三为传统加工工艺训练与实践,内容包括车削加工及其基本技能训练、铣削加工及其基本技能训练、磨削加工及其基本技能训练、钳工基本技能训练,共4章;模块四为先进制造工艺训练与实践,内容包括数控车削加工及其基本技能训练、数控铣削加工及其基本技能训练、电火花线切割及其基本技能训练,共3章。各章均以基本技能训练为宗旨,明确各实训项目的实训守则,加强学生安全意识,明确安全文明生产知识以及各工种的安全隐患、操作规范等,并且编写有项目实例,以便于实训教学,巩固知识。

本书主要从高等学校本科生和专科生所必备的工程训练实训技能出发,结合工程训练实训项目进行针对性强化训练,使本科生和专科生掌握相应的专业技能和基础知识,并在熟悉实训设备操作的同时掌握机械制造基本技能;其次,对于大众读者,本书几乎包括了基础制造相关的所有基础知识,如工程材料及热处理、材料成形训练、切削加工训练、数控加工训练和特种加工训练等内容,因此,对于大众读者也同样适用。

本书由杨树财和张玉华担任主编,并负责全书统稿,由司乃钧教授担任主审。参与编写的教师及分工为:杨树财(第1、8章)、郭静兰(第2、11章)、孙汝苇(第3章)、纪珊(第4章)、徐雯雯(第5章)、石春源(第6章)、张玉华(第7章)、于志祥(第9章)、陈明明(第10章)。

由于编者水平和经验有限,书中难免存在不妥之处,恳请各位同行和读者批评指正。

编者

# 目 录

## 前 言

## 模块一 工程训练基础知识

### 第1章 工程材料与钢的热处理 ..... 1

#### 1.1 工程材料 ..... 1

##### 1.1.1 工程材料概述 ..... 1

##### 1.1.2 工程材料的分类 ..... 1

#### 1.2 金属材料 ..... 2

##### 1.2.1 金属材料的力学性能 ..... 2

##### 1.2.2 金属材料的物理、化学及其 工艺性能 ..... 3

#### 1.3 常用金属材料及其牌号 ..... 4

##### 1.3.1 碳素钢 ..... 4

##### 1.3.2 合金钢 ..... 5

##### 1.3.3 铸铁 ..... 6

##### 1.3.4 有色金属及其合金 ..... 7

##### 1.3.5 非金属材料 ..... 8

##### 1.3.6 复合材料 ..... 9

#### 1.4 钢的热处理技术 ..... 9

##### 1.4.1 钢的热处理工艺 ..... 10

##### 1.4.2 常用热处理设备 ..... 11

#### 1.5 热处理基本技能训练 ..... 12

##### 1.5.1 实训守则 ..... 12

##### 1.5.2 项目实例 ..... 12

### 第2章 切削加工基础知识 ..... 13

#### 2.1 切削加工概述 ..... 13

##### 2.1.1 切削加工的分类 ..... 13

##### 2.1.2 切削运动的形式 ..... 13

##### 2.1.3 切削用量 ..... 14

#### 2.2 切削刀具 ..... 15

##### 2.2.1 切削刀具材料特性 ..... 15

##### 2.2.2 常用刀具材料 ..... 16

#### 2.3 常用量具 ..... 17

##### 2.3.1 量具的种类 ..... 17

##### 2.3.2 量具的保养方法 ..... 22

#### 2.4 切削加工零件技术要求 ..... 22

##### 2.4.1 加工精度要求 ..... 22

##### 2.4.2 加工表面粗糙度要求 ..... 23

#### 2.5 切削加工基本技能训练 ..... 26

##### 2.5.1 实训守则 ..... 26

##### 2.5.2 项目实例 ..... 27

##### 2.5.3 练习件 ..... 28

## 模块二 材料成形训练与实践

### 第3章 铸造成形及其基本技能训练 ..... 30

#### 3.1 铸造成形概述 ..... 30

#### 3.2 砂型铸造 ..... 31

##### 3.2.1 造型材料及工艺装备 ..... 32

##### 3.2.2 手工造型 ..... 35

##### 3.2.3 机器造型 ..... 46

#### 3.3 铸造合金的熔炼与浇注 ..... 48

##### 3.3.1 铸造合金的熔炼 ..... 48

##### 3.3.2 铸造合金的浇注 ..... 51

#### 3.4 铸件的落砂、清理和缺陷分析 ..... 52

##### 3.4.1 铸件的落砂与清理 ..... 52

##### 3.4.2 铸件的缺陷分析 ..... 53

#### 3.5 砂型铸造的基本技能训练 ..... 56

##### 3.5.1 实训守则 ..... 56

##### 3.5.2 项目实例 ..... 56

##### 3.5.3 练习件 ..... 57

### 第4章 焊接成形及其基本技能训练 ..... 58

#### 4.1 焊接成形概述 ..... 58

#### 4.2 焊条电弧焊 ..... 59

|                               |    |                               |     |
|-------------------------------|----|-------------------------------|-----|
| 4.2.1 焊条电弧焊的焊接过程 .....        | 59 | 5.3 车削加工工艺 .....              | 88  |
| 4.2.2 焊接电弧的形成 .....           | 59 | 5.3.1 车外圆、端面与台阶 .....         | 88  |
| 4.2.3 焊条电弧焊的焊接设备 .....        | 60 | 5.3.2 钻孔与车内圆 .....            | 89  |
| 4.2.4 常用工具及附具 .....           | 61 | 5.3.3 车锥面 .....               | 91  |
| 4.2.5 焊条 .....                | 62 | 5.3.4 车槽与车断 .....             | 92  |
| 4.2.6 焊条电弧焊工艺 .....           | 63 | 5.3.5 车螺纹 .....               | 93  |
| 4.2.7 焊条电弧焊的基本操作 .....        | 64 | 5.3.6 车成形面与滚花 .....           | 96  |
| 4.3 气焊和气割 .....               | 66 | 5.4 车削加工基本技能训练 .....          | 97  |
| 4.3.1 气焊 .....                | 66 | 5.4.1 实训守则 .....              | 97  |
| 4.3.2 气割 .....                | 69 | 5.4.2 项目实例 .....              | 97  |
| 4.4 焊接变形和焊接缺陷 .....           | 69 | 5.4.3 练习件 .....               | 103 |
| 4.4.1 焊接变形和焊接缺陷产生的原因 .....    | 69 | <b>第6章 铣削加工及其基本技能训练</b> ..... | 104 |
| 4.4.2 焊接应力对工件质量的影响 .....      | 70 | 6.1 铣削加工概述 .....              | 104 |
| 4.4.3 防止焊接缺陷产生的工艺措施 .....     | 71 | 6.2 铣床及常用附件 .....             | 106 |
| 4.5 其他焊接方法 .....              | 71 | 6.2.1 铣床分类 .....              | 106 |
| 4.5.1 气体保护焊 .....             | 71 | 6.2.2 铣床附件 .....              | 108 |
| 4.5.2 埋弧焊 .....               | 72 | 6.2.3 工件装夹 .....              | 110 |
| 4.5.3 钎焊 .....                | 73 | 6.3 铣刀 .....                  | 112 |
| 4.5.4 电阻焊 .....               | 74 | 6.3.1 铣刀分类 .....              | 112 |
| 4.5.5 摩擦焊 .....               | 76 | 6.3.2 铣刀装夹 .....              | 113 |
| 4.6 焊接成形基本技能训练 .....          | 76 | 6.4 铣削加工工艺 .....              | 114 |
| 4.6.1 实训守则 .....              | 76 | 6.4.1 铣削方式及操作步骤 .....         | 114 |
| 4.6.2 项目实例 .....              | 77 | 6.4.2 铣平面、斜面、台阶面 .....        | 115 |
|                               |    | 6.4.3 铣沟槽 .....               | 116 |
|                               |    | 6.4.4 铣等分零件 .....             | 117 |
|                               |    | 6.4.5 铣螺旋槽 .....              | 118 |
|                               |    | 6.4.6 齿轮加工 .....              | 118 |
|                               |    | 6.5 铣削加工基本技能训练 .....          | 119 |
|                               |    | 6.5.1 实训守则 .....              | 119 |
|                               |    | 6.5.2 项目实例 .....              | 119 |
|                               |    | 6.5.3 练习件 .....               | 121 |
| <b>模块三 传统加工工艺训练与实践</b>        |    | <b>第7章 磨削加工及其基本技能训练</b> ..... | 122 |
| <b>第5章 车削加工及其基本技能训练</b> ..... | 79 | 7.1 磨削加工概述 .....              | 122 |
| 5.1 车削加工概述 .....              | 79 | 7.1.1 磨削加工的基本概念 .....         | 122 |
| 5.1.1 车削加工范围 .....            | 79 | 7.1.2 磨削加工的特点 .....           | 122 |
| 5.1.2 车床型号及类型 .....           | 79 | 7.1.3 磨削运动与磨削用量 .....         | 122 |
| 5.2 卧式车床及其操作要点 .....          | 80 | 7.1.4 磨削加工切削液的选取 .....        | 123 |
| 5.2.1 卧式车床组成及作用 .....         | 80 | 7.2 砂轮 .....                  | 124 |
| 5.2.2 车床附件及工件安装 .....         | 81 | 7.2.1 砂轮的特性及形状 .....          | 124 |
| 5.2.3 车刀及其安装 .....            | 84 |                               |     |
| 5.2.4 卧式车床基本操作 .....          | 86 |                               |     |

|                             |     |                               |     |
|-----------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 7.2.2 砂轮的检查、平衡及修整           | 126 | 9.2.3 华中世纪星 HNC-21T 系统数控车床操作  | 193 |
| 7.3 磨床及其工作                  | 127 | 9.3 数控车削基本技能训练                | 202 |
| 7.3.1 磨床的型号                 | 127 | 9.3.1 实训守则                    | 202 |
| 7.3.2 常用磨床简介                | 128 | 9.3.2 项目实例                    | 203 |
| 7.3.3 磨平面                   | 130 | 9.3.3 练习件                     | 213 |
| 7.3.4 磨外圆、内圆及圆锥面            | 132 | <b>第 10 章 数控铣削加工及其基本技能训练</b>  | 217 |
| 7.4 磨工基本技能训练                | 135 | 10.1 数控铣削加工概述                 | 217 |
| 7.4.1 实训守则                  | 135 | 10.1.1 数控铣削加工范围               | 217 |
| 7.4.2 项目实例                  | 136 | 10.1.2 数控铣床的分类                | 217 |
| <b>第 8 章 钳工基本技能训练</b>       | 138 | 10.1.3 数控铣削加工工艺基础             | 218 |
| 8.1 钳工概述                    | 138 | 10.2 数控铣床编程与操作                | 219 |
| 8.2 钳工基本操作                  | 138 | 10.2.1 数控铣床特点及组成              | 219 |
| 8.2.1 划线                    | 138 | 10.2.2 数控铣床的编程特点              | 222 |
| 8.2.2 錾削                    | 143 | 10.2.3 数控铣削编程指令及其应用           | 222 |
| 8.2.3 锯削                    | 146 | 10.2.4 华中世纪星 HNC-21M 系统数控铣床操作 | 241 |
| 8.2.4 锉削                    | 149 | 10.3 数控铣削基本技能训练               | 249 |
| 8.2.5 螺纹加工                  | 153 | 10.3.1 实训守则                   | 249 |
| 8.2.6 钻削                    | 154 | 10.3.2 项目实例                   | 250 |
| 8.2.7 刮削                    | 158 | 10.3.3 练习件                    | 257 |
| 8.2.8 研磨                    | 161 | <b>第 11 章 电火花线切割及其基本技能训练</b>  | 258 |
| 8.3 钳工基本技能训练                | 163 | 11.1 特种加工概述                   | 258 |
| 8.3.1 实训守则                  | 163 | 11.1.1 特种加工的特点及其应用            | 258 |
| 8.3.2 项目实例                  | 163 | 11.1.2 特种加工的加工技术              | 259 |
| 8.3.3 练习件                   | 167 | 11.2 电火花线切割加工                 | 260 |
| <b>模块四 先进制造工艺训练与实践</b>      |     | 11.2.1 电火花线切割加工概述             | 260 |
| <b>第 9 章 数控车削加工及其基本技能训练</b> | 169 | 11.2.2 电火花线切割机床               | 261 |
| 9.1 数控车床概述                  | 169 | 11.2.3 电火花线切割操作               | 264 |
| 9.1.1 数控车床的主要功能             | 169 | 11.3 电火花线切割基本技能训练             | 273 |
| 9.1.2 数控车床的分类               | 169 | 11.3.1 实训守则                   | 273 |
| 9.1.3 数控车床特点及组成             | 170 | 11.3.2 项目实例                   | 274 |
| 9.1.4 数控车床的型号               | 172 | 11.3.3 练习件                    | 276 |
| 9.2 数控车床编程与操作               | 172 | <b>参考文献</b>                   | 277 |
| 9.2.1 数控车床的编程特点             | 172 |                               |     |
| 9.2.2 数控车削编程指令及其应用          | 176 |                               |     |

# 模块一 工程训练基础知识

## 第1章 工程材料与钢的热处理

### 1.1 工程材料

#### 1.1.1 工程材料概述

材料是人类生产和生活的物质基础，是人类文明进步与社会发展的基石。工程材料是材料的重要组成部分。工程材料是指制造工程结构和机器零件所使用的材料，主要包括金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。材料、信息和能源技术已构成了现代社会的三大支柱，而且能源和信息的发展都离不开材料，因此世界各国都把研究、开发新材料放在突出地位。

#### 1.1.2 工程材料的分类

工程上使用的材料种类繁多，有许多不同的分类方法。按化学成分、结合键的特点，可将工程材料进行如图 1-1 所示的分类。

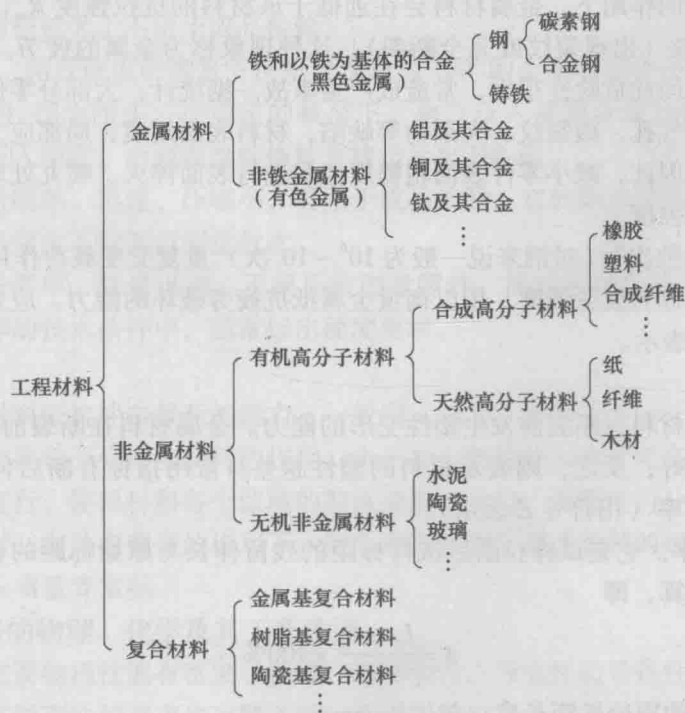


图 1-1 工程材料的分类



## 1.2 金属材料

金属材料是应用最广泛的工程材料。金属材料可分为黑色金属和有色金属。黑色金属主要包括铁和以铁为基的合金,包括碳素钢、合金钢、铸铁等;有色金属包括铜及铜合金、铅及铝合金、钛及钛合金等。

金属材料的主要性能是指其使用性能及工艺性能。使用性能是指机器零件在正常工作情况下金属材料应具备的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指零件在冷、热加工制造过程中金属材料所表现出来的性能,主要有铸造、锻压、焊接、热处理和切削加工等性能。

### 1.2.1 金属材料的力学性能

在机械行业中选用材料,一般以力学性能作为主要依据。力学性能是指金属在载荷作用下所表现出来的抵抗变形或断裂的性能。力学性能指标是零件在设计计算、选材、工艺评定以及材料检验时的主要依据。力学性能是指金属在外力作用下所表现出来的特性,常用的指标有强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳强度等。

#### 1. 强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。它是通过拉伸试验测得的。塑性变形又称为永久变形。常用强度判据是屈服强度和抗拉强度。屈服强度以符号  $R_{eL}$  (或  $R_{p0.2}$ ) 表示,单位为 MPa,是指在拉伸过程中,力不增加材料仍能继续伸长时的应力;抗拉强度以符号  $R_m$  表示,单位为 MPa,代表材料抵抗断裂的能力。

很多机械零件,如各种轴、齿轮、连杆、弹簧等,都是在交变载荷的作用下工作的。在这种重复交变载荷的作用下,金属材料会在远低于该材料的抗拉强度  $R_m$ ,甚至小于屈服强度  $R_{eL}$  的应力下失效(出现裂纹或完全断裂),这种现象称为金属的疲劳。由于疲劳断裂前无明显塑性变形,因此危险性很大,常造成严重事故。据统计,大部分零件的损坏是由疲劳造成的。材料存在气孔、微裂纹、夹杂物等缺陷,材料表面划痕、局部应力集中等因素,均可加快疲劳断裂。因此,减小零件表面粗糙度值和进行表面淬火、喷丸处理、表面滚压等均可提高材料的疲劳强度。

当金属在“无数次”(对钢来说一般为  $10^6 \sim 10^7$  次)重复交变载荷作用下而不致引起断裂时的最大应力,称为疲劳强度,用以衡量金属抵抗疲劳破坏的能力。应力循环对称时的疲劳强度用符号  $\sigma_{-1}$  表示。

#### 2. 塑性

塑性是指金属材料在断裂前发生塑性变形的能力。金属材料在断裂前的塑性变形越大,表示材料的塑性越好;反之,则表示材料的塑性越差。常用指标有断后伸长率(用符号  $A$  表示)和断面收缩率(用符号  $Z$  表示)。

1) 断后伸长率。它是试样拉断后试样标距的残留伸长与原始标距的百分比,用符号  $A$  表示,可按下式计算,即

$$A = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中  $L_0$ ——试样的原始标距长度,单位为 mm;

$L_1$ ——试样拉断后的标距残留长度,单位为 mm。

2) 断面收缩率。它是试样拉断处横截面面积的最大减少量与原始横截面面积的百分比,用 $Z$ 表示,可按式计算,即

$$Z = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中  $S_1$ ——试样拉断处的最小横截面面积,单位为  $\text{mm}^2$ ;

$S_0$ ——试样的原始横截面面积,单位为  $\text{mm}^2$ 。

### 3. 硬度

硬度是衡量金属材料抵抗硬物侵入其表面的能力。硬度是衡量金属材料软硬程度的一项重要性能指标。材料的硬度是通过硬度试验测得的。生产中常用的硬度有布氏硬度(HBW)和洛氏硬度(HR)。

1) 布氏硬度。布氏硬度的测量方法是在规定的检测力( $F$ )作用下,将一定直径( $D$ )的硬质合金球压入试样表面,保持一定时间,然后去除检测力,测量试样表面上所压印痕直径( $d$ ),根据 $d$ 可以计算出压痕球形表面积( $S$ ),如图1-2所示。布氏硬度值是检测力( $F$ )除以压痕球形表面积( $S$ )所得的商。压痕大,表示钢球压入深,硬度值低;反之则硬度值高。

布氏硬度法压痕面积较大、其硬度值比较稳定,故测量数据重复性好,准确度高。它的缺点是测量费时,且因压痕面积较大、不适于成品检验。

2) 洛氏硬度。洛氏硬度的测量方法是以顶角为 $120^\circ$ 的金刚石圆锥体(或直径 $1.588 \sim 3.18\text{mm}$ 淬火钢球)作为压头,在规定的载荷下,垂直压入被测金属表面,保持一定时间后,卸载后依据压入深度,由刻度盘的指针直接指示出HR值。

洛氏硬度测量简单、迅速、压痕小,可用于成品检验。它的缺点是测量的硬度重复性效果较差。为此,必须在不同部位测量数次。

硬度测定设备简单,测量迅速,不损坏被测量零件,同时强度和硬度有一定的换算关系,故在零件图样的技术条件中,通常标出硬度要求。

### 4. 冲击韧度

冲击韧度是材料抵抗冲击载荷的能力。一般用 $a_k$ 表示,单位为 $\text{J}/\text{cm}^2$ 。许多机械零件和工具在工作过程中往往受到冲击载荷的作用。由于冲击载荷的加载速度高,整个材料的均匀塑性变形来不及进行,使得材料各个区域的塑性变形不均匀,导致应力分布也不均匀。当原材料质量有缺陷时,在冲击载荷的作用下,便出现因韧性下降而脆断的现象。因此冲击韧度也就成了材料的一项重要指标。

## 1.2.2 金属材料的物理、化学及其工艺性能

金属材料的主要物理性能有密度、熔点、热膨胀性、导电性和导热性等。由于机器零件的用途不同,对其物理性能要求也有所不同。例如:飞机零件常选用密度小的铝、镁、钛合金来制造;设计电动机、电器零件时,常要考虑金属材料的导电性等。

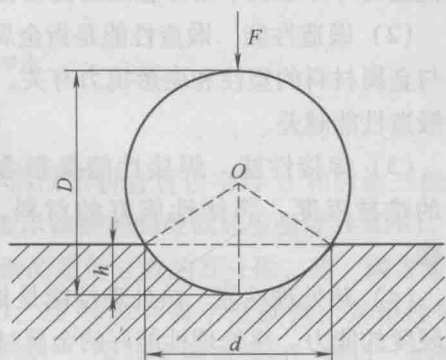


图1-2 布氏硬度试验原理图

金属材料在室温或高温时抵抗各种化学作用的能力称为化学性能,如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。在腐蚀介质中或在高温下工作的机器零件,由于比在空气中或室温时的腐蚀更为强烈,故在设计这类零件时应特别注意金属材料的化学性能,并采用化学稳定性良好的合金,如化工设备、医疗用具等常采用不锈钢来制造,而内燃机排气阀和电站设备的一些零件则常选用耐热钢来制造。

金属材料工艺性能的优劣是制造合格机器零件难易程度的体现。在机械产品设计中,选择具有良好工艺性能的金属材料,是制造合格机器零件的基础,是提高生产率和经济效益的保证。金属材料工艺性能主要分为以下五种。

(1) 铸造性能 铸造性能是指金属材料能否用铸造方法生产优质铸件的难易程度。铸造性能的好坏取决于熔融金属的流动性和收缩性。

(2) 锻造性能 锻造性能是指金属材料在锻压过程中能否获得优良锻压件的难易程度。它与金属材料的塑性和变形抗力有关。塑性越高,变形抗力越小,则锻造性能越好;反之,则锻造性能越差。

(3) 焊接性能 焊接性能是指金属材料在一定焊接工艺条件下,获得优质焊接接头的难易程度。焊接性能好的材料,易于用一般的焊接方法和简单的工艺措施进行焊接。

(4) 热处理性能 热处理性能是指金属材料在一定热处理工艺条件下,获得一定强度和硬度的能力。热处理性能好的金属材料在一般条件下,易于获得优良的组织 and 性能,且尺寸变形小。

(5) 切削加工性能 在一定条件下,材料被刀具切削加工的难易程度称为切削加工性能。一般由工件切削后的表面粗糙度及刀具寿命等方面来衡量。切削加工性能好的材料,加工刀具的磨损量小,切削用量大,加工的表面质量较好。

## 1.3 常用金属材料及其牌号

常见的金属材料是指铁、铝、铜等纯金属及其合金。机械零件所用金属材料多种多样,为了使生产、管理方便有序,根据有关标准对不同金属材料规定了它们的牌号表示方法,以示统一和便于选择、使用。

### 1.3.1 碳素钢

碳素钢简称为碳钢,是指碳的质量分数小于2.11%,除铁、碳和限量以内的硅、锰、磷、硫等杂质外,不含其他合金元素的钢。碳素钢的性能主要取决于碳的质量分数。碳的质量分数增加,钢的强度、硬度升高,塑性、韧性和焊接性降低。与其他钢类相比,碳素钢使用最早,成本低,性能范围宽,用量最大。钢的分类方法很多,常见的分类如图1-3所示。

#### 1. 碳素结构钢

低碳钢和碳的质量分数较少的中碳钢都属于普通碳素结构钢。这类钢内硫、磷等有害杂质的含量较高,但性能仍能满足一般工程结构、建筑结构及一些机件的使用要求,且价格低廉,因此在国民经济各个部门得到广泛应用。

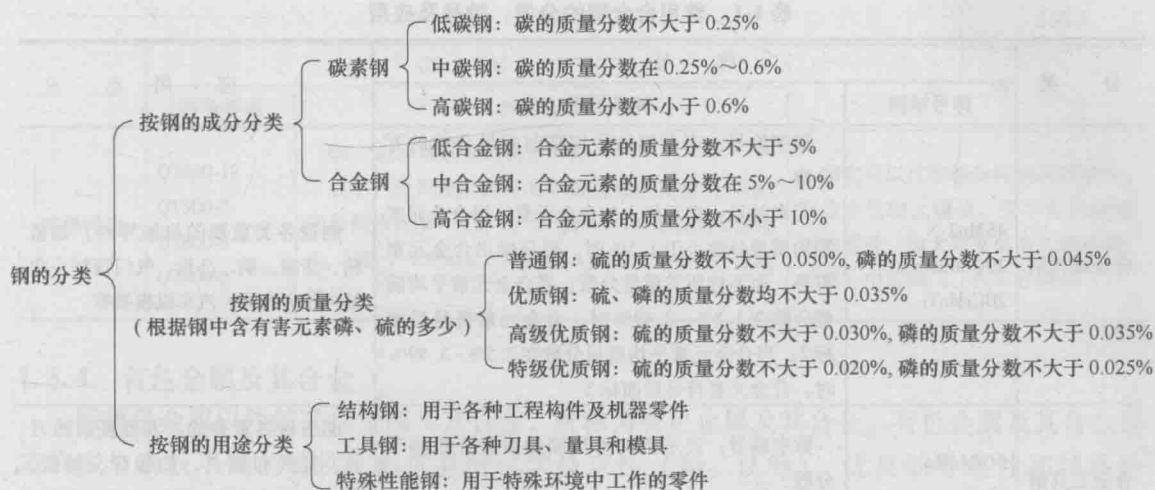


图 1-3 钢的分类

普通碳素结构钢的牌号以代表屈服强度“屈”字的汉语拼音首位字母 Q 和后面三位数字来表示，如 Q215、Q235 等，每个牌号中的数字均表示该钢种的最低屈服强度（MPa）。

优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示钢中平均碳的质量分数的万分数，硫、磷含量较低，主要用来制造较为重要的机件。08、10、15、20、25 等牌号属于低碳钢，其塑性好，易于拉拔、冲压、挤压、锻造和焊接。其中 20 钢用途最广，常用来制造螺钉、螺母、垫圈、小轴、冲压件、焊接件等。30、35、40、45、50、55 等牌号属于中碳钢，其强度和硬度有所提高，淬火后的硬度可显著增加。其中，以 45 钢最为典型，它不仅强度、硬度较高，且有较好的塑性和韧性，即综合性能优良。45 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、重要的螺钉与螺母等。60、65、70、75 等牌号属于高碳钢，它们经过淬火、回火后，不仅强度、硬度提高，且弹性优良，常用来制造小弹簧、发条、钢丝绳、轧辊等。

## 2. 碳素工具钢

碳素工具钢属优质钢，牌号以“T”起首，其后的一位或两位数字表示钢中的平均碳的质量分数的千分数。例如：T8 表示平均碳的质量分数为 0.8% 的碳素工具钢。淬火后，碳素工具钢的强度、硬度较高。为了便于加工，常以退火状态供应，使用时再进行热处理。

碳素工具钢随着平均碳的质量分数的增加，硬度和耐磨性增加，而塑性、韧性逐渐降低，所以 T7、T8 钢常用来制造韧性要求较高、硬度中等的工具，如冲头、錾子等；T10 钢用来制造韧性中等、硬度较高的工具，如钢锯条、丝锥等；T12、T13 用来制造硬度高、耐磨性好、韧性较低的工具，如量具、锉刀、刮刀等。

### 1.3.2 合金钢

为了改善碳素钢的某些性能或使之具有某些特殊性能，炼钢时有意加入一些元素，称为合金元素。含有合金元素的钢称为合金钢。常用合金钢的分类、牌号及应用，见表 1-1。

表 1-1 常用合金钢的分类、牌号及应用

| 分 类   | 牌 号                           |   | 应 用   |
|-------|-------------------------------|---|---|
|       | 牌号举例                          | 牌号说明  |   |
| 合金结构钢 | 45Mn2<br>20CrMnMo<br>20CrMnTi | 数字编号：表示钢的平均碳的质量分数的万分数<br>元素符号：表示加入的合金元素，当合金元素平均质量分数小于 1.5% 时，则只标出合金元素符号，而不标明其质量分数；若合金元素平均质量分数在 1.5%~2.49% 时，合金元素符号后面标 2；当合金元素平均质量分数在 2.5%~3.49% 时，合金元素符号后面标 3 | 制造各类重要的机械零件，如齿轮、活塞、销、凸轮、气门顶杆、曲轴、压力容器、汽车纵横梁等                 |
| 合金工具钢 | 5CrMnMo<br>9SiCr              | 数字编号：表示钢的平均碳的质量分数的千分数<br>元素符号：同上一栏中合金结构钢  | 制造各类重要的、大型复杂的刀具、量具和模具，如板牙、丝锥、形状复杂的冲模、量块、螺纹塞规、样板、铣刀、车刀、刨刀、钻头 |
| 特殊性能钢 | 12Cr18Ni9<br>20Cr13           | 数字编号：表示钢的平均碳的质量分数的万分数<br>元素符号：表示加入的合金元素，当合金元素平均质量分数小于 1.5% 时，则只标出元素符号，而不标明其质量分数；倘若元素平均质量分数在 1.5%~2.49% 时，元素符号后面标 2；当元素质量分数在 2.5%~3.49% 时，元素符号后面标 3            | 不锈钢：医疗器械、耐酸容器<br>耐热钢：加热炉构件、加热器等<br>耐磨钢：破碎机颚板、衬板等            |

### 1.3.3 铸铁

铸铁是指碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金。工业上常用铸铁的碳的质量分数一般在 2.5%~4%，此外，铸铁中锰、硅、磷、硫等杂质也比钢中多。

铸铁中碳一般以两种形态存在，即化合状态的渗碳体 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 和游离状态的石墨，这就使铸铁的内部组织、性能、用途方面存在较大的差异。白口铸铁（碳以化合状态为主）断口呈银白色，硬又脆，一般不直接加工制件；灰铸铁（碳以游离状态为主）断口呈暗灰色，应用最为广泛。常用铸铁的分类、牌号及应用，见表 1-2。

表 1-2 常用铸铁的分类、牌号及应用

| 分 类  | 牌 号  |   | 应 用                                    |
|------|--|---|--|
|      | 牌号举例   | 牌号说明  |  |
| 灰铸铁  | HT100<br>HT150<br>HT200<br>HT350                         | HT：表示灰铁汉语拼音字首<br>数字：表示该材料的最低抗拉强度值 (MPa)，如 HT200 表示 $R_m \geq 200\text{MPa}$ 的灰铸铁                                | 制造各类机械零件，如机床床身、飞轮、机座、轴承座、气缸体、齿轮箱、液压泵体等 |
| 可锻铸铁 | KT300-06<br>KT350-10<br>KT450-06<br>KT650-02<br>KT700-02 | KT：表示可铁汉语拼音字首<br>数字：分别表示材料的最低抗拉强度值 (MPa) 和最低伸长率 $A$ (%)，如 KT450-06 表示抗拉强度 $R_m$ 不低于 450MPa，伸长率 $A$ 不低于 6% 的可锻铸铁 | 制造各类机械零件，如曲轴、连杆、凸轮轴、摇臂、活塞环等            |

(续)

| 分 类  | 牌 号                                       |  | 应 用  |
|------|---|--|--|
|      | 牌号举例                                      | 牌号说明   |  |
| 球墨铸铁 | QT400-18<br>QT500-7<br>QT600-3<br>QT900-2 | QT: 表示球铁汉语拼音字首<br>数字: 分别表示材料的最低抗拉强度值 (MPa) 和最低伸长率 $A$ (%), 如 QT400-18 表示抗拉强度 $R_m$ 不低于 400MPa, 伸长率 $A$ 不低于 18% 的球墨铸铁 | 用它来代替部分铸钢或锻钢件, 制造承受较大载荷、受冲击和耐磨损的零件, 如大功率柴油机的曲轴、轧辊、中压阀门、汽车后桥等 |

### 1.3.4 有色金属及其合金

除黑色金属以外的其他金属与其合金, 统称为有色金属及其合金。有色金属及其合金具有许多与钢铁不同的特性, 如优异的化学稳定性 (铅、钛等), 优良的导电性和导热性 (银、铜、铝等), 高导磁性 (铁镍合金等), 高强度 (铝合金、钛合金等), 高熔点 (钨、钼、锆等)。所以, 在现代工业中, 除大量使用黑色金属外, 还广泛使用有色金属及其合金。

#### 1. 铜及其合金

铜作为人类使用最早的一种金属, 具有优良的导电性、导热性和耐蚀性, 又有一定的力学性能、工艺性能。

(1) 纯铜 纯铜呈紫红色。我国工业纯铜根据所含杂质多少分为四级, 用 T1 ~ T4 表示, 数字越大纯度越低。

(2) 黄铜 它是铜和锌所组成的合金。当黄铜中锌的质量分数小于 32% 时, 锌能全部溶解在铜内。这类黄铜具有良好的塑性, 可在冷态或热态下经压力加工 (轧、锻、冲、拉、挤) 成形, 而且价格也比较便宜。因此它广泛应用于制造零件、电器元件和生活用品。黄铜按加入合金元素不同可分为一般黄铜和特殊黄铜两类。按加工方法的不同, 黄铜可分为压力加工黄铜和铸造黄铜。

普通黄铜的牌号用字母 “H” 和一组数字表示, 数字的大小表示平均铜的质量分数的百分数, 如 H62 表示铜的质量分数为 62%, 锌的质量分数为 38% 的黄铜。一般黄铜中加入铝、铁、硅、锰等合金元素, 即可制成性能得到进一步改善的特殊黄铜, 压力加工特殊黄铜的编号方法是: “H + 第二主加元素的符号 + 平均铜的质量分数的百分数 + 合金元素平均质量分数的百分数”。例如: HSn62-1 表示平均铜的质量分数为 62%、平均锡的质量分数为 1%、其余为 Zn 的锡黄铜。铸造特殊黄铜牌号由 Z + 铜和合金元素符号 + 合金元素平均质量分数的百分数组成, 如 ZCuZn31Al2。

#### 2. 铝及其合金

铝及其合金是工业生产中用量最大的非铁金属材料, 由于它在物理、力学和工艺等方面的优异性能, 常用作工程结构材料和功能材料。

(1) 纯铝 它比密度小, 导电、导热性好, 耐蚀性强。纯铝按其纯度分为工业高纯铝和工业纯铝两种。工业高纯铝中铝的质量分数  $\geq 99.93\%$ 。工业纯铝中铝的质量分数为 99.5% 有 6 个合金牌号, 分别为 1050、1050A、1450、1350、1A50、1R50, 铝的质量分数为 99.35% 的有 4 个合金牌号, 分别为 1035、1235、1435、1R35。这表明随着合金用途的不同, 合金牌号更加细化。

(2) 铝合金 它具有较高的强度和良好的加工性能。根据成分和加工特点,铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金。它们主要差别在于,铸造铝合金中合金化元素硅的最大含量超过多数变形铝合金中的硅含量。铸造铝合金除含有强化元素之外,还必须含有足够量的共晶型元素(通常是硅),以使合金有相当的流动性。

用于铸造生产中的铝合金称为铸造铝合金。它不仅具有较好的铸造性能和耐蚀性能,而且还能用变质处理的方法使强度进一步提高,应用较为广泛,如用作内燃机活塞、气缸头、气缸散热套等。这类铝合金牌号组成为“Z+基体元素符号+主加元素符号+主加元素平均质量分数+第二主加元素符号+第二主加元素平均质量分数( $\geq 1\%$ 时标注)……”,如ZAlSi7Mg,表示铸造铝合金中硅的平均质量分数为7%。

变形铝合金包括防锈铝合金、锻造铝合金、硬铝合金和超硬铝合金几种。它们大多通过塑性变形轧制成板、带、棒、线等半成品使用。除防锈铝合金之外,其他三种都属于可以热处理强化的合金,常用来制造飞机大梁、桁架、起落架及发动机风扇叶片等高强度构件。

### 1.3.5 非金属材料

非金属材料是近年来发展迅速的工程材料,因其拥有金属材料无法具备的某些性能,如电绝缘性,耐蚀性等,在工业生产中发挥越来越大的作用。

#### 1. 高分子材料

高分子材料也称为聚合物材料,是以高分子化合物为基体,再配有其他添加剂(助剂)所构成的材料。高分子材料按来源分为天然高分子材料和合成高分子材料。合成高分子材料既包括日常所见的塑料、合成橡胶和合成纤维,也包括经常用到的涂料和粘合剂以及生活中比较少见的功能高分子材料,如净化水的离子交换树脂。

(1) 塑料 塑料是高分子化合物,其主要成分是合成树脂,在一定温度、压力下可软化成形,是最主要的工程结构材料之一。由于塑料具有许多优良的性能,如具有良好的电绝缘性、耐蚀性、耐磨性、成形性且密度小等,因此它不仅在日常生活中随处可见,而且在工程结构中也得到了广泛的应用。塑料的种类很多,按性能可分为热塑性塑料和热固性塑料两大类。

热塑性塑料在加热时软化和熔融,冷却后保持一定的形状,再次加热时又可软化和熔融,具有可塑性。热塑性塑料有聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯和ABS等。

热固性塑料是在固化后加热时,不能再次软化和熔融,不再具有可塑性。热固性塑料有酚醛塑料、环氧塑料等。

塑料按用途又可分为通用塑料、特种塑料和工程塑料。通用塑料价格低、产量高,约占塑料总产量的 $3/4$ 以上,如聚乙烯、聚氯乙烯等;工程塑料是指用来制造工程构件的塑料,其强度大、刚度高、韧性好,如聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯等。特种塑料工作温度高于 $150^\circ\text{C}$ ,成本高,如聚四氟乙烯、有机硅树脂、环氧树脂等。

(2) 橡胶 早期的橡胶是取自橡胶树、橡胶草等植物的胶乳,加工后制成具有弹性、绝缘性、不透水和空气的材料。橡胶分为天然橡胶与合成橡胶两种。橡胶一般在 $-40\sim 80^\circ\text{C}$ 范围内具有高弹性,通常还具有储能、隔音、绝缘、耐磨等特性。橡胶制品广泛应用于工业或生活各方面。

(3) 合成纤维 合成纤维是指呈黏流态的高分子材料,经过喷丝工艺制成。它具有强度高、密度小、耐磨、耐蚀等特点,不仅广泛应用于制造衣料等生活用品,还用于交通、农业、国防等领域。常用的合成纤维有涤纶、棉纶和腈纶等。

## 2. 陶瓷材料

陶瓷材料是用天然或合成化合物经过成形和高温烧结制成的一类无机非金属材料。它具有高熔点、高硬度、高耐磨性、抗氧化等优点，可用作结构材料、刀具材料。由于陶瓷还具有某些特殊的性能，又可作为功能材料。陶瓷是陶器和瓷器的总称。陶瓷材料大多是氧化物、氮化物、硼化物和碳化物等。常见工业陶瓷的分类、性能、用途，见表1-3。

表 1-3 常见工业陶瓷的分类、性能、用途

| 分 类  | 性 能                               | 用 途                                  |
|------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 普通陶瓷 | 质地坚硬；有良好的抗氧化性、耐蚀性、绝缘性；强度较低；耐一定高温  | 日用、电气、化工、建筑用陶瓷，如装饰陶瓷、餐具、绝缘子、耐蚀容器、管道等 |
| 特种陶瓷 | 有自润滑性及良好的耐磨性、高硬度；化学稳定性、绝缘性；耐蚀、耐高温 | 切削工具、量具、高温轴承、拉丝模、高温炉零件、内燃机火花塞等       |
| 金属陶瓷 | 强度高、韧性好、耐蚀、高温下强度高                 | 刃具、模具、喷嘴、密封环、叶片、涡轮等                  |

### 1.3.6 复合材料

复合材料是由两种或两种以上不同性质的材料，通过物理或化学的方法在宏观（微观）上组成的具有新性能的材料。各种材料在性能上互相取长补短，产生协同效应，使复合材料的综合性能优于原组成材料而满足各种不同的要求。复合材料的基体材料分为金属和非金属两大类。金属基体常用的有铝、镁、铜、钛及其合金。非金属基体主要有合成树脂、橡胶、陶瓷、石墨、碳等。增强材料主要有玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、芳纶纤维、碳化硅纤维、石棉纤维、晶须、金属丝和硬质细粒等。

复合材料是一种混合物，在很多领域都发挥了很大的作用，代替了很多传统材料。复合材料按其组成为金属与金属复合材料、非金属与金属复合材料、非金属与非金属复合材料。按其结构特点又分为：①纤维增强复合材料，将各种纤维增强体置于基体材料内复合而成，如纤维增强塑料、纤维增强金属等；②夹层复合材料，由性质不同的表面材料和芯材组合而成，通常面材强度高、薄，芯材质轻、强度低，但具有一定刚度和厚度，分为实心夹层和蜂窝夹层两种；③细粒复合材料，将硬质细粒均匀分布于基体中，如弥散强化合金、金属陶瓷等；④混杂复合材料，由两种或两种以上增强相材料混杂于一种基体相材料中构成，与普通单增强相复合材料比，其冲击强度、疲劳强度和断裂韧性显著提高，并具有特殊的热膨胀性能，其分为层内混杂、层间混杂、夹芯混杂、层内层间混杂和超混杂复合材料。

## 1.4 钢的热处理技术

钢的热处理是将钢在固态下加热并保温一定时间，然后以特定的冷却速度冷却，用以改变其内部组织结构，从而得到所需组织和性能的工艺方法。热处理分为整体热处理、表面热处理和化学热处理三大类。整体热处理是对工件整体加热，然后以适当的冷却速度冷却，获得需要的金相组织，以改变其整体力学性能的金属热处理工艺。钢铁整体热处理大致有退火、正火、淬火和回火四种基本工艺。表面热处理是通过对钢件表面的加热、冷却而改变表面力学性能的金属热处理工艺。表面淬火是表面热处理的主要内容，其目的是获得高硬度的表面层和有利的内应力分布，以提高工件的耐磨性和抗疲劳性能。化学热处理主要有渗碳、渗氮及碳氮共渗等。



钢的热处理工艺过程包括加热、保温和冷却三个阶段,可用温度-时间坐标图形来表示,称为钢的热处理工艺曲线,如图1-4所示。

热处理工艺有三大要素:加热的最高温度;保温时间;冷却速度。同种材料,由于采用不同的加热的最高温度、保温时间、冷却速度,以及不同的加热、冷却介质,所获得的组织和性能千差万别。对于不同材料,不同结构的零件,要根据具体的加热工艺性和力学性能要求,制定具体的热处理工艺,并可穿插于其他各种工艺之间进行。

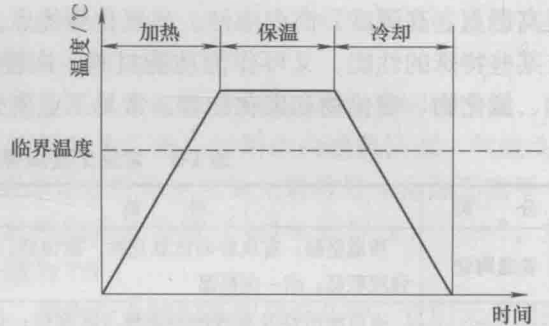


图1-4 钢的热处理工艺曲线

### 1.4.1 钢的热处理工艺

按热处理的顺序,热处理可分为预先热处理和最终热处理两大类。预先热处理的目的是清除铸造、锻造加工过程中所造成的缺陷和内应力,改善切削加工性能,为最终热处理做组织准备,如退火、正火。最终热处理是使得金属达到最终的服役条件,包括适合的硬度、韧性、强度等。最终热处理一般为淬火、回火、表面淬火和化学热处理等。

#### 1. 退火

退火是指将材料加热到适当温度后,保温一定时间,然后再慢慢冷却的热处理过程。退火分为完全退火、不完全退火、去应力退火、均匀化退火、球化退火,如图1-5所示。退火的目的主要有以下四点。

- 1) 改善或消除在铸造、锻压、轧制和焊接过程中所造成的各种组织缺陷以及残余应力,防止工件变形、开裂。
- 2) 软化工件以便进行切削加工。
- 3) 细化晶粒、改善组织以提高工件的力学性能。
- 4) 为最终热处理(淬火、回火)做好组织准备。

#### 2. 正火

正火又称为“常化”,是将工件加热至 $A_{c3}$ ( $A_c$ 是指加热时自由铁素体全部转变为奥氏体的终了温度,一般是在 $727\sim 912^\circ\text{C}$ )或 $A_{c_{cm}}$ ( $A_{c_{cm}}$ 是实际加热中过共析钢完全奥氏体化的临界温度线)以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ ,保温一段时间后,从炉中取出在空气中或喷水、喷雾、吹风冷却的金属热处理工艺。它的目的是使晶粒细化和碳化物分布均匀化。正火与退火的不同点是正火冷却速度比退火冷却速度稍快,因而正火组织要比退火组织更细一些,其力学性能也有所提高。另外,正火是在炉外冷却,不占用设备,生产率较高,因此生产中尽可能采用正火来代替退火。对于形状复杂的重要锻件,在正火后还需进行高温回火( $550\sim 650^\circ\text{C}$ ),高温回火的目的在于消除正火冷却时产生的应力,提高韧性和塑性。

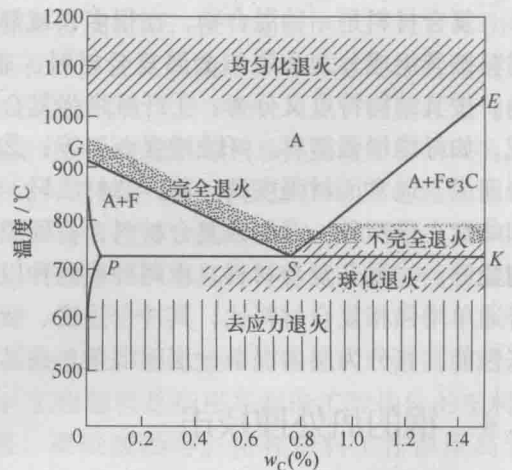


图1-5 退火