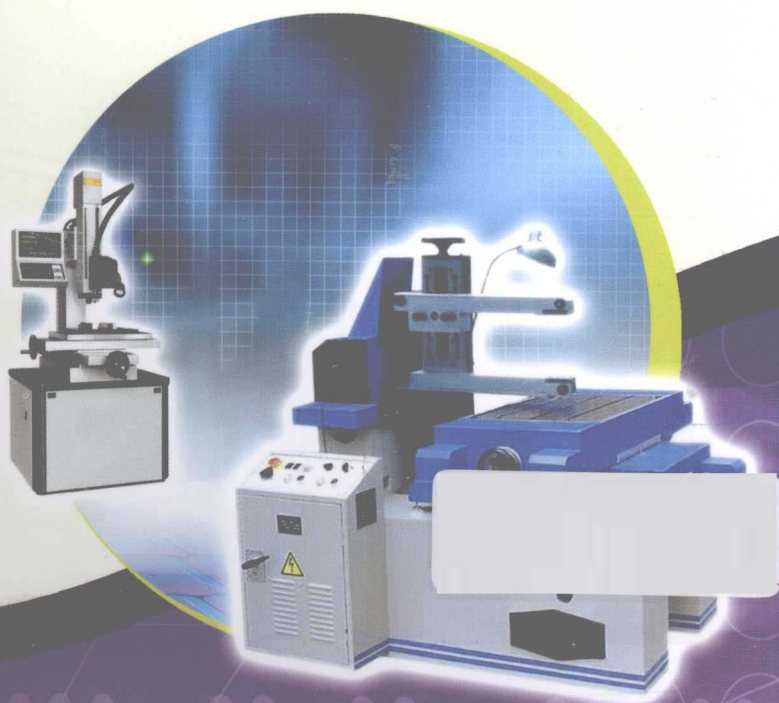


全国高职高专机电类专业规划教材

# 机械工程基础

张志光 邓良平 主编  
苑章义 主审



黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书是全国高职高专机电类专业规划教材,是根据教育部对高职高专教育的教学基本要求及中国水利教育协会全国水利水电高职教研会制定的机械工程基础课程标准编写完成的。全书共5篇,主要包括机械工程材料、热加工基础、钳工基础、机械切削基础和零件质量控制基础等内容。在编写过程中,编者把机械制造技术中传统的机械工程材料、热加工、钳工、机械切削加工、公差配合与测量技术等课程内容,进行了结构重构、结构优化,以机械制造的工艺为主线,介绍了机械制造各个工艺过程的基本理论知识和相关实践技术。

本书可作为高职高专院校机电类相关专业的教材,也可作为各类业余大学、函授大学及中等职业学校相关专业的教学参考书,并可供相关专业工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械工程基础/张志光,邓良平主编. —郑州:黄河水利出版社,2013.3

全国高职高专机电类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0277 - 0

I. ①机… II. ①张… ②邓… III. ①机械工程 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第003561号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@163.com

简 群

66026749

w\_jq001@163.com

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550 66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:22

字数:510千字

印数:1—4 100

版次:2013年3月第1版

印次:2013年3月第1次印刷

---

定价:45.00元

# 前 言

本书是根据《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)、《教育部关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)等文件精神,在中国水利教育协会指导下,由全国水利水电高职教研会组织编写的机电类专业规划教材。该套规划教材是在近年来我国高职高专院校专业建设和课程建设不断深化改革和探索的基础上组织编写的,内容上力求体现高职教育理念,注重对学生应用能力和实践能力的培养;形式上力求做到基于工作任务和工作过程编写,便于“教、学、练、做”一体化。该套规划教材是一套理论联系实际、教学面向生产的高职高专教育精品规划教材。

编写本书时,编者把机械制造技术中传统的机械工程材料、热加工、钳工、机械切削加工、公差配合与测量技术等课程内容,进行了结构重构、结构优化。以机械制造工艺为主线,介绍了机械制造各个工艺过程的基本理论知识和相关实践技术。本书共5篇,主要包括机械工程材料、热加工基础、钳工基础、机械切削基础和零件质量控制基础等内容。

本书力求突出工作过程和职业技能,突显校企合作,紧密联系生产实际,将岗位实践的知识、技术融入教材中,跟踪新技术,体现应用性。将以过程为导向的“工学结合”和以就业为导向的“双证教学”结合起来,构建高职大学生教学和就业的直接通道,更好地培养生产、建设、管理、服务第一线需要的“下得去、留得住、用得上、出绩效”的,实践能力强、具有良好职业道德的高素质技能型人才。

本书按86个学时编写,采用模块化结构,模块的开头配有“模块导入”、“技能要求”,结束配有“拓展提高”、“练习题”等,教材的最后附有初级热处理工知识试卷、中级装配钳工知识试卷等及其答案。

本书编写人员及编写分工如下:山东水利职业学院张志光(模块1~2、模块12~14)、湖南水利水电职业技术学院邓良平(模块3~4)、沧州职业技术学院刘爱文(模块5~6)、沧州职业技术学院张雪娜(模块7)、山东水利职业学院国磊(模块8~9)、山东水利职业学院尹盛莲(模块10~11)。本书由张志光、邓良平担任主编,张志光负责全书统稿;由刘爱文、国磊担任副主编;由山东水利职业学院苑章义担任主审。

在本书的编写过程中,有关企业专家和技术人员给予了大力支持,中国五征集团高级工程师胡乃琴、山东省水电设备厂高级工程师耿相臣、山东同泰集团股份有限公司水泵厂总工程师仲勇军等对教材提出了许多宝贵的建议,在此特向他们表示衷心的感谢!

本书的编写参阅了一些国内外出版的同类书籍,在此特向有关作者表示衷心的感谢!限于编者的水平,书中不妥之处在所难免,恳请有关专家、同行、读者批评斧正。

编 者

2012年10月

# 目 录

## 第 1 篇 机械工程材料

模块 1 金属材料的性能	(1)
1.1 金属材料的力学性能	(1)
1.2 金属材料的物理性能和化学性能	(6)
1.3 金属材料的工艺性能	(8)
1.4 金属材料的经济性能	(9)
1.5 拓展提高——布洛维硬度计	(10)
练习题	(13)
模块 2 金属的晶体结构与铁碳合金相图	(15)
2.1 金属的晶体结构	(15)
2.2 金属的结晶与晶体缺陷	(17)
2.3 合金的晶体结构与组织	(21)
2.4 铁碳合金的基本组织	(23)
2.5 铁碳合金相图	(25)
2.6 铁碳合金相图在工业生产中的应用	(27)
2.7 拓展提高——金相试样的制备	(29)
练习题	(30)
模块 3 钢的热处理	(33)
3.1 钢在加热时的组织转变	(33)
3.2 钢在冷却时的组织转变	(36)
3.3 钢的退火与正火	(40)
3.4 钢的淬火与回火	(42)
3.5 钢的表面热处理	(46)
3.6 拓展提高——发蓝处理	(48)
练习题	(48)
模块 4 常用工程材料	(51)
4.1 碳 钢	(51)
4.2 合金钢	(55)
4.3 铸 铁	(62)
4.4 有色金属	(68)
4.5 非金属材料	(72)
4.6 典型零件选材与热处理工艺	(75)

4.7 拓展提高——金属材料的现场鉴别 .....	(77)
练习题 .....	(78)

## 第2篇 热加工基础

<b>模块5 铸造生产</b> .....	(82)
5.1 铸造概述 .....	(82)
5.2 砂型铸造 .....	(88)
5.3 特种铸造 .....	(93)
5.4 铸造成形设计及铸件结构工艺性 .....	(96)
5.5 拓展提高——铸造新技术发展趋势 .....	(102)
练习题 .....	(104)
<b>模块6 压力加工</b> .....	(106)
6.1 锻压概述 .....	(106)
6.2 自由锻造 .....	(107)
6.3 模  锻 .....	(111)
6.4 板料冲压 .....	(116)
6.5 拓展提高——我国第一台万吨水压机 .....	(118)
练习题 .....	(120)
<b>模块7 焊接成形</b> .....	(122)
7.1 焊接概述 .....	(122)
7.2 手工电弧焊 .....	(125)
7.3 其他焊接方法 .....	(132)
7.4 常用金属材料的焊接 .....	(141)
7.5 拓展提高——焊接新工艺 .....	(150)
练习题 .....	(152)

## 第3篇 钳工基础

<b>模块8 钳工基本知识</b> .....	(154)
8.1 钳工概述 .....	(154)
8.2 钳工常用工具、量具和设备 .....	(155)
8.3 拓展提高——技能多面手之钳工 .....	(166)
练习题 .....	(167)
<b>模块9 钳工操作技能</b> .....	(169)
9.1 划  线 .....	(169)
9.2 锯  削 .....	(176)
9.3 锉  削 .....	(180)
9.4 其他操作方法 .....	(185)
9.5 拓展提高——钳工安全操作规程 .....	(192)

练习题	(193)
-----	-------

## 第4篇 机械切削加工基础

<b>模块 10 金属切削的基本知识</b>	(195)
10.1 切削运动与切削要素	(195)
10.2 刀具材料及刀具角度	(197)
10.3 金属切削过程	(202)
10.4 机床的基本知识	(208)
10.5 拓展提高——机床发展趋势	(213)
练习题	(214)
<b>模块 11 切削加工</b>	(216)
11.1 机床附件及工件安装	(216)
11.2 车床及车刀	(217)
11.3 铣床及铣刀	(221)
11.4 磨床及砂轮	(229)
11.5 钻床及钻削刀具	(232)
11.6 镗床及镗刀	(236)
11.7 刨床及刨刀	(239)
11.8 拉床及拉刀	(241)
11.9 拓展提高——特种加工	(244)
练习题	(245)

## 第5篇 零件质量控制基础

<b>模块 12 尺寸公差及检测</b>	(247)
12.1 概述	(247)
12.2 尺寸公差与配合	(255)
12.3 公差与配合的选用	(264)
12.4 尺寸的检测	(271)
12.5 拓展提高——内径百分表测量孔径	(277)
练习题	(280)
<b>模块 13 几何公差及检测</b>	(282)
13.1 概述	(282)
13.2 几何公差的标注	(284)
13.3 形状公差	(288)
13.4 位置公差	(290)
13.5 几何公差的选用	(296)
13.6 几何误差的检测	(302)
13.7 拓展提高——认识三坐标测量仪	(307)

练习题 .....	(311)
<b>模块 14 表面粗糙度及检测 .....</b>	<b>(314)</b>
14.1 概 述 .....	(314)
14.2 表面粗糙度的评定 .....	(315)
14.3 表面粗糙度的选用 .....	(318)
14.4 表面粗糙度的标注 .....	(321)
14.5 表面粗糙度的检测 .....	(325)
14.6 拓展提高——表面粗糙度发展概况 .....	(327)
练习题 .....	(327)
<b>附录一 职业技能鉴定国家题库统一试卷 初级热处理工知识试卷 .....</b>	<b>(329)</b>
<b>附录二 职业技能鉴定国家题库统一试卷 中级装配钳工知识试卷 .....</b>	<b>(337)</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>(344)</b>

# 第 1 篇 机械工程材料

## 模块 1 金属材料的性能

### 【模块导入】

在现代工业生产中,金属材料是工程材料的核心。因此,对于机械制造行业的高级技术应用型人才,掌握金属材料的性能就显得极为重要。

金属材料有三大类性能:一类是使用性能,它反映了金属材料在使用过程中所显示出来的特性,包括力学性能、物理性能和化学性能;一类是工艺性能,它反映了金属材料在制造加工过程中成形能力的各种特性,包括铸造性、锻造性、焊接性、热处理以及切削加工性;还有一类是经济性能。

### 【技能要求】

掌握金属材料的强度、塑性、硬度等力学性能指标的检测方法,初步判别材料优劣;理解金属材料的物理性能、化学性能指标的含义,加深对材料使用性能的认识,做到材料的合理选用与防护;了解金属材料的工艺性能,认识材料在制造加工过程中的各种成形能力。

## 1.1 金属材料的力学性能

机械零件或工具在使用过程中受到各种载荷的作用。金属材料的力学性能是指金属材料在载荷作用下所反映出来的一系列性能,主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳极限等。

### 1.1.1 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。

按外力性质的不同,强度可分为屈服强度、抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。工程上,用来表示金属材料强度的指标主要有屈服强度和抗拉强度。

作为材料性能的重要指标,金属材料的强度是通过拉伸试验测定出来的。低碳钢拉伸试件与特性曲线如图 1-1 所示。

#### 1.1.1.1 屈服强度

当载荷增至  $F_s$  时,拉伸曲线呈直线状,即试样所承受的载荷几乎不变,但却产生了较为明显的塑性变形,材料的这种现象称为屈服现象。



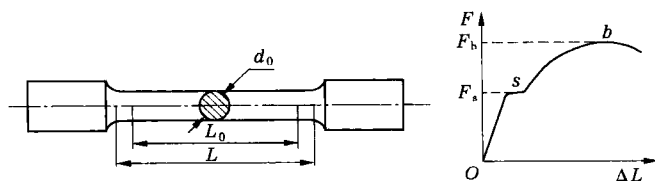


图 1-1 低碳钢拉伸试件与特性曲线

屈服强度是指试样在外力作用下开始产生明显塑性变形时的应力,常用  $\sigma_s$  表示,且

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-1)$$

式中  $F_s$ ——试样产生塑性变形时的载荷,即拉伸曲线中  $s$  点所对应的外力, N;

$A_0$ ——试样的原始横截面面积,  $\text{mm}^2$ 。

### 1.1.1.2 抗拉强度

抗拉强度是指试样断裂前所承受的最大应力,又称强度极限,常用  $\sigma_b$  表示,且

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-2)$$

式中  $F_b$ ——试样被拉断前所承受的最大外力,即拉伸曲线上  $b$  点所对应的外力, N;

$A_0$ ——试样的原始横截面面积,  $\text{mm}^2$ 。

金属材料必须在小于其  $\sigma_s$  的条件下工作,否则会引起零件的塑性变形;金属材料不能在超过其  $\sigma_b$  的条件下工作,否则会导致零件的毁坏。因此,屈服强度和抗拉强度在选择金属材料、进行机械设计时有着重要意义。

## 1.1.2 塑性

塑性是指材料在静载荷作用下产生不可逆永久变形的性能。评定材料塑性的指标有断后伸长率和断面收缩率。

### 1.1.2.1 断后伸长率

断后伸长率是指试样拉断后的标距的伸长量与原始标距的百分比,用  $\delta$  表示,即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中  $L_0$ ——试样的原始标距, mm;

$L_1$ ——试样拉断后的标距, mm。

### 1.1.2.2 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后缩颈处横截面面积的最大缩减量与原始横截面面积的百分比,用  $\psi$  表示,即

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中  $S_0$ ——试样的原始横截面面积,  $\text{mm}^2$ ;

$S_1$ ——试样拉断后缩颈处的横截面面积,  $\text{mm}^2$ 。

塑性直接影响到零件的成形和使用。塑性好的材料,不仅能顺利地进行轧制、锻压等成形工艺,而且在使用中一旦超载,由于可变形而能防止突然断裂。所以,大多数机械零件除要求具有较高的强度外,还必须有一定的塑性。

通常,将断后伸长率是否达到 5% 作为划分塑性材料和脆性材料的判据。

### 1.1.3 硬度

硬度是指材料表面抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力,是衡量材料软硬的一个综合指标。

通常情况下,材料的硬度越高,则耐磨性越好,故将硬度值作为衡量材料耐磨性的重要指标之一。

硬度值的测定有压入法、划痕法和回跳法等,通常使用压入法。把规定的压头压入金属材料的表面层,然后根据压痕的面积或深度来确定其硬度值。根据压头和压力的不同,常用的硬度指标有布氏硬度(HBS、HBW)、洛氏硬度(HRA、HRB、HRC)和维氏硬度(HV)。

#### 1.1.3.1 布氏硬度

布氏硬度的试验原理是用直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球,以相应的试验力  $F$  压入试样表面,保持规定的时间后卸除试验力,在试样表面留下球形压痕,如图 1-2 所示。布氏硬度值用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示。用淬火钢球作压头时,布氏硬度用符号 HBS 表示;用硬质合金球作压头时,布氏硬度用符号 HBW 表示。

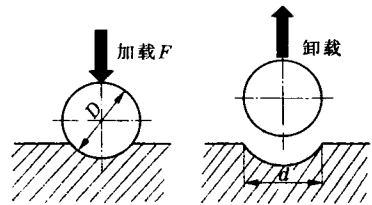


图 1-2 布氏硬度试验原理

$$HBS(HBW) = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-5)$$

式中 HBS(HBW)——淬火钢球(硬质合金球)试验的布氏硬度值;

$F$ ——试验力, N;

$d$ ——压痕平均直径, mm;

$D$ ——淬火钢球(硬质合金球)的直径, mm。

布氏硬度的单位为 MPa,但习惯上只写明硬度值而不标出单位。

由布氏硬度值的计算公式可以看出,当所加试验力  $F$  与淬火钢球(或硬质合金球)直径  $D$  已选定时,硬度值 HBS(HBW) 只与压痕平均直径  $d$  有关。 $d$  越大,则 HBS(HBW) 值越小,表明材料越软; $d$  越小,则 HBS(HBW) 值越大,表明材料越硬。

国标规定,除采用淬火钢球(或硬质合金球)直径  $D$  为 10 mm,试验力  $F$  为 3 000 kgf (29 421 N),保持时间 10 ~ 15 s 的试验条件外,在其他试验条件下测得的硬度值,应在符号 HBS(HBW) 的后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。

如 120HBS10/1000/30,表示用 10 mm 的淬火钢球作压头,在 1 000 kgf(9 807 N) 的试验力作用下,保持时间为 30 s 后所测得的硬度值为 120。

如 500HBW5/750,表示用 5 mm 的硬质合金球作压头,在 750 kgf(7 355 N) 的试验力

作用下,保持时间为 10 ~ 15 s 后所测得的硬度值为 500。

淬火钢球用于测定硬度 HBS < 450 的金属材料,如灰铸铁、有色金属以及经退火、正火和调质处理的钢材等。为了避免压头变形,可用硬质合金球作压头,它适用于测定硬度 HBW < 650 的金属材料(目前,我国布氏硬度试验机的压头主要是淬火钢球)。

布氏硬度试验的特点:试验时使用的压头直径较大,在试样表面上留下的压痕也较大,测得的硬度值比较准确,但对金属表面的损伤较大,不易测定太薄工件的硬度,也不适于测定成品件的硬度。

布氏硬度试验常用来测定原材料、半成品及性能不均匀材料(如铸铁)的硬度。

### 1.1.3.2 洛氏硬度

测量洛氏硬度时,以顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球作压头,以规定的试验力使其压入试样表面。试验时,首先加初试验力,然后加主试验力,压入试样表面之后卸除主试验力,在保留初试验力的情况下,根据试样表面压痕深度,确定被测金属材料的洛氏硬度值。

如图 1-3 所示,0—0 为金刚石压头还没有和试样接触的位置;1—1 是在初试验力作用下压头所处的位置,压入深度为  $h_1$ ,目的是消除由于试样表面粗糙对试验结果的精确性造成的不良影响;2—2 是在总试验力(初试验力 + 主试验力)作用下压头所处的位置,压入深度为  $h_2$ ;3—3 是卸除主试验力后压头所处的位置,由于金属弹性变形得到恢复,此时压头实际压入深度为  $h_3$ 。故由于主试验力所引起的塑性变形而使压头压入深度为  $h = h_3 - h_1$ 。洛氏硬度值由  $h$  的大小确定,压入深度  $h$  越大,硬度越低;反之,则硬度越高。一般来说,按照

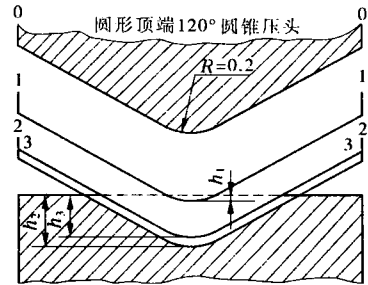


图 1-3 洛氏硬度试验原理

人们习惯上的认识,数值越大,硬度越高。因此,采用一个常数  $c$  减去  $h$  来表示硬度的高低,并用每 0.002 mm 的压痕深度为一个硬度单位。由此获得的硬度值称为洛氏硬度值,用符号 HR 表示,且

$$HR = \frac{c - h}{0.002} \quad (1-6)$$

式中  $c$ ——常数,对于 HRC、HRA,  $c$  取 0.2;对于 HRB,  $c$  取 0.26。

由此获得的洛氏硬度值 HR 为无量纲数值,试验时可从试验机指示器上直接读出。

上述洛氏硬度的三种标尺(HRC、HRA、HRB)中,以 HRC 应用最多,一般经淬火处理的钢或工具都采用 HRC 测量。在中等硬度情况下,洛氏硬度 HRC 与布氏硬度 HBS 之间的比例关系约为 1:10,如 40 HRC 相当于 400 HBS。布氏硬度 HBS 与抗拉强度  $\sigma_b$  之间的关系约为:低碳钢  $\sigma_b = 3.6 \text{ HB}$ ;高碳钢  $\sigma_b = 3.4 \text{ HB}$ ;合金调质钢  $\sigma_b = 0.33 \text{ HB}$ ;铸铁  $\sigma_b =$

$\frac{\text{HB} - 40}{6}$ 。

洛氏硬度试验的优点如下所述:

(1)操作简单迅速,效率高,可直接从指示器上读出硬度值;

(2) 压痕小,故可直接测量成品或较薄工件的硬度;

(3) 对于 HRA 和 HRC 采用金刚石压头,可测量高硬度薄层和深层的材料。

洛氏硬度试验的缺点:由于压痕小,测得的数值不够准确,通常要求在试样不同部位测定四次以上,取其平均值为该材料的硬度值。

### 1.1.3.3 维氏硬度

布氏硬度试验不适用于测定硬度较高的材料。洛氏硬度试验虽然可用于测定软材料和硬材料,但其硬度值不能进行比较。维氏硬度(符号为 HV)试验可以测量从软到硬的各种材料以及金属零件的表面硬度,并有连续一致的硬度标尺。其优点是试验力可以任意选择,特别适用于表面经强化处理的机械零件和很薄的产品。但维氏硬度试验的效率不是很高,不适用于成批生产产品的常规检验。

### 1.1.4 韧性

材料断裂前吸收的变形能量称为韧性,韧性的常用指标为冲击韧度。

冲击韧度通常采用摆锤冲击试验机测定(夏比试验)。测定时,一般是将带有缺口的标准冲击试样(参见 GB/T 3808—2002)放在试验机上,然后用摆锤将其一次冲断,并以试样缺口处单位横截面面积上所吸收的冲击功表示其冲击韧度。即

$$a_k = \frac{A_k}{A} \quad (\text{J/cm}^2) \quad (1-7)$$

式中  $a_k$ ——冲击韧度(冲击值);

$A_k$ ——冲断试样所消耗的冲击功,J;

$A$ ——试样缺口处的横截面面积, $\text{cm}^2$ 。

对于脆性材料(如铸铁、淬火钢等)的冲击试验,试样一般不开缺口,因为开缺口的试样冲击值过低,难以比较不同材料冲击性能的差异。

冲击值的大小与很多因素有关。它不仅受试样形状、表面粗糙度、内部组织的影响,还与试验时的环境温度有关。因此,冲击值一般作为选择材料的参考,不直接用于强度计算。

必须注意:承受冲击载荷的机械零件,很少是在大能量下一次冲击而破坏的,如连杆、曲轴、齿轮等。因此,在大能量、一次冲断的条件下来测定冲击韧度,虽然方法简单,但对大多数在工作中承受小能量、重复冲击的机械零件不一定合适。试验研究表明:在冲击力不太大的情况下,金属材料承受多次重复冲击的能力主要取决于强度,而不是冲击韧度。例如,用球墨铸铁制造的曲轴,只要强度足够,其冲击韧度达到  $8 \sim 15 \text{ J/cm}^2$  时,其使用性能就能够得到满足。

冲击值对组织缺陷很敏感,它能反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织等方面的变化。因此,冲击试验是生产上用来检验冶炼、热加工和热处理等工艺质量的有效方法。

### 1.1.5 疲劳极限

许多机械零件,如曲轴、齿轮、连杆、弹簧等是在周期性或非周期性动载荷(称为疲劳载荷)的作用下工作的。这些承受疲劳载荷的机械零件发生断裂时,其应力值往往低于该材料的强度极限,这种断裂称为疲劳断裂。

金属材料所承受的疲劳应力  $\sigma$  与其断裂前的应力循环次数  $N$  具有如图 1-4 所示的疲劳曲线关系。当应力下降到某值之后, 疲劳曲线成为水平线, 这表示该材料可经受无数次应力循环而不发生疲劳断裂, 这个应力值称为疲劳极限或疲劳强度, 也就是金属材料在无数次循环载荷作用下不至于引起断裂的最大应力, 当应力按正弦曲线对称循环时, 疲劳强度以符号  $\sigma_{-1}$  表示。

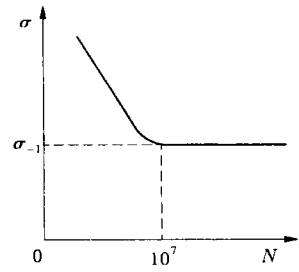


图 1-4 疲劳曲线示意图

由于实际测试时不可能做到无数次应力循环, 故规定各种金属材料应有一定的应力循环基数。如钢材以

$10^7$  为基数, 即钢材的应力循环次数达到  $10^7$  仍不发生疲劳断裂, 就认为不会发生疲劳断裂了。对于非铁合金和某些超高强度钢, 则常取  $10^8$  为基数。

产生疲劳断裂的原因: 一般认为是由于材料含有杂质、表面有划痕及其他能引起应力集中的缺陷, 导致产生微裂纹。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展, 致使机械零件有效截面逐步缩减, 直至不能承受载荷而突然断裂。

统计表明, 在失效的机械零件中, 大约 80% 以上属于疲劳破坏。为了提高机械零件的疲劳强度, 除应改善其结构形状、减少应力集中外, 还可采取表面强化的方法, 如提高机械零件的表面质量, 采用喷丸处理、表面热处理等。同时, 应控制材料的内部质量, 避免气孔、夹杂等缺陷。

## 1.2 金属材料的物理性能和化学性能

### 1.2.1 金属材料的物理性能

金属材料固有的一些属性称为物理性能, 主要包括密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性和磁性等。

#### 1.2.1.1 密度

密度是指金属材料单位体积的质量, 单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

在机械制造中, 一般将密度小于  $5 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$  的金属称为轻金属(如 Al、Sn 等); 密度大于  $5 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$  的金属称为重金属(如 Fe、Pb 等)。

在实际工作中, 常用密度计算大型零件的质量。某些机械零件在选材时, 必须考虑金属的密度, 如发动机中要求质轻、运动时惯性小的活塞, 通常采用密度小的铝合金制成。在航空工业领域中, 密度更是选用材料所考虑的关键性能指标之一。

#### 1.2.1.2 熔点

金属由固态转变为液态时的温度称为熔点。大多数金属都有固定的熔点, 一般以  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  为分水岭, 将金属分为易熔金属(如 Sn、Pb、Zn 等)和难熔金属(如 W、Mo、V 等)。

熔点是制定热加工工艺规程的重要依据之一。常用易熔金属制造熔断器、防火安全阀等零件; 难熔金属可制造耐高温零件, 在航空、航天领域中有着广泛的应用。

### 1.2.1.3 导电性

金属能够传导电流的性能称为导电性。材料的导电性一般用电阻率来表示,电阻率越小,导电性就越好。金属材料一般具有良好的导电性,Ag的导电性最好,Cu、Al次之。

材料的导电性随合金成分的复杂化而降低,因而纯金属导电性总是比合金好。为此,工业上常用纯铜、纯铝作为导电材料;而用电阻大的铜合金作为电阻材料。

### 1.2.1.4 导热性

材料的导热性用热导率来表示。材料的热导率越大,说明导热性越好。一般来说,金属纯度越高,其导热能力越强,金属的导热能力以Ag为最好,Cu、Al次之。

导热性好的金属散热性能也好,在制造散热器、热交换器等零件时,就要注意选用导热性好的金属。

### 1.2.1.5 热膨胀性

对精密仪器或机械零件,热膨胀性是一个非常重要的性能指标。当不同金属材料之间进行焊接时,常因金属材料的热膨胀性相差过大使得焊件产生变形或破坏,从而不能保证产品质量。

热膨胀的大小,通常用线胀系数或体胀系数来表示。线胀系数的计算公式如下:

$$\alpha_L = \frac{L_2 - L_1}{L_1 t} \quad (1/\text{°C}) \quad (1-8)$$

式中  $L_1$ ——膨胀前长度,mm;

$L_2$ ——膨胀后长度,mm;

$t$ ——膨胀前后温度差,°C;

$\alpha_L$ ——材料线胀系数,1/°C。

**【例 1-1】** 有一车工,车削一根长 1 000 mm 的黄铜棒,车削时黄铜棒温度由 10 °C 升高到 30 °C,求这时黄铜棒的长度为多少(黄铜线胀系数为 0.000 017 8 1/°C)?

**解** 将  $\alpha_L = 0.000\ 017\ 8\ 1/\text{°C}$ ,  $L_1 = 1\ 000\ \text{mm}$ ,  $t = 30\ \text{°C} - 10\ \text{°C} = 20\ \text{°C}$ ,代入公式:

$$\alpha_L = \frac{L_2 - L_1}{L_1 t} \quad (1/\text{°C})$$

得  $L_2 = 0.000\ 017\ 8 \times 20 \times 1\ 000 + 1\ 000 = 1\ 000.356(\text{mm})$

因此,这时黄铜棒的长度为 1 000.356 mm。

在例 1-1 中,由于车床夹头和顶针间的距离一般是固定的,在这种情况下,工件(特别是细长轴)往往因膨胀而发生弯曲。所以,在加工细长轴时,常常采用弹性顶针,或在工件车削时注意工件的充分冷却。

### 1.2.1.6 磁性

材料能够导磁的性能称为磁性。磁性材料又分为软磁性材料(如电工用纯铁、硅钢片等)和硬磁性材料(如淬火的钴钢、稀土钴等)。许多金属(如 Fe、Ni、Co 等)都具有较高的磁性,也有许多金属(如 Al、Cu、Pb 等)是无磁性的。

常用金属材料的物理性能见表 1-1。

## 1.2.2 金属材料的化学性能

金属材料的化学性能是指金属与周围介质接触时抵抗发生化学反应或电化学反应的性能。

表 1-1 常用金属材料的物理性能

金属名称	符号	密度 $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) $\times 10^3$	熔点 ( $^{\circ}\text{C}$ )	热导率 $\lambda$ ( $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ )	线胀系数 $\alpha_L$ ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	电阻率 $\rho$ ( $10^{-6}\Omega \cdot \text{m}$ )	电导率 (%)
银	Ag	10.49	960.8	418.6	19.7	1.5	100
铝	Al	2.6984	660.1	221.9	23.6	2.655	60
铜	Cu	8.96	1083	393.5	17.0	1.68	95
铬	Cr	7.19	1903	67	6.2	12.9	12
铁	Fe	7.87	1538	75.4	11.76	9.7	16
镁	Mg	1.74	650	153.7	24.3	4.47	36
锰	Mn	7.43	1244	4.98	37	185	0.9
镍	Ni	8.90	1453	92.1	13.4	6.84	23
钛	Ti	4.508	1677	15.1	8.2	44.5	3.4
锡	Sn	7.298	231.91	62.8	2.3	11.5	14
钨	W	19.3	3380	166.2	4.6	5.1	29

### 1.2.2.1 耐腐蚀性

耐腐蚀性是指金属材料在常温下抵抗周围各种介质侵蚀的能力,常用的耐腐蚀性材料有不锈钢、塑料、陶瓷、钛及其合金等。

根据金属腐蚀过程的不同,金属腐蚀又分为化学腐蚀和电化学腐蚀两类。金属材料的腐蚀绝大多数是由电化学腐蚀引起的,电化学腐蚀比化学腐蚀快得多,危害性也更大。

### 1.2.2.2 抗氧化性

抗氧化性是指金属材料在高温下抵抗产生氧化皮的能力。常用的抗氧化性材料有耐热钢、铬镍合金、铁铬合金等。工业用的锅炉、加热设备、汽轮机、喷气发动机等,有许多零件在高温下工作,要求制造这些零件的材料具有良好的抗氧化性。

据统计,全世界每年钢铁因锈蚀损耗的数量占年产量的 1/10 左右。因此,采取必要的措施提高金属材料的耐腐蚀性是十分必要的。目前,工程上经常采用的防腐蚀方法主要有以下几种:

- (1) 选择合理的防腐蚀材料;
- (2) 采用覆盖法防腐蚀;
- (3) 改善腐蚀环境;
- (4) 采用电化学保护法。

## 1.3 金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是指材料在各种加工条件下成形的能力,如铸造性能、焊接性能、锻造性能、切削加工性能、冲压性能和热处理工艺性等。材料的工艺性能好坏,决定着其加工成形的难易程度,直接影响所制造零件的工艺方法、质量和制造成本。

### 1.3.1 铸造性能

铸造性能是指金属液体浇铸铸件时,金属易于成形并获得优质铸件的性能,包括流动性、收缩性和偏析现象等。含碳量高的铸铁和青铜的铸造性能较好。

### 1.3.2 焊接性能

焊接性能是指材料焊接时其工艺方法的难易程度及接口处是否能满足使用目的的特性。焊接性能的好坏一般用焊接处出现各类缺陷的倾向来评定。含碳量高的铸铁和铝合金的焊接性较差。含碳量小于0.25%的低碳钢的焊接性较好。

### 1.3.3 锻造性能

锻造性能是指金属材料在锻压加工中能承受塑性变形而不破裂的能力。含碳量越高,锻造性越差。低碳钢锻造性较好,合金钢锻造性较差。

### 1.3.4 切削加工性能

切削加工性能是指材料被切削加工成合格零件的难易程度。好的切削加工性能体现在:刀具耐用度较高;切削力较小,切削温度较低;容易获得良好的表面加工质量;容易控制切屑的形状或容易断屑等。含碳量太高,切削性差;含碳量太低,切削性也差。

### 1.3.5 冲压性能

冲压性能是指金属材料承受冲压变形加工而不破裂的能力。含碳量越高,冲压性能越差,而铸铁不能进行压力加工。

### 1.3.6 热处理工艺性

热处理工艺性是指材料被热处理时达到性能要求的难易程度,包括淬硬性、淬透性、变形开裂倾向、过热敏感性、回火脆性倾向、氧化脱碳倾向等。淬硬性是指钢淬火时获得高硬度的能力。含碳量越高,钢的淬硬性越好。淬透性是指钢获得淬透层深度的能力,与合金元素有关。

## 1.4 金属材料的经济性能

金属材料的经济性能是指在满足使用性能的前提下,尽量选用价格比较便宜的零件材料,注意降低零件的总成本。金属材料的经济性能主要从以下两个方面考虑。

### 1.4.1 材料本身价格

据有关资料统计,在一般的工业部门中,材料的直接成本通常占产品价格的30%~70%。



## 1.4.2 材料加工费用

碳钢的加工性能好于合金钢,有色金属的加工性能好于黑色金属,塑料类非金属材料的加工性能好于金属材料。

材料加工费用应从以下几个方面考虑:成形方法,在满足零件性能要求的前提下,能铸代锻,能焊代锻;优化机械加工工艺路线;改善企业现有生产条件等。

在金属材料中,钢铁材料因其优良的性能、良好的经济性、资源的可获取性以及应用领域的广泛性,成为国民经济建设极其重要的基础和支柱材料。因此,在满足零件机械性能的前提下优先选用碳钢和铸铁,不仅具有较好的加工工艺性,而且可以降低成本。

低合金钢由于强度比碳钢高,总的经济效益比较显著,近几年有扩大使用的趋势。此外,所选钢铁中应尽量少而集中,以便采购和管理。

## 1.5 拓展提高——布洛维硬度计

### 1.5.1 洛氏硬度、布氏硬度的区别和换算

硬度是衡量材料软硬程度的一个性能指标。硬度试验的方法较多,原理也不相同,测得的硬度值和含义也不完全一样。最普通的是静负荷压入法硬度试验,即布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRA、HRB、HRC)、维氏硬度(HV)等,硬度值表示材料表面抵抗坚硬物体压入的能力。

#### 1.5.1.1 钢材的硬度

金属硬度(Hardness)的代号为H。按硬度试验方法的不同,常规表示有布氏、洛氏、维氏等,其中以HB及HRC较为常用。HB应用范围较广,HRC适用于表面高硬度材料,如热处理硬度等。两者区别在于硬度计的压头不同,布氏硬度计的压头为钢球,而洛氏硬度计的压头为金刚石。维氏硬度以120 kg以内的载荷和顶角为 $136^\circ$ 的金刚石方形锥压入材料表面,用材料压痕凹坑的表面积除以载荷值,即为维氏硬度值,HV适用于显微镜分析。

#### 1.5.1.2 布氏硬度

布氏硬度一般用于较软的材料,如有色金属、热处理之前或退火后的钢铁。洛氏硬度一般用于硬度较高的材料,如热处理后的硬度等。布氏硬度是以一定大小的试验载荷,将一定直径的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属表面,保持规定时间,然后卸荷,测量被测表面压痕直径,布氏硬度值是载荷除以压痕球形表面积所得的商。

#### 1.5.1.3 洛氏硬度

洛氏硬度是以压痕塑性变形深度来确定硬度值的。当HB > 450 或者试样过小时,不能采用布氏硬度试验而改用洛氏硬度计量。它是用一个顶角为 $120^\circ$ 的金刚石圆锥体或直径为1.58 mm的钢球,在一定载荷下压入被测材料表面,由压痕的深度求出材料的硬度,以0.002 mm作为一个硬度单位。根据试验材料硬度的不同,分以下三种不同的标度来表示: