

普通高等院校机电工程类规划教材

机械制造基础

郁龙贵 乔世民 主编

普通高等院校机电工程类规划教材

机械制造基础

郁龙贵 乔世民 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据高等教育机械制造学科教学改革的需要而编写。全书共 13 章,主要包括:金属材料的力学性能、钢铁材料的热处理以及各种金属材料的分类与用途;金属毛坯成形工艺方法(铸造、锻压、焊接);典型零件毛坯的选择;机械制造过程的基础理论与应用知识,如机械零件切削加工的基础知识和工艺方法等。

本书可作为高等工科院校机械设计制造及自动化本科专业和其他机械工程类本科专业的教学用书,也可作为成人高校、函授大学相关专业的教学用书,或作为从事机械制造工作的工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/郁龙贵,乔世民主编. —北京:清华大学出版社,2009.1
(普通高等院校机电工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-18961-9

I. 机… II. ①郁… ②乔… III. 机械制造—高等学校—教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 185595 号

责任编辑:庄红权 洪 英

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:17.25

字 数:415 千字

版 次:2009 年 1 月第 1 版

印 次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.80 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:030351-01

前 言

本书是为适应高等教育课程体系与教学内容改革的需要,在教育部颁布的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》的精神指导下,结合我们的教学实践而编写的。

本书从系统的角度出发,以工程材料的性能及结构、毛坯成形工艺方法、机械零件表面切削加工工艺方法作为主线,经结构优化,将机械制造过程中所要掌握的应用性基础知识有机串联起来,形成新的课程体系和教学内容。本书可作为机械设计制造及自动化本科专业和其他机械工程本科专业的技术基础课程教学用书。学生通过本课程的学习,可以熟悉和掌握在工程实践中如何选择材料、选择毛坯成形的工艺方法、选择零件的切削加工工艺方法。

为达到上述教学要求,本书编写内容在做好继承性的基础上,力求做到理论紧密结合生产实践、知识与能力培养并重的思想;为增强专业基础知识、拓宽专业面,本书内容丰富、涉及面广,但理论阐述简明扼要,应用知识尽量采用表格和运用案例进行分析,突出实用性、综合性和先进性。

本书由上海第二工业大学机电工程学院郁龙贵、乔世民担任主编。参加编写的有郁龙贵(第1~7章)、刘唯(第8、11、12章)、张弦(第9章)、吴锡其(第10章)、乔世民(第13章)。

在本书编写过程中,得到了上海第二工业大学机电工程学院领导的大力支持;另外,本书参考并引用了一些教材的部分内容或插图,在此一并表示感谢。

限于编者的水平,书中错误与不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2008年12月

目 录

第 1 章 金属材料的力学性能	1
1.1 强度和塑性	1
1.1.1 强度	1
1.1.2 塑性	3
1.2 硬度	4
1.2.1 布氏硬度	5
1.2.2 洛氏硬度	6
1.2.3 维氏硬度和显微硬度	7
1.3 冲击韧性	8
1.4 疲劳强度	8
复习与思考题	9
第 2 章 金属的晶体结构与结晶	10
2.1 金属的晶体结构	10
2.1.1 晶体的基本概念	10
2.1.2 固态金属的特性	11
2.1.3 常见金属的晶体结构	11
2.2 金属的实际晶体结构	11
2.2.1 单晶体与多晶体的概念	11
2.2.2 晶体中的缺陷	12
2.3 纯金属的结晶	13
2.3.1 纯金属的冷却曲线和冷却现象	13
2.3.2 金属的结晶过程	14
复习与思考题	15
第 3 章 铁碳合金相图	16
3.1 纯铁及铁碳合金的基本组织	16
3.1.1 纯铁	16
3.1.2 合金的基本概念和合金的相结构	17
3.1.3 铁碳合金基本组织	18
3.2 铁碳合金相图分析	19
3.3 典型铁碳合金的结晶过程及其组织	20
3.4 碳的质量分数对铁碳合金组织、性能的影响和铁碳合金相图的应用	22
3.4.1 碳的质量分数对铁碳合金组织的影响	22

3.4.2 碳的质量分数对力学性能的影响	23
3.4.3 碳的质量分数对工艺性能的影响	23
3.4.4 铁碳合金相图的应用	24
复习与思考题	25
第4章 钢的热处理	26
4.1 钢在加热时的组织转变	26
4.1.1 奥氏体的形成	27
4.1.2 奥氏体晶粒的长大及影响因素	27
4.2 钢在非平衡冷却时的组织转变	28
4.2.1 过冷奥氏体的等温转变	29
4.2.2 过冷奥氏体的连续冷却转变	30
4.2.3 马氏体转变	32
4.3 钢的退火与正火	32
4.3.1 钢的退火	32
4.3.2 钢的正火	33
4.4 钢的淬火	34
4.4.1 钢的淬火工艺	34
4.4.2 淬火方法	35
4.4.3 钢的淬透性	36
4.5 钢的回火	36
4.5.1 回火的目的	36
4.5.2 淬火钢在回火时组织的转变	37
4.5.3 回火种类与应用	37
4.6 钢的表面淬火	38
4.6.1 感应加热表面淬火	38
4.6.2 火焰加热表面淬火	39
4.7 钢的化学热处理	39
4.7.1 钢的渗碳	39
4.7.2 钢的氮化	40
4.7.3 钢的碳氮共渗与氮碳共渗	41
4.8 热处理技术条件的标注和工艺位置安排	41
4.8.1 热处理技术条件的标注	41
4.8.2 热处理工艺位置的安排	41
复习与思考题	43
第5章 碳素钢与合金钢	44
5.1 钢的分类与编号	44
5.1.1 钢的分类	44

5.1.2 钢的编号	44
5.2 钢中常存杂质元素的影响	46
5.3 合金元素在钢中的作用	46
5.3.1 合金元素在钢中的存在形式	47
5.3.2 合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	47
5.3.3 合金元素对钢的热处理的影响	48
5.4 结构钢	48
5.4.1 工程结构用结构钢	49
5.4.2 机器零件用结构钢	50
5.5 工具钢	57
5.5.1 刃具钢	57
5.5.2 模具钢	60
5.5.3 量具钢	62
5.6 特殊性能钢	62
5.6.1 不锈钢	63
5.6.2 耐热钢	65
5.6.3 耐磨钢	66
复习与思考题	67
第 6 章 铸铁	68
6.1 灰铸铁	68
6.1.1 灰铸铁的成分、组织和性能	68
6.1.2 灰铸铁的孕育处理	69
6.1.3 灰铸铁的牌号和应用	69
6.2 球墨铸铁	70
6.2.1 球墨铸铁的成分、组织和性能	70
6.2.2 球墨铸铁的牌号和应用	71
6.3 可锻铸铁	71
6.3.1 可锻铸铁的成分与组织	71
6.3.2 可锻铸铁的牌号、性能和应用	72
6.4 蠕墨铸铁	72
复习与思考题	73
第 7 章 非铁金属材料	74
7.1 铝及铝合金	74
7.1.1 工业纯铝	74
7.1.2 铝合金	74
7.2 铜及铜合金	77
7.2.1 工业纯铜	77

7.2.2 铜合金	77
7.3 钛及其合金	78
7.3.1 纯钛	79
7.3.2 钛合金	79
复习与思考题	80
第8章 铸造	81
8.1 概述	81
8.2 合金的铸造性	81
8.2.1 合金的充型能力	82
8.2.2 合金的收缩性	84
8.2.3 铸造生产常见缺陷	89
8.3 铸造方法	91
8.3.1 砂型铸造	91
8.3.2 特种铸造	94
8.4 铸造工艺设计	96
8.4.1 浇注位置和分型面的选择	97
8.4.2 确定主要铸造工艺参数	99
8.4.3 确定浇注系统	103
8.4.4 绘制铸造工艺图	103
8.5 铸件结构工艺性	106
8.5.1 铸造性能对铸件结构的要求	106
8.5.2 铸造工艺对铸件结构的要求	108
复习与思考题	110
第9章 锻压	112
9.1 概述	112
9.1.1 锻压生产的特点	112
9.1.2 锻压生产的适用范围	112
9.2 锻压工艺基础	113
9.2.1 金属的塑性变形	113
9.2.2 变形后金属的组织 and 性能	114
9.2.3 金属的锻造性	115
9.3 自由锻	116
9.3.1 概述	116
9.3.2 自由锻工序	116
9.3.3 自由锻件的分类和锻造过程	117

9.4 模锻	120
9.4.1 锤上模锻	120
9.4.2 胎模锻	125
9.5 板料冲压	126
9.5.1 概述	126
9.5.2 板料冲压的基本工序	127
9.6 锻压件结构设计	132
复习与思考题	135
 第 10 章 焊接	136
10.1 概述	136
10.2 焊条电弧焊	137
10.2.1 焊接电弧	138
10.2.2 焊接接头	139
10.2.3 焊条	140
10.2.4 焊接接头的金属组织与性能	140
10.2.5 焊接应力与变形	142
10.3 其他焊接方法	143
10.3.1 埋弧自动焊	143
10.3.2 气体保护电弧焊	144
10.3.3 气焊和气割	146
10.3.4 电渣焊	147
10.3.5 等离子弧焊	149
10.3.6 压焊与钎焊	149
10.4 常用金属材料的焊接	152
10.4.1 碳钢的焊接	152
10.4.2 低合金结构钢的焊接	153
10.4.3 不锈钢焊接	153
10.4.4 铸铁的焊补	153
10.4.5 非铁金属的焊接	154
10.5 焊接结构工艺设计	155
10.5.1 焊接结构工艺设计基础	155
10.5.2 焊接结构工艺设计实例	161
复习与思考题	162
 第 11 章 机械零件毛坯的选择	163
11.1 毛坯选择的原则	163

11.1.1	满足材料的工艺性能要求	163
11.1.2	满足零件的使用要求	164
11.1.3	满足降低生产成本的要求	164
11.1.4	符合生产条件	165
11.2	典型零件的毛坯选择	165
11.2.1	轴杆类零件的毛坯选择	165
11.2.2	盘套类零件的毛坯选择	167
11.2.3	箱体机架类零件的毛坯选择	169
	复习与思考题	170
第 12 章	金属切削加工的基础知识	172
12.1	加工质量	172
12.1.1	加工精度	172
12.1.2	表面质量	173
12.2	切削的概念	175
12.2.1	切削运动	175
12.2.2	工件表面	175
12.2.3	切削用量	176
12.3	刀具切削部分的几何角度	177
12.3.1	车刀的组成	177
12.3.2	刀具几何角度参考系	178
12.3.3	刀具标注角度定义	179
12.3.4	刀具工作角度	180
12.3.5	切削层参数	181
12.4	刀具材料	182
12.4.1	刀具材料应当具备的性能	182
12.4.2	高速钢	182
12.4.3	硬质合金	183
12.5	金属切削过程	185
12.5.1	切屑的形成过程	185
12.5.2	第Ⅰ变形区	186
12.5.3	第Ⅱ变形区	187
12.5.4	第Ⅲ变形区	189
12.6	切削力	189
12.6.1	切削力的来源、合力及其分力	189
12.6.2	切削力的计算	190
12.6.3	切削功率的计算	191
12.6.4	影响切削力的主要因素	191

12.7	切削热和切削温度·····	192
12.7.1	切削热的产生和传出·····	192
12.7.2	切削温度的分布·····	192
12.7.3	影响切削温度的主要因素·····	193
12.8	刀具磨损和刀具寿命·····	194
12.8.1	刀具的磨损形式·····	194
12.8.2	刀具磨损的原因·····	195
12.8.3	刀具的磨损过程及磨钝标准·····	195
12.8.4	刀具寿命·····	196
12.9	工件材料的切削加工性·····	197
12.10	金属切削条件的选择·····	198
12.10.1	刀具几何参数的选择·····	198
12.10.2	刀具寿命的选择·····	200
12.10.3	切削用量的选择·····	201
12.10.4	切削液的选择·····	201
	复习与思考题·····	202
第 13 章	机械零件表面加工 ·····	204
13.1	金属切削机床的基础知识·····	204
13.1.1	机床的分类·····	204
13.1.2	机床型号的编制方法·····	205
13.1.3	零件表面的切削加工成形方法和机床的运动·····	207
13.1.4	机床传动的基本组成和传动原理图·····	209
13.1.5	机床传动系统图和运动计算·····	210
13.2	外圆表面加工·····	212
13.2.1	外圆表面的加工方法·····	212
13.2.2	外圆表面的车削加工·····	213
13.2.3	外圆表面的磨削加工·····	221
13.3	内圆表面加工·····	228
13.3.1	内圆表面的加工方法·····	228
13.3.2	钻削加工·····	229
13.3.3	镗削加工·····	234
13.3.4	拉削加工·····	237
13.3.5	内圆磨削·····	238
13.4	平面加工方法·····	240
13.4.1	平面加工·····	240
13.4.2	刨削与插削加工·····	241
13.4.3	铣削加工·····	243
13.4.4	平面磨削加工·····	250

13.5 齿轮的齿形加工	252
13.5.1 圆柱齿轮齿形加工方法	252
13.5.2 滚齿加工	254
13.5.3 插齿加工	256
13.5.4 齿形的其他加工方法	257
13.5.5 齿形加工方案的选择	259
复习与思考题	260
参考文献	262

第 1 章 金属材料的力学性能

为了正确、合理地使用金属材料,应充分了解和掌握金属材料的性能。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在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。材料的力学性能是材料在一定环境因素下承受外加载荷时所表现出的行为,通常表现为变形(材料受到载荷作用而产生的几何形状和尺寸的变化)与断裂。材料用于结构零件时,其力学性能是机械设计、材料选择、工艺评定及材料检验的主要依据。

1.1 强度和塑性

1.1.1 强度

材料承受静拉伸时的力学性能指标是通过拉伸试验测定的。其过程为:将被测材料按 GB/T 228—2002 要求制成标准拉伸试样(见图 1.1.1),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 ;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 $\epsilon=\Delta L/L_0$,从而得到 $R-\epsilon$ 曲线(见图 1.1.1),其形状与 $F-\Delta L$ 曲线完全一致。

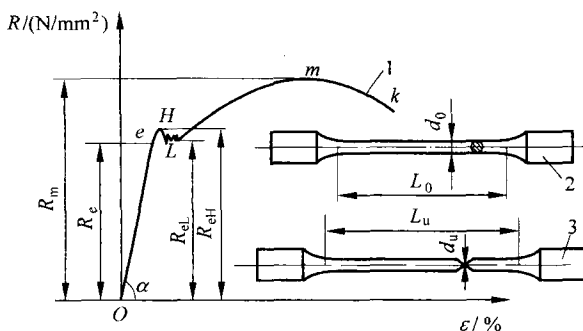


图 1.1.1 拉伸试样与拉伸曲线

1—低碳钢拉伸曲线; 2—拉伸试样; 3—拉断后的试样

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永久变形,这种永久变形称为塑性变形。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。

1. 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

弹性极限 R_e 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 。

实际上 R_e 只是一个理论上的物理定义,对于实际使用的工程材料,用普通的测量方法很难测出准确而唯一的弹性极限数值,因此,为了便于实际测量和应用,一般规定以残余应变(即微量塑性变形量)为 0.01% 时的应力值作为规定弹性极限(或称条件弹性极限)。工程上,对于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

弹性模量 E 是指金属材料在弹性状态下应力与应变的比值。即

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

弹性模量 E 表征金属材料抵抗弹性变形的能力。工程上将材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。 E 值越大,表明材料的刚度越大。

绝大多数的机械零件都是在弹性状态下进行工作的,工作过程中,一般不允许有过量的弹性变形,更不允许有明显的塑性变形,故对刚度都有一定的要求。零件的刚度除了与零件的横截面大小、形状有关外,还主要取决于材料的弹性模量 E 。 E 愈大,刚度愈大。金属材料的弹性模量 E 主要取决于基体金属的性质,当基体金属确定时,难以通过合金化、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 E 的正值均在 $(20 \sim 21.4) \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 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。

2. 强度

强度是指材料在静载荷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

屈服强度是指当金属材料呈现屈服现象时,在试验期间达到发生塑性变形而不增加力的应力点,区分为上屈服强度和下屈服强度(旧标准用 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,则规定以残余应变变量达到 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 $R_{p0.2}$ 。如图 1.1.2 所示, $R_{p0.2} = F_{0.2}/S_0$ 。

屈服强度是工程上最重要的力学性能指标之一。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影响与其他零件的相对配合,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。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,并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。

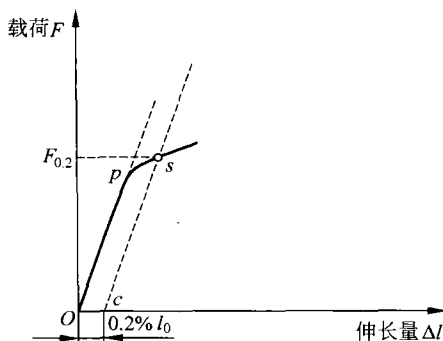


图 1.1.2 屈服强度测定

2) 抗拉强度

抗拉强度 R_m (旧标准用 σ_b 表示) 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 表示材料对抵抗大量塑性变形的能力;而对脆性材料,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。抗拉强度是零件设计时的重要依据,同时也是评定金属材料强度的重要指标。

1.1.2 塑性

塑性是指金属材料在静载荷作用下,产生塑性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

断后伸长率 A (旧标准用 δ 表示) 是指断后试样标距的残余伸长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 ——试样断后标距的残余伸长, mm;

L_0 ——试样的原始标距, mm。

材料伸长率的大小与试样原始标距 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 越长则 A 越小; 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 $L_0/\sqrt{S_0}$ 的比值为一常数。国家标准规定, 此值为 11.3 (相当于 $L_0=10d_0$ 的试棒) 或 5.65 (相当于 $L_0=5d_0$ 的试棒), 所得的伸长率以 $A_{11.3}$ 或 $A(A_{5.65}$ 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

断面收缩率 Z (旧标准用 Ψ 表示) 是指断裂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, mm^2 ;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

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。

材料的塑性指标通常不直接用于工程设计计算, 但任何零件都要求具有一定的塑性。因为零件使用过程中, 偶然过载时, 由于能发生一定的塑性变形可避免发生突然断裂。同时塑性变形还有削减应力峰、缓和应力集中的作用, 在一定程度上保证了零件的工作安全。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。

必须指出的是图 1.1.1 所示退火低碳钢的 $R-\epsilon$ 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。

1.2 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, 能够反映出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所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; 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。

1.2.1 布氏硬度

布氏硬度试验原理如图 1.2.1 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

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

式中: F ——试验力, N;

S ——压痕表面积, mm^2 ;

d ——压痕直径, mm;

D ——硬质合金球直径, mm。

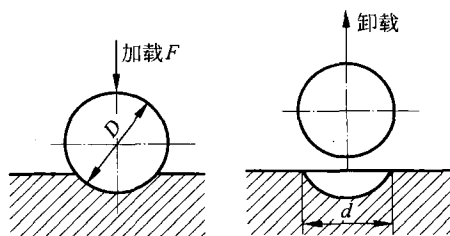


图 1.2.1 布氏硬度实验原理图

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

例如: 350 HBW 5/750 表示用直径 5 mm 硬质合金球在 7355 N 试验力作用下保持 10~15 s 测得的布氏硬度值为 350; 600 HBW 1/30/20 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。

布氏硬度目前主要用于铸铁、非铁金属以及经退火、正火和调质处理的钢材。表 1.2.1 为不同材料的试验力-压头球直径平方的比率。

表 1.2.1 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 $0.102 F/D^2$
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。