



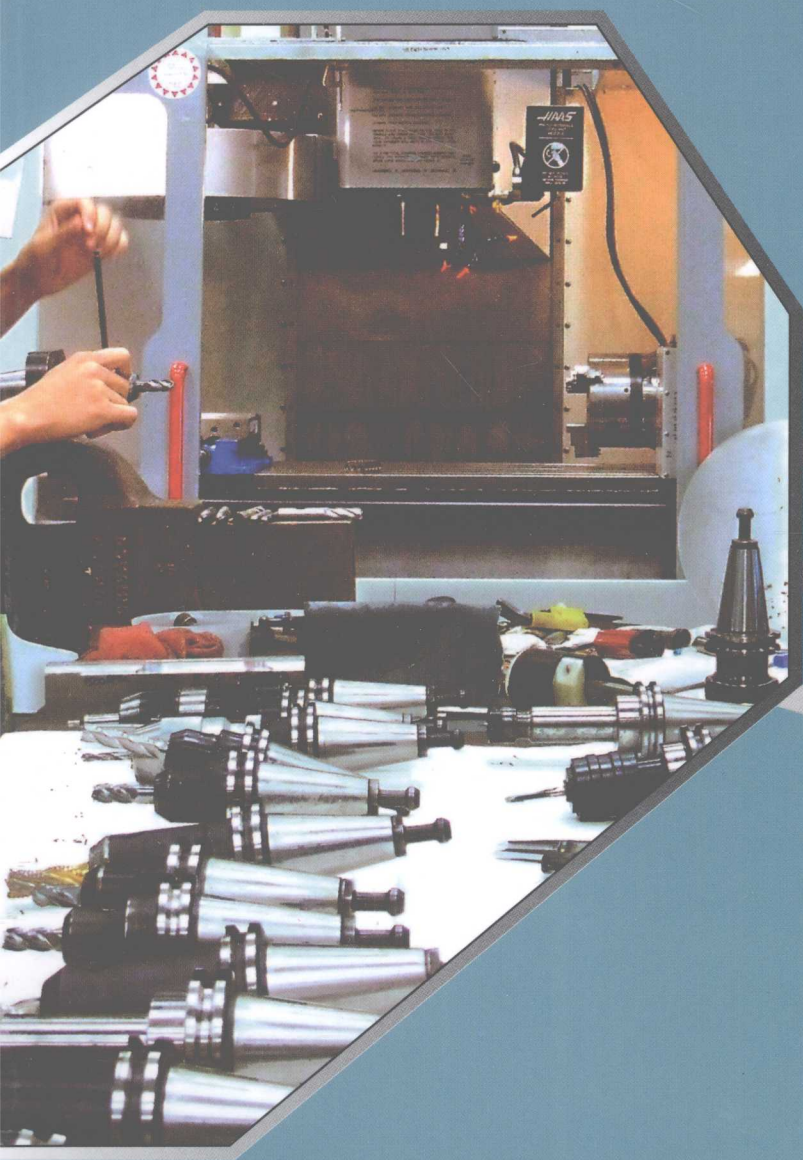
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

机械制造基础

第二版

乔世民 主编



高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械制造系列

机械制造基础

(第二版)

乔世民 主 编

刘 唯 副主编

乔世民 郁龙贵 刘 唯

张 弦 吴锡其 沈永鹤

编

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。是为适应培养高等技术应用性专门人才需要,经过结构优化、整合而成的一本强调应用基础知识的机械类专业基础课程教材。

本书以讲清概念、强调应用为教学目的,突出实用性、综合性、科学性、先进性,系统地讲述机械制造过程中的相关基础知识。全书除绪论外,共分11章,主要内容包括:工程材料、铸造、锻压、焊接、机械零件毛坯的选择、几何量公差、金属切削加工的基础知识、机械零件表面加工、机械加工工艺规程、特种加工、先进制造技术。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院机械类或机电类各专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/乔世民主编. —2版. —北京:高等教育出版社,2008. 12

ISBN 978 - 7 - 04 - 025074 - 9

I. 机… II. 乔… III. 机械制造 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第140395号

策划编辑 罗德春 责任编辑 李京平 封面设计 于涛 责任绘图 尹莉
版式设计 余杨 责任校对 姜国萍 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京嘉实印刷有限公司

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 27
字 数 650 000

版 次 2003年8月第1版
2008年12月第2版
印 次 2008年12月第1次印刷
定 价 34.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25074 - 00

第二版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在普通高等教育“十五”国家级规划教材《机械基础》的基础上修订而成。

本次修订遵循的指导思想仍是:打破学科教学课程体系,构建适应高职教学特点的课程内容;注意教学基本要求的知识点与能力点的培养;讲清概念、强调应用;在保证科学性的前提下,内容要更新且要丰富,使课程适用性强;同时充分考虑与专业课程内容的衔接。内容处理方式仍体现:以毛坯成形方法和机械零件表面切削加工方法为主线,吸纳现代制造体系中的相关内容,将机械制造过程中相关的基础知识有机串联起来,进行结构优化和整合,形成新的教学内容体系。因此,本次修订是在保持原教材编写总体框架不变的基础上,或更新或增加、删减某些章节的局部内容,使修订后的教材条理性更强,内容更加深入浅出、易于学习掌握和应用。

教材修订主要体现在以下几个方面:

1. 对第1、2、3、5、6、7章部分理论内容的编写进行了更新优化,或删节简化,增添了实例,并对某些实用性强的知识改用表格化的方式编写;

2. 第1章有关金属材料力学性能的符号和第6章中表面粗糙度的评定参数均采用了最新的国家标准编写(为方便读者,书中标有新老标准对照);

3. 考虑到机械加工基础知识的连贯性和系统性,将第一版教材第9章特种加工与第10章机械加工工艺规程编写的先后次序进行了调整,修订后的第二版教材前9章为课程的基本内容,后2章为拓展知识;

4. 为增强学生了解机械制造过程中应如何加强能源资源节约和生态环境保护意识,以及对可持续发展的认识,第11章增编了1节有关“绿色制造技术”的基本概念。

修订后的教材仍保持原教材内容丰富、涉及面广、适应性强的风格和特点。教材可供高职机械类或机电类各专业使用。不同学校、不同专业使用本教材时,可按教学的具体需要进行调整和取舍。

参加本教材编写的有:乔世民(绪论、第8章、第11章)、郁龙贵(第1章1.1~1.5)、刘唯(第2章、第5章、第7章)、张弦(第1章1.6、第3章)、吴锡其(第4章、第6章、第10章)、沈永鹤(第9章)。乔世民教授任主编并对全书进行统稿,刘唯教授任副主编。全书由上海交通大学杨建国教授和上海大学鞠鲁粤教授担任主审。

本书第一版自2003年8月出版以来,在教学使用中反映较好,受到了各兄弟院校的热情支持与肯定;本书在编写和修订过程中,参考并引用一些教材的内容和插图,在此一并感谢。第1版教材2007年荣获上海市优秀教材一等奖。

本书修订后仍难免有缺点或不足之处,敬请有关专家、同行、读者对修订后的教材能一如既往地给予关注和指正。

编者

2008.8

第一版前言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。

随着高职高专教育的蓬勃发展和高职高专教学改革的不深入,编写符合高职高专教育特色要求的教材,是促进高职高专教学改革、培养适应时代要求的高等技术应用性专门人才的一项重要工作。鉴于高职高专教育人才的培养模式和教学内容体系改革的要求,在吸取近年高职高专教学实践中成功经验的基础上,本着高职高专基础课程教材要体现以讲清概念、强化应用为教学目的的宗旨,本书对传统的“工程材料”、“热加工工艺基础”、“互换性与测量技术”、“机械加工工艺基础”等课程内容,进行分析取舍、结构优化,以毛坯成形工艺方法和机械零件表面加工工艺方法为主线,将机械制造过程中相关基础知识有机串联起来,又吸纳了现代制造体系中的“特种加工技术”和“先进制造技术”的相关内容,形成了新的教学内容体系。整合后的“机械制造基础”教材,各章既有相对独立性,又紧密联系、互相渗透,融为一体。

本书按90学时编写,内容丰富、涉及面广、适应性强。不同学校、不同专业使用本书时,可按具体教学需要进行调整或取舍。本书可供高职高专机械类或机电类各专业使用,也可作为相关工程技术人员的参考读物。

参加本书编写的有:乔世民(绪论、第8章、第11章)、郁龙贵(第1章1.1~1.5)、刘唯(第2章、第7章)、张弦(第1章1.6、第3章)、吴锡其(第4章、第5章、第6章、第9章)、沈永鹤(第10章)。乔世民教授任主编,刘唯副教授任副主编。全书由上海交通大学杨建国教授主审。

本书编写过程中,上海第二工业大学机电工程学院领导给予了大力支持,王文霞老师为文稿整理、编排做了大量工作。本书参考并引用了一些教材的内容和插图。在此一并表示感谢。

限于编者的水平,书中缺点、不妥之处在所难免,敬请有关专家、同行、读者不吝赐教。

编者

2003.2

目 录

绪论	1	1.6.2 陶瓷材料	78
第1章 工程材料	3	1.6.3 塑料、橡胶材料	80
1.1 金属材料的力学性能	3	1.6.4 复合材料	84
1.1.1 强度	3	复习与思考题	86
1.1.2 塑性	6	第2章 铸造	89
1.1.3 硬度	6	2.1 概述	89
1.1.4 冲击韧度	10	2.2 合金的铸造性能	90
1.1.5 疲劳强度	11	2.2.1 合金的充型能力	90
1.2 铁碳合金	11	2.2.2 合金的收缩性	92
1.2.1 金属的晶体结构与结晶	11	2.2.3 铸造生产常见缺陷	99
1.2.2 合金的晶体结构	15	2.3 铸造方法	101
1.2.3 铁碳合金相图	17	2.3.1 砂型铸造	101
1.2.4 碳素钢、铸铁	22	2.3.2 特种铸造	103
1.3 钢的热处理	32	2.4 铸造工艺设计	107
1.3.1 钢在加热时的组织转变	33	2.4.1 浇注位置和分型面的选择	107
1.3.2 钢在冷却时的组织转变	34	2.4.2 确定铸造主要工艺参数	112
1.3.3 钢的退火与正火	38	2.4.3 确定浇注系统	117
1.3.4 钢的淬火	39	2.4.4 绘制铸造工艺图	117
1.3.5 钢的回火	41	2.5 铸件结构工艺性	120
1.3.6 钢的表面淬火	42	2.5.1 铸造性对铸件结构的要求	120
1.3.7 钢的化学热处理	44	2.5.2 铸造工艺对铸件结构的要求	124
1.3.8 热处理的技术条件和结构 工艺性	46	复习与思考题	126
1.4 合金钢	48	第3章 锻压	129
1.4.1 合金钢的分类与编号	48	3.1 概述	129
1.4.2 合金结构钢	49	3.1.1 锻造生产的特点	129
1.4.3 合金工具钢	55	3.1.2 锻造生产的适用范围	129
1.4.4 特殊性能钢	61	3.1.3 锻压生产的发展趋势	130
1.5 有色金属	67	3.2 锻压工艺基础	130
1.5.1 铝及铝合金	67	3.2.1 金属的塑性变形	130
1.5.2 铜及铜合金	71	3.2.2 变形后金属的组织 and 性能	131
1.5.3 钛及其合金	72	3.2.3 金属的锻造性	133
1.5.4 滑动轴承合金	74	3.3 自由锻	134
1.6 其他材料	76	3.3.1 概述	134
1.6.1 粉末冶金材料	76	3.3.2 自由锻设备	134
		3.3.3 自由锻工序	137

3.3.4 自由锻件的分类和锻造过程	138	5.1.3 满足降低生产成本的要求	194
3.4 模锻	141	5.1.4 符合生产条件	195
3.4.1 锤上模锻	141	5.2 典型零件毛坯的选择	195
3.4.2 胎模锻	145	5.2.1 轴杆类零件的毛坯选择	195
3.4.3 压力机上的模锻	146	5.2.2 盘套类零件的毛坯选择	197
3.5 板料冲压	148	5.2.3 箱体机架类零件的毛坯选择	199
3.5.1 概述	148	复习与思考题	200
3.5.2 板料冲压的基本工序	149	第6章 几何量公差	202
3.6 锻压件结构设计	154	6.1 尺寸公差与配合	202
复习与思考题	159	6.1.1 极限与配合(GB1800)	202
第4章 焊接	160	6.1.2 极限制与配合制	206
4.1 概述	160	6.1.3 尺寸至500 mm孔、轴公差带 与配合	216
4.2 焊条电弧焊	162	6.1.4 配合的选用	217
4.2.1 焊接电弧	162	6.2 形状与位置公差	221
4.2.2 焊接接头	164	6.2.1 概述	221
4.2.3 焊条	165	6.2.2 形状公差与误差	224
4.2.4 焊接接头的金属组织与性能	167	6.2.3 位置公差与误差	228
4.2.5 焊接应力与变形	169	6.2.4 形位公差与尺寸公差的关系	235
4.3 其他焊接方法	169	6.2.5 形位公差的选用	240
4.3.1 埋弧自动焊	169	6.3 表面粗糙度	242
4.3.2 气体保护电弧焊	171	6.3.1 基本概念	242
4.3.3 气焊和气割	172	6.3.2 表面粗糙度的评定	243
4.3.4 电渣焊	175	6.3.3 表面粗糙度的参数值及其 选用	245
4.3.5 等离子弧焊	176	复习与思考题	248
4.3.6 压力焊与钎焊	176	第7章 金属切削加工基础知识	249
4.4 常用金属材料的焊接	180	7.1 加工质量	249
4.4.1 碳钢的焊接	180	7.1.1 加工精度	249
4.4.2 低合金结构钢的焊接	180	7.1.2 表面质量	250
4.4.3 不锈钢的焊接	182	7.2 切削运动	251
4.4.4 铸铁的焊补	182	7.2.1 切削运动	251
4.4.5 非铁金属的焊接	183	7.2.2 工件表面	252
4.5 焊接结构工艺设计	185	7.2.3 切削用量	252
4.5.1 焊接结构生产工艺过程概述	185	7.3 刀具切削部分的几何角度	253
4.5.2 焊接结构工艺设计	185	7.3.1 车刀的组成	254
4.5.3 焊接结构工艺设计实例	191	7.3.2 刀具几何角度参考系	254
复习与思考题	192	7.3.3 刀具标注角度	256
第5章 机械零件毛坯的选择	193	7.3.4 刀具工作角度	257
5.1 毛坯选择的原则	193	7.3.5 切削层参数	258
5.1.1 满足材料的工艺性能要求	193	7.4 刀具材料	259
5.1.2 满足零件的使用要求	194		

7.4.1 刀具材料应当具备的性能	259	8.2.3 外圆表面的磨削加工	305
7.4.2 高速钢	259	8.3 内圆表面加工	313
7.4.3 硬质合金	260	8.3.1 内圆表面的加工方法	313
7.5 金属切削过程	262	8.3.2 钻削加工	314
7.5.1 切屑的形成过程	262	8.3.3 镗削加工	321
7.5.2 第Ⅰ变形区	263	8.3.4 拉削加工	324
7.5.3 第Ⅱ变形区	265	8.3.5 内圆表面磨削加工	327
7.5.4 第Ⅲ变形区	267	8.4 平面加工	329
7.6 切削力	267	8.4.1 平面加工方法	329
7.6.1 切削力的来源、合力及其分力	267	8.4.2 刨削与插削加工	330
7.6.2 切削力的计算	269	8.4.3 铣削加工	333
7.6.3 切削功率的计算	269	8.4.4 平面磨削加工	341
7.6.4 影响切削力的主要因素	270	8.5 齿轮的齿形加工	343
7.7 切削热和切削温度	271	8.5.1 圆柱齿轮齿形加工方法	344
7.7.1 切削热的产生和传出	271	8.5.2 滚齿加工	345
7.7.2 切削温度的分布	272	8.5.3 插齿加工	348
7.7.3 影响切削温度的主要因素	272	8.5.4 齿形的其他加工方法	350
7.8 刀具磨损和刀具寿命	273	8.5.5 齿形加工方案的选择	352
7.8.1 刀具的磨损形式	273	复习与思考题	353
7.8.2 刀具磨损的原因	274	第9章 机械加工工艺规程	356
7.8.3 刀具的磨损过程及磨钝标准	274	9.1 工艺过程与工艺规程	356
7.8.4 刀具寿命	275	9.1.1 概述	356
7.9 工件材料的切削加工性	276	9.1.2 机械加工工艺过程的组成	356
7.10 金属切削条件的选择	277	9.1.3 生产纲领与生产类型	358
7.10.1 刀具几何参数的选择	277	9.1.4 机械加工工艺规程制订	359
7.10.2 刀具寿命的选择	280	9.1.5 零件的结构工艺性	365
7.10.3 切削用量的选择	280	9.2 典型零件机械加工工艺过程	370
7.10.4 切削液的选择	281	9.2.1 轴类零件加工	370
复习与思考题	282	9.2.2 套类零件加工	372
第8章 机械零件表面加工	284	9.2.3 箱类零件加工	376
8.1 金属切削机床的基础知识	284	复习与思考题	380
8.1.1 机床的分类	284	第10章 特种加工	382
8.1.2 机床型号的编制方法	285	10.1 概述	382
8.1.3 零件表面的切削加工成形方法 和机床的运动	289	10.2 电火花加工	383
8.1.4 机床传动的基本组成和传动 原理图	291	10.2.1 电火花加工原理	383
8.1.5 机床传动系统图和运动计算	292	10.2.2 电火花加工设备	385
8.2 外圆表面加工	294	10.2.3 电火花加工特点	386
8.2.1 外圆表面的加工方法	294	10.2.4 电火花加工的应用	387
8.2.2 外圆表面的车削加工	295	10.2.5 电火花线切割加工	388
		10.3 电解加工	388

10.3.1 电解加工原理	388	11.1.2 数控机床的基本组成及工作 原理	400
10.3.2 电解加工特点	389	11.1.3 数控机床的分类	402
10.3.3 电解加工的应用	390	11.1.4 数控机床的特点及应用范围	404
10.3.4 电解磨削	390	11.2 快速成形技术	405
10.4 超声波加工	390	11.2.1 快速成形技术的概念	405
10.4.1 超声波加工原理	390	11.2.2 快速成形技术的工作原理	406
10.4.2 超声波加工装置	391	11.2.3 快速成形技术的工艺方法	406
10.4.3 超声波加工特点	391	11.2.4 快速成形技术的特点和用途	407
10.5 激光加工	392	11.3 超精密与纳米加工技术	408
10.5.1 激光加工原理	392	11.3.1 超精密加工技术	408
10.5.2 激光加工特点	393	11.3.2 纳米加工技术	409
10.5.3 激光加工的应用	393	11.4 工业机器人	409
10.6 电子束加工	393	11.4.1 工业机器人的基本概念	409
10.6.1 电子束加工原理	393	11.4.2 工业机器人的应用	411
10.6.2 电子束加工装置	394	11.5 柔性制造技术	411
10.6.3 电子束加工特点	395	11.5.1 柔性制造单元	412
10.6.4 电子束加工的应用	395	11.5.2 柔性制造系统	412
10.7 离子束加工	396	11.5.3 计算机集成制造系统	414
10.7.1 离子束加工原理	396	11.6 绿色制造技术	415
10.7.2 离子束加工特点	396	11.6.1 绿色制造技术的含义	415
10.7.3 离子束加工的应用	397	11.6.2 绿色制造技术的组成	415
复习与思考题	399	复习与思考题	417
第11章 先进制造技术	400	参考文献	418
11.1 数控加工技术	400		
11.1.1 数字控制与数控机床的概念	400		

绪 论

1. 机械制造的概念

用系统的观点分析,机械制造的概念是指将毛坯(或材料)和其他辅助材料作为原料,输入机械制造系统,经过存储、运输、加工、检验等环节,最后实现符合要求的零件或产品从系统输出。概括地讲,机械制造就是将原材料转变为成品的各种劳动总和。其过程大致包括以下阶段:

(1) 技术准备阶段

某种零件或产品投产前,必须作各项技术准备工作,首先要制订工艺规程,这是指导各项技术操作的重要文件。此外,原材料供应,刀具、夹具、量具的配备,热处理设备和检测仪器的准备,都要在技术准备阶段安排就绪。

(2) 毛坯制造阶段

毛坯可由不同的方法获得。常用获得毛坯的方法有铸造、锻压、焊接和型材。具体应根据零件批量、尺寸、形状、性能要求等因素选用不同的毛坯成形方法。合理选择毛坯可提高生产率、降低成本。

(3) 零件加工阶段

金属切削加工是目前各种零件的主要加工方法。通用的加工设备有车床、铣床、钻床、刨床、镗床、磨床等;此外,还有专用机床、特种加工机床、数控机床等。采用哪种加工方法,选用哪种加工设备,要根据零件批量、精度、表面粗糙度和各种技术要求等诸多因素综合考虑,以达到既保证零件质量要求,又保证生产效率高、成本低。

(4) 产品检验和装配

每个零件按其在机器中的作用不同,都有一定的精度、表面粗糙度和相关的技术要求,而零件在加工过程中,不可避免地会产生加工误差。因此,必须设定检验工序,以对加工过程产生的尺寸、几何形状误差等进行检验。此外,对于承受重载或高温、高压条件下工作的零件还应进行内部性能检验,如缺陷检验、力学性能或金相组织检验等。只有当质量检验全面合格后零件才能使用。

装配过程中必须严格遵守技术条件的规定,如零件的清洗、装配顺序、装配方法、工具使用、结合面修磨、润滑剂施加及运转跑合、油漆色泽和包装,都不能掉以轻心,只有这样才能生产出符合要求的合格产品。

2. 机械制造业在国民经济中的作用

机械制造业是所有与机械制造有关的企业机构的总体。机械制造业是国民经济的基础产业。在国民经济的各条战线上,乃至人民生活中广泛使用的大量机器设备、仪器、工具都是由机械制造业提供的。因此,机械制造业不仅对提高人民生活水平起着重要保障作用,而且对科学技术发展,尤其对现代高新技术的发展起着更为积极的推动作用。如果没有机械制造业提供质量优良、技术先进的技术装备,将直接影响工业、农业、交通、科研和国防各部门的生产技术和整体水平,进而影响一个国家的综合生产实力。“经济的竞争归根到底是制造技术和制造能力的竞

争”。可见,机械制造业的发展水平是衡量一个国家经济实力和科技水平的重要标志之一。

21 世纪是综合国力竞争的年代,我国要实现四个现代化全面进入“小康”社会,就必须大力发展机械制造业及机械制造技术。

3. 本课程的性质和研究内容

“机械制造基础”是为适应高职高专教学改革需要而重新构建的一门课程。它是将“工程材料”、“热加工工艺基础”、“互换性与测量技术”、“机械加工工艺基础”等传统课程内容,经过分析取舍、结构优化、再吸纳了现代制造体系中的“特种加工技术”、“先进制造技术”的相关内容,整合而形成的一门强调机械制造应用基础知识的机械类课程。设置本课程的目的,不仅使学生在常用工程材料、毛坯与零件的成形方法、公差与配合、切削加工及拟订工艺规程的原则等方面获得必要的基础知识,更重要的是培养学生解决实际问题的能力。

本课程的实践性很强,学习本课程之前应具有一定的感性知识。因此,本课程应在“热加工实训”和“机加工实训”之后进行讲授。通过实训,学生初步熟悉了毛坯和零件的成形、切削的方法,常用设备和工具的基本原理和大致结构,并对毛坯或零件加工工艺过程有一定的了解。在此基础上学习本课程才能达到预期的教学目的。

本课程研究的内容是工程材料和机械加工过程中的基础知识。考虑到后续课程安排,教材内容处理上有所区别。“工程材料”部分以剖析铁碳合金的金相组织为基础,以介绍工程材料的性质和合理选材为重点。“铸造”、“锻压”、“焊接”各占有一定的篇幅,因为这方面知识是必不可少的,而且本课程前后均未安排与此有关的课程。“几何量公差”部分,介绍概念与选用。“机械零件毛坯的选择”、“金属切削加工的基础知识”、“机械零件表面加工”和“机械加工工艺规程”部分,则着重在“机加工实训”的基础上,把感性知识上升到理论高度,进而归纳成系统性基础知识,为后续课程打好基础。而“特种加工”和“先进制造技术”部分,则着眼于拓宽知识面、提高人才培养的专业适应性。

4. 本课程的任务和要求

本课程的任务在于使学生获得机械制造过程中所必须具备的应用性基础知识和技能。学生学习本课程后,应熟悉各种工程材料性能,并具有合理选用所需材料的能力;初步掌握和选用毛坯或零件的成形方法及机械零件表面加工方法;具有选用公差配合的能力;了解工艺规程制订的原则及特种加工、先进制造技术的概念和应用场合。

本课程实践性强,涉及知识面广。学习本课程时,除要重视基本概念、基本知识外,一定要注意理论与实践的结合,只有在实践中加深对课程内容的理解,才能将所学的知识转为技术应用能力。

第1章 工程材料

各类机电产品,大多是由种类繁多、性能各异的工程材料通过加工制成的零件构成的。

工程材料分金属材料和非金属材料,其中金属材料是工程中应用最广泛的。本章主要介绍金属材料的力学性能、组织、热处理工艺等基本知识,以及常用金属材料和非金属材料的应用知识。

1.1 金属材料的力学性能

金属材料的性能包括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应具备的性能,它包括力学性能(强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳强度等)、物理性能(密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性等)和化学性能(耐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是金属材料从冶炼到成品的生产过程中,适应各种加工工艺(如冶炼、铸造、冷热压力加工、焊接、切削加工、热处理等)应具备的性能。

金属材料的力学性能是指金属材料在载荷作用时所表现的性能。这些性能是机械设计、材料选择、工艺评定及材料检验的主要依据。

1.1.1 强度

金属材料的强度、塑性一般可以通过金属拉伸试验来测定。

1. 拉伸试样

拉伸试样的形状通常有圆柱形和板状两类。图 1.1.1 中的为按 GB/T 228—2002 要求制成的圆柱形拉伸试样。在圆柱形拉伸试样中 d_0 为试样直径, L_0 为试样的标距长度,根据标距长度和直径之间的关系,试样可分为长试样($L_0 = 10d_0$)和短试样($L_0 = 5d_0$)。

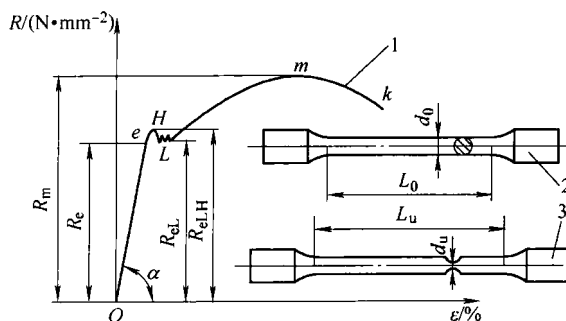


图 1.1.1 拉伸试样与拉伸曲线

1—低碳钢拉伸曲线;2—拉伸试样;3—拉伸后的试样

2. 拉伸曲线

在拉伸试验机上夹紧试样两端,缓慢地对试样施加轴向拉伸力,使试样被逐渐拉长,最后被拉断。通过试验可以得到拉伸力 F 与试样伸长量 ΔL 之间的关系曲线称为拉伸曲线。为消除试样几何尺寸对试验结果的影响,将拉伸试验过程中试样所受的拉伸力转化为试样单位截面积上所受的力称为应力,用 R 表示,即 $R = F/S_0$,单位为 N/mm^2 (MPa);试样伸长量转化为试样单位长度上的伸长量称为应变,用 ε 表示,即 $\varepsilon = \Delta L/L_0$,从而得到 $R - \varepsilon$ 曲线(图 1.1.1),其形状与 $F - \Delta L$ 曲线完全一致。

拉伸曲线中, Oe 段为直线,即在应力不超过 R_e 时,应力与应变成正比关系,此时,将外力去除后,试样将恢复到原来的长度。这种能够完全恢复的变形称为弹性变形;当应力超过 R_e 后,试样的变形不能完全恢复而产生塑性变形。当应力增大至 H 点后,曲线呈近似水平直线状,即应力不增大而试样伸长量在增加,这种现象称为屈服。屈服后试样产生均匀的塑性变形,应力增大到 m 点后,试样产生不均匀的塑性变形,即试样发生局部直径变细的“颈缩”现象。至 k 点时,试样在颈缩处被拉断。

通过对拉伸曲线的分析,可以直接在曲线上读出一系列强度指标,并可根据试验结果计算出塑性指标值。

3. 弹性和刚性

材料的弹性指标主要是指弹性极限,刚性指标则是指材料的弹性模量。

(1) 弹性极限(R_e)

弹性极限是指在产生完全弹性变形时材料所能承受的最大应力。即

$$R_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中 F_e ——试样完全弹性变形时所能承受的最大载荷, N;

S_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

服役条件不允许产生微量塑性变形的弹性元件(如汽车板簧、仪表弹簧等)均是按弹性极限 R_e 来进行设计选材的。

(2) 弹性模量(E)

弹性模量是指在应力应变曲线上完全弹性变形阶段,应力与应变的比值。即

$$E = \frac{R}{\varepsilon}$$

在工程上 E (单位为 N/mm^2)称为材料的刚度,是材料的重要力学性能指标之一,它表征材料对弹性变形的抗力。其值愈大,材料产生一定量的弹性变形所需要的应力愈大,表明材料不容易产生弹性变形,即材料的刚度大。在机械工程中的一些零件或构件,除了满足强度要求外,还应严格控制弹性变形量,如锻模、镗床的镗杆,若没有足够的刚度,所加工的零件尺寸就不精确。

需要指出的是,金属材料的弹性模量 E 主要决定于基体金属的性质,当基体金属确定时,难于通过合金化、热处理、冷热加工等方法使之改变,即 E 是结构不敏感性参数,如钢铁材料是铁基合金,不论其成分和组织结构如何变化,室温下的值均在 $(20 \sim 21.4) \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 范围之内。而陶瓷材料、高分子材料、复合材料的弹性模量对其成分和组织结构是敏感的,可以通过不同的

方法使之改变。

4. 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力。常用的材料强度指标有屈服强度和抗拉强度等。

(1) 屈服强度

屈服强度是指当材料呈现屈服现象时,在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点,区分为上屈服强度和下屈服强度(旧国家标准用 σ_s 表示)。上屈服强度(R_{eH})是试样发生屈服而力首次下降前的最高应力;下屈服强度(R_{eL})是指在屈服期间,不计初始瞬时效应时的最低应力。即

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0}, \quad R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0}$$

式中 F_{eH} ——试样发生屈服而力首次下降前承受的最大载荷,N;

F_{eL} ——试样发生屈服时承受的最小载荷,N;

S_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

对于无明显屈服现象的材料,则规定以残余应变量为0.2%时的应力值作为屈服强度,即所谓的“条件屈服强度”,记作 $R_{0.2}$,如图1.1.2所示。

屈服强度是工程上最重要的力学性能指标之一。其工程意义在于:① 绝大多数零件(如紧固螺栓、汽车连杆、机床丝杠等)在工作时都不允许产生明显的塑性变形,否则将丧失其自身精度或与其他零件的相对配合受影响,因此屈服强度(一般为下屈服强度)是防止材料因过量塑性变形而导致机件失效的设计和选材依据;② 根据屈服强度与抗拉强度之比(屈强比)的大小,衡量材料进一步产生塑性变形的倾向,作为金属材料冷塑性变形加工和确定机件缓解应力集中防止脆性断裂的参考依据。

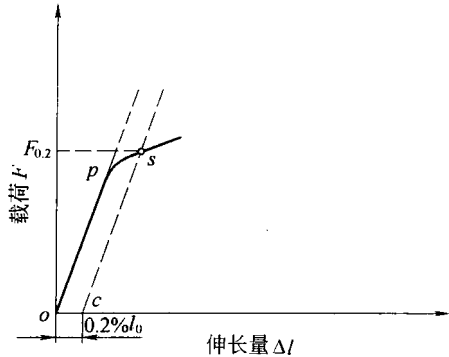


图 1.1.2 屈服强度测定

(2) 抗拉强度 R_m (旧国家标准用 σ_b 表示)

抗拉强度是指材料在拉伸过程中,相应最大力的应力。即

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

式中 F_m ——试样在屈服阶段之后所能抵抗的最大力,对于无明显屈服(连续屈服)的金属材
料,为试验期间的最大力,N;

S_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

抗拉强度是工程上最重要的力学性能指标之一。对塑性较好的材料, R_m 表示了材料对最大均匀变形的抗力;而对塑性较差的材料,一旦达到最大载荷,材料迅即发生断裂,故 R_m 也是其断裂抗力(断裂强度)指标。

1.1.2 塑性

塑性是指材料在外力作用下能够产生永久变形而不破坏的能力。常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率 A (旧国家标准用 δ 表示)

断后伸长率是指断后试样标距与原始标距之比的百分率。即：

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_u ——试样断裂后的标距, mm;

L_0 ——试样的原始标距, mm。

材料伸长率与试样原始标距 L_0 和原始截面积 S_0 密切相关, 在 S_0 相同的情况下, L_0 愈长则 A 愈小, 反之亦然。因此, 对于同一材料而具有不同长度或截面积的试样要得到比较一致的 A 值, 或者对于不同材料的试样要得到可比较的 A 值, 必须使 $L_0/\sqrt{S_0}$ 为一常数。国家标准规定, 此值为 11.3 (相当于 $L_0 = 10d_0$ 的试样) 或 5.65 (相当于 $L_0 = 5d_0$ 的试样), 所得的伸长率以 $A_{11.3}$ 或 $A_{5.65}$ 省去脚注 5.65 表示。同种材料的 A 为 $A_{11.3}$ 的 1.2 ~ 1.5 倍, 所以, 对不同材料, 只有 $A_{11.3}$ 与 $A_{11.3}$ 比较或者 A 与 A 比较才是正确的。

2. 断面收缩率 Z (旧国家标准用 ψ 表示)

断面收缩率是指断后试样横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比的百分率。即：

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_u ——试样断裂处的最小横截面积, mm²;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm²。

断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 越大, 材料的塑性越好。一般认为, $A < 5\%$ 的材料为脆性材料。

材料具有一定的塑性可保证某些成形工艺 (如冷冲压、轧制、冷弯、校直、冷铆) 和修复工艺 (如汽车外壳或挡泥板受碰撞而凹陷) 的顺利进行; 对于金属材料, 塑性指标还能反映材料冶金质量的好坏, 是材料生产与加工质量的标志之一。

必须指出的是图 1.1.1 所示退火低碳钢的 $R - \varepsilon$ 曲线是一种最典型的情形, 而并非所有的材料或同一材料在不同条件下都具有相同类型的拉伸曲线。

1.1.3 硬度

硬度是指材料在表面上的不大体积内抵抗局部塑性变形或破坏的能力, 是表征材料性能的一个综合参量, 能够反映金属材料在化学成分、金相组织和热处理状态上的变化, 是检验产品质量、研制新材料和确定合理的加工工艺不可缺少的检测性能方法之一。同时硬度试验是金属力学性能试验中最简便、最迅速的一种方法。

硬度试验方法很多, 一般可分三类: 压入法 (如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和显微硬度)、划痕法 (如莫氏硬度) 和回跳法 (如肖氏硬度等)。目前机械制造生产上应用最广泛的硬度是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验原理如图 1.1.3 所示。按 GB/T 231.1—2002 的规定,对一定直径的硬质合金球施加试验力压入试样表面,经规定的保持时间后,卸除试验力,测量试样表面的压痕直径。将单位面积承受的平均应力乘以一常数后定义为布氏硬度,即:

$$HBW = 0.102 \times \frac{F}{S} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力,N;
 S ——压痕表面积,mm²;
 d ——压痕直径,mm;
 D ——硬质合金球直径,mm。

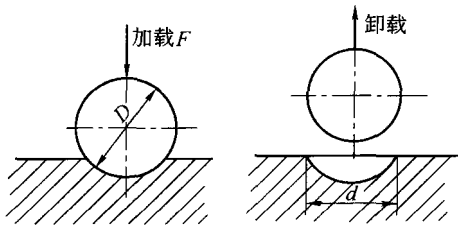


图 1.1.3 布氏硬度试验原理图

布氏硬度值的表示方法为:硬度值 + HBW + 球直径 + 试验力 + 与规定时间。试验力保持时间在 10 ~ 15 s 时不标注。

例如:350HBW5/750 表示用直径 5 mm 硬质合金球在 7 355 N 试验力作用下保持 10 ~ 15 s 测得的布氏硬度值为 350;600 HBW1/30/20 表示用直径 1 mm 硬质合金球在 294.2 N 试验力作用下保持 20 s 测得的布氏硬度值为 600。实际测定时可根据测得的 d 按已知的 F 、 D 值查表求得硬度值。布氏硬度试验的上限为 650 HBW。

目前布氏硬度主要用于铸铁、非铁金属以及经退火、正火和调质处理的钢材。表 1.1.1 为不同材料的试验力 - 压头球直径平方的比率。

表 1.1.1 不同材料的试验力 - 压头球直径平方的比率 (GB/T 231.1—2002)

材料	布氏硬度 HBW	试验力 - 压头球直径平方的比率 $0.102F/D^2$
钢、镍合金、钛合金		30
铸铁 ^①	< 140	10
	≥ 140	30
铜及铜合金	< 35	5
	35 ~ 200	10
	> 200	30
轻金属及合金	< 35	2.5
	35 ~ 80	5
		10
		15
	> 80	10
		15
铅、锡		1

① 对于铸铁的试验,压头球直径一般为 2.5 mm、5 mm 和 10 mm。

布氏硬度试验的优点是测出的硬度值准确可靠,因压痕面积大而能消除因组织不均匀引起的测量误差;布氏硬度值与抗拉强度之间有近似的正比关系。但压痕大,不宜测量成品件,也不

宜测量薄件;测量速度慢,测得压痕直径后还需计算或查表。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验按 GB/T 230. 1—2004 规定,将压头(金刚石圆锥、钢球和硬质合金)按图1. 1. 4分两个步骤压入试样表面,经规定保持时间后,卸除主试验力,测得在初试验力下的残余压痕深度 h 。洛氏硬度用符号 HR 表示。即

$$HR = N - \frac{h}{S}$$

式中 N ——给定标尺的硬度值;
 h ——卸除主试验力后,在初试验力下压痕残留的深度(残余压痕深度),mm;
 S ——给定标尺的单位,mm。

为了能用同一台硬度计测定不同材料与工件的硬度,常采用材料与形状尺寸不同的压头和总负荷组成不同的洛氏硬度标尺,见表 1. 1. 2。

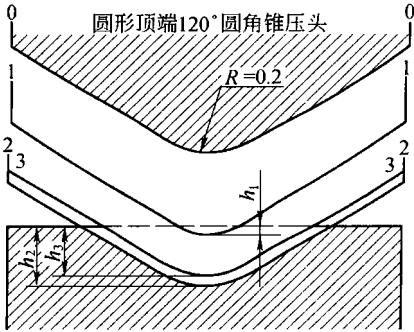


图 1. 1. 4 洛氏硬度实验原理图

$$HRA/HRC/HRD = 100 - \frac{h}{0.002}$$

$$HRB/HRE/HRF/HRG/HRH/HRK = 130 - \frac{h}{0.002}$$

$$HRN/HRT = 100 - \frac{h}{0.001}$$

实际检测时,HR 值可从硬度计的百分度盘上直接读出,标记时硬度值位于 HR 之前,如 60HRC、75HRA 等。HRA 主要用于高硬度表面、硬质合金的硬度测试,HRB 主要用于退火钢、铸铁、非铁金属的硬度测试,HRC 主要用于淬火钢的硬度测试。

洛氏硬度试验操作简便,可以测定软、硬金属的硬度,也可测定较薄工件的硬度;压痕小,可用于成品检验。但由于压痕小,测量组织不均匀的金属硬度时,重复性差,而且不同标尺测得硬度值既不能直接进行比较,又不能彼此互换。

表 1. 1. 2 洛氏硬度标尺 (GB/T 230—2004)

洛氏硬度标尺	硬度符号	压头类型	初试验力 F_0/N	主试验力 F_1/N	总试验力 F/N	适用范围
A	HRA	金刚石圆锥	98.07	490.3	588.4	20HRA ~ 88HRA
B	HRB	直径 1.587 5 mm 球	98.07	882.6	980.7	20HRB ~ 100HRB
C	HRC	金刚石圆锥	98.07	1373	1471	20HRC ~ 70HRC
D	HRD	金刚石圆锥	98.07	882.6	980.7	40HRD ~ 77HRD
E	HRE	直径 3.175 mm 球	98.07	882.6	980.7	70HRE ~ 100HRE
F	HRF	直径 1.587 6 mm 球	98.07	490.3	588.4	60HRF ~ 100HRF
G	HRG	直径 1.587 7 mm 球	98.07	1373	1471	30HRG ~ 94HRG