

高 等 学 校 教 材

# 机械制造工程实践

JIXIE ZHIZAO GONGCHENG SHIJIAN

第二版

王永涛 张连凯 主编



化学工业出版社

高等学校教材

# 机械制造工程实践

第二版

王永涛 张连凯 主 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书分为 12 章, 内容包括: 金属材料与热处理基本知识、铸造成型、锻压成型、焊接成型、机械切削加工基本知识、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、钳工、数控加工、特种加工等章节。各章的第一节均为“安全技术”内容, 便于规范学生的现场操作, 保证实习安全。随本书附有机械制造工程实践实习报告, 帮助学生巩固和消化课堂教学内容, 并便于学生最终实习报告的上交。

本书可作为高等工科院校本科各专业的机械制造实践或金工实习教材, 也可作为广播电视大学、高职及专科学校金工实习用书, 同时可供有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造工程实践/王永涛, 张连凯主编. —2 版. 北京: 化学工业出版社, 2011. 2

高等学校教材

ISBN 978-7-122-10105-1

I. 机… II. ①王…②张… III. 机械制造工艺-高等学校-教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 241803 号

---

责任编辑: 程树珍 金玉连

装帧设计: 张 辉

责任校对: 战河红

---

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 11¼ 字数 274 千字 2011 年 2 月北京第 2 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

## 第二版前言

机械制造工程实践是一门综合性、实践性很强的技术基础课。随着近几年高校工程训练中心的建设和教学改革的发展,机械制造工程实践已突破了原来传统意义上金工实习的内涵,更加注重了对大学生工程综合能力的培养。

理论与实践结合、设计与制造结合、认知与训练结合是该课程的特点。基于多年从事金工实践教学和指导学生课外科技活动的经验以及曾经从事企业产品研发及制造的体会,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 2009 年修订的《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,结合不同专业对该课程的要求,我们编写了本教材。

在各院校该课程课时数有限的情况下,本教材着意尽可能突出重点,使学生既能掌握基础知识、基本技能,得到基本工程能力的锻炼,又能了解现代制造技术在当前机械制造业中的应用。在主要训练工种上,教材刻意突出了零件加工方法和加工工艺分析的内容。

本书由王永涛、张连凯担任主编,参加编写工作的教师有:李方俊(第 1 章~第 4 章)、王永涛(第 5 章~第 7 章、第 9 章、第 10 章)、康敬欣(第 11 章、第 12 章)、陈立芳(第 8 章)、张连凯(机械制造工程实践实习报告)。本书在编写过程中,北京化工大学机械工程训练中心贾淑芬老师和各实习工种的指导教师付俊杰、孔维礼、郭景云、吴广石、王金栋、冯力、杨艳、赵跃玲、张彦斌、杨帆等同志给予了大力帮助,提出了很好的修改意见,在此表示感谢。

本书可作为高等工科院校本科机械类专业的金工实习教材,也可作为广播电视大学、高职及专科学校金工实习用书,同时可供有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2010 年 10 月

# 第一版前言

制造业是中国经济的脊梁，而机械制造又是制造业的基础。作为工科院校的学生，无论从事何种专业，都要涉及机械制造领域的知识，石油要钻机，化工要反应釜，生物工程要有发酵罐，建筑要有钢结构框架，航海要船体，运输要车身，农业要联合收割机，航天要飞行器，气象要卫星，地质要钻机，采矿要梭车，冶金要高炉，电子要芯片，控制要传感器，计算机要存储器，方方面面都与机械制造有关。

现代科学是实验的科学，苹果落到头上的事已十分罕见，前人未做过的实验，要靠自己设计，甚至亲手加工装配，并在实验中不断发现问题，不断改进，才能获得更多的发现，赢得宝贵的时间，如果具备了相应的机械制造知识，那就如虎添翼，事半功倍。

在人类历史上，机械制造水平成为衡量人类文明的标志，如青铜与铁器，蒸汽机与电动机，汽轮机与核电站。在科学技术高速发展的今天，任何科学技术革命，也都离不开材料和装备方面新的突破。没有大型加速器，就发现不了中微子和夸克，没有纳米加工技术，就没有计算机器件的高度集成和高速发展，没有数控加工中心，就没有航天飞机和核动力潜艇。而材料制备和装备方面的突破，本身就是以机械制造业为基础的技术革命。

从学术专业角度划分，有机械制造工艺学的学科分类，这的确是一门艺术，与数、理、化的逻辑推理不同，其更着重实践和操作，更着重于技能和经验的积累。计算机专业学了五年就可以成为中级程序员，但往往 20 年却很难培养出一个机械制造工艺师。

但这不是可望而不可即的，所谓功夫不负有心人，从身边的机械钟表和自行车上每个零件，到公交车辆和提升电梯，甚至是三峡大坝的泄洪钢门，机械制造产品无所不在，成型方法又千差万别，机械工程知识是日积月累而来，加上坚韧不拔的品格、几分天赋和机遇，就会造就出像沈鸿先生那样的新一代机械工程师。

工科院校重视学生动手能力的培养，但真正能让学生动手操作上十几天的课程就是机械制造工程实践，在这里能接触到现代制造业的各个基本环节，亲身体验各种加工操作，了解从毛坯到零件，从零件到机器的制造过程，形成制造难易程度和制造精度的概念，领会制造成本和产品利润间的关系，从单纯课堂教学以外的角度来了解现代制造业的构成。

当然机械工程训练的目的并非是要让每个学生都成为熟练工人，首先是要培养大家的劳动观念，产品制造过程就是劳动价值的创造过程，是汗水和智慧的结晶；其次要培养大家的团队协作精神，在今天实践过程中是各工种的协作，将来毕业后就要投入到现代化社会劳动协作中去，而这个协作是以责任和纪律来保证的；作为一门课程，同学们应该掌握最基本的操作知识和技能，这不仅需要一定的思维能力和健康的体魄，还与形体训练课一样要具备相应的肢体协调能力和节奏感，否则就很难获得优异的成绩。

对于工科院校非机械类专业的学生，在校期间没有机会接受系统的机械工程训练，但又必须掌握一定的现代制造工程技术知识，而目前所用的大多是机械专业类工程实践教材的缩略版本，并不适应“非机”类专业的教学。

本书是专门针对工科院校“非机”类专业机械工程实践教学环节编写的教材，集作者从

事机械制造专业技术和教学 30 余年之经验与体会，完全从机械行业以外的初学者角度出发，使用通俗易懂而简练的语言，阐明机械工程所涵盖的最基本内容，密切结合实践操作过程，充分利用有限的实践教学环节，力求能使所学者掌握更多的技能和更系统的相关知识。

为了配合实践教学环节，作者专门为本书开发了一套计算机考试系统，用来检查同学们对实践过程中一些机械制造基础知识的掌握程度，系统采用从试题库随机抽题方式来组成试卷，答卷结束后立即自动评定成绩，既可以用于同学们自己对所学知识的测试，也极大地方便了实践教学环节考核的进行。

本书要感谢培养过作者的淮南化工机械学校、安徽理工大学和中国矿业大学北京研究生院，感谢作者所工作过的原化工部第三化工建设公司、原煤炭部三十九工程处和淮南矿业集团，感谢北京化工大学机械工程训练中心的王永涛高工和贾淑芬主任，感谢同教研室的康敬欣博士、李方俊和张东胜两位博士后，是大家的培养和鼓励才促使了本书的成稿和出版。

**编者**

**2004 年 2 月于北京**

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| <b>1 金属材料与热处理基本知识</b> | 1  |
| 1.1 金属材料的性能           | 1  |
| 1.2 钢与铸铁              | 3  |
| 1.3 热处理基本知识           | 6  |
| 1.4 有色金属及其合金          | 6  |
| <b>2 铸造成型</b>         | 8  |
| 2.1 铸造成型概述            | 8  |
| 2.2 砂型铸造              | 8  |
| 2.3 金属的熔炼与浇注          | 11 |
| 2.4 铸件的落砂、清理及常见缺陷分析   | 13 |
| 2.5 特种铸造              | 14 |
| 2.6 铸造成型安全技术条例        | 15 |
| <b>3 锻压成型</b>         | 17 |
| 3.1 锻压成型概述            | 17 |
| 3.2 锻造生产过程            | 17 |
| 3.3 自由锻造              | 19 |
| 3.4 板料冲压              | 22 |
| 3.5 锻压成型安全技术条例        | 24 |
| <b>4 焊接成型</b>         | 25 |
| 4.1 焊接成型概述            | 25 |
| 4.2 手工电弧焊             | 25 |
| 4.3 气焊与气割             | 29 |
| 4.4 其它焊接方法            | 30 |
| 4.5 焊接成型安全技术条例        | 32 |
| <b>5 机械切削加工基本知识</b>   | 34 |
| 5.1 切削加工概述            | 34 |
| 5.2 切削刀具              | 37 |
| 5.3 常用量具              | 40 |
| <b>6 车削加工</b>         | 47 |
| 6.1 车削加工概述            | 47 |
| 6.2 车床                | 47 |
| 6.3 车刀                | 49 |
| 6.4 车床附件与工件安装         | 52 |
| 6.5 车削加工基本操作要点        | 55 |
| 6.6 车削基本工作            | 56 |

|           |                   |            |
|-----------|-------------------|------------|
| 6.7       | 车削加工安全技术条例 .....  | 64         |
| 6.8       | 工件外圆车削操作练习 .....  | 64         |
| 6.9       | 车工实验 .....        | 65         |
| <b>7</b>  | <b>铣削加工 .....</b> | <b>74</b>  |
| 7.1       | 铣削加工概述 .....      | 74         |
| 7.2       | 铣床 .....          | 75         |
| 7.3       | 铣刀及其安装 .....      | 77         |
| 7.4       | 铣床附件与工件安装 .....   | 79         |
| 7.5       | 铣削基本工作 .....      | 82         |
| 7.6       | 铣削加工安全技术条例 .....  | 84         |
| <b>8</b>  | <b>刨削加工 .....</b> | <b>85</b>  |
| 8.1       | 刨削加工概述 .....      | 85         |
| 8.2       | 刨床 .....          | 85         |
| 8.3       | 刨刀及其安装 .....      | 88         |
| 8.4       | 工件的安装 .....       | 89         |
| 8.5       | 刨削基本工作 .....      | 90         |
| 8.6       | 刨削加工安全技术条例 .....  | 91         |
| <b>9</b>  | <b>磨削加工 .....</b> | <b>92</b>  |
| 9.1       | 磨削加工概述 .....      | 92         |
| 9.2       | 磨床 .....          | 92         |
| 9.3       | 砂轮 .....          | 94         |
| 9.4       | 磨削基本操作 .....      | 94         |
| 9.5       | 磨削加工安全技术条例 .....  | 97         |
| <b>10</b> | <b>钳工 .....</b>   | <b>98</b>  |
| 10.1      | 钳工概述 .....        | 98         |
| 10.2      | 划线 .....          | 100        |
| 10.3      | 锯削 .....          | 103        |
| 10.4      | 锉削 .....          | 105        |
| 10.5      | 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔 ..... | 107        |
| 10.6      | 螺纹加工 .....        | 109        |
| 10.7      | 装配 .....          | 111        |
| 10.8      | 钳工操作示例 .....      | 116        |
| 10.9      | 钳工操作安全技术条例 .....  | 118        |
| <b>11</b> | <b>数控加工 .....</b> | <b>119</b> |
| 11.1      | 数控加工概述 .....      | 119        |
| 11.2      | 数控车床 .....        | 123        |
| 11.3      | 数控铣床 .....        | 131        |
| 11.4      | 加工中心 .....        | 137        |
| 11.5      | 数控加工安全技术条例 .....  | 139        |
| <b>12</b> | <b>特种加工 .....</b> | <b>140</b> |
| 12.1      | 特种加工概述 .....      | 140        |

|            |                  |     |
|------------|------------------|-----|
| 12.2       | 数控电火花成型加工 .....  | 140 |
| 12.3       | 数控电火花线切割加工 ..... | 142 |
| 12.4       | 激光加工 .....       | 146 |
| 12.5       | 超声波加工 .....      | 149 |
| 12.6       | 特种加工安全技术条例 ..... | 149 |
| 参考文献 ..... |                  | 151 |

# 1

## 金属材料与热处理基本知识

随着人类的进步和科学技术的发展,工程材料的种类越来越多,高分子材料、陶瓷材料、复合材料等非金属材料在众多工业领域中已获得了广泛的应用。但是,到目前为止,金属材料仍然是应用面最广、应用量最大的工程材料。

### 1.1 金属材料的性能

制作成零件或构件的金属材料,其在使用过程中可能会承受各种各样的载荷作用,如拉、压、扭、剪、弯等。为了保证零件或构件功能的正常发挥,金属材料必须具有足够的力学性能,以抵抗载荷而不致发生断裂和严重的磨损、变形等破坏。金属材料抵抗载荷(或外力)时所表现出来的性能称为其力学性能,主要有刚度、塑性、强度、硬度、冲击韧性等。金属材料的力学性能是通过各种标准试验测订出来的。

#### 1.1.1 弹性和刚度

金属材料的弹性、刚性、强度和塑性可以通过 GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验方法》进行测定。按照标准要求,制作图 1-1(a) 所示的拉伸试样,在材料试验机上对试样的两端施加轴向静拉力,直到材料被拉断,如图 1-1(b)。

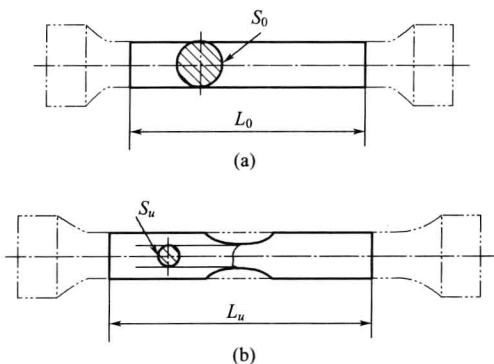


图 1-1 拉伸试样及缩颈

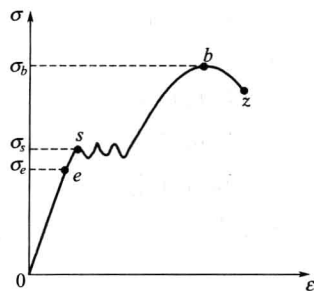


图 1-2 低碳钢拉伸图

对于低碳钢等塑性金属材料,可以得到图 1-2 所示的拉伸图。图中横坐标为试样的轴向应变,纵坐标为试样截面单位面积上的拉力,即应力。在  $e$  点之前,材料发生弹性变形。所谓弹性变形是指外力消除后变形也随之消除的变形。 $\sigma_e$  是材料产生弹性变形所能承受的最大拉应力,该应力称为材料的弹性极限。材料在弹性状态下的应力与应变之比称为材料的弹性模量,又称作刚度。刚度表示金属材料抵抗弹性变形的能力。

### 1.1.2 强度

在图 1-2 中,当拉力超过  $e$  点时,材料产生永久性的变形,即塑性变形。特别是拉力达到  $s$  点时,材料会出现应力不再增加而应变继续增加的现象,此种现象称为屈服。材料产生屈服现象时的应力称为屈服极限,又称作屈服强度  $\sigma_s$ 。脆性材料拉伸时没有明显的屈服现象,通常规定塑性变形 0.2% 时对应的应力为其屈服极限  $\sigma_{0.2}$ 。当拉力达到  $b$  点时,材料产生缩颈现象,此时的拉应力  $\sigma_b$  为材料所能承受的最大拉应力,该应力称为材料的抗拉强度。

### 1.1.3 塑性

在图 1-2 中,随着拉伸过程的继续进行,材料在  $z$  点被拉断。材料断裂后试样长度的延伸和截面积的收缩反映了材料的塑性,故塑性通常用延伸率和断面收缩率来表示。

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

式中  $\delta$ ——材料的延伸率;

$L_u$ ——试样断裂后的长度, mm;

$L_0$ ——试样原始长度, mm。

$$\phi = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中  $\phi$ ——材料的断面收缩率;

$S_u$ ——试样断裂后的截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$S_0$ ——试样原始截面积,  $\text{mm}^2$ 。

### 1.1.4 硬度

材料抵抗另一硬物体压入其内的能力叫硬度。硬度反映了材料受压时抵抗局部塑性变形的能力。金属材料的硬度可用各种硬度计来测定,通常使用的硬度计有布氏硬度计、洛氏硬度计和维氏硬度计。各种硬度计的原理基本相同,都是利用施加的载荷将比较硬的压头压入被试材料,根据被试材料表面出现的微小凹坑的面积或深度来评定材料的硬度。常见的硬度有布氏硬度 (HBC)、洛氏硬度 (HRC) 和维氏硬度 (HV)。各种硬度之间的换算可参见 GB/T 1172—1999《黑色金属硬度及强度换算值》。

### 1.1.5 冲击韧性

冲击韧性是材料抵抗冲击载荷作用下断裂的能力。GB/T 229—2007《金属材料夏比摆锤冲击试验法》给出了金属材料的一种冲击试验方法,将规定几何形状的缺口 (V 形或 U 形) 试样置于试验机两支座之间,缺口背向打击面放置,用摆锤一次击断试样,测定试样的吸收能量。通过式 (1-3) 计算获得的冲击韧度可以表示金属材料的冲击韧性。

$$a_k = \frac{A_k}{S_0} \quad (1-3)$$

式中  $a_k$ ——冲击韧度,  $\text{J}/\text{m}^2$ ;

$A_k$ ——试样击断所消耗的冲击功, J;

$S_0$ ——试样缺口处的原始截面积,  $\text{m}^2$ 。

金属材料的力学性能还有疲劳强度、断裂韧性等指标。疲劳强度反映材料抵抗周期性交变载荷破坏作用的能力。断裂韧性反映材料抵抗其内部裂纹扩展破坏的能力。

金属材料在制作成零件或构件时,除了考虑其力学性能外,还要考虑其物理性能、化学性能和工艺性能。

金属材料的物理性能包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。金属材料的化学性能主要有耐腐蚀性、抗氧化性和热化学稳定性等。金属材料在常温下抵抗氧、水蒸气等化学介质腐蚀破坏作用的能力称为耐腐蚀性；金属材料在加热时抵抗氧化作用的能力称为抗氧化性；金属材料在高温下的耐腐蚀性和抗氧化性称为热化学稳定性。

金属材料的工艺性能是指其在特定工艺条件下制作成产品的难易程度。金属材料的工艺性能包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。不同的金属材料具有不同的工艺性能，在选择加工方法时应特别注意。例如，灰铸铁的铸造性能和切削加工性能良好，而锻造及焊接性能都比较差，一般采用先铸造成型，再切削加工和热处理获得所需要的成品。

## 1.2 钢与铸铁

### 1.2.1 钢与铸铁的成分

钢和铸铁是由铁和碳两种元素组成的合金。其中铁的含量很高，碳的含量一般不足5%。含碳量低于0.05%的铁碳合金为熟铁，含碳量高于2.11%的铁碳合金为铸铁（或生铁），含碳量在0.05%~2.11%之间的铁碳合金为碳钢。

碳元素可以被固态铁所溶解，形成碳在铁中的固溶体，即铁素体。固态铁溶解碳的能力十分有限，那些不能被溶解的碳元素可以与铁生成化合物（最常见的化合物为渗碳体），也可以单独以石墨的形式出现在铁碳合金中。铁素体硬度低，塑性很好；渗碳体则脆而硬；石墨的强度、硬度和塑性都很差。

对于碳钢来说，碳除了极少量溶解在固态铁中形成铁素体外，其余的碳与铁生成渗碳体化合物。随着含碳量增加，钢中渗碳体增多，硬度和强度也增大。当含碳量接近2%时，渗碳体成分太多，钢容易脆裂，所以工业用钢的含碳量一般小于2%。其中含碳量高于0.6%的为高碳钢，含碳量在0.4%~0.6%的为中碳钢，含碳量低于0.4%的为低碳钢。

在碳钢中加入Mn、Ni、Cr、W、Si、Cu等元素而形成的合金为合金钢。随着加入元素种类和含量的不同，可以获得各种不同性能的合金钢。

铸铁的含碳量在2.11%以上，通过石墨化处理，大部分碳元素以石墨形式分布在与钢类似的铸铁基体之中。这些石墨割裂了铸铁的基体，使得铸铁的抗拉强度和塑性明显降低，但具有很好的抗压强度和润滑性能。

### 1.2.2 钢的种类和牌号

钢的种类繁多，我国通常按照钢的成分分为碳素钢和合金钢；按照钢的用途分为结构钢、工具钢和特殊性能钢；按照质量分为普通、优质和高级优质钢。

钢的牌号就是它们的名称，一般根据其包含的成分或使用性能进行命名。下面对钢牌号进行简要说明，并指出它们的含义、用途和常用热处理方法。

#### (1) 碳素结构钢

碳素结构钢牌号以拼音字母屈服强度第一个字母“Q”起首，后面数字为屈服强度数值，如Q350表示该种钢可以保证屈服极限不低于350MPa，参见GB/T 700—2006《碳素结构钢》。这种钢的牌号有Q195、Q215、Q235和Q275等，一般热轧成型材使用，如板材、管材、圆钢、角钢等，热轧后在空气中冷却，处于正火状态。

## (2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢对硫、磷等杂质成分含量控制比较严格,其牌号以碳含量的万分数表示,参见 GB/T 699—1999《优质碳素结构钢》。08、10、15、20、25 等号钢含碳量低,强度低、塑性和可焊性好,多制作成薄板,用来制造容器、冲压件和焊接件,或用来制造螺母、螺钉和需要渗碳的零件。30、35、40、45、50 等号钢含碳量中等,综合力学性能较好,通常经过淬火和回火处理,用来制造轴、齿轮、连杆等类零件。55、60、65、70 等号钢含碳量较高,通常经过淬火和回火处理,用来制造弹簧和钢丝绳等。

## (3) 碳素工具钢

碳素工具钢的牌号以字母 T 打头,后面数值为碳含量的千分数,如 T8、T10、T12 等,参见 GB/T 1298—2008《碳素工具钢》。这种钢通常经过淬火后低温回火处理,用来制造钳工工具,如锉刀等。

## (4) 低合金高强度结构钢

低合金高强度结构钢的牌号以拼音字母屈服强度第一个字母“Q”起首,后面数字为屈服强度数值,参见 GB/T 1591—1994《低合金高强度结构钢》。这种钢的牌号有 Q295、Q345、Q390、Q420 和 Q460 等。这种钢由于加入了少量的合金元素,其力学性能比碳素结构钢好,用它代替碳素结构钢,可大大减轻结构重量。一般在热轧空冷状态下使用,用来制造桥梁、车辆、船舶、高压容器和油气管道等。

## (5) 合金结构钢

合金结构钢的牌号以碳含量的万分数,后面加注合金元素的符号和含量来表示,参见 GB/T 3077—1999《合金结构钢》。如 20Cr 为添加铬元素的渗碳钢,40Cr 为添加铬元素的调质钢,用于制造重要轴类零件。

## (6) 合金工具钢

合金工具钢的牌号以碳含量的千分数,后面加注合金元素的符号和含量来表示,参见 GB/T 1299—2000《合金工具钢》。这种钢一般需要淬火和低温回火处理,用来制作各类工具。如 9SiCr 为添加硅和铬元素的合金工具钢,一般制作量具和刃具。9Mn2V 为添加锰和钒元素的合金工具钢,一般制作冷作模具。高速钢是一类专门的合金工具钢,参见 GB/T 9943—2008《高速工具钢》。其典型牌号为 W18Cr4V,淬火后低温回火处理,用来制作刃具。

## (7) 特殊性能钢

特殊性能钢具有特殊的物理、化学或力学性能,如不生锈、耐热及耐磨等。其牌号参见 GB/T 20878—2007《不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分》、GB/T 5680—1998《高锰钢铸件》。12Cr18Ni9 (旧牌号为 1Cr18Ni9) 为奥氏体不锈钢或耐热钢,既耐热又不生锈,一般经固溶处理后使用;ZGMn13 是典型的耐磨钢,铸造后退火使用,用来制造履带和铁轨分道叉等。

## (8) 铸钢

铸钢主要用于生产形状复杂,需要一定力学性能的零件,如重型机械齿轮、缸体等。包括铸造碳钢和铸造合金钢。其牌号参见 GB/T 5613—1995《铸钢牌号表示方法》,铸造碳钢的常见牌号有 ZG25、ZG35 和 ZG45 等。

### 1.2.3 铸铁的种类和牌号

铸铁是含碳量大于 2.11% 的铁碳合金,另外还含有硅、锰、硫、磷等元素。根据碳在

铸铁中存在形式的不同, 铸铁可分为白口铸铁、灰口铸铁和麻口铸铁。

在白口铸铁中, 碳除了微量溶解在铁素体之中外, 其余全部以渗碳体形式存在, 形成大量的莱氏体。白口铸铁因断口呈白色而得名, 一般很少用来制造零件。

在灰口铸铁中, 碳除了微量溶解在铁素体之中外, 其余全部或大部以石墨形式存在, 没有莱氏体。灰口铸铁因断口呈灰色而得名, 其应用最广。

在麻口铸铁中, 碳除了微量溶解在铁素体之中外, 既能生成渗碳体并形成莱氏体, 又能以石墨形式存在。麻口铸铁因断口有灰、白相间的麻点而得名, 一般很少用来制造零件。

对于灰口铸铁来说, 石墨形状对其性能的影响是比较大的。因此, 根据石墨形状的不同, 灰口铸铁又分为四种: 灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和可锻铸铁。

#### (1) 灰铸铁

铸铁中的石墨呈片状。如果在铁水浇注前加入孕育剂, 就会促进碳元素的石墨化, 形成灰铸铁。微小片状石墨割裂了铸铁的基体, 使之抗拉能力不高, 但却有很好的抗压能力, 铸铁中石墨还能起到减振和润滑作用, 所以灰铸铁常用于铸造机床或设备的底座和导轨。

根据 GB/T 5612—2008《铸铁牌号表示方法》, 灰铸铁的牌号以“HT”起首, 后面三位数字为最低抗拉强度数值, 如 HT200 表示该铸铁的最低抗拉强度为 200MPa。灰铸铁共有 HT100、HT150、HT200、HT250、HT300、HT350 六个牌号。

#### (2) 球墨铸铁

铸铁中的石墨呈球状。如果在铁水浇注前加入稀土镁球化剂和孕育剂, 就会促进石墨球形化, 形成球墨铸铁。微小球状石墨割裂铸铁基体的作用远小于片状石墨, 所以球墨铸铁抗拉能力比灰口铸铁高得多, 可以代替钢生产发动机连杆和曲轴类零件。

球墨铸铁的牌号以“QT”起首, 后面有两组数字, 中间用“-”隔开, 第一组数字为最低抗拉强度数值, 单位为 MPa, 第二组数字为延长率数值。球墨铸铁有 QT400-17、QT420-10、QT500-5、QT600-2、QT700-2、QT800-2、QT1200-1 等牌号。

#### (3) 蠕墨铸铁

铸铁中的石墨呈蠕虫状。如果在铁水浇注前加入稀土镁钛合金蠕化剂和孕育剂, 就会促进石墨形状变为蠕虫状, 形成蠕墨铸铁。蠕墨铸铁的力学性能介于灰铸铁与球墨铸铁之间, 抗拉强度优于灰铸铁, 且具有一定韧性, 但强度与韧性都比球墨铸铁差。由于其耐热性和导热性优良, 常用于铸造柴油机汽缸盖等工作温度较高的零件。

蠕墨铸铁的牌号以“RuT”起首, 后面三位数字为最低抗拉强度数值, 如 RuT420 表示该铸铁的最低抗拉强度为 420MPa。蠕墨铸铁共有 RuT420、RuT380、RuT340、RuT300、RuT260 五个牌号。

#### (4) 可锻铸铁

铸铁中的石墨呈团絮状。可锻铸铁是白口铸铁经石墨化退火而形成的一种铸铁, 团絮状石墨割裂铸铁基体的作用比片状石墨小, 所以可锻铸铁抗拉能力比灰口铸铁明显提高。由于白口铸铁的流动性好, 可锻铸铁常用来制造形状复杂、承受冲击载荷的薄壁零件, 如棘轮等。

可锻铸铁其实是不可锻造的, 其主要分珠光体可锻铸铁和黑心可锻铸铁两类。珠光体可锻铸铁的牌号有 KTZ450-06、KTZ550-04、KTZ650-02、KTZ700-02 等。黑心可锻铸铁的牌号有 KTH300-06、KTH330-08、KTH350-10、KTH370-12 等。牌号后面的第一组数字为最低抗拉强度数值, 单位为 MPa, 第二组数字为延长率数值。

## 1.3 热处理基本知识

钢的热处理就是将钢加热到一定温度以上，保温一段时间，再以不同速度冷却，从而改变钢内部组织和力学性能的工艺方法。

如图 1-3 所示，如果保温后快速冷却，如在水或油中冷却，则称为淬火。淬火能明显提高工件的硬度，但是由于冷却速度太快，会使工件内应力增大，产生淬火应力。如果保温后缓慢冷却，如在加热炉中慢慢冷却或埋在石灰中冷却，则称为退火。退火能得到接近平衡状态的组织，不会产生内应力。如果在空气中冷却，所获得的组织比退火得到的组织细，综合力学性能较好。

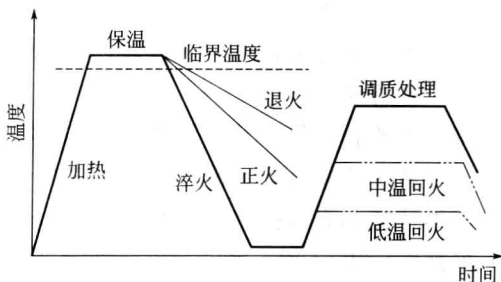


图 1-3 钢热处理工艺曲线示意图

钢件淬火后再进行加热、保温并冷却到室温的热处理工艺称为回火。回火时的保温温度要低于退火时的保温温度，否则就成了退火。依据回火时保温温度的高低，回火分为三种类型：低温回火、中温回火和高温回火。低温回火主要用于消除淬火应力，常用于工具处理；中温回火可以明显改善工件的冲击韧性，常用于弹性元件处理，如弹簧等；高温回火可以获得比较好的综合力学性能。“淬火+高温回火”也称为调质处理，常用于一些重要零件处理，如轴类零件。

只对零件表面进行加热和快速冷却的热处理称为表面淬火。表面淬火能使零件表面获得较高的硬度。对于低碳钢零件，可以先将碳元素渗入其表面，然后再表面淬火，就能获得表面硬度很高但内部综合力学性能较好的零件，这种热处理称为渗碳。

## 1.4 有色金属及其合金

金属分为两大类，即黑色金属和有色金属。铁、铬、锰及它们的合金属于黑色金属，除此之外的金属均属有色金属。许多有色金属具有比强度高、导电性好、导热性好及耐热、耐腐蚀等特点，已成为现代工业不可缺少的材料。

### 1.4.1 铝及铝合金

铝及铝合金具有密度小、比强度高、导电性好、抗大气腐蚀能力强、磁化率极低等特点，在电气工程、航空航天及机械工业中有着广泛的用途。

纯铝中的铝含量不低于 99.00%。纯铝强度很低，不适于作为结构零件的材料，主要用来制作电容器、铝箔、电线及强度要求不高的器皿。

在铝中加入铜、锰、硅、镁、锌等合金元素而形成的铝合金，其力学性能大大提高，在工程结构上获得了广泛的应用。铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金两大类。

变形铝合金中合金元素的含量一般比较低，其塑性好，适于变形加工。纯铝及变形铝合金的牌号参见 GB/T 16474—1996《变形铝及铝合金牌号表示方法》。牌号由四位字符来表

示,其中第一、三、四位为阿拉伯数字,第二位为英文大写字母。牌号的第一位数字表示主要合金元素,其中2、3、4、5、7表示主要合金元素分别为铜、锰、硅、镁、锌;1表示没有主要合金元素,即铝含量不低于99.00%的纯铝。第二位的英文大写字母表示原始合金的改型情况,A表示原始合金,其它字母为原始合金的改型合金。第三、四位数字表示顺序号。

3A21及5A05是不能通过热处理进行强化的铝合金,强度较低,常用来制造中、低载荷的零件和制品,如管道、铆钉等。2A01及2A11是可以通过热处理进行强化的铝合金,强度较高,常用来制造中等载荷的零件和构件,如螺旋桨叶片等。2A14具有良好的热塑性和锻造性能,用来制造承受重载荷的锻件。7A04、7A09是强度最高的一类铝合金,常用来制造飞机大梁、起落架等。

铸造铝合金中合金元素的含量一般比较高,其流动性好,适于铸造。铸造铝合金的牌号参见GB/T 8063—1994《铸造有色金属及其合金牌号表示方法》,牌号反映了铸造铝合金中的合金元素及其含量,但不够简洁。铸造铝合金的代号由字母“Z”、“L”及其后面的三个阿拉伯数字组成,ZL后面第一个数字表示合金系列,其中1、2、3、4分别表示铝硅、铝铜、铝镁、铝锌系列合金,ZL后面第二、三两个数字表示顺序号,参见GB/T 1173—1995《铸造铝合金》。

铝硅系列铸造铝合金通常称硅铝明,其中ZL102(硅含量10%~13%)为简单硅铝明,其铸造性能良好,但强度较低,常用来制造结构复杂但强度要求不高的铸件,如水泵壳体等。

#### 1.4.2 铜及铜合金

纯净的铜呈紫红色,常称紫铜。紫铜的品种有纯铜、无氧铜、磷脱氧铜和银铜等,它们具有极好的导电性和导热性,良好的耐蚀性能和优秀的塑性变形性能,常用于导电、导热和耐蚀领域,但由于强度低而不宜作结构材料。

在铜中加入锌、锡、硅、镍等合金元素而形成的铜合金,其强度和硬度大大提高,同时还保留了紫铜的某些优良性能,在工程结构上获得了广泛的应用。

以锌为主要合金元素的铜合金称为黄铜。按照化学成分分,黄铜有普通黄铜和复杂黄铜两类。普通黄铜是铜锌二元合金,锌含量对黄铜的性能有很大影响。普通黄铜的代号由字母“H”及其后面的数字组成,如H80,数字表示铜含量的百分数。在铜锌合金中加入铝、铅、锡等元素而形成的合金为复杂黄铜。复杂黄铜的代号编制方法为:H+主加元素符号+铜含量的百分数-主加元素含量的百分数,如HPb63-3。普通黄铜一般用来制作热交换器、散热器、弹壳等,复杂黄铜一般用于制作船舶上使用的零件。

按照加工方法分,黄铜有加工黄铜和铸造黄铜两大类。上文代号是针对加工黄铜而言的,若在上述代号前加字母“Z”,如ZH62、ZHA167-2.5,则表示铸造黄铜。

以锡、铝、铍、铅、硅、锰为主要合金元素的铜合金称为青铜。青铜也分加工青铜和铸造青铜两大类。加工青铜的代号编制方法为:Q+主加元素符号+主加元素含量的百分数-其它元素含量的百分数,如QSn4-3。铸造青铜是在前面加“Z”字。青铜一般用来制造弹簧等弹性元件、轴承、蜗轮、蜗杆等耐磨性要求很高的零件。

# 2 铸造成型

## 2.1 铸造成型概述

将液态金属材料注入到与铸件形状相适应的铸型中，待其凝固后获得毛坯或零件的加工方法称为铸造。铸造适宜于生产那些具有复杂形状或内腔的毛坯和零件，如发动机缸体、暖气片 and 自来水龙头等。

合金的铸造性能是指合金在铸造整个过程中，为获得外形正确、内部无缺陷的铸件而表现出来的性能。合金的铸造性能具体表现为合金的流动性、吸气倾向、收缩性能和偏析倾向等。显然，流动性好、吸气倾向小、收缩小和偏析倾向小的铸造合金具有好的铸造性能。

常见的铸造合金有铸铁、铸钢和铸造有色合金等，其中铸铁（特别是灰铸铁）应用最为普遍。

## 2.2 砂型铸造

在铸造过程中，首先需要制作铸型。铸型由型（芯）砂构成的铸造方法称为砂型铸造。图 2-1 为砂型铸造的铸型装配图，铸造完后打碎铸型取出如图 2-2 所示的铸件。

砂型铸造的主要工序有：制模、配砂、造型、造芯、合型、熔炼、浇注、落砂、清理和检验等。

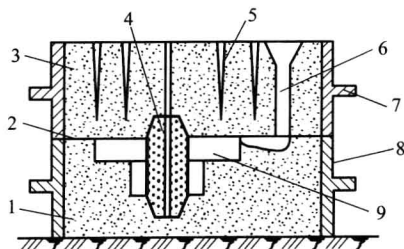


图 2-1 铸型装配图

- 1—下砂型；2—分型面；3—上砂型；4—砂芯；5—透气孔；  
6—浇注系统；7—上砂箱；8—下砂箱；9—型腔

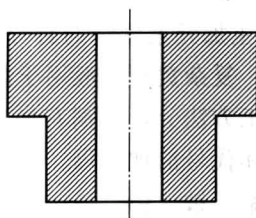


图 2-2 铸件图

### 2.2.1 型砂

型砂的主要成分是耐高温的石英。一般型砂中掺有黏土做黏合剂，并加入适量水分，使