

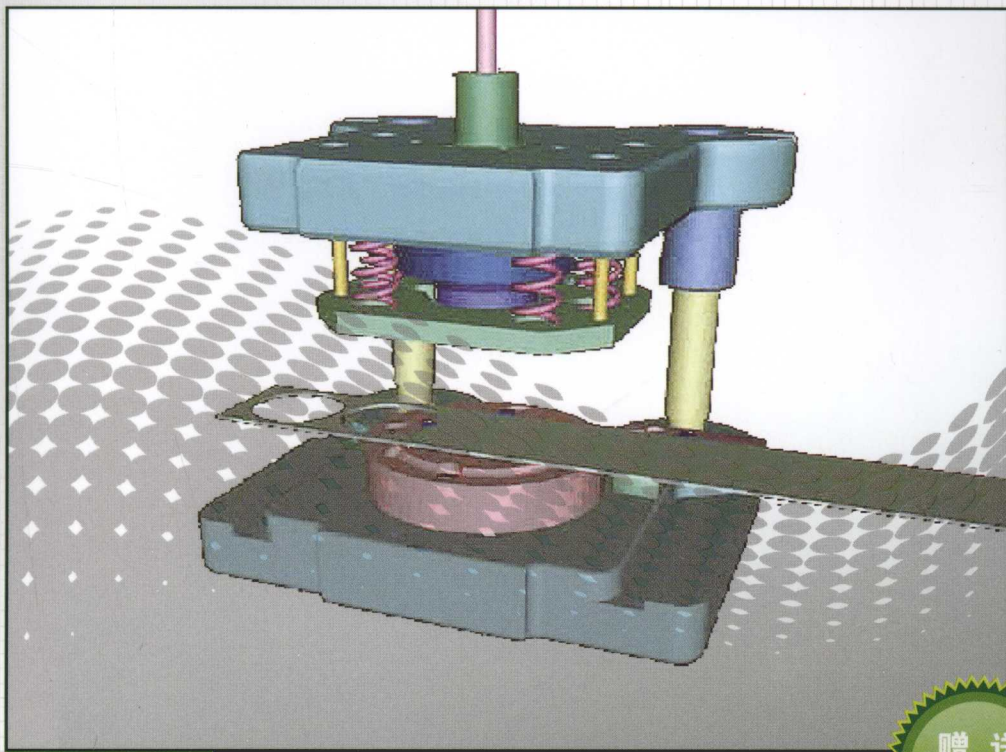


高职高专模具设计与制造专业规划教材

# 典型零件工艺分析与加工

DIANXING LINGJIAN GONGYI FENXI YU JIAGONG

万苏文 何时剑 主编



赠送  
电子课件

## 本书特色

- ❁ 贯彻“少而精”的原则，突出重点，以点带面。
- ❁ 教材框架符合认知规律，便于实现理论与实践一体化教学。
- ❁ 零件加工案例丰富，且来源于企业生产一线。
- ❁ 紧跟技术发展动态，拓宽学生视野。



清华大学出版社

高职高专模具设计与制造专业规划教材

# 典型零件工艺分析与加工

万苏文 何时剑 主编

清华大学出版社

北 京

## ， 内 容 简 介

本书是为了适应高职高专工学结合教学体系改革的需要，以“工学结合、过程导向、‘教学做思’一体化”为原则编写的，经过企业调研，并广泛征求专家意见，以培养模具设计与制造专业学生应具有的工艺、工装的设计能力为目标，依据机械加工工艺员、车(铣、镗、磨)工国家职业资格考核所需的理论与实践的考核大纲要求进行内容设计。本书分为6章，以阶梯轴、燕尾导轨、传动轴、轴类零件、套筒类零件和箱体类零件等作为教学内容的载体，这些来自企业生产一线的零件，经过教学化处理，都较好地体现了学习内容的工学结合特征，使学生在有限的学习时间内，提高典型零件加工工艺文件制定与加工的能力，较好地满足工作岗位的需要。

本书可作为高职高专及成人高校机械、机电、数控、模具等专业教学用书，也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

典型零件工艺分析与加工/万苏文，何时剑主编. --北京：清华大学出版社，2010.8  
(高职高专模具设计与制造专业规划教材)

ISBN 978-7-302-22996-4

I. ①典… II. ①万… ②何… III. ①机械元件—加工—高等学校：技术学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 105782 号

责任编辑：孙兴芳

装帧设计：杨玉兰

责任校对：周剑云

责任印制：李红英

出版发行：清华大学出版社

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编：100084

社 总 机：010-62770175

邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：清华大学印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印 张：19.25 字 数：463 千字

版 次：2010 年 8 月第 1 版 印 次：2010 年 8 月第 1 次印刷

印 数：1~4000

定 价：32.00 元

产品编号：032745-01

# 前 言

本书以满足高等职业教育人才培养为基本宗旨,以培养学生实践能力为中心,以“适度够用”为原则设计教学内容,突破了以往教材繁杂的、传统的教学内容体系,力求贴近生产实践,以适应目前机械制造业的加工现状和发展需要。本书的编写以金属切削加工和机械制造工艺的基本理论和基本知识为主线,并将与零件加工有关的工件材料、刀具、机床、夹具等内容进行了优化整合,从工件和刀具材料的性能认识到金属切削过程的认识;从工艺系统的构成、工艺规程的设计和质量管理到各种普通机床操作技能的培养,力争使本书具有鲜明的思想性、先进性、启发性、应用性和科学性,并且特别注重培养学生分析和解决实际生产问题的能力。本书突出 4 个基本——基本理论、基本知识、基本方法和基本技能,形成新的低重心、宽结构、重素质、强实践的课程结构体系。在学习要求、教学内容等方面安排合理,并编写了形式多样的案例、思考与练习题,以便教师教学和学生学学习,并力求做到:

- (1) 贯彻“少而精”的原则,突出重点,以点带面。
- (2) 注重理论联系实际,重点放在对应用型人才的能力培养上。
- (3) 体现创新意识,适当反映零件加工与工艺编制领域的新成就。
- (4) 合理选择教学载体来组织教学内容,增强学生操作技能和自主学习能力的培养。

本书是为培养普通机床操作员、机械加工工艺员核心职业能力而编写的。在书中分析了典型零件的结构特点、材料性能、尺寸精度、形位精度、表面精度等;分析机械加工的可能性、工艺性和关键内容;培养学生选择加工方法及工艺装备、设计工艺过程和确定切削用量等方面的能力;注意成本核算,应用工艺编制的基本知识,制订符合技术规范的工艺文件;能够自我评价、整理工艺文件;通过工学结合实习,可以较好地掌握普通机床的操作技能,能够具有完善工艺方案并加工典型零件的能力。

本书共分 6 章,按照零件加工的一般过程及由简单到复杂的程度来编排。基本选用企业生产一线的零件,经过对零件图样的教学化处理,依次以阶梯轴、燕尾导轨、传动轴、轴类零件、套筒类零件和箱体类零件等为教学载体来组织教学内容。将理论知识与实际应用有机地结合在一起,较好地体现了学习内容的工学结合特征,使学生在有限的学习时间内,得到典型零件加工工艺文件制定能力的培养,较好地满足将来工作岗位的需要。本书建议学时为 90~120。本书既可作为高职高专及成人高校机械、机电、数控、模具等专业教学用书,也可供相关专业的工程技术人员参考。

参加本书编写的主要老师都有 20 多年从事金属材料与热处理、金属切削原理与刀具、金属切削机床概论、机床夹具设计、机械制造工艺学等课程的课堂教学经历,以及课程实验、课程设计、认识实习、金工实习、生产实习和毕业设计等实践环节的丰富教学经验。本书由淮安信息职业技术学院高级工程师万苏文副教授和何时剑副教授担任主编,参加编写工作的还有喻步贤副教授、于庆有教授、马宪亭副教授、徐善状、张香圃和朱绍胜

等老师。在本书编写过程中，富士康富盟公司、清江拖拉机集团、江苏金象减速机厂和一些高职高专院校的领导和教师对本书提出了宝贵意见，在此一并表示诚挚的谢意。

本书是编者在总结多年来教学研究、教学改革和教学实践的基础上编写的，但限于编者的水平，缺点错误在所难免，恳请广大读者提出批评和建议。邮箱：[hcitwsw81@126.com](mailto:hcitwsw81@126.com)。

编 者

# 目 录

<b>第 1 章 阶梯轴车削加工</b> .....	1
1.1 认识机械制造业及金属切削加工系统 .....	1
1.1.1 机械制造业概述 .....	1
1.1.2 金属切削加工系统与零件形成 .....	2
1.2 认识金属材料的力学性能及材料的选用 .....	4
1.2.1 认识金属材料的力学性能 .....	5
1.2.2 常用金属材料的选用 .....	8
1.3 零件的工艺性分析及毛坯的选择 .....	15
1.3.1 零件结构工艺性分析 .....	15
1.3.2 技术要求分析 .....	17
1.3.3 毛坯的选择 .....	17
1.4 工件材料的热处理 .....	18
1.5 刀具材料性能与选择 .....	20
1.5.1 刀具材料应具备的基本性能 .....	21
1.5.2 常用刀具材料的类型 .....	21
1.5.3 其他刀具材料介绍 .....	23
1.6 车床的操作与车刀的刃磨 .....	24
1.6.1 车床的组成与操作 .....	24
1.6.2 车刀的刃磨 .....	26
1.7 阶梯轴车削加工案例 .....	27
本章小结 .....	32
思考与练习 .....	32
<b>第 2 章 燕尾导轨铣削加工</b> .....	34
2.1 切削运动和切削用量 .....	34
2.1.1 切削运动 .....	35
2.1.2 工件上的加工表面 .....	36
2.1.3 切削用量 .....	36
2.1.4 切削层横截面要素 .....	37
2.1.5 切削方式 .....	38
2.2 切削变形、切削力与切削温度 .....	39
2.2.1 切削变形及其主要影响因素 .....	39
2.2.2 切削力及其主要影响因素 .....	43
2.2.3 切削温度及其主要影响因素 .....	46
2.3 刀具角度的选择与刀具磨损机理 .....	47
2.3.1 刀具的组成及其主要角度 .....	47
2.3.2 车刀图示及角度标注方法 .....	56
2.3.3 刀具几何参数的选择 .....	58
2.3.4 车刀角度测量 .....	64
2.3.5 刀具磨损形式和磨损原因 .....	65
2.3.6 刀具寿命及影响因素 .....	66
2.4 材料的切削加工性和切削液 .....	70
2.4.1 衡量材料切削加工性的指标 .....	70
2.4.2 影响工件材料切削加工性的因素 .....	71
2.4.3 改善材料切削加工性的途径 .....	72
2.4.4 切削液的作用机理 .....	72
2.4.5 切削液中的添加剂 .....	73
2.4.6 切削液的分类与使用 .....	74
2.5 机械加工精度 .....	75
2.5.1 基本概念 .....	75
2.5.2 影响机械加工精度的因素 .....	76
2.5.3 工艺系统的几何误差对加工误差的影响 .....	77
2.6 机械加工后的表面质量及表面粗糙度的控制 .....	80
2.6.1 机械加工表面质量的含义 .....	80
2.6.2 表面质量对零件使用性能的影响 .....	80
2.6.3 表面粗糙度与影响加工表面粗糙度的主要因素 .....	82

2.6.4 加工表面粗糙度的控制方法 ... 83	3.7 传动轴工艺分析与磨削加工案例 .....132
2.7 燕尾导轨铣削加工案例 ..... 85	本章小结 .....136
本章小结 ..... 89	思考与练习 .....136
思考与练习 ..... 90	
<b>第3章 传动轴工艺分析与磨削加工 .....91</b>	<b>第4章 轴类零件工艺分析与加工 .....140</b>
3.1 机械加工工艺流程概述 ..... 92	4.1 轴类零件的结构与技术分析 .....140
3.1.1 生产过程和工艺过程 ..... 92	4.2 轴类零件的车削加工与工艺装备 .....143
3.1.2 机械加工工艺流程的组成 ..... 92	4.2.1 CA6140型车床 .....143
3.1.3 机械加工生产类型及特点 ..... 95	4.2.2 常用车刀种类及选用 .....152
3.1.4 机械加工工艺流程 及工艺文件 ..... 97	4.2.3 工件的安装 .....156
3.2 基准与工件定位基准的选择 ..... 100	4.2.4 车削基本工艺 .....161
3.2.1 基准的概念及其分类 ..... 100	4.2.5 车床夹具类型与设计要点 .....164
3.2.2 工件的定位原理 ..... 102	4.2.6 零件车削加工分析 .....168
3.2.3 定位基准的选择 ..... 106	4.3 轴类零件的磨削加工及工艺装备 .....171
3.3 工艺路线的拟定与工艺装备的 选择 ..... 111	4.3.1 砂轮的参数与选择 .....171
3.3.1 表面加工方法的选择 ..... 111	4.3.2 M1432A型万能外圆磨床 .....173
3.3.2 加工顺序的安排 ..... 112	4.3.3 磨削方式及工艺特征 .....178
3.3.3 确定工序集中与分散的 程度 ..... 115	4.4 外圆表面的加工方法和加工方案 .....180
3.3.4 设备与工艺装备的选择 ..... 116	4.5 典型轴类零件加工工艺分析案例 .....185
3.4 确定加工余量、工序尺寸 及其公差 ..... 116	4.5.1 定位销轴加工工艺过程 及分析 .....186
3.4.1 加工余量的概念 ..... 116	4.5.2 阀螺栓加工工艺分析 .....189
3.4.2 确定加工余量 ..... 118	4.5.3 活塞杆加工工艺分析 .....190
3.4.3 确定工序尺寸及其公差 ..... 118	4.5.4 减速箱传动轴加工工艺 分析 .....192
3.5 工艺尺寸链的应用与计算方法 ..... 119	本章小结 .....196
3.5.1 尺寸链的概念 ..... 119	思考与练习 .....197
3.5.2 尺寸链的组成 ..... 120	<b>第5章 套筒类零件工艺分析 与加工 ..... 198</b>
3.5.3 工艺尺寸链的计算公式 ..... 120	5.1 套筒类零件的结构特点 与技术分析 .....198
3.5.4 工艺尺寸链的应用 和解算方法 ..... 121	5.1.1 套筒类零件的功用 与结构特点 .....198
3.6 工艺过程的技术经济分析 ..... 127	5.1.2 套筒类零件的主要技术要求、 材料和毛坯 .....199
3.6.1 工艺过程的技术经济分析 ..... 127	5.2 内孔表面加工方法和加工方案 .....200
3.6.2 工艺方案的技术经济评价 方法 ..... 128	5.2.1 钻孔 .....201
3.6.3 提高劳动生产率的 工艺途径 ..... 130	5.2.2 扩孔 .....202

5.2.3	铰孔.....	203	6.1.1	箱体类零件的功用 及结构特点 .....	247
5.2.4	镗孔、车孔.....	204	6.1.2	箱体类零件的主要技术要求、 材料和毛坯 .....	249
5.2.5	拉孔.....	206	6.2	平面加工常见方法及方案比较.....	250
5.2.6	磨孔.....	207	6.2.1	刨削加工 .....	251
5.2.7	孔的精密加工.....	209	6.2.2	铣削加工 .....	255
5.2.8	孔加工方案的选择.....	212	6.2.3	磨削加工 .....	264
5.3	孔加工常用工艺装备.....	213	6.2.4	平面的光整加工 .....	265
5.3.1	孔加工用的刀具.....	213	6.3	箱体零件孔系加工方法 及工艺装备 .....	266
5.3.2	孔加工机床.....	219	6.3.1	孔系加工方法 .....	266
5.3.3	钻夹具.....	225	6.3.2	镗削加工及镗床夹具设计.....	269
5.4	典型套筒类零件加工工艺 分析案例.....	229	6.4	典型箱体类零件加工工艺分析 案例 .....	278
5.4.1	缸套的结构特点 及工艺分析.....	231	6.4.1	车床主轴箱加工工艺过程 及分析 .....	280
5.4.2	铜套结构的特点 及工艺分析.....	233	6.4.2	分离式齿轮箱体加工工艺 过程及分析 .....	284
5.4.3	密封件定位套的结构特点 及工艺分析.....	234	6.4.3	轴承座加工工艺过程 及分析 .....	286
5.4.4	活塞的结构特点 及工艺分析.....	237	6.4.4	小型蜗轮减速器箱体加工 工艺过程及分析 .....	288
5.4.5	尾座套筒的结构特点 及工艺分析.....	239	6.4.5	减速器加工工艺过程 及分析 .....	290
5.4.6	套筒类零件的工艺分析 及主要工艺问题.....	242	本章小结 .....	295	
本章小结.....		245	思考与练习 .....	296	
思考与练习.....		245	参考文献.....	298	
<b>第 6 章 箱体类零件工艺分析 与加工 .....</b>		<b>247</b>			
6.1 箱体类零件的结构特点 与技术分析.....		247			



# 第1章 阶梯轴车削加工

## 知识目标

- 认识机械制造业及金属切削加工系统。
- 熟悉金属材料的力学性能。
- 理解常用金属材料的牌号和性能。
- 熟悉毛坯的种类和选择原则。
- 了解常用热处理的方法。
- 了解刀具材料的基本性能、种类及刀具材料的合理选择。
- 掌握车刀刃磨的基本方法和阶梯轴车削加工的基本步骤。

## 能力目标

- 具有正确选用常用金属材料的能力。
- 具有分析零件结构工艺性和合理选择毛坯的能力。
- 具有通过热处理来改善材料切削加工性能的能力。
- 具有刃磨车刀和车削加工阶梯轴的基本操作能力。

## 工作任务

- 认识机械制造业及金属切削加工系统。
- 认识金属材料的力学性能及金属材料的选用。
- 零件的工艺性分析及毛坯的选择。
- 常用热处理方法的选择。
- 常用刀具材料的基本性能、种类及刀具材料合理选择。
- 车床的基本操作与车刀刃磨的基本方法。
- 以阶梯轴为载体进行车削加工与加工所需工具、量具、刀具的选择。

## 1.1 认识机械制造业及金属切削加工系统

### 1.1.1 机械制造业概述

机械制造业是国民经济的基础产业和支柱，为人们的生产、生活提供各种装备，其他产业的发展均有赖于制造业提供高水平的设备。从一定意义上讲，机械制造技术的发展水平决定着其他产业的发展水平。经济的竞争归根结底是制造技术和制造能力的竞争，制造技术是当代科学技术发展最为重要的领域之一，经济发达国家纷纷把先进制造技术列为国

家的高新关键技术和优先发展项目，给予了极大的关注。

建国 60 多年来，我国的机械制造业也取得了很大的成就。在解放初几乎空白的工业基础上建立起了初步完善的制造业体系，生产出我国的第一辆汽车、第一艘轮船、第一台机车、第一架飞机、第一颗人造地球卫星等，为我国的国民经济建设和科技进步提供了有力的基础支持。我国制造业从传统的普通机床到航空航天技术装备，从国计民生日常用品的生产到国防尖端产品的制造；特别是最近几年，伴随着神州 7 号载人宇宙飞船到嫦娥一号探月工程，机械制造技术都提供了重要的技术装备方面的保障。目前，高性能的数控机床和柔性制造系统、计算机集成制造、人工智能制造系统、虚拟制造、敏捷制造和网络制造工程等先进制造技术日新月异，为机械制造技术的发展提供了无限广阔的空间。

中国是制造业大国，由于我国工业化进程起步较晚，与国际先进水平相比，制造业和制造技术还存在着阶段性差距，制造产品附加值和技术含量还较低，真正在全球市场上处于领先水平的制造业企业则更少。主要表现在产品质量和水平不高，技术开发能力不强，基础元器件和基础工艺不过关，生产率低下，资金不足，资源短缺，以及管理体制和周围环境还存在许多问题尚待改进等。据统计，目前我国优质低耗工艺的普及率不足 10%，数控机床、精密设备不足 5%，90% 以上高档数控机床、100% 的光纤制造装备、85% 的集成电路制造设备、80% 的石化设备、70% 的轿车工业装备依赖进口。我国机械制造业面临着国际市场竞争日益激烈的严峻挑战，制造业的世界格局已经发生了重大的变化，欧、亚、美三分天下的局面正在形成，世界经济重心开始向亚洲转移，在经济全球化的进程中，随着劳动和资源密集型产业向发展中国家的转移，我国正在逐步成为全世界重要的制造基地。因此必须加强对制造技术领域的研究，大胆进行技术创新，同时积极引进和消化国外的先进制造技术和理念，尽快形成我国自主创新和跨越式发展的先进制造技术体系，使我国制造业在国内、国际市场竞争中立于不败之地。

### 1.1.2 金属切削加工系统与零件形成

机器设备上所使用的机械零件都是有一定的形状、尺寸和表面质量的，要获得这样的机械零件一般需要进行金属切削加工。所谓金属切削加工是指在金属切削机床上，通过切削刀具与被加工零件间特定的相对运动，使切削刀具从毛坯(如铸件、锻件、焊接结构件或型材等坯料)上切去多余金属，从而获得符合图样设计要求的零件的加工过程。

由于机械制造所涉及的范围极广，本课程主要研究零件机械加工涉及的问题。在机械加工中，零件的尺寸、几何形状和表面相对位置的形成，完全取决于工件和刀具在切削运动过程中的相互位置关系和相对运动轨迹，而工件安装在夹具上，夹具和刀具又安装在机床上。图 1.1 所示为车床加工零件的示意图。从图 1.1 中可以看出，在机床 4 上，应用刀具 1 对利用夹具 3 装夹的工件 2 进行切削加工，这样就由刀具—工件—夹具—机床构成了一个完整的切削加工系统，这是加工一个零件的过程中所必需的环节；而机械制造就是由许多各种各样类似的切削加工系统和装配过程所组成的。零件的加工精度、表面质量等与这一切削系统密切相关。所以，有必要对这一系统进行深入细致的分析与研究，分析系统内各因素的联系，了解这一系统的内部规律，从而达到利用规律、创造条件，加工出所需的合格零件。

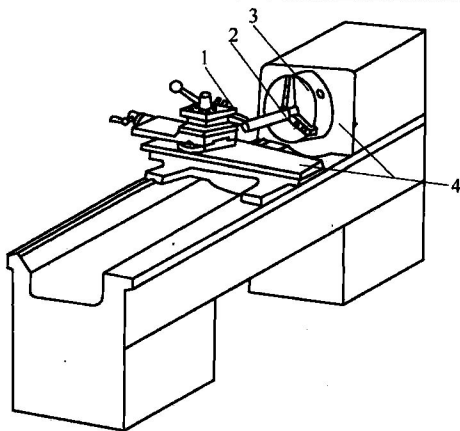


图 1.1 车床加工零件的示意图

1—刀具；2—工件；3—夹具；4—机床

为获得零件表面的形状，刀具与工件之间必须有一定的相对运动，称之为切削运动。零件表面形状不同，所需要的运动数目就不一样，相同的表面也可以有不同的运动，这与选择的加工方法有关。根据运动作用的不同，切削运动可分为主运动和进给运动两类，如图 1.2 所示。

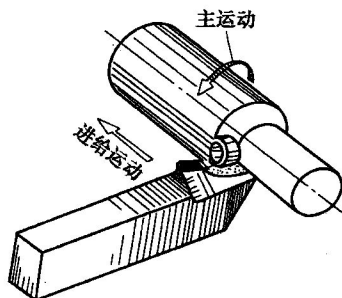


图 1.2 切削运动

切削刀具与被加工零件(称之为工件)间的相对运动有一定的规律，这个规律与零件表面形状的形成有关系。零件的表面通常由平面、圆柱面、圆锥面、成形面等几种简单的表面组合而成。这些简单表面可以以一条线为母线，以另一条线为轨迹运动而形成，如图 1.3 所示。

(1) 圆柱面：如图 1.3(a)所示，以直线为母线，以圆为轨迹，母线垂直于轨迹所在平面，做旋转运动形成。

(2) 圆锥面：如图 1.3(b)所示，以直线为母线，以圆为轨迹，母线与轨迹所在平面相交成一定角度，做旋转运动形成。

(3) 平面：如图 1.3(c)所示，以直线为母线，以另一直线为轨迹，做平移运动形成。

(4) 成形面：如图 1.3(d)和图 1.3(e)所示，以曲线为母线，以圆为轨迹做旋转运动或以直线为轨迹做平移运动形成。

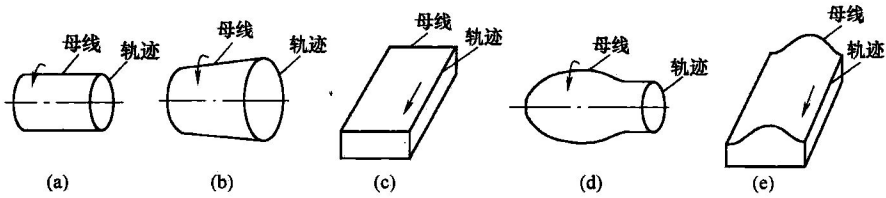


图 1.3 表面的形成

图 1.4 所示为常见的各类零件，从图中可以看出基本上是由图 1.3 所示的各类表面构成的。

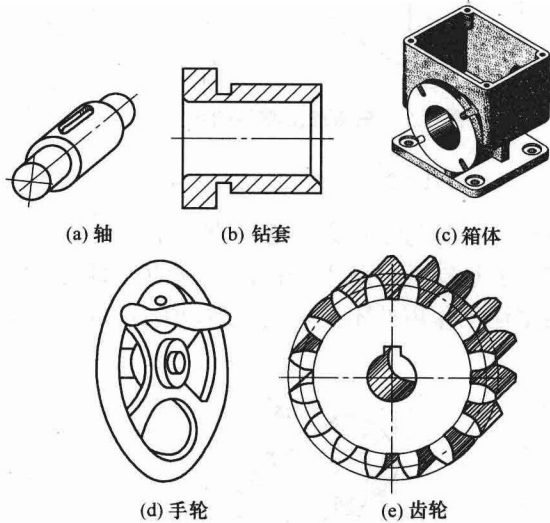


图 1.4 常见的零件类型

下面先从切削加工系统中工件与刀具材料的性能和选材两方面入手研究零件的工艺与加工过程，为后面的进一步分析与加工打下基础。

## 1.2 认识金属材料的力学性能及材料的选用

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用过程中反映出来的特性，它决定金属材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命。使用性能又分为力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指金属材料在制造加工过程中反映出来的各种特性，它决定材料是否易于加工或如何进行加工等重要因素。在选用金属和制造机械零件时，主要考虑力学性能和工艺性能。在某些特定条件下工作的零件，还要考虑物理性能和化学性能。

金属材料的力学性能又称机械性能，是金属材料在外力作用下所反映出来的性能。力学性能是零件设计计算、选择材料、工艺评定及材料检验的主要依据。衡量金属材料力学性能的主要指标有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

## 1.2.1 认识金属材料的力学性能

### 1) 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等形式,所以强度也分为抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度等。工程上以屈服点和抗拉强度最为常用。

### 2) 塑性

塑性是指金属材料产生塑性变形而不被破坏的能力。通常用伸长率 $\delta$ 和断面收缩率 $\psi$ 表示材料塑性的好坏。

(1) 伸长率。伸长率是指试样拉断后标距增长量与原始标距之比。公式表达为

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \quad (1-1)$$

式中:  $l_k$  —— 试样断裂后的标距;

$l_0$  —— 试样原始标距。

必须指出,伸长率的数值与试样尺寸有关,因此,用长试样( $l_0/d_0=10$ 的试样)、短试样( $l_0/d_0=5$ 的试样)求得的伸长率分别用 $\delta_{10}$ (或 $\delta$ )和 $\delta_5$ 表示。

(2) 断面收缩率。断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之比。公式表达为

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \quad (1-2)$$

式中:  $A_k$  —— 试样断裂处的最小横截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_0$  —— 试样的原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

$\delta$ 和 $\psi$ 值越大,材料的塑性越好。良好的塑性不仅是金属材料进行轧制、锻造、冲压、焊接的必要条件,而且在使用时万一超载,由于产生塑性变形,能够避免突然断裂。

### 3) 硬度

金属材料抵抗更硬的物体压入其内的能力,称为硬度。它是衡量材料软硬的一个指标。

硬度是材料性能的一个综合物理量,表示金属材料在一个小的体积范围内抵抗弹性变形、塑性变形或断裂的能力。一般来说,硬度越高,耐磨性越好,强度也较高。

金属材料的硬度是在硬度计上测定的。常用布氏硬度法和洛氏硬度法,有时还用维氏硬度法。

#### (1) 布氏硬度。

布氏硬度的试验原理如图1.5所示。用一定直径的淬火钢球或硬质合金球,在一定压力下压入试样表面,并保持压力至规定时间后卸载,然后测得压痕直径以计算出压痕表面积,进而得到所承受的平均应力值,即为布氏硬度值HB。

具体试验时,HB值一般不需计算,而用带有刻度的放大镜测出 $d$ 值后,按已知的 $F$ 、 $D$ 值查表求得。当压头为淬火钢球时,用HBS表示;当压头为硬质合金球时,用HBW表示。

布氏硬度法因压痕面积大,测量直观方便,数据准确可靠,且与强度之间有良好的对应关系。

但同时也因压痕面积大而不适宜于测试薄而小的零件；也因测试过硬的材料可能会导致压头变形而不适宜于测试硬度太高的零件。当选用淬火钢球时适宜于布氏硬度低于 450HB 以下的零件，当选用硬质合金球时适宜于布氏硬度在 450~650HB 的零件。此外，还因测试过程相对较费事，故也不适合于检验大批量生产的零件。

(2) 洛氏硬度。

洛氏硬度的试验原理如图 1.6 所示。用一个锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体为压头，在规定载荷作用下压入被测金属表面，卸载后根据压痕深度来确定其硬度值，用符号 HR 表示。在实际测试时，可在硬度机上直接读出其硬度值大小。

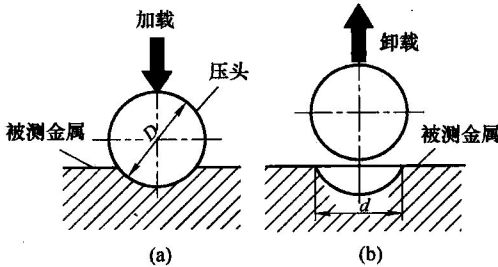


图 1.5 布氏硬度的试验原理

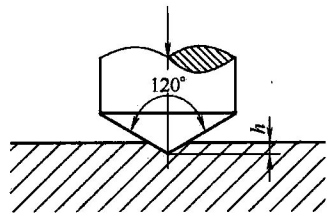


图 1.6 洛氏硬度的试验原理

为了能用同一硬度计测定从极软到极硬材料的硬度，可采用不同的压头和载荷，组成 HRA、HRB、HRC 3 种不同的标尺，表 1.1 所列为这 3 种标尺的试验条件和应用范围。

表 1.1 常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围

洛氏硬度	压头类型	总载荷/N	测量范围	应用范围
HRA	120° 金刚石圆锥体	588.4	70~85HRA	高硬度表面、硬质合金
HRB	φ 1.588mm 淬火钢球	980.7	20~100HRB	软钢、灰铸铁、有色金属
HRC	120° 金刚石圆锥体	1471	20~67HRC	一般淬火钢件

洛氏硬度测试简单、迅速，因压痕小，可用于成品检验。它的缺点是测得的硬度值重复性较差，这对存有偏析或组织不均匀的被测金属尤为明显，为此，必须在不同部位测量数次取其平均值。

(3) 维氏硬度。

洛氏硬度法可采用不同的标尺来测定由极软到极硬金属材料的硬度值，但不同标尺的硬度值间没有简单的换算关系，使用上很不方便。为了能在同一种硬度标尺上，测定由极软到极硬金属材料的硬度值，制定了维氏硬度试验法。

维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度试验相同。它是用一个相对面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体压头，在规定载荷  $F$  作用下压入被测试金属表面，保持一定时间后卸除载荷。然后再测量压痕投影的两对角线的平均长度  $d$ ，进而计算出压痕的表面积  $A$ ，最后求出压痕表面积上的平均压力，以此作为被测试金属的硬度值，用符号 HV 表示。

维氏硬度的优点是试验时所加载荷小，压入深度浅，故适用于测试零件表面淬硬层及

化学热处理的表面层(如渗碳层、渗氮层等);同时维氏硬度是一个连续一致的标尺,试验时可任意选择,而不影响其硬度值的大小,因此可测定从极软到极硬的各种金属材料的硬度。其缺点是其硬度值的测定较麻烦,工作效率不如洛氏硬度法高。

由于各种硬度的试验条件不同,故相互间无理论换算关系。但通过实践发现,在一定条件下存在着某种粗略的经验换算关系。如在 200~600HBS(HBW)内,  $HRC \approx 1/10HBS$  (HBW);在小于 450HBS 时,  $HBS \approx HV$ 。同时,硬度和强度间有一定换算关系,故在零件图的技术条件中,通常标注硬度要求。

#### 4) 冲击韧性

金属材料在冲击载荷的作用下,抵抗破坏的能力叫做冲击韧性。

冲击韧性通常采用摆锤式冲击试验机测定,如图 1.7 所示。测定时,一般是将带缺口的标准冲击试样(参见 GB/T 229—94)放在试验机上,然后用摆锤将其一次冲断,以试样缺口处单位面积上所吸收的冲击功表示其冲击韧性,即

$$a_k = \frac{A_k}{A} \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中:  $a_k$ ——冲击韧性值,根据试样缺口形状的不同,有  $a_{kV}$ 、 $a_{kU}$  两种表示法具体查阅资料。

$A_k$ ——冲断试样所消耗的冲击功, J。

$A$ ——试样缺口处的截面积,  $\text{cm}^2$ 。

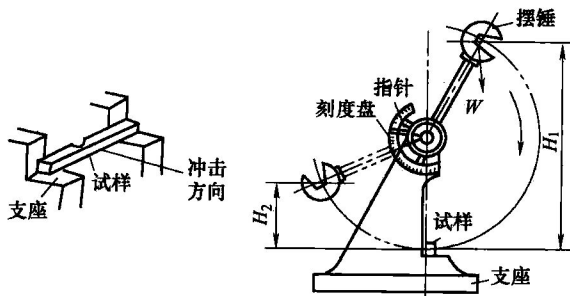


图 1.7 冲击试验原理

对于脆性材料(如铸铁等)的冲击试验,试样一般不开缺口,因为开缺口的试样冲击值过低,难以比较不同材料冲击性能的差异。

$a_k$  值低,表示材料的冲击韧性差。材料的冲击韧性与塑性之间有一定的联系,  $a_k$  值高的材料,一般都具有较高的塑性指标;但塑性好的材料其  $a_k$  值不一定高。这是因为在静载荷作用下能充分变形的材料,在冲击载荷下不一定能迅速地进行塑性变形。

冲击值的大小与很多因素有关。它不仅受试样形状、表面粗糙度、内部组织的影响,还与试验时的环境温度有关。因此,冲击值一般作为选择材料的参考,不直接用于强度计算。

必须指出,在冲击载荷作用下工作的机器零件,很少是受大能量一次冲击而破坏的,往往是受多次小能量冲击而破坏的。实验研究表明:材料承受多次小能量重复冲击的能力主要取决于强度,而不是决定于冲击韧性值。例如,球墨铸铁的冲击韧性仅为  $15\text{J/cm}^2$ ,只要强度足够,就能用来制造柴油机曲轴。

### 5) 疲劳强度

工程中有许多零件,如发动机曲轴、齿轮、弹簧及滚动轴承等都是在交变载荷作用下工作的。

承受交变应力或重复应力的零件,在工作过程中,往往在工作应力远低于其强度极限时就发生断裂,这种现象称为疲劳断裂。疲劳断裂与在静载荷作用下的断裂不同,不管是脆性材料还是塑性材料,疲劳断裂都是突然发生的,事先均无明显的塑性变形的预兆,很难事先觉察到,故具有很大的危险性。

金属材料经无数次循环载荷作用下而不致引起断裂的最大应力,叫疲劳强度。当应力按正弦曲线对称循环时,疲劳强度以符号 $\sigma_{-1}$ 表示。

由于实际测试时不可能做到无数次应力循环,故规定各种金属材料应有一定的应力循环基数。如钢材以 $10^7$ 为基数,即钢材的应力循环次数达到 $10^7$ 仍不发生疲劳断裂,就认为不会再发生疲劳断裂了。对于非铁合金和某些超高强度钢,则常取 $10^8$ 为基数。

产生疲劳断裂的原因,一般认为是由于材料含有杂质、表面划痕及其他能引起应力集中的缺陷,导致产生微裂纹。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展,致使零件有效截面逐步缩减,直至不能承受所加载荷而突然断裂。

为提高零件的疲劳强度,可采用的方法有以下3种。

- (1) 设计上尽量避免应力集中,如避免断面急剧变化。
- (2) 工艺上降低零件表面粗糙度,并避免表面划痕;采用表面强化,如喷丸处理、表面淬火等。
- (3) 材料方面保证冶金质量,减少夹杂、疏松等缺陷。

## 1.2.2 常用金属材料的选用

工程材料是指工程技术上大量使用的材料,它包括金属材料和非金属材料,金属材料又分为黑色金属材料和有色金属材料,黑色金属分为铸铁和钢。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,所以成为机器零件最常用的材料。

### 1) 铸铁

铸铁是含碳质量分数( $w_c$ )大于2.06%的铁碳合金。工业上常用铸铁的含碳质量分数一般为2.5%~4.0%。由于铸铁具有良好的铸造性、抗振性、切削加工性以及一定的力学性能,并且价格低廉、生产设备简单,所以在机器零件材料中占有很大的比例,广泛地用来制作各种机架、底座、箱体、缸套等形状复杂的零件。

根据碳在铸铁中存在的形态不同,铸铁可分为下列几种。

(1) 白口铸铁。白口铸铁中碳几乎全部以渗碳体( $Fe_3C$ )的形式存在, $Fe_3C$ 具有硬而脆的特性,使得白口铸铁变得非常脆硬,切削加工困难。工业上很少直接用它来制造机器零件,而主要作为炼钢的原料。它的断口呈亮白色,故称为白口铸铁。

(2) 灰铸铁。灰铸铁中的碳大部分或全部以片状石墨的形式存在,断口呈灰色,故称为灰铸铁。灰铸铁具有良好的铸造性、耐磨性、抗振性和切削加工性,因此是目前生产中用得最多的一种铸铁。灰铸铁的牌号是用两个汉语拼音字母和一组力学性能数值来表示的。灰铸铁共分HT100、HT150、HT200、HT250、HT300和HT350 6个牌号,牌号中“HT”是“灰铁”两字汉语拼音的第一个字母,其后的数字表示其最低的抗拉强度。



表 1.2 所示为常用灰铸铁的牌号、力学性能及应用。

表 1.2 常用灰铸铁的牌号、力学性能及应用

类别	牌 号	铸铁壁厚 /mm	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa $\geq$	硬度 /HBS	用途举例
铁素体 灰铸铁	HT100	2.5~10	130	110~166	低载荷和不重要的零件, 如盖、外罩、手轮、支架、底板、手柄等
		10~20	100	93~140	
		20~30	90	87~131	
		30~50	80	82~122	
铁素体 + 珠光 体灰铸 铁	HT150	2.5~10	175	137~205	承受中等应力的铸件, 如普通机床的支柱、底座、齿轮箱、刀架、床身、轴承座、工作台、带轮、泵壳、阀体、法兰、管路及一般工作条件的零件
		10~20	145	119~179	
		20~30	130	110~166	
		30~50	120	105~157	
珠光体 灰铸铁	HT200	2.5~10	220	157~236	承受较大应力和要求一定气密性或耐腐蚀性的较重要铸件, 如汽缸、齿轮、机座、机床床身、立柱、活塞、刹车轮、泵体、阀体、化工容器等
		10~20	195	148~222	
		20~30	170	134~200	
		30~50	160	129~192	
	HT250	4.0~10	270	175~262	
		10~20	240	164~247	
		20~30	220	157~236	
		30~50	200	150~225	
孕育 铸铁	HT300	10~20	209	182~272	承受高的应力、要求耐磨、高气密性的重要铸件, 如剪床、压力机、自动机床和重型机床床身、机座、机架、齿轮、凸轮、衬套、大型发动机曲轴、汽缸体、缸套、高压油缸、水缸、泵体、阀体等
		20~30	250	168~251	
		30~50	230	161~241	
	HT350	10~20	340	199~298	
		20~30	290	182~272	
		30~50	260	171~257	

(3) 球墨铸铁。球墨铸铁中的碳以自由状态的球状石墨形式存在。它是在熔化的铸铁中加入一定量的球化剂(稀土镁合金)和孕育剂(硅铁或硅钙合金)获得的。

球墨铸铁是一种性能优良的铸铁, 其强度、塑性和韧性等力学性能远远超过灰铸铁而接近于普通碳素钢, 同时它又具有灰铸铁的一系列优良性能, 如良好的铸造性、耐磨性、切削加工性和低的缺口敏感性等。因此球墨铸铁常用于制造承受冲击载荷的零件, 如传递动力的齿轮、曲轴、连杆等。

球墨铸铁的牌号用两个汉语拼音字母和两组力学性能数值来表示。例如, QT400-17 牌号中, “QT” 是“球铁” 两字汉语拼音的第一个字母, 其后两组数字, 表示最低抗拉强度为 400 MPa, 最低伸长率为 17%。

表 1.3 所示为常用球墨铸铁的牌号、力学性能及应用。