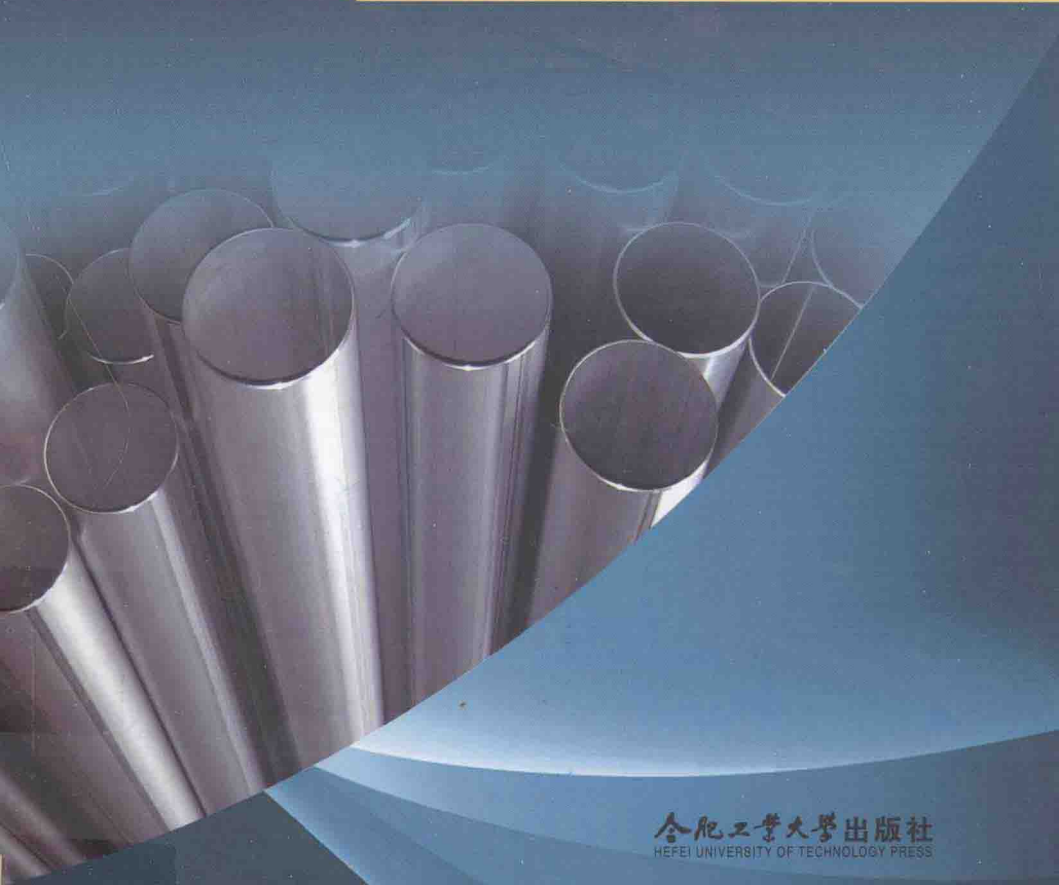


金属挤压加工

实用技术手册

JINSHU JIYA JIAGONG
SHIYONG JISHU SHOUC

◎邓小民 著



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

金属挤压加工实用技术手册

邓小民 著

合肥工业大学出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了在铝合金挤压生产中,从业人员应该掌握的基础理论、挤压生产技术、挤压生产工艺、挤压制品质量控制以及模具的使用、维护与管理等知识。另外,本书在有关章节中还介绍了铜合金、稀有金属材料及钢铁材料挤压加工的有关知识。

本书主要供从事铝合金挤压生产的工程技术人员、实际操作人员学习使用,也可供大专院校材料成形及控制专业的师生以及从事其他金属挤压加工的工程技术人员和实际操作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属挤压加工实用技术手册/邓小民著. —合肥:合肥工业大学出版社,2013.5
ISBN 978-7-5650-1335-5

I. ①金… II. ①邓… III. ①金属—挤压—技术手册 IV. ①TG37-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 113049 号

金属挤压加工实用技术手册

邓小民 著

责任编辑 汤礼广

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2013 年 5 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2013 年 5 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	880 毫米×1230 毫米 1/32
电 话	理工编辑部:0551-62903087 市场营销部:0551-62903163	印 张	12
网 址	www.hfutpress.com.cn	字 数	322 千字
E-mail	hfutpress@163.com	印 刷	安徽联众印刷有限公司
		发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-1335-5

定价: 38.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前 言

1956年东北轻合金有限责任公司的11台挤压机安装并投产,标志着中国现代挤压工业的诞生。中国挤压工业经过50多年的发展,特别是经过近20多年的高速、持续发展,使中国如今成为全球拥有挤压机总数量和大吨位挤压机数量最多、生产厂家最多、从业人员最多、产能和产量最大的挤压生产大国。特别是铝合金挤压材的产量现占全球挤压材总产量的50%以上,并连续多年排名世界第一。中国如今已成为一个挤压材的净出口国。中国挤压工业不仅为中国,也为全球的经济发展做出了巨大贡献。

然而,我们也必须清楚地看到,与世界发达国家相比,我们还有一定的差距,例如:中国挤压工业的整体生产效率还比较低,而且能耗高,工模具损耗大;企业员工的整体受教育程度较低,技术素质较低,技术人员所占的比例较少;企业的自主开发能力、创新能力不足;产品的整体质量水平不高,一些复杂的高品质产品还需要进口等。因此,我们现在还不能说中国已经是一个挤压生产强国。要想成为一个挤压生产强国,就要不断提高我国挤压生产技术水平。基于这种考虑,作者在总结多年来从事铝合金挤压生产和教学的实践经验、吸收技术开发和科研成果的基础上写成此书。希望本书对挤压从业人员提高技术业务水平,进而在提高生产效率和成品率、提高产品质量、提高企业的自主开发能力等方面能有所帮助。

在写作过程中,我们本着以产品为中心,以提高产品质量为目标,在为挤压从业人员提供一些基础理论知识的同时,着重从提高其实际操作技能方面入手,科学组织写作内容,力求使本书内容简洁、前后连贯、理论分析透彻、实际结合紧密,且具有较强的实用性、可操作性。



本书共分7章,分别介绍了挤压制品力学性能指标及强度和硬度的换算,变形铝合金的牌号、分类及热处理特性等基础知识;挤压制品的分类及各种挤压生产方法;挤压时金属的变形规律及挤压制品的组织性能特征;挤压用坯料的种类、制备方法及坯料的质量要求;不同制品的挤压生产工艺流程、工艺操作规程,不同品种、不同精度等级制品的挤压尺寸精度控制方法,挤压制品的热处理操作规程及矫直、精整工艺操作规程;挤压制品的主要缺陷的产生、防范及处理方法;挤压工模具的使用、维护及管理。

作者在写作本书过程中,还参考和引用了一些专家、学者的研究成果及资料,在此,谨向他们表示衷心的感谢。

限于作者的学识和经验,书中难免存在一些不妥之处,真诚地欢迎读者批评指正。

作 者

目 录

1 基础知识	(1)
1.1 挤压制品的机械性能	(1)
1.1.1 挤压制品的强度和塑性	(1)
1.1.2 挤压制品的硬度	(5)
1.1.3 强度和硬度的换算值	(13)
1.2 变形铝合金的合金牌号、分类及状态	(14)
1.2.1 变形铝合金牌号	(14)
1.2.2 变形铝合金分类	(20)
1.2.3 变形铝合金的状态代号及表示方法	(21)
1.3 变形铝合金的热处理性能	(27)
1.3.1 退 火	(27)
1.3.2 淬火和时效(固溶与脱溶)	(28)
1.3.3 回归效应	(33)
1.3.4 铝镁硅系合金的热处理	(34)
2 挤压制品的品种规格及生产方法	(36)
2.1 挤压制品的品种规格	(36)
2.1.1 管 材	(37)
2.1.2 型 材	(37)
2.1.3 棒材、排材及线坯	(38)
2.1.4 包覆材料制品	(38)



2.2 常用的挤压方法	(39)
2.2.1 正向挤压法	(43)
2.2.2 反向挤压法	(45)
2.2.3 侧向挤压法	(48)
2.2.4 连续挤压法	(49)
2.3 其他挤压方法	(52)
2.3.1 玻璃润滑挤压法	(52)
2.3.2 静液挤压法	(53)
2.3.3 有效摩擦挤压法	(54)
2.3.4 无压余挤压法	(55)
2.3.5 固定挤压垫挤压法	(57)
2.3.6 半固态挤压法	(58)
2.3.7 多坯料挤压法	(60)
2.3.8 双金属管挤压法	(60)
2.3.9 复合材料挤压法	(61)
2.3.10 阶段变断面管材挤压法	(62)
2.3.11 逐渐变断面管材挤压法	(65)
2.3.12 阶段变断面型材挤压法	(67)
3 挤压时金属的变形规律及挤压制品的组织性能特征	(70)
3.1 挤压时金属的变形流动规律	(70)
3.1.1 填充挤压阶段金属的变形流动特征	(71)
3.1.2 基本挤压阶段金属的变形流动特征	(75)
3.1.3 終了挤压阶段金属的变形流动特征	(82)
3.2 挤压制品的组织性能特征	(84)
3.2.1 挤压制品组织性能的不均匀性	(84)
3.2.2 挤压制品的粗晶环	(91)
3.2.3 挤压制品的层状组织	(98)
3.2.4 挤压缩尾	(99)
3.2.5 反向挤压制品的粗晶环和粗晶芯	(103)



3.2.6 反向挤压制品的纺锤体核组织	(104)
3.2.7 反向挤压制品的挤压缩尾	(105)
3.2.8 挤压效应	(106)
4 挤压用坯料	(111)
4.1 挤压用坯料的种类	(111)
4.1.1 铸 锭	(111)
4.1.2 二次挤压毛料	(112)
4.1.3 其他坯料	(112)
4.2 铸锭的质量控制	(114)
4.2.1 化学成分控制	(115)
4.2.2 铸锭的晶粒组织	(116)
4.2.3 铸锭常见的其他缺陷	(119)
4.3 坯料的加工、检验	(127)
4.3.1 铸锭的车皮、镗孔	(127)
4.3.2 铸锭的锯切	(132)
4.3.3 铸锭的质量检验	(133)
4.3.4 二次挤压毛料的加工、检验	(134)
4.4 铸锭的均匀化退火	(135)
5 挤压工艺规程	(138)
5.1 挤压工艺流程	(138)
5.2 挤压工艺参数确定	(144)
5.2.1 挤压温度的选择	(144)
5.2.2 挤压速度的选择	(147)
5.2.3 挤压过程中的温度-速度控制	(155)
5.2.4 挤压比的选择	(162)
5.3 坯料选择	(169)
5.3.1 坯料种类选择	(169)
5.3.2 确定坯料直径	(171)



5.3.3 确定坯料长度	(176)
5.4 挤压工艺规程	(183)
5.4.1 坯料加热规程	(183)
5.4.2 工艺润滑规程	(190)
5.4.3 挤压操作规程	(194)
5.5 热处理规程	(272)
5.5.1 退火	(272)
5.5.2 淬火	(274)
5.5.3 时效	(277)
5.6 矫直、精整规程	(279)
5.6.1 铝合金型材、棒材、管材的矫直、精整方法	(279)
5.6.2 铝合金型材的矫直、精整工艺	(281)
5.6.3 铝合金棒材的矫直、精整工艺	(287)
5.6.4 铝合金管材的矫直、精整工艺	(289)
6 挤压制品的主要缺陷及质量控制	(291)
6.1 挤压制品的表面缺陷	(291)
6.1.1 裂纹	(291)
6.1.2 气泡和起皮	(293)
6.1.3 制品外表面划伤、磕碰伤	(296)
6.1.4 麻面	(298)
6.1.5 管材内表面纵向擦伤	(301)
6.1.6 管材内表面螺旋纹状擦伤	(305)
6.1.7 管材内表面点状擦伤	(310)
6.1.8 管材内表面石墨压入缺陷	(314)
6.2 挤压制品的形状、尺寸缺陷	(317)
6.2.1 弯曲	(317)
6.2.2 扭拧	(319)
6.2.3 波浪	(320)
6.2.4 矩形管四壁平面凹下	(322)



6.2.5 扩口	(323)
6.2.6 空心型材焊缝质量不合格	(323)
6.2.7 型材局部尺寸不合格	(325)
7 挤压工模具的使用与管理	(327)
7.1 挤压筒	(328)
7.1.1 挤压筒的使用	(329)
7.1.2 挤压筒的失效	(329)
7.1.3 挤压筒内套更换及维修	(330)
7.2 挤压轴	(331)
7.2.1 挤压轴的失效	(332)
7.2.2 挤压轴的使用及维修	(333)
7.3 穿孔针	(333)
7.3.1 穿孔针的配置	(334)
7.3.2 穿孔针的使用	(336)
7.3.3 穿孔针的失效	(336)
7.3.4 穿孔针的管理及维修	(338)
7.4 挤压垫	(339)
7.4.1 挤压垫的配置	(340)
7.4.2 挤压垫的使用	(343)
7.5 挤压模	(343)
7.5.1 挤压模具的失效	(344)
7.5.2 挤压模具的合理使用	(346)
7.5.3 挤压模具的修理	(347)
7.5.4 挤压模具的分类管理	(352)
附 录	(355)
参考文献	(368)



1

基础知识

1.1 挤压制品的机械性能

金属材料的机械性能主要包括强度、塑性、硬度、韧性和抗疲劳性等。对于一般挤压制品,最常用的机械性能指标包括强度、塑性和硬度。

1.1.1 挤压制品的强度和塑性

挤压制品的强度和塑性这两个性能指标,通常是依据 GB/T228 (金属材料室温拉伸试验方法)来测定的。在拉力试验机上,沿试样轴向施加以平稳增加的单向静拉力,一般将标准试样拉伸至断裂,图 1-1 所示为标准圆形拉伸试样。在拉伸过程中,同时连续测量拉伸力和相应的伸长量,并绘制出力-伸长曲线。通过一次拉伸试验,可以得到一系列试验数据,主要有断后伸长率、断面收缩率、弹性极限、屈服点、规定残余延伸应力、抗拉强度、弹性模量等,从而可计算出强度和塑性等主要数据。图 1-2 所示为低碳钢试样拉伸时的力-伸长曲线。

1.1.1.1 强度

强度是指金属在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力,通常用符号 σ 表示。强度特性的指标主要有弹性极限、屈服点(屈服强度)和抗拉强度。



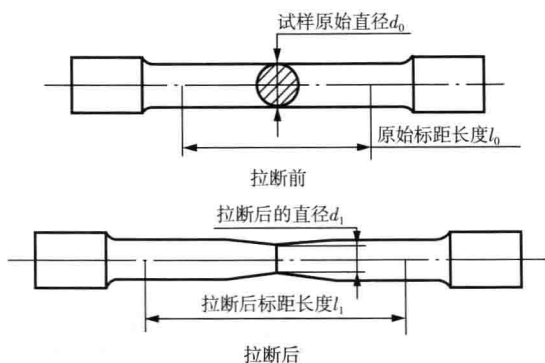


图 1-1 标准圆形拉伸试样

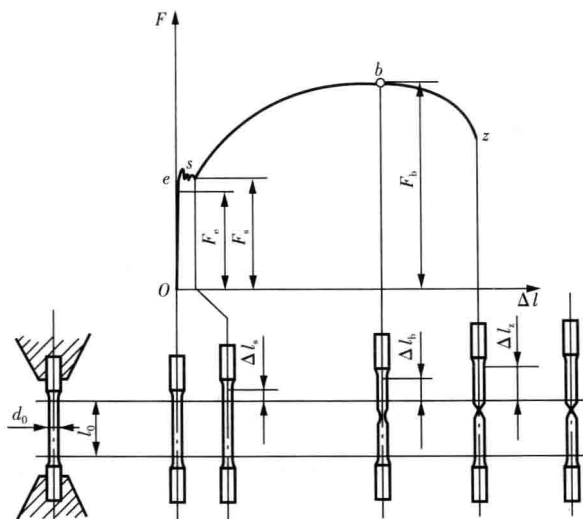


图 1-2 低碳钢试样拉伸时的力-伸长曲线

(1) 弹性极限 σ_e

图 1-2 中, 在 Oe 段, 力-伸长曲线为直线, 即力与伸长成比例, 卸力后试样又会恢复到原始状态, 此阶段为弹性变形阶段, 变形完全是弹性的。材料的弹性变形能力用弹性极限 σ_e 来表示, 它是指材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力值。弹性极限的计算式为

$$\sigma_e = F_e / A_0 \quad (1-1)$$

式中: σ_e ——弹性极限, MPa;

F_e ——试样产生完全弹性变形的最大拉力(图 1-2 中 e 点对应的载荷), N;

A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

弹性极限越大, 说明金属材料的弹性越好, 即能承受较大外力而不致产生不可恢复的永久性变形。

(2) 屈服点 σ_s

当载荷增加到一定值时(图 1-2 中 s 点), 曲线上出现水平平台或呈锯齿状(称为屈服平台)。这种在力不增加或增加或略有降低的情况下, 试样继续变形, 伸长迅速增加, 产生较大塑性变形的现象称为屈服。事实上, 在曲线的 es 段已经发生塑性变形, 只是变形量很小。将金属材料发生屈服时所对应的最小应力值称为屈服点。屈服点的计算式为

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (1-2)$$

式中: σ_s ——屈服点, MPa;

F_s ——试样发生屈服时的载荷, N;

A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

在退火的低碳钢、中碳钢中会出现上述明显的屈服现象, 在退火的 5A03、5A05 等少数几种铝合金中有时也会看到屈服现象, 而高碳钢、合金钢和大多数有色金属都不会出现上述屈服平台。一般采用规定残余伸长率达到 0.2% 时的应力作为屈服强度(图 1-3), 也叫规定非比例残余伸长应力或条件屈服强度。屈服强度的计算式为

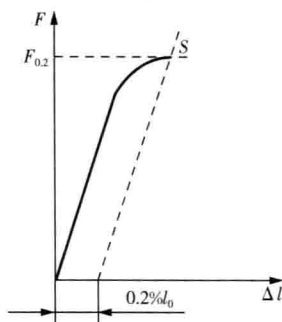


图 1-3 规定非比例残余伸长应力示意图

$$\sigma_{0.2} = F_{0.2} / A_0 \quad (1-3)$$

式中: $\sigma_{0.2}$ ——屈服强度(规定非比例残余伸长应力), MPa;

$F_{0.2}$ ——残余伸长率达到 0.2% l_0 时的载荷, N;

l_0 ——试样的原始标距长度, mm;

A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

(3) 抗拉强度 σ_b

随着载荷继续增加, 试样发生均匀塑性变形, 要继续变形必须增大载荷, 到达图 1-2 中 b 点时, 力达到最大值。超过 b 点后, 随着伸长的增大, 力开始下降, 试样发生缩颈, 直到 z 点时发生断裂。把材料在断裂前所能承受的最大应力值称为抗拉强度。抗拉强度的计算式为

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-4)$$

式中: σ_b ——抗拉强度, MPa;

F_b ——试样承受的最大载荷, N;

A_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

1.1.1.2 塑性

金属材料发生永久变形而不破坏其完整性的能力称为塑性。塑性的评价指标是断后伸长率和断面收缩率。

(1) 断后伸长率

试样拉断后标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比称为断后伸长率, 常用符号 δ 表示。断后伸长率的计算式为

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (1-5)$$

式中: δ ——断后伸长率, %;

L_0 ——试样原始标距长度, mm;

L_1 ——试样拉断后的标距长度, mm。

伸长率的大小与试样标距长度有关。按长径比将试样分为长试样 ($L_0/d_0=10$) 和短试样 ($L_0/d_0=5$) 两种。长试样的伸长率用 δ_{10} 或 δ 表示; 短试样的伸长率用 δ_5 表示。同一种材料的短试样断后伸长率 δ_5 大于其长试样的断后伸长率 δ_{10} 。

测量时, 将拉断后试样的两部分紧密对接在一起, 并使其轴线位于一条直线上, 测量试样断后标距 L_1 。原则上拉断处到最临近标距



端点的距离不小于 $L_0/3$ 才有效。如果断后伸长率不小于规定值,则不论断裂位置在何处均有效(但反映出的并不一定是材料真实的伸长率)。当拉断处到临近标距端点的距离小于 $L_0/3$ 时,为避免试样报废,可以用移位法测量 L_1 。如规定的断后伸长率小于 5%,宜采用特殊方法(见 GB/T228—2002 金属材料室温拉伸试验方法中的附录 E)测量。

(2) 断面收缩率

试样拉断处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率,常用符号 ψ 表示。断面收缩率的计算式为

$$\psi = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\% \quad (1-6)$$

式中: ψ ——断面收缩率,%;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 ;

A_1 ——试样拉断处的最小横截面积, mm^2 。

测量时,将试样断裂部分仔细地配接在一起,使其轴线位于同一直线上。对于圆形横截面试样,在缩颈最小处相互垂直方向测量直径,取其算术平均值计算最小横截面积;对于矩形横截面试样,测量缩颈处的最大宽度和最小厚度,二者之乘积为断后最小横截面积。

断后伸长率和断面收缩率都是衡量金属材料塑性好坏的主要指标,其数值越大,表示材料的塑性越好。其中,断面收缩率不受试样尺寸的影响,更能确切地反映材料的塑性。但是,在挤压制品生产中,通常是不检测断面收缩率的,只检测伸长率。

1.1.2 挤压制品的硬度

硬度是指材料抵抗局部变形的能力,是材料的一种综合性的力学性能指标,是材料软硬程度的度量。根据试验方法不同,硬度可分为两大类:压入硬度和划痕硬度。在压入硬度中,根据载荷速度的不同,又可分为静载压入硬度(布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度)和动载压入硬度(肖氏硬度和锤击式布氏硬度)两种。

对具体的每一种硬度,其定义和物理意义不同。划痕硬度是反映金属材料对切断破坏的抗力;肖氏硬度是表征金属弹性变形能力的大



小;布氏、洛氏和维氏硬度则是反映压痕附近局部体积内金属的弹性变形、微量塑性变形、形变强化以及大量塑性变形能力的指标,反映了材料表面抵抗其他更硬物体压入的能力。

同拉伸试验法相比较,硬度试验的设备简单,操作迅速方便,可直接在零件或工具上进行试验而不破坏工件,便于现场操作。通过硬度测量还可以间接地反映金属材料的强度以及化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异,因而得到了广泛应用。工业上经常采用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。例如,在铝型材生产中,通常采用测量型材表面维氏硬度和韦氏硬度的方法代替拉伸试验,给生产带来了极大便利。

1.1.2.1 布氏硬度

布氏硬度的试验原理如图 1-4 所示。用一定直径的淬火钢球或硬质合金球,以一定大小的试验力压入试样表面,保持规定时间后卸除试验力,通过测量试样压痕的直径,计算出压痕球形表面积,然后按照式(1-7)计算出布氏硬度值。

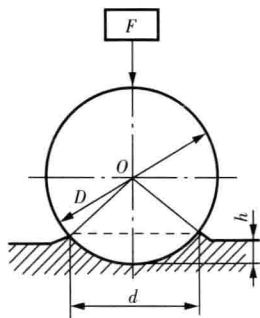


图 1-4 布氏硬度试验原理图

$$\text{HBS}(\text{HBW}) = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-7)$$

式中: HBS(HBW)——用钢球(硬质合金球)试验时的布氏硬度值,MPa;

F ——试验力,N;

D ——球体直径,mm;

d ——压痕平均直径,mm。

布氏硬度通常不标出单位,它只是表示材料在上述规定条件下的相对数值大小。从式(1-7)中可知,当试验力 F 和球体直径 D 一定时,布氏硬度值只与压痕的直径 d 有关。在 GB231—84 中规定压头球体直径为 10mm、5mm、2.5mm、2mm 和 1mm,通常使用直径为 10mm 的压头。在选定了球径后,根据 $F=KD^2$ 来确定 F 的大小。

标准规定 K (常数) 值有 7 种: 30、15、10、5、2.5、1.25 和 1。材料硬度大的要选较大的 K 值, 材料较软的要选较小的 K 值。一般来说, 当布氏硬度小于 35 时, 取 $K=2.5$ (或 1.25); 布氏硬度为 35~80 时, 取 $K=10$ (或 5、15); 布氏硬度大于 80 时, 取 $K=10$ (或 15)。

布氏硬度试验的试样最小厚度应大于或等于压痕深度的 10 倍, 试样表面粗糙度 R_a 应不大于 $0.8\text{ }\mu\text{m}$, 压痕直径应为 $0.24D\sim0.6D$, 否则测量结果无效, 应重新选 K 值进行测量。

当压头为淬火钢球时, 硬度符号用 HBS 表示, 适用于硬度在 450HBS 以下的材料; 当压头为硬质合金球时, 硬度符号用 HBW 表示, 适用于测量硬度在 650HBW 以下的材料。布氏硬度的表示方法是: 硬度符号前面的数字为硬度值; 符号后面的数字表示试验条件, 依次为球体直径、试验力和力保持的时间 (一般为 $10\sim15\text{s}$, 不标注)。如 120HBS10/10000/30, 则表示用直径 10mm 的钢球, 在施加 10000N 的力下保持 30s, 测得材料的布氏硬度值为 120。在进行布氏硬度试验时, 试验力的取值为 $3000\sim10000\text{N}$ 。试验力保持时间: 黑色金属一般为 $10\sim15\text{s}$; 有色金属为 30s; 当布氏硬度值小于 35HBS 时为 60s。

布氏硬度方法测量准确, 且与抗拉强度 σ_b 之间有近似的比例关系。布氏硬度值的测量误差较小, 数据稳定, 重复性强, 适用于测量灰铸铁、有色金属与合金、结构钢以及非金属等材料的硬度。但测量费时, 压痕较大, 对表面损伤较大, 不适合于成品件和薄件的测量。

1.1.2.2 维氏硬度

维氏硬度试验原理与布氏硬度基本相同, 也是根据压痕单位面积所承受的试验力来计算硬度值。但是维氏硬度所采用的压头不是球体, 而是两个相对面夹角为 136° 的正四棱锥体。试验时, 以选定的试验力 F 将压头压入试样表面 (图 1-5), 经规定的保持时间后, 卸除载荷, 测量压痕对角线长度 d (一般用两个对角线长度的平均值), 计算出压痕表面积 S , 然后按照式 (1-8) 计算维氏硬度。

