

杨晋 主编  
高溥 主审

# 机械制造 工程实践



兰州大学出版社  
LANZHOU UNIVERSITY PRESS

杨晋 主编

高溥 主审

本书内容

本书主要介绍机械制造的工程实践，包括机械加工工艺、机械装配工艺、机械测量、机械试验、机械维护与修理、机械故障诊断与排除、机械安全与防护、机械环境保护、机械节能与降耗、机械新技术应用等。本书可作为机械类专业及相关专业的教材，也可供从事机械工作的工程技术人员参考。

# 机械制造 工程实践

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

机械工业出版社

兰州大学出版社

## 内 容 提 要

本书根据国家教育部新颁布的《高等工科院校金工实习教学基本要求》为基础,结合面向 21 世纪工程实践教学内容与课程体系改革的研究成果,并认真总结作者长期的工作经验编写的。本书内容包括机械工程材料与处理技术、铸造、锻压、焊接、切削加工基础知识、车工、铣、刨、磨、齿形加工、钳工、数控加工和特种加工等章节。

本书是高等工科院校机械工程类《金工实习》课程教材,也可供近机类、非机类、职业技术学院、职工大学、电视大学相关专业选用,还可供工程技术人员及技术工人参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程实践/杨晋主编. —兰州:兰州大学出版社, 2006. 8

ISBN 7-311-02867-1

I. 机... II. 杨... III. 机械制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 091203 号

### 机械制造工程实践

主编 杨 晋

主审 高 溥

兰州大学出版社出版发行

兰州市天水南路 222 号 电话:8912613 邮编:730000

E-mail: press@onbook.com.cn

http://www.onbook.com.cn

---

兰州交通大学印刷厂印刷

开本:787×1092 毫米 1/16

印张:16.25

2006 年 8 月第 1 版

2006 年 8 月第 1 次印刷

字数:390 千字

印数:1~2000 册

---

ISBN 7-311-02867-1/T·177

定价:28.00 元

# 前 言

为适应 21 世纪机械制造工程类课程教学内容与体系改革的需要,加强对学生工程能力和创新能力的培养,使学生具有制造工程意识,获得工程背景知识、制造系统的感性和理性知识、综合工艺能力和初步操作技能,帮助学生在机械制造工程实践中,正确地掌握金属材料的主要加工方法,了解机械加工工艺过程,指导实训操作,帮助学生巩固实训操作中所形成的感性知识,并使之条理化,为以后的专业学习和工作奠定必要的实践基础,我们编写了《机械制造工程实践》这本教材。

书中内容贯彻增新、删旧、优化的原则,尽量体现现代机械制造基础的实践教学内容,力求通过本书的编写及贯彻,推动工程实践教学的深化改革和建设,不断提高实践教学的质量,使机械制造工程实践成为一门高水平的实践技术基础课。

本书以实习操作技能为主线,重点讲述了金属材料的热加工和切削加工的基本操作方法,并且突出了铸造、车削、铣削、数控加工,简明地对金属材料的基本知识和车间主要设备进行了介绍。

本书吸取了其他兄弟院校同类教材的优点及教学改革和教学实践的经验,注意了教材的启发性、实用性和实践性,力求做到重点突出、层次分明、深入浅出、直观形象。

本书由兰州交通大学杨晋、陈队志、李雪编写,高溥教授审稿。其中杨晋编写了前言、绪论、第五、六、七、八、十一章的第 1、4 节,并担任全书统稿工作;陈队志编写第一、二、三、四章;李雪编写第九、十、十一章的第 2、3 节。

在编写和出版本书过程中,得到了多方面的鼓励和指导,在此向所有关心、支持和帮助本书编写出版的老师们表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,时间仓促,难免有不妥和错误之处,恳请使用本书的广大师生、读者提出宝贵意见,以求改进!

编 者

2006 年 5 月

# 目 录

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 绪论                    | (1)   |
| 第一章 机械工程材料与处理技术       | (6)   |
| § 1-1 机械工程材料概述        | (6)   |
| § 1-2 钢的热处理           | (16)  |
| 复习思考题                 | (22)  |
| 第二章 铸造                | (23)  |
| § 2-1 概述              | (23)  |
| § 2-2 砂型铸造            | (23)  |
| § 2-3 特种铸造            | (51)  |
| § 2-4 铸造技术的发展趋势       | (54)  |
| 复习思考题                 | (55)  |
| 第三章 锻压                | (56)  |
| § 3-1 概述              | (56)  |
| § 3-2 坯料的加热和锻件的冷却     | (56)  |
| § 3-3 自由锻造            | (60)  |
| § 3-4 模型锻造和胎模锻        | (71)  |
| § 3-5 板料冲压            | (74)  |
| 复习思考题                 | (79)  |
| 第四章 焊接                | (80)  |
| § 4-1 概述              | (80)  |
| § 4-2 手工电弧焊           | (81)  |
| § 4-3 埋弧自动焊           | (89)  |
| § 4-4 气焊和气割           | (90)  |
| § 4-5 氩弧焊和二氧化碳气体保护焊简介 | (95)  |
| § 4-6 电阻焊和钎焊简介        | (97)  |
| 复习思考题                 | (98)  |
| 第五章 切削加工基础知识          | (99)  |
| § 5-1 机械加工中的切削运动和切削用量 | (99)  |
| § 5-2 切削加工的质量         | (100) |
| § 5-3 常用量具            | (102) |
| § 5-4 常用刀具材料          | (106) |
| 复习思考题                 | (107) |
| 第六章 车工                | (108) |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| § 6-1 普通车床            | (108) |
| § 6-2 车刀              | (113) |
| § 6-3 工件在车床上的安装及其所用附件 | (116) |
| § 6-4 车削的基本方法         | (119) |
| § 6-5 其它车床的车削加工       | (128) |
| § 6-6 制定车削工艺的实例       | (130) |
| 复习思考题                 | (134) |
| 第七章 铣、刨、磨和齿形加工        | (135) |
| § 7-1 铣工              | (135) |
| § 7-2 刨工              | (142) |
| § 7-3 磨工              | (148) |
| § 7-4 齿形加工            | (153) |
| § 7-5 钻镗工             | (156) |
| 复习思考题                 | (162) |
| 第八章 钳工                | (163) |
| § 8-1 概述              | (163) |
| § 8-2 划线              | (164) |
| § 8-3 錾削              | (168) |
| § 8-4 锯切              | (169) |
| § 8-5 锉削              | (171) |
| § 8-6 攻丝与套扣           | (175) |
| § 8-7 刮削              | (177) |
| § 8-8 装配              | (180) |
| 复习思考题                 | (183) |
| 第九章 数控加工技术            | (184) |
| § 9-1 数控加工基础知识        | (184) |
| § 9-2 数控加工自动编程软件介绍    | (199) |
| 复习思考题                 | (211) |
| 第十章 数控仿真加工            | (212) |
| § 10-1 数控车床仿真加工       | (212) |
| § 10-2 数控铣床仿真加工       | (226) |
| 复习思考题                 | (231) |
| 第十一章 特种加工             | (234) |
| § 11-1 电火花加工          | (234) |
| § 11-2 电火花线切割加工       | (236) |
| § 11-3 高能束加工          | (237) |
| § 11-4 快速原型制造技术       | (242) |
| 复习思考题                 | (247) |
| 参考资料                  | (248) |

# 绪 论

## 一、机械制造工艺的性质和任务

在机械制造中,使各种原材料或半成品成为产品的各有关劳动过程的总和称为生产过程。在生产过程中凡直接改变生产对象的尺寸、形状、性能(包括物理性能、化学性能和机械性能等)以及相对位置关系的方法和过程,统称为工艺或工艺过程。工艺过程可分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工和装配等。把合理工艺过程的有关内容写在工艺文件中,用以指导生产,这些工艺文件统称为工艺规程。

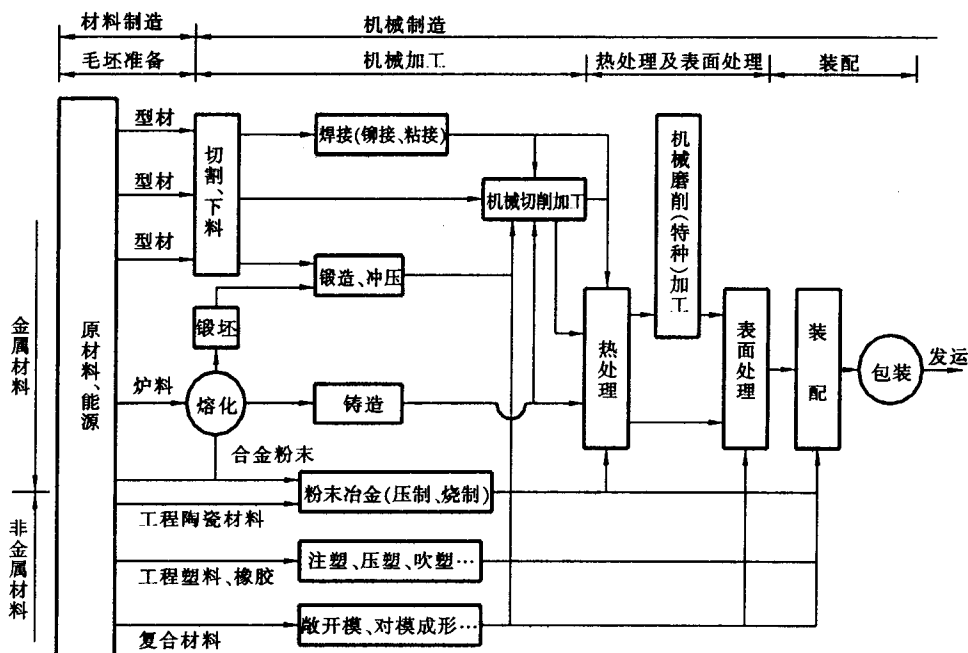


图1 机械制造工艺流程图

从图1可见,机械制造工艺过程主要包括材料准备、机械加工、热处理及表面处理和装配四个阶段。

材料准备阶段的任务是根据后序工艺的要求准备相应的原材料。

机械加工是将各种原材料加工成为成品或半成品的过程或方法,根据成形方式的不同可分为四类:

1. 去除成形:利用分离的形式,把多余的材料有序地从基体上去除的成形方法。车、铣、刨、磨及电火花加工、激光切割、高能束加工等均属于去除成形。去除成形最先实现了数字化控制,是目前的主要制造成形方式。

2. 受迫成形:利用材料的可塑性,在特定外力作用下成形的方法。铸造、锻压和粉末冶金等均属于受迫成形。受迫成形多用于毛坯成形和特种材料成形。

3. 离散/堆积成形:运用合并与连接的方法,把材料有序地合并堆积起来的成形方法。快速原型制造即属于此类方法,其堆积过程是在计算机控制下完成的,最大的特点是成形不受零件复杂程度的影响。广义地讲,焊接也属于堆积成形范畴。

4. 生成成形:利用材料的活性进行成型的方法。自然系统中生物个体发育均属于生成成形,目前人为系统中还没有此种成形方式,但随着活性材料、仿生学、生物化学和生命科学的发展,人类也可能会运用这种成形方式进行人工成形。

热处理及表面处理是通过改变材料整体或表面的成分和组织,对材料进行改性处理,使材料获得所需性能的加工过程。先进的热处理技术要求零件和产品质量分散率及畸变接近于零,工艺周期短,能源利用率及生产效率高,少污染,工作环境清洁、舒适、安全。

装配是机械制造工艺过程的最后工序,产品装配的合理性、方便性和可维护性直接影响到产品的质量和生产周期,对于结构复杂的产品,这个问题更为突出,这也是产品设计者和制造者非常重视的问题。

随着机械工业的发展和科学技术的进步,机械制造工艺的变化和发展速度越来越快。常规工艺不断优化并得到普及,工艺界限和分工趋于淡化,新型加工方法不断出现和发展,如精密和超精密加工、超高速加工、微细加工、特种加工、快速原型制造技术、新型材料加工、表面覆层技术和复合加工等加工方法。这些变化和发展后所形成的制造工艺技术构成了先进的制造工艺技术体系。

机械制造工艺技术是机械制造技术的核心和基础,先进制造工艺技术进一步提高了机械制造的技术水平。优化的工艺过程、工艺参数、工艺程序和工艺规程决定了制造技术的固有技术水平和效率,也决定了产品制造质量和使用效率。任何高级自动化系统只能对工艺起到使过程稳定和质量保持一致的作用,不可能对工艺本身产生质的改变。

## 二、先进制造工艺技术发展趋势

制造工艺技术是应现代工业和科学技术的发展需求而发展起来的。随着现代工业和科学技术的发展,一方面,对产品加工精度的要求越来越高,产品形状更为复杂,被加工材料的种类和特性趋于复杂多样,同时又要求加工速度更快、效率更高,具有高柔性以快速响应市场的需求;另一方面,现代工业和科学技术的发展又为制造工艺技术提供了进一步发展的技术支持,如新材料的使用、计算机技术、微电子技术、控制理论与技术、信息处理技术、测试技术以及人工智能技术等。先进制造工艺技术就是在这些需求与技术支持的基础上发展起来的新型加工工艺。

从总体发展趋势看,优质、高效、低耗、洁净和灵活是机械制造业永恒的追求目标,也是先进制造工艺技术的发展目标。先进制造工艺技术的发展趋势具体包括以下几方面的内容:

### 1. 采用模拟技术,优化工艺设计

机械加工、热处理及表面处理是机械制造工艺的主要工序,是将原材料制造加工成毛坯或零部件的过程。在这个过程中包含着一系列复杂的物理、化学和冶金变化,这些变化不仅不能直接观察,间接测试也十分困难,特别是热加工尤为突出,因此长期以来,热加工工艺设计只能凭“经验”。由计算机技术和现代测试技术形成的模拟及优化设计技术,近年来已成为热加工中各个学科的研究热点和跨世纪的技术前沿。

应用模拟技术可以虚拟显示材料热加工(铸造、锻造、焊接、热处理及注塑等)的工艺过程,预测工艺结果,并通过不同参数比较以优化工艺设计,确保零件,特别是大型零件的一次制造成功。

模拟技术同样已开始应用于机械加工、特种加工及装配过程,并已向拟实制造成形的方向发展,成为分散网络化制造、数字化制造及制造全球化的技术基础。

### 2. 毛坯成形向近无余量及近无“缺陷”的方向发展

金属毛坯成形一般有铸造、锻造、冲压、焊接和轧材下料五类方法。随着毛坯精密成形工艺的发展,毛坯的形状尺寸精度正从近净成形(NNSF, Near Net Shape Forming)向净成形(NSF, Net Shape Forming),即近无余量成形方向发展,“毛坯”与“零件”的界限越来越小。多种形式的精铸、精锻、精冲、冷温挤压、精密焊接和切割,使零件接近或达到了最终形状和尺寸,磨削后即可装配。如汽车生产中正在研究开发的“接近零余量的敏捷及精密冲压系统”和“智能电阻焊系统”。

金属毛坯缺陷的多少、大小和危害程度是成形质量高低的重要指标,特别是热加工,由于过程十分复杂,因素多变,产生缺陷是无法避免的。近年来热加工提出了“向近无‘缺陷’方向发展”的奋斗目标,这个“缺陷”是指不致引起早期失效的临界缺陷概念。要实现这一目标就需要采用先进工艺,净化熔融金属,增大合金组织的致密度;依靠模拟技术,优化工艺设计,提高成形质量;加强过程监控及无损检测,及时发现超标零件;通过零件安全可靠性能的研究及评估,确定临界缺陷量值等。

### 3. 机械加工向超精密、超高速方向发展

超精密加工技术目前已进入纳米加工时代,加工精度达  $0.01\mu\text{m}$ ,表面粗糙度达  $0.0045\mu\text{m}$ 。精切削加工技术由目前的红外波段向加工可见光波段或不可见紫外线和 X 射线波段趋近;超精加工机床向多功能模块化方向发展;超精加工材料由金属扩大到非金属。

目前,超高速切削铝合金的切削速度已超过  $1600\text{m}/\text{min}$ ;铸铁为  $1500\text{m}/\text{min}$ ;超高速切削已成为解决一些难加工材料加工问题的一条途径。

### 4. 特种加工的方法和应用领域不断拓展

将电能、热能、光能、声能和磁能等物理能量及化学能量作为能源或能源载体施加到被加工的部位上,形成了多种崭新的特种加工工艺或复合工艺。超硬材料、超塑材料、高分子材料、复合材料、工程陶瓷、非晶微晶合金和功能材料等新型材料的应用,扩展了加工对象,也导致了某些特种加工技术的产生和发展。利用激光、电子束、离子束、分子束、等离子、微波、电液、电磁和高压水射流等能源或能源载体在许多领域已成为重要的或仅有的加工手段。其中以多种形式的激光加工发展最为迅速。这些特种加工工艺不仅提高了加工效率和质量,同时还突破了传统的加工方法,使机械制造出现了新的面貌和前景。

#### 5. 采用自动化技术,实现工艺过程的优化控制

微电子、计算机和自动化技术与工艺技术相结合,形成了从单机到系统,从刚性到柔性,从简单到复杂等不同档次的多种自动化成形技术,使工艺过程控制方式发生了质的变化。其发展历程及趋势为:

(1) 应用集成电路、可编程序控制器和微机等新型控制元件和装置实现工艺设备的单机、生产线或系统的自动化。

(2) 应用新型传感、无损检测、理化检验、计算机及微电子技术,实时测量并监控工艺过程的温度、压力、形状、尺寸、位移、应力、应变、振动、声、像、电、磁及合金与气体的成分和组织结构等参数,实现在线测量、测试技术的电子化、数字化、计算机化和工艺参数的闭环控制,进而实现自适应控制。

(3) 将计算机辅助工艺编程、数控、CAD/CAM、机器人、自动化搬运仓储和管理信息系统(MIS)等自动化技术综合用于工艺设计、加工和物流过程,形成不同档次的柔性自动化系统:数控加工、加工中心(MC)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造岛(FMI)、柔性制造系统(FMS)和柔性生产线(FTL),直至形成计算机集成制造系统和智能制造系统(IMS)。

#### 6. 绿色制造工艺的研究与应用

绿色制造(GM, Green Manufacturing),也称环境意识制造(ECM, Environmentally Conscious Manufacturing),其研究原则是强调采用能减轻对环境产生有害影响的制造过程,包括减少有害废弃物和排放物,降低能量消耗,提高材料利用率,增加操作安全性等。即在不牺牲质量、成本、可靠性、功能或能量利用率的前提下,努力减少工业活动对生态环境的影响。绿色制造工艺的研究分为三种类型:节约资源的工艺技术、节省能源的工艺技术和环保型工艺技术。

绿色设计与绿色制造已成为先进制造技术领域研究热点之一,在未来十年内,绿色产品有可能成为世界主要商品市场的主导产品,而绿色设计与绿色制造也将成为工业生产行为的规范。

#### 7. 加工与设计趋于集成和一体化

CAD/CAM、柔性制造单元、计算机集成制造系统、并行工程和快速原形等先进制造技术及理念的出现,使加工与设计之间的界限逐渐淡化,并趋于集成和一体化。同时冷热加工之间,加工过程、检测过程、物流过程和装配过程之间的界限也趋向淡化或消失,集成于统一的制造系统之中。

总之,在社会经济和科学技术不断发展的同时,全球经济一体化的程度正不断提高,拥有先进的制造工艺技术是保持和增强国际市场竞争力的基本条件之一,我们必须十分重视先进制造工艺技术的研究,全面提高制造工艺技术水平,只有这样才能实现先进制造技术的作用及目标。

### 三、机械制造工程实践的性质和任务

机械制造工程实践(也称金工实习)是一门重要的技术基础课,也是学生建立机械制造生产过程概念,获得机械制造基本知识的奠基课程和进行工程训练的重要环节之一。

本课程是在实践教师的指导下,学生进行独立的实践操作,将基本工艺理论、基本工艺知识与基本工艺实践有机地结合起来,在获得机械制造工程基本知识的同时,提高工艺实践

操作技能。

根据实践教学基本要求,本课程的任务可概括为:

(1) 要求学生了解现代机械制造的一般过程和基本知识,熟悉机械零件的常用加工方法及其所用的主要设备和工具,了解新工艺、新技术、新材料在现代机械制造中的应用;

(2) 要求学生对简单零件初步具有选择加工方法和进行工艺分析的能力,在主要工种方面具有独立完成简单零件加工制造的实践能力;

(3) 充分利用实习工厂产学结合的良好条件,培养学生的综合工程素质、创新精神、理论联系实际的科学作风以及当代工程技术人员所具备的一些基本素质。

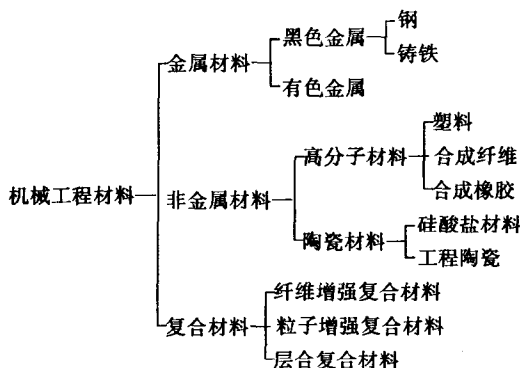
# 第一章 机械工程材料与处理技术

机械工程材料主要包括金属材料、非金属材料和复合材料。金属材料因具有良好的力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能,从而成为机械零件最常用的材料,在现代工业、农业、国防以及日常生活中得到了广泛的应用。非金属材料是近年来高速发展的工程材料,其中高分子材料和陶瓷材料因具有某些金属材料不具备的性能(如耐腐蚀性、电绝缘性等),因此在某些生产领域中已成为不可取代的材料。复合材料是将两种或两种以上的材料组合在一起,不仅兼有各组成材料的优良性能,而且形成了单一材料所不具备的特性,成为一种新型的高科技材料,广泛应用于建筑、机械及航空工业。本章简要介绍常用金属材料的分类、性能、应用以及为改善金属材料性能所采用的热处理方法,为读者了解常用金属材料及钢的热处理方法奠定基础。

## § 1-1 机械工程材料概述

### 一、机械工程材料的分类

常用的机械工程材料可分为以下类型:



### 二、金属材料的机械性能

金属材料的机械性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的力学行为,如强度、塑性、刚度、韧性和硬度等。

一般机械零件的设计和选材,主要依据材料的机械性能。因此,有必要了解有关这些性能的基本概念。

#### 1. 强度指标

使用中一般都采用拉伸试验法测定材料的强度和塑性指标。低碳钢试棒的拉伸过程具

有典型意义。将拉伸试棒(图 1-1)放在拉伸试验机上拉伸,可获得图 1-2 所示的拉力  $P$  和伸长量  $\Delta l$  的关系曲线,此曲线称为拉伸曲线。在曲线上可以确定以下性能指标:

### (1) 弹性极限

从图 1-2 中可知,  $OE$  段是直线。这一阶段试样的变形量  $\Delta l$  与载荷  $P$  成正比。如去除外力,试样可恢复原状,这种变形叫弹性变形。 $P_e$  是试样发生最大弹性变形的载荷,单位为牛顿(N),弹性极限用  $\sigma_e$  表示,即:

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} (\text{MPa})$$

式中  $F_0$  是试样原始截面积( $\text{mm}^2$ )。

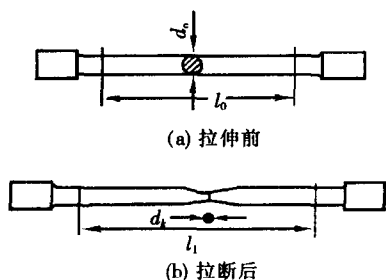


图 1-1 拉伸试样

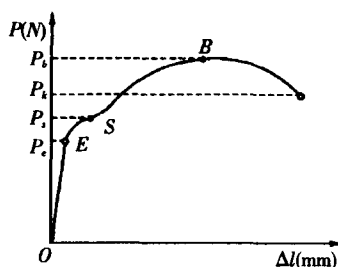


图 1-2 拉伸曲线

### (2) 屈服强度

从拉伸曲线上可以看到,当载荷超过  $P_e$  后,试样发生塑性变形,即外力去除后,试样不能恢复原状。外力达到  $P_s$  时曲线出现一个小平台。此平台表明,不增加载荷,试样继续变形,好像材料已经失去抵抗外力的能力而屈服。试样开始屈服时的应力称为材料的屈服强度或屈服极限,它代表材料抵抗微量塑性变形时的应力大小,以  $\sigma_s$  表示。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} (\text{MPa})$$

对于某些较硬脆的金属材料,其屈服点很不易测定,工程上规定当材料受外力作用产生 0.2% 残余变形时的应力,称为该材料的条件屈服极限,以  $\sigma_{0.2}$  表示。

### (3) 抗拉强度

材料经过屈服之后,其变形抗力增大。要使材料继续变形,必须增大外力,当达到最高点  $B$  时的应力,称为抗拉强度,又称强度极限,以  $\sigma_b$  表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} (\text{MPa})$$

$\sigma_b$  代表金属材料抵抗大量塑性变形时的应力。

$\sigma_s$  和  $\sigma_b$  是工程技术上最重要的机械性能指标之一,是设计时选用零件材料的依据。

## 2. 塑性指标

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。工程上常用延伸率和断面收缩率作为材料的塑性指标。

### (1) 延伸率

延伸率用下式确定：

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中： $l_0$  为试棒原始长度； $l_1$  为试棒拉断后的长度(图 1-1)。

同一材料如试样长度不同，所测定的  $\delta$  值亦不相同。为了便于比较，试样必须标准化。通常采用试样的计算长度为其直径的 5 倍或 10 倍，并相应以  $\delta_5$  或  $\delta_{10}$  (常写成  $\delta$ ) 表示。

## (2) 断面收缩率

断面收缩率用下式确定：

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100(\%)$$

式中  $F_k$  为试样断裂处截面积(图 1-1)。

材料的  $\delta$  或  $\psi$  越大，其塑性越好。

## 3. 硬度指标

金属材料抵抗更硬物体压入的能力称为硬度，也可以说是材料抵抗局部塑性变形的能力。

硬度是材料的一个重要指标，硬度试验的种类很多，常用的有布氏和洛氏硬度试验。

### (1) 布氏硬度

如图 1-3 所示，是指用规定直径的淬火钢球或硬质合金球状压头，以一定的载荷压入所测材料的表面，结果在试验面上形成球缺状的压痕。布氏硬度值就是所加载荷与压痕面积的比值。

$$\text{HBS(或 HBW)} = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(d - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中：HBS——由钢球压头所测得的布氏硬度(用于硬度小于 450 的较软金属)；

HBW——由硬质合金球状压头所测得的布氏硬度(用于硬度小于 650 的金属)；

$P$ ——试验载荷(N)，常用为 300N；

$D$ ——压头直径(mm)，常用为 10mm；

$d$ ——压痕直径(mm)。

对大多数金属材料可从硬度值估算出抗拉强度，下面的经验公式可供参考。

轧制钢材或锻钢件： $\sigma_b \approx (3.4 \sim 3.6)\text{HBS}$

铸钢件： $\sigma_b \approx (3 \sim 4)\text{HBS}$

灰铸铁件： $\sigma_b \approx \text{HBS}$

铸铝件： $\sigma_b \approx 2.6\text{HBS}$

布氏硬度值的测量误差较小，但它的压痕较大，不适用于成品零件或薄件硬度测量，一般用于铸件、锻件和原材料的检验。当材料的硬度值大于 450 时，不能用布氏硬度，因为压头的变形会影响测量结果。

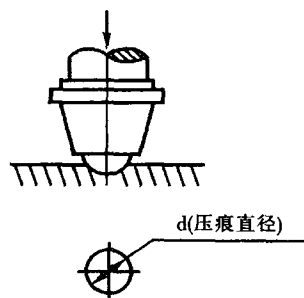


图 1-3 布氏硬度测定法

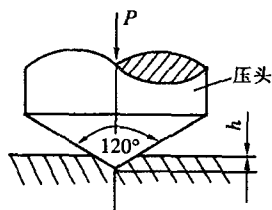


图 1-4 洛氏硬度测定

## (2) 洛氏硬度

洛氏硬度法是采用金刚石圆锥体或钢球压入金属表面, 按压痕陷下的深度来测定硬度。图 1-4 为洛氏硬度测定方法的示意图。

根据所用压头种类和所加载荷大小, 洛氏硬度主要分为 HRC、HRB 等。表 1-1 所列为 HRC、HRB 这些指标的规定。

表 1-1 洛氏硬度及应用范围

| 标志  | 压 头                             | 总载荷(N) | 测量范围        | 适用材料   |
|-----|---------------------------------|--------|-------------|--------|
| HRC | 顶角为 120° 金刚石圆锥体                 | 1471   | HRC20 ~ 67  | 淬火钢等硬件 |
| HRB | 钢球或硬质合金球, 直径为 $\frac{1}{16}$ 英寸 | 980.7  | HRB25 ~ 100 | 退火钢等   |

洛氏硬度的数值可直接从硬度计上读出, 非常方便。读出的数值没有单位, 习惯上常称“度”, 一般应用较广的是 HRC。

在中硬度情况下, 洛氏硬度 HRC 和布氏硬度 HBS 之间关系约为 1:10, 如 40HRC 相当于 400HBS 左右。

## 4. 冲击韧度

冲击韧度是评定材料抵抗大能量冲击载荷能力的指标, 通常采用一次摆锤冲击弯曲试验进行测定。将带有缺口的标准冲击试样, 安放在冲击试验机的支座上(图 1-5), 把重量为  $G$  的摆锤从一定高度  $H$  落下, 将试样冲断, 之后摆锤仍继续摆动升至高度  $h$ , 显然冲断试样所消耗的功(冲击功)为  $A_k = G(H - h)$ 。冲击韧度值为:

$$\alpha_k = \frac{A_k}{S} (\text{J} \cdot \text{cm}^{-2})$$

式中  $S$ ——试样缺口处的原始截面积( $\text{cm}^2$ )。

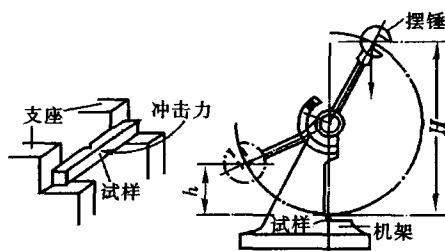


图 1-5 摆锤冲击试验

## 三、钢铁材料的分类、牌号、性能和用途

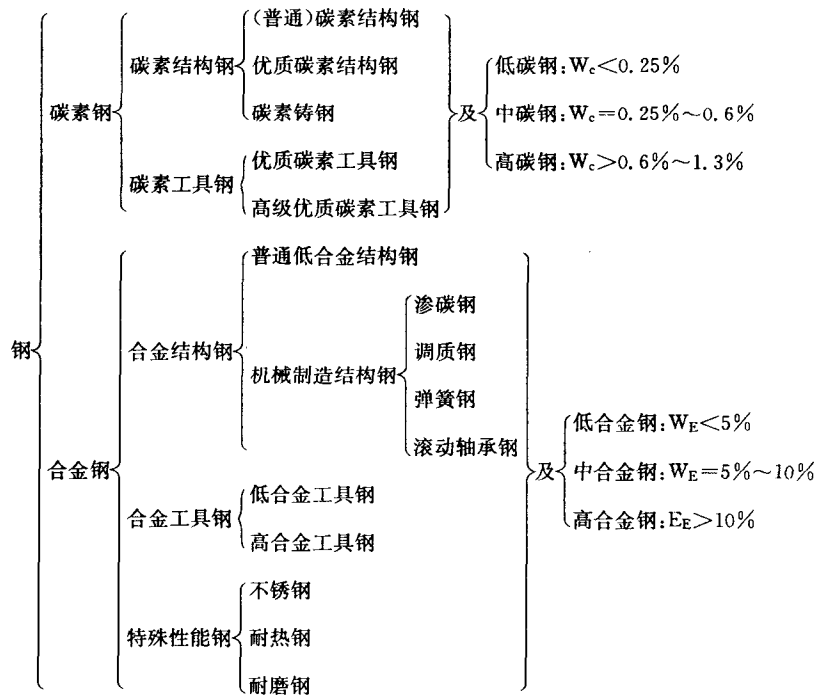
钢和铁都是以铁(Fe)和碳(C)为主要成分组成的合金。通常把含碳量小于 0.02% 的铁碳合金称为纯铁; 含碳量 2.11% 以上的称为铸铁; 含碳量在 0.02% ~ 2.11% 之间的称为钢(常用的含碳量为 0.08% ~ 1.2%)。钢和铁中除含铁(Fe)、碳(C)元素外, 还含有冶炼过程中残留下来的少量杂质, 如硫(S)、磷(P)、硅(Si)、锰(Mn)等。其中, 硫(S)、磷(P)是钢铁中的有害元素, 要严格限制其含量。

由于纯铁的含碳量很少, 强度、硬度较低, 在机械行业中应用不太多。钢具有较好的力学性能, 可以满足一般机械零件的使用性能要求, 而且还能锻造、轧制、焊接和切削加工, 因此获得广泛应用。一般情况下, 随含碳量的增高, 钢的强度、硬度升高, 塑性、韧性降低。如果在碳钢的基础上加入一定量的合金元素, 如锰( $w_{\text{Mn}} > 0.8\%$ )、硅( $w_{\text{Si}} > 0.4\%$ )、铬(Cr)、镍(Ni)、钼(Mo)、钨(W)等, 就可形成合金钢。由于合金元素的作用, 使钢具有更高的强度、硬度和塑、韧性, 有的合金钢还具有较高的耐磨性、耐热性、耐蚀性等特殊性能。

工业上所用铸铁的含碳量一般在 2.5% ~ 4.0% 之间,另外含有一定量的硅(Si),硫(S)、磷(P)杂质含量也比钢高些。铸铁的性能是硬而脆,不能锻造和轧制,难以焊接,但它具有良好的铸造性能、减振性能、耐磨性和切削加工性,所以也获得广泛应用。

### 1. 钢的分类

通常,钢可按化学成分(碳素钢、合金钢)、质量(普通钢、优质钢、高级优质钢)和用途(结构钢、工具钢、特殊性能钢)进行分类。实际使用中,常采用综合分类法,例如:



### 2. 碳素钢的编号和用途

碳素钢中,当含碳量小于 0.9% 时,随着含碳量的增加,钢的强度、硬度增加,韧性降低。但含碳量大于 0.9%,随着含碳量的增加,钢的强度开始降低,所以工业上应用的碳素钢含碳量一般不超过 1.4%。碳素钢中除含有铁和碳两种主要元素外,还有少量硅、锰、硫、磷等杂质。其中,硫和磷是有害杂质,使钢的性能变脆,所以钢的质量高低,主要按硫、磷的含量而定。

#### (1) 碳素结构钢

这类钢是参照国际标准 ISO630《结构钢》,修改旧国家标准 GB700-79《普通碳素结构钢》而重新制定的。这类钢供应时,其化学成分和机械性能均须保证,并划分了质量等级,为使我国标准与国际标准相对应,故命名为《碳素结构钢》(GB700-88)。

碳素结构钢牌号由 Q(分 A、B、C、D 四级)和脱氧方法(F 为沸腾钢、b 为半镇静钢、Z 为镇静钢、TZ 为特殊镇静钢,若为 Z 或 TZ 予以省略)等四部分按顺序组成。例如, Q235-A · F 表示屈服强度为 235MPa、沸腾钢、A 级碳素结构钢。

碳素结构钢一般在供应状态下使用,必要时可进行锻造、焊接等热加工,亦可通过热处理调整其机械性能。表 1-2 列出了碳素结构钢新旧牌号对照、化学成分、机械性能和用途。

表 1-2 碳素结构钢新旧牌号对照、化学成分、机械性能和用途

| 碳素结构钢<br>GB700—88 | 普通碳素结构<br>钢 GB700—79           | 化学成分(%)        |           |       | 脱氧方法  | 机械性能              |                   |                 | 用 途                                  |                                                                                      |  |
|-------------------|--------------------------------|----------------|-----------|-------|-------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                   |                                | C              | S         | P≤    |       | $\sigma_s$ (MPa)≥ | $\sigma_b$ (MPa)≥ | $\delta_5$ (%)≥ |                                      |                                                                                      |  |
| Q195              | A <sub>1</sub> 、B <sub>1</sub> | 0.06~0.12      | 0.050     | 0.045 | F、b、Z | 195               | 315~390           | 35              | 承受载荷不大的金属<br>结构件、垫圈、地脚螺<br>栓、冲压件及焊接件 |                                                                                      |  |
| Q215              | A <sub>2</sub>                 | 0.09~0.15      | 0.050     |       | F、b、Z | 215               | 335~410           | 31              |                                      |                                                                                      |  |
|                   | —                              |                | 0.045     |       |       |                   |                   |                 |                                      |                                                                                      |  |
| B                 | C <sub>2</sub>                 |                |           |       |       |                   |                   |                 |                                      |                                                                                      |  |
| Q235              | A                              | A <sub>3</sub> | 0.14~0.20 | 0.050 | 0.045 | F、b、Z             | 235               | 375~450         | 26                                   | 金属结构件,心部要<br>求强度不高的渗碳或氰<br>化零件,钢板、钢筋、型<br>钢、螺栓、螺母、心轴等;<br>Q235C、Q235D 可用作<br>重要焊接结构件 |  |
|                   | —                              | —              |           |       |       |                   |                   |                 |                                      |                                                                                      |  |
|                   | B                              | C <sub>3</sub> | 0.12~0.20 | 0.045 |       |                   |                   |                 |                                      |                                                                                      |  |
|                   | —                              | —              | ≤0.18     | 0.040 | 0.040 | Z                 |                   |                 |                                      |                                                                                      |  |
|                   | —                              | —              | ≤0.17     | 0.035 | 0.035 | TZ                |                   |                 |                                      |                                                                                      |  |
| Q255              | A                              | A <sub>4</sub> | 0.18~0.28 | 0.050 | 0.045 | Z                 | 255               | 410~510         | 24                                   | 键、销、转轴、拉杆、链<br>轮、链环片等                                                                |  |
|                   | —                              | —              |           |       |       |                   |                   |                 |                                      |                                                                                      |  |
| B                 | C <sub>4</sub>                 |                | 0.045     |       |       |                   |                   |                 |                                      |                                                                                      |  |
| Q275              | C <sub>5</sub>                 | 0.28~0.38      | 0.050     | 0.045 | Z     | 275               | 490~610           | 20              |                                      |                                                                                      |  |

表中  $\sigma_s$ 、 $\delta_5$  数值适用于钢板厚度(或直径)≤16mm。考虑钢材的尺寸效应,标准中规定了随着钢材厚度(或直径)增大,  $\sigma_s$ 、 $\delta_5$  降低后的数值。

### (2) 优质碳素结构钢

这种钢同时保证化学成分和机械性能,比普通碳素结构钢的硫、磷含量少,故具有较好的强度、塑性和韧性,用于制造较重要的机械零件。

根据钢中含锰量不同,优质碳素结构钢又分为普通含锰量钢和较高含锰量钢两种。

优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示,这两位数字代表钢中平均含碳量,以 0.01% 为单位。例如,牌号 45 表示平均含碳量为 0.45% 的普通含锰量的优质碳素结构钢。如果是较高含锰量钢,在两位数字后面附以“锰”字(或“Mn”),如 45 锰(或 45Mn)等。

部分优质碳素结构钢的牌号、机械性能和用途,如表 1-3 所示。

### (3) 碳素工具钢

工具需要具有较高的硬度和耐磨性,所以碳素工具钢的含碳量较高,一般大于 0.7%,而且要进行热处理,以进一步提高其硬度和耐磨性。

碳素工具钢的牌号在“碳”(或“T”)的后面附以数字来表示,数字代表钢中平均含碳量,以 0.1% 为单位。例如,牌号碳 12(或 T12)表示平均含碳量为 1.2% 的碳素工具钢。如果是高级优质碳素工具钢,则在数字后面附以“高”(或“A”),如碳 12 高(或 T12A)等。

碳素工具钢主要用于制造各种工具,如手锤、锉刀、量具、冲模及木工工具等。