

普通高等院校机械工程学科

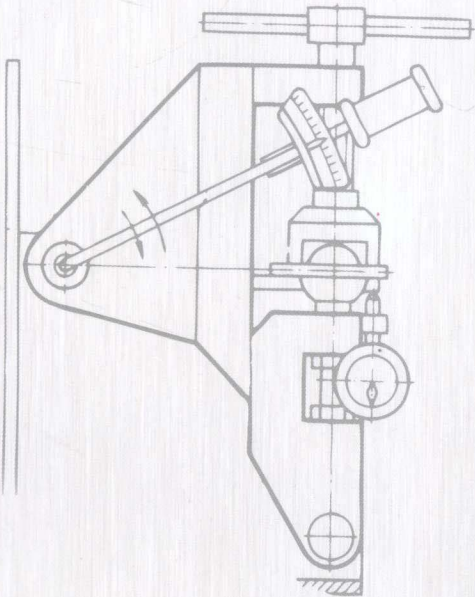
“十二五”规划教材

# 金属工艺学

## (上册)

JINSHU GONGYIXUE

■ 郝兴明 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

## 内 容 简 介

本教材是为了适应我国高等教育发展和教学改革的需要,在总结了有关理工科院校教学改革经验的基础上,并结合我们多年的实际授课经验编写的。

本书分上下两册。上册包括金属材料、铸造、压力加工、焊接;下册包括切削加工基础知识。全书较系统地介绍了金属材料的性质及铸造、锻压、焊接、切削加工的实质、特点、工艺过程和合理进行零件设计的工艺原则,并大幅度地增加了先进机械制造业中的新材料、新工艺、新技术方面的内容。

本教材可作为高等理工科院校机械类和相关本科专业课程的教材,也可供各专科学校、成人高校及有关工程技术人员选用。

### 图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/郝兴明主编. —北京:国防工业出版社,  
2012. 10

普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材  
ISBN 978 - 7 - 118 - 08417 - 7

I. ①金… II. ①郝… 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(2012)第233006号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 16 1/4 字数 382 千字

2012年10月第1版第1次印刷 印数 1—5000册 定价 43.00元(上、下册)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

# 普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材 编委会名单

名誉主任	艾 兴	山东大学
	王先逵	清华大学
主 任	吕 明	太原理工大学
副 主 任	庞思勤	北京理工大学
	朱喜林	吉林大学
秘 书 长	杨胜强	太原理工大学
委 员	吴宗泽	清华大学
	潘宏侠	中北大学
	轧 刚	太原理工大学
	任家骏	太原理工大学
	陈 明	北华航天工业学院
	谭晓兰	北方工业大学
	李德才	北京交通大学
	杨 康	佳木斯大学
	石望远	北华航天工业学院
	王好臣	山东理工大学
	王卫平	东莞理工学院
	张平宽	太原科技大学
	赵 波	河南理工大学

# 序

国防工业出版社组织编写的“普通高等院校机械工程学科‘十二五’规划教材”即将出版，欣然为之作“序”。

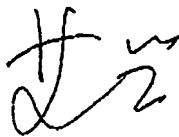
随着国民经济和社会的发展，我国高等教育已形成大众化教育的大好形势，为建设创新型国家的重大需求，迫切要求培养高素质专门人才和创新人才，学校必须在教育观念、教学思想等方面做出迅速的反应，进行深入教学改革，而教学改革的主要内容之一是课程的改革与建设，其中包括教材的改革与建设，课程的改革与建设应体现、固化在教材之中。

教材是教学不可缺少的重要组成部分，教材的水平将直接影响教学质量，特别是对学生创新能力的培养。作为机械工程学科的教材，不能只是传授基本理论知识，更应该既强调理论，又重在实践，突出的要理论与实践结合，培养学生解决实际问题的能力和创新能力。在新的深入教学改革、新课程体系的建立及课程内容的发展过程中，建设这样一套新型教材的任务已经迫切地摆在我们面前。

国防工业出版社组织有关院校主持编写的这套“普通高等院校机械工程学科‘十二五’规划教材”，可谓正得其时。此套教材的特点是以编写“有利于提高学生创新能力培养和知识水平”为宗旨，选题论证严谨、科学，以体现先进性、创新性、实用性，注重学生能力培养为原则，以编出特色教材、精品教材为指导思想，注意教材的立体化建设，在教材的体系上下功夫。编写过程中，每部教材都经过主编和参编辛勤认真的编写和主审专家的严格把关，使本套教材既继承老教材的特点，又适应新形势下教改的要求，保证了教材的系统性和精品化，体现了创新教育、能力教育、素质教育教学理念，有效激发学生自主学习能力，提高学生的综合素质和创新能力，为培养出符合社会需要的优秀人才服务。丛书的出版对高校的教材建设、特别是精品课程及其教材的建设起到了推动作用。

衷心祝贺国防工业出版社和所有参编人员为我国高等教育提供了这样一套有水平、有特色、高质量的机械工程学科规划教材，并希望编写者和出版者在与使用者的沟通过程中，认真听取他们的宝贵意见，不断提高该套规划教材的水平！

中国工程院院士



2010年6月

# 前 言

本教材是为了适应我国高等教育发展和教学改革的需要,根据我国高等学校金属工艺学规定的课程地位、性质和任务以及对本课程的内容与要求编写的。本教材以加强实践教学为基础,以精练与革新传统知识为主导,淡化专业,体现时代特色,打破多年来相关课程之间彼此封闭的学科界限,力求提高金属工艺学课程的科学性、系统性、先进性和适用性。并在培养学生的创新意识和创新能力方面做了有益的探索。

金属工艺学是我国高等工科院校机械类专业中贯彻工艺教育必修的一门重要的技术基础课,实践性很强,必须在金工实习的基础上进行讲授。学生通过本课程的学习,可以获得工程材料及零件加工的工艺知识,为后续课程的学习及毕业后从事技术工作奠定必要的基础。

本书共分五篇。第一篇工程材料,介绍金属材料的性能、牌号和用途,以及金属热处理的基本知识;第二篇至第四篇分别介绍铸造、锻造、焊接的工艺方法、生产特点、使用范围以及毛坯生产的经济性;第五篇切削加工,介绍切削加工基础知识。

本教材在课程内容上进行了力度较大的改革,在各章节的内容选择和相互联系方面尽量地有利于学生学习、掌握和运用。书中名词术语采用国家最新标准。对机械制造中的传统工艺方法进行了一定取舍,并合理地选取了本学科成熟的新材料、新技术、新工艺及部分前沿知识。

由于我国理工科院校专业较多,各专业对本课程教学内容的要求差别很大,编者建议在使用本教材时可以有选择地进行讲授。为与实际生产紧密结合,讲授方式既可在课堂进行,也可在车间进行。

本教材是太原理工大学 21 世纪“十大系列课程”列项课题。本课程是山西省省级精品课程,并作为支撑材料获教育部 2010 年国家级教学成果奖二等奖。

本书由郝兴明担任主编,由清华大学李家枢教授、太原理工大学李世琮教授审定。

本书由山西省高等学校金工教学研究会，太原理工大学金工教研室、太原理工大学工程训练中心，中北大学，晋中学院等联合编写。参加编写的老师有郝兴明（第1章、第2章）；刘燕萍（第3章、第4章）；中北大学陈晔（第5章、第6章）；王文波（第7章）；白小云（第8章）；张建林（第9章、第10章）；容幸福（第11章、第12章）；王旭东（第13章、第14章）；中北大学孔为民（第15章）；晋中学院张建国（第16章、第17章）；周大武（第18章、第19章、第20章、第21章）；陈宏（第22章、第23章、第24章、第25章）。

本书在编写、定稿过程中，得到太原理工大学史保莹教授、太原科技大学王伯平教授、太原理工大学工程训练中心姚宪华主任的支持和帮助，在此对他们表示衷心的感谢。

由于编者理论水平和教学经验所限，书中难免有不妥之处，衷心希望同行专家和读者不吝赐教，及时批评指正。

编者

2012年6月

# 目 录

## 第一篇 金属材料

<b>第一章 金属材料的性能</b> .....	1
第一节 金属材料的力学性能.....	1
第二节 金属材料的物理、化学和工艺性能 .....	10
思考和练习题 .....	12
<b>第二章 金属的晶体结构与铁碳合金的组织 and 性能</b> .....	13
第一节 金属的晶体结构 .....	13
第二节 金属的结晶过程和同素异构转变 .....	14
第三节 合金的相结构和组织 .....	17
第四节 铁碳合金的基本组织 .....	20
第五节 铁碳合金状态图 .....	21
思考和练习题 .....	29
<b>第三章 钢的热处理</b> .....	30
第一节 钢在加热时的转变 .....	30
第二节 钢在冷却时的转变 .....	31
第三节 钢的热处理工艺 .....	33
思考和练习题 .....	37
<b>第四章 常用金属材料 and 纳米材料</b> .....	38
第一节 常用金属材料的分类 and 应用 .....	38
第二节 纳米材料 .....	55
思考和练习题 .....	58

## 第二篇 铸 造

<b>第五章 铸造工艺基础</b> .....	59
第一节 液态合金的充型 .....	60
第二节 铸件的凝固 and 收缩 .....	63
第三节 铸造缺陷分析 .....	65
第四节 铸件的质量控制 .....	74
思考和练习题 .....	75

<b>第六章 常用合金铸件的生产</b> .....	77
第一节 钢铁的生产过程 .....	77
第二节 铸钢及有色合金铸件的生产 .....	84
思考和练习题 .....	87
<b>第七章 砂型铸造</b> .....	89
第一节 造型方法的选择 .....	89
第二节 浇注位置与分型面的选择 .....	93
第三节 铸造工艺参数的确定 .....	97
第四节 综合分析举例 .....	99
思考和练习题 .....	102
<b>第八章 特种铸造</b> .....	105
第一节 金属型铸造 .....	105
第二节 熔模铸造 .....	107
第三节 压力铸造 .....	110
第四节 低压铸造 .....	113
第五节 离心铸造 .....	114
第六节 其他特种铸造方法 .....	115
第七节 铸造方法的选择 .....	117
思考和练习题 .....	118
<b>第九章 铸件结构工艺性</b> .....	120
第一节 铸件结构与铸造工艺的关系 .....	120
第二节 铸件结构与合金铸造性能的关系 .....	124
思考和练习题 .....	128

### 第三篇 压力加工

<b>第十章 金属的塑性变形</b> .....	131
第一节 金属塑性变形的实质 .....	131
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响 .....	133
第三节 金属的可锻性 .....	135
思考和练习题 .....	138
<b>第十一章 自由锻和模锻</b> .....	139
第一节 自由锻 .....	139
第二节 模锻 .....	145
第三节 胎模锻造 .....	152
第四节 其他设备上的模锻 .....	154
思考和练习题 .....	157
<b>第十二章 板料冲压</b> .....	160



第一节	分离工序	160
第二节	变形工序	164
第三节	冲压模具	167
第四节	冲压零件的结构工艺性	169
	思考和练习题	172
<b>第十三章</b>	<b>压力加工先进工艺简介</b>	<b>173</b>
第一节	精密模锻	173
第二节	零件挤压	174
第三节	零件轧制	175
第四节	超塑性成形	178
	思考和练习题	180

## 第四篇 焊 接

<b>第十四章</b>	<b>手工电弧焊</b>	<b>181</b>
第一节	电弧焊	181
第二节	电焊条	184
第三节	焊接接头金属的组织与性能	187
第四节	焊接接头常见缺陷	190
第五节	焊接应力与变形	192
	思考和练习题	197
<b>第十五章</b>	<b>常用焊接方法</b>	<b>199</b>
第一节	气焊与气割	199
第二节	埋弧自动焊	203
第三节	气体保护焊	207
第四节	电渣焊	213
第五节	电阻焊	214
第六节	摩擦焊	218
第七节	钎焊	219
	思考和练习题	221
<b>第十六章</b>	<b>先进焊接技术和特种焊接方法简介</b>	<b>223</b>
第一节	等离子弧焊与切割	223
第二节	真空电子束焊接	224
第三节	其他先进焊接与切割技术	226
	思考和练习题	230
<b>第十七章</b>	<b>常用金属材料的焊接</b>	<b>231</b>
第一节	金属材料的可焊性	231
第二节	碳钢的焊接	232

第三节	合金结构钢的焊接·····	233
第四节	不锈钢与高温合金的焊接·····	234
第五节	铸铁的焊补·····	235
第六节	有色金属的焊接·····	237
	思考与练习题·····	238
<b>第十八章</b>	<b>焊接件的结构工艺性</b> ·····	<b>239</b>
第一节	焊接接头工艺设计·····	239
第二节	焊接结构件材料的选择·····	246
第三节	焊接方法的选择·····	247
第四节	焊接结构工艺设计实例·····	248
	思考和练习题·····	251
<b>第十九章</b>	<b>机械零件毛坯的选择</b> ·····	<b>253</b>
	思考和练习题·····	258

# 第一篇 金属材料

## 第一章 金属材料的性能

金属材料是目前应用最广的材料之一，这是因为金属材料具有优良的使用性能和工艺性能。

使用性能指金属材料在使用过程中所表现出来的性能，包括力学性能、物理性能和化学性能。

工艺性能指金属材料在加工制造过程中所表现出来的属性，包括铸造性能、塑性加工性能、焊接性能、切削加工和热处理工艺性能等。

### 第一节 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料受到外力作用时所反映出来的属性。如强度、刚度、弹性、塑性、硬度和韧性等。力学性能是衡量金属材料、评价材料质量的重要参数，亦是选用材料的重要依据。

#### 一、强度

强度是金属材料在外力（载荷）作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。按照作用力性质的不同，可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等。在工程上常用来表示金属材料强度的指标有屈服强度和抗拉强度，它们都由拉伸试验测定。

##### 1. 拉伸试验

拉伸试验的方法是将如图 1-1 (a) 所示的标准试样安装在拉伸试验机上，并对试样施加一个缓慢增加的轴向拉力。随着轴向拉力的增加，试样产生变形，直到断裂，如图 1-1 (b)、(c) 所示。根据国家标准规定，标准试样分为长试样 ( $l_0 = d_0$ ) 和短试样 ( $l_0 = 5d_0$ )，如图 1-1 所示，图中  $d_0$  为试样直径 (mm)； $l_0$  为标距长度 (mm)； $d_k$  为断裂处截面的直径； $l_k$  为试样拉断后的标距长度。

##### 2. 拉伸曲线

试验时，将标准试样装夹在拉伸试验机上，缓慢增加拉力，试样的标距长度将逐渐增加，直至拉断。拉伸机上设有自动记录装置，将试样开始加载直到断裂前所受的拉力  $F$ ，与其所对应的试样标距  $l_0$  的伸长量  $\Delta l$  的关系绘成曲线，即为拉伸曲线。如图 1-2 所示低碳钢的拉伸曲线。图中纵坐标表示为  $F$ ，单位为 N；横坐标表示绝对伸长  $\Delta l$ ，单位为 mm。

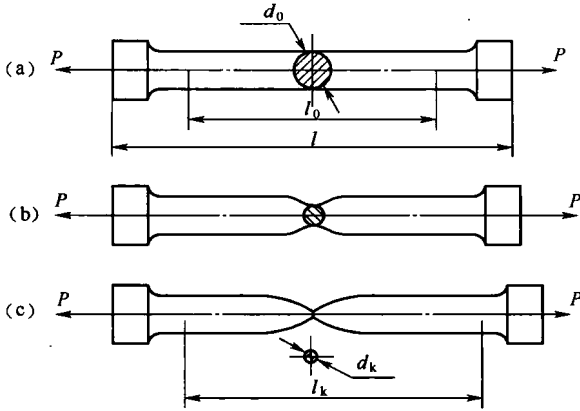


图 1-1 试样拉伸过程示意图

(a) 在标准试样上施加外力；(b) 试样加外力后逐渐产生变形并形成缩颈；(c) 试样断裂。

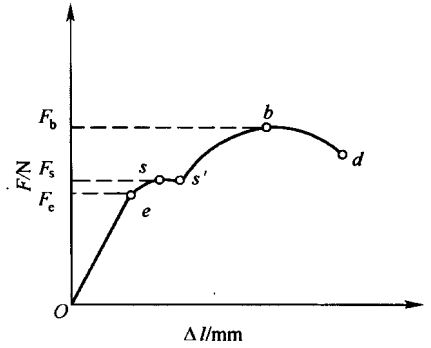


图 1-2 普通低碳钢的拉伸曲线图

由图 1-2 可见，低碳钢的拉伸过程可分为以下几个阶段：

**$Oe$ ——弹性变形阶段** 当材料所加载荷从零增加到  $F_e$  时，拉伸曲线为直线，即试样的伸长量与载荷成正比。如果卸除载荷，试样仍能恢复到原来的尺寸，即试样的变形完全消失。这种随载荷消失而消失的变形叫弹性变形。这一阶段称为弹性变形阶段。

**$es$ ——微量塑性变形阶段** 继续增加载荷超过  $F_e$  后，试样将进一步伸长，此时若卸除载荷，弹性变形消失，而另一部分变形却不能消失，即试样不能恢复到原来的形状和尺寸，这种载荷消失后仍继续保留的变形称为塑性变形或永久变形。

**$ss'$ ——屈服阶段** 当载荷增加到  $F_s$  时，拉伸曲线出现了水平或锯齿形线段，这表明在载荷不增加或增加很少，甚至略有下降的情况下，试样出继续伸长，这种现象称为“屈服”。引起试样屈服的载荷  $F_s$ ，称为屈服极限载荷， $s$  点叫屈服点。

**$s'b$ ——大量塑性变形阶段** 当载荷超过  $F_s$  后，试样的伸长量与载荷以曲线关系上升，但曲线的斜率比  $Oe$  阶段的斜率小，即载荷的增加量不大，而试样的伸长量却很大，这表明在超过  $F_s$  后，试样已开始产生大量的塑性变形。

**$bd$ ——缩颈阶段** 当载荷达到  $b$  点时，变形开始集中到试样最薄弱的部分，试样明显地出现局部直径变细的现象，称为“缩颈”现象。由于试样局部截面的逐渐缩小，对载荷的抵抗力下降，所以虽然载荷减小，但缩颈处的实际应力仍然是不断增加的，因此伸长量继续增加，直至  $d$  点断裂。

由图 1-2 可知， $b$  点载荷  $F_b$  最大，故  $F_b$  叫做强度极限载荷。

在做拉伸试验时，并非所有的金属材料都具有这五个阶段。如铸铁等脆性材料，在拉断之前就没有明显的塑性变形阶段。

另外，在试样产生缩颈之前，由载荷所引起试样的伸长，基本上是在沿着整个试样标距长度内发生的，属于均匀变形；缩颈后，试样的伸长主要发生在颈部的一段长度内，属于集中变形。

### 3. 强度指标

强度指标是用应力值来表示的。根据力学原理，试样受到载荷作用时，则内部产生

大小载荷相等而方向相反的拉力（内力）。单位面积上的内力，称为应力，用符号  $\sigma$  表示，即

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

式中  $\sigma$  ——应力 (MPa)；

$F$  ——内力 (N)；

$S$  ——横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

根据拉伸试验时获得的三种载荷 ( $F_e$ 、 $F_s$ 、 $F_b$ )，可以得出金属材料的三个主要强度指标。

(1) 弹性极限 弹性极限是金属材料能保持完全弹性变形的最大应力，用  $\sigma_e$  表示，即

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中  $\sigma_e$  ——弹性极限 (MPa)；

$F_e$  ——弹性变形范围内的最大载荷 (N)；

$S_0$  ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

(2) 屈服强度 屈服强度（又叫屈服极限）是使材料产生屈服现象时的最小应力，用  $\sigma_s$  表示，即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中  $\sigma_s$  ——屈服强度 (MPa)；

$F_s$  ——使材料产生屈服的最小载荷 (N)；

$S_0$  ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

对于低塑性材料或脆性材料（如铸铁、铜和铝），由于屈服现象不明显，因此在工程上这类材料的屈服强度常以产生一定的微量塑性变形（一般用变形量为试样长度的 0.2% 表示）的应力为屈服强度，用  $\sigma_{0.2}$  表示，称为条件屈服强度，即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0}$$

式中  $\sigma_{0.2}$  ——条件屈服强度 (MPa)；

$F_{0.2}$  ——塑性变形量为试样长度的 0.2% 时的载荷 (N)；

$S_0$  ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

屈服强度是设计某些不允许产生塑性变形零件时的重要依据。例如，在设计汽车及拖拉机汽缸盖的螺栓时就是以屈服强度作为选材的依据，为了保证汽缸的密封性，缸盖螺栓不允许产生塑性变形。

(3) 抗拉强度 试样断裂前能够承受的最大应力，称为抗拉强度（又叫强度极限），用  $\sigma_b$  表示，即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中  $\sigma_b$  ——抗拉强度 (MPa)；

$F_b$  ——试样断裂前所能承受的最大载荷 (N)；

$S_0$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

$\sigma_b$  越大, 表示金属材料的强度越高。低碳钢的屈服强度  $\sigma_s$  约为 240MPa, 抗拉强度  $\sigma_b$  约为 400MPa。

$\sigma_b$  和  $\sigma_s$  ( $\sigma_{0.2}$ ) 都是金属材料的强度指标, 也是一般的机器零件设计和选材的重要依据, 常用金属材料强度指标的具体数值, 可从有关手册中查到。对于钢材, 可以从强度值得知屈服极限的近似值。

碳素钢  $\sigma_s \approx (0.56 \sim 0.6) \sigma_b$

合金钢  $\sigma_s \approx (0.75 \sim 0.8) \sigma_b$

金属材料的强度提高, 零件或结构件的断面积就可能减小, 重量减轻, 或在较大载荷作用下不致发生塑性变形或破坏, 增加使用的可靠性。

工程上所用的金属材料, 不仅希望具有较高的  $\sigma_s$ , 还希望具有一定的屈强比 ( $\sigma_s/\sigma_b$ )。屈强比越小, 结构零件的可靠性越高, 万一超载也能由于塑性变形而使金属的强度提高, 不至于立即断裂。但若屈强比太小, 则材料强度的有效利用率也很低。

屈服点  $\sigma_s$ 、抗拉强度  $\sigma_b$  和屈强比 ( $\sigma_s/\sigma_b$ ) 在评定金属材料力学性能时有重要意义, 是设计机械零件和选材的重要依据。因为, 多数机械零件工作时不允许出现塑性变形, 其材料所受应力不能超过  $\sigma_s$ ; 机械零件更不能在超过其材料  $\sigma_b$  的条件下工作, 否则将导致机件的破坏。

## 二、塑性

金属材料在外力作用下, 产生永久变形而不致引起断裂的能力称为塑性。在外力消失后留下来的这部分不可恢复的变形, 叫做塑性变形, 其大小与外力不成正比。

通常用伸长率和截面收缩率作为衡量材料塑性大小的指标。

### 1. 伸长率

伸长率是试样拉断后标距长度的增量与原标距长度的百分比, 用  $\delta$  来表示, 即

$$\delta = \frac{\Delta L}{l_0} \times 100\% = \frac{(l_1 - l_0)}{l_0} \times 100\%$$

式中  $\delta$ ——试样的伸长率 (%) ;

$l_0$ ——试样的原来标距长度 (mm) ;

$l_k$ ——试样拉断后的标距长度 (mm)。

### 2. 截面收缩率

截面收缩率是试样拉断后缩颈处横截面积的最大缩减量与原横截面积的百分比。用  $\psi$  来表示, 即

$$\psi = \frac{\Delta S}{S_0} \times 100\% = \frac{(S_0 - S_k)}{S_0} \times 100\%$$

式中  $\psi$ ——试样截面的收缩率 (%) ;

$S_0$ ——试样的原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ ) ;

$S_k$ ——试样缩颈最小处横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

$\delta$  和  $\psi$  的数值越大, 说明金属材料的塑性越好; 反之亦然。良好的塑性是金属材料进行塑性加工的必要条件。如纯铁的  $\delta$  可达 50%, 而生铁的  $\delta < 1\%$ , 故纯铁的塑性比

生铁的塑性要高得多。低碳钢的塑性较好，普通灰铸铁的塑性差，前者可以进行锻压，后者则不能进行锻压。此外，材料塑性好还能保证材料因稍有超载不致发生突然断裂，增加了材料使用可靠性。

### 三、刚度

金属材料在受力时抵抗弹性变形的能力叫做刚度。刚度的大小以材料在弹性范围内应力与应变的比值——弹性模数  $E$  来表示。 $E$  在拉伸曲线上表现为  $OE$  段斜率，相当于引起单位变形时所需的应力。它是衡量金属材料刚度大小的指标，反映了材料弹性变形的难易程度。在相同外力作用下，材料的  $E$  越大，则弹性变形越小； $E$  小则弹性变形大。弹性模量  $E$  的大小，与材料结构特点和材料内部原子间作用力强弱有密切关系，而与其内部组织的变化关系不大。

对于一个机械零件来说，其刚度除与所用材料的  $E$  有关外，还与该零件的形状、尺寸和使用温度有关。

### 四、硬度

硬度是指金属材料抵抗外物压入其表面的能力。它是材料性能的一个综合的物理量，表示在金属材料表面的局部体积内抵抗弹性变形、塑性变形或断裂的能力。一般来说，硬度高的材料，耐磨性能好，强度也高。因此，硬度也是衡量金属材料重要的性能指标，通常是机械零件设计要求的条件之一。

生产中有不同的测定硬度的方法，常用的有布氏硬度和洛氏硬度等。

#### 1. 布氏硬度

布氏硬度常用一定直径的淬火钢球或硬质合金球作压头，在一定的静载荷下压入试样表面，保持压力至规定的时间后卸载。根据所加载荷的大小和所得压痕表面积来计算压痕表面上的平均应力值（图 1-3）。此平均应力值作为布氏硬度，并用 HBS 或 HBW 表示，即

$$HBS(HBW) = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

当试验力单位用 N 时

$$\text{布氏硬度} = 0.102 \times \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 HBS(HBW)——布氏硬度；

$P$ ——试验力 (kgf (N))；

$D$ ——球体直径 (mm)；

$d$ ——压痕平均直径 (mm)。

由上式可以看出，当  $F$ 、 $D$  一定时，布氏硬度值仅与压痕直径  $d$  的大小有关。所以在测定布氏硬度时，只要先测得压痕直径  $d$ ，即可根据  $d$  值查附录 B 布氏硬度 (HB) 数值表得出 HB 值，并不需要进行上述计算。

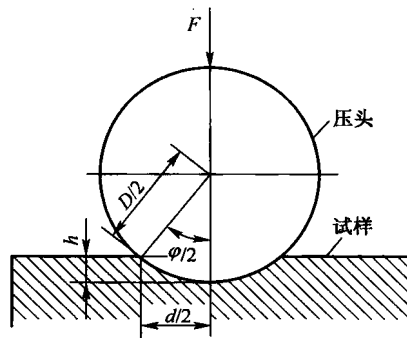


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

国家标准 GB/T 231—1984 规定，在进行布氏硬度试验时，首先应选择压头材料，布氏硬度值在 450 以下（如灰铸铁、非铁金属及经退火、正火和调质处理的钢材等）时，应选用钢球作压头；当材料的布氏硬度值在 450~650 时，则应选用硬质合金球作压头。其次是根据被测材料种类和试样厚度，按照表 1-1 所列的布氏硬度试验规范正确地选择压头直径  $D$ 、试验力  $F$  和保持时间  $t$ 。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度使用范围/HBS	球直径 $D$ /mm	$0.102F/D^2$	试验力 $F$ /N	试验力保持时间/s	注
钢 铸铁	$\geq 140$	10	30	29420	10	压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的 2.5 倍； 两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍； 试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍。试验后，试样支撑面应无可见变形痕迹
		5		7355		
		2.5		1839		
	$< 140$	10	10	9807	10~15	
		5		2452		
		2.5		613		
非铁金属材料	$\geq 130$	10	30	29420	30	
		5		7355		
		2.5		1839		
	35~130	10	10	9807	30	
		5		2452		
		2.5		613		
$< 35$	10	2.5	2452	60		
	5		613			
	2.5		153			

布氏硬度值的测量误差小，数据稳定，重复性强，常用于测量退火、正火、调质处理后的零件以及灰铸铁、结构钢、非铁金属及非金属材料等毛坯或半成品零件的硬度。但因测量费时，压痕较大，不适宜测量成品零件或薄件。

当压头为淬火钢球时，用 HBS 表示，为硬质合金时，用 HBW 表示。

符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值，符号后面表示压头钢球直径、载荷及载荷保持时间（10s~15s 不标注）的顺序用数字表示试验条件。布氏硬度习惯上只写硬度值不标注单位。

例如：

120HBS10/100/30，表示直径 10mm 钢球在 9.80kN（1000kgf）的试验力作用下，保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。

500HBW5/750，表示用直径 5mm 的硬质合金球在 7.35kN（750kgf）试验力作用下，保持 10s~15s 测得的布氏硬度值为 500。

## 2. 洛氏硬度

洛氏硬度是测定更硬材料的硬度方法。其原理如图 1-4 所示，它也是一种压力法硬度试验，用一定的载荷将顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球压



入试样，然后根据压痕的深度 ( $h_1 - h_2$ ) 确定硬度值，用 HR 表示，在实际测试时，可以从硬度计刻度盘上直接读出洛氏硬度值。

洛氏硬度分别用符号 HRA、HRB 和 HRC 表示。不同洛氏硬度的压头、负荷和适用范围如表 1-2 所列。

洛氏硬度测定简单，方便快捷，可直接从表盘上读出硬度数值，压痕小，多采用测较硬材料的硬度或成品零件的硬度，测试范围大，能测较薄零件的硬度。但由于压痕小，测定结果波动较大，稳定性较差，需测试三点，取其算术平均值，一般不宜测试组织不均匀的材料。

布氏硬度和洛氏硬度可以利用特制的表格互相进行换算。

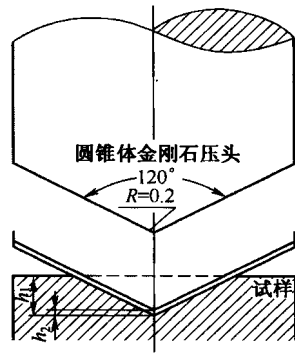


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图  
 $h_1$ —压入深度； $h_2$ —弹性变形。

表 1-2 洛氏硬度的压头、负荷和适用范围

标尺	洛氏硬度符号	压 头		负荷/kg(N)		测量范围	适用范围
		形状	大小	预载	主载		
A	HRA	金刚石圆锥体	锥度 120°锥顶 半径 0.2mm	10 (98.1)	50 (490.3)	60~85	很硬或硬而薄的材料，如硬质合金、表面处理的工作
B	HRB	钢球	直径 1.588mm	10 (98.1)	90 (882.6)	25~100	软金属，如铜合金、退火钢件等
C	HRC	金刚石圆锥体	锥度 120°锥顶 半径 0.2mm	10 (98.1)	140 (137.3)	20~67	硬金属，如淬火或回火处理的工作

### 3. 维氏硬度

维氏硬度值由维氏硬度试验测定。维氏硬度是将相对面夹角为 136°的正四棱锥体金刚石压头以选定的试验力 (49.03N~980.7N) 压入被测材料或零件表面，经规定保持时间后卸除试验力，用测量的压痕对角线长度计算硬度的一种压痕硬度试验。试验原理如图 1-5 所示。

压痕对角线长度是用附在试验计上的测微器来测量的。根据 GB 4340—1999 规定，测量时应测出压痕两条对角线的长度  $d_1$  与  $d_2$ ，求出算术平均值作为压痕对角线长度  $d$ ，然后就可以计算或查表得出维氏硬度值 (维氏硬度值是试验力除以压痕表面积所得的商)。

$$\text{维氏硬度值: } HV = \frac{F}{S}$$

维氏硬度的表示符号为 HV，测量范围是 5HV~1000HV，标注方法与布氏硬度相同。硬度数值写在符号的前面，试验条件写在符号的后面。对于钢及铸铁的试验力保持时间为 10s~15s 时，可以不标出。例如：640HV30 表示用 294.2N (30kgf) 试验力保持 10s~15s 测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度的适用范围宽，从极软到极硬的材料都可以测量，弥补了布氏硬度因压头