

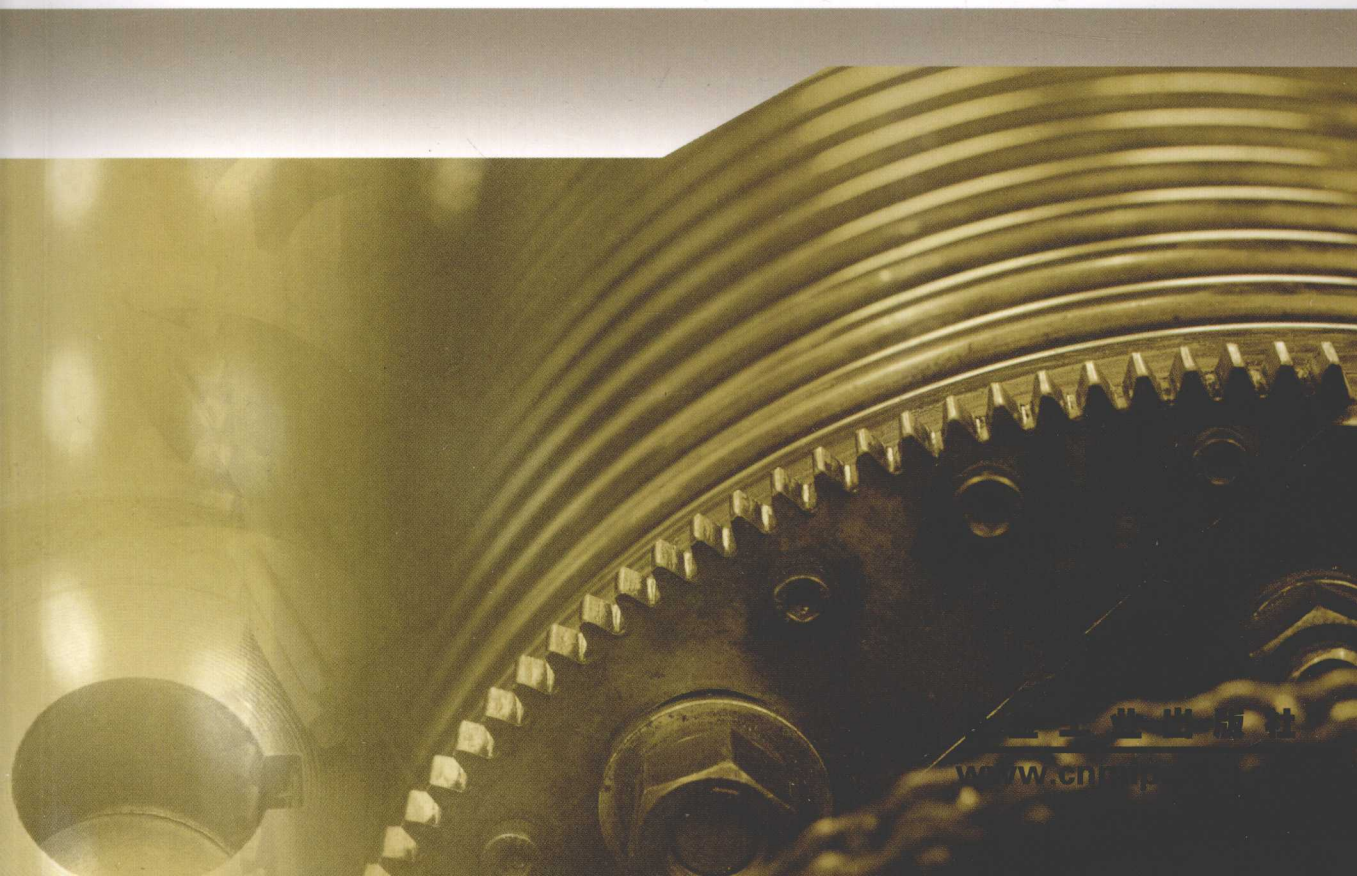


高职高专“十一五”规划教材

机械电子类

机械制造基础

钮平章 闫瑞涛 主编



机械工业出版社
www.cmp.cn

高职高专“十一五”规划教材·机械电子类

机械制造基础

主 编	钮平章	闫瑞涛
副主编	吴卫平	安小林
	曾尧松	张晓龙

江苏工业学院图书馆
藏书章

北 京
冶金工业出版社
2009

内 容 简 介

为适应我国高等职业教育培养高素质技能型专业人才的要求,本着基本理论够用、应用技术加强、新技术要了解的指导思想编写本书。书中主要包括:金属切削加工原理、金属切削机床、机械制造工艺及夹具的最基本理论、基本方法、基础知识,特别加强了机械制造应用技术的内容。全书共分为 17 章,分别是金属材料的性能、常用工程材料、金属切削加工原理、车削加工、铣削加工、磨削加工、齿轮加工、其他切削加工方法、特种加工简介、典型表面加工方法、机械加工工艺规程的基本概念、工件的定位与装夹、机械加工工艺规程的制定、机械加工质量、典型零件的加工工艺、装配工艺及现代制造技术简介。

本书可作为高等职业教育、高等专科类院校机电类相关专业的教材,也可作为相近专业成人高校的教材及相关工程技术人员的专业参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/钮平章, 闫瑞涛主编. —北京: 冶金工业出版社, 2009.1

ISBN 978-7-5024-4830-1

I. 机… II. ①钮…②闫… III. 机械制造 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 004651 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 刘 源

ISBN 978-7-5024-4830-1

北京天正元印务有限公司印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 1 月第 1 版, 2009 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15.25 印张; 356 千字; 234 页; 1-3000 册

28.00 元

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

高等职业教育作为高等教育发展中的一个类型，肩负着培养面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才的使命，在我国加快推进社会主义现代化建设进程中具有不可替代的作用。为适应培养高素质技能型专门人才的要求，本着基本理论够用、应用技术加强、新技术要了解的指导思想编写本书。本书体现了以下特点：

(1) 包括了金属切削加工原理、金属切削机床、机械制造工艺及夹具的最基本理论、基本方法和基础知识。

(2) 突出了车削加工、铣削加工、磨削加工、齿轮加工、其他切削加工方法及机械制造工艺等应用技术。

(3) 介绍了现代制造技术的内容，拓宽学生知识面，为将来发展奠定了基础。

全书共分为 17 章，分别是金属材料的性能、常用工程材料、金属切削加工原理、车削加工、铣削加工、磨削加工、齿轮加工、其他切削加工方法、特种加工简介、典型表面加工方法、机械加工工艺规程的基本概念、工件的定位与装夹、机械加工工艺规程的制定、机械加工质量、典型零件的加工工艺、装配工艺及现代制造技术简介。

本书由钮平章、闫瑞涛任主编，吴卫平、安小林、曾尧松、张晓龙任副主编，秦伟伟、邱芳、刘国忠、焦金玲、白玲、杨凤艳参加编写，王斌如、刘冉冉在本书编写中提出了宝贵意见。在教材编写过程中，参阅了大量的文献，在此向作者表示衷心地感谢。

由于编者水平所限，书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正，以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议，恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

目 录

绪论	1
----	---

第 1 章 金属材料的性能	2
---------------	---

1.1 金属材料的力学性能	2
1.1.1 强度	2
1.1.2 塑性	3
1.1.3 硬度	3
1.1.4 韧性	5
1.1.5 疲劳极限	6
1.2 金属材料的物理、化学和工艺性能	6
1.2.1 金属材料的物理性能	6
1.2.2 金属材料的化学性能	7
1.2.3 金属材料的工艺性能	8
1.3 习题	9

第 2 章 常用工程材料	10
--------------	----

2.1 碳钢	10
2.1.1 杂质元素对碳钢性能的影响	10
2.1.2 碳钢的分类	10
2.1.3 碳钢的牌号和用途	11
2.2 合金钢	13
2.2.1 合金元素在钢中的作用	13
2.2.2 合金钢的分类及牌号	14
2.2.3 合金结构钢、合金工具钢及特殊性能钢	14
2.3 铸铁	19
2.3.1 铸铁的石墨化过程	19
2.3.2 影响铸铁石墨化的因素	19
2.3.3 灰口铸铁的组织分类及性能特点	20
2.3.4 各类灰口铸铁的牌号及用途	21

2.3.5 铸铁的热处理及合金铸铁	23
-------------------	----

2.4 有色金属及合金	23
-------------	----

2.4.1 铝及铝合金	24
-------------	----

2.4.2 铜及铜合金	25
-------------	----

2.4.3 轴承合金	27
------------	----

2.5 非金属材料	27
-----------	----

2.5.1 高分子材料	27
-------------	----

2.5.2 陶瓷材料	28
------------	----

2.5.3 复合材料	29
------------	----

2.6 习题	30
--------	----

第 3 章 金属切削加工原理	31
----------------	----

3.1 金属切削加工的基本概念	31
-----------------	----

3.1.1 切削运动的基本概念	31
-----------------	----

3.1.2 切削运动的组成	32
---------------	----

3.1.3 切削运动的合成与分解	33
------------------	----

3.1.4 切削用量	33
------------	----

3.1.5 刀具切削部分的基本定义	34
-------------------	----

3.1.6 刀具材料及选用	36
---------------	----

3.2 金属切削过程	37
------------	----

3.2.1 金属切削层的变形	37
----------------	----

3.2.2 影响金属切屑过程的主要因素	39
---------------------	----

3.2.3 刀具磨损和刀具寿命	42
-----------------	----

3.3 提高生产率的途径	45
--------------	----

3.3.1 工件材料的切削加工性	45
------------------	----

3.3.2 切削液	47
-----------	----

3.3.3 刀具几何参数的合理选择	48
-------------------	----

3.3.4 切削用量的合理选择	50
-----------------	----

3.4 金属切削机床的基本知识	51
-----------------	----

3.4.1 金属切削机床的分类与型号编制	51
----------------------	----

3.4.2 机床的传动系统	55
---------------	----

3.5 习题	60	7.1.4 齿轮精加工	84
第4章 车削加工	61	7.2 齿轮加工机床	86
4.1 车床简介	61	7.3 齿轮加工刀具	86
4.1.1 车床的组成部分及其功用	61	7.4 习题	87
4.1.2 其他车床	62	第8章 其他切削加工方法	88
4.2 车刀	63	8.1 钻床及钻削刀具	88
4.2.1 常用车刀种类	63	8.1.1 钻床	88
4.2.2 车刀的安装	64	8.1.2 钻削刀具	89
4.2.3 车刀的刃磨	64	8.2 镗床及镗刀	91
4.3 机床附件及工件的安装	64	8.2.1 镗床的功用和类型	91
4.4 习题	66	8.2.2 镗刀	94
第5章 铣削加工	67	8.3 刨床及刨刀	95
5.1 铣床简介	67	8.3.1 刨床	95
5.1.1 铣床的种类	67	8.3.2 刨刀	97
5.1.2 铣床主要附件	69	8.4 拉床及拉刀	97
5.2 铣刀	71	8.4.1 拉削加工与拉床的用途、特点和类型	97
5.2.1 按用途和结构特点分类	71	8.4.2 拉刀	99
5.2.2 铣刀的安装	72	8.5 习题	100
5.3 习题	74	第9章 特种加工简介	101
第6章 磨削加工	75	9.1 电火花加工	101
6.1 磨床简介	75	9.1.1 加工原理	101
6.1.1 磨床的分类	75	9.1.2 加工特点及应用	101
6.1.2 万能外圆磨床的组成、各部分名称和功用	76	9.2 电解加工	102
6.1.3 其他磨床	77	9.2.1 加工原理	102
6.2 砂轮	77	9.2.2 加工特点及应用	102
6.2.1 砂轮简介	77	9.3 电化学机械加工	102
6.2.2 砂轮的安裝和修整	78	9.3.1 加工原理	102
6.3 习题	78	9.3.2 加工特点及应用	103
第7章 齿轮加工	79	9.4 激光加工	103
7.1 齿轮加工方法	79	9.4.1 加工原理	103
7.1.1 直齿圆柱齿轮的主要尺寸	79	9.4.2 加工特点及应用	103
7.1.2 齿轮的传动精度	80	9.5 电子束加工	104
7.1.3 常见的齿形加工方法	80	9.5.1 加工原理	104
		9.5.2 加工特点及应用	104

9.6 离子束加工.....	104	10.5.1 螺纹车削.....	129
9.6.1 加工原理.....	104	10.5.2 螺纹铣削.....	130
9.6.2 加工特点及应用.....	104	10.5.3 攻螺纹和套螺纹.....	131
9.7 超声波加工.....	104	10.5.4 螺纹滚压.....	131
9.7.1 加工原理.....	104	10.5.5 螺纹磨削.....	131
9.7.2 加工特点及应用.....	105	10.5.6 螺纹加工方法的选择.....	132
9.8 快速成形与快速原型制造技术.....	105	10.6 习题.....	132
9.8.1 快速成形技术.....	105	第 11 章 机械加工工艺规程的	
9.8.2 快速原型制造技术.....	108	基本概念	133
9.9 习题.....	109	11.1 生产过程和工艺过程.....	133
第 10 章 典型表面加工方法	110	11.1.1 生产过程.....	133
10.1 外圆表面加工方法.....	110	11.1.2 工艺过程.....	133
10.1.1 外圆表面的车削加工.....	110	11.2 工艺过程的组成.....	133
10.1.2 外圆表面的磨削加工.....	112	11.2.1 工序、工步和走刀.....	133
10.1.3 外圆表面的精密加工.....	113	11.2.2 安装和工位.....	134
10.1.4 外圆加工方法的选择.....	115	11.3 生产纲领与生产类型.....	135
10.2 孔加工方法.....	115	11.4 习题.....	136
10.2.1 钻孔加工.....	116	第 12 章 工件的定位与装夹	137
10.2.2 扩孔加工.....	116	12.1 基准及其分类.....	137
10.2.3 镗孔加工.....	116	12.1.1 设计基准.....	137
10.2.4 铰孔加工.....	117	12.1.2 工艺基准.....	137
10.2.5 磨孔加工.....	118	12.2 工件的装夹.....	138
10.2.6 孔的精密加工方法.....	118	12.2.1 直接找正装夹.....	138
10.2.7 孔加工方法的选择.....	120	12.2.2 划线找正装夹.....	138
10.3 平面加工方法.....	121	12.2.3 夹具装夹.....	139
10.3.1 平面刨削加工.....	122	12.3 定位基准的选择.....	139
10.3.2 平面铣削加工.....	122	12.3.1 粗基准的选择.....	139
10.3.3 平面磨削加工.....	124	12.3.2 精基准的选择.....	140
10.3.4 刮研.....	125	12.4 工件的定位.....	141
10.3.5 平面加工方法的选择.....	125	12.4.1 六点定位原理.....	141
10.4 成形表面加工.....	126	12.4.2 完全定位、不完全定位、 欠定位和过定位.....	142
10.4.1 常见具有成形表面的 零件.....	126	12.4.3 常用定位方法与及定位 元件.....	143
10.4.2 成形表面的加工方法.....	126	12.5 常用机床夹具.....	148
10.4.3 圆柱齿轮齿面加工方法 的选择.....	128		
10.5 螺纹加工.....	129		

12.5.1 常用机床夹具的分类	148	13.6.3 缩短布置工作地时间	177
12.5.2 常用机床夹具的基本 组成	149	13.6.4 缩短准备和终结时间	177
12.5.3 常用机床夹具的作用	150	13.6.5 高效及自动化加工	177
12.5.4 机床夹具的常用夹紧 机构	150	13.7 习题	177
12.5.5 常用机床夹具	151	第 14 章 机械加工质量	179
12.5.6 机床夹具的设计方法	153	14.1 机械加工精度	179
12.6 习题	155	14.1.1 加工精度的基本概念	179
第 13 章 机械加工工艺规程的制定	157	14.1.2 获得加工精度的方法	179
13.1 机械制造工艺规程的格式	157	14.1.3 影响加工精度的原始误差	180
13.2 机械加工工艺规程的编制	159	14.1.4 加工原理误差	180
13.2.1 制定工艺规程的原则 与步骤	159	14.1.5 机床的几何误差	180
13.2.2 零件的工艺性分析	160	14.1.6 刀具、夹具的制造误差 及磨损	182
13.2.3 毛坯的选择	160	14.1.7 工艺系统受力变形引起 的加工误差	182
13.3 机械加工工艺路线的拟定	162	14.1.8 工艺系统受热变形引起 的加工误差	184
13.3.1 加工方法的选择	162	14.1.9 工件残余应力引起的 误差	187
13.3.2 加工阶段的划分	164	14.1.10 提高加工精度的工艺 措施	189
13.3.3 加工顺序的安排	165	14.2 机械加工表面质量	190
13.3.4 工序的集中与分散	166	14.2.1 表面质量的基本概念	190
13.4 工序设计	167	14.2.2 表面质量对零件使用 性能的影响	191
13.4.1 加工余量的确定	167	14.2.3 影响表面粗糙度的因素	191
13.4.2 工序尺寸及其公差的确 定	168	14.2.4 影响表面物理力学性能 的因素	193
13.4.3 工艺尺寸链的计算	169	14.3 习题	195
13.4.4 机床及工艺装备的选择	173	第 15 章 典型零件的加工工艺	196
13.4.5 切削用量的确定	173	15.1 轴类零件工艺分析	196
13.4.6 工时定额的确定	173	15.1.1 轴类零件概述	196
13.5 工艺方案的技术经济分析	174	15.1.2 轴类零件加工工艺分析	197
13.5.1 工艺成本的组成	174	15.1.3 CA6140 主轴的加工 工艺过程	198
13.5.2 工艺方案的比较	175		
13.6 提高机械加工生产率的工艺 措施	175		
13.6.1 缩短基本时间	176		
13.6.2 缩短辅助时间	177		

15.2 套筒类零件分析.....	201	16.4.2 选配法.....	221
15.2.1 套筒类零件概述.....	201	16.4.3 修配法.....	223
15.2.2 套筒类零件的加工 工艺分析.....	202	16.4.4 调整法.....	224
15.3 箱体类零件分析.....	203	16.5 装配工艺规程的制定.....	225
15.3.1 箱体零件概述.....	203	16.5.1 制定装配工艺规程的 原始资料.....	225
15.3.2 箱体类零件的加工 工艺分析.....	206	16.5.2 制定装配工艺规程的 基本原则.....	225
15.3.3 主轴箱的加工工艺过程.....	208	16.5.3 制定装配工艺规程的 内容和步骤.....	226
15.4 齿轮零件分析.....	209	16.6 习题.....	227
15.4.1 齿轮零件概述.....	209	第 17 章 现代制造技术简介.....	228
15.4.2 齿轮零件的加工工艺 分析.....	211	17.1 计算机辅助设计与 制造(CAD/CAM).....	228
15.4.3 圆柱齿轮加工工艺过程.....	212	17.1.1 CAD/CAM 技术的 基本概念.....	228
15.5 习题.....	213	17.1.2 CAD/CAM 的应用 及发展趋势.....	229
第 16 章 装配工艺.....	214	17.2 计算机辅助工艺规程 设计(CAPP).....	229
16.1 装配.....	214	17.2.1 CAPP 系统的类型.....	230
16.1.1 装配的概念.....	214	17.2.2 CAPP 系统的应用.....	231
16.1.2 装配内容.....	214	17.3 柔性制造系统(FMS).....	231
16.1.3 装配的组织形式.....	215	17.3.1 柔性制造系统概述.....	231
16.1.4 装配工序的集中与分散.....	216	17.3.2 柔性制造系统的组成.....	231
16.2 装配精度.....	217	17.4 计算机集成制造系统(CIMS).....	232
16.2.1 装配精度的概念.....	217	17.4.1 CIM 和 CIMS 的概念.....	232
16.2.2 装配精度与零件精度 的关系.....	217	17.4.2 CIMS 的组成.....	233
16.3 装配尺寸链.....	217	17.5 习题.....	233
16.3.1 装配尺寸链的概念.....	217	参考文献.....	234
16.3.2 装配尺寸链的计算.....	218		
16.4 装配方法及其选择.....	220		
16.4.1 互换法.....	220		

绪 论

机械制造是指将原材料制成零件毛坯,将毛坯加工成机械零件(大部分冲压件、塑料件和陶瓷件等不经过毛坯,而是直接将原材料用模具制成),由零件装配成机器的整个制造过程。

新兴起的核技术、空间技术、信息技术和生物医学技术等高新技术无一不是通过制造业的发展而产生并转化为规模生产力的,其直接结果是导致诸如集成电路、电子计算机、电视机、移动通信设备、国际互联网、智能机器人、科学仪器、生物反应器、医疗仪器、核电站、飞机、人造卫星和航天飞机等产品相继问世,并由此形成了制造业中的高新技术产业,使人类社会的生产方式、生活方式、企业与社会组织结构和经营管理模式乃至人们的思维方式与传统文化产生了深刻变化。正是制造业,特别是装备制造业成为所有高新技术得以发展的载体,并成为转化为规模生产力的工具与桥梁。

经过我国几代人的前仆后继,数亿人的发奋努力,已经造就了一个具有相当规模和水平的制造体系,使得中国成为世界瞩目的制造大国。其显著标志体现为以下几个方面:

(1) 提供重大装备的能力不断提高;(2) 制造业总体生产规模已居世界第四位,众多制成品产量已位居世界前列;(3) 各具特色的制造业聚集地逐渐形成。

中国制造业的发展受 3 大制约因素:一是资源消耗制约,二是环境制约,三是核心专利技术约束。因为,一是主要机械产品技术来源的 57%来自国外,绝大多数电子及通信设备的核心技术依赖进口,具备自主知识产权的产品和核心技术很少。二是产品开发周期过长,企业对市场的快速反应能力差。三是作为制造业赖以生存和发展技术基础的制造技术,与发达国家存在着阶段性差距。只有集成创新为机械制造业提供发展的动力。

集成创新至少可以有 5 种形式:

- (1) 单元技术与单元技术的集成创新;
- (2) 设计技术与过程技术的集成创新;
- (3) 单元技术与系统技术的集成创新;
- (4) 技术与管理的集成创新;
- (5) 企业组织结构与生产经营的集成创新。

《机械制造基础》适用于各级各类举办高职高专教育的院校及高级技工学习使用,是机械类专业的一门必修专业课,主要内容包括材料性能、切削加工技术、机械制造工艺、综合实践。学完本课程后应能掌握选择工程材料及选用加工设备与工具的方法。本课程实践性很强,对于无实践经验的学生,一定要尽可能多地参观机械制造厂的加工车间,仔细观察各种加工方法的特点和所使用的设备、工具。每章学完后,要认真做复习思考题,以确保掌握各章的基本内容。

第 1 章 金属材料的性能

1.1 金属材料的力学性能

机械零件或工具在使用过程中,要受到各种载荷的作用。力学性能是指金属材料在载荷作用下所反映出来的性能,主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳极限等。

1.1.1 强度

强度是指材料在外力作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力。

按作用力性质的不同,强度可分为屈服强度、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。工程上,用来表示金属材料强度的指标主要有屈服强度和抗拉强度。

作为材料的重要指标,金属材料的强度是通过拉伸实验测定出来的。实验设备、试件制作方法、实验规范及实验过程参见《材料力学》部分,低碳钢拉伸曲线如图 1-1 所示。

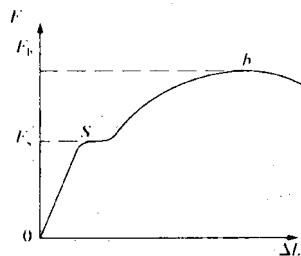


图 1-1 低碳钢拉伸曲线

1.1.1.1 屈服强度

当载荷增加到 F_s 时,拉伸曲线出现了平台,即试样所承受的载荷几乎不变,但产生了较为明显的塑性变形,材料的这种现象称为屈服现象。

屈服强度是指在外力作用下开始产生明显塑性变形的应力,用 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \text{ (MPa)}$$

式中 F_s ——试样产生塑性变形时的载荷,即拉伸曲线中 s 点所对应的外力, N;
 A_0 ——试样的原始横截面面积, mm^2 。

1.1.1.2 抗拉强度

抗拉强度是金属材料断裂前所承受的最大应力,故又称强度极限,常用 σ_b 来表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \text{ (MPa)}$$

式中 F_b ——试样被拉断前所承受的最大外力,即拉伸曲线上 b 点所对应的外力, N;
 A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

屈服强度和抗拉强度,在选择金属材料 and 机械设计时有重要意义,因为金属材料必须在小于其 σ_s 的条件下工作,否则会引起零件的塑性变形;金属材料也不能在超过其 σ_b 的条件下工作,否则会导致零件的破坏。

1.1.2 塑性

塑性是材料在静载荷作用下产生不可逆永久变形的能力。评定材料塑性的指标是伸长率和收缩率。

1.1.2.1 伸长率

伸长率是指试样拉断后，标距的伸长量与原标距长度的百分比，用符号 δ 表示。

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

式中 L_0 ——试样的原始标距，mm；

L_1 ——试样拉断后的标距，mm。

1.1.2.2 收缩率

收缩率是指试样被拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比，用符号 ψ 表示，即

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

式中 S_0 ——试样的原始横截面积， mm^2 ；

S_1 ——试样拉断后缩颈处的横截面积， mm^2 。

塑性直接影响到零件的成形和使用。塑性好的材料，不仅能顺利地进行轧制和锻压等成形工艺；而且在使用中万一超载，由于变形而能避免突然断裂。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外，还必须要有一定的塑性。

一般情况下，伸长率达 5% 的材料，即可满足大多数零件的使用要求。通常，伸长率是否达到 5% 已经作为划分塑性材料和脆性材料的判据。

1.1.3 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是衡量材料软硬的判据，是一个综合的物理量。

材料的硬度越高，耐磨性越好，故常将硬度值作为衡量材料耐磨性的重要指标之一。

硬度的测定常用压入法。把规定的压头压入金属材料表面层，然后根据压痕的面积或深度确定其硬度值。根据压头和压力不同，常用的硬度指标有布氏硬度(HBS、HBW)、洛氏硬度(HRA、HRB 和 HRC 等)和维氏硬度(HV)。

1.1.3.1 布氏硬度

布氏硬度的试验原理是用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球，以相应的试验力 F 压入试样表面，保持规定的时间后卸除试验力，在试样表面留下球形压痕，如图 1-2 所示。

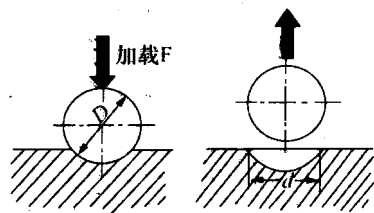


图 1-2 布氏硬度试验原理

布氏硬度值用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示。用淬火钢球作压头时,布氏硬度用 HBS 表示;用硬质合金球作压头时,布氏硬度用符号 HBW 表示。

$$\text{HBS(HBW)} = \frac{F}{A_{\text{pr}}} = 0.012 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 HBS(HBW)——淬火钢球(硬质合金球)试验的布氏硬度值;

F ——试验力, N;

d ——压痕平均直径, mm;

D ——淬火钢球(硬质合金球)直径, mm。

布氏硬度的单位为 N/mm^2 , 但习惯上只写明硬度值而不标出单位。

由布氏硬度值的计算公式可以看出, 当所加试验力 F 与钢球(或硬质合金球)直径 D 已选定时, 硬度值 HBS(HBW)只与压痕直径 d 有关。 d 越大, 则 HBS(HBW)值越小, 表明材料越软; 反之, d 越小, HBS(HBW)值越大, 表明材料越硬。

除了采用钢球(或硬质合金球)直径 D 为 10mm, 试验力 F 为 3 000kgf(29 421N), 保持时间 10~15s 的试验条件外, 在其他试验条件下测得的硬度值, 应在符号 HBS 的后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。

如 120HBS10/1000/30, 即表示用 10mm 的淬火钢球作压头, 在 1 000kgf(9 807N)的试验力作用下, 保持时间为 30s 后所测得的硬度值为 120。

如 500HBW5/750, 即表示用 5mm 的硬质合金钢球作压头, 在 750kgf(735N)的试验力作用下, 保持时间为 10~15s 后所测得的硬度值为 500。

淬火钢球用于测定硬度 $\text{HBS} < 450$ 的金属材料, 如灰铸铁、有色金属以及退火、正火和调质处理的钢材等。为了避免压头变形, 可用硬质合金球压头, 它适用于测试 $\text{HBW} < 650$ 的金属材料(我国目前布氏硬度试验机压头主要是淬火钢球)。

布氏硬度试验的优点是: 试验时使用的压头直径较大, 在试样表面上留下压痕也较大, 测得的硬度值比较准确。

布氏硬度试验的缺点是: 对金属表面的损伤较大, 不易测试太薄工件的硬度, 也不适于测定成品件的硬度。

布氏硬度试验常用来测定原材料、半成品及性能不均匀的材料(如铸铁)硬度。

1.1.3.2 洛氏硬度

洛氏硬度是以顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球作压头, 以规定的试验力使其压入试样表面。试验时, 先加初试验力, 然后加主试验力。压入试样表面之后卸除主试验力, 在保留初试验力的情况下, 根据试样表面压痕深度, 确定被测金属材料的洛氏硬度值。

如图 1-3 所示, 0-0 为金刚石压头还未与试样接触的位置。1-1 是在初试验力作用下压头所处的位置, 压入深度为 h_1 , 目的是消除由于试样表面粗糙对试验结果的精确性造成的不良影响。2-2 在总试验力(初试力+主试验力)作用下压头所处位置, 压入深度为 h_2 。3-3 是卸除主试验力后压头所

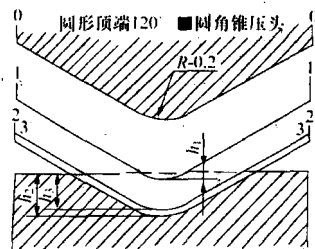


图 1-3 洛氏硬度试验原理

处的位置, 由于金属弹性变形得到恢复, 此时压头实际压入深度为 h_3 。故由于主试验力所引起的塑性变形而使压头压入深度为 $h=h_3-h_1$ 。洛氏硬度值由 h 的大小确定, 压入深度 h 越大, 硬度越低; 反之, 则硬度越高。一般来说, 按照人们习惯上的概念, 数值越大, 硬度越高。因此采用一个常数 c 减去 h 来表示硬度的高低, 并用每 0.002mm 的压痕深度为一个硬度单位。由此获得的硬度值称为洛氏硬度值, 用符号 HR 表示, 即

$$\text{HR} = \frac{c-h}{0.002}$$

式中 c ——常数(对于 HRC、HRA, c 取 0.2; 对于 HRB, c 取 0.26)。

由此获得的洛氏硬度值 HR 为一无名数, 试验时由试验机指示器上直接读出。

上述洛氏硬度的 3 种标尺中, 以 HRC 应用最多, 一般经淬火处理的钢或工具都采用 HRC 测量。如 50HRC, 表示用 HRC 标尺测定的洛氏硬度值为 50。在中等硬度情况下, 洛氏硬度 HRC 与布氏硬度 HBS 之间的关系约为 1:10, 如 40HRC 相当于 400HBS。布氏硬度 HBS 与抗拉强度 σ_b 之间关系约为 1:3~4。硬度值应在有效测量范围内(HRC 为 20~70)为有效。

优点: (1)操作简单迅速, 效率高, 直接从指示器可读出硬度值; (2)压痕小, 故可直接测量成品或较薄工件的硬度; (3)对于 HRA 和 HRC 采用金刚石压头, 可测量高硬度薄层和深层的材料。

缺点: 由于压痕小, 测得的数值不够准确, 通常要在试样不同部位测定 4 次以上, 取其平均值为该材料的硬度值。

1.1.3.3 维氏硬度

布氏硬度试验不适用于测定硬度较高的材料。洛氏硬度试验虽然可用于测定软材料和硬材料, 但其硬度值不能进行比较。维氏硬度(符号为 HV)试验可以测量从软到硬的各种材料以及金属零件的表面硬度, 并有连续一致的硬度标尺。其优点是实验力可以任意选择, 特别适用于表面强化处理的机械零件和很薄的产品, 但维氏硬度实验的效率不是很高, 不宜成批生产的常规检验。

1.1.4 韧性

材料断裂前吸收的变形能量称作韧性。韧性的常用指标为冲击韧度。

冲击韧度通常采用摆锤冲击试验机测定。测定时, 一般是将带有缺口的标准冲击试样(参见 GB/T229—94)放在试验机上, 然后用摆锤将其一次冲断, 并以试样缺口处单位截面积上所吸收的冲击功表示其冲击韧度, 即

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A}$$

式中 α_k ——冲击韧度(冲击值);

A_k ——冲断试样所消耗的冲击功, J;

A ——试样缺口处的截面积, cm^2 。

对于脆性材料(如铸铁、淬火钢等)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。

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,不直接用作强度计算。

必须注意:承受冲击载荷的机械零件,很少是在大能量下一次冲击而破坏的,如连杆、曲轴和齿轮等。因此,在大能量、一次冲断条件下来测定冲击韧度,虽然方法简单,但对大多数在工作中承受小能量重复冲击的机械零件不一定合适。不过试验研究表明,在冲击不太大的情况下,金属材料承受多次重复冲击的能力,主要取决于强度,而不要求过高的冲击韧度。例如,用球墨铸铁制造的曲轴,只要强度足够,其冲击韧度达到 $8 \sim 15 \text{ J/cm}^2$ 时,其使用性能就能够得到满足。

冲击值对组织缺陷很敏感,它能反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织等方面的变化,因此,冲击试验是生产上用来检验冶炼、热加工和热处理等工艺质量的有效方法。

1.1.5 疲劳极限

许多机械零件,如曲轴、齿轮、连杆和弹簧等是在周期性或非周期性动载荷(称为疲劳载荷)的作用下工作。这些承受疲劳载荷的机械零件发生断裂时,其应力值往往低于该材料的强度极限,这种断裂称为疲劳断裂。

金属材料所承受的疲劳应力(σ)与其断裂前的应力循环次数(N),具有如图 1-4 所示的疲劳曲线关系。当应力下降到某值之后,疲劳曲线成为水平线,这表示该材料可经受无数次应力循环而不发生疲劳断裂,这个应力值称为疲劳极限或疲劳强度,也就是金属材料在无数次循环载荷作用下不致引起断裂的最大应力。当应力按正弦曲线对称循环时,疲劳强度以符号 σ_1 表示。

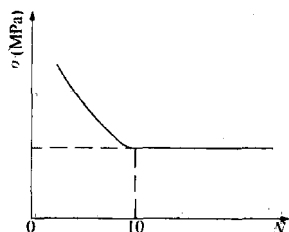


图 1-4 疲劳曲线示意图

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,即钢材的应力循环达到 10^7 仍不发生疲劳断裂,就认为不会发生疲劳断裂了。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,致使机械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。

统计表明,在机械零件失效中,大约 80% 属于疲劳破坏。为了提高机械零件的疲劳强度,除应改善其结构形状、减少应力集中外,还可采取表面强化的方法,如提高机械零件的表面质量、喷丸处理和表面热处理等。同时,应控制材料的内部质量,避免气孔和夹杂等缺陷。

1.2 金属材料的物理、化学和工艺性能

1.2.1 金属材料的物理性能

金属材料固有的一些属性称为物理性能,主要包括密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性和磁性等。

1.2.1.1 密度

密度是指金属材料单位体积的质量,单位为 kg/m^3 。

在机械制作中,一般将密度小于 $5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的金属称为轻金属(如 Al、Sn 等);将密度大于 $5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的金属称为重金属(如 Fe、Pb 等)。

在实际工作中,常用密度计算大型零件的质量。某些机械零件在选材时,必须要考虑金属的密度,如发动机中要求质轻、运动时惯性小的活塞,常采用密度小的铝合金制成。在航空工业领域中,密度更是选用材料的关键性能指标之一。

1.2.1.2 熔点

金属由固态转变为液态时的温度称为熔点。金属大都有固定的熔点,一般以 700°C 为分水岭,将金属分为易熔金属(如 Sn、Pb、Zn 等)和难熔金属(如 W、Mo、V 等)。

熔点是制定热加工工艺规范的重要依据之一,常用易熔金属制造熔断器和防火安全阀等零件;难熔金属可制造耐高温零件,在航空航天、导弹和燃气轮机等领域有着广泛的应用。

1.2.1.3 导电性

金属能够传导电流的性能,称为导电性。材料的导电性一般用电阻率来表示,电阻率越小,导电性就越好。

金属材料一般具有良好的导电性,Ag 的导电性最好,Cu、Al 次之。

材料的导电性随合金成分的复杂化而降低,因而纯金属导电性总比合金好。为此,工业上常用纯铜、纯铝做导电材料;而用电阻大的铜合金做电阻材料。

1.2.1.4 导热性

材料的导热性用热导率来表示。材料的热导率越大,说明导热性越好。一般来说,金属越纯,其导热能力越大。Ag 金属的导热能力最好,Cu、Al 次之。

导热性好的金属散热也好,在制造散热器和热交换器等零件时,就要注意选用导热性好的金属。

1.2.1.5 热膨胀性

材料的热膨胀性通常用线膨胀系数来表示。对精密仪器或机械零件,热膨胀性是一个非常重要的性能指标。当对不同金属材料之间焊接时,常因金属材料的热膨胀性相差过大,使得焊件产生变形或破坏,从而不能保证产品质量。

1.2.1.6 磁性

材料能导磁的性能称为磁性。磁性材料中又分为软磁性材料(如电工用纯铁和硅钢片等)和硬磁性材料(如淬火的钴钢和稀土钴等)。许多金属(如 Fe、Ni、Co 等)都具有较高的磁性,也有许多金属(如 Al、Cu、Pb 等)是无磁性的。

1.2.2 金属材料的化学性能

金属材料的化学性能是指金属与周围介质接触时,抵抗发生化学或电化学反应的性能。

1.2.2.1 耐腐蚀性

耐腐蚀性指金属材料在常温下抵抗周围各种介质侵蚀的能力。常用的耐腐蚀性材料如

不锈钢、塑料、陶瓷、钛及其合金等。

根据金属腐蚀过程的不同,金属腐蚀又分为化学腐蚀和电化学腐蚀两类。金属材料的腐蚀绝大多数是由电化学腐蚀引起的,电化学腐蚀比化学腐蚀快得多,危害性也更大。

1.2.2.2 抗氧化性

抗氧化性指金属材料在高温下,抵抗产生氧化皮的能力,如耐热钢、铬镍合金和铁铬合金等。工业用的锅炉、加热设备、汽轮机、喷气发动机、火箭和导弹等,有许多零件在高温下工作,制造这些零件的材料,就要求具有良好的抗氧化性。

据统计,全世界钢铁因锈蚀损耗的数量占年产量的 1/10 左右。因此,采取必要的措施,提高金属材料的耐腐蚀性是十分必要的。目前,工程上经常采用的防腐蚀方法主要有:(1)选择合理的防腐蚀材料;(2)采用覆盖法防腐蚀;(3)改善腐蚀环境;(4)电化学保护法。

1.2.3 金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是指材料在各种加工条件下成型能力的性能,如金属材料的铸造性能、焊接性能、锻造性能、切削加工性能、冲压性能和热处理工艺性等。材料的工艺性能好坏决定其加工成型的难易程度,直接影响到制造零件的工艺方法、质量和制造成本。

1.2.3.1 铸造性能

铸造性能指金属液体浇铸铸件时,金属易于成型并获得优质铸件的性能,包括流动性、收缩性和偏析等。含碳量高的铸铁和青铜铸造性较好。

1.2.3.2 焊接性能

焊接性能指材料焊接时其工艺方法的难易程度及接口处是否能满足使用目的的特性。焊接性能的好坏一般用焊接处出现各类缺陷的倾向来评定。含碳量高的铸铁和铝合金,焊接性较差。含碳量小于 0.25% 的低碳钢,焊接性较好。

1.2.3.3 锻造性能

锻造性能指金属材料在锻压加工中能承受塑性变形而不破裂的能力。含碳量越高,锻造性越差。低碳钢锻造性好,合金钢锻造性较差。

1.2.3.4 切削加工性

切削加工性指材料被切削加工成合格零件的难易程度。包括:刀具耐用度较高;切削力较小,切削温度较低;容易获得良好的表面加工质量;容易控制切屑的形状或容易断屑。含碳量太高,切削性差。含碳量太低,切削性也差。

1.2.3.5 冲压性能

冲压性能指金属材料承受冲压变形加工而不破裂的能力。含碳量越高,冲压性越差,而铸铁不能进行压力加工。

1.2.3.6 热处理工艺性

热处理工艺性指材料被热处理时达到性能等要求的难易程度。淬硬性是钢淬火时获得高硬度的能力。含碳量越高,钢的淬硬性越好。淬透性是钢接受淬火时获得淬透层深度的能力,与合金元素有关。