

普通高等教育“十五”国家级规划教材
(高职高专教育)

机械制造基础

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

策 划	赵 亮
责任编辑	胡 纯
封面设计	于 涛
责任绘图	朱 静
版式设计	史新薇
责任校对	存 怡
责任印制	

内容提要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)。是为适应培养高等技术应用性专门人才需要,经结构优化、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,讲述机械制造中的基础知识。全书除绪论外,共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、金属切削加工基础知识、机械零件表面加工、
特种加工、机械加工工艺规程、先进制造技术。

本书适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校机械
类或机电类各专业使用,也可供有关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础 乔世民主编. —北京:高等教育出版
社,2003 6

ISBN 7 - 04 - 012544 - 7

. 机... . 乔... . 机械制造 - 高等学校:
技术学校 - 教材 . TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 038077 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http: www. hep. edu. cn
电 话	010 - 82028899		http: www. hep. com. cn

经 销 新华书店北京发行所
印 刷

开 本	787 × 1092 1 16	版 次	年 月 第 版
印 张	27. 25	印 次	年 月 第 次印刷
字 数	670 000	定 价	31. 10 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

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施:先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

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不断深入,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	1.6.1 粉末冶金材料	78
第 1 章 工程材料	3	1.6.2 陶瓷材料	80
1.1 金属材料的力学性能	3	1.6.3 塑料、橡胶材料	82
1.1.1 强度	3	1.6.4 复合材料	86
1.1.2 塑性	5	复习与思考题	88
1.1.3 硬度	5	第 2 章 铸造	91
1.1.4 冲击韧度	7	2.1 概述	91
1.1.5 疲劳强度	8	2.2 铸造工艺基础	92
1.2 铁碳合金	9	2.2.1 铸件的凝固	92
1.2.1 金属的晶体结构与结晶	9	2.2.2 合金的铸造性能	93
1.2.2 合金的晶体结构	13	2.3 铸造方法	102
1.2.3 铁碳合金相图	14	2.3.1 砂型铸造	102
1.2.4 碳素钢、铸铁	22	2.3.2 特种铸造	104
1.3 钢的热处理	32	2.3.3 铸造生产常见缺陷	108
1.3.1 钢在加热时的组织转变	32	2.4 铸造工艺设计	111
1.3.2 钢在冷却时的组织转变	34	2.4.1 浇注位置和分型面的选择	111
1.3.3 钢的退火与正火	37	2.4.2 确定铸造主要工艺参数	115
1.3.4 钢的淬火	39	2.4.3 确定浇注系统	120
1.3.5 钢的回火	41	2.4.4 绘制铸造工艺图	120
1.3.6 钢的表面淬火	42	2.5 铸件结构工艺性	123
1.3.7 钢的化学热处理	44	2.5.1 铸造性能对铸件结构的要求	123
1.3.8 热处理的技术条件和结构		2.5.2 铸造工艺对铸件结构的要求	127
工艺性	46	2.6 常用铸造合金的生产	129
1.4 合金钢	48	2.6.1 铸铁件的生产	129
1.4.1 合金钢的分类与编号	48	2.6.2 铸钢件的生产	131
1.4.2 合金元素在钢中的作用	49	2.6.3 有色合金铸件的生产	131
1.4.3 合金结构钢	51	复习与思考题	132
1.4.4 合金工具钢	58	第 3 章 锻压	135
1.4.5 特殊性能钢	64	3.1 概述	135
1.5 有色金属	69	3.1.1 锻压生产的特点	135
1.5.1 铝及铝合金	69	3.1.2 锻压生产的适用范围	135
1.5.2 铜及铜合金	73	3.1.3 锻压生产的发展趋势	136
1.5.3 钛及其合金	74	3.2 锻压工艺基础	136
1.5.4 滑动轴承合金	76	3.2.1 金属的塑性变形	136
1.6 其他材料	78	3.2.2 变形后金属的组织 and 性能	137

3.2.3 金属的锻造性能	139	复习与思考题	196
3 3 自由锻	139	第 5 章 机械零件毛坯的选择	197
3.3.1 概述	139	5 1 常见零件毛坯的分类与比较	197
3.3.2 自由锻设备	140	5.1.1 毛坯类型及制造方法的比较	197
3.3.3 自由锻工序	142	5.1.2 毛坯生产成本的比较	199
3.3.4 自由锻件的分类和锻造过程	144	5 2 毛坯选择的原则	202
3 4 模锻	146	5.2.1 满足材料的工艺性能要求	202
3.4.1 锤上模锻	147	5.2.2 满足零件的使用要求	203
3.4.2 曲柄压力机上模锻	148	5.2.3 满足降低生产成本的要求	203
3.4.3 平锻机上模锻	149	5.2.4 符合生产条件	204
3.4.4 摩擦压力机上模锻	150	5 3 典型零件毛坯的选择	205
3.4.5 其他模锻设备	151	5.3.1 轴杆类零件的毛坯选择	205
3 5 板料冲压	153	5.3.2 盘套类零件的毛坯选择	206
3.5.1 概述	153	5.3.3 箱体机架类零件的毛坯选择	207
3.5.2 板料冲压的基本工序	154	复习与思考题	208
3 6 锻压件结构设计	159	第 6 章 几何量公差	210
复习与思考题	164	6 1 尺寸公差与配合	210
第 4 章 焊接	165	6.1.1 极限与配合(GB 1800)	210
4 1 概述	165	6.1.2 极限制与配合制	214
4 2 手工电弧焊	167	6.1.3 尺寸至 500 mm 孔、轴公差带	
4.2.1 焊接电弧	167	与配合	224
4.2.2 焊接接头	169	6.1.4 配合的选用	225
4.2.3 焊条	170	6 2 形状与位置公差	229
4.2.4 焊接接头的金属组织与性能	172	6.2.1 概述	229
4.2.5 焊接应力与变形	174	6.2.2 形状公差与误差	232
4 3 其他焊接方法	174	6.2.3 位置公差与误差	235
4.3.1 埋弧自动焊	174	6.2.4 形位公差与尺寸公差的关系	242
4.3.2 气体保护电弧焊	176	6.2.5 形位公差的选用	246
4.3.3 气焊和气割	177	6 3 表面粗糙度	248
4.3.4 电渣焊	179	6.3.1 基本概念	248
4.3.5 等离子弧焊	181	6.3.2 表面粗糙度的评定	249
4.3.6 压焊与钎焊	181	6.3.3 表面粗糙度的参数值及其	
4 4 常用金属材料的焊接	185	选用	252
4.4.1 碳钢的焊接	185	复习与思考题	255
4.4.2 低合金结构钢的焊接	185	第 7 章 金属切削加工基础知识	256
4.4.3 不锈钢的焊接	187	7 1 加工质量	256
4.4.4 铸铁的焊补	187	7.1.1 加工精度	256
4.4.5 非铁金属的焊接	188	7.1.2 表面质量	257
4 5 焊接结构工艺设计	190	7 2 切削运动	258
4.5.1 焊接结构生产工艺过程概述	190	7.2.1 切削运动	258
4.5.2 焊接结构工艺设计	190	7.2.2 工件表面	259
4.5.3 焊接结构工艺设计实例	195		

7.2.3	切削用量	259	7.10.4	切削液的选择	291
7.3	刀具切削部分的几何角度	260	复习与思考题	292	
7.3.1	车刀的组成	261	第8章 机械零件表面加工	293	
7.3.2	刀具几何角度参考系	261	8.1 金属切削机床的基础知识	293	
7.3.3	刀具标注角度	263	8.1.1 机床的分类	293	
7.3.4	刀具工作角度	264	8.1.2 机床型号的编制方法	294	
7.3.5	切削层参数	265	8.1.3 零件表面的切削加工成形方法和 机床的运动	298	
7.4	刀具材料	266	8.1.4 机床传动的组成和传动 原理图	299	
7.4.1	刀具材料应当具备的性能	266	8.1.5 机床传动系统图和运动计算	301	
7.4.2	高速钢	266	8.2 外圆表面加工	303	
7.4.3	硬质合金	267	8.2.1 外圆表面的加工方法	303	
7.5	金属切削过程	269	8.2.2 外圆表面的车削加工	303	
7.5.1	切屑的形成过程	269	8.2.3 外圆表面的磨削加工	313	
7.5.2	第 变形区	270	8.3 内圆表面加工	320	
7.5.3	第 变形区	273	8.3.1 内圆表面的加工方法	320	
7.5.4	第 变形区	274	8.3.2 钻削加工	322	
7.6	切削力	275	8.3.3 镗削加工	328	
7.6.1	切削力的来源、合力及其分力	275	8.3.4 拉削加工	330	
7.6.2	切削力的计算	276	8.3.5 内圆表面磨削加工	333	
7.6.3	切削功率的计算	277	8.4 平面加工	335	
7.6.4	影响切削力的主要因素	277	8.4.1 平面加工方法	335	
7.7	切削热和切削温度	279	8.4.2 刨削与插削加工	336	
7.7.1	切削热的产生和传出	279	8.4.3 铣削加工	339	
7.7.2	切削温度的分布	279	8.4.4 平面磨削加工	348	
7.7.3	影响切削温度的主要因素	279	8.5 齿轮的齿形加工	349	
7.8	刀具磨损和刀具寿命	280	8.5.1 圆柱齿轮齿形加工方法	350	
7.8.1	刀具的磨损形式	281	8.5.2 滚齿加工	351	
7.8.2	刀具磨损的原因	282	8.5.3 插齿加工	354	
7.8.3	刀具的磨损过程及磨钝标准	282	8.5.4 齿形的其他加工方法	357	
7.8.4	刀具寿命	283	8.5.5 齿形加工方案的选择	359	
7.9	工件材料的切削加工性	284	复习与思考题	359	
7.9.1	工件材料的切削加工性的 评定	284	第9章 特种加工	362	
7.9.2	影响材料切削加工性的主要 因素	285	9.1 概述	362	
7.9.3	常用材料的切削加工性	286	9.2 电火花加工	363	
7.9.4	改善工件材料切削加工性的 途径	287	9.2.1 电火花加工原理	363	
7.10	金属切削条件的选择	287	9.2.2 电火花加工设备	365	
7.10.1	刀具几何参数的选择	287	9.2.3 电火花加工特点	366	
7.10.2	刀具寿命的选择	289	9.2.4 电火花加工的应用	367	
7.10.3	切削用量的选择	290	9.2.5 电火花线切割加工	368	

9.3	电解加工	368	10.2	典型零件机械加工工艺流程	394
9.3.1	电解加工原理	368	10.2.1	轴类零件加工	394
9.3.2	电解加工特点	369	10.2.2	套类零件加工	396
9.3.3	电解加工的应用	369	10.2.3	箱类零件加工	400
9.3.4	电解磨削	370		复习与思考题	404
9.4	超声波加工	370	第 11 章 先进制造技术		406
9.4.1	超声波加工原理	370	11.1	数控加工技术	406
9.4.2	超声波加工装置	371	11.1.1	数字控制与数控机床的概念	406
9.4.3	超声波加工特点	371	11.1.2	数控机床的基本组成及工作 原理	406
9.5	激光加工	372	11.1.3	数控机床的分类	408
9.5.1	激光加工原理	372	11.1.4	数控机床的特点及应用范围	410
9.5.2	激光加工特点	373	11.2	快速成形技术	411
9.5.3	激光加工的应用	373	11.2.1	快速成形技术的概念	411
9.6	电子束加工	373	11.2.2	快速成形技术的工作原理	412
9.6.1	电子束加工原理	373	11.2.3	快速成形技术的工艺方法	412
9.6.2	电子束加工装置	374	11.2.4	快速成形技术的特点和用途	413
9.6.3	电子束加工特点	375	11.3	超精密与纳米加工技术	414
9.6.4	电子束加工的应用	375	11.3.1	超精密加工技术	414
9.7	离子束加工	376	11.3.2	纳米加工技术	415
9.7.1	离子束加工原理	376	11.4	工业机器人	415
9.7.2	离子束加工特点	376	11.4.1	工业机器人的基本概念	415
9.7.3	离子束加工的应用	376	11.4.2	工业机器人的应用	417
	复习与思考题	379	11.5	柔性制造技术	417
第 10 章 机械加工工艺规程		380	11.5.1	柔性制造单元	418
10.1	工艺过程与工艺规程	380	11.5.2	柔性制造系统	418
10.1.1	概述	380	11.5.3	计算机集成制造系统	420
10.1.2	机械加工工艺过程的组成	380		复习与思考题	421
10.1.3	生产纲领与生产类型	382	参考文献		422
10.1.4	机械加工工艺规程制订	383			
10.1.5	零件的结构工艺性	389			

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,首先要制定工艺规程,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;了解工艺规程制定的原则及特种加工、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、冲击韧性、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 1.1.1a 所示为圆柱形拉伸试样。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($l_0 = 10 d_0$)和短试样($l_0 = 5 d_0$)。

2 拉伸曲线

试验时,将试样两端夹装在试验机的上下夹头上,随后缓慢地增加载荷,随着载荷的增加,试样逐步变形而伸长,直到被拉断为止。在试验过程中,试验机自动记录了每一瞬间载荷 F 和变形量 l ,并给出了它们之间的关系曲线,故称为拉伸曲线(或拉伸图)。拉伸曲线反映了材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形和直到拉断时的力学特性。

图 1.1.1b 为低碳钢的拉伸曲线。由图可见,低碳钢试样在拉伸过程中,可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。

当载荷不超过 F_p 时,拉伸曲线 O_p 为一直线,即试样的伸长量与载荷成正比地增加,如果卸除载荷,试样立即恢复到原来的尺寸,即试样处于弹性变形阶段。载荷在 $F_p - F_s$ 间,试样的伸长量与载荷已不再成正比关系,但若卸除载荷,试样仍然恢复到原来的尺寸,故仍处于弹性变形阶段。

当载荷超过 F_s 后,试样将进一步伸长,但此时若卸除载荷,弹性变形消失,而有一部分变形

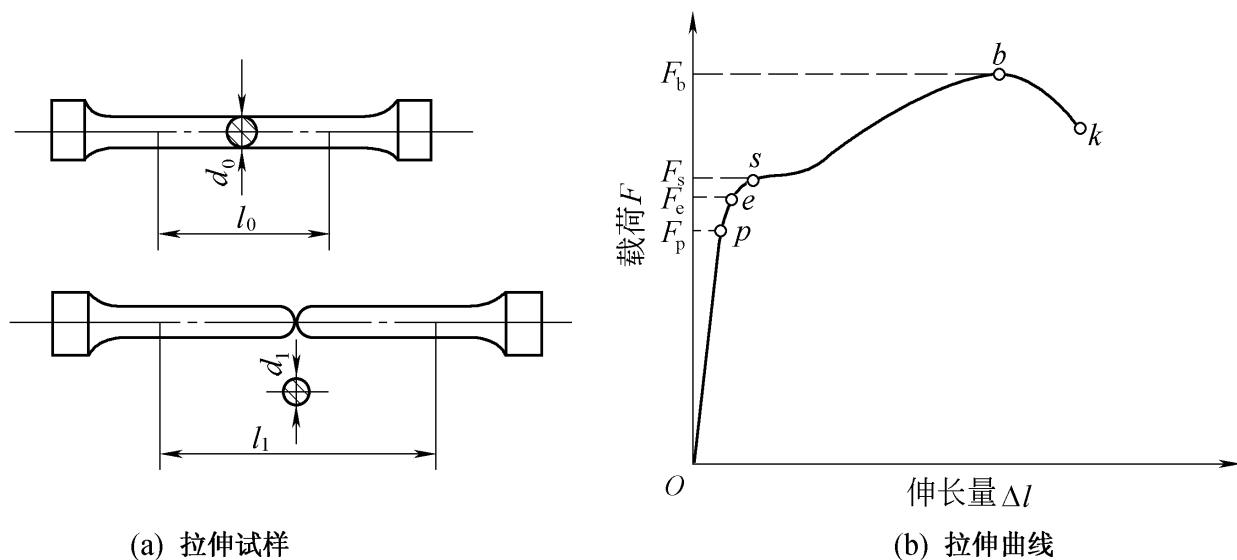


图 1.1.1 拉伸试样与拉伸曲线

却不能消失,即试样不能恢复到原来的长度,称为塑性变形或永久变形。

当载荷增加到 F_s 时,试样开始明显的塑性变形,在拉伸曲线上出现了水平的或锯齿形的线段,这种现象称为屈服。

当载荷继续增加到某一最大值 F_b 时,试样的局部截面缩小,产生了颈缩现象。由于试样局部截面的逐渐减少,故载荷也逐渐降低,当达到拉伸曲线上的 k 点时,试样就被拉断。

3 强度

强度是指金属材料在载荷作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力。

(1) 弹性极限

金属材料在载荷作用下产生弹性变形时所能承受的最大应力称为弹性极限,用符号 σ_e 表示:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中 F_e ——试样产生弹性变形时所承受的最大载荷;

A_0 ——试样原始横截面积。

(2) 屈服强度

金属材料开始明显塑性变形时的最低应力称为屈服强度,用符号 σ_s 表示:

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

式中 F_s ——试样屈服时的载荷;

A_0 ——试样原始横截面积。

生产中使用的某些金属材料,在拉伸试验中不出现明显的屈服现象,无法确定其屈服点。所以国标中规定,以试样塑性变形量为试样标距长度的 0.2% 时,材料承受的应力称为“条件屈服强度”,并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

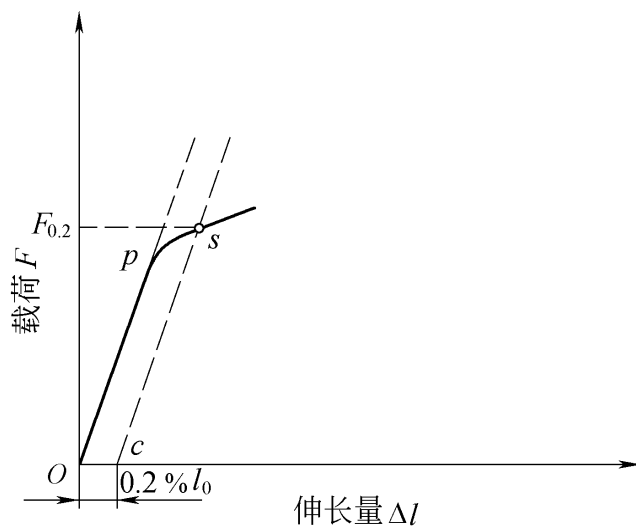


图 1.1.2 屈服强度测定

$\sigma_{0.2}$ 的确定方法如图 1.1.2 所示:在拉伸曲线横坐标上截取 c 点,使 $Oc = 0.2\% l_0$,过 c 点作 Op 斜

线的平行线,交曲线于 s 点,则可找出相应的载荷 $F_{0.2}$,从而计算出 $\sigma_{0.2}$ 。

(3) 抗拉强度(又称强度极限)

金属材料在断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度,用符号 σ_b 表示:

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

式中 F_b ——试样在断裂前的最大载荷;

A_0 ——试样原始横截面积。

脆性材料没有屈服现象,则用 σ_b 作为设计依据。

1. 1. 2 塑性

金属材料在载荷作用下,产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

1. 伸长率

试样拉断后,标距长度的增加量与原标距长度的百分比称为伸长率,用 δ 表示:

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

式中 l_0 ——试样原标距长度, mm;

l_k ——试样拉断后标距长度, mm。

材料的伸长率随标距长度增加而减少。所以,同一材料短试样的伸长率 δ_5 大于长试样的伸长率 δ_{10} 。

2 断面收缩率

试样拉断后,标距横截面积的缩减量与原横截面积的百分比称为断面收缩率,用 ψ 表示:

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

式中 A_0 ——试样原横截面积, mm^2 ;

A_1 ——试样拉断后最小横截面积, mm^2 。

δ 、 ψ 是衡量材料塑性变形能力大小的指标, δ 、 ψ 大,表示材料塑性好,既保证压力加工的顺利进行,又保证机件工作时的安全可靠。

金属材料的塑性好坏,对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻造、轧制等成型工艺,而且在使用时万一超载,由于塑性变形,能避免突然断裂。

1. 1. 3 硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的指标。它是指金属表面抵抗局部塑性变形或破坏的能力,是检验毛坯或成品件、热处理件的重要性能指标。目前生产上应用最广的静载荷压入法硬度试验有布氏硬度、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。它是用一定直径的钢球或硬质合金球,以相应的试验

力压入试样表面,经规定的保持时间后,卸除试验力,用读数显微镜测量试样表面的压痕直径。布氏硬度值 HBS 或 HBW 是试验力 F 除以压痕球形表面积所得的商,即:

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

式中 F——压入载荷, N;

A——压痕表面积, mm^2 ;

d——压痕直径, mm;

D——淬火钢球(或硬质合金球)直径, mm。

布氏硬度值的单位为 kgf/mm^2 , 一般情况下可不标出;

压头为淬火钢球时,布氏硬度用符号 HBS 表示,适用于布氏硬度值在 450 以下的材料;压头为硬质合金球时,用 HBW 表示,适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值,符号后面按以下顺序用数值表示试验条件:

- 1) 球体直径;
- 2) 试验力;
- 3) 试验力保持时间(10 ~ 15 s 不标注)。

例如: 125 HBS10 1 000 30 表示用直径 10 mm 淬火钢球在 $1\,000 \times 9.8$ N 试验力作用下保持 30 s 测得的布氏硬度值为 125; 500 HBW5/ 750 表示用直径 5 mm 硬质合金球在 750×9.8 N 试验力作用下保持 10 ~ 15 s 测得的布氏硬度值为 500。

布氏硬度试验是在布氏硬度试验机上进行。当 F/D^2 的比值保持一定时,能使同一材料所得的布氏硬度值相同,不同材料的硬度值可以比较。试验后用读数显微镜在两个垂直方向测出压痕直径,根据测得的 d 值查表求出布氏硬度值。

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,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: $\sigma_b = K \cdot HBS$ (或 HBW)(低碳钢 $K = 0.36$,合金调质钢 $K = 0.325$;灰铸铁 $K = 0.1$)。

布氏硬度试验的缺点是:当用淬火钢球时不能用来测量大于 450 HBS 的材料;用硬质合金球时,亦不宜超过 650 HBW;压痕大,不适宜测量成品件硬度,也不宜测量薄件硬度;测量速度慢,测得压痕直径后还需计算或查表。

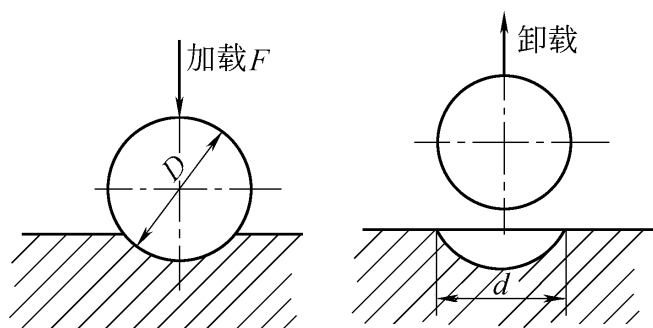


图 1.1.3 布氏硬度试验原理图

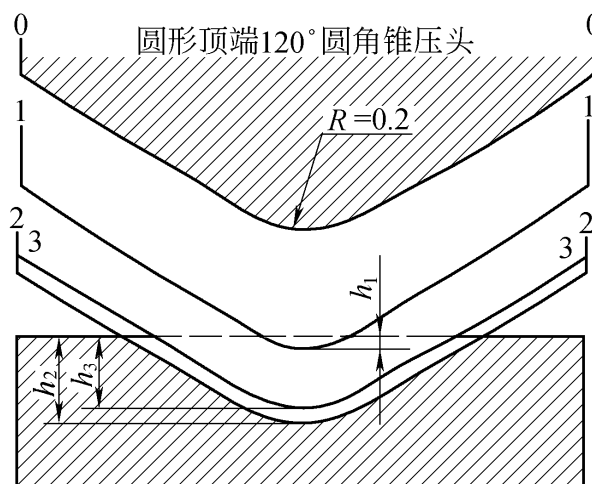


图 1.1.4 洛氏硬度试验原理图

2 洛氏硬度

以顶角为 120° 的金刚石圆锥体或一定直径的淬火钢球作压头,以规定的试验力使其压入试样表面,根据压痕的深度确定被测金属的硬度值。如图 1.1.4 所示当载荷和压头一定时,所测得的压痕深度 $h = h_0 - h_1$ 愈大,表示材料硬度愈低,一般来说人们习惯数值越大硬度越高。为此,用一个常数 K (对 HRC, K 为 0.2; HRB, K 为 0.26) 减去 h ,并规定每 0.002 mm 深为一个硬度单位,因此,洛氏硬度计算公式是:

$$\text{HRC(HRA)} = 0.2 - h = 100 - \frac{h}{0.002}$$

$$\text{HRB} = 0.26 - h = 130 - \frac{h}{0.002}$$

根据所加的载荷和压头不同,洛氏硬度值有三种标度:HRA、HRB、HRC,常用 HRC,其有效值范围是 20 ~ 67 HRC。

洛氏硬度是在洛氏硬度试验机上进行的,其硬度值可直接从表盘上读出。洛氏硬度符号 HR 前面的数字为硬度值,后面的字母表示级数。如 60 HRC 表示 C 标尺测定的洛氏硬度值为 60。

洛氏硬度试验操作简便、迅速,效率高,可以测定软、硬金属的硬度;压痕小,可用于成品检验。但压痕小,测量组织不均匀的金属硬度时,重复性差,而且不同的硬度级别测得硬度值无法比较。

3 维氏硬度

维氏硬度试验原理与布氏硬度相同,同样是根据压痕单位面积上所承受的平均载荷计量硬度值,不同的是维氏硬度的压头采用金刚石制成的锥面夹角为 136° 的正四棱锥体,如图 1.1.5 所示。

维氏硬度试验是在维氏硬度试验机上进行的。试验时,根据试样大小、厚薄选用 (5 ~ 120) × 9.8 N 载荷压入试样表面,保持一定时间后去除载荷,用附在试验机上测微计测量压痕对角线长度 d ,然后通过查表或根据下式计算维氏硬度值:

$$\text{HV} = \frac{F}{A} = \frac{1.8544 \times 0.102 \times F}{d^2}$$

式中 A ——压痕的面积, mm^2 ;

d ——压痕对角线的长度, mm ;

F ——试验载荷, N 。

维氏硬度符号 HV 前是硬度值,符号 HV 后附以试验载荷。如 640 HV30/20 表示在 30 × 9.8 N 作用下保持 20 s 后测得的维氏硬度值为 640。

维氏硬度的优点是试验时加载小,压痕深度浅,可测量零件表面淬硬层,测量对角线长度 d 误差小,其缺点是生产率比洛氏硬度试验低,不宜于成批生产检验。

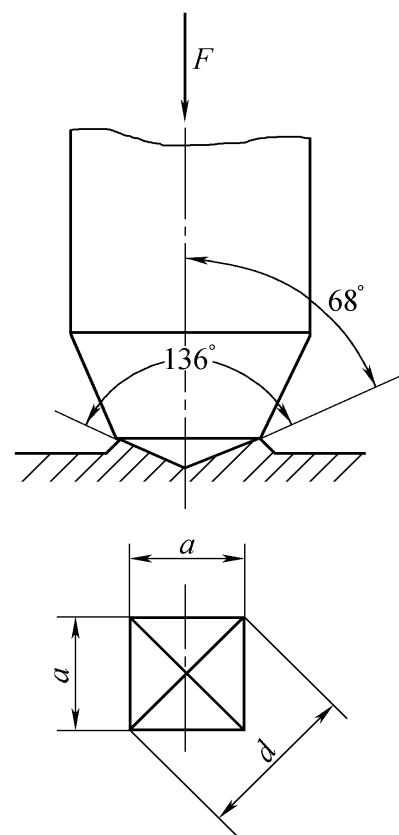


图 1.1.5 维氏硬度试验原理图

1.1.4 冲击韧度

生产中许多机器零件,都是在冲击载荷(载荷以很快的速度作用于机件)下工作。试验表明,

载荷速度增加,材料的塑性、韧性下降,脆性增加,易发生突然性破断。因此,使用的材料就不能用静载荷下的性能来衡量,而必须用抵抗冲击载荷的作用而不破坏的能力,即冲击韧度来衡量。

目前应用最普遍的是一次摆锤弯曲冲击试验。将标准试样放在冲击试验机的两支座上,使试样缺口背向摆锤冲击方向(图 1. 1. 6),然后把质量为 m 的摆锤提升到 h_1 高度,摆锤由此高度下落时将试样冲断,并升到 h_2 高度。因此冲断试样所消耗的功为 $A_k = mg(h_1 - h_2)$ 。金属的冲击韧度 a_k ($J\ cm^2$) 就是冲断试样时在缺口处单位面积所消耗的功,即:

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

式中 a_k ——冲击韧度, $J\ cm^2$;

A ——试样缺口处原始截面积, cm^2 ;

A_k ——冲断试样所消耗的功, J 。

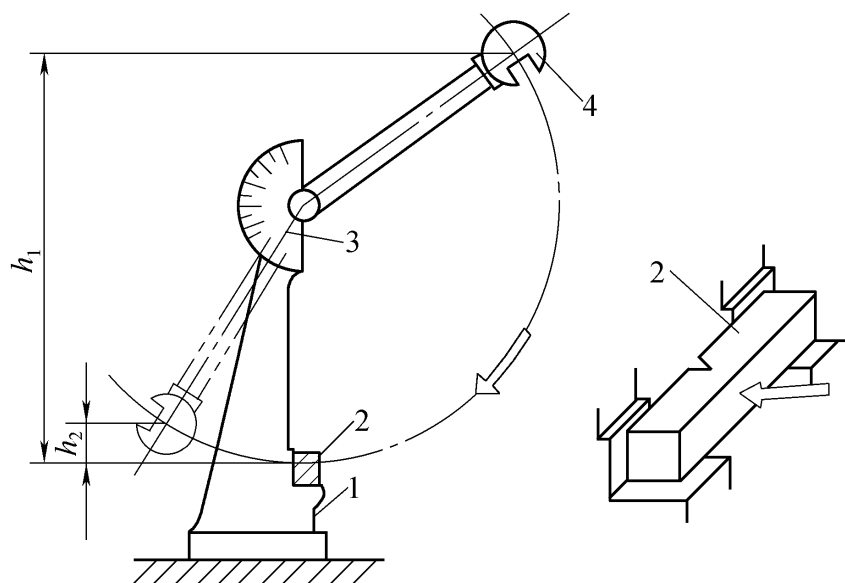


图 1. 1. 6 冲击试验原理

1—支座; 2—试样; 3—指针; 4—摆锤

冲击吸收功 A_k 值可从试验机的刻度盘上直接读出。 A_k 值的大小,代表了材料的冲击韧度高低。材料的冲击韧度值除了取决于材料本身之外,还与环境温度及缺口的状况密切相关。所以,冲击韧度除了用来表征材料的韧性大小外,还用来测量金属材料随环境温度下降由塑性状态变为脆性状态的冷脆转变温度,也用来考查材料对于缺口的敏感性。

1. 1. 5 疲劳强度

许多机械零件是在交变应力作用下工作的,如轴类、弹簧、齿轮、滚动轴承等。虽然零件所承受的交变应力数值小于材料的屈服强度,但在长时间运转后也会发生断裂,这种现象叫疲劳断裂。它与静载荷下的断裂不同,断裂前无明显塑性变形,因此,具有更大的危险性。

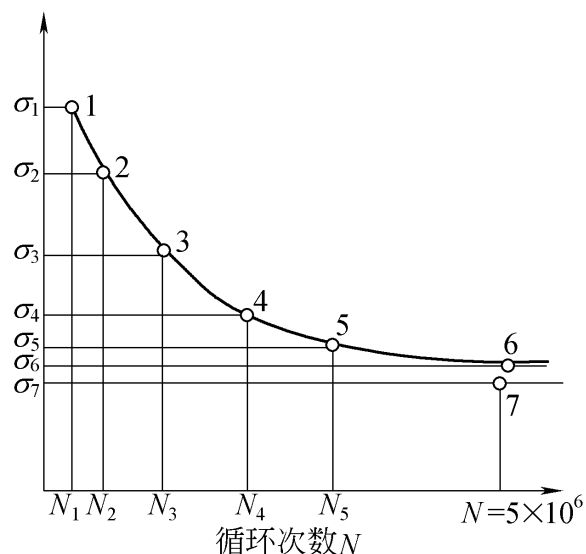


图 1. 1. 7 钢的疲劳曲线

交变应力大小和断裂循环次数之间的关系通常用疲劳曲线来描述(图 1. 1. 7)。疲劳曲线表