



# Engineering Training

# 工程训练

◎ 主编 杨家富 陈美宏



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

# 工程训练

主 编 杨家富 陈美宏  
副主编 张洪武 华 晋  
参 编 金慧萍 谢 媃



 东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

## 内 容 摘 要

本书是作者根据教育部颁布的“机械制造实习课程教学基本要求”和“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”，结合多年实训教学经验并吸取兄弟院校的成功实训经验编写而成。全书共分为11章，内容包括绪论，铸造，压力加工，焊接，车削、铣削、刨削、磨削加工，钳工，数控加工，特种加工，快速成型制造技术，柔性制造系统等。

本书是高等院校机械类、近机械类本专科工程训练的实训教材，对于非机械类专业，可根据专业特点和教学条件，有针对性地选择其中的实训内容组织教学，本书还可作为有关工程技术人员和技工的自学参考书。

工 程 训 练

### 图书在版编目(CIP)数据

工程训练 / 杨家富, 陈美宏主编. —南京: 东南大学出版社, 2019. 1

ISBN 978-7-5641-7899-4

I. ①工… II. ①杨… ②陈… III. ①机械制造工艺 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 171879 号

### 工程训练

出版发行 东南大学出版社  
出版人 江建中  
社 址 南京市四牌楼2号  
邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店  
印 刷 南京玉河印刷厂  
开 本 787 mm×1092 mm 1/16  
印 张 20  
字 数 435 千字  
版 次 2019年1月第1版  
印 次 2019年1月第1次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5641-7899-4  
定 价 42.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

# 前 言

改革开放以来,我国制造业发展迅速,到2010年制造业产值在全球占比已超过美国,成为制造业第一大国,但即使这样,我国还不是制造业强国,问题和挑战都还不同程度的存在。当前,“新材料、新科技、新设备、新工艺”的出现比以往任何时候都更加迅速,因此对于工程训练也提出了新的要求:不仅需要包括传统金工实习所涉及的传统机械制造方面的各种加工工艺技术,还需要包括数控加工、特种加工、柔性制造、快速成型制造等现代加工技术,同时也需要包括工业安全等方面的实训内容。本书就是在这样的指导思想下编写的。

本书在编写过程中力求突出重点、立足基础、拓展能力,做到基本概念清晰、重点突出、加强现代技工技术,从培养学生工程意识、工程实践能力和创新能力的角度出发,按照新的课程体系组织教学内容。力求做到图文并茂,深入浅出,较好地体现适用性、可训练性和时代先进性。

参加本书编写工作的有:南京林业大学杨家富(第八章)、陈美宏(第十、十一章)、华晋(第六章)、金慧萍(第一、三章)、谢媿(第二、四章),南京交通职业技术学院张洪武(第五、七、九章)。本书由杨家富、陈美宏、张洪武、华晋任主编。

本书的实用性较强,既可作为高等理工院校本科生进行工程训练的教材,也可作为高职高专的实训教材。此外,对从事相关领域工作的教师、工程技术人员也有一定的参考作用。

本书编写过程中参考了兄弟院校优秀教材的部分内容,所参考书目均已附于书后,在此表示衷心的感谢!

由于编写人员理论水平和教学经验有限,书中难免有欠妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2018年3月

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
1.1 金属材料的性能 .....	1
1.1.1 力学性能 .....	1
1.1.2 物理性能 .....	5
1.1.3 化学性能 .....	6
1.1.4 工艺性能 .....	6
1.2 铁碳合金 .....	6
1.2.1 金属的晶体结构 .....	6
1.2.2 合金的晶体结构 .....	7
1.2.3 铁碳合金的基本组织 .....	8
1.2.4 铁碳合金状态图 .....	9
1.3 金属热处理 .....	12
1.3.1 钢的退火与正火 .....	13
1.3.2 淬火 .....	15
1.3.3 回火 .....	17
1.3.4 钢的表面热处理 .....	17
1.4 常用金属材料简介 .....	19
1.4.1 碳素钢 .....	19
1.4.2 合金钢 .....	20
1.4.3 铸铁 .....	21
1.4.4 铜及铜合金 .....	22
1.4.5 铝及铝合金 .....	23
1.4.6 钢铁材料的现场鉴别 .....	23
思考题 .....	26
第二章 铸 造 .....	27
2.1 知识点及安全要求 .....	27
2.1.1 知识点 .....	27
2.1.2 安全要求 .....	27
2.2 概论 .....	27
2.3 铸造的分类 .....	28

2.4 砂型铸造 .....	28
2.4.1 造型材料 .....	29
2.4.2 造型、造芯工艺 .....	29
2.4.3 砂型铸造工艺设计 .....	36
2.4.4 金属熔炼和浇注 .....	39
2.5 特种铸造 .....	40
2.5.1 熔模铸造 .....	41
2.5.2 金属型铸造 .....	42
2.5.3 压力铸造 .....	42
2.5.4 实型铸造 .....	42
2.6 缺陷 .....	43
2.6.1 缺陷检验 .....	43
2.6.2 缺陷诊断 .....	43
2.6.3 缺陷修补 .....	44
思考题 .....	45
第三章 压力加工 .....	46
3.1 知识点及安全要求 .....	46
3.1.1 知识点 .....	46
3.1.2 安全要求 .....	46
3.2 概述 .....	47
3.2.1 压力加工方法及特点 .....	47
3.2.2 金属的塑性变形 .....	48
3.2.3 金属的锻造性能 .....	50
3.3 锻造方法 .....	50
3.3.1 自由锻 .....	51
3.3.2 胎膜锻 .....	57
3.3.3 模锻 .....	58
3.4 板料冲压及其他压力加工方法 .....	61
3.4.1 冲压设备和冲模 .....	61
3.4.2 冲压基本工序 .....	64
3.4.3 特种压力加工方法简介 .....	66
3.5 锻压件的质量检验与缺陷分析 .....	69
3.5.1 锻压件的质量检验 .....	69
3.5.2 锻件缺陷分析 .....	69
思考题 .....	71

第四章 焊接 .....	72
4.1 知识点及安全要求 .....	72
4.1.1 知识点 .....	72
4.1.2 安全要求 .....	72
4.2 概述 .....	72
4.3 熔化焊 .....	73
4.3.1 焊条电弧焊 .....	73
4.3.2 气焊 .....	76
4.3.3 气割 .....	78
4.3.4 气体保护焊 .....	79
4.3.5 电渣焊、电子束焊、激光焊 .....	80
4.4 压力焊 .....	80
4.4.1 电阻焊 .....	80
4.4.2 摩擦焊 .....	81
4.4.3 超声波焊、爆炸焊、磁力脉冲焊 .....	82
4.5 钎焊 .....	82
4.6 焊接的质量检验与缺陷分析 .....	83
4.6.1 焊接接头的质量检验 .....	83
4.6.2 焊接缺陷分析 .....	83
4.6.3 应力与变形 .....	84
思考题 .....	84
第五章 车削 .....	85
5.1 知识点及安全要求 .....	85
5.1.1 知识点 .....	85
5.1.2 安全要求 .....	85
5.2 概述 .....	85
5.3 普通车床 .....	86
5.3.1 车床的型号 .....	86
5.3.2 车床的组成 .....	86
5.3.3 C6132 车床的传动系统 .....	88
5.3.4 其他车床 .....	90
5.4 车削基础 .....	91
5.4.1 切削用量 .....	91
5.4.2 车刀及其安装 .....	93
5.4.3 工件的装夹 .....	98

5.5	基本车削工作 .....	105
5.5.1	基本车削加工 .....	105
5.5.2	孔加工 .....	111
5.5.3	螺纹加工 .....	113
5.5.4	成形面的加工 .....	116
5.5.5	车床加工的其他形式 .....	119
5.6	车削的质量检验 .....	120
	思考题 .....	122
第六章	铣削、刨削、磨削加工 .....	123
6.1	知识点及安全要求 .....	123
6.1.1	知识点 .....	123
6.1.2	安全要求 .....	123
6.2	概述 .....	123
6.3	铣削加工 .....	124
6.3.1	铣削的加工范围及特点 .....	124
6.3.2	铣削加工与铣削工艺 .....	125
6.3.3	铣床 .....	125
6.4	刨削加工 .....	136
6.4.1	牛头刨床 .....	137
6.4.2	刨削运动与刨削用量 .....	138
6.4.3	牛头刨床的传动系统和调整方法 .....	138
6.4.4	刨刀的结构特点及装夹方法 .....	141
6.4.5	工件在平口钳上的装夹及校正方法 .....	142
6.4.6	刨削各种表面 .....	143
6.4.7	牛头刨床加工 V 形槽、燕尾槽 .....	144
6.4.8	龙门刨床和插床 .....	144
6.5	磨削加工 .....	146
6.5.1	磨削运动和磨削要素 .....	146
6.5.2	砂轮的选用 .....	147
6.5.3	外圆磨床及其磨削加工 .....	148
6.5.4	平面磨削与内圆磨削 .....	149
6.5.5	外圆磨削方法 .....	152
6.5.6	精密加工方法及现代磨削技术的发展 .....	153
	思考题 .....	154

第七章 钳工 .....	155
7.1 知识点及安全要求 .....	155
7.1.1 知识点 .....	155
7.1.2 安全要求 .....	155
7.2 概述 .....	155
7.3 基本操作方法 .....	156
7.3.1 划线 .....	156
7.3.2 锯削 .....	162
7.3.3 锉削 .....	166
7.3.4 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔 .....	170
7.3.5 攻螺纹与套螺纹 .....	176
7.3.6 刮削与研磨 .....	178
7.3.7 钳工加工工艺 .....	182
7.4 装配 .....	183
7.4.1 装配工艺过程 .....	184
7.4.2 装配方法 .....	184
7.4.3 装配工作要点 .....	185
思考题 .....	185
第八章 数控加工 .....	186
8.1 知识点和安全要求 .....	186
8.1.1 知识点 .....	186
8.1.2 安全要求 .....	186
8.2 数控技术概述 .....	186
8.3 数控程序结构和指令 .....	190
8.3.1 数控程序的组成 .....	190
8.3.2 数控程序段格式 .....	191
8.4 数控车削加工 .....	195
8.4.1 数控车削的一般步骤 .....	195
8.4.2 数控车削编程特点 .....	196
8.4.3 车削数控系统的功能 .....	197
8.4.4 例题 .....	206
8.5 数控铣削加工 .....	207
8.5.1 数控铣床的分类和组成 .....	207
8.5.2 常用铣削指令 .....	208
8.5.3 数控铣床说明 .....	217

8.5.4 例题 .....	223
思考题 .....	225
<b>第九章 特种加工 .....</b>	<b>227</b>
9.1 知识点及安全要求 .....	227
9.1.1 知识点 .....	227
9.1.2 安全要求 .....	227
9.2 电火花及线切割 .....	227
9.2.1 电火花加工的原理 .....	228
9.2.2 电火花加工的特点 .....	229
9.2.3 电火花加工的分类 .....	229
9.2.4 电火花加工的应用 .....	230
9.2.5 电火花线切割的原理 .....	232
9.2.6 电火花线切割的特点 .....	233
9.2.7 电火花线切割机床的组成 .....	233
9.2.8 电火花线切割的编程方法和实例 .....	234
9.3 激光加工 .....	238
9.3.1 激光加工的原理 .....	238
9.3.2 激光加工的特点和应用 .....	240
9.4 电解加工及电解磨削 .....	242
9.4.1 电解加工的原理 .....	243
9.4.2 电解加工的优缺点 .....	243
9.4.3 电解加工的应用 .....	243
9.4.4 电解磨削 .....	245
9.5 超声波 .....	247
9.5.1 超声加工的基本原理 .....	248
9.5.2 超声波加工的原理和特点 .....	248
9.5.3 超声波加工工艺及应用 .....	249
思考题 .....	251
<b>第十章 快速成型制造技术 .....</b>	<b>253</b>
10.1 知识点及安全要求 .....	253
10.1.1 知识点 .....	253
10.1.2 安全要求 .....	253
10.2 快速成型的工艺种类 .....	253
10.2.1 光固化成型工艺 .....	254

10.2.2 叠层实体制造工艺 .....	260
10.2.3 选择性激光烧结工艺 .....	264
10.2.4 熔融沉积制造工艺 .....	271
10.3 快速成型的软件系统 .....	274
10.3.1 数据格式 .....	275
10.3.2 数据检验与处理软件 .....	280
10.4 快速成型制造训练 .....	282
10.4.1 实训目的 .....	282
10.4.2 实训要求 .....	282
10.4.3 实训设备及器材 .....	282
10.4.4 实训步骤 .....	282
思考题 .....	289
<b>第十一章 柔性制造系统 .....</b>	<b>290</b>
11.1 知识点及安全要求 .....	290
11.1.1 知识点 .....	290
11.1.2 安全要求 .....	290
11.2 概述 .....	290
11.2.1 FMS 的定义 .....	290
11.2.2 FMS 的形成与特点 .....	292
11.2.3 FMS 的组成 .....	293
11.3 柔性制造系统的类型及其装备 .....	294
11.3.1 FMS 的分类 .....	294
11.3.2 柔性制造单元(FMC) .....	296
11.3.3 柔性制造系统(FMS) .....	297
11.3.4 柔性制造生产线(FML) .....	298
11.3.5 柔性制造工厂(FMF) .....	299
11.4 柔性制造系统的控制系统 .....	300
11.4.1 FMS 控制系统的功能及要求 .....	300
11.4.2 FMS 控制系统的结构 .....	301
11.4.3 FMS 控制系统中的计算机网络技术与通信 .....	301
11.4.4 Petri 网及其在 FMS 中的应用 .....	304
思考题 .....	305
<b>主要参考书籍 .....</b>	<b>306</b>

# 第一章 绪 论

## 1.1 金属材料的性能

金属材料的性能是指用来表征材料在给定外界条件下的行为参量,当外界条件发生变化时,同一种材料的某些性能也随之发生变化。通常金属材料的性能包含工艺性能和使用性能两个方面。工艺性能是指材料在各种加工过程中表现出来的性能,包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。工艺性能在以后有关章节中分别讨论,使用性能是材料在使用过程中表现出来的性能,主要有力学性能、物理性能、化学性能、工艺性能等。

### 1.1.1 力学性能

金属材料在加工和使用过程中需要承受不同外力的作用,当外力达到或超过某一定程度时,材料就会发生变形,以至断裂。材料在外力作用下所表现的一些性能如强度、硬度、弹性、塑性、韧性等称为材料的力学性能。

#### 1) 强度

强度指金属材料在达到允许的变形程度或断裂前单位面积上所能承受的最大应力,用 $\sigma$ 表示,以低碳钢拉伸试验为例:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1-1)$$

式中: $F$ ——作用力(N);

$S_0$ ——试样原始截面积( $\text{m}^2$ )。

强度包括弹性极限、屈服点、抗拉强度、疲劳极限、蠕变极限等。按外力作用的方式不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。工程上常用来表示金属材料强度的指标有屈服点和抗拉强度等。

金属材料的屈服点和抗拉强度通过拉伸试验测定。进行拉伸试验时,预先将金属材料按规定加工成一定形状和尺寸的标准试样,常用的试样断面为圆形,称为圆形拉伸试样,如图1-1所示。把它装夹在拉力试验机的两个夹头上,缓慢对试样施加载荷,使试样受轴向拉力。随着拉力的增加,试样逐渐变形伸长,直至拉断为止。在拉伸过程中,拉力试验机自动记录了每一瞬间的载荷 $P$ 和变形(伸长量) $\Delta L$ ,得到力与伸长量关系曲线,通常称为拉伸曲线。退火低碳钢的拉伸曲线最具代表性,如图1-2所示,此曲线明确地反映出下面几个变形阶段。

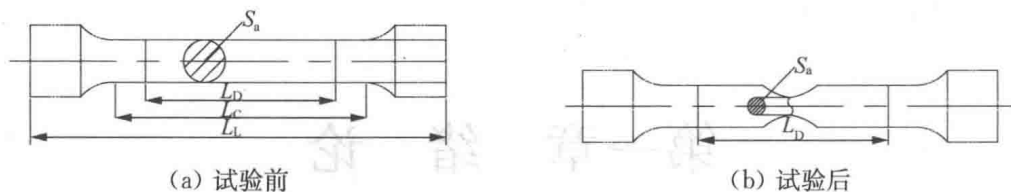


图 1-1 拉伸试样

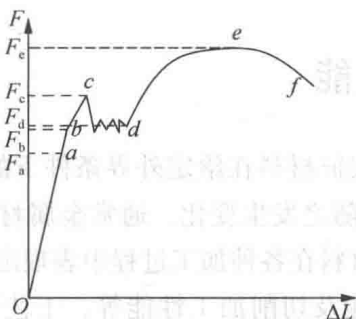


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

(1) 比例变形阶段( $Oa$ 段):当外力不超过  $F_a$  时,拉伸曲线为直线,外力与变形成正比,试样处于弹性变形阶段,外力去除后,变形将完全消失,试样将恢复到原来的长度。

(2) 弹性变形阶段( $ab$ 段):拉伸力在  $F_a$  和  $F_b$  之间时,试样的伸长量与拉伸力已不再成正比关系,试样仍处于弹性变形阶段。 $F_b$  为试样产生弹性变形所承受的最大拉伸力。

(3) 微塑性变形阶段( $bc$ 段):此阶段试样开始了塑性变形,此时塑性变形是按比例变化。

(4) 屈服塑性变形阶段( $cd$ 段):此阶段试样的伸长量不再成比例地增加,卸载后试样也不能完全恢复到原来的形状和尺寸。此时试样除弹性变形外,还产生了塑性变形。拉力增加至  $F_d$  后,外力不再增加而试样继续伸长,这种现象称为“屈服”, $F_d$  称为“屈服载荷”。

(5) 应变硬化阶段( $de$ 段):拉伸力超过  $F_d$  后,试样开始产生明显而均匀的塑性变形,随着塑性变形的增加,试样变形抗力也逐渐增加,这种现象称为形变强化。 $F_e$  为试样拉伸试验的最大载荷。

(6) 缩颈阶段( $ef$ 段):拉伸力达到最大值  $F_e$  后,试样局部直径开始急剧缩小,出现“缩颈”现象,试样变形所需的拉伸力也随之降低, $f$  点时试样断裂。

根据拉伸曲线可以求得材料的强度指标,常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度:屈服强度指试样在拉伸试验过程中拉伸力不增加,试样仍能继续伸长的最小应力值,用  $\sigma_s$  表示:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} (\text{MPa}) \quad (1-2)$$

式中: $F_s$ ——试样屈服时的拉伸力(N);

$S_0$ ——试样原始截面积( $\text{mm}^2$ )。

当金属材料呈现屈服现象时,在试验期间达到发生塑性变形而力不增加的应力点,可分为上屈服强度和下屈服强度:上屈服强度,试样发生屈服而力首次下降前的最大应力;下屈

服强度,在屈服期间,不计初始瞬时效应时的最小应力。

(2) 抗拉强度:材料能承受最大载荷时的应力,用  $\sigma_b$  表示:

$$\sigma_b = \frac{F_e}{S_0} \text{ (MPa)} \quad (1-3)$$

式中:  $F_e$ ——试样承受的最大拉伸力(N);

$S_0$ ——试样原始截面积( $\text{mm}^2$ )。

### 2) 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力,评定材料塑性的指标有断后伸长率和断面收缩率。

(1) 断后伸长率:试样拉断后,标距伸长量与原始标距的百分比,用  $\delta$  表示:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中:  $l_1$ ——试样拉断后的标距长度(mm);

$l_0$ ——试样原始的标距长度(mm)。

(2) 断面收缩率:试样拉断后,截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用  $\psi$  表示:

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中:  $S_0$ ——试样的原始截面积( $\text{mm}^2$ );

$S_1$ ——试样断裂处的最小截面积( $\text{mm}^2$ )。

### 3) 硬度

硬度是材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力,是衡量材料软硬度的力学性能指标,工业生产中常采用布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等几种硬度试样方法。

(1) 布氏硬度

如图 1-3 所示,布氏硬度试验方法是把规定直径  $D$  的淬火钢球或硬质合金球以一定的试验力  $F$  压入所测材料表面,保持规定时间后,测量表面压痕直径  $d$ ,用压痕单位面积上所承受的载荷再乘以一常数后即得到布氏硬度值。

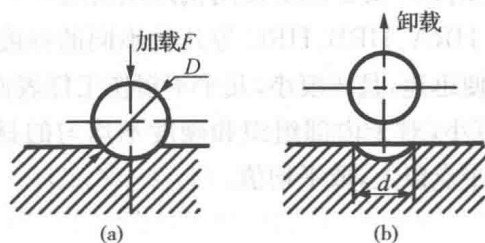


图 1-3 布氏硬度试验原理

布氏硬度值的计算公式如下:

$$HBW = \frac{F}{S} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1-6)$$

式中:  $HBW$ ——布氏硬度符号;

$F$ ——试验压力(N);

$S$ ——球面压痕表面积( $\text{mm}^2$ );

$D$ ——球体直径(mm);

$d$ ——压痕平均直径(mm)。

在实际应用中,布氏硬度值无需计算,根据压痕平均直径查布氏硬度表即可得到相应的布氏硬度值。目前,布氏硬度主要用于铸铁、非铁金属以及经退火、正火和调质处理的钢材。

### (2) 洛氏硬度

洛氏硬度试验方法是用一定的载荷将直径为 1.588 mm 的淬火钢球或顶角为  $120^\circ$  金刚石圆锥体压入试件表面,根据压痕深度  $h$  计算洛氏硬度值,并可由刻度盘上的指针直接指出硬度值,实验原理见图 1-4。

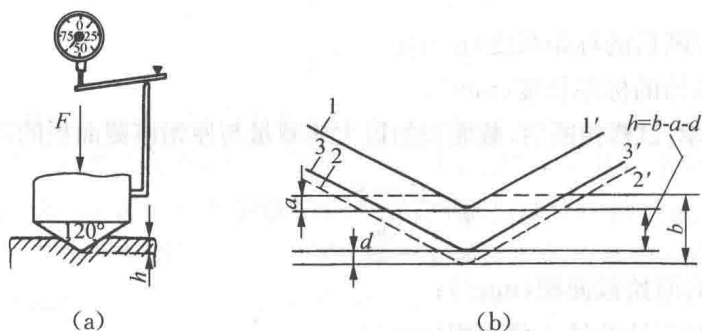


图 1-4 洛氏硬度实验原理

金属越硬, $h$  值越小,为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念,人为规定用一常数  $k$  减去压痕深度  $h$  作为硬度值,并规定每 0.002 mm 为一个洛氏硬度单位,由此获得洛氏硬度值,用符号  $HR$  表示:

$$HR = \frac{k-h}{0.002} \quad (1-7)$$

当使用金刚石圆锥压头时, $k=0.2$  mm;使用钢球压头时, $k=0.26$  mm。根据不同的压头和载荷相配合,可以组成 HRA、HRB、HRC 等几种不同的标度。洛氏硬度 HRC 可以用于硬度很高的材料,操作简便迅速,且压痕小,几乎不损伤工件表面,故在钢件热处理质量检查中应用最多。但由于压痕小,对于内部组织和硬度不均匀的材料,所得的硬度值不够准确,一般同一试件应测试三个点以上,取平均值。

### (3) 维氏硬度

为了更准确测量金属零件的表面硬度或测量硬度很高的零件,常采用维氏硬度,维氏硬度试验原理与布氏硬度相似,如图 1-5 所示。把用一定的载荷  $F$  将一个顶角为  $136^\circ$  的金刚石正四棱锥体压入试件表面,保持一定时间后卸除载荷,然后测量压痕两对角线的平均长度  $d$ ,计算出压痕的表面积  $S$ ,最后求出压痕表面积上的平均压力,作为被测金属的维氏硬度。维氏硬度用符号  $HV$  表示,计算公式如下:

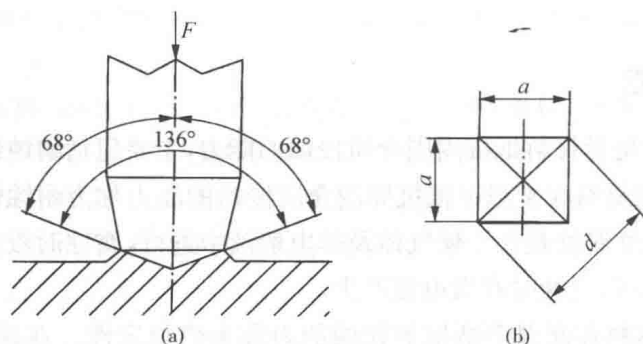


图 1-5 维氏硬度试验原理

$$HV = \frac{F}{S} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1-8)$$

式中:  $F$ ——试验力(N);

$d$ ——压痕两对角线长度算术平均数(mm)。

维氏硬度在试验时所加载荷小,压入深度浅,适用于测试零件表面淬硬层及化学热处理的表面层。但是其操作慢,且对试件表面质量要求较高,不适用于成批生产的常规检验。

### 1.1.2 物理性能

金属材料的物理性能是指在重力、电磁场、热力(温度)等物理因素作用下,材料所表现的性能或固有属性,金属材料的物理性能有:密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性、磁性等。

(1) 密度:同一温度下单位体积物质的质量称为密度,与水密度之比叫相对密度。根据相对密度的大小,可将金属分为轻金属(相对密度小于4.5)和重金属(相对密度大于4.5)。Al、Mg等及其合金属于轻金属;Cu、Fe、Pb、Zn、Sn等及其合金属于重金属。常用的金属材料的相对密度差别很大,如铜为8.9、铁为7.8、钛为4.5、铝为2.7等。在非金属材料中,陶瓷的密度较大,塑料的密度较小,常用的聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等塑料的相对密度为0.9~1.1。

(2) 熔点:材料在缓慢加热时由固态转变为液态并有一定潜热吸收或放出时的转变温度,称为熔点。熔点低的金属(如Pb、Sn等)可以用来制造钎焊的钎料、熔体(保险丝)和铅字等;熔点高的金属(如Fe、Ni、Cr、Mo等)可以用来制造高温零件,如加热炉构件、电热元件、喷气机叶片以及火箭、导弹中的耐高温零件。

(3) 导电性:材料传导电流的能力称为导电性,以电导率 $\gamma$ (单位S/m)表示。纯金属中银的导电性最好,其次是铜、铝。工程中为减少电能损耗常采用纯铜或纯铝作为输电导体;采用导电性差的材料(如Fe—Cr、Ni—C、Fe—Cr—Al等合金、碳硅棒等)作为加热元件。

(4) 导热性:材料传导热量的能力称为导热性,用热导率 $\lambda$ [单位W/(m·K)]表示。热导率越大,导热性越好,纯金属的导热性比合金好,银、铜的导热性最好,铝次之。非金属中,碳(金刚石)的导热性最好。

(5) 热膨胀性:材料因温度改变而引起的体积变化现象称为热膨胀性,一般用线膨胀系数来表示。工程中常利用材料的热膨胀性来装配或拆卸配合过盈量较大的机械零件。

(6) 磁性:材料在磁场中能被磁化或导磁的能力称为导磁性或磁性,用磁导率 $\mu$ (单位

H/m)来表示。

### 1.1.3 化学性能

材料的化学性能是指材料抵抗周围介质侵蚀的能力,主要包括耐蚀性和热稳定性。

(1) 耐蚀性:金属材料在常温下抵抗周围介质侵蚀的能力称为耐蚀性,包括化学腐蚀和电化学腐蚀两种。化学腐蚀是在干燥气体及非电解液中进行,腐蚀时没有电流产生;电化学腐蚀是在电解液中进行,腐蚀时有微电流产生。

(2) 热稳定性:材料在高温下抵抗氧化的能力称为热稳定性。在高温(高压)下工作的锅炉、加热炉、内燃机中的零件等都要求具有良好的热稳定性。

### 1.1.4 工艺性能

工艺性能是指金属材料适应如铸造、锻造、焊接及切削加工等工艺要求的能力。按工艺方法不同有铸造性、锻压性、焊接性、热处理性和切削加工性等。良好的工艺性能有利于零件的加工成形,并能达到保证质量和降低成本的目的。

## 1.2 铁碳合金

### 1.2.1 金属的晶体结构

物质是由原子构成,根据原子在物质内部的排列方式不同,可将固态物质分为晶体和非晶体两类。凡内部原子呈规则排列的物质称为晶体,所有固态金属都是晶体;凡内部原子无规则排列的物质称为非晶体,如玻璃、沥青、松香都是非晶体。晶体内部组织结构的不同决定了其性能的差异。

晶体中最简单的原子结构如图 1-6(a)所示,为了便于研究和描述晶体内原子的排列规律,常以一些假想的几何直线将晶体中各原子的振动中心连接起来,这样构成的空间格子称为晶格,如图 1-6(b)所示。由于晶体中原子的排列具有周期性,通常从晶格中选取一个能代表晶格特征的最小几何单元——晶胞[图 1-6(c)]来研究晶体结构。

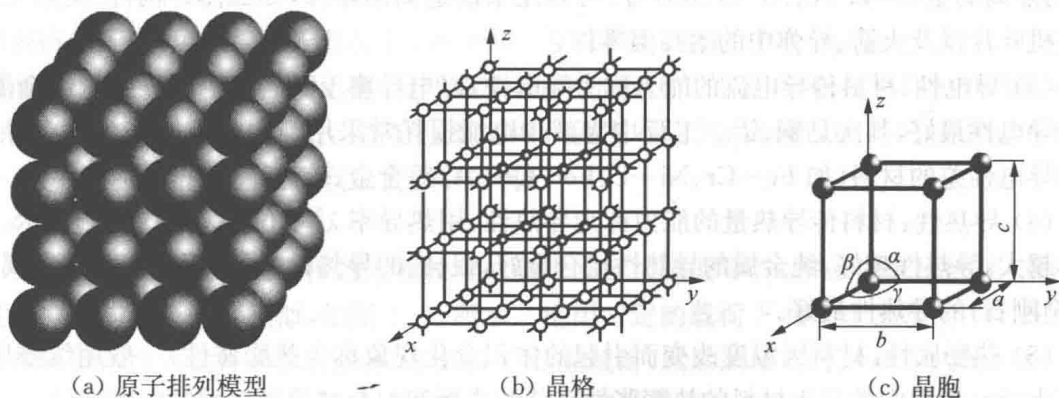


图 1-6 晶体结构示意图