

高等学校教材

# 金工

实 践 教 程

JINGONG  
SHIJIAN JIAOCHENG

林琨智 孙 东 主编



化学工业出版社

高等学校教材

# 金工实践教程

林琨智 孙 东 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据教育部机械基础课程教学指导分委员会金工课程教学指导小组 2008 年 8 月制订的《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》(非机械类)编写的,内容包括金属材料及钢的热处理、铸造、锻压、焊接、切削加工基础知识、车工、铣工、刨工、磨削、钳工、数控加工技术和特种加工等,各章后均有复习思考题。

本书可作为高等工科学学校本科非机械类专业的金工实习教材,也可作为广播电视大学、职工大学、高职及专科学校进行金工实习或金属工艺学教学的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

金工实践教程/林琨智,孙东主编. —北京:化学工业出版社,2009.7  
高等学校教材  
ISBN 978-7-122-05545-3

I. 金… II. ①林…②孙… III. 金属加工-高等学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 071504 号

---

责任编辑:程树珍 金玉连  
责任校对:战河红

文字编辑:陈 喆  
装帧设计:刘丽华

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 312 千字 2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:20.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

《金工实践教程》是一门综合性和实践性很强的技术基础课。随着我国教学改革的发展和深入,对它的要求也越来越高。我们在认真总结多年来的教学改革经验的基础上,根据教育部机械基础课程教学指导分委员会金工课程教学指导小组制订的《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》的精神,考虑到多数院校现有的实习基地条件,以及结合我国工业发展现状和当前高校教改的实际情况,编写了本教材。

非机械类专业由于数量多、差异大,因而该教材在内容上既有一定的覆盖面,能满足金工实习课的基本要求,又尽可能突出重点,做到主次分明,既介绍工程材料和机械制造的基本知识,又适当兼顾本学科的基本理论和最新发展方向,使学生了解机械制造的一般过程,熟悉典型零件的常用加工方法及其所用加工设备的工作原理,了解现代制造技术在机械制造中的应用,在主要工种上具有独立完成简单零件加工制造的动手能力,对简单零件具有初步选择加工方法和进行工艺分析的能力,不仅注重学生获取知识和分析问题能力的培养,而且体现对学生工程素质和创新思维能力的培养。

书中采用法定计量单位;名词术语和工艺数据尽量采用最新标准。

本书由吉林化工学院林琨智、孙东主编,各章编写分工如下:第1章、第9章由刘金义编写;第2章由徐学编写;第3章、第4章由祝明威编写;第5章、第6章由孙东编写;第7章、第8章、第10章由接勳编写;第11章、第12章由林琨智编写。本书在编写过程中得到了吉林化工学院邵泽波教授、陈庆教授、邢万坤教授和北华大学耿德旭教授、张志义教授的热情帮助,在此表示衷心的感谢。

本书可作为高等工科院校本科非机械类专业的金工实习教材,也可作为广播电视大学、职工大学、高职及专科学校进行金工实习或金属工艺学教学的参考书。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2009年4月

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>1 金属材料及钢的热处理</b> ..... | 1   |
| 1.1 概述 .....              | 1   |
| 1.2 金属材料的性能 .....         | 2   |
| 1.3 钢与铸铁 .....            | 5   |
| 1.4 钢的热处理及热处理方法简介 .....   | 8   |
| 1.5 钢铁材料的火花鉴别 .....       | 11  |
| 复习思考题 .....               | 12  |
| <b>2 铸造</b> .....         | 13  |
| 2.1 概述 .....              | 13  |
| 2.2 型砂 .....              | 13  |
| 2.3 手工造型和制芯 .....         | 16  |
| 2.4 机器造型 .....            | 20  |
| 2.5 合型 .....              | 22  |
| 2.6 金属的熔炼和浇注系统 .....      | 23  |
| 2.7 常见的铸造缺陷 .....         | 27  |
| 2.8 铸造工艺及模样结构特点 .....     | 29  |
| 2.9 特种铸造 .....            | 31  |
| 2.10 铸造技术现状和发展趋势 .....    | 33  |
| 2.11 安全技术 .....           | 35  |
| 复习思考题 .....               | 35  |
| <b>3 锻压</b> .....         | 36  |
| 3.1 概述 .....              | 36  |
| 3.2 坯料的加热和锻件的冷却 .....     | 36  |
| 3.3 自由锻 .....             | 38  |
| 3.4 胎模锻 .....             | 41  |
| 3.5 冲压 .....              | 42  |
| 3.6 锻压技术的发展趋势 .....       | 45  |
| 3.7 安全技术 .....            | 46  |
| 复习思考题 .....               | 47  |
| <b>4 焊接</b> .....         | 48  |
| 4.1 概述 .....              | 48  |
| 4.2 焊条电弧焊 .....           | 49  |
| 4.3 气焊与气割 .....           | 54  |
| 4.4 气体保护电弧焊 .....         | 57  |
| 4.5 其他焊接方法 .....          | 58  |
| 4.6 焊接质量 .....            | 59  |
| 4.7 典型焊接结构件制造工艺简介 .....   | 61  |
| 4.8 焊接和切割技术的新发展 .....     | 62  |
| 4.9 安全技术 .....            | 63  |
| 复习思考题 .....               | 64  |
| <b>5 切削加工基础知识</b> .....   | 65  |
| 5.1 概述 .....              | 65  |
| 5.2 零件的技术要求 .....         | 67  |
| 5.3 刀具材料和量具 .....         | 72  |
| 5.4 切削加工技术的新发展 .....      | 77  |
| 5.5 安全技术 .....            | 78  |
| 复习思考题 .....               | 78  |
| <b>6 车工</b> .....         | 79  |
| 6.1 概述 .....              | 79  |
| 6.2 车床 .....              | 80  |
| 6.3 车刀 .....              | 84  |
| 6.4 车床附件和工件安装 .....       | 90  |
| 6.5 车削的基本知识 .....         | 95  |
| 6.6 典型零件车削工艺简介 .....      | 106 |
| 6.7 其他类型车床 .....          | 109 |
| 复习思考题 .....               | 111 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| <b>7 铣工</b>      | 112 |
| 7.1 概述           | 112 |
| 7.2 铣床           | 112 |
| 7.3 铣削运动和铣削用量    | 115 |
| 7.4 铣刀及其安装       | 116 |
| 7.5 铣床的附件及工件的安装  | 117 |
| 7.6 铣削工作         | 120 |
| 7.7 插齿和滚齿加工      | 124 |
| 复习思考题            | 125 |
| <b>8 刨工</b>      | 126 |
| 8.1 概述           | 126 |
| 8.2 牛头刨床         | 126 |
| 8.3 刨削运动和刨削用量    | 128 |
| 8.4 刨刀及其安装       | 129 |
| 8.5 工件的安装        | 130 |
| 8.6 刨削工作         | 130 |
| 8.7 刨削类机床        | 131 |
| 复习思考题            | 133 |
| <b>9 磨削</b>      | 134 |
| 9.1 概述           | 134 |
| 9.2 磨床           | 135 |
| 9.3 砂轮           | 136 |
| 9.4 磨削工艺         | 137 |
| 复习思考题            | 140 |
| <b>10 钳工</b>     | 141 |
| 10.1 概述          | 141 |
| 10.2 划线          | 143 |
| 10.3 錾削          | 147 |
| 10.4 锯削          | 149 |
| 10.5 锉削          | 152 |
| 10.6 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔 | 154 |
| 10.7 攻螺纹与套螺纹     | 157 |
| 10.8 刮削          | 159 |
| 10.9 装配          | 160 |
| 10.10 安全技术       | 164 |
| 复习思考题            | 165 |
| <b>11 数控加工技术</b> | 167 |
| 11.1 概述          | 167 |
| 11.2 数控车床        | 170 |
| 11.3 数控铣床        | 174 |
| 11.4 加工中心简介      | 176 |
| 复习思考题            | 179 |
| <b>12 特种加工</b>   | 180 |
| 12.1 概述          | 180 |
| 12.2 电火花成形与穿孔加工  | 181 |
| 12.3 线切割加工       | 182 |
| 12.4 超声波加工       | 183 |
| 12.5 激光加工        | 184 |
| 复习思考题            | 185 |
| <b>参考文献</b>      | 186 |

# 1 金属材料及钢的热处理

## 1.1 概述

在已发现的 86 种金属元素中，人们习惯地把铁、铬、锰及其合金称为黑色金属。其余金属称为有色金属。由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能，可采用比较简便和经济的工艺方法制成零件，因此金属材料是目前应用最广泛的材料。

材料的用途取决于其性能，而性能又是由内部组织结构所决定的。不同成分的材料具有不同的内部组织，其性能也不同。同一种材料在加工中受到各种热过程或机械过程的作用，内部组织也会发生变化。这种变化有时使材料取得所需要的性能，发掘出材料的潜能，有时会造成不利于后续加工或最终使用的性能，需要加以改善和纠正。材料加工除成形目的外，还有满足使用性能的要求。热处理就是一种穿插于加工过程中专门调整材料性能的工艺。它是在固态下对金属材料进行不同的加热、保温和冷却，使其内部组织发生不同变化后获得所需的力学性能和工艺性能。

在机械制造业中，钢铁是主要结构材料。钢铁也称  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  合金材料。含碳量小于 2.11% 的  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  合金划定为钢，含碳量大于 2.11% 的  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  合金划定为铸铁。钢铁以外的金属材料称为有色金属及其合金。

采用一定的方法可观察到金属材料内部组织的构成形态、尺寸大小及分布。碳钢的成分、组织、性能间的关系如图 1-1 所示。

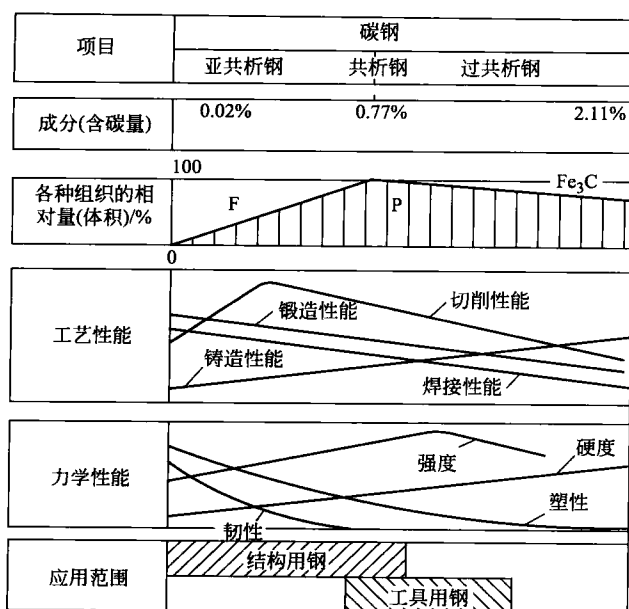


图 1-1 碳钢的成分、组织、性能间的关系

F—铁素体； $\text{Fe}_3\text{C}$ —渗碳体；P—珠光体

钢在常态下主要组织有软而韧的铁素体组织 (F)、硬而脆的渗碳体组织 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 以及渗碳体以片状或粒状与铁素体相间混合的具有综合性能的珠光体组织 (P)。

各种组织的相对含量 (体积) 随着含碳量增加或减少而发生变化, 并对力学性能和工艺性能产生影响。热处理工艺一般不改变钢的成分及零件的几何形状尺寸, 只通过其内部组织结构及分布方式的改变使钢达到软化、硬化等不同性能的需要。

## 1.2 金属材料的性能

金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料为满足产品的使用要求而必须具备的性能, 包括物理性能、化学性能和力学性能; 工艺性能是指金属材料在加工过程中对所用加工方法的适应性, 它的好坏决定了材料加工的难易程度。

### 1.2.1 金属材料的物理性能和化学性能

金属材料的物理性能包括密度、熔点、热膨胀性、导电性和磁性等。金属材料的化学性能是指它们抵抗各种介质侵蚀的能力, 通常分为抗氧化性、耐磨蚀性和化学稳定性。

### 1.2.2 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指材料在受外力作用时所表现出来的各种性能。由于机械零件大多是在受力的条件下工作, 因而所用材料的力学性能就显得格外重要。力学性能主要有强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

#### (1) 强度

金属材料在外力作用下抵抗塑性变形 (永久变形) 或断裂的能力称为强度。材料的强度用拉伸试验测定, 如图 1-2 所示为拉伸试样及拉伸变形过程, 图 1-3 为低碳钢及铸铁的拉伸应力应变曲线。

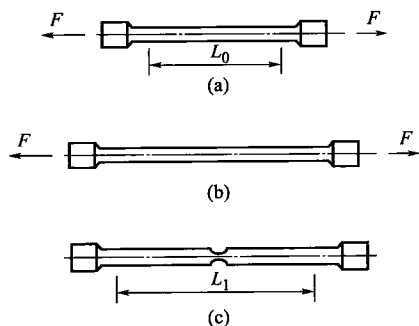


图 1-2 拉伸试样及拉伸变形过程

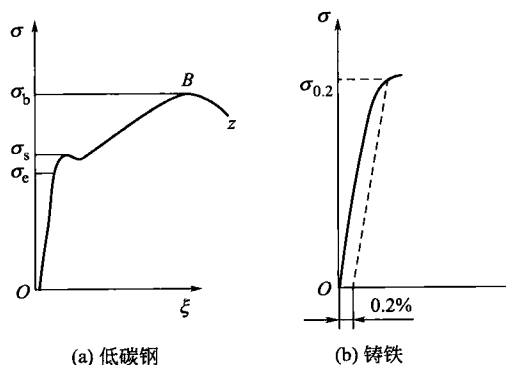


图 1-3 低碳钢及铸铁的拉伸应力应变曲线

强度的指标有以下几个。

① 弹性极限 ( $\sigma_e$ ) 表示材料保持弹性变形, 不产生永久变形的最大应力, 是弹性零件的设计依据。

② 屈服点 ( $\sigma_s$ ) 表示金属开始发生明显塑性变形的抗力。铸铁等脆性材料没有明显的屈服现象, 则用条件屈服点 ( $\sigma_{0.2}$ ) 来表示, 即产生 0.2% 残余应变时的应力值。

③ 强度极限 ( $\sigma_b$ ) 表示金属受拉力作用, 产生断裂前所能承受的最大应力。

#### (2) 塑性

金属材料受拉力作用产生永久变形的能力称为塑性。其主要指标是伸长率 ( $\delta$ ) 和断面



收缩率 ( $\psi$ )。

① 伸长率 ( $\delta$ ) 在拉伸试验中, 试样拉断后, 标距的伸长 ( $L_1$ ) 与原始标距 ( $L_0$ ) 的百分比称为伸长率, 也叫延伸率。

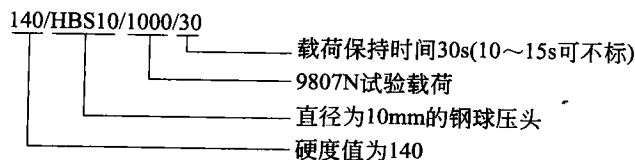
② 断面收缩率 ( $\psi$ ) 试样拉断后, 缩颈断口处横截面积与原始横截面积的百分比称为断面收缩率。

### (3) 硬度

材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形的能力称为硬度。硬度试验常用压入法, 它包括布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

① 布氏硬度的试验原理 用直径为  $D$  的钢球或硬质合金压头, 在压力  $F$  作用下压入试样表面, 经规定的载荷保持时间后, 卸除压力, 用读数显微镜测量压痕直径  $d$ , 查压痕直径与布氏硬度对照表, 得出布氏硬度值, 如图 1-4 所示。

布氏硬度表示方法如下:



布氏硬度试验法主要用于铸铁、有色金属以及经退火、正火和调质处理的钢材等零件的硬度测定。

② 洛氏硬度的试验原理 将一定形状和尺寸的压头压入被测试材料的表面, 以主载荷所引起的残余压入深度 ( $h = h_1 - h_0$ ) 来表示, 如图 1-5 所示。根据压头的种类和总载荷的大小, 洛氏硬度常用的表示方式有 HRA、HRB、HRC 三种。试验条件 (GB 230—91) 及适用范围见表 1-1。

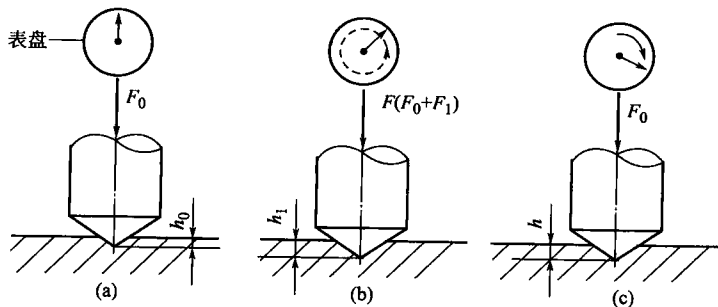


图 1-5 洛氏硬度试验原理

表 1-1 常用洛氏硬度的试验条件和适用范围

| 硬度标尺 | 压头类型        | 总试验力/N | 硬度值有效范围   | 应用举例        |
|------|-------------|--------|-----------|-------------|
| HRC  | 120°金刚石锥体   | 1471.0 | 20~67HRC  | 调质钢、淬火钢     |
| HRB  | φ1.588mm 钢球 | 980.7  | 25~100HRB | 软钢、退火钢、铜合金等 |
| HRA  | 120°金刚石锥体   | 588.4  | 60~85HRA  | 硬质合金、表面淬火钢等 |

洛氏硬度的表示方法是在硬度符号前面注明硬度值, 如 58HRC、78HRA 等。

③ 维氏硬度的试验原理 维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度相同, 不同的是维氏硬度试验用的压头是顶角为 136°的金刚石正四棱锥体, 且所加压力较小, 如图 1-6 所示。硬

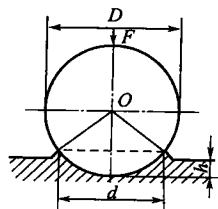


图 1-4 布氏硬度的测定原理

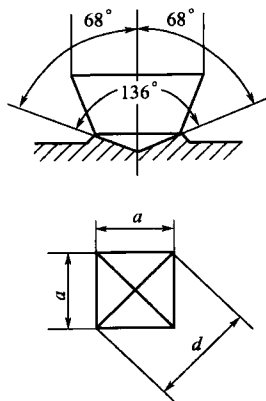


图 1-6 维氏硬度试验原理

度值根据测量压痕对角线长度查表得出。

维氏硬度的表示方法与布氏硬度相似, 如 640HV30 表示用 30kgf (294.2N) 试验力, 保持 10~15s, 测定的维氏硬度值为 640。604HV30/20 表示 30kgf (294.2N) 试验力保持 20s 测定的维氏硬度值为 640。维氏硬度测量范围广, 从极软到极硬的各种金属材料都可测量, 也可以测量较薄的材料, 还可以测量渗碳、渗氮层的硬度。

④ 冲击韧性 ( $a_k$ ) 材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性。测定时, 将带有缺口的标准试样 (GB/T 229—94) 放在试验机上, 用摆锤将其一次冲断, 如图 1-7 所示, 并以试样缺口处单位面积上所吸收的冲击功来表示冲击韧性。

$$\text{即} \quad a_k = A_k / S$$

式中  $a_k$ ——冲击韧性, J/cm<sup>2</sup>;

$A_k$ ——冲击功, J;

$S$ ——试样缺口处横断面积, cm<sup>2</sup>。

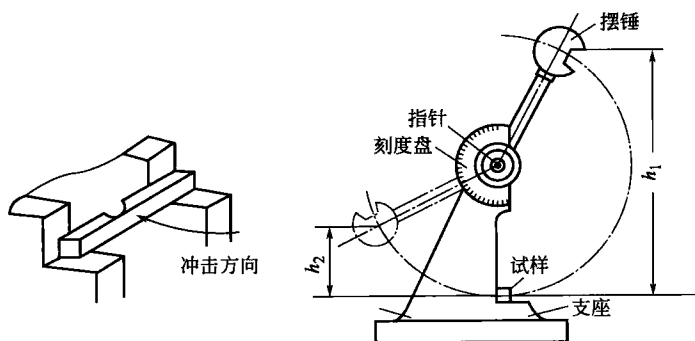


图 1-7 冲击试验原理

### 1.2.3 金属材料的工艺性能

工艺性能是材料在加工制造过程中所表现出来的性能。材料的工艺性能好, 就可使加工工艺简便, 并且容易保证质量。

#### (1) 铸造性能

金属的铸造性能通常用金属在液态时的流动性、金属在凝固冷却过程中的体积或尺寸的收缩性加以综合评定。流动性好, 收缩性小, 则铸造性能好。

#### (2) 锻压性能

锻压性能主要以金属的塑性和变形抗力来衡量。塑性高, 变形抗力小 (即  $\sigma_s$  小), 则锻压性能好。

#### (3) 焊接性能

焊接性能一般用在金属焊接加工时焊接接头对产生裂纹、气孔等缺陷的倾向以及焊接接头对使用要求的适应性来衡量。

#### (4) 切削加工性能

金属的切削加工性能可以用切削加工的抗力大小、工件加工后的表面质量、刀具磨损的快慢程度等来衡量。对于一般钢材来说, 硬度在 200HBS 时, 可具有较好的切削性能。

## 1.3 钢与铸铁

碳钢和铸铁是现代机械制造业中应用最广泛的金属材料。它们都是以铁和碳为主要组元的合金，钢的含碳量小于 2.11%，铸铁的含碳量大于 2.11%。

### 1.3.1 钢的分类

为了便于生产、保管、选用与研究，必须对钢加以分类。按钢的用途、化学成分、质量的不同，可将钢分为若干类。

#### (1) 按用途分类

按钢的用途可分为结构钢、工具钢、特殊性能钢三大类。结构钢有两种，一种是用作各种机器零件的钢，它包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢及滚珠轴承钢；另一种是用作工程结构的钢，它包括普通碳素结构钢和普通低合金结构钢。工具钢是用来制造各种工具的钢，根据工具用途不同可分为刀具钢、模具钢和量具钢。特殊性能钢是指具有特殊物理化学性能的钢，可分为不锈钢、耐热钢、耐磨钢、磁钢等。

#### (2) 按化学成分分类

按钢的化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类。

① 碳素钢 按含碳量又可分为低碳钢 ( $w_C \leq 0.25\%$ )、中碳钢 ( $0.25\% < w_C < 0.6\%$ )、高碳钢 ( $w_C \geq 0.6\%$ )。

② 合金钢 合金钢是在碳钢的基础上，有目的地加入某些元素（称合金元素）而得到的多元合金。合金钢按合金元素含量的不同，又可分为低合金钢（合金元素总含量  $\leq 5\%$ ）、中合金钢（合金元素总含量为  $5\% \sim 10\%$ ）和高合金钢（合金元素总含量  $> 10\%$ ）。此外，根据钢中所含主要合金元素的种类不同，也可分为锰钢、铬钢、铬锰钢、铬锰钛钢等。

#### (3) 按质量分类

按钢中有害杂质硫、磷含量的不同，可分为普通钢 ( $w_S \leq 0.055\%$ 、 $w_P \leq 0.045\%$  或  $w_S$ 、 $w_P$  均  $\leq 0.050\%$ )、优质钢 ( $w_S$ 、 $w_P$  均  $\leq 0.040\%$ ) 和高级优质钢 ( $w_S \leq 0.030\%$ 、 $w_P \leq 0.035\%$ )。按冶炼时脱氧程度的不同，将钢分为沸腾钢（脱氧不完全），镇静钢（脱氧比较完全）及半镇静钢。

工业上对钢命名时，常常将用途、成分、质量三种分类方法结合起来，如普通碳素结构钢、优质碳素结构钢、碳素工具钢、高级优质碳素结构钢、合金结构钢、合金工具钢等。

### 1.3.2 碳素钢

#### (1) 普通碳素钢

这类钢含有害杂质和非金属夹杂物较多，但冶炼容易，工艺性好，价格低廉，在性能上也能满足一般工程结构及普通机器零件的要求，因而应用很广。它通常被轧制成钢板或各种型材（圆钢、方钢、角钢、槽钢、工字钢、钢筋等）供应。这类钢的牌号由代表屈服点的字母“Q”、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法符号四部分按顺序组成。质量等级分为四级，用字母 A、B、C、D 表示，其中 A 级钢含硫、磷等有害杂质的质量分数最高，D 级钢含硫、磷等有害杂质的质量分数最低，即 A、B、C、D 表示钢材的质量依次提高。这类钢最典型的钢号是 Q235A。沸腾钢在钢的牌号尾部加“F”，半镇静钢在钢的牌号尾部加“b”，镇静钢不加字母。

#### (2) 优质碳素钢

优质碳素钢含有害杂质 S、P 及非金属杂质较少，钢材的均匀性也较好。根据用途不同

分为优质碳素结构钢和碳素工具钢。

① 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢的牌号（钢号）以两位数字表示，数字代表平均含碳量的万分数，如 45 钢表示平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢。根据含锰量的不同，将含锰量为 0.25%~0.70% 的优质碳素结构钢称为普通含锰钢，含锰量为 0.80%~1.20% 的优质碳素结构钢称为较高含锰钢，钢号中标出锰元素，如 16Mn。优质碳素结构钢的用途最广泛，常用钢种如 08、45、65 等，其中 08 钢主要用作冲压件和焊接件，45 钢可用于制造轴、连杆、齿轮等零件，65 钢多用于制作弹簧等。

② 碳素工具钢 碳素工具钢的牌号由“碳”字的汉语拼音首字母“T”和代表钢中平均含碳量的千分数的数字构成。常用的钢种有 T8、T10、T12 等。T8 钢可用于制作手钳、锤子等，T10 钢可用于制作手锯条、刨刀等，T12 钢可用于制作锉刀、丝锥、车床尾座上的顶尖等。若为高级优质碳素工具钢，还需在钢的牌号后面加“A”。如 T12A 表示平均含碳量为 1.20% 的高级优质碳素工具钢。

### 1.3.3 合金钢

为了提高钢的力学性能、工艺性能或物理、化学性能，在冶炼时特意往钢中加入一些合金元素，所获得的钢称为合金钢。

合金钢按用途、性能可分为合金结构钢、合金工具钢、特殊性能钢、特殊专用钢等。

#### (1) 合金结构钢

合金结构钢主要包括普通低合金钢、渗碳钢、调质钢、弹簧钢等。

合金结构钢的牌号采用“数字+元素符号+数字”的方法。前面数字表示钢的平均含碳量，以万分数（两位数字）表示；合金元素直接用元素符号表示；后面的数字表示合金元素的含量，以平均含量的百分之几表示。合金元素的含量小于 1.5%，牌号中只标明元素不标明含量；1.5%~2.5% 标 2；2.5%~3.5% 标 3；其余依此类推。例如含 0.37%~0.45% C、0.8%~1.1% Cr 的铬钢，以 40Cr 表示；含 0.57%~0.65% C、1.5%~2.0% Si、0.6%~0.9% Mn 的硅锰钢，以 60Si2Mn 表示。

① 普通低合金钢 普通低合金钢是一种低碳结构钢，含碳量一般低于 0.20%，合金元素一般在 3% 以下，常加入的元素有 Mn、Ti、V、Nb、Cu、P 等。这种钢的强度显著高于同含碳量的碳素钢，它具有较好的塑性和韧性及良好的焊接性和耐蚀性，广泛应用于桥梁、车辆、船舶、锅炉、高压容器、油管、大型钢结构等。

② 渗碳钢 适用于生产渗碳零件（要求表面具有高的硬度、耐磨性，心部具有足够的强度和韧性）的钢称为渗碳钢。渗碳钢含碳量一般都较低，介于 0.10%~0.25% 之间，属于低碳钢范畴。合金渗碳钢中所含的主要合金元素是 Cr、Ni、Mn、B 等。

③ 调质钢 一般指经过调质处理（即淬火+高温回火）后使用的钢。大多数调质钢属于中碳钢，一般含碳量在 0.27%~0.50%，加入的合金元素有 Cr、Ni、Mn、Si 等。这类钢经热处理后，具有良好的综合力学性能（即强度、塑性、韧性配合较好），用于制造较重要的机器零件，如轴、齿轮、曲轴、连杆等。

④ 弹簧钢 弹簧钢具有较高的弹性极限、疲劳强度，足够的塑性、韧性以及良好的表面质量，还有良好的淬透性及较低的脱碳敏感性。

碳素弹簧钢通常含碳量在 0.60%~0.75%，合金弹簧钢含碳量在 0.46%~0.70%，且常有 Si、Mn、Cr、V 等合金元素。常用的弹簧钢有 65、70、65Mn、55Si2Mn、60Si2Mn。

#### (2) 合金工具钢

合金工具钢是用于制造刀具、模具、量具等工具的钢。其牌号也采用“数字+化学元

素+数字”的方法。平均含碳量 $\geq 1.0\%$ 时不标出含量,平均含碳量 $< 1.0\%$ 时,用“一位数(表示碳质量分数的千分之几)+元素符号+数字”表示。合金元素的表示方法与合金结构钢相同。如 9Mn2V,第一位数字表示碳的平均含量为 0.9%,锰平均含量为 2%,钒的平均含量 $< 1.5\%$ ;Cr12MoV 表示碳的平均含量 $> 1.0\%$ ,铬的平均含量为 12%,钼、钒的平均含量 $< 1.5\%$ 。高速钢的含碳量 $< 1.0\%$ 时,其含碳量也不予标出,如 W18Cr4V 钢,其碳的平均含量为 0.7%~0.8%。作为工具钢,虽然其使用目的不同,但必须具有高硬度、高耐磨性、足够的韧性以及小的变形量等。因此,有些钢是可以通用的,既可以做刀具,又可做模具、量具。常用刀具钢有 9SiCr、CrWMn、CrMn、高速钢等。热模具钢有 5CrMnMo、5CrNiMo、3Cr2W2V 等;冷模具钢有 Cr12、Cr12MoV、Cr6WV 等。量具钢有 9SiCr、CrMn、CrWMn 等。

### (3) 特殊性能钢

特殊性能钢一般包括不锈钢、耐热钢等。

① 不锈钢 不锈钢是指在空气、酸、碱或盐的水溶液等介质中具有高度化学稳定性的钢。不锈钢的牌号与含碳量小于 1%的合金工具钢相同。由于钢中合金元素种类的不同,常把不锈钢分为铬不锈钢、铬镍不锈钢。铬不锈钢的主要牌号有 1Cr13、2Cr13、3Cr13、4Cr13、1Cr17 等。铬镍不锈钢(18-8 型)在我国常见的有 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、2Cr18Ni9Ti、0Cr18Ni9Ti、1Cr18Ni9Ti(含碳量 $\leq 0.08\%$ 及 $\leq 0.03\%$ 者在钢号前分别冠以“0”、“00”)。

② 耐热钢 金属材料的耐热性包括高温抗氧化性和高温强度。耐热钢可分为结构钢型与不锈钢型两类。结构钢型有 15CrMo、12CrMoV、12Cr2MoWVTiB 等;不锈钢型有 1Cr18Ni9Ti、4Cr14Ni14W2Mo 等。

### (4) 特殊专用钢

为表示钢的用途,在钢的牌号前面冠以汉语拼音字母字头、而不标含碳量。合金元素含量的标注和上述也有所不同。例如:滚动轴承钢前面标“G”(“滚”字的汉语拼音的第一个字母)。如 GCr15SiMn,牌号中铬元素后面的数字表示铬的质量分数为 15%,其他元素含量仍按百分数表示,即硅和锰的平均质量分数均 $< 1.5\%$ 。

## 1.3.4 铸钢

铸钢主要用于制造形状复杂,且有一定强度、塑性和韧性的零件,例如重型机械的齿轮、轴以及轧辊、机座、缸体、外壳、连杆等。铸钢的牌号一般是“ZG”(汉语拼音“铸钢”的字首)+屈服点+抗拉强度。如 ZG200-400 表示铸钢的屈服强度为 200MPa,抗拉强度是 400MPa。生产中常用的铸钢牌号有 ZG230-450、ZG270-500、ZG310-570 三种。

## 1.3.5 铸铁

含碳量大于 2.11%的铁碳合金称为铸铁。在化学成分上,铸铁与钢的主要不同是:铸铁含碳量较高,杂质元素硫、磷较多。铸铁的强度、塑性、韧性较差,不能进行压力加工,但它具有一系列的优良性能,如良好的铸造性能、减摩性、吸振性和切削加工性等,而且它的生产设备和工艺简单、价格低廉,因此铸铁在机械制造业中得到了广泛的应用。铸铁常根据石墨结晶的形态分为灰口铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁三类。

### (1) 灰口铸铁

灰口铸铁中碳主要以片状石墨的形式存在,断口呈暗灰色,故称灰口铸铁。灰口铸铁的铸造性能和切削性能很好,是工业上应用最广泛的铸铁。灰口铸铁的牌号由“HT”和三位数字组成。其中“HT”是“灰铁”两字汉语拼音的第一个字母,其后数字表示最低抗拉强

度值。例如 HT100 表示抗拉强度最低值为 100MPa 的灰口铸铁。

### (2) 可锻铸铁

可锻铸铁中碳主要以团絮状石墨的形式存在,它是白口铸铁经退火获得的一种铸铁。与灰口铸铁相比,可锻铸铁具有较高的强度、较好的塑性和韧性,故被称为“可锻”,实际上并不可锻。可锻铸铁分为黑心可锻铸铁、珠光体可锻铸铁和白心可锻铸铁等,其牌号分别由“KTH”、“KTZ”、“KTB”和两组数字组成,前一组数字表示抗拉强度的最低值,后一组数字表示伸长率的最低值。如 KTH300-06 表示抗拉强度最低值为 300MPa、伸长率最低值为 6% 的黑心可锻铸铁;KTZ450-06 表示抗拉强度最低值为 450MPa、伸长率为 6% 的珠光体可锻铸铁;KTB350-04 表示抗拉强度最低值为 350MPa、伸长率最低值为 4% 的白心可锻铸铁。可锻铸铁适用于制造形状复杂,工作中承受冲击、震动、扭转载荷的薄壁零件,如汽车、拖拉机后桥壳、转向器壳和管子接头等。

### (3) 球墨铸铁

球墨铸铁中石墨呈球状,它的强度比灰口铸铁高得多,并且具有一定的塑性和韧性。它主要用于制造某些受力复杂、承受载荷大的零件,如曲轴、连杆、凸轮轴、齿轮等。球墨铸铁的牌号由“QT”和两组数字组成。“QT”是“球铁”两字汉语拼音的第一个字母,两组数字分别代表最低抗拉强度和最低伸长率。如 QT500-07 表示抗拉强度最低值为 500MPa、伸长率最低值为 7% 的球墨铸铁。

## 1.4 钢的热处理及热处理方法简介

钢的热处理是建立在纯铁于固态下能够产生同素异构转变的基础之上的。铁的同素异构转变(即在一定温度下其晶体结构会发生改变)将导致铁碳合金在加热或冷却过程中内部的组织结构发生变化。对于碳钢来说,在加热时,开始发生这种组织结构变化的温度(称临界温度或相变温度)约为  $727^{\circ}\text{C}$ ,叫做  $A_1$  温度。如果把加热到  $A_1$  以上适当保温的钢件保温一段时间后,以不同的冷却速度冷至室温,则会使其组织结构和性能发生不同的变化。因此,根据加热温度和冷却速度的不同,构成了不同的热处理工艺。不同的热处理工艺适用于不同的条件和目的,所以,在制订热处理工艺和进行操作之前,必须对所要处理的工件的材料和性能要求等做到心中有数。

### 1.4.1 钢的整体热处理

整体热处理是指通过加热使工件在达到加热温度时里外热透,经冷却后实现改善工件整体组织和性能的目的。常用的钢整体热处理包括退火、正火、淬火和回火等。

#### (1) 退火

退火是将工件加热到适当的温度,保温一定时间,然后缓慢冷却的热处理工艺。退火主要用于铸、锻、焊件等毛坯或半成品零件,一般是作为预备热处理。从性能上来看,退火使钢软化,硬度降低,这通常会有利于切削加工。另一方面,退火还可以消除工件中存在的内应力,使毛坯件晶粒细化,组织均匀。

常用的退火工艺有以下几种。

① 完全退火 主要用于低碳钢和中碳钢工件。一般把工件加热到  $750\sim 900^{\circ}\text{C}$  [随钢中含碳量降低,加热温度升高,如图 1-8(a) 所示],保温一段时间后,随炉缓慢冷却到室温,也可随炉冷却到  $500^{\circ}\text{C}$  以下出炉空冷。

② 球化退火 对于含碳量  $\geq 0.8\%$  的高碳钢,采用完全退火难以获得比较理想的均匀组

织, 硬度也往往偏高, 不利于切削加工。因此对它们采用球化退火, 其方法是将工件加热到  $A_{c1}$  以上  $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ , 适当保温随炉缓慢冷却下来。球化退火后的钢一般是处于最软化的状态, 组织也比较均匀。高碳工具钢经球化退火后, 也有较好的切削加工性。

③ 去应力退火 其目的是消除工件中的内应力。它是将工件加热到  $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ , 保温一定时间, 然后随炉冷却。去应力退火的加热温度是各种退火工艺中最低的, 故又称低温退火。

## (2) 正火

正火的工艺是将工件加热并保温后, 在空气中冷却。碳钢正火的加热温度为  $760\sim 920^{\circ}\text{C}$ , 具体钢种的正火温度与钢的含碳量有关, 如图 1-8(a) 所示。正火的作用与退火相似, 所不同的是, 正火的冷却速度较快, 因而得到的组织结构较细, 力学性能也有所提高。另外, 正火比退火的生产周期短, 设备利用率高, 能耗小, 成本低。因此正火是一种方便而又经济的热处理方法。低碳钢工件由于退火后硬度偏低, 切削加工性反而不好, 所以通常用正火而不用退火。中碳钢工件的预备热处理采用正火和退火均可, 一般在满足工件性能要求的前提下, 优先选用正火。对力学性能要求不高的零件, 可用正火作为最终热处理。

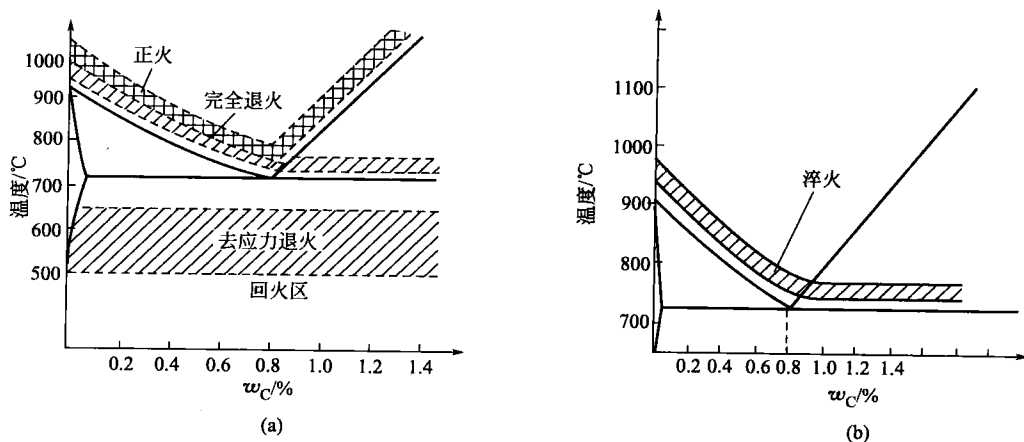


图 1-8 碳素钢退火和正火的加热温度范围

## (3) 淬火

淬火是将工件加热到  $A_{c1}$  以上的适当温度, 保温后快速冷却的热处理工艺, 如图 1-8(b) 所示。最常见的有水冷淬火、油冷淬火等。淬火的目的是使钢强化, 以显著地提高工件的硬度, 增强耐磨性; 同时也伴有塑性、韧性的下降。通常各种工具如刀具、模具和量具以及许多机械零件都需要进行淬火处理。淬火的加热温度对工件淬火后的组织和性能有很大影响, 它主要取决于钢的含碳量。对于  $w_C < 0.8\%$  的碳钢来说, 含碳量越低, 其淬火加热温度越高。例如 30 钢的淬火温度为  $860^{\circ}\text{C}$ , 45 钢的淬火温度为  $840^{\circ}\text{C}$ , 55 钢的淬火温度为  $820^{\circ}\text{C}$ 。对于  $w_C \geq 0.8\%$  的高碳钢, 其淬火温度为  $A_{c1} + 30\sim 50^{\circ}\text{C}$ , 即大致在  $760\sim 780^{\circ}\text{C}$ 。淬火用的冷却介质也称为淬火介质。碳素钢工件的淬火大多采用水作为冷却介质, 因为水最便宜而且有较强的冷却能力。合金钢淬火一般选用冷却能力较低的油作为淬火介质。淬火操作时, 还应注意工件浸入淬火介质的方式。若浸入方式不当, 有可能导致工件淬火后局部硬度不足, 或者使工件产生内应力而引起变形甚至开裂。工件浸入淬火介质的正确方法如图 1-9 所示。细长状工件 (钻头、轴等) 应垂直淬入淬火介质中; 薄壁环状工件 (如圆筒、套圈等) 应轴向垂直淬火; 薄片状工件 (如圆盘等) 应立放淬入; 厚薄不均的工件, 厚的部分应先进入淬火介质; 带有型腔或盲孔的工件, 应将型腔中的盲孔朝上, 淬入冷却介质 (有利于型腔

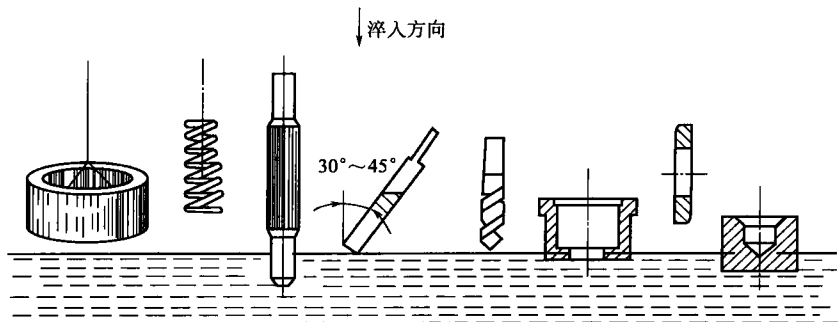


图 1-9 工件浸入淬火介质时的方式

或盲孔中气泡的排除)。工件在淬火介质中，还应按一定的移动方向上下左右移动，以使工件上的各个部位尽可能均匀冷却。淬火是钢的一种必要强化方法，但通常还不是最终决定工件性能的工序，工件淬火，还必须紧接着进行回火热处理。

#### (4) 回火

回火是将淬火后的工件再加热到  $A_{c1}$  线以下某一温度，保温一段时间，然后冷却至室温的热处理工艺。淬火钢回火的目的是减少或消除因淬火产生的内应力，防止工件变形或开裂；调整工件的力学性能，以满足使用要求；稳定工件的尺寸。

工件回火后的性能主要取决于回火温度，因此，回火操作主要是控制回火温度。回火后的冷却通常采用在空气中冷却，少数情况下，须用油冷或水冷。随着回火温度的升高，钢的力学性能变化的基本趋势是，强度、硬度下降，塑性、韧性提高，同时内应力减少。根据回火温度的不同，可将回火分为下列三类。

① 低温回火 回火温度范围为  $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ ，其目的是减小工件淬火后的内应力和脆性，但仍使之保持高的硬度 ( $56\sim 64\text{HRC}$ )。主要用于刀具、量具、冷作模具、滚动轴承、经表面淬火或渗碳的工件等。

② 中温回火 回火温度范围为  $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，可使工件具有高的弹性极限、屈服强度以及一定的韧性，硬度为  $35\sim 50\text{HRC}$ 。主要用于各种弹簧和热锻模等。

③ 高温回火 回火温度范围为  $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ ，工件可获得强度、塑性和韧性都较好的综合力学性能，硬度为  $200\sim 300\text{HBS}$ 。通常把淬火和高温回火两道热处理工序合称为调质处理。主要用于重要的机械零件，如轴、齿轮、连杆、高强度螺栓等。

### 1.4.2 钢的表面热处理和化学热处理

有些机械零件，如齿轮、曲轴、活塞销及许多工模具，由于使用条件的特殊性，往往要求其表面具有高的硬度和耐磨性，而心部要有较好的塑性和韧性，对于这种同一零件具有“外硬内韧”双重性能要求的情况，整体热处理显然无法做到，一般须采用表面热处理或化学热处理来满足这类工件的性能要求。

#### (1) 表面热处理

表面热处理是指仅对工件的表层进行热处理，以改变其组织和性能。目前应用较多的是表面淬火。表面淬火工艺就是通过对工件表面的快速加热，仅使其表层升温到临界温度以上发生组织转变，而心部组织并未发生变化，然后快速淋水冷却淬火。表面加热的方法有多种，如感应加热、火焰加热等。

① 感应加热表面淬火 将工件放在通有一定频率交流电的感应线圈内，感应线圈周围的同频率交变磁场使工件内部产生自闭合回路的感应电流（涡流）。涡流在工件截面上分布



不均匀, 主要分布在工件表层, 这一现象称为集肤效应, 如图 1-10 所示, 从而使工件表面迅速加热到淬火温度而心部仍接近室温, 随后喷水冷却, 使工件表层淬火硬化。感应电流频率越高, 涡流越向表层集中, 加热层也越薄, 淬火硬化层就越薄。一般高频 ( $200 \sim 300\text{kHz}$ ) 感应加热淬硬层深度为  $0.5 \sim 2\text{mm}$ 。

② 火焰加热表面淬火 用氧-乙炔火焰气体加热工件表面, 使其迅速达到淬火温度, 然后立即喷水冷却。此法的优点是加热方法简单, 无需特殊设备, 成本低; 缺点是加热不均匀, 淬火质量不易控制。

## (2) 化学热处理

化学热处理是将工件置于含有待渗元素的介质中加热和保温, 使一种或多种元素的活性原子渗入工件表层, 从而改变其表面的化学成分、组织与性能的热处理方法。其目的主要是强化表面和改善工件表面的物理、化学性能。化学热处理的种类很多, 一般是以渗入的元素来对其命名。最常用的是渗碳、渗氮及碳氮共渗。渗碳是将低碳钢工件置于富碳的介质中, 加热到高温 ( $900 \sim 950^\circ\text{C}$ ), 使碳原子渗入工件表层, 获得碳的质量分数为  $1\%$  左右的渗碳层, 再经淬火和低温回火后, 可使工件表层具有高的硬度、耐磨性和抗疲劳性能, 而心部仍保持较高的塑性、韧性和一定的强度。渗氮是将钢件置于渗氮介质中, 加热至  $500 \sim 600^\circ\text{C}$  并保温, 氮原子渗入工件表层后直接形成坚硬、耐蚀、抗疲劳的渗氮层, 无需再进行其他热处理。常用的渗碳和渗氮方法是气体渗碳和气体渗氮。在进行热处理操作实习或参观实习时, 应注意了解所接触到的各类热处理零件的名称、材料、热处理的目的、加热温度、冷却方式等, 比较工件在热处理前后的硬度变化, 同时还要对所用到或所见到的热处理设备的名称、型号和用途加以了解。

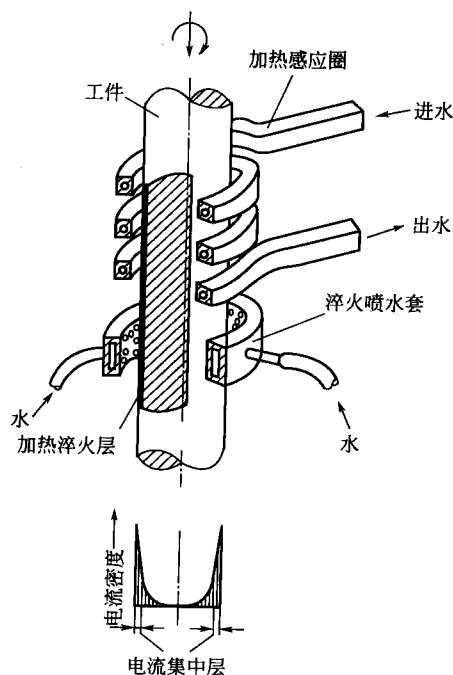


图 1-10 感应加热表面淬火示意图

## 1.5 钢铁材料的火花鉴别

将钢铁材料放在旋转的砂轮机上打磨时, 观察迸射出的火花的形状和颜色, 据此可大致判断其化学成分, 这就是火花鉴别法。它是在生产现场鉴别钢铁材料的一种简便实用的方法。当钢铁材料的试样在砂轮机上打磨时, 磨下的颗粒被磨削热加热至高温状态, 并沿砂轮旋转的切线方向抛射, 形成光亮的流线束。这是因为灼热的金属颗粒表面与空气中的氧发生反应形成氧化物膜, 氧化物进而与钢铁颗粒中的碳反应产生一氧化碳气体, 当一氧化碳气体压力足够高时, 将使氧化膜爆裂形成火花。根据火花的形状、色泽和亮度等, 可判断材料中的碳含量。同时合金元素也能影响火花的特征, 例如, 可抑制或促进火花的爆裂等, 因此火花鉴别还能区别钢铁中主要合金元素的种类。

磨削产生的全部火花称为火花束, 它由根部、中部和尾部火花三部分构成。火花束中, 由灼热颗粒在空中划出的明亮线条状轨迹称为流线。流线上的爆裂点叫做节点。节点处射出的若干短流线称为芒线。流线或芒线上由节点、芒线组成的火花叫节花。流线上的节花称为