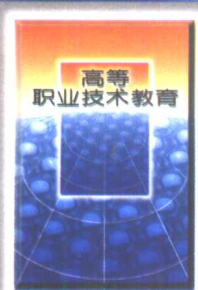



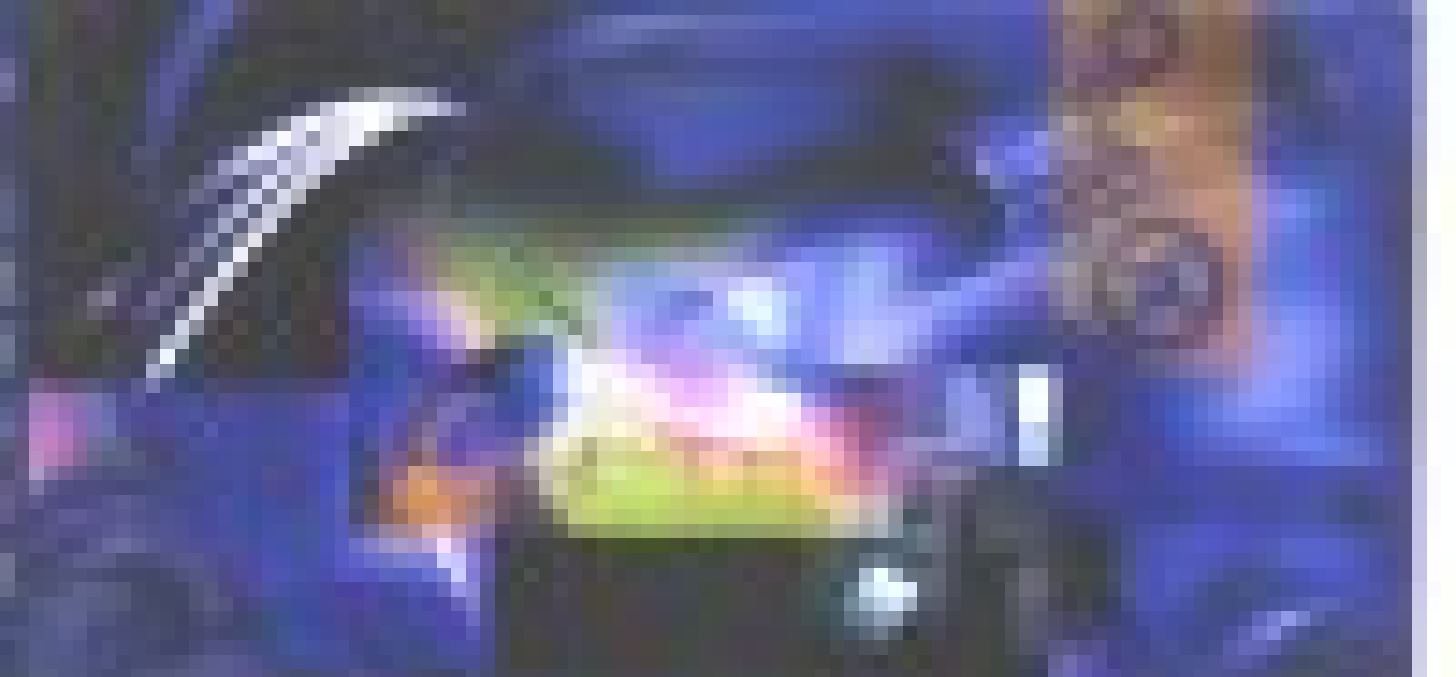
高等职业技术教育机电类专业规划教材



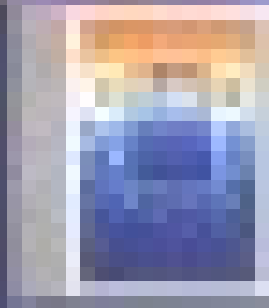
# 机械制造基础

等职业技术教育机电类专业教材编委会 组编  
学强 主编

 机械工业出版社  
China Machine Press



机械工业出版社



# 机械制造基础

机械工业出版社



高等职业技术教育机电类专业规划教材

# 机械制造基础

高等职业技术教育机电类专业教材编委会 组编

主 编 孙学强  
副主编 钱建辉  
参 编 雷兴碧 陈长生 宋新书  
张蔚波 邹志强  
主 审 朱正心



机械工业出版社

本书由机械工业机电类专业高职教材协作组组织编写,作为高等职业教育机电类专业教材。内容包括金属材料的力学性能、金属与合金的晶体结构、金属与合金的结晶、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料、铸造、锻压、焊接与热切割、金属切削加工基础,零件选材与加工工艺分析。

本书从培养生产一线技术应用型人才的需要出发,对教学内容进行了重组和整合,不片面追求理论的系统性,而注意增强应用性和强化解决工程实际问题的能力培养,同时对新技术在生产中的应用也作了介绍。

本书可作为高等工科院校、高等职业技术学院机械类各专业的教学用书,也可供职业大学、业余大学有关专业使用,并可供有关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/孙学强主编. —北京:机械工业出版社, 2001.4  
高等职业技术教育机电类专业规划教材  
ISBN 7-111-07104-2

I. 机… II. 孙… III. ①金属学—高等教育:技术教育—教材②金属加工—高等教育:技术教育—教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第77466号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)  
责任编辑:曹俊玲 版式设计:张世琴 责任校对:韩晶  
封面设计:姚毅 责任印制:何全君  
北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行  
2001年2月第1版,第1次印刷  
787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·16.5印张·402千字  
0 001-5 000册  
定价:23.00元  
凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

# 高等职业技术教育机电类专业教材编委会

名誉主任委员：严雪怡 刘际远

主任委员：上海电机技术高等专科学校 孙兴旺 副校长

副主任委员：福建高级工业专门学校 黄森彬 副校长

南京机械高等专科学校 左健民 副校长

陕西工业职业技术学院 翟 轰 校 长

湘潭机电高等专科学校 曾家驹 副校长

包头职业技术学院 李俊梅 副校长

无锡职业技术学院 韩亚平 调研员

浙江机电职工大学 管 平 副校长

机械工业出版社教材编辑室 林 松 主 任

(排名不分先后)

委员单位：邢台职业技术学院

湖南工业职业技术学院

(等 26 所院校)

# 序

职业教育指受教育者获得某种职业或生产劳动的职业道德、知识和技能的教育。机电行业的职业技术教育是培养在生产一线的技术、管理和运行人员，他们主要从事成熟的技术和管理规范的应用与运作。随着社会经济的发展和科学技术的进步，生产领域的技术含量在不断提高。用人单位要求生产一线的技术、管理和运行人员的知识与能力结构与之适应。行业发展的要求促使职业技术教育的高层次——高等职业教育蓬勃成长。

高职教育与高等工程专科、中专教育培养的人才属同一类型，都是技术型人才，毕业生将就业于技术含量不同的用人单位。高等职业教育的专业设置必须适应地区经济与行业的需求。高等职业教育是能力本位教育，应以职业分析入手，按岗位群职业能力来确定课程设置与各种活动。

机械工业出版社出版了大量的本科、高工专、中专教材，其中有相当一批教材符合高等职业教育的需求，具有很强的职业教育特色，在此基础上这次又推出了机械类、电气类、数控类三个高职专业的高职教材。

专门课程的开发应遵循适当综合化与适当实施化。综合化有利于破除原来各种课程的学科化倾向，删除与岗位群职业能力关系不大的内容，有利于删除一些陈旧的内容，增添与岗位群能力所需要的新技术、新知识，如微电子技术、计算机技术等。实施化是课程内容要按培养工艺实施与运行人员的职业能力来阐述，将必要的知识支撑点溶于能力培养的过程中，注重实践性教学，注重探索教学模式以达到满意的教学效果。

本教材倾注了众多编写人员的心血，他们为探索我国机电行业高职教育作出可贵的尝试。今后还要依靠广大教师在实践中不断改进，不断完善，为创建我国的职业技术教育体系而奋斗。

赵克松

# 前 言

为了适应高等职业技术教育教学改革的要求,培养 21 世纪技术应用型人才,高等职业技术教育机电类专业教材编委会和机械工业出版社组织了 26 所具有高职教育教学经验的教师编写高职机械类系列教材,本书是系列教材之一。

本书可供高等职业技术学院、高等专科学校的机械类专业师生使用,也可供非机械类专业和有关工程技术人员参考。

本书包括了金属材料及热处理、非金属材料、铸造、锻造、焊接与热切割和金属切削加工基础等内容。在本书的编写过程中,作者从培养生产一线技术应用型人才的需要出发,对教学内容进行了重组和整合,不片面追求理论的系统性,而注意增强应用性和强化解决实际问题的能力培养,同时对新技术在生产中的应用也作了介绍。

本课程介绍的内容既是机械类专业的重要技术基础,又是可独立应用的技术,作者在编写本书时力图处理好这两者的关系,但作为教材不可能面面俱到。读者若在生产中应用本书介绍的内容时,还应参考相关的技术手册。

全书共分十四章。第一章、第二章和第三章由邹志强编写;第四章和第五章由雷兴碧编写;第六章、第九章和第十四章由钱建辉编写;第七章和第十章由陈长生编写;第十一章和第十二章由宋新书编写;第八章和第十三章由张蔚波编写。

本书由昆明大学孙学强任主编并统稿,邢台职业技术学院钱建辉任副主编。全书由湘潭机电高等专科学校朱正心任主审。

在本书的编写过程中,高等职业技术教育机电类专业教材编委会和机械工业出版社给予了热情的帮助和指导,并得到了昆明大学、浙江机电职工大学、福建高级工业专门学校、邢台职业技术学院和上海电机技术高等专科学校等单位领导的支持,刘兵群老师为本书提供了部分金相照片,编者在此向他们表示衷心的感谢。

高等职业教育的教学改革是一项艰巨的系统工程,由于编者水平有限,书中难免有欠妥之处,欢迎同仁和读者批评指正。

编 者

2000 年 8 月

# 目 录

序		
前言		
第一章 金属材料的力学性能	1	
第一节 强度和塑性	1	
第二节 硬度	4	
第三节 冲击韧度	7	
第四节 疲劳强度	8	
习题	9	
第二章 金属与合金的晶体结构	10	
第一节 纯金属的晶体结构	10	
第二节 合金的晶体结构	12	
第三节 实际金属的晶体结构	14	
习题	16	
第三章 金属与合金的结晶	17	
第一节 纯金属的结晶	17	
第二节 合金的结晶	20	
习题	24	
第四章 铁碳合金	26	
第一节 铁碳合金的基本相	26	
第二节 Fe—Fe <sub>3</sub> C 相图	27	
第三节 碳素钢	36	
习题	41	
第五章 钢的热处理	43	
第一节 概述	43	
第二节 钢在加热时的组织转变	43	
第三节 钢在冷却时的组织转变	45	
第四节 钢的退火与正火	52	
第五节 钢的淬火	54	
第六节 淬火钢的回火	58	
第七节 钢的表面热处理	59	
第八节 热处理零件的结构工艺性	65	
习题	66	
第六章 合金钢	68	
第一节 概述	68	
第二节 合金元素在钢中的作用	69	
第三节 合金结构钢	71	
第四节 合金工具钢	76	
第五节 特殊性能钢	82	
习题	87	
第七章 铸铁	88	
第一节 概述	88	
第二节 铸铁的石墨化	88	
第三节 常用铸铁	90	
习题	99	
第八章 有色金属及其合金	101	
第一节 铝及铝合金	101	
第二节 铜及铜合金	104	
第三节 滑动轴承合金	108	
第四节 粉末冶金与硬质合金	110	
习题	112	
第九章 非金属材料	114	
第一节 高分子材料	114	
第二节 其它非金属材料	121	
习题	123	
第十章 铸造	124	
第一节 概述	124	
第二节 砂型铸造	125	
第三节 合金的铸造性能	135	
第四节 铸造工艺设计的基本内容	140	
第五节 铸件的结构工艺性	145	
第六节 特种铸造简介	148	
习题	152	
第十一章 锻压	155	
第一节 概述	155	
第二节 金属的塑性变形	156	
第三节 锻造工艺过程	161	
第四节 自由锻造	163	
第五节 模锻	169	
第六节 板料冲压	175	
第七节 其它锻压方法简介	183	
习题	186	
第十二章 焊接与热切割	188	
第一节 概述	188	



第二节	焊条电弧焊 .....	189	第五节	刨、插、拉削和铣削加工 .....	233
第三节	其它焊接方法 .....	198	第六节	磨削加工 .....	235
第四节	常用金属材料的焊接 .....	204	习题	.....	238
第五节	焊接结构工艺性 .....	208	<b>第十四章</b>	<b>零件选材与加工工艺分析</b> ..	<b>240</b>
第六节	常见的焊接缺陷及产生原因 .....	212	第一节	零件的失效形式和选材原则 .....	240
第七节	热切割 .....	213	第二节	零件毛坯的选择 .....	242
习题	.....	215	第三节	零件热处理的技术条件和工序 位置 .....	244
<b>第十三章</b>	<b>金属切削加工基础</b> .....	<b>217</b>	第四节	典型零件材料和毛坯的选择及 加工工艺分析 .....	247
第一节	金属切削加工的基础知识 .....	217	习题	.....	252
第二节	金属切削机床的基本知识 .....	225	<b>参考文献</b>	.....	<b>252</b>
第三节	车削加工 .....	227			
第四节	钻、镗削加工 .....	230			

# 第一章 金属材料的力学性能

机器上由金属材料制成的零、部件，在工作过程中都要承受外力（或称载荷）作用。载荷作用的结果将引起零、部件形状和尺寸的改变，这种改变称为变形。由于所加载荷的大小、速度和形式的不同，所引起金属变形的方式也不同。常见的变形方式有：拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切等。金属材料在各种不同形式的载荷作用下所表现出来的特性叫做力学性能。通常用试验来测定。常用的试验方法有拉伸试验、硬度试验、冲击试验等。力学性能的主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧度等。

## 第一节 强度和塑性

若载荷的大小不变或变动很慢，则称为静载荷。金属材料的强度、塑性是在静载荷作用下测定的。

### 一、强度

所谓强度，是指金属材料在静载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。由于所受载荷的形式不同，金属材料的强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度、抗剪强度等，各种强度之间有一定的联系。一般情况下多以抗拉强度作为判别金属强度高低的指标。

抗拉强度是通过拉伸试验测定的。拉伸试验的方法是用静拉伸力对标准试样进行轴向拉伸，同时连续测量力和相应的伸长，直至断裂。根据测得的数据，即可求出有关的力学性能。

#### 1. 拉伸试样

为了使金属材料的力学性能指标在测试时能排除因试样形状、尺寸的不同而造成的影响，并便于分析比较，试验时应先将被测金属材料制成标准试样。图 1-1 所示为圆形拉伸试样。

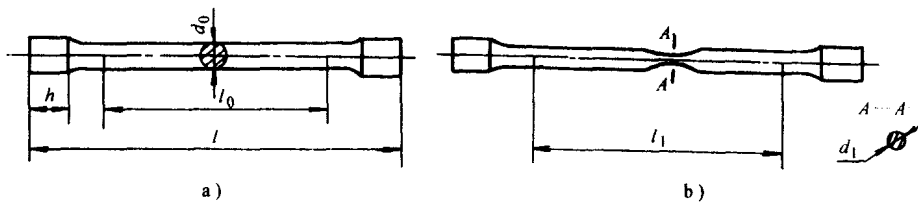


图 1-1 圆形拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

图中， $d_0$  是试样的直径， $l_0$  是标距长度。根据标距长度与直径之间的关系，试样可分为长试样（ $l_0 = 10d_0$ ）和短试样（ $l_0 = 5d_0$ ）。

#### 2. 力—伸长曲线

拉伸试验中记录的拉伸力与伸长的关系曲线叫做力—伸长曲线，也称拉伸图。图 1-2 是低碳钢的力—伸长曲线。图中纵坐标表示力  $F$ ，单位为 N；横坐标表示绝对伸长  $\Delta l$ ，单位

为 mm。

由图可见，低碳钢在拉伸过程中，其载荷与变形关系有以下几个阶段：

当载荷不超过  $F_e$  时，拉伸曲线  $Oe$  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。这一阶段属于弹性变形阶段。

当载荷超过  $F_e$  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尺寸，这种载荷消失后仍继续保留的变形叫塑性变形。

当载荷达到  $F_s$  时，拉伸曲线出现了水平或锯齿形线段，这表明在载荷基本不变的情况下，试样却继续变形，这种现象称为“屈服”。引起试样屈服的载荷称为屈服载荷。

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  $Oe$  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。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，产生所谓的“缩颈”现象。由于试样局部截面的逐渐缩小，故载荷也逐渐降低，当达到拉伸曲线上  $k$  点时，试样随即断裂。 $F_k$  为试样断裂时的载荷。

在试样产生缩颈以前，由载荷所引起试样的伸长，基本上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，则内部产生大小与载荷相等而方向相反的抗力（即内力）。单位截面积上的内力，称为应力，用符号  $\sigma$  表示。

从拉伸曲线分析得出，有三个载荷值比较重要：一个是弹性变形范围内的最大载荷  $F_e$ ，第二个是最小屈服载荷  $F_s$ ，另一个是最大载荷  $F_b$ ，通过这三个载荷值，可以得出金属材料的三个主要强度指标。

(1) 弹性极限。是金属材料能保持弹性变形的最大应力，用  $\sigma_e$  表示。

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

式中  $F_e$ ——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。是使材料产生屈服现象时的最小应力，用  $\sigma_s$  表示。

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

式中  $F_s$ ——使材料产生屈服的最小载荷 (N)；

$S_0$ ——试样的原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

对于低塑性材料或脆性材料，由于屈服现象不明显，因此这类材料的屈服强度常以产生

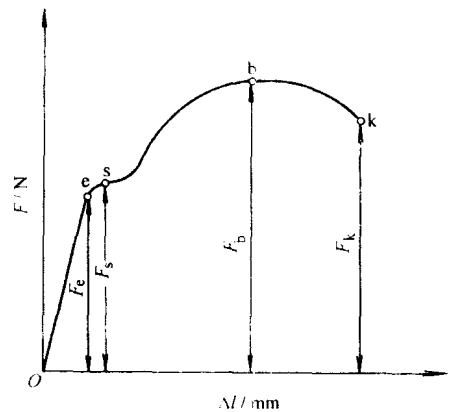


图 1-2 低碳钢的力—伸长曲线

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  $F_{0.2}$ ——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 ( $\text{mm}^2$ )。

(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，用  $\sigma_b$  表示。

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

式中  $F_b$ ——试样断裂前所能承受的最大载荷 (N)；

$S_0$ ——试样的原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

低碳钢的屈服强度  $\sigma_s$  约为 240MPa，抗拉强度  $\sigma_b$  约为 400MPa。

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，不致于立即断裂。但如果屈强比太小，则材料强度的有效利用率就太低。

## 二、塑性

金属发生塑性变形但不破坏的能力称为塑性。在拉伸时它们分别为伸长率和断面收缩率。

### 1. 伸长率

伸长率是指试样拉伸断裂时的绝对伸长量与原始长度比值的百分率，用符号  $\delta$  表示。即：

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中  $l_0$ ——试样的原始标距长度 (mm)；

$l_1$ ——试样拉断时的标距长度 (mm)。

### 2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后，试样断口处横截面积的缩减量与原始横截面积之比值的百分率，用符号  $\psi$  表示。即：

$$\psi = \frac{\Delta S}{S_0} \times 100\% = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中  $S_0$ ——试样原始横截面积 ( $\text{mm}^2$ )；

$S_1$ ——试样断裂处的横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

必须说明，伸长率的大小与试样的尺寸有关。试样长短不同，测得的伸长率是不同的。长、短试样的伸长率分别用  $\delta_{10}$  和  $\delta_5$  表示，习惯上， $\delta_{10}$  也常写成  $\delta$ 。对于同一材料而言，短试样所测得的伸长率 ( $\delta_5$ ) 要比长试样测得的伸长率 ( $\delta_{10}$ ) 大一些，两者不能直接进行比较。

$\delta$  和  $\psi$  是材料的重要性能指标。它们的数值越大时，材料的塑性越好。金属材料的塑性好坏，对零件的加工和使用有十分重要的意义。例如，低碳钢的塑性较好，故可以进行压力加工；普通铸铁的塑性差，因而不便进行压力加工，只能进行铸造。同时，由于材料具有一定的塑性，故能够保证材料不致因稍有超载而突然破断，这就增加了材料使用的安全可靠。

## 第二节 硬 度

硬度是指金属表面上局部体积内抵抗弹性变形、塑性变形或抵抗破坏的能力。它是金属材料的重要性能之一，也是检验工模具和机械零件质量的一项重要指标。由于测定硬度的试验设备比较简单，操作方便、迅速，又属无损检验，故在生产上和科研中应用都十分广泛。

测定硬度的方法比较多，其中常用的硬度测定法是压入法，它用一定的静载荷（压力）把压头压在金属表面上，然后通过测定压痕的面积或深度来确定其硬度。常用的硬度试验方法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

### 一、布氏硬度

布氏硬度的测定原理是用一定大小的载荷  $F$ ，把直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属表面，保持一定时间后卸除载荷，用金属表面压痕的面积  $S$  除载荷所得的商，作为布氏硬度值。如图 1-3 所示。

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

式中  $D$ ——球体直径 (mm)

$F$ ——载荷 (N)；

$d$ ——压痕平均直径 (mm)。

试验时测量出压痕的平均直径  $d$ ，经计算或查表即可得出所测材料的布氏硬度值。

布氏硬度的符号是：当压头为淬火钢球时，用 HBS 表示，适合于布氏硬度值在 450 以下的材料；当压头为硬质合金球时，用 HBW 表示，适合于布氏硬度值为 450~650 的材料。符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值，符号后面按压球直径、载荷及载荷保持时间 (10~15s 不标注) 的顺序用数字表示试验条件。例如：

150HBS10/10000/30 表示用直径为 10mm 的淬火钢球在 10000N 载荷作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 150。

500HBW5/7500 表示用直径为 5mm 的硬质合金球在 7500N 载荷作用下保持 10~15s 测得的布氏硬度值为 500。

由于金属材料有硬有软、有厚有薄，如果采用一种标准的载荷  $F$  和压球直径  $D$ ，就会出现：若对硬的材料合适，而对软的材料会发生压球陷入金属材料内的现象；若对厚的工件合适，而对薄的工件可能发生压穿的现象。因此在生产中进行布氏硬度试验时，要求使用大小不同的载荷  $F$  和压球直径  $D$ ，具体情况如表 1-1 所示。

表 1-1 布氏硬度试验规范

金属种类	布氏硬度值范围 (HBS)	试样厚度 /mm	载荷 $F$ 与钢球直径 $D$ 的关系	钢球直径 $D$ /mm	载荷 $F$ /N	载荷保持时间 /s
黑色金属	140~450	>6	$F = 30D^2$	10.0	30000	10
		6~3		5.0	7500	
		<3		2.5	1875	
	<140	>6	$F = 10D^2$	10.0	10000	10
		6~3		5.0	2500	
		<3		2.5	625	

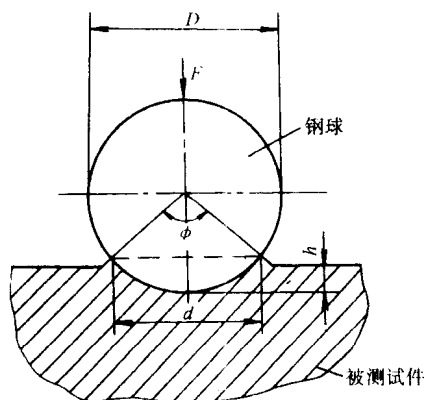


图 1-3 布氏硬度试验原理

(续)

金属种类	布氏硬度值范围 (HBS)	试样厚度 /mm	载荷 $F$ 与钢球直径 $D$ 的关系	钢球直径 $D$ /mm	载荷 $F$ /N	载荷保持时间 /s
有色金属	>130	>6	$F = 30D^2$	10.0	30000	30
		6~3		5.0	7500	
		<3		2.5	1875	
	36~130	>6	$F = 10D^2$	10.0	10000	30
		6~3		5.0	2500	
		<3		2.5	625	
	8~35	>6	$F = 2.5D^2$	10.0	2500	60
		6~3		5.0	625	
		<3		2.5	156.5	

试验后压痕直径应在  $0.25D < d < 0.6D$  的范围内, 否则试验结果无效, 应考虑换用其它载荷重作试验。因为若  $d$  值太小, 灵敏度和准确性将随之降低, 若  $d$  值太大, 压痕的几何形状不能保持相似关系, 影响试验结果的准确性。

当试验条件允许时, 应尽量选用直径为 10mm 的球体作压头。选用的  $F/D^2$  比值不同时布氏硬度值不能直接比较。

布氏硬度试验的优点是测定的数据准确、稳定, 数据重复性强, 常用于测定退火、正火、调质钢、铸铁及有色金属的硬度。其缺点是压痕较大, 易损坏成品的表面, 不能测定太薄的试样硬度。

## 二、洛氏硬度

当材料的硬度较高或试样过小时, 需要用洛氏硬度计进行硬度测试。

洛氏硬度试验, 是用顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥或直径为 1.588mm (1/16") 的淬火钢球作压头, 在初试验力  $F_0$  及总试验力  $F$  (初试验力  $F_0$  与主试验力  $F_1$  之和) 分别作用下压入金属表面, 然后卸除主试验力  $F_1$ , 在初试验力  $F_0$  下测定残余压入深度, 用深度的大小来表示材料的洛氏硬度值, 并规定每压入 0.002mm 为一个硬度单位。

洛氏硬度试验原理如图 1-4 所示。图中 0—0 为金刚石压头没有和试样接触时的位置, 1—1 为压头在初载荷 (100N) 作用下压入试样  $h_1$  位置; 2—2 为压头在全部规定载荷 (初载荷 + 主载荷) 作用下压入  $h_2$  位置; 3—3 为卸除主载荷保留初载荷后压头的位置  $h_3$ 。这样, 压痕的深度  $h = h_3 - h_1$ , 洛氏硬度的计算公式为:

$$\text{洛氏硬度值} = C - \frac{h}{0.002}$$

式中  $h$ ——压痕深度;

$C$ ——常数, 当压头为淬火钢球时  $C = 130$ ,  
压头为金刚石圆锥时  $C = 100$ 。

材料越硬,  $h$  便越小, 而所测得的洛氏硬度值越大。

淬火钢球压头适用于退火件、有色金属等较软材料的硬度测定; 金刚石压头适用于淬火

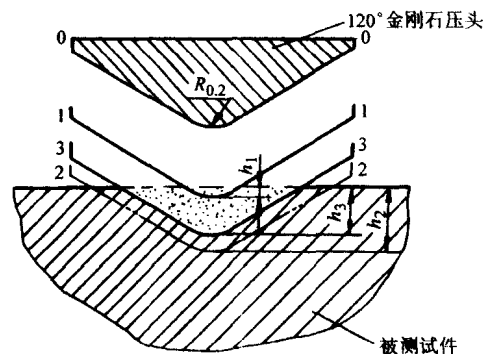


图 1-4 洛氏硬度试验原理

钢等较硬材料的硬度测定。洛氏硬度所加载荷根据被测材料本身硬度不同而作不同规定，组成不同的洛氏硬度标尺，其试验规范见表 1-2。

表 1-2 洛氏硬度试验规范

标尺符号	所用压头	总载荷/N	测量范围 HR <sup>①</sup>	应用举例
HRA	金刚石圆锥	588.4	70~80	碳化物、硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢等
HRB	1/16" (φ1.588mm) 钢球	980.7	25~100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
HRC	金刚石圆锥	1471.0	20~67	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

① HRA、HRC 所用刻度盘满刻度为 100，HRB 为 130。

洛氏硬度试验的优点是操作迅速、简便，可从表盘上直接读出硬度值，不必查表或计算，而且压痕小，可测量较薄工件的硬度。其缺点是精确性较差，硬度值重复性差，通常需要在材料的不同部位测试数次，取其平均值来代表材料的硬度。

### 三、维氏硬度

维氏硬度的测定原理基本上和布氏硬度相同，也是以单位压痕面积的力作为硬度值计量。所不同的是所用压头为锥面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体，如图 1-5 所示。试验时在载荷  $F$  作用下，在试样表面上压出一个正方形锥面压痕，测量压痕对角线的平均长度  $d$ ，借以计算压痕的面积  $S$ ，以  $F/S$  的数值来表示试样的硬度值，用符号 HV 表示。

$$HV = 0.102 \frac{F}{S} = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中  $F$ ——载荷 (N)；

$d$ ——压痕对角线的算术平均值 (mm)。

HV 可根据所测得的  $d$  值从维氏硬度表中直接查出。

由于维氏硬度所用的压头为正四棱锥，当载荷改变时，压痕的几何形状恒相似，所以维氏硬度所用载荷可以随意选择（如 50N、100N、150N、200N、300N、500N、1000N、1200N 等），而所得到的硬度值是一样的。

维氏硬度标注时，在符号 HV 前方标出硬度值，在 HV 后面按载荷大小和保持载荷时间（10~15s 不标出）的顺序用数字表示试验条件。例如：

640HV300 表示用 300N 载荷保持 10~15s 测定的维氏硬度为 640。

640HV300/20 表示用 300N 载荷保持 20s 测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度可测软、硬金属，尤其是极薄零件和渗碳层、渗氮层的硬度，它测得的压痕轮廓清晰，数值较准确。而且不存在布氏硬度试验那种载荷与压头直径的比例关系的约束，也不存在压头变形问题。但是其硬度值需要测量压痕对角线，然后经计算或查表才能获得，效率不如洛氏硬度试验高，所以不宜用于成批零件的常规检验。

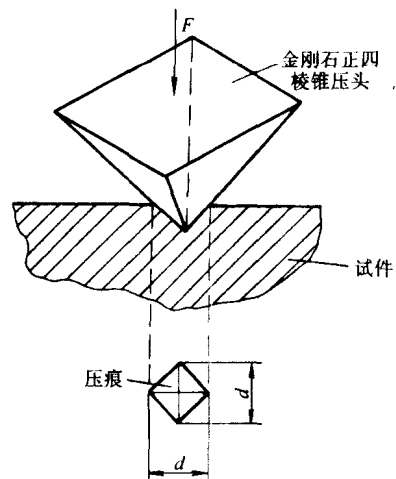


图 1-5 维氏硬度试验原理

布氏、洛氏、维氏三种硬度值没有直接的换算公式，如要换算，需要查换算表（见表 1-3）。

表 1-3 洛氏硬度 HRC 与其他硬度换算表

洛氏硬度		布氏硬度 HBS 10/3000	维氏硬度 HV	强度（近似值） $\sigma_b$ /MPa	洛氏硬度		布氏硬度 HBS 10/3000	维氏硬度 HV	强度（近似值） $\sigma_b$ /MPa
HRC	HRA				HRC	HRA			
65	83.6	—	798	—	36	(68.5)	331	339	1140
64	83.1	—	774	—	35	(68.0)	322	329	1115
63	82.6	—	751	—	34	(67.5)	314	321	1085
62	82.1	—	730	—	33	(67.0)	306	312	1060
61	81.5	—	708	—	32	(66.4)	298	304	1030
60	81.0	—	687	2675	31	(65.9)	291	296	1005
59	80.5	—	666	2555	30	(65.4)	284	289	985
58	80.0	—	645	2435	29	(64.9)	277	281	960
57	79.5	—	625	2315	28	(64.4)	270	274	935
56	78.9	—	605	2210	27	(63.8)	263	267	915
55	78.4	538	587	2115	26	(63.3)	257	260	895
54	77.9	526	659	2030	25	(62.8)	251	254	875
53	77.4	515	551	1945	24	(62.3)	246	247	845
52	76.9	503	535	1875	23	(61.7)	240	241	825
51	76.3	492	520	1805	22	(61.2)	235	235	805
50	75.8	480	504	1745	21	(60.7)	230	229	795
49	75.3	469	489	1685	20	(60.2)	225	224	775
48	74.8	457	457	1635	(19)	(59.7)	221	218	755
47	74.2	445	461	1580	(18)	(59.1)	216	213	740
46	73.7	433	448	1530	(17)	(58.6)	212	208	725
45	73.2	422	435	1480	(16)	(58.1)	208	203	710
44	72.7	411	432	1440	(15)	(57.6)	204	198	690
43	72.2	400	411	1390	(14)	(57.1)	200	193	675
42	71.7	390	400	1350	(13)	(56.5)	196	189	660
41	71.1	379	389	1310	(12)	(56.0)	192	184	645
40	70.6	369	378	1275	(11)	(55.5)	188	180	625
39	70.1	359	368	1235	(10)	(55.0)	185	176	615
38	(69.6)	349	358	1200	(9)	(54.5)	181	172	600
37	(69.0)	340	348	1170	(8)	(53.9)	177	168	590

### 第三节 冲击韧度

许多机械零件在工作中，往往要受到冲击载荷的作用，如活塞销、锤杆、冲模、锻模、凿岩机零件等。制造这些零件的材料，其性能不能单纯用静载荷作用下的指标来衡量，而必须考虑材料抵抗冲击载荷的能力。冲击载荷是指加载速度很快而作用时间很短的突发性载荷。

金属抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧度。目前常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属材料的韧度，其试验原理如图 1-6 所示。

试验时，把按规定制作的标准冲击试样的缺口（脆性材料不开缺口）背向摆锤方向放在



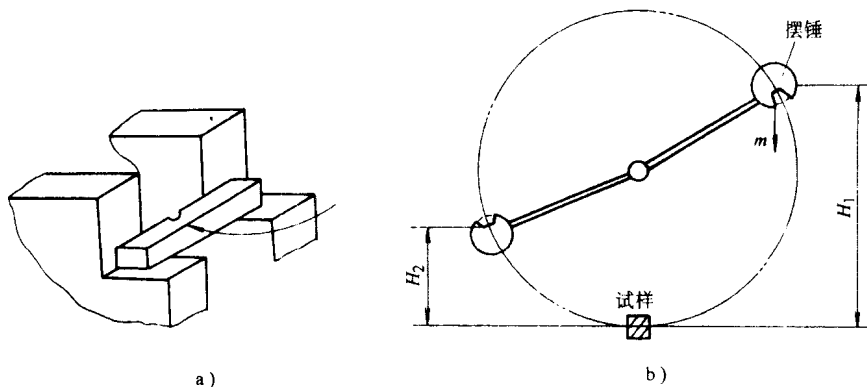


图 1-6 冲击试验原理

a) 试样安放位置 b) 冲击示意图

冲击试验机上(图 1-6a), 将摆锤(质量为  $m$ ) 扬起到规定高度  $H_1$ , 然后自由落下, 将试样冲断。由于惯性, 摆锤冲断试样后会继续上升到某一高度  $H_2$ 。根据功能原理可知: 摆锤冲断试样所消耗的功  $A_{KV} = mg(H_1 - H_2)$ 。 $A_{KV}$  常叫做冲击吸收功, 可从冲击试验机上直接读出。用试样缺口处的横截面积  $S$  去除  $A_{KV}$  所得的商即为该材料的冲击韧度值, 用符号  $\alpha_{KV}$  表示, 单位为焦耳/厘米<sup>2</sup> ( $J/cm^2$ ), 即:

$$\alpha_{KV} = \frac{A_{KV}}{S}$$

试样缺口有 U 和 V 两种, 冲击韧度值分别以  $\alpha_{KU}$  和  $\alpha_{KV}$  表示。

$\alpha_{KV}$  值越大, 材料的冲击韧度越好, 断口处则会发生较大的塑性变形, 断口呈灰色纤维状;  $\alpha_{KV}$  值越小, 材料的冲击韧度越差, 断口处无明显的塑性变形, 断口具有金属光泽而较为平整。

一般来说, 强度、塑性两者均好的材料,  $\alpha_{KV}$  值也高。材料的冲击韧度除了取决于其化学成分和显微组织外, 还与加载速度、温度、试样的表面质量(如缺口、表面粗糙度等)、材料的冶金质量等有关。加载速度越快, 温度越低, 表面及冶金质量越差, 则  $\alpha_{KV}$  值越低。

在一次冲断条件下测得的冲击韧度值  $\alpha_{KV}$ , 对于判别材料抵抗大能量冲击能力, 有一定的意义。而绝大多数机件在工作中所承受的多是小能量多次冲击, 机件在使用过程中承受这种冲击有上万次或数万次。对于材料承受多次冲击的问题, 如果冲击能量低、冲击周次较多时, 材料的冲击韧度主要取决于材料的强度, 材料的强度高则冲击韧度较好; 如果冲击能量高时, 则主要取决于材料的塑性, 材料的塑性越高则冲击韧度较好。因此冲击韧度值  $\alpha_{KV}$  一般只作设计和选材的参考。

#### 第四节 疲劳强度

有许多机件(如齿轮、弹簧等)是在交变应力(指大小和方向随时间作用周期性变化)下工作的, 零件工作时所承受的应力通常都低于材料的屈服强度。机件在这种交变载荷作用下经过长时间工作也会发生破坏, 通常这种破坏现象叫做金属的疲劳。

金属的疲劳是在交变载荷作用下, 经过一定的循环周次之后出现的。图 1-7 是某材料的