

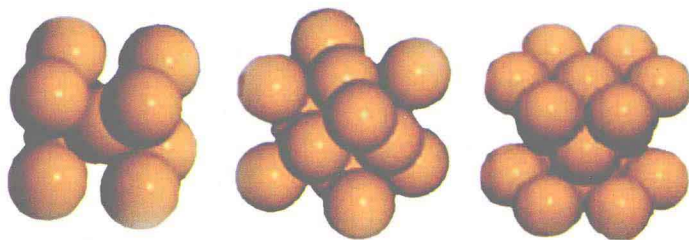


普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 金属加工工艺基础

主 编 米国发  
副主编 南红艳 王狂飞 崔红保



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

# 金属加工工艺基础

主 编 米国发  
副主编 南红艳 王狂飞 崔红保



北 京  
冶金工业出版社  
2011

## 内 容 简 介

本书共分 15 章,从金属材料的主要性能、金属和合金的晶体结构、铁碳合金入手,介绍了钢的热处理和材料表面处理技术,工业用钢铁和有色金属及其合金,铸造、塑性成形、焊接、切削加工等加工工艺,以及工艺过程的基本知识和金属加工工艺与计算机技术。

本书适合作为普通高等院校机械、材料类专业本科生及相关专业大专院校师生的教材,也可供有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

金属加工工艺基础/米国发主编. —北京:冶金工业出版社, 2011.6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5588-0

I. ①金… II. ①米… III. ①金属加工—工艺学—高等学校—教材 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 104615 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 尚海霞 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5588-0

北京印刷一厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011 年 6 月第 1 版, 2011 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16.25 印张; 393 千字; 247 页

35.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 前 言

本书是普通高等教育“十二五”规划教材，是高等学校工程材料及机械制造基础课程中的一本专业基础课教材。金属加工工艺是从事工程材料和机械设计制造工作不可或缺的基础知识。

本书坚持“以工艺和常规为主”的原则，重点介绍金属材料的基本知识、铸造、金属塑性加工、焊接和金属切削加工等工艺，同时为扩大学生的视野，激发创新意识，适当介绍了学科前沿的一些新技术、新工艺和新成果。本教材适合普通高等院校机械、材料类专业本科生及相关专业大专院校学生使用，也可供有关工程技术人员参考。

全书共分15章。参加本书编写的人员为河南理工大学的老师，具体分工为：王狂飞，第1章、第2章；张宝庆，第3章、第4章；崔红保，第5章、第6章；历长云，第7章、第9章；米国发，第8章；徐东霞，第10章；南红艳，第11~13章；王英，第14章、第15章。

本书在编写过程中得到了河南理工大学、冶金工业出版社和有关院校师生的大力支持，在此谨致谢意。

由于编者水平所限，书中不当之处，恳请广大读者斧正。

编 者  
2011年4月

# 目 录

<b>1 金属材料的主要性能</b> .....	1
1.1 金属的力学性能 .....	1
1.1.1 强度 .....	1
1.1.2 塑性 .....	3
1.1.3 硬度 .....	3
1.1.4 冲击韧度 .....	4
1.1.5 疲劳极限 .....	5
1.2 金属的物理、化学及工艺性能 .....	5
1.2.1 金属的物理性能 .....	5
1.2.2 金属的化学性能 .....	6
1.2.3 金属的工艺性能 .....	7
习题与思考题 .....	7
<b>2 金属和合金的晶体结构</b> .....	8
2.1 金属的晶体结构 .....	8
2.1.1 晶体结构 .....	8
2.1.2 三种典型的金属晶格 .....	8
2.1.3 金属实际的晶体结构 .....	8
2.2 金属的结晶 .....	10
2.2.1 纯金属的结晶 .....	10
2.2.2 纯金属的结晶过程 .....	11
2.2.3 金属结晶后的晶粒大小 .....	11
2.3 合金的晶体结构 .....	12
2.3.1 合金的基本概念 .....	12
2.3.2 合金的组织 .....	12
2.4 合金的结晶 .....	13
2.4.1 合金相图的概念 .....	13
2.4.2 二元合金相图的建立 .....	13
2.4.3 二元合金相图的分析 .....	13
习题与思考题 .....	14

<b>3 铁碳合金</b> .....	15
3.1 铁的晶体结构与同素异构转变 .....	15
3.1.1 纯铁的晶体结构.....	15
3.1.2 纯铁的同素异构转变 .....	16
3.2 铁碳合金的基本组织.....	17
3.2.1 固溶体.....	17
3.2.2 金属化合物.....	19
3.2.3 机械混合物.....	19
3.3 铁碳合金状态图.....	20
3.3.1 相图中的点、线、区.....	20
3.3.2 典型铁碳合金的结晶过程.....	22
3.3.3 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图的应用 .....	24
习题与思考题 .....	24
<b>4 钢的热处理</b> .....	25
4.1 钢在加热和冷却时的组织转变.....	25
4.1.1 钢在加热时的组织转变.....	26
4.1.2 钢在冷却时的组织转变 .....	27
4.2 钢的普通热处理.....	29
4.2.1 钢的退火.....	29
4.2.2 钢的正火.....	29
4.2.3 钢的淬火.....	30
4.2.4 钢的回火.....	34
4.3 钢的表面热处理和化学热处理.....	35
4.3.1 钢的表面热处理.....	36
4.3.2 钢的化学热处理 .....	37
4.4 热处理新技术简介.....	38
4.4.1 形变热处理.....	38
4.4.2 真空热处理.....	39
4.4.3 可控气氛热处理.....	39
4.4.4 激光热处理.....	39
4.4.5 电子束表面淬火.....	39
4.4.6 表面气相沉积.....	39
习题与思考题 .....	40
<b>5 材料表面处理技术</b> .....	41
5.1 金属表面强化处理.....	42
5.1.1 喷丸.....	42

5.1.2	滚压加工	42
5.1.3	金属表面复合处理强化法	43
5.1.4	金属表面相变强化法	43
5.1.5	金属表面化学热处理强化法	43
5.2	金属表面防腐处理	43
5.2.1	金属覆盖法	44
5.2.2	非金属覆盖法	50
5.3	金属表面装饰处理	50
5.3.1	表面抛光	50
5.3.2	装饰性电镀	51
5.3.3	氧化与磷化	51
5.3.4	表面转化着色处理	51
	习题与思考题	52
6	工业用钢铁	53
6.1	工业用钢	53
6.1.1	钢的分类	53
6.1.2	结构件用钢	53
6.1.3	机器零件用钢	55
6.1.4	工具钢	56
6.1.5	特殊性能钢	59
6.2	铸铁	61
6.2.1	铸铁的特点和分类	61
6.2.2	铸铁的石墨化	61
6.2.3	铸铁孕育处理	62
6.2.4	常用铸铁	62
6.2.5	特种铸铁	67
	习题与思考题	68
7	有色金属及其合金	69
7.1	概述	69
7.2	铝及铝合金	69
7.2.1	铝及铝合金的性能和分类	69
7.2.2	常用的几种铸造铝合金	71
7.2.3	铝合金牌号	72
7.2.4	提高铝及铝合金强度的主要途径	72
7.3	铜及铜合金	73
7.3.1	铜及铜合金的分类、特点和应用	74
7.3.2	铜合金的热处理	76

7.4 钛及钛合金	77
7.4.1 工业纯钛	77
7.4.2 钛合金	77
7.4.3 钛合金的性能、特点和应用	77
7.5 轴承合金	78
7.5.1 组织性能要求	78
7.5.2 常用的轴承合金	79
7.5.3 轴承合金的牌号	80
7.6 粉末冶金	80
7.6.1 粉末制备方法	80
7.6.2 粉末的性能	82
习题与思考题	84
<b>8 铸造</b>	<b>85</b>
8.1 概述	85
8.2 铸造工艺设计基础	86
8.2.1 概念	86
8.2.2 设计依据	86
8.2.3 设计内容和程序	86
8.3 铸造工艺方案的确定	87
8.3.1 零件结构分析	87
8.3.2 铸造工艺方案分析	93
8.4 砂型铸造	99
8.4.1 砂型铸造工艺的基本知识	99
8.4.2 造型材料	101
8.4.3 手工造型	102
8.4.4 机器造型	104
8.4.5 常用的铸造合金熔炼设备与浇注	105
8.4.6 铸件的落砂与清理	106
8.5 特种铸造	108
8.5.1 熔模铸造	108
8.5.2 金属型铸造	109
8.5.3 陶瓷型铸造	109
8.5.4 压力铸造	110
8.5.5 离心铸造	111
习题与思考题	113
<b>9 塑性成形</b>	<b>114</b>
9.1 概述	114



9.1.1 金属塑性成形的特点 .....	114
9.1.2 塑性成形工艺的分类 .....	114
9.2 金属塑性成形工艺基础 .....	116
9.2.1 塑性变形机理 .....	116
9.2.2 塑性变形后金属的组织 and 性能 .....	116
9.2.3 金属的可锻性 .....	117
9.2.4 锻造温度范围 .....	118
9.2.5 金属的变形规律 .....	118
9.3 自由锻造 .....	119
9.3.1 自由锻造的特点及设备 .....	119
9.3.2 自由锻造的基本工序 .....	120
9.3.3 自由锻造工艺规程的制定 .....	121
9.3.4 自由锻件的结构工艺性 .....	124
9.4 模锻 .....	124
9.4.1 锤上模锻的工艺特点 .....	125
9.4.2 锤上模锻的锻模结构 .....	125
9.4.3 锤上模锻工艺规程的制定 .....	126
9.4.4 锤上模锻零件的结构工艺性 .....	127
9.4.5 其他模锻方法 .....	128
9.5 板料冲压 .....	129
9.5.1 冲压工序及冲压件结构工艺性 .....	129
9.5.2 冷冲压模具 .....	130
9.5.3 冲压工艺过程 .....	131
9.6 其他塑性成形 .....	131
9.6.1 精密模锻 .....	131
9.6.2 超塑性成形 .....	131
9.6.3 高能率成形 .....	132
习题与思考题 .....	132
<b>10 焊接 .....</b>	<b>133</b>
10.1 概述 .....	133
10.2 焊接电弧基础 .....	134
10.2.1 电弧的定义 .....	134
10.2.2 电弧的构造 .....	134
10.2.3 电弧的极性 .....	134
10.3 焊条电弧焊 .....	135
10.3.1 焊条电弧焊的焊接过程 .....	135
10.3.2 焊条电弧焊的特点 .....	135
10.3.3 焊条 .....	136

10.4	埋弧焊	139
10.4.1	埋弧焊的焊接过程和原理	139
10.4.2	埋弧自动焊的特点和应用范围	140
10.4.3	焊丝和焊剂	140
10.4.4	埋弧自动焊的焊接工艺	141
10.5	气体保护电弧焊	141
10.5.1	钨极氩弧焊	142
10.5.2	熔化极氩弧焊	143
10.5.3	CO <sub>2</sub> 气体保护焊	144
10.6	等离子弧焊	146
10.6.1	等离子弧的产生机制	146
10.6.2	等离子弧焊接的特点	146
10.6.3	等离子弧焊接的应用	147
10.7	其他常用焊接方法	147
10.7.1	电阻焊	147
10.7.2	摩擦焊	148
10.7.3	钎焊	149
10.8	常用金属材料的焊接	150
10.8.1	金属材料的焊接性	150
10.8.2	碳钢的焊接	151
10.8.3	合金结构钢的焊接	151
10.8.4	铸铁的补焊	152
10.8.5	铝、铜及其合金的焊接	152
10.9	焊接应力与变形	153
10.9.1	焊接应力与焊接变形	153
10.9.2	焊接变形的基本形式	154
10.9.3	焊接变形与应力的危害	154
10.9.4	预防和减小焊接应力及焊接变形的措施	155
10.9.5	焊接变形的矫正	156
10.10	焊接结构设计	156
10.10.1	焊接结构材料的选择原则	156
10.10.2	焊接方法的选择原则	156
10.10.3	焊接接头设计	157
	习题与思考题	161
11	切削加工的基础知识	162
11.1	切削运动	162
11.1.1	概述	162

11.1.2 切削要素	163
11.2 切削刀具	165
11.2.1 切削刀具的结构	165
11.2.2 刃部材料	166
11.2.3 刀具角度	168
11.3 切削过程	172
11.3.1 切屑的形成及其种类	172
11.3.2 积屑瘤	173
11.3.3 切削力和切削功率	174
11.3.4 切削热的产生与传导	175
11.3.5 刀具磨损和刀具耐用度	176
11.3.6 切削液的选用	176
11.4 工件材料的切削加工性	177
习题与思考题	178
<b>12 常用切削加工方法综述</b>	<b>179</b>
12.1 切削机床的基本知识	179
12.1.1 切削机床的类型	179
12.1.2 机床的基本结构	179
12.1.3 机床的传动	180
12.2 常用切削加工方法综述	183
12.2.1 车床及其加工	183
12.2.2 铣床及其加工	186
12.2.3 磨床及其加工	190
12.2.4 钻床、镗孔及其加工	195
12.2.5 刨床、插床、拉床及其加工	200
习题与思考题	204
<b>13 精密加工与特种加工</b>	<b>205</b>
13.1 精密加工	205
13.1.1 研磨	205
13.1.2 珩磨	206
13.1.3 超级光磨	206
13.1.4 抛光	207
13.2 特种加工	207
13.2.1 电火花加工	208
13.2.2 电解加工	208
13.2.3 超声波加工	209
13.2.4 高能束加工	210

习题与思考题	211
<b>14 工艺过程的基本知识</b>	<b>212</b>
14.1 基本概念	212
14.1.1 生产过程和工艺过程	212
14.1.2 生产纲领和生产类型	213
14.2 机械加工工艺过程	214
14.2.1 机械加工工艺过程组成	214
14.2.2 制定机械加工工艺规程的基本要求和依据	216
14.2.3 机械加工工艺规程的制定	218
14.3 零件结构的工艺性	225
14.3.1 便于装夹	226
14.3.2 便于加工和测量	226
14.3.3 尽量采用标准化参数	228
14.3.4 保证加工质量和提高生产效率	229
习题与思考题	231
<b>15 金属加工工艺与计算机技术</b>	<b>232</b>
15.1 铸造过程辅助设计及控制	232
15.1.1 铸造过程计算机模拟的发展阶段	232
15.1.2 计算机在铸造技术中的应用	233
15.2 数控冲压	236
15.2.1 数控冲床操作流程及加工方式	237
15.2.2 数控冲压的特点	238
15.3 焊接过程自动化	238
15.3.1 焊接机器人的发展历程	239
15.3.2 焊接机器人国内外应用现状	239
15.3.3 国内外焊接机器人技术的研究现状及发展趋势	240
15.4 计算机辅助设计与制造	241
15.4.1 概述	242
15.4.2 CAD/CAM 系统的功能	243
习题与思考题	245
<b>参考文献</b>	<b>246</b>

# 1 金属材料的主要性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能，它包括力学性能和物理、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、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

## 1.1 金属的力学性能

金属的力学性能是指在各种载荷作用下表现出来的抵抗变形和破坏的能力，通常包括材料的弹性、塑性和强度。弹性是材料在外力作用下保持固有形状和尺寸的能力；塑性是材料在外力作用下发生不可逆的永久变形的能力；而强度则是材料对塑性变形和断裂的抗力。另外，由于材料经常在外力或环境因素的重复作用下使用，因此，常用的力学性能指标还有疲劳强度、蠕变强度、冲击韧性等，此外为便于无损检测，力学性能指标还应包括硬度等。

### 1.1.1 强度

金属材料在载荷作用下所表现出来的抵抗变形或断裂的能力称为强度。强度指标一般可通过金属拉伸试验来测定，而静载荷拉伸试验是工业上最常用的试验方法之一。按标准规定，把标准试样装夹在试验机上，然后对试样逐渐施加拉伸载荷的同时连续测量力和相应的伸长，直至把试样拉断为止，依据测出的拉伸曲线，求出相关的力学性能。

#### 1.1.1.1 拉伸曲线

在材料拉伸试验机上，对被测的标准金属材料试样施加轴向静拉力  $P$ ，试样在外力作用下产生变形。若将低碳钢试样从试验开始直到被拉断前所受的拉力  $P$ ，与其所对应的变形  $\Delta l$  绘制成曲线，可以得到如图 1-1 所示的拉伸曲线。通常以  $\sigma$ （试样单位横截面上的拉力）和应变  $\epsilon$ （试样单位长度的伸长量）来代替  $P$  和  $\Delta l$ ，由此绘制成的曲线称为应力-应变曲线，反映了金属塑性变形过程典型的力学行为。下面以退火低碳钢拉伸曲线为例来说明拉伸过程中几个变形阶段：

(1)  $oe$ ——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。图 1-1 中  $p$  点为比例极限

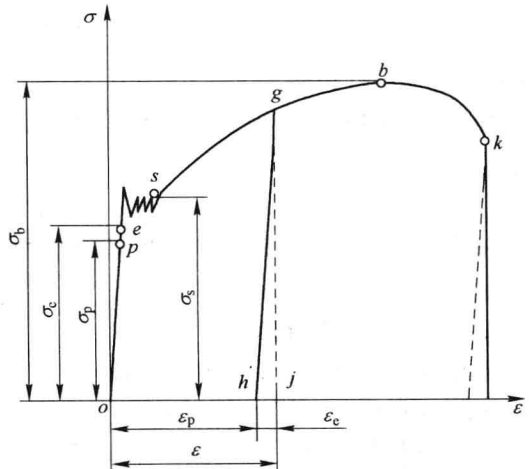


图 1-1 低碳钢的拉伸曲线

点, 是该曲线直线部分的顶点,  $e$  点为弹性极限点, 已稍稍偏离了直线。

(2)  $es$ ——屈服阶段。当载荷继续增加到  $s$  点时, 试样所承受的载荷虽不再增加, 但试样仍继续产生塑性变形, 应力 - 应变曲线出现近似水平线段, 这种现象称为材料的屈服。实际上, 比例极限  $\sigma_p$ 、弹性极限  $\sigma_e$  和屈服极限  $\sigma_s$  三者是非常接近的, 所以工程上常将三者视为一点而不加以区别, 统一用  $\sigma_s$  表示。把  $\sigma_s$  视为弹性变形与塑性变形的分界点, 即材料屈服之前为弹性变形阶段, 屈服之后为塑性变形阶段。

(3)  $sb$ ——均匀塑性变形阶段。载荷超过  $s$  点后, 试样开始产生明显塑性变形, 伸长量随载荷增加而增大。当载荷继续增加至  $b$  点时, 试样发生不均匀变形, 截面出现局部变细的“缩颈”现象, 所以  $b$  点又是简单拉伸时材料失稳的临界点, 此处有  $dP=0$  或  $d\varepsilon=0$ , 缩颈处呈现三向拉应力状态, 酝酿着断裂。当变形量迅速增大至  $k$  点时, 试样被拉断。 $b$  点的拉力是试样在拉断前所能承受的最大载荷, 其所对应的应力  $\sigma_b$  为抗拉强度。

(4)  $bk$ ——缩颈阶段。载荷达到最大值  $b$  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。

(5) 加工硬化。在塑性变形阶段, 如将卸载过的试样重新加载, 即可发现拉伸曲线是以  $h$  点为起点, 几乎沿着  $hg$  回升, 在达到  $g$  点之前, 即使应力可能超过  $\sigma_s$ , 但试样并不发生屈服, 只有当应力达到  $g$  点后, 塑性变形才重新出现, 以后的曲线仍然沿着  $gbk$  发展下去, 这时的拉伸曲线就是  $hgbk$ 。 $g$  点的应力就是试样重新加载时新的屈服应力, 如果重复上述卸载、加载过程, 就可发现重新加载时屈服应力沿  $gb$  线上升, 这一现象称为应变硬化, 工程上又称冷作硬化或加工硬化。表明金属塑性变形过程伴随有力学性能的变化, 这是塑性变形的又一显著特点。

在塑性变形阶段上的某点  $g$ , 卸除外载荷时, 延伸量已达  $oj$  的试样将沿  $gh$  卸载到应力为零, 且  $gh$  几乎平行于  $op$ 。卸载完毕后, 试样残存永久变形量  $oh$ , 只有一部分变形量  $hj$  得到回复。其中能回复的部分为弹性变形, 以  $\varepsilon_e$  表示, 不能回复的、残存的永久变形部分为塑性变形, 以  $\varepsilon_p$  表示, 应力 - 应变关系曲线上任一点  $g(\varepsilon, \sigma)$  所对应的应变量为:

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_p$$

式中  $E$ ——弹性模量。

加载时, 即  $d\sigma > 0$  时, 有新的塑性变形发生, 应力 - 应变关系一般是非线性的, 可表示为:

$$\sigma = f(\varepsilon) = H(\varepsilon_p)$$

卸载时, 即  $d\sigma \leq 0$  时, 不发生新的塑性变形, 而只有弹性变形回复, 应力 - 应变关系仍是线性的。

### 1.1.1.2 强度指标

金属材料的强度是用应力来度量的, 即单位截面积上的内力称为应力。常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。具体为:

(1) 屈服强度  $\sigma_s$ , 即材料产生屈服时的最小应力, 单位为 MPa。

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中  $F_s$ ——屈服时的最小载荷, N;

$S_0$ ——试样原始截面积,  $\text{mm}^2$ 。

对于无明显屈服现象的金属材料（如铸铁、高碳钢等），测定 $\sigma_s$ 很困难，通常规定产生0.2%塑性变形时的应力作为条件屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度表征金属发生明显塑性变形的抗力，因此它是机械设计的主要依据。

(2) 抗拉强度 $\sigma_b$ ，即材料在拉断前所承受的最大应力，单位为MPa。

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中  $F_b$ ——试样断裂前所承受的最大载荷，N。

抗拉强度表示材料抵抗均匀塑性变形的最大能力，是设计机械零件和选材的主要依据。

### 1.1.2 塑性

金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性，塑性指标也是通过拉伸试验测定的。常用的指标有两个：

(1) 断后伸长率。

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中  $L_0, L_1$ ——分别为试样原始标距和被拉断后的标距，mm。

(2) 断面收缩率。

$$\psi = (S_0 - S_1) / S_0 \times 100\%$$

式中  $S_0, S_1$ ——分别为试样原始截面积和断裂后缩颈处的最小截面积，mm<sup>2</sup>。

$\delta, \psi$  数值越大，表明材料的塑性越好。

### 1.1.3 硬度

硬度是表征材料表面局部体积内抵抗其他物体压入时变形的能力。金属材料质量检验主要用压入法进行硬度试验，而其中应用最为广泛的是布氏硬度试验和洛氏硬度试验。

#### 1.1.3.1 布氏硬度试验法

##### A 试验原理

图1-2所示为布氏硬度试验原理示意图，它是用一定直径的淬火钢球或硬质合金钢球做压头，以相应试验力压入被测材料表面，经规定保持时间后卸载，以压痕单位面积上所受试验力的大小来确定被测材料的硬度值，用符号HB表示。

$$HB = \frac{F}{S_{\text{压}}} = \frac{F}{\pi Dh} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中  $F$ ——试验力，N；

$S_{\text{压}}$ ——压痕表面积，mm<sup>2</sup>；

$D$ ——球体直径，mm；

$d$ ——压痕平均直径，mm。

##### B 表示方法

表示布氏硬度值时应同时标出压头类型。当试验压头为淬火钢球时，硬度符号为HBS；当试验压头为硬质合金钢球时，硬度符号为HBW。HBS或HBW之后数字为硬度值，例如HBS120、HBW450。

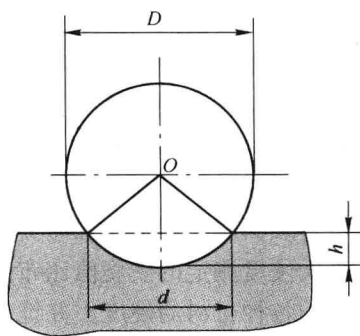


图1-2 布氏硬度试验原理示意图

### C 应用范围

HBS 适用于测量布氏硬度值小于 450 的材料, HBW 适用于测量硬度值小于 650 的材料。因压痕大, 布氏硬度不适宜检验薄件或成品。

#### 1.1.3.2 洛氏硬度试验法

##### A 试验原理

图 1-3 所示为洛氏硬度试验原理示意图。洛氏硬度是用顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球作为压头。试验时先施加初始载荷, 目的是使压头与试样表面接触良好, 保证测量结果准确, 然后施加主载荷, 保持规定时间后卸除主载荷, 依据压痕深度确定硬度值。

金属越硬, 压痕深度越小。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念, 所以人为地规定一常数  $K$  减去压痕深度  $h$  的值作为洛氏硬度指标, 并规定每 0.002mm 为一个洛氏硬度单位, 用 HRC 表示, 则洛氏硬度值为:

$$\text{HRC} = (K - h) / 0.002$$

由此可见, 洛氏硬度值是一个无量纲的材料性能指标。使用金刚石压头时, 常数  $K$  为 0.2; 使用钢球压头时, 常数  $K$  为 0.26。实际测量时, 可直接从表盘上读出硬度值。

##### B 表示方法

洛氏硬度计采用 A、B、C 三种标尺对不同硬度材料进行试验, 硬度分别用 HRA、HRB、HRC 表示, 硬度值标在符号后, 如 HRC45。

##### C 特点

洛氏硬度测量操作简单 (直接读出硬度值); 测量范围大 (软硬均可); 压痕小, 可直接测量薄件或成品。但由于压痕小, 硬度波动大, 为提高精度, 通常测定 3 个不同点取平均值。由于洛氏硬度与布氏硬度相比压痕小, 因此软硬材料都可以测量。但是不同标尺之间不可相互比较硬度值的大小。

#### 1.1.3.3 维氏硬度

维氏硬度是用锥面角为  $136^\circ$  的金刚石四棱锥体作为压头, 适用于测定薄件和经表面处理零件表面层的硬度, 如渗碳层、表面淬硬层、电镀层等, 以及微观组织的硬度。

维氏硬度测定的硬度值比布氏硬度、洛氏硬度精确, 压痕小, 改变负荷可测定从极软到极硬的各种材料的硬度, 并统一比较。

#### 1.1.4 冲击韧度

许多机械零件是在冲击载荷下工作的。冲击载荷比静载荷的破坏能力大, 对于承受冲击载荷的材料, 还必须具备足够的冲击韧度。冲击韧度是指材料抵抗冲击载荷作用而破坏的能力, 通常用一次摆锤冲击试验来测定。

试验原理如图 1-4 所示。将标准试样安放在摆锤试验机的支座上, 试样缺口背向摆锤, 将具有一定重力的  $G$  的摆锤举至一定高度  $h_1$ , 使其获得一定势能  $Gh_1$ , 然后由此高度

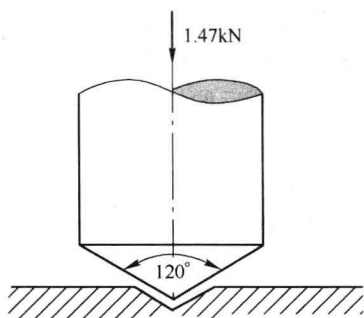


图 1-3 洛氏硬度试验原理示意图



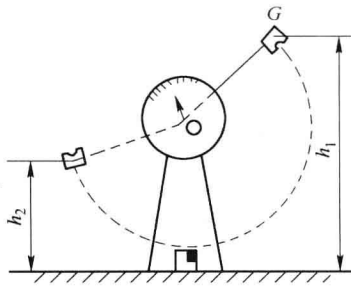


图 1-4 冲击试验原理示意图

落下将试样冲断，试样断裂后摆锤上摆到  $h_2$  高度，在忽略摩擦和阻尼等条件下，摆锤冲断试样所做的功，称为冲击吸收功，以  $A_K$  表示，则有：

$$A_K = G(h_1 - h_2)$$

用试样的断口处截面积去除冲击吸收功即得到冲击韧度  $\alpha_K$  ( $J/cm^2$ )，即：

$$\alpha_K = A_K/S_0$$

需要说明一点，使用不同类型的标准试样（U 形或 V 形缺口）进行试验时，冲击韧度分别以  $\alpha_{Ku}$  或

$\alpha_{Kv}$  表示。

$\alpha_K$  值越大，表明材料的韧性越好，受到冲击时越不易断裂。

### 1.1.5 疲劳极限

#### 1.1.5.1 疲劳概念

许多机械零件，例如轴、齿轮、轴承等，在工作时承受的是交变载荷。在这种载荷作用下，虽然零件所受应力远低于材料的屈服点，但在长期使用中往往会突然发生断裂，这种破坏过程称为疲劳断裂。

#### 1.1.5.2 疲劳极限

工程上规定，材料经无数次重复交变载荷作用而不发生断裂的最大应力称为疲劳极限。图 1-5 所示为通过试验测定的材料交变应力  $\sigma$  和断裂前应力循环次数  $N$  之间的关系曲线。曲线表明，材料受的交变应力越大，则断裂时应力循环次数  $N$  越少；反之，则  $N$  越大。当应力低于一定值时，试样经无限次循环也不破坏，此应力值称为材料的疲劳极限，用  $\sigma_r$  表示。对称循环  $r = -1$ ，疲劳极限用  $\sigma_{-1}$  表示。

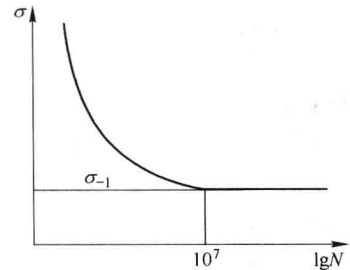


图 1-5 疲劳曲线

#### 1.1.5.3 提高疲劳极限途径

金属产生疲劳同许多因素有关，目前普遍认为这是由于材料内部有缺陷，如夹杂、气孔、疏松等；表面划痕、残余应力及其他能引起应力集中的缺陷导致微裂纹产生，这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展，致使零件突然断裂。

## 1.2 金属的物理、化学及工艺性能

金属的物理性能包括：熔点、相对密度、热膨胀性、导电性、导热性等。化学性能包括：耐酸性、抗氧化性等。工艺性能是指材料加工或成形为合格零件的难易程度，它与金属的物理性能密切相关，包括：铸造性、可锻性、可焊性、热处理性、切削加工性等。

### 1.2.1 金属的物理性能

#### 1.2.1.1 密度

密度就是某种物质单位体积的质量。