

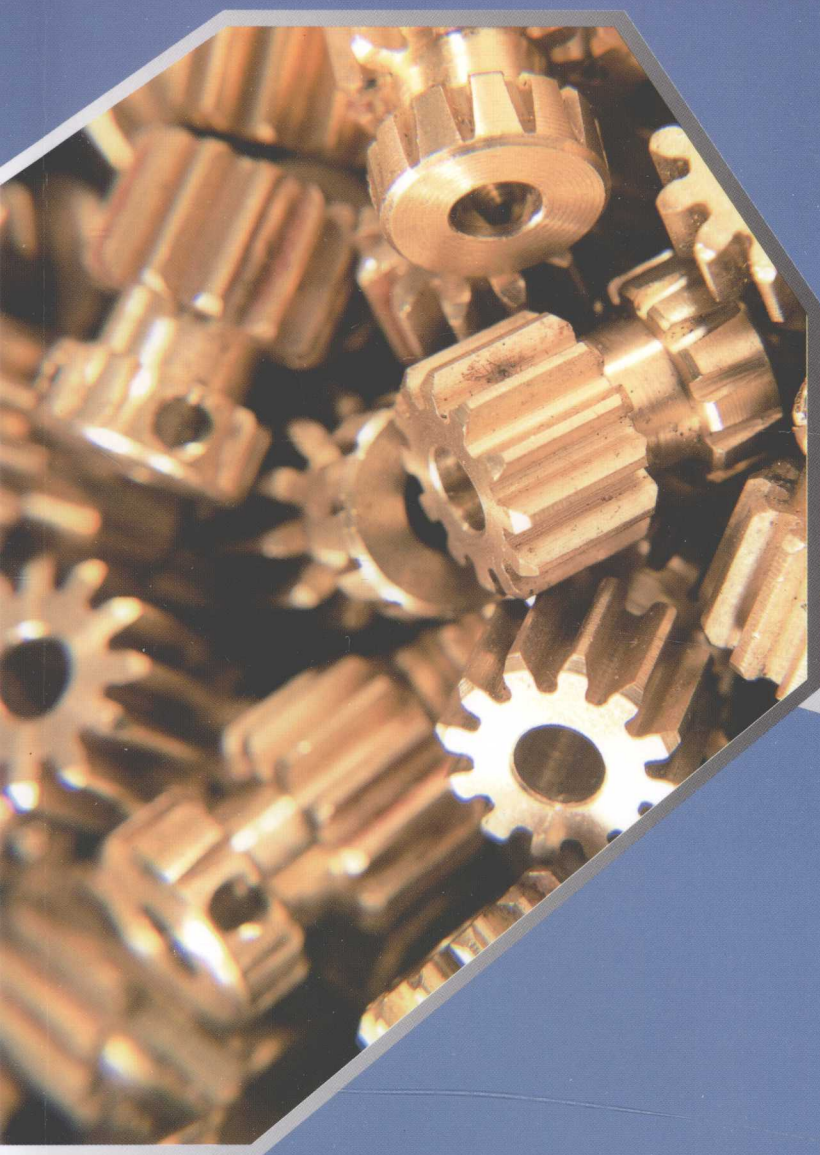


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

机械工程材料成形技术

李凤云 主 编
刘乐庆 彭新荣 副主编



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

机械工程材料成形技术

Jixie Gongcheng Cailiao Chengxing Jishu

李风云 主 编
刘乐庆 彭新荣 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是教育部“新世纪高职高专机械基础课程教学内容体系改革、建设的研究与实践”研究成果之一,是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书以成形方法为主线,介绍了金属、非金属、复合材料的结构、性能特点及应用范围。采用学校条件易于实现的常用成形方法,将产品的生产与检验、理论教学、实习和实验等内容融为一体,使学生对材料和成形方法有一个全面的认识,通过自己动手达到学以致用和学而会用的目的。本书还介绍了热处理新工艺及表面处理技术、材料成形自动化等新技术。在“材料及成形工艺的选择”一章中,通过一些典型零件材料及成形工艺的选择对材料及成形方法的应用进行了全面的强化。全书除绪论外共分 11 章,各章后附有适量的习题与思考题。

本书按理论教学 30~50 学时、实践性教学 30~50 学时编写,可作为高职高专机械类及相关专业的教材,也可供电大、函大等同类专业选用,还可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料成形技术/李风云主编. —北京:高等教育出版社,2010.3

ISBN 978-7-04-028410-2

I. 机… II. 李… III. 机械制造材料—高等学校:技术学校—教材 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 226248 号

策划编辑	罗德春	责任编辑	王素霞	封面设计	杨立新
版式设计	余 杨	责任校对	王 超	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

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 唐山市润丰印务有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 25
字 数 610 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 3 月第 1 版
印 次 2010 年 3 月第 1 次印刷
定 价 32.40 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 28410-00

第二版前言

本书是职业院校电子信息类、电气控制类专业规划教材的修订版。编者根据“以服务为宗旨、以就业为导向”的职业教育办学方针,坚持手脑并用、做学合一的教学原则,融“教、学、做”为一体,开展职业技能鉴定工作,推行“双证书”制度,强化学生职业能力培养的精神。经征求全国各地使用本书第一版部分读者的反馈意见,参考国家职业技能鉴定中级和高级维修电工、家用电子产品维修工等技术等级标准,第2版增加了一些重点项目的实际操作案例。

本书仍划分为9章,包括:电气测量与仪器的基本知识;电流与电压的测量及仪器;电功率的测量及仪器;电能的测量及仪器;频率、相位和功率因素的测量及仪器;电阻的测量及仪器;电感和电容的测量及仪器;磁性测量及仪器;数字仪表。

本书在第2章第5节中增加了“光电检流计的使用和保养”的内容;第2章第6节中增加了“晶体管毫伏表简介”的内容;第4章第4节中增加了“电能表常见故障的处理”的内容;第5章第3节中对示波器的组成与工作原理进行了简化和整理;第6章第1节中增加了“万用电桥”的内容;第6章第2节中增加了“绝缘电阻表的故障检修”的内容;第6章第5节中增加了“电阻器的检测与选用”的内容;第6章中增加了“晶体管、晶闸管的检测方法”一节的内容;第7章第3节中增加了“变压器和线圈的检测与选用”的内容;第7章第4节中增加了“电容器的检测与选用”的内容;第9章第3节中将“数字万用表的常见转换电路”修改为“DT-890型数字万用表”的内容;第9章第4节中增加了“数字式频率计”的内容;第9章第5节中修改了“数字存储示波器的基本组成”的内容,增加了“TDS2002数字存储示波器的面板、正确使用”的内容;第9章中增加了“数字电桥”一节的内容。

全书由常州轻工职业技术学院吴旗任主编并进行统稿,其中第1章、第2章、第9章和附录的内容由吴旗编写;第6章、第7章和第8章内容由常州轻工职业技术学院俞亚珍编写;第3章、第4章和第5章由常州轻工职业技术学院庄丽娟编写。本书可作为职业院校电工电子类、电气控制类及自动化仪表类等专业的教材,也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

限于编者水平,不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者
2010年2月

第一版前言

本书是职业院校电子信息类、电气控制类专业规划教材。编者结合近年来职业院校该课程的教改实践及最新科技成果,根据职业教育培养“应用型和技能型”人才的精神,依据“电气测量与仪器”的课程教学基本要求,并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写而成。

本书在编写中力图体现以下特点:

1. 根据电气测量仪器仪表面广量大、种类繁多的特征,教材突出基本性和简洁性。全书注重基本概念、基本方法、基本应用的阐述。

2. 根据高等职业教育的培养目标,教材突出应用性、实践性和技能性。由于本书内容本身对应用性要求很强,所以对所涉及的原理只是粗略介绍,而注重其使用和选择的阐述,书中对电气测量仪器仪表常见应用和易出现的一些问题进行了必要的阐述,并在附录中安排了参考实训项目和部分仪表的常见故障及消除方法的介绍。

3. 根据教育理论和教学规律,教材突出典型性。教材除介绍了常用的仪器仪表结构原理和典型应用,还对典型仪器仪表的使用方法和注意事项进行了阐述,期望读者能达到举一反三、触类旁通的效果。

4. 根据事物发展的规律,教材体现新颖性。教材努力反映新知识、新技术和新方法,尽可能反映国内外电气测量仪器的新成果、新进展,如新型电能表、数字存储示波器、虚拟仪器等。

5. 根据使用行业不同、地区不同的现实,教材内容体现可选性。本书可根据课时需要对第8章(磁性测量及仪器)全章和第5、6、7、9章中的部分内容进行筛选,突出了教材内容的可选性和使用的广泛性。

6. 根据读者的年龄及知识结构,教材体现可读性。本书内容丰富、层次清晰、重点突出、深入浅出,用了大量的图表很好地说明教学内容,配备了一定量的思考题及习题。

全书由常州轻工职业技术学院吴旗任主编并进行统稿。其中,第1章、第2章、第9章和附录的内容由吴旗编写;第6章、第7章和第8章内容由常州轻工职业技术学院俞亚珍编写;第3章、第4章和第5章由常州轻工职业技术学院庄丽娟编写。全书由湖南铁道职业技术学院赵承荻主审。常州轻工职业技术学院朱世杰老师对本书进行了一些文字处理工作,在此表示感谢。本书除可作为高等职业技术学院和普通高等院校电工电子类、电气控制类及自动化仪表类等专业的教材外,还可供有关专业师生及工程技术人员参考。

本书在编写体系和内容取舍方面进行了一些尝试。限于编者水平,加之时间仓促,疏漏和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2004年4月

目 录

绪论	1	要求	81
第1章 工程材料的性能	3	2.3.2 铸造工艺对零件结构的要求	84
1.1 概述	3	2.3.3 不同铸造方法对铸件结构的要求	87
1.1.1 材料的使用性能	3	2.4 重结晶(热处理)对钢铁材料性能的影响	89
1.1.2 材料的工艺性能	4	2.4.1 钢在加热时的转变(重结晶)	90
1.2 材料在静载荷作用下的主要力学性能指标	5	2.4.2 钢在冷却时的转变(重结晶)	91
1.2.1 拉伸试验	5	2.4.3 常用的整体热处理方法	96
1.2.2 硬度	9	2.4.4 常用的表面热处理方法	101
1.2.3 断裂韧性	12	2.4.5 热处理新技术简介	104
1.3 材料在动载荷作用下的力学性能	13	2.4.6 热处理零件的结构工艺性及技术条件标注	106
1.3.1 冲击韧度	13	2.5 常用铸件	111
1.3.2 疲劳强度	14	2.5.1 铸铁件	111
1.4 材料力学性能指标的应用实践	15	2.5.2 铸钢件	121
1.4.1 材料各主要力学性能指标的应用	15	2.5.3 非铁合金铸件	123
1.4.2 材料力学性能指标的合理配合应用	17	习题与思考题	130
习题与思考题	18	第3章 金属材料的塑性成形	133
第2章 金属材料的铸造成形	20	3.1 金属塑性成形基础	133
2.1 金属液态成形基础	20	3.1.1 单晶体和多晶体的塑性变形	133
2.1.1 纯金属的结晶	20	3.1.2 塑性变形对金属组织与性能的影响	134
2.1.2 合金的结晶	28	3.1.3 金属塑性成形的工艺基础	137
2.1.3 铸造工艺基础	42	3.2 常用的塑性成形方法	140
2.2 常用的铸造方法	51	3.2.1 自由锻件的生产与检验	140
2.2.1 砂型铸造及产品生产检验(实训教学内容)	51	3.2.2 模锻	147
2.2.2 少、无切削的铸造方法(特种铸造)	74	3.2.3 板料冲压	153
2.2.3 常用铸造方法比较	80	3.3 少、无切削的塑性成形方法	158
2.3 零件结构的铸造工艺性	81	3.3.1 精密模锻	158
2.3.1 合金的铸造性能对零件结构的		3.3.2 精密冲裁	159
		3.3.3 挤压成形	159
		3.3.4 轧制成形	160

3.3.5 超塑性成形	161	5.1.1 粉末的化学成分及性能	251
3.3.6 高能率成形	162	5.1.2 粉末冶金机理	252
3.3.7 材料成形复合工艺	163	5.2 粉末冶金工艺	253
3.4 常用的塑性成形金属材料	165	5.2.1 粉末制备	253
3.4.1 工业用钢	165	5.2.2 粉末的预处理	253
3.4.2 非铁合金	188	5.2.3 坯料成形	254
习题与思考题	197	5.2.4 烧结	255
第4章 焊接与胶接成形	199	5.2.5 后处理	256
4.1 焊接成形基础	200	5.3 粉末冶金零件结构的工艺性	257
4.1.1 熔焊冶金反应特点	200	5.4 粉末冶金材料	258
4.1.2 焊接接头的组织和性能	200	习题与思考题	264
4.1.3 焊接应力与变形	201	第6章 非金属材料成形	265
4.1.4 焊接裂纹	204	6.1 高分子材料成形	265
4.1.5 材料的焊接性	205	6.1.1 高分子材料成形基础	265
4.2 焊接成形方法	206	6.1.2 高分子材料成形加工	273
4.2.1 熔焊	206	6.1.3 常用高分子工程材料	280
4.2.2 压焊和钎焊	214	6.1.4 高分子材料产品制造(实训教学 内容)	290
4.3 少、无切削的焊接与切割技术	219	6.1.5 高分子材料的发展趋势	294
4.3.1 等离子弧焊接和切割	219	6.2 陶瓷材料的成形	295
4.3.2 电子束焊接	220	6.2.1 陶瓷材料成形基础	295
4.3.3 激光焊接与切割	220	6.2.2 陶瓷材料的成形	301
4.3.4 超声波焊接	222	6.2.3 陶瓷材料产品制造	307
4.3.5 扩散焊	222	习题与思考题	310
4.3.6 水射流切割	223	第7章 复合材料成形	311
4.4 常用工程材料的焊接	224	7.1 复合材料成形基础	311
4.4.1 常用金属材料的焊接	224	7.1.1 复合材料复合强化原理	311
4.4.2 非金属材料的焊接	227	7.1.2 复合材料的分类	311
4.5 焊接件生产与检验(实训教学 内容)	229	7.1.3 复合材料的性能特点	312
4.5.1 焊接生产过程简介	229	7.2 复合材料制品的成形方法	313
4.5.2 工件的生产与检验	229	7.2.1 树脂基复合材料的成形方法	313
4.6 胶接	246	7.2.2 陶瓷基复合材料的成形方法	315
4.6.1 胶接基础	246	7.2.3 金属基复合材料的成形方法	316
4.6.2 胶接工艺与胶接接头	246	7.3 常用复合材料	316
4.6.3 胶接技术的应用	248	7.3.1 高聚物基复合材料	316
习题与思考题	249	7.3.2 金属基复合材料	318
第5章 粉末冶金成形	251	7.3.3 陶瓷基复合材料	319
5.1 粉末冶金基础	251	7.3.4 碳/碳复合材料(C/C)	319

7.4 复合材料产品的制造	320	9.2.7 表面着色和染色	341
7.5 复合材料的发展趋势	321	9.3 表面改性技术	343
习题与思考题	322	9.3.1 激光表面改性	343
第8章 功能材料简介	323	9.3.2 喷丸强化	345
8.1 功能金属材料	323	9.3.3 表面热处理	345
8.1.1 电性材料	323	9.3.4 化学热处理	345
8.1.2 磁性材料	324	9.3.5 等离子扩渗处理	345
8.1.3 超导材料	324	9.4 表面加工技术	345
8.1.4 膨胀材料	325	习题与思考题	346
8.1.5 形状记忆合金	325	第10章 材料成形工艺自动化	347
8.2 功能陶瓷材料	326	10.1 快速成形技术	347
8.2.1 电功能陶瓷材料	326	10.1.1 快速成形技术简介	347
8.2.2 磁功能陶瓷材料	326	10.1.2 快速成形工艺	348
8.2.3 光功能陶瓷材料	326	10.1.3 快速成形技术在热加工中的 应用	351
8.2.4 敏感陶瓷材料	327	10.2 材料成形计算机技术	351
8.2.5 超导陶瓷材料	327	10.2.1 模拟技术	351
8.3 功能高分子材料	328	10.2.2 专家系统	353
8.3.1 导电高分子材料	328	10.2.3 热加工 CAD/CAM	355
8.3.2 光敏高分子材料	328	10.3 材料成形自动设备及系统	356
8.3.3 高分子功能膜材料	329	10.3.1 工业机器人	356
8.3.4 离子交换树脂	329	10.3.2 热加工 CNC 及 FMS	358
8.4 其他新材料	329	10.3.3 热成形自动生产线	360
8.4.1 非晶态金属	329	习题与思考题	362
8.4.2 储氢合金	330	第11章 材料及成形工艺的选择	363
8.4.3 纳米材料	330	11.1 零件的失效	363
习题与思考题	331	11.1.1 零件的失效形式	363
第9章 表面处理技术	332	11.1.2 零件失效的原因	365
9.1 表面处理技术的分类与基础	332	11.1.3 失效分析的一般过程	366
9.1.1 表面处理技术的分类	332	11.2 材料及成形工艺选择原则	366
9.1.2 表面处理技术的基础和应用 理论	332	11.2.1 使用性原则	366
9.2 表面覆盖技术	333	11.2.2 工艺性原则	366
9.2.1 电镀	333	11.2.3 经济性原则	367
9.2.2 电刷镀	334	11.3 材料及成形工艺选择方法	369
9.2.3 气相沉积技术	335	11.3.1 选择的步骤	369
9.2.4 热喷涂技术	337	11.3.2 选择的方法与依据	370
9.2.5 化学转化膜	338	11.4 典型零件的材料及成形工艺 选择(实践教学内容)	373
9.2.6 涂装	340		

11.4.1 齿轮类零件的选材	374	11.4.5 箱体支架类零件的选材	384
11.4.2 轴类零件的选材	377	11.5 综合应用	385
11.4.3 弹簧零件的选材	380	习题与思考题	387
11.4.4 刀具的选材	382	参考文献	389

绪 论

1. 工程材料与成形技术在机械制造中的应用

本书主要讲述工程材料、成形技术、热处理及其应用。

工程材料是指制造工程结构所用的材料,包括金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。它是人类社会发展的物质基础,也是科技进步的重要标志。新材料的出现促进了社会的进步,促进了科学技术的发展。例如用火箭发射宇宙飞船,如果飞船的质量能减轻 0.54 kg,其发射费用可减少 90 万美元,因此航天人一直为减轻飞船重量而努力拼搏。减轻飞船质量的主要办法是研制高性能、质量轻的新材料。目前在宇宙飞船中,除采用钢、铝合金、钛合金外,还采用性能好、质量轻的复合材料和非金属材料。

成形技术的发展也同样促进了科学技术的发展。例如实型铸造方法的出现,使铸件的质量精度、工人的作业环境大为改善,有“绿色铸造”之美称;又如,精密模锻锻出的齿轮,无需再切削加工,且可以使流线合理分布,提高了零件的承载能力,减少了制造工序,缩短了生产周期,提高了生产效率;再如,特种氩弧焊、搅拌摩擦焊等成形工艺的使用,对我国航空航天工业作出了突出贡献。“神舟”五号、六号载人飞船安全返回就包含了焊接成形技术发展的贡献。

就机械产品的设计而言,设计者在设计结构时,必须同时考虑选用什么材料及成形方法,以及采用何种热处理方法改善其性能,并将相关内容在图样中标注出来,才能将其设计付诸实施,因此结构设计、选材、成形方法和热处理方法是密不可分的整体。

就机械制造而言,加工制造过程工序繁多,包括成形、连接、热处理、切削加工、特种加工、装配、检测、调试等。例如用 45 钢加工一个齿轮,其加工工艺路线大致如下:下料→锻造→正火→机加工→调质→机加工→局部表面淬火+低温回火→磨削。通过上述加工后,其附加值远远高于原材料的成本。如何保证加工质量,降低制造成本,是企业能否发展的关键。制造者掌握工程材料的性能,熟悉各种成形方法的特点及应用范围,合理选择制造方法和制订加工工艺是保证加工质量的前提。

总之,在机械制造过程中,无论是从事制造,还是设计工作,熟悉工程材料及成形技术和热处理方法都是必要的。

2. 本课程的体系

新世纪是信息化的时代,以信息科学为代表的高新科技向机械行业的渗透,使得现代化的机械制造成为传统机械制造技术与信息、自动化和现代管理科学的有机融合。

新世纪高职高专人才的培养目标为:培养具有良好的综合素质,以必需够用为度,掌握较全面的应用基础知识,具有熟练操作及创新能力,具有解决实际技术问题能力的一线人员。根据这一培养目标,“新世纪高职高专机械基础课程教学内容体系改革、建设的研究与实践”的基本思路为:以创新应用为核心,以使用现代化的机械设备加工出高质量的机械产品为主线,打破原技术基础与专业基础的界限,重组机械基础教学内容体系。

本课程内容体系是“新世纪高职高专机械基础课程教学内容体系改革、建设的研究与实践”

课题的一部分。在原机械基础课程中,本课程是由工程材料、成形工艺基础和成形工艺实习三部分组成的。三部分内容各成体系,部分内容重复,浪费了学时,使高科技含量的新技术无法加入。工程材料、成形工艺基础及成形加工过程本来就是一个密不可分的整体,而将其分割成块,既使内容重复、理论与应用脱节,又使学生难以形成一个完整的概念。

新的课程体系将工程材料、成形工艺基础及成形工艺实习有机地组合在一起,按照“材料成形基础→材料成形工艺过程→材料的性能与应用”的次序组建而成。该内容体系以材料成形及其工程应用自身的规律为出发点,将理论始终贯穿于成形工艺及其应用之中。新的课程内容体系将理论学习、实验、产品的生产与检验有机结合,真正做到将理论与实践相结合,实现抽象理论具体化、形象化,达到学以致用、学而会用的目的。在新的课程内容体系中紧紧围绕着为机械制造和机械设计服务这一宗旨,还重点讲解了材料成形对零件结构工艺性的影响规律,为机械制造和机械设计打下良好的基础。

在课程内容的构建中,贯彻基本理论必需够用为度、强化应用的原则。在保留传统教学内容精华的基础上,将先进的成形方法和新材料编入教材,课程内容力争体现先进性和适用性。

本课程是一门实践性很强的课程,因此在本课程中将理论教学与实习、实验有机地结合在一起,使该课程既可以在课堂中讲授,也可以在实践中进行,使得授课方式较为灵活。

在原课程体系中,实验和实习两者互不联系,更没有与生产联系起来。而在新的课程体系中,将理论教学的内容、实习、实验和工厂实际产品的生产与检验紧密结合,提高了学生的操作、创新能力和解决实际技术问题的能力。

3. 课程的性质、任务和基本要求

“机械工程材料成形技术”是一门综合性的技术基础课程,本课程介绍铸、锻、焊等成形方法和热处理的基本原理、工艺过程以及工程材料的组织结构和性能;铸、锻、焊等成形方法和热处理工艺过程各工艺环节之间的相互联系以及对材料性能的影响,为学习选择使用工程材料、选择毛坯、选用少、无切削加工方法、制订机械零件加工工艺路线等奠定了基础,是机械类各专业的必修课。“机械工程材料成形技术”课程是新世纪教研课题的产物,是一门集理论教学、实习、实验为一体的综合性课程。

学习本课程的目的和任务是:掌握常用工程材料的性能、熟悉材料成形原理及工艺的基础知识,具有初步选择材料、改性方法、毛坯成形方法的能力,为学习其他后续课程和今后从事机械制造与设计方面的工作奠定必要的工艺基础。

学生学完本课程后,应达到以下基本要求:

- ① 掌握常用工程材料的种类、性能及其改性方法,初步掌握其应用范围和选择原则。
- ② 熟悉毛坯主要成形方法的基本原理和工艺特点,具有选择毛坯及工艺分析的初步能力。
- ③ 掌握零件的结构成形工艺性。
- ④ 了解有关的新工艺、新技术及其发展趋势。

第1章 工程材料的性能

工程材料是现代机械制造的主要材料,是构成各种机械设备的基础,也是各种机械加工的主要对象。因此了解和掌握工程材料的使用性能和工艺性能,是进行产品设计、选材和制订各种加工工艺的重要依据。本章简要论述工程材料的主要性能。

1.1 概 述

工程材料的性能包括使用性能和工艺性能,使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,它包括力学性能、物理性能和化学性能等;工艺性能是指材料对各种加工工艺适应的能力,它包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。它们既决定工程材料的应用范围、使用寿命和制造成本,又决定工程材料的各种成形方法。

1.1.1 材料的使用性能

1. 力学性能

材料的力学性能是指材料在不同环境(温度、介质)下,承受各种外加载荷(拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击和交变应力等)时所表现出的力学特征,包括强度、塑性、硬度、韧性、抗疲劳性等,它不仅取决于材料本身的化学成分,而且还和其微观组织结构有关。

力学性能是衡量材料性能优劣的主要指标,也是机械设计人员在设计过程中选材的主要依据。力学性能参数可以从设计手册中查到,也可以利用规定条件下的试验方法获得。了解材料力学性能的测试条件、试验方法,特别是性能指标的意义将有助于了解工程材料的本性。

材料的力学性能是本章重点介绍的内容。

2. 物理性能

材料的物理性能是指材料固有的一些属性,主要指密度、熔点、导热性、导电性、磁性及热膨胀性等,涉及成形加工的性能主要有:

(1) 密度及熔点

不同用途的机器零件对材料的密度和熔点要求也不同,如飞机和航空器的许多零件和总成用密度较小的铝、镁合金制造;又如铸钢、铸铁和铸铝合金的熔点各不相同,铸造时三者的熔炼工艺也不同。

(2) 导热性

材料传导热的性能称为导热性,一般用导热系数来衡量材料导热性的好坏,单位是 $W/(m \cdot K)$,其值越大则导热性越好。在热成形加工时若对导热性很小的金属以较快的速度加热或冷却,金属中就会产生较大的温度差,从而引起足以导致工件变形甚至产生裂纹的热应力,因此对于这种材料应注意减慢其加热或冷却速度。

(3) 热膨胀性

热膨胀性是指材料在温度升高时体积胀大的现象,用体胀系数衡量,单位是 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 或 K^{-1} (表示当温度每升高 1°C 或 1K 时其单位体积的膨胀量),体胀系数越大,金属的尺寸或体积随温度变化的程度就越大。热膨胀性不仅影响零件在工作时的尺寸精度,而且也影响其成形过程。

3. 化学性能

材料的化学性能是指材料在室温或高温下抵抗各种介质化学作用的能力,主要有抗氧化性、耐腐蚀性和化学稳定性等。工程材料的氧化和腐蚀不仅破坏零件的表面质量,也降低零件的精度,严重时会导致零件失效。因此,对工作在高温或腐蚀性介质中的材料,要优先考虑其化学性能,必要时应选用耐热钢、不锈钢、陶瓷材料、复合材料及工程塑料来制造。

1.1.2 材料的工艺性能

材料的工艺性能是指材料适应加工工艺要求的能力。按成形方法的不同,可分为铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能及热处理工艺性能等。工艺性能直接影响零件加工后的工艺质量,在设计机械零件和选择加工方法时都要考虑材料的工艺性能,如低碳非合金钢的锻造性能和焊接性能都很好;灰铸铁的铸造性能和切削性能优良,但焊接性能差而且不能锻造,只能用它来铸造机械零件。

1. 铸造性能

金属及合金铸造成形获得优良铸件的能力称为铸造性能。衡量材料铸造性能的指标有流动性、收缩性和偏析等。

(1) 流动性

液体金属充满铸型型腔的能力称为流动性,它主要受金属化学成分和浇铸温度的影响。流动性好的金属容易充满整个铸型,获得尺寸精确、轮廓清晰的铸件。

(2) 收缩性

铸件在凝固和冷却过程中,其体积和尺寸减少的现象称为收缩性。铸件收缩不仅体积和尺寸减小,还会使铸件产生缩孔、疏松、应力变形和开裂等缺陷。

(3) 偏析

合金中合金元素、夹杂物或气孔等分布不均匀的现象称为偏析。偏析严重时可使铸件各部分的力学性能产生很大差异,降低铸件的质量。

2. 压力加工性能

金属材料在加工压力(锻造、冷冲压)下成形的难易程度称为压力加工性能。它与材料的塑性有关,塑性越好,变形抗力越小,金属的压力加工性能就越好。

3. 焊接性能

焊接性能是指金属材料对焊接加工的适应性,也就是在一定的焊接工艺条件下,获得优良焊接接头的难易程度。

4. 切削加工性能

切削加工性能反映用切削工具对金属材料进行切削加工的难易程度。一般用切削后的表面质量(表面粗糙度值的大小)和刀具寿命来衡量。金属材料具有适当的硬度($160 \sim 230\text{HBS}$)和一定的脆性时切削性良好。改变钢的化学成分(如加入少量铅、磷等元素)和进行适当的热处理

(如低碳钢进行正火,高碳钢进行球化退火)可提高钢的切削加工性能。

5. 热处理工艺性能

热处理工艺性能是指金属材料通过热处理改变或改善其性能的能力。反映钢热处理的难易程度和产生热处理缺陷的倾向,一般包括淬透性、氧化脱碳、变形开裂等。

钢的热处理工艺性能主要考虑其淬透性,即钢接受淬火的能力。含 Mn、Cr、Ni 等合金元素的合金钢淬透性比较好,碳钢的淬透性较差。铝合金的热处理要求较严,铜合金中只有几种可以用热处理来强化。

1.2 材料在静载荷作用下的主要力学性能指标

材料在加工及使用过程中,都要受到各种外力的作用,这些外力称为载荷。根据载荷作用的方式、速度、持续性等的不同,可将载荷分为静载荷和动载荷两种形式。静载荷是指不随时间变化或变化极其平稳的载荷;如果作用在材料上的载荷随时间较快地变化,就称材料承受动载荷,尤其指突加的冲击性载荷。

材料在静载荷作用下的主要力学性能指标有弹性、强度、塑性、硬度、刚度等,这些性能指标可通过拉伸试验和硬度试验测得。下面首先介绍一下拉伸试验。

1.2.1 拉伸试验

1. 试验过程

(1) 标准试样

国家标准规定的标准拉伸试样可分为原材料是板材或棒材的板形试样或直径为 d_0 的圆形试样。由于圆形试样夹紧时易于对中,通常情况下优先选用。试验前应选试样中间截面均匀的部分作为测量伸长量的原始标距长度 L_0 ,单位为 mm,如图 1.2.1 所示。

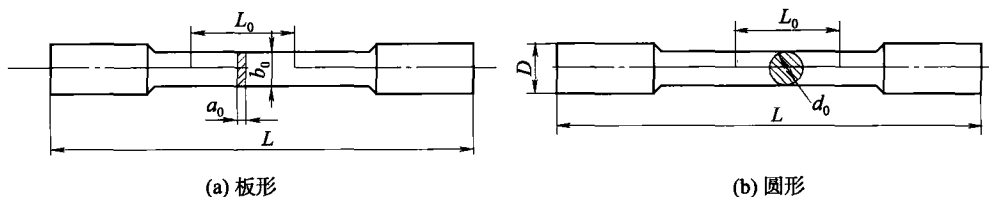


图 1.2.1 拉伸试样

(2) 拉伸过程

试验时将试样的两端放在拉伸试验机的夹头内夹紧,然后缓慢而均匀地施加轴向拉力,随着拉力的增加,试样被拉长直至拉断。在拉伸过程中,通过自动记录装置得到试样所受载荷 F 和伸长量 ΔL 的关系曲线称为拉伸曲线,如图 1.2.2a 所示。纵坐标表示载荷 F ,单位是 N;横坐标表示伸长量 ΔL ,单位是 mm。

以退火低碳钢拉伸曲线为例,说明拉伸过程中随着载荷的不断增加,试样经历的几个变形阶段:

① O_e ——弹性变形阶段 试样的伸长量与载荷成正比增加,此时若卸载,试样能完全恢复

原状。 F_e 为能恢复原状的最大拉力。

② es ——屈服阶段 当载荷超过 F_e 时,试样除产生弹性变形外,开始出现塑性变形,此时若卸载,试样的伸长只能部分恢复。当载荷增加到 F_s 时,图形上出现平台,即载荷不增加,试样继续伸长,材料丧失了抵抗变形的能力,这种现象叫屈服。

③ sb ——均匀塑性变形阶段 载荷超过 F_s 后,试样开始产生明显的塑性变形,伸长量随载荷增加而增大。 F_b 为试样拉伸试验的最大载荷。

④ bk ——缩颈阶段 载荷达到最大值 F_b 后,试样局部开始急剧缩小,出现“缩颈”现象,由于截面积减小,试样变形所需载荷也随之降低, k 点时试样发生断裂。

拉伸曲线中的载荷 $F(N)$ 、伸长量 $\Delta L(mm)$ 不仅与试验的材料有关,还与试样的尺寸有关。为了消除试样尺寸的影响引入应力 σ 和应变 ε 的概念,公式如下:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 F ——所加载荷, N ;

A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 ;

σ ——应力, MPa ;

L_0 ——试样的原始标距, mm ;

L ——试样变形后的标距, mm ;

ε ——应变。

由此,拉伸曲线可以转换为相同形状的应力-应变曲线,如图 1.2.2b 所示。

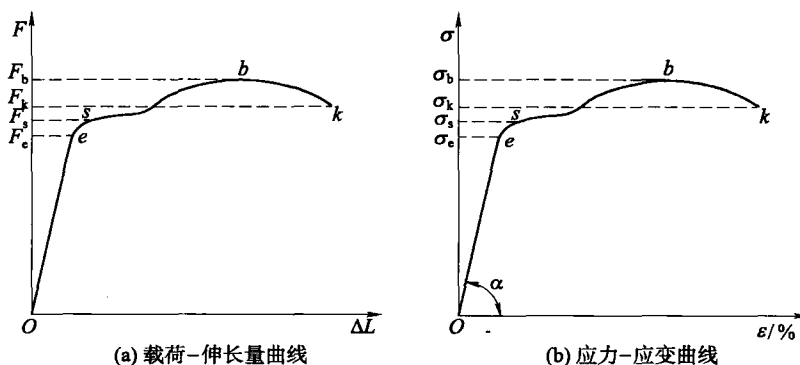


图 1.2.2 退火低碳钢拉伸曲线

2. 测得的主要力学性能指标

图 1.2.2 显示了材料在单向拉应力作用下,从开始变形直至断裂整个过程中的各种性质及测得的主要力学性能指标。

(1) 弹性极限

材料在应力完全释放时能够保持没有永久应变的最大应力值称为弹性极限,以 σ_e 表示,单位为 MPa 。由图 1.2.2 可知,在载荷较小的阶段试样的伸长量随应力的增加而增加,应力去除后

试样恢复原状,故此段为弹性变形阶段。应力超过 σ_e 后,试样进入弹性-塑性变形阶段,在这一阶段若去除外力,试样就不能完全恢复原状,可见 σ_e 值就是这种材料的弹性极限,可以作为弹性零件的设计依据。

(2) 弹性模量

材料在弹性变形阶段内,直线段 Oe 的斜率以符号 E 表示,单位为 MPa。计算公式为

$$E = \tan \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

式中 σ ——应力,MPa;

ε ——弹性应变。

从上式可以看出, E 值为材料产生单位弹性应变所需要的应力值,称为弹性模量。 E 值的大小反映材料弹性变形的难易程度, E 值越大表明材料抵抗弹性变形的能力越强,即刚度越大,通常通过 E 值的大小反映材料的刚度。 E 值的大小主要决定于材料本身,是材料最稳定的性能之一,热处理、微合金化及塑性变形等强化金属的手段对其影响很小,它是一个对组织不敏感的力学性能指标。在室温下,钢的 E 值大多在 200 000 MPa 左右,铝合金的 E 值为 70 000 MPa 左右。

大部分机械零件和工程构件都在弹性状态下工作,对刚度有一定的要求,工作时不允许产生过量的弹性变形。在材料一定的情况下, E 值一定,要想提高构件的刚度,可以在允许条件下采取增加构件截面积等方法。

(3) 屈服强度

试样在拉伸过程中,当应力超过弹性极限时,即使应力不再增加,而试样仍继续发生明显的塑性变形,此现象称为屈服,而产生屈服现象时的最小应力值即为屈服强度,用符号 σ_s 表示,单位是 Pa 或 MPa。计算公式为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s ——试样屈服时的载荷,N;

A_0 ——试样原始横截面积,mm²。

工程材料中只有低碳钢和中碳钢等少数金属材料有屈服现象,大多数金属材料的屈服现象极不明显,在测量上有困难。因此为了衡量材料的屈服特性,规定产生永久残余塑性变形等于一定值(一般指残余伸长率达到 0.2%)时的应力,称为条件屈服强度或简称屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示,单位为 MPa,如图 1.2.3 所示。计算公式为

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$$

式中 $F_{0.2}$ ——残余伸长率达到 0.2% 时的载荷,N;

A_0 ——试样原始横截面积,mm²。

材料的屈服强度 σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 都是衡量金属材料塑性变形抗力的指标,它们分别表示塑性材料和脆性材料所能允许的最大工作应力,是机械设计的主要依据,也是评定材料优劣的重要指标。

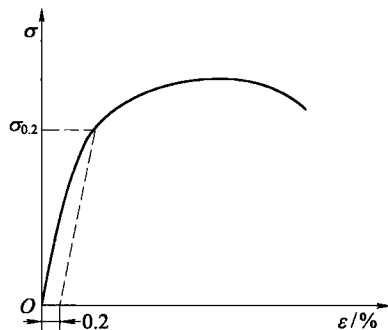


图 1.2.3 材料屈服强度示意图

一般机械零件或工程构件在使用中不允许产生塑性变形,因而在设计和选材时常以 σ_s 为依据,许用应力 $[\sigma] = \sigma_s/n$, n 为安全系数。

(4) 抗拉强度

材料在拉伸过程中,从开始到发生断裂时所达到的最大应力值,称为抗拉强度,用 σ_b 表示,单位为 MPa。它表示钢材抵抗断裂能力的大小。计算公式为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b ——试样承受的最大载荷, N;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

由图 1.2.2b 可知,屈服现象之后试样的应变量又随应力增加而增大,试样产生比较均匀的塑性变形,称为均匀塑性变形。抗拉强度表示材料均匀塑性变形的最大能力。当应力增加超过 σ_b 后,试样出现局部变细的缩颈现象,此后所需载荷逐渐减小,变形主要集中于缩颈处。当应力达到 σ_k 时,试样在缩颈处断裂, σ_k 即为材料的断裂强度。零件在工作中所承受的应力,不允许超过抗拉强度 σ_b ,否则会产生断裂。

钢材的屈服强度与抗拉强度的比值称为屈强比(σ_s/σ_b)。屈强比越大,结构零件的可靠性越高,一般碳素钢屈强比为 0.6 ~ 0.65,低合金结构钢为 0.65 ~ 0.75,合金结构钢为 0.84 ~ 0.86。

灰铸铁等脆性材料拉伸时几乎不发生塑性变形而突然断裂,所以灰铸铁在常用的工程材料手册中没有屈服强度指标,仅有抗拉强度指标。

(5) 塑性

塑性是材料在载荷作用下产生塑性变形而不被破坏的能力,也是工程材料的主要力学性能指标之一。为防止零件工作时脆断,要求材料有一定的塑性,许多零件或毛坯是通过塑性变形成形的,也要求材料有较高的塑性。通过上述拉伸试验,可以测定材料的塑性指标:断后伸长率和断面收缩率。

1) 断后伸长率 δ

试样拉断后标距的伸长量与原始标距长度的百分比称为断后伸长率,用符号 δ 表示。

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

式中 L_0 ——试样的原始标距长度, mm;

L_1 ——试样拉断后的标距长度, mm。

在试样的直径 d_0 一定时,国家标准规定它的标距长度为两种: $L_0 = 5d_0$, $L_0 = 10d_0$ 。 $L_0 = 5d_0$ 时测得的 δ 值用 δ_5 来表示, $L_0 = 10d_0$ 时用 δ 表示。在相同试验条件下 $\delta_5 > \delta$,因此设计时采用 δ 更为安全。断后伸长率越大,材料的塑性越好。

2) 断面收缩率 ψ

试样拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率,用 ψ 表示。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$