



面向21世纪全国高职高专机电类规划教材

机械制造基础

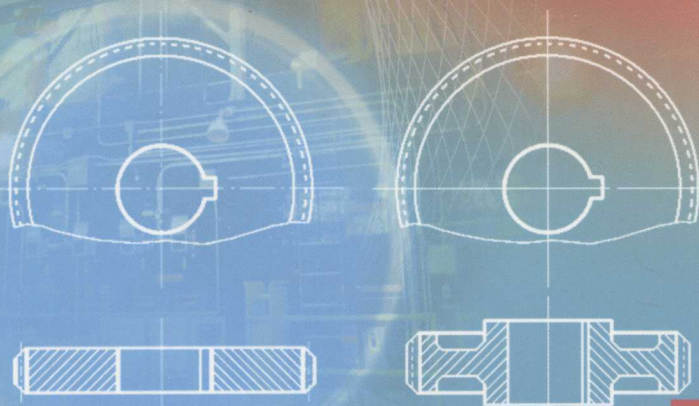
JIXIE ZHIZAO JICHU

张季中 主 编

宋时兰

魁东伟 副主编

辛 莉



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材

机械制造基础

张季中 主编

宋时兰 魁东伟 辛莉 副主编

宇海英 金东琦 张敏 李万江 参编

闫瑞涛 主审



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

为了适应国家教育部高职高专教育学制改革从三年逐步调整为两年的发展趋势,并以此带动高职教育人才培养模式、课程体系和教学内容等相关改革的要求,作者在吸取近几年高职高专教学实践中成功经验的基础上编写了本教材。

全书参考学时数为 90 学时,其主要内容有:机械制造常用的金属材料和非金属材料的种类、性能、用途及改性方法;金属毛坯和零件的铸造、锻压和焊接成形;金属切削过程中的基本规律和提高切削加工效益的途径;金属切削机床的分类、用途、典型通用机床的工作原理及运动分析,以及使用维护的基本知识;影响机械加工质量的因素和提高机械加工质量的方法;制定机械加工工艺规程的步骤与方法;特种加工和先进制造技术的基本知识。

本书可作为高等职业技术学院、高等工程专科学校,以及成人高等院校机械类、近机械类各专业机械制造基础教材,也可供机械工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/张季中主编. —北京:北京大学出版社, 2005.8

(面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材)

ISBN 7-301-09105-2

I. 机… II. 张… 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(2005)第 069390 号

书 名: 机械制造基础

著作责任者: 张季中 主 编

责任编辑: 温丹丹 董 超

标准书号: ISBN 7-301-09105-2/TH·0014

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765126

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 20.75 印张 450 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

前 言

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,贯彻高职高专教育由“重视规模发展”转向“注重提高质量”的工作思路,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、培养以就业市场为导向的具备职业化特征的高等技术应用性专门人才的一项重要工作。为了适应国家教育部高职高专教育学制改革从三年逐步调整为两年的发展趋势,并以此带动高职教育人才培养模式、课程体系和教学内容等相关改革的要求,在吸取近几年高职高专教学实践中成功经验的基础上编写本教材。

全书参考学时数为90学时,其主要内容有:机械制造常用的金属材料和非金属材料的种类、性能、用途及改性方法;金属毛坯和零件的铸造、锻压和焊接成形;金属切削过程中的基本规律和提高切削加工效益的途径;金属切削机床的分类、用途、典型通用机床的工作原理及运动分析,以及使用维护的基本知识;影响机械加工质量的因素和提高机械加工质量的方法;制定机械加工工艺规程的步骤与方法;特种加工和先进制造技术基本知识。

本书的主要特点有以下几方面。

(1) 本书把原来的“金属材料及热处理”和“机械制造基础”两门课程进行整合,形成了新的教学体系。整合后的《机械制造基础》教材,各章节既有相对独立性,又紧密联系、互相渗透、融为一体。

(2) 本书在内容组织上注意逻辑性、系统性,突出实践性和实用性,注重理论与实际相结合,突出对学生的动手能力和实践技能的培养。

(3) 全书每章之前设有章前介绍,章后有总结和相当数量的思考与练习题,以帮助读者更好地学习、理解和掌握相关知识的内容。

(4) 在时代性上尽量反映机械制造方面的新技术、新材料、新工艺和新设备,使教师和学生的认识在一定层次上能跟上现代科技发展与职业技术教育的新要求。

(5) 本书内容丰富、涉及面广、适应性强。可供高职高专院校机械类各专业教学使用,也可供相关工程技术人员阅读。

全书由张季中主编,宋时兰、魁东伟、辛莉副主编。具体参加本书编写工作的有:黑龙江农业经济职业学院张季中(绪论、第1章),哈尔滨职业技术学院魁东伟(第2、3、4章),鸡西大学宋时兰(第5、6章),黑龙江农业经济职业学院宇海英(第7章),黑龙江农业经济职业学院金东琦(第8章),哈尔滨职业技术学院张敏(第9章),黑龙江农业职业技术学院辛莉(第10章),黑龙江省齐齐哈尔农业机械化学学校李万江(第11章),全书由黑龙江农业经济职业学院闫瑞涛主审。

限于编者的水平和能力,书中难免有缺点和错误,恳请使用本书的师生以及其他读者提出宝贵意见,编者将不胜感激。

编 者

2005年3月

目 录

绪论	1
第1章 工程材料	3
1.1 金属材料的力学性能	3
1.1.1 强度和塑性	3
1.1.2 硬度	6
1.1.3 冲击韧度	7
1.1.4 疲劳强度	8
1.2 金属的晶体结构与结晶	8
1.2.1 金属的晶体结构	9
1.2.2 金属的结晶	10
1.2.3 金属的同素异构转变	12
1.2.4 晶体缺陷	12
1.3 铁碳合金	13
1.3.1 合金的相结构	13
1.3.2 铁碳合金的基本组织	15
1.3.3 Fe-Fe ₃ C 状态图	16
1.4 钢的热处理	19
1.4.1 钢在加热时的组织转变	19
1.4.2 钢在冷却时的组织转变	19
1.4.3 钢的退火与正火	20
1.4.4 钢的淬火与回火	21
1.4.5 钢的表面淬火和化学热处理	22
1.5 碳素钢	24
1.5.1 杂质元素的影响和碳素钢的分类	24
1.5.2 碳素钢的牌号、性能和用途	25
1.6 合金钢	28
1.6.1 合金元素在钢中的作用	28
1.6.2 合金钢的分类和牌号表示方法	29
1.6.3 合金结构钢	30

1.6.4	合金工具钢	31
1.6.5	特殊合金钢	33
1.7	铸铁	34
1.7.1	灰口铸铁	35
1.7.2	球墨铸铁	35
1.7.3	可锻铸铁	36
1.8	有色金属	36
1.8.1	铝及铝合金	36
1.8.2	铜及铜合金	38
1.8.3	钛及其合金	38
1.9	非金属材料	39
1.9.1	塑料	39
1.9.2	橡胶	41
1.9.3	复合材料	42
1.10	小结	44
1.11	练习与思考题	44
第2章	铸造	46
2.1	砂型铸造工艺基础	47
2.1.1	砂型铸造的工艺过程	47
2.1.2	造型方法	48
2.1.3	造芯	53
2.1.4	浇注系统	54
2.1.5	合型、熔炼与浇注	55
2.1.6	落砂、清理与检验	56
2.2	合金的铸造性能	56
2.2.1	流动性	57
2.2.2	收缩性	58
2.2.3	常用合金的铸造性能	60
2.2.4	铸件缺陷的形成及预防	61
2.3	砂型铸造工艺过程设计	62
2.3.1	铸件浇注位置的选择原则	62
2.3.2	铸型分型面的选择原则	63
2.3.3	工艺参数的选择原则	65
2.4	铸件的结构工艺性	67
2.4.1	合金铸造性能对铸件结构的要求	67

2.4.2	铸造工艺对铸件结构的要求	71
2.5	其他铸造方法	74
2.5.1	金属型铸造	74
2.5.2	压力铸造	74
2.5.3	离心铸造	75
2.5.4	熔模铸造	76
2.6	小结	77
2.7	练习与思考题	77
第3章	锻压	79
3.1	锻造工艺基础	80
3.1.1	自由锻	80
3.1.2	胎模锻	84
3.1.3	锤上模锻	86
3.2	金属的锻造性能	88
3.2.1	金属的塑性变形	88
3.2.2	冷加工与热加工的界限	92
3.2.3	金属的可锻性	92
3.2.4	锻造温度范围和冷却方法	94
3.2.5	锻件缺陷的形成及预防	96
3.3	锻件的结构工艺性	97
3.3.1	自由锻件的结构工艺性需求	97
3.3.2	胎模锻件和模锻件的结构工艺性要求	99
3.4	冲压	101
3.4.1	冲压的基本工序	101
3.4.2	冲压件的结构工艺性	103
3.5	其他锻压方法	106
3.5.1	轧制	106
3.5.2	精密模锻	108
3.5.3	挤压	109
3.5.4	拉拔	109
3.6	小结	110
3.7	练习与思考题	110
第4章	焊接	112
4.1	熔焊工艺基础	113
4.1.1	焊条电弧焊	113

4.1.2	埋弧焊.....	121
4.1.3	气体保护电弧焊.....	123
4.2	金属的焊接性能.....	124
4.2.1	金属的焊接性.....	124
4.2.2	碳钢和低合金结构钢的焊接性.....	125
4.2.3	铸铁的焊接性.....	126
4.3	焊接接头组织和性能.....	127
4.3.1	焊缝的组织 and 性能.....	127
4.3.2	热影响区的组织和性能.....	127
4.4	焊接变形和焊件结构工艺性.....	129
4.4.1	焊接变形及防止方法.....	129
4.4.2	焊件的结构工艺性.....	131
4.5	熔焊工艺设计基础.....	133
4.5.1	焊缝位置的确定及焊缝代号.....	134
4.5.2	焊接接头形式和尺寸的确定.....	137
4.5.3	焊条的选用.....	139
4.5.4	焊件的热处理.....	141
4.6	其他焊接方法.....	142
4.6.1	气焊.....	142
4.6.2	电渣焊.....	143
4.6.3	电阻焊.....	143
4.6.4	钎焊.....	145
4.7	小结.....	146
4.8	练习与思考题.....	146
第5章	机械零件毛坯的选择.....	147
5.1	常用毛坯的种类.....	147
5.1.1	型材.....	147
5.1.2	铸件.....	147
5.1.3	锻件.....	148
5.1.4	冲压件.....	148
5.1.5	焊接件.....	149
5.2	毛坯选择的原则.....	149
5.2.1	毛坯选择的原则.....	149
5.2.2	毛坯具体选择时考虑的因素.....	150
5.3	典型零件的毛坯选择.....	150

5.3.1	轴杆类零件.....	150
5.3.2	饼块及盘套类零件.....	151
5.3.3	机架类零件.....	152
5.3.4	毛坯选择举例.....	153
5.4	小结.....	154
5.5	练习与思考题.....	155
第6章	金属切削加工基础知识.....	156
6.1	切削运动及切削要素.....	156
6.1.1	零件的种类及其表面形成.....	156
6.1.2	切削运动.....	157
6.1.3	切削要素.....	159
6.2	金属切削刀具.....	159
6.2.1	刀具材料.....	160
6.2.2	刀具角度.....	161
6.2.3	刀具结构.....	165
6.3	切削过程中的物理现象.....	165
6.3.1	切屑形成过程及切屑种类.....	166
6.3.2	积屑瘤.....	167
6.3.3	切削力和切削功率.....	168
6.3.4	切削热和切削温度.....	170
6.3.5	刀具磨损和刀具耐用度.....	171
6.4	工件材料的切削加工性.....	173
6.4.1	材料切削加工性的概念和衡量指标.....	173
6.4.2	材料切削加工性的改善.....	174
6.5	金属切削条件的选择.....	175
6.5.1	切削加工主要技术经济指标.....	175
6.5.2	切削用量的合理选择.....	177
6.5.3	切削液的选用.....	179
6.6	小结.....	180
6.7	练习与思考题.....	180
第7章	金属切削机床.....	181
7.1	金属切削机床分类与型号编制.....	181
7.1.1	机床分类.....	181
7.1.2	通用机床型号.....	182
7.2	车床.....	184

7.2.1	普通车床	185
7.2.2	卧式车床的传动系统	188
7.2.3	其他车床	190
7.3	钻床和镗床	194
7.3.1	钻床	194
7.3.2	镗床	197
7.4	刨床、插床	199
7.4.1	刨床	199
7.4.2	插床	203
7.5	铣床	203
7.5.1	卧式万能升降台铣床	204
7.5.2	其他铣床	207
7.5.3	铣床附件——万能分度头	209
7.6	磨床	211
7.6.1	M1432A 型万能磨床	212
7.6.2	其他磨床简介	213
7.7	小结	216
7.8	练习与思考题	216
第8章	机械零件表面加工	217
8.1	外圆表面加工	217
8.1.1	外圆表面车削加工	217
8.1.2	外圆表面的磨削加工	221
8.2	孔的加工	223
8.2.1	钻削加工	223
8.2.2	镗削	224
8.2.3	铰削	225
8.3	平面加工	226
8.3.1	平面刨削加工	226
8.3.2	平面铣削加工	227
8.3.3	平面磨削加工	229
8.4	螺纹加工	229
8.4.1	套丝	229
8.4.2	螺纹车削	230
8.4.3	螺纹铣削	231
8.5	齿轮的齿形加工	231

8.5.1	概述	231
8.5.2	滚齿	232
8.5.3	插齿	233
8.5.4	齿面精加工	235
8.6	光整加工	238
8.6.1	研磨	238
8.6.2	珩磨	239
8.6.3	超级光磨	240
8.7	小结	241
8.8	练习与思考题	241
第9章	机械加工工艺过程的制定	242
9.1	机械加工工艺过程概述	242
9.1.1	工艺过程是生产过程的主要过程	242
9.1.2	生产类型	244
9.2	工件的安装和夹具	245
9.2.1	工件的安装	246
9.2.2	夹具简介	247
9.3	工艺规程的拟定	249
9.3.1	零件的工艺分析	249
9.3.2	毛坯的选择及加工余量的确定	250
9.3.3	定位基准的选择	251
9.3.4	工艺路线的拟定	255
9.3.5	工艺文件的编制	257
9.4	典型零件工艺过程	257
9.4.1	轴类零件	257
9.4.2	套类零件	260
9.4.3	箱体类零件	263
9.5	小结	267
9.6	练习与思考题	268
第10章	特种加工	269
10.1	电火花加工	270
10.1.1	电火花加工的原理	270
10.1.2	电火花加工的特点	271
10.1.3	电火花加工的类型及应用	272
10.1.4	电火花加工机床简介	274

10.2	电解加工	276
10.2.1	电解加工的原理	277
10.2.2	电解加工的特点和应用	277
10.2.3	电解加工机床简介	280
10.2.4	电解磨削	280
10.2.5	电铸	282
10.3	激光加工	284
10.3.1	激光加工的原理	284
10.3.2	激光加工的特点和应用	284
10.3.3	激光加工的基本设备	286
10.4	电子束加工	287
10.4.1	电子束加工的原理	287
10.4.2	电子束加工的特点和应用	287
10.4.3	电子束加工装置	289
10.5	离子束加工	291
10.5.1	离子束加工的原理	291
10.5.2	离子束加工的基本设备	293
10.6	超声波加工	294
10.6.1	超声波加工的原理	294
10.6.2	超声波加工的特点和应用	295
10.6.3	超声波加工的基本设备	297
10.7	小结	298
10.8	练习与思考题	299
第 11 章	先进制造技术	300
11.1	数控加工技术	300
11.1.1	数字控制与数控机床的概念	300
11.1.2	数控机床的基本组成及工作原理	300
11.1.3	数控机床的分类	302
11.1.4	数控机床的特点及应用范围	306
11.2	快速成形技术	307
11.2.1	快速成形技术的概念	307
11.2.2	快速成形技术的工作原理	308
11.2.3	快速成形技术的工艺方法	308
11.2.4	快速成形技术的特点和用途	310
11.3	柔性制造技术	310

11.3.1 柔性制造单元	310
11.3.2 柔性制造系统	311
11.3.3 计算机集成制造系统	313
11.3.4 成组技术	314
11.4 小结	316
11.5 练习与思考题	317
参考文献	318

绪 论

1. 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机械类和机电类专业的主干专业基础课程。

从普遍意义上讲,机械制造是指将毛坯(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几个阶段。

(1) 技术准备阶段

某种零件或产品投产前,必须做各项技术准备工作,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

每个零件按其机器中的作用的不同,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。

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。“铸造生产”、“锻压生产”、“焊接生产”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。“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“机械加工工艺过程”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。“金属切削机床的基础知识”部分,介绍各种机床工作原理、结构特点和使用方法。而“特种加工”和“先进制造技术”部分,则着重介绍电火花、电解、激光、电子束、离子束和超声波加工方法,以及介绍数控加工技术、快速成形加工技术和柔性制造技术,着眼于拓宽知识面、提高人才培养的专业适应性。

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时代,我国要实现四个现代化全面进入“小康”社会,特别是我国正在成为世界制造中心,就必须大力发展机械制造业及机械制造技术。

3. 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;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。学习本课程的要求主要有以下几个方面。

(1) 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。

(2) 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。

第1章 工程材料

教学目的:

- 认识金属的晶体结构特征, 从宏观和微观两个角度研究材料的性能;
- 了解铁碳合金的化学成分、组织状态和性能之间的关系;
- 熟悉和掌握碳钢、合金钢、铸铁以及有色金属的牌号、性能与应用知识;
- 熟悉和掌握钢的常用热处理工艺过程及其在机械加工中的工艺位置;
- 学习非金属材料种类、特点和应用;
- 综合掌握各种工程材料的性能, 培养正确选用工程材料的能力。

1.1 金属材料的力学性能

金属材料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。

1.1.1 强度和塑性

金属材料的强度和塑性一般可以通过拉伸试验来测定。

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 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 ($L_0 = 10d_0$) 和短试样 ($L_0 = 5d_0$)。

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 ΔL , 并给出了它们之间的关系曲线, 称为拉伸曲线 (或拉伸图)。

图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。在拉伸的开始阶段, 试样产生弹性变形, oe 近似为一直线。当载荷超过 F_e 后, 试样将进一步伸长, 但此时若卸除载荷, 弹性变形消失后, 有一部分变形不能消失, 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, 试样开始明显地塑性变形, 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。

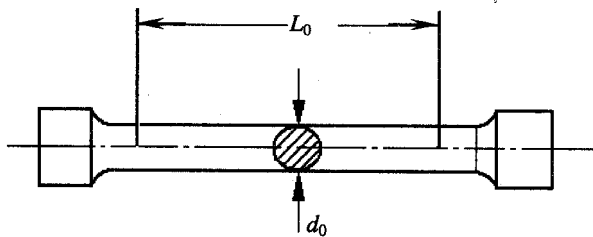


图 1-1 圆柱形拉伸试样

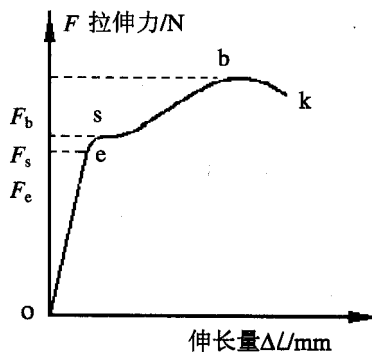


图 1-2 低碳钢拉伸曲线

当载荷继续增加到某一最大值 F_b 时, 变形集中发生在试样的局部, 产生了颈缩现象。由于试样局部截面的逐渐减少, 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, 单位为 N ;

A_0 ——试样原始横截面积, 单位为 mm^2 。

(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: