

汽车专业创新型一体化精品教材

# 汽车材料

颜芳娟 胡淑娟 陈洪江 主编



湖南大学出版社·长沙  
HUNAN UNIVERSITY PRESS

# Preface | 前言

为贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》以及教育部等六部门《关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》精神，适应汽车工业飞速发展和汽车运用与维修专业技能型紧缺人才培养的需求，我们组织编写汽车专业通用教材，供全国职业院校汽车类专业教学使用。

本系列教材总结了全国职业院校多年来的专业教学经验，注重以学生就业为导向，以培养能力为本位，教材内容符合汽车专业教学改革精神，适应汽车行业对技能型紧缺人才的要求。本教材具有以下特点。

1. 教材注重实用性，体现先进性，保证科学性，突出实践性，贯穿可操作性，反映了汽车工业的新知识、新技术、新工艺和新标准，其工艺过程尽可能与当前生产情景一致。

2. 教材文字简洁，通俗易懂，图文并茂，形象直观，形式生动，容易培养学生的兴趣并提高学习效果。

3. 全书以国内常见车系为主要典型车型，结合近年来汽车材料的发展，摒弃了过去教材中的陈旧知识。

4. 教材充分体现了以学生为主的教学理念，注重理论与实践相结合，更注重可持续发展能力的培养，学生毕业后能适应汽车材料技术及市场的变化和自我发展需要。

《汽车材料》是汽车类各专业的一门技术基础课。其主要任务是通过对本课程的学习，使学生对汽车用金属材料、非金属材料、润滑材料、汽车运行材料等各种材料有较为全面的、概括性的了解；掌握汽车常用材料的牌号、性能，具备合理选材及应用的基本知识和相关技能；初步具备分析非金属材料特性及应用状况的能力。为学好后续专业课程及今后进一步学习打下基础。

本书在编写过程中参考并引用了许多文献资料，在此谨向相关作者表示衷心的感谢！由于编者的经历和水平有限，希望各教学单位在积极选用和推广本教材的同时，注重总结经验，提出修改意见和建议，以便再版修订时改正。

编 者

# 目 录

## 第一部分 金属材料的力学性能

情境一 强度和塑性 .....	1
一、拉伸试验 .....	1
二、力 - 伸长曲线 .....	2
三、强度指标 .....	2
四、塑性指标 .....	3
情境二 金属材料的硬度 .....	4
一、布氏硬度 .....	4
二、洛氏硬度 .....	5
三、维氏硬度 .....	7
情境三 金属材料的冲击韧性和疲劳 .....	8
一、金属材料的冲击韧性 .....	8
二、疲劳 .....	9

## 第二部分 钢

情境一 钢的基础知识 .....	10
一、钢铁材料的生产 .....	10
二、铁碳合金的相与组织组成 .....	11
三、碳的质量分数对铁碳合金组织、 性能的影响 .....	15
情境二 碳素钢 .....	17
一、杂质元素对钢性能的影响 .....	17
二、碳素钢分类 .....	18
三、钢的牌号 .....	18
四、碳素钢的性能及主要用途 .....	19

情境三 合金钢 .....	22
一、合金钢的分类及编号 .....	22
二、合金元素在钢中的作用 .....	24
三、合金结构钢 .....	26
四、合金工具钢 .....	28
五、特殊性能钢 .....	29

## 第三部分 铸铁

一、铸铁的特点和分类 .....	32
二、灰铸铁 .....	33
三、球墨铸铁 .....	34
四、可锻铸铁 .....	36
五、蠕墨铸铁 .....	37
六、特殊性能铸铁 .....	38

## 第四部分 有色金属及其合金

情境一 铝及铝合金 .....	39
一、铝及铝合金的分类 .....	39
二、工业纯铝 .....	40
三、铝合金 .....	40
四、变形铝合金 .....	41
五、铸造铝合金 .....	42
情境二 铜及铜合金 .....	43
一、铜及铜合金的分类 .....	43
二、工业纯铜 .....	44
三、黄铜 .....	44

四、青铜 .....	46
五、白铜 .....	47
六、选择铜合金的原则 .....	47
<b>情境三 钛及钛合金 .....</b>	<b>49</b>
一、纯钛 .....	49
二、钛合金的主要特性 .....	50
三、钛合金 .....	50
<b>情境四 滑动轴承合金 .....</b>	<b>52</b>
一、对轴承合金的性能要求 .....	52
二、锡基轴承合金 .....	53
三、铅基轴承合金 .....	53
四、铜基轴承合金 .....	53
五、铝基轴承合金 .....	53
<b>情境五 粉末冶金材料 .....</b>	<b>54</b>
一、粉末冶金的定义 .....	54
二、粉末冶金的特点 .....	54
三、粉末冶金生产过程 .....	55
四、常用的粉末冶金材料 .....	56

## 第五部分 典型金属材料的汽车零件

<b>情境一 汽车零件选材原则 .....</b>	<b>58</b>
一、汽车零件选材原则 .....	58
二、零件的失效 .....	60
<b>情境二 典型汽车零件的选材 .....</b>	<b>61</b>
一、发动机典型零件的选材 .....	61
二、底盘典型零件的选材 .....	63
三、车身典型零件的选材 .....	65

## 第六部分 汽车常用非金属材料

<b>情境一 橡胶 .....</b>	<b>66</b>
一、橡胶的来源 .....	66
二、橡胶的基本性能 .....	67
三、橡胶的分类 .....	68
四、橡胶的组成 .....	69
五、橡胶在汽车中的应用 .....	71

<b>情境二 玻璃 .....</b>	<b>73</b>
一、玻璃的基本性能 .....	73
二、玻璃的成分 .....	74
三、车用安全玻璃 .....	75
四、车用新型玻璃 .....	76
<b>情境三 摩擦材料 .....</b>	<b>77</b>
一、摩擦材料的主要功能 .....	78
二、汽车用摩擦材料的性能要求 .....	78
三、摩擦材料的组成 .....	79
<b>情境四 塑料 .....</b>	<b>82</b>
一、塑料的组成 .....	82
二、塑料的主要特性 .....	83
三、塑料的分类 .....	84
四、塑料在汽车上的应用 .....	87
<b>情境五 陶瓷材料 .....</b>	<b>93</b>
一、陶瓷的定义 .....	93
二、陶瓷材料的特性 .....	93
三、陶瓷材料的分类 .....	94
四、陶瓷材料在汽车上的应用 .....	96

## 第七部分 汽车燃料

<b>情境一 车用汽油 .....</b>	<b>99</b>
一、汽油的分类 .....	99
二、汽油的基本性质 .....	100
三、车用汽油的使用性能 .....	100
四、国产汽油的牌号 .....	103
五、车用汽油的选用 .....	104
六、车用汽油使用时的注意事项 .....	105
<b>情境二 车用柴油 .....</b>	<b>107</b>
一、柴油的基本性质 .....	107
二、柴油的使用性能 .....	107
三、车用柴油的牌号及选用 .....	110
四、柴油的使用注意事项 .....	111
<b>情境三 汽车代用燃料 .....</b>	<b>111</b>
一、汽车发动机对代用燃料要求 .....	111
二、天然气 .....	112

三、液化石油气 .....	114
四、甲醇 .....	115
五、乙醇 .....	116
六、二甲醚 .....	118
七、生物柴油 .....	119
八、电能 .....	120
九、氢能 .....	121

## 第八部分 汽车润滑材料

<b>情境一 发动机润滑油 .....</b>	<b>123</b>
一、发动机润滑油的作用 .....	123
二、发动机润滑油的工作条件 及润滑方式 .....	124
三、现代汽车发动机对发动机 润滑油的要求 .....	125
四、发动机润滑油的组成 .....	126
五、发动机润滑油的分类 .....	127
六、发动机润滑油的选用 .....	130
七、典型的发动机润滑油 .....	131
八、发动机润滑油的使用注意事项 .....	133
<b>情境二 齿轮油 .....</b>	<b>134</b>
一、齿轮油的作用 .....	135
二、齿轮油的工作条件 .....	135
三、齿轮油的基本性能 .....	135
四、齿轮油的分类及规格 .....	136
五、齿轮油的选用 .....	138
六、齿轮油的使用注意事项 .....	139
<b>情境三 润滑脂 .....</b>	<b>139</b>
一、润滑脂的组成 .....	139
二、润滑脂在汽车上的作用 .....	140

三、汽车用润滑脂的优缺点 .....	141
四、常用汽车润滑脂的种类及牌号 .....	142
五、汽车润滑脂的贮存及使用注意事项 ..	145

## 第九部分 汽车工作油液

<b>情境一 自动变速器油 .....</b>	<b>146</b>
一、自动变速器油的作用 .....	146
二、自动变速器油的主要性能要求 .....	147
三、ATF 的组成 .....	148
四、自动变速器油的规格 .....	148
五、ATF 的使用注意事项 .....	149
六、自动变速器油的检查 .....	149
<b>情境二 汽车制动液 .....</b>	<b>150</b>
一、对汽车制动液的性能要求 .....	150
二、制动液的组成 .....	151
三、制动液的分类和规格 .....	152
四、制动液的选用注意事项 .....	153
五、制动液的检查与更换 .....	154
<b>情境三 发动机冷却液 .....</b>	<b>154</b>
一、发动机冷却液的作用 .....	155
二、发动机冷却液的性能要求 .....	155
三、冷却液的组成 .....	155
四、冷却液的类型 .....	156
五、冷却液的选用注意事项 .....	156
六、冷却液的检查 .....	157
<b>情境四 汽车其他工作油液 .....</b>	<b>158</b>
一、风窗玻璃洗涤液 .....	158
二、减振器油 .....	159
三、空调制冷剂 .....	160
四、空调压缩机油 .....	161

# 第一部分

## 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指在力的作用下，材料所表现出来的一系列力学性能指标，反映了金属材料在各种形式外力作用下抵抗变形或破坏的某些能力。

金属材料的力学性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧度和疲劳等。

### 情境一 强度和塑性



导学视频

强度是指金属材料在载荷作用下抵抗破坏（永久变形或断裂）的性能。塑性是指金属材料在载荷作用下产生塑性变形（永久变形）而不被破坏的能力。

#### 一、拉伸试验

金属材料的强度和塑性指标可通过拉伸试验测得。拉伸试验是用静拉伸力对试样进行轴向拉伸、测量拉伸力和相应的伸长并测量其力学性能的试验。

试验在拉伸试验机上进行，图 1-1 为电子拉伸试验机。



图 1-1 电子拉伸试验机

试验时用被测金属材料的标准试样，拉伸试样的形状通常有圆柱形和板状两类。图 1-2 所示为圆柱形拉伸试样。



图 1-2 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（ $l_0=5d_0$ ）。直径为  $d_0$ ，标距长度为  $l_0$  的试样 [如图 1-3 (a)] 装夹在拉伸试验机上，缓慢增加拉伸力，试样标距的长度将逐渐增加，直至被拉断。再将两段试样对接起来，标距将增至  $l_k$ ，断裂处横截面直径减至  $d_k$  [如图 1-3 (b)]。同时记录装置记录下拉伸过程中的力 - 伸长曲线。

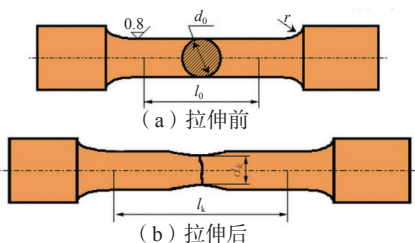


图 1-3 拉伸过程试样形变图



## 二、力 - 伸长曲线

在试验过程中，电子试验机自动记录了每一瞬间负荷  $F$  和变形量  $\Delta L$ ，并给出了它们之间的关系曲线，故称为拉伸曲线（或拉伸图）。拉伸曲线反映了材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形和直至拉伸时的力学特性。

图 1-4 为低碳钢的拉伸曲线。由图可见，低碳钢试样在拉伸过程中，可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。

观察拉伸试验和力 - 伸长曲线，会发现在拉伸试验开始阶段，即当载荷不超过  $F_e$  时，拉伸曲线  $Oe$  为一直线。在该阶段试样的伸长量与载荷成正比增加。如果卸除载荷，试样变形消失，恢复到原来的尺寸，即试样处于弹性变形阶段。

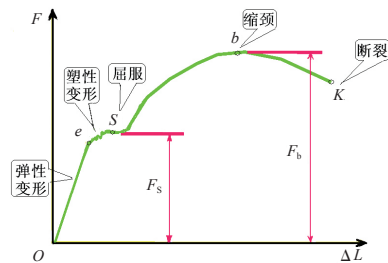


图 1-4 低碳钢的拉伸曲线

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，而有一部分变形却不能消失，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，试样开始明显塑性变形，在拉伸曲线上出现一段水平（或锯齿形）的线段，即在拉伸力不再增加的情况下，试样的塑性变形仍然增加，这种现象称为屈服。 $F_s$  称为屈服拉伸力。

超过屈服拉伸力后，试样抵抗变形的能力将会增加，此现象为冷变形强化，即恢复抵抗拉伸力的能力。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，产生了“缩颈”现象。由于试样局部截面的迅速减少，故载荷也逐渐降低，当达到拉伸曲线上的  $K$  点时，试样就被拉断。 $F_b$  是试样拉断前能承受的最大拉伸力，称为极限拉伸力。

## 三、强度指标

### 1. 屈服点和规定残余伸长应力

金属材料抵抗拉伸力的强度指标有屈服点、规定残余伸长应力、抗拉强度。

屈服点是指在外力作用下开始产生明显塑性变形的最小应力。即试样在试验中力不增加（保持恒定）仍能继续伸长（变形）时的应力，用  $\sigma_s$  表示，单位为 MPa（或  $N/mm^2$ ）。

即 
$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中： $F_s$ ——试样屈服时的拉伸力，即拉伸曲线中  $S$  点所对应的外力（N）；

$S_0$ ——试样的原始截面积（ $mm^2$ ）。

某些金属材料，在拉伸试验中不出现明显的屈服现象，无法确定其屈服点  $\sigma_s$ ，如高碳钢、铸铁等。所以国标中规定一个相当于屈服点的强度指标，即规定残余伸长应力（条件屈服强度）。规定残余伸长应力指试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。以试样塑性变形量为试样标距长度的 0.2% 时为例， $\sigma_{r0.2}$  表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

$\sigma_{r0.2}$  的确定方法如图 1-5 所示，在拉伸曲线横坐标上截取  $C$  点，使  $OC=0.2\%L_0$ ，过  $C$  点作  $Oe$  斜线的平行线，交曲线于  $S$  点，则找出相应的载荷  $F_{0.2}$ ，从而计算出  $\sigma_{r0.2}$ 。

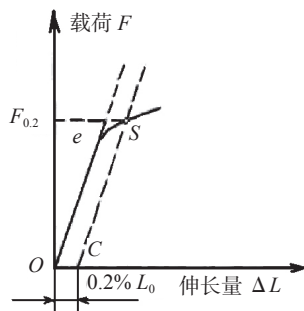


图 1-5 条件屈服强度

## 2. 抗拉强度

抗拉强度是金属材料断裂前所承受的最大应力，故又称强度极限，常用  $\sigma_b$  来表示，单位为 MPa（或  $\text{N/mm}^2$ ）。

即 
$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中： $F_b$ ——指试样所承受的最大拉伸力，即拉伸曲线上  $b$  点所对应的外力（N）；

$S_0$ ——试样的原始横截面积（ $\text{mm}^2$ ）。

屈服强度和抗拉强度在机械设计和选择、评定金属材料时有重要意义，因为金属材料不能在超过其  $\sigma_s$  的条件下工作，否则会引起机件的塑性变形；金属材料也不能超过其  $\sigma_b$  的条件下工作，否则会导致机件的破坏。脆性金属材料的  $\sigma_{0.2}$  也难测得，所以在用脆性金属材料制造机械零件时，常以  $\sigma_b$  作为选材和设计的依据。

## 四、塑性指标

试样拉断后，弹性变形消失，但塑性变形保留下来。工程上用试样拉断后的变形表示材料的塑性指标。

### 1. 延伸率

试样拉断后，标距长度的增加量与原标距长度的百分比称为伸长率，用符号  $\delta$  表示：

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中： $L_1$ ——试样拉断后对接的标距长度（mm）；

$L_0$ ——试样原标距长度（mm）。

拉伸试样的原始标距  $L_0$  与原始直径  $d_0$  之间通常有一定的比例关系。 $L_0=10d_0$  时，称为长试样； $L_0=5d_0$  时，称为短试样。使用长试样测定的延伸率用符号  $\delta_{10}$  表示，通常写成  $\delta$ ；使用短试样用符号  $\delta_5$  表示。同一材料延伸率  $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

### 2. 断面收缩率

试样拉断后，横截面积的缩减量与原横截面积的百分比称为断面收缩率，用  $\psi$  表示：

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

式中： $S_0$ ——原横截面面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$S_1$ ——试样断口处的最小横截面面积（ $\text{mm}^2$ ）。

$\delta$ 、 $\psi$  是衡量材料塑性变形能力大小的指标， $\delta$ 、 $\psi$  大，表示材料塑性好。 $2\% \leq \delta \leq 5\%$  属于脆性材料，如铸铁、混凝土、石料等； $5\% \leq \delta \leq 10\%$  属于韧性材料； $\delta > 10\%$  属于塑性材料，如钢材、铜、铝等。

金属材料的塑性好坏，对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成型工艺，而且在使用时一旦超载，由于塑性变形，能避免突然断裂，保证机件工作时的安全可靠。



## 讨论与思考

1. 简述低碳钢试样在拉伸过程中变形的几个阶段。
2. 将钟表发条拉成一直线，这是弹性变形还是塑性变形？如何判定变形性质？

## 情境二 金属材料的硬度



导学视频

硬度是物理学专业术语，是指材料局部抵抗硬物压入其表面的能力。

硬度是衡量金属材料软硬程度的一种性能指标，它是指金属表面抵抗局部塑性变形或破坏的能力。硬度是检验毛坯或成品件、热处理件的重要性能指标。机械制造业中所用的各类刀具、量具、模具都应具备足够的硬度，才能满足使用性能的要求。机械零件中的齿轮、凸轮、曲轴等也必须具备一定硬度，以保证足够的耐磨性。

硬度分类	①划痕硬度	主要用于比较不同矿物的软硬程度，方法是选一根一端硬一端软的棒，将被测材料沿棒划过，根据出现划痕的位置确定被测材料的软硬。定性地说，硬物体划出的划痕长，软物体划出的划痕短。
	②压入硬度	主要用于金属材料，方法是用一定的载荷将规定的压头压入被测材料，以材料表面局部塑性变形的大小比较被测材料的软硬。由于压头、载荷以及载荷持续时间的不同，压入硬度有多种，主要是布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和显微硬度等几种。
	③回跳硬度	主要用于金属材料，方法是使一特制的小锤从一定高度自由下落冲击被测材料的试样，并以试样在冲击过程中储存（继而释放）应变能的多少（通过小锤的回跳高度测定）确定材料的硬度。

### 一、布氏硬度

布氏硬度试验通常使用数显布氏硬度试验方法，试验机如图 1-6 所示。

数显布氏硬度试验是用一定直径的钢球，以规定试验力压入被试验物体的表面，经规定的保持试验力时间后，卸除试验力，用测微目镜测量试件表面的压痕直径  $d$ ，即可从显示屏上直接得到硬度值。



图 1-6 数显布氏硬度试验机

布氏硬度试验原理如图 1-7 所示。布氏硬度值 HBS 或 HBW 是试验力  $F$  除以压痕球形表面积所得的商，即：

$$HBS(HBW) = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中： $F$ ——压入载荷（N）；

$D$ ——压头直径（mm）；

布氏硬度值的单位为 MPa，一般不标出单位，只写明硬度的数值。

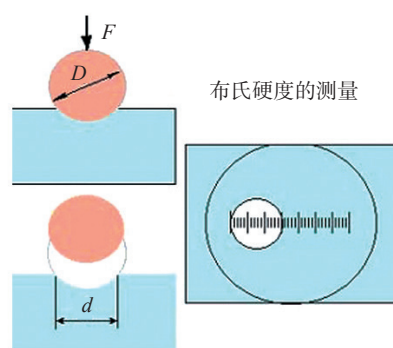


图 1-7 布氏硬度试验原理

注意：在进行布氏硬度试验时，如选择的压头为淬火钢球，布氏硬度用符号 HBS 表示，适用于布氏硬度值在 450 以下的材料，如灰铸铁、有色金属及已经退火、正火和调质处理的钢材等；压头为硬质合金球时，用 HBW 表示，适用于布氏硬度值在 450 ~ 650 之间的材料。

布氏硬度的标注方法：

符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值，符号后面按以下顺序用数值表示。试验条件 / 球体直径 / 试验力 / 试验力保持时间（10 ~ 15 s 不标注）。

例如：125HBS10/1000/30 表示用直径 10 mm 的淬火钢球在 1000 kgf（9.807 kN）试验力作用下保持 30 s 测得的布氏硬度值为 125；500HBW5/750 表示用直径 5 mm 的硬质合金球在 750 kgf（7.355 kN）试验力作用下保持 10 ~ 15 s 测得的布氏硬度值为 500。

布氏硬度试验的优缺点：

布氏硬度试验的优点是测出的硬度值准确可靠，因压痕面积大，能消除因组织不均匀引起的测量误差；

布氏硬度试验的缺点是压痕大，不适宜测量成品件或太小太薄的试样硬度，且测量速度较慢，测得压痕直径后还需计算或查表。

## 二、洛氏硬度

洛氏硬度通常使用数显洛氏硬度试验方法，试验机如图 1-8 所示。

金属洛氏硬度试验是生产中应用最广泛的一种试验方法。它是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或一定直径的淬火钢球作压头，以规定的试验力使其压入试样表面，根据压痕的深度确定被测金属的硬度值。



图 1-8 数显洛氏硬度试验机

图 1-9 表示洛氏硬度试验原理。图中 1-1 位置为在初试验力作用下，压头压入深度为  $h_1$  的位置；2-2 位置为在总试验力（初试验力+主试验力）作用下，压头压入深度  $h_2$  时的位置；3-3 位置为卸载主试验力后，由于被测金属弹性变形恢复，而使压头略微提高的位置。这时压头实际压入试样的深度为  $h_3$ ，故由主试验力引起的塑性变形产生的残余压痕深度  $h = h_3 - h_1$ 。当载荷和压头一定时，所测得的残余压痕深度  $h$ （单位：mm）愈大，表示材料硬度愈低。一般来说人们习惯数值越大硬度越高，为此，用一个常数  $K$ （对 HRA 和 HRC， $K$  为 0.2；对 HRB， $K$  为 0.26）减去  $h$ ，规定每 0.002 mm 深为一个硬度单位。洛氏硬度计算公式是：

$$HR = K - h = N - \frac{h}{0.002}$$

式中： $K$ ——常数（对 HRA 和 HRC， $K=0.2$ ；对 HRB， $K=0.26$ ）；  
 $N$ ——给定标尺的刻度满量程数值，A、C 标尺为 100，B 标尺为 130；  
 $h$ ——残余压痕深度（mm）。

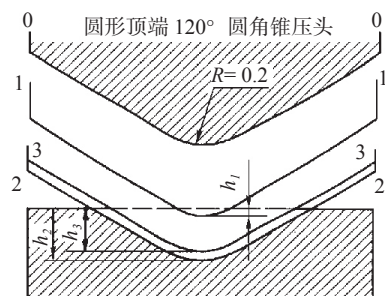


图 1-9 洛氏硬度试验原理

根据所加的载荷和压头不同，从而组成几种不同的洛氏硬度标尺。其中常用的是 A、B、C 三种标尺。表 1-1 列出三种标尺的试验条件和应用范围（GB/T 230.1—2004）。

表 1-1 常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用

标尺	硬度符号	所用压头	总试验力 $F/N$	适用范围 <sup>①</sup> HR	应用范围
A	HRA	120° 金刚石圆锥	588.4	20 ~ 88	碳化物、淬火工具钢、硬质合金、浅层表面硬化钢
B	HRB	Φ1.588 mm 钢球	980.7	20 ~ 100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
C	HRC	120° 金刚石圆锥	1471	20 ~ 70	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。

根据国标 GB 230—83 和 ISO 推荐标准 R80 规定，洛氏硬度符号 HR 前面的数字为硬度值，后面的字母表示级数。如 60HRC 表示 C 标尺测定的洛氏硬度值为 60。

洛氏硬度试验操作简便、迅速，效率高，可以测定软、硬金属的硬度；压痕小，可用于成品检验。但因压痕小，测量组织不均匀的金属硬度时，重复性差，测得的硬度值不够准确，一般需测三次以上，取其平均值，而且不同的硬度级别测得的硬度值不可直接比较大小。

### 三、维氏硬度

布氏硬度试验不适合测定硬度较高的金属。洛氏硬度试验虽可测定各种金属硬度，但由于采用不同的压头、总试验力和标尺，不同级别的硬度值没有简单的换算关系，不便比较。

为了能在同一种硬度标尺上测定由软到硬材料的硬度值，特制定了维氏硬度试验法。维氏硬度通常使用数显洛氏硬度试验机进行检测（图 1-10）。



图 1-10 数显洛氏硬度试验机

维氏硬度试验原理与布氏硬度相同，同样是根据压痕单位面积上所受的平均载荷计量硬度值，不同的是维氏硬度的压头采用金刚石制成的锥面夹角为  $136^\circ$  的正四棱锥体（图 1-11）。

维氏硬度试验在维氏硬度试验机上进行。试验时，根据试样大小、厚薄选用  $(5 \sim 120) \times 9.8\text{N}$  载荷压入试样表面，经规定时间后去除载荷，用附在试验机上的测微计测量压痕对角线长度  $d$ ，然后通过查表或根据下式计算维氏硬度值：

$$HV = F/A = (1.8544 \times 0.102 \times F/d^2) \text{ MPa}$$

式中： $A$ ——压痕的面积（ $\text{mm}^2$ ）；

$d$ ——压痕对角线的长度（ $\text{mm}$ ）；

$F$ ——试验载荷（ $\text{N}$ ）。

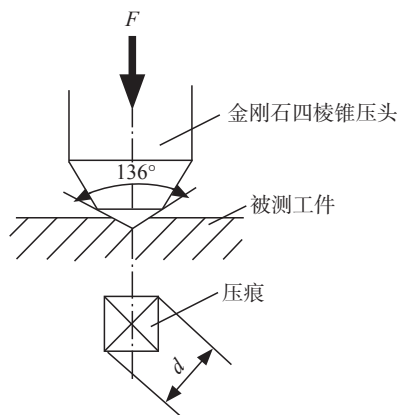


图 1-11 维氏硬度实验原理图

根据国标（GB 4340—84）和 ISO 推荐标准 R81 规定，维氏硬度符号 HV 前是硬度值，符号 HV 后附以试验载荷。如 640HV30/20 表示在  $30 \times 9.8\text{N}$ （ $1\text{kgf}=9.8\text{N}$ ）作用下保持 20 s（保持时间为 10 ~ 15 s 时不标注）后测得的维氏硬度值为 640。

维氏硬度的优点是适用范围宽，试验时加载小，压痕深度浅，可测量零件表面淬硬层，测量对角线长度  $d$  误差小，结果精确可靠。其缺点是生产率比洛氏硬度试验低，不宜于成批生产检验，且对试样表面质量要求较高。

### 讨论与思考

1. 常用的硬度试验方法有哪些？
2. 简述布氏硬度的标注方法，说明 125HBS10/1000/30 的含义。



## 情境三 金属材料的冲击韧性和疲劳



导学视频

### 一、金属材料的冲击韧性

生产中许多机器零件，都是在冲击载荷（载荷以很快的速度作用于机件）下工作。试验表明，载荷速度增加，材料的塑性、韧性下降，脆性增加，易发生突然性破坏断裂。因此，这种情况使用的材料就不能用静载荷下的性能来衡量，而必须用抵抗冲击载荷的作用而不破坏的能力，即冲击韧性来衡量。

#### 1. 夏比冲击试验

夏比冲击试验是在摆锤式冲击试验机（图 1-12）上进行的。试验原理见图 1-13 所示，将标准试样放在冲击试验机的两支座上，使试样缺口背向摆锤冲击方向，然后把质量为  $m$  的摆锤提升到  $H$  高度，摆锤由此高度下落时将试样冲断，并升到  $h$  高度。因此冲断试样所消耗的功（冲击吸收功）为  $A_k = mg(H-h)$ 。金属的冲击韧性  $a_k$  就是冲断试样时在缺口处单位面积所消耗的功，即：

$$a_k = A_k / S \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中： $a_k$ ——冲击韧性（ $\text{J/cm}^2$ ）；

$S$ ——试样缺口处原始截面积（ $\text{cm}^2$ ）；

$A_k$ ——冲断试样所消耗的功（ $\text{J}$ ）。

冲击吸收功  $A_k$  的值可从试验机的刻度盘上直接读出。

通常把冲击吸收功值较低的材料称为脆性材料，冲击吸收功值较高的材料称为韧性材料。



图 1-12 冲击试验机

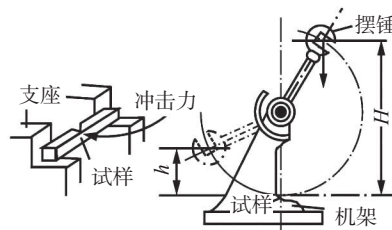


图 1-13 冲击试验原理图

#### 2. 韧脆转变温度

金属材料的冲击吸收功  $A_k$  值的大小代表了材料的冲击韧性高低。材料的冲击韧性值除了取决于材料本身之外，还与环境温度及缺口的状况密切相关。所以，冲击韧性除了用来表征材料的韧性大小外，还用来测量金属材料随环境温度下降由塑性状态变为脆性状态的冷脆转变温度，也用来考查材料对于缺口的敏感性。

材料的冲击韧性随温度的下降而下降。在某一温度范围内  $A_k$  值发生急剧下降的现象称为韧脆转变，发生韧脆转变的温度范围称为韧脆转变温度，冲击吸收功与温度之间的关系曲线如图 1-14 所示。金属的韧脆转变温度越低，说明金属的低温抗冲击性能就越好。

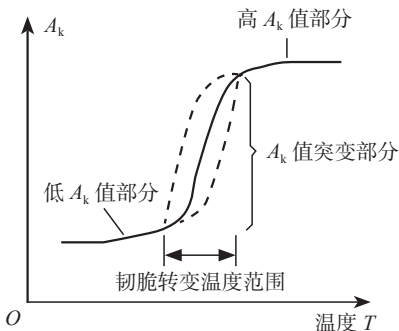
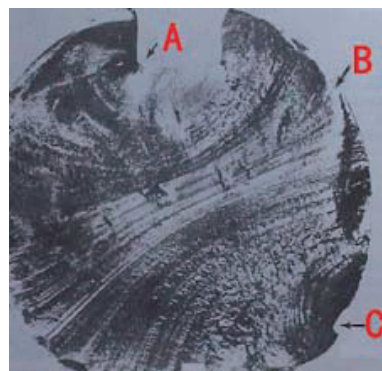


图 1-14 冲击吸收功 - 温度曲线

## 二、疲劳

实际工作过程中，许多机器零件都是在循环载荷下工作的，如轴类、弹簧、齿轮、滚动轴承等。虽然零件所承受的交变应力数值小于材料的屈服强度，但在长时间运转后也会发生断裂，这种现象叫疲劳断裂。它与静载荷下的断裂不同，断裂前无明显塑性变形，因此具有更大的危险性。

疲劳破断常发生在金属材料最薄弱的部位，如热处理产生的氧化、脱碳、过热、裂纹；钢中的非金属夹杂物、试样表面有气孔、划痕等缺陷均会产生应力集中，其先形成微裂源，并随着应力的循环周次增加，裂纹不断扩展，使零件承受载荷的有效面积不断减小，最后当减小到不能承受外加载荷时，突然发生断裂。疲劳失效过程可分为疲劳裂纹的产生、扩展和断裂三阶段，形成断口（图 1-15）。



(A) 疲劳源区 (B) 扩展区 (C) 终断区

图 1-15 疲劳断裂的宏观断口

为了提高疲劳强度，加工时要降低零件的表面粗糙度并进行表面强化处理，如表面淬火、渗碳、氮化、喷丸等，使零件表层产生残余的压应力，以抵消零件工作时的一部分拉应力，从而使零件的疲劳强度提高。

研究疲劳问题时，需要测定疲劳曲线。交变应力大小和断裂循环周次之间的关系通常用疲劳曲线（ $\sigma-N$  曲线）来描述，如图 1-16 所示。曲线表明，当应力低于某一值时，即使循环次数无穷多，也不发生断裂，此应力值称为疲劳强度或疲劳极限。光滑试样的对称弯曲疲劳极限用  $\sigma_{-1}$  表示。在疲劳强度的测定中，不可能把循环次数做到无穷大，而是规定一定的循环次数作为基数，超过这个基数就认为不再发生疲劳破坏。常用钢材的循环基数为  $10^7$ ，有色金属和某些超高强度钢的循环基数为  $10^8$ 。

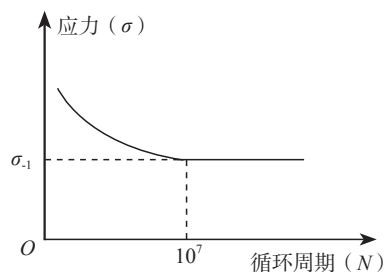


图 1-16  $\sigma-N$  曲线

## 讨论与思考

1. 简述夏比冲击试验的试验原理。
2. 什么是韧脆转变现象？