

高等职业技术学校教材

金属工艺学

曲长波 张振金 张安义 主编

上册

中国矿业大学出版社

高等职业技术学校教材

金属工艺学

(上册)

曲长波
张振金 主编
张安义



中国矿业大学出版社

责任编辑 钟 诚
责任校对 杜锦芝

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/曲长波,张振金,张安义主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2000.1

高等职业技术学校教材

ISBN 7-81070-117-7

I. 金… II. ①曲…②张…③张… III. 金属加工-工艺学-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 10005 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

中国矿业大学印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 8.75 插页 1 字数 210 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 次印刷

印数 1~5000 册 总定价:30.00 元(本册定价:10.00 元)

前 言

本书是根据最新机械类专业《金属工艺学课程教学大纲》编写的,可作为高等职业技术学校的教材,也可为中等专业学校及有关工程技术人员选用。

本书分《金属工艺学》上、下册和实习分册(即《金工实习》)出版,并附有与其配套使用的金属工艺学实验指导。

本书在内容处理上做了以下几个方面的努力和尝试:

- (1) 以机械类为主,兼顾近机类,适用于机制、机电、机械化以及与之相关的专业。
- (2) 以高等职业技术教育为主,适当删减后,也可作中专教材或成人中专函授教材。
- (3) 对于不断出现的新工艺、新方法,注意侧重于讲授基本工艺的基础理论和基本知识,简明扼要介绍新工艺、新技术,希望通过基本工艺的扩展,加深对新工艺的理解。
- (4) 考虑到课程安排上出现的实习教学先于课堂教学的情况,《金工实习》单设分册成书,在内容上则侧重于工艺方法、工艺要求和设备使用,以便于实习授课。
- (5) 为了突出本课程的实用性,在内容上适当注意了技术经济分析、工艺方法的选择比较等,并恰当运用一定的图表,力求生动形象,讲解清晰。
- (6) 各章后面所附复习思考题,便于学生进一步加深理解基本概念,巩固所学知识,培养分析和解决问题的能力。
- (7) 全部采用国家标准及法定单位。书中插图制图方法、术语、技术条件、材料牌号等尽量采用最新的国家标准。

参加本书编写的有:

上册:曲长波(第一、二章)、张振金(第三、四章)、张安义(第五、六章)、吴安德(第七、九、十章)、康力(第八章);

下册:郭卫凡(第一、二章)、康力(第三章)、任凤国(第四、五章)、何成文(第六章)、徐勇(第七章);

实习分册:薛宁平(第一、二、四章)、康力(第三章)、张炯发(第五、六章)、吴安德(第七、八章)、康力(第九章)。

本套书上册主编曲长波、张振金、张安义,下册主编郭卫凡、任凤国、徐勇,实习分册主编薛宁平、康力、吴安德。由张炯发任全套书的总主编,并担任最后统稿。全套书由杜长龙博士主审。

本书在编写过程中,得到九江船舶工业学校郁兆昌老师、徐州建筑工程技术学院和山东煤炭教育学院领导的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中错误及不当之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1999年10月

目 录

绪论	(1)
第一章 金属材料的力学性能	(3)
第一节 强度和塑性	(3)
第二节 硬度	(6)
第三节 冲击韧性与金属的疲劳	(12)
复习思考题	(14)
第二章 金属和合金的晶体结构	(15)
第一节 金属的晶体结构	(15)
第二节 金属的结晶	(18)
第三节 合金的晶体结构	(22)
复习思考题	(24)
第三章 铁碳合金状态图与碳素钢	(25)
第一节 铁碳合金的基本组织	(25)
第二节 铁碳合金状态图	(26)
第三节 碳钢	(30)
复习思考题	(36)
第四章 钢的热处理	(37)
第一节 概述	(37)
第二节 钢在加热时的组织转变	(37)
第三节 钢在冷却时的组织转变	(39)
第四节 钢的普通热处理	(44)
第五节 钢的表面热处理	(51)
第六节 热处理新工艺发展简介	(55)
复习思考题	(56)
第五章 合金钢	(58)
第一节 合金元素在钢中的作用	(58)
第二节 合金钢的分类与牌号	(61)
第三节 合金结构钢	(63)
第四节 合金工具钢	(70)

第五节 特殊性能钢	(76)
复习思考题	(81)
第六章 铸铁	(83)
第一节 概述	(83)
第二节 灰铸铁	(84)
第三节 球墨铸铁	(88)
第四节 其他铸铁简介	(90)
复习思考题	(94)
第七章 有色金属及硬质合金	(96)
第一节 铝及铝合金	(96)
第二节 铜及铜合金	(100)
第三节 滑动轴承合金	(106)
第四节 粉末冶金材料	(108)
第五节 硬质合金	(109)
复习思考题	(111)
第八章 金属表面处理技术简介	(113)
第一节 金属表面强化处理	(113)
第二节 金属表面防腐处理	(115)
第三节 金属表面装饰处理	(117)
复习思考题	(118)
第九章 非金属材料	(119)
第一节 工程塑料的特性、分类与应用	(119)
第二节 复合材料的特性、分类与应用	(122)
第三节 其他非金属材料简介	(124)
复习思考题	(125)
第十章 零件和工具的选材及热处理	(126)
第一节 零件和工具的失效形式及选材原则	(126)
第二节 热处理的技术条件及工序位置	(128)
第三节 典型零件的选材及热处理	(129)

绪 论

金属工艺学是一门研究常用金属材料的性能及其加工方法的综合性技术基础课。其内容涵盖了金属材料及热处理、铸造、金属压力加工、焊接、金属切削加工等多个学科的基本知识。机械加工生产的过程,就是金属工艺学的应用过程。因此,金属工艺学是工程技术人员必修的技术基础课。

金属工艺学是从实践中发展起来的一门学科,它对人类文明的进步起了推动作用。我国的金属工艺技术有着悠久的发展史。早在原始社会末期,我们的祖先就已经开始使用简单的铜器。到了商代,我国的青铜冶炼与铸造技术达到了相当高的水平。著名的司母戊大铜鼎,是商代晚期的祭祀器具,重达 875kg,其造型精美,鼎外铸出精致的花纹图样,是我国到目前出土的最大青铜器,也是世界上迄今发现的最大青铜器。春秋时期,我国就掌握了冶铁技术,并开始应用铸铁农具,这比欧洲国家要早 1800 多年。战国时期,我国就能运用相当高超娴熟的炼钢、锻造和热处理技术,制造出“干将”、“莫邪”等名剑。埋藏在地下达 2000 多年的吴王夫差剑,出土后仍然熠熠生辉,锋利如初。我国从唐代(约公元 7 世纪)就已经开始使用锡焊和银焊,而欧洲直到 17 世纪才出现这样的钎焊方法。到明朝,我国已经有了多种简易切削加工设备,也有了世界上最早的有关金属加工工艺的文字著作,这就是宋应星所著的《天工开物》,内有冶铁、炼铜、铸钟鼎、锻铁淬火等各种金属加工方法。它内容全面,文字简洁,叙述详尽,是一部比较全面完整地记述金属工艺的科学著作。总之,我国在五千年光辉灿烂的文明史中,在金属工艺学方面取得过辉煌的成就,对人类文明进步做出了举世公认的卓越贡献。但是,由于长期的封建统治,世界列强的残酷掠夺,以及半封建半殖民地反动统治的压迫摧残,我国的科学技术在过去几百年里失去了发展的机会和条件,金属工艺技术和生产力水平长期处于停滞和落后状态。

新中国成立后,我国的机械制造业和其他行业一样获得了迅速发展,逐步建立起比较完整的工业生产体系。同样,在金属工艺技术方面也取得了很大发展,许多新材料、新技术、新设备、新工艺在所涉及的各个领域得到广泛应用,并制定出适合我国国情的钢铁标准;建立了符合我国资源特点的合金钢体系;研究出具有世界先进水平的稀土球墨铸铁、特殊性能合金等新材料;建造出口远洋货轮、内燃机车、机床等机械设备;建造了南京长江大桥、秦山核电站;成功地发射了运载火箭和通信卫星;世界级的三峡工程开工建设。这些足以表明,我国在冶金、铸造、压力加工、焊接、切削加工等金属工艺技术方面达到了很高的水平。但是,我们也应该清醒地认识到,就我国目前的水平与世界先进水平相比较,金属工艺技术仍然存在着一定的差距:基础工业技术落后、生产效率较低、产品质量有待提高、现代企业管理制度有待建立完善、先进制造技术有待于大力推广应用。此外,技术创新是金属工艺技术不断发展的根本所在,更有待于大力推动和促进。

金属工艺学是工程技术人员在设计、生产制造工作中必需的一门综合性的科学技术。学习本课程的目的和任务,是使学生能够根据机械零部件的要求,合理地选择使用常用金属材料及合理地选择加工方法,并为学习其他有关课程及从事生产技术工作奠定必要的金属工

艺学方面的基础。

学习本课程的基本要求是：使学生初步掌握常用金属材料的牌号、成份、组织性能及其应用和一般选用原则；具有初步运用常用热处理方法的能力；了解各种加工方法的基本原理、工艺特点和应用范围；初步了解零件的结构工艺性和加工工艺性；了解各种主要加工方法的常用设备及使用范围；初步掌握选择毛坯和制定零件加工方法的基本知识。

金属工艺学是在长期实践中创造发展起来的，它具有很强的实践性和应用性。因此，在学习本课程时，不但要学习掌握必要的基础理论和基本知识，还要注意理论联系实际，加强实践教学环节，培养一定的基本操作技能，提高独立分析问题和解决问题的能力，为迎接 21 世纪的新机遇和挑战打下良好的基础。

第一章 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能,是指材料在外力作用下所表现出来的特性,即材料抵抗外力作用而不被破坏的能力,主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。材料的力学性能是零件设计、选材、加工的重要依据,性能的状况决定了材料能否满足其使用要求。

第一节 强度和塑性

一、强度

金属材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力,称为强度。

1. 拉伸试验

拉伸试验是测定金属材料静态力学性能指标最基本的方法。

依据国家标准(GB228—87),被试验的材料必须做成标准试样。标准试样分长试样($L_0=10d_0$)和短试样($L_0=5d_0$)两种,如图 1-1 所示。试样中间截面均匀的部分 L_0 作为测定的基本长度,称为标距(也称计算长度);试样两端部为夹持部分,直径较大,以使试样在试验过程中的变形和断裂发生在直径较小的标距部分。

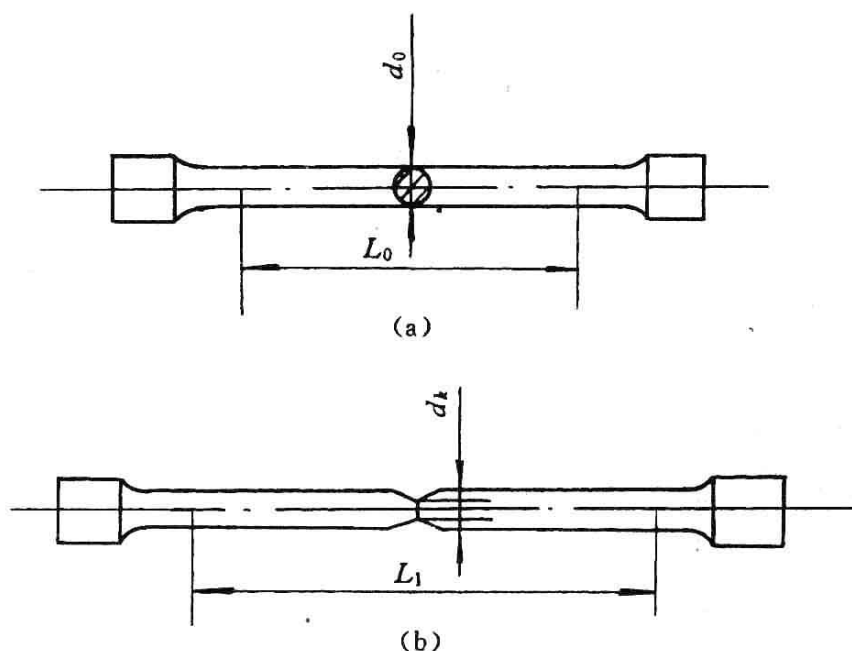


图 1-1 标准拉伸试样

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。随着拉力的不断增加,试样的伸长量也逐渐增大,直至试样拉断。试样被拉伸变形时,载荷与试样伸长量之间的关系可用曲线表示出来,该曲线称为拉伸曲线。拉伸曲线的形状与试验材料有关,图 1-2 为普通低碳钢的拉伸曲线。

低碳钢的拉伸过程简单分成四个阶段:

弹性变形阶段(Oe)——当试样所受载荷从零增加到 F_e 时,其伸长量与载荷成比例增

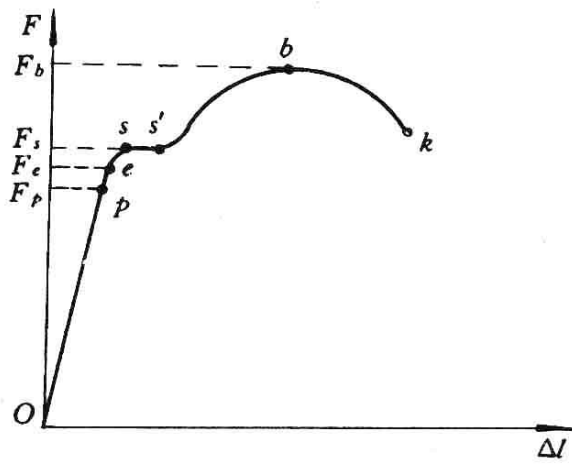


图 1-2 普通低碳钢的拉伸曲线

加,此时去除外载荷,变形随之消失,试样只产生弹性变形。试样产生最大弹性变形时所承受的载荷称为弹性极限载荷,用 F_e 表示。

屈服变形阶段(es')——试样产生弹性变形的同时,开始出现少量的不可恢复的塑性变形。若变形持续扩大,外载荷却始终保持在一平衡位置附近,这种现象称为屈服。试样产生屈服时的最小载荷称为屈服极限载荷,用 F_s 表示。

大量变形阶段($s'b$)——试样仍然产生弹塑性变形,只不过塑性变形的成分越来越大,且变形在试样标距范围内是均匀发生的,同时外载荷也缓慢增加。

该阶段试样能承受的最大载荷,称为强度极限载荷,用 F_b 表示。

局部变形阶段(bk)——载荷增加到最大值 F_b 以后,变形开始集中到试样最薄弱的部位,该部位横截面开始急剧缩小,即出现“缩颈”。缩颈现象的出现,使继续变形所需的载荷急剧下降,但缩颈处的实际应力(缩颈处单位横截面上承受的实际载荷)仍然是不断增加的,直到 k 点缩颈处的横截面不能抵抗外力作用而发生断裂。缩颈阶段仍产生弹塑性变形,只不过塑性变形成分更大一些,且主要集中在缩颈处。

应当说明的是,并非所有材料在拉伸时都出现上述过程,有的材料断裂前出现较大的塑性变形,但不出现缩颈,如工程塑料;有的材料只出现较小的塑性变形就发生断裂(脆断),如铸铁等。

2. 强度的计算

强度的大小是用应力来度量的。当材料受到外加载荷作用时,在其内部产生与外加载荷大小相等、方向相反的抵抗力。单位面积上的抵抗力称为应力。其计算公式为

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{N/mm}^2(\text{MPa})$$

式中 σ ——应力, $\text{N/mm}^2(\text{MPa})$;

F ——载荷, N ;

A ——材料横截面积, mm^2 。

工程上常用的强度指标主要为屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度(也称屈服极限)

试样受到屈服极限载荷作用时所产生的应力,称为屈服强度,也叫做屈服点,以 σ_s 表示。

计算式为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad \text{N/mm}^2(\text{MPa})$$

式中 σ_s ——屈服强度, $\text{N/mm}^2(\text{MPa})$;

F_s ——试样屈服时所受最小载荷, N ;

A_0 ——试样拉伸前的横截面积, mm^2 。

有许多金属材料在拉伸时没有明显的屈服现象,测定 σ_s 很困难。有关国标中规定以此种试样产生 0.2% 的相对塑性变形量时的应力作为屈服强度指标,称为条件屈服强度,用

$\sigma_{0.2}$ 表示。计算式为

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0} \text{ N/mm}^2(\text{MPa})$$

式中 $\sigma_{0.2}$ ——条件屈服强度, N/mm²(MPa);

$F_{0.2}$ ——试样产生 0.2% L_0 塑性变形时的载荷, N;

A_0 ——试样拉伸前的横截面积, mm²。

屈服强度的大小反映了金属材料对微量塑性变形的抗力。当材料所受实际应力 $\sigma > \sigma_s$ ($\sigma_{0.2}$) 时, 将开始出现明显的塑性变形。

零件或构件在工作中一般不允许产生塑性变形。材料的屈服强度是某些不允许产生塑性变形零件的设计、选材和检验的主要依据, 它是最重要的力学性能指标之一。

(2) 抗拉强度(也称强度极限)

试样拉断前承受最大载荷作用时产生的应力, 称为抗拉强度, 以 σ_b 表示。计算式为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \text{ N/mm}^2(\text{MPa})$$

式中 σ_b ——抗拉强度, N/mm²(MPa);

F_b ——试样断裂前的最大载荷, N;

A_0 ——试样拉伸前的横截面积, mm²。

抗拉强度反映材料对最大均匀变形的抗力, 也反映了金属材料在拉伸条件下所能承受的最大应力, 它也是零件设计选材的重要依据之一。

σ_s ($\sigma_{0.2}$) 和 σ_b 都是表示金属材料强度大小的重要指标。 σ_s ($\sigma_{0.2}$) 是绝大多数零件设计的主要依据, 因为大部分零件在工作时不允许产生塑性变形, 如压力容器工作时产生微量的塑性变形就达不到工作压力。而对脆性材料, 由于不存在屈服强度, 设计时只能以抗拉强度作为依据。

屈服强度与抗拉强度的比值, 工程上称为屈强比。屈强比的大小能反映零件工作的可靠性和强度的利用率。屈强比小, 零件过载也不至于马上断裂, 工作的安全可靠性强, 但材料强度的有效利用率降低, 造成材料浪费, 重量加大, 成本上升。

不同零件对屈强比有不同要求, 但一般来说希望屈强比适当高一些。

二、塑性

金属材料在外加载荷作用下产生永久变形而不被破坏的能力, 称为塑性。它反映出材料产生永久变形的能力。表征金属材料的塑性指标有伸长率和断面收缩率, 也是通过拉伸试验测得的。

1. 伸长率(也称延伸率)

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伸长率, 用 δ 表示。计算式为

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

式中 δ ——伸长率;

L_0 ——试样原始标距长度, mm;

L_1 ——试样拉断后的标距测量长度, mm。

长试样的伸长率用符号 δ_{10} 表示,通常写成 δ ;短试样的伸长率用符号 δ_5 表示。对于同一种材料,用短试样测得的伸长率大于长试样的伸长率,即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。通过试验比较不同材料的伸长率时必须采用相同的标准试样。为了节约材料和有更好的可比性,目前各国制定的标准中有优先采用短试样的趋势。

2. 断面收缩率

试样拉断后,横断面积的最大缩减量与原横截面积之百分比,也即单位横断面积的收缩量,称为断面收缩率,用 ψ 表示。计算式为

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 ψ ——断面收缩率;

A_0 ——试样原始横截面积, mm^2 ;

A_1 ——试样断裂处的横截面积, mm^2 。

一般地说,材料的 δ 和 ψ 值越大,其塑性愈好,如纯铁 δ 可达 50%,而灰铸铁的 δ 接近于零,所以纯铁的塑性比灰铸铁的塑性好得多。

塑性同样是金属材料力学性能的重要指标。塑性好的材料可以进行压力加工,还可增加零件使用的安全可靠性能。

第二节 硬 度

硬度是指材料抵抗比它更硬的物体压入其表面的能力。

通常情况下,材料的硬度越高,耐磨性就越好,强度也越高。硬度是反映材料综合性能的一个重要技术指标。

金属材料的硬度值是通过硬度试验测定的。它不破坏被测样品,对试样的要求也不那么严格,因此可用来测定成品或半成品。硬度试验设备简单,操作方便,测量范围广,是力学性能试验中最简便、应用最广泛的一种。

常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

一、布氏硬度

1. 布氏硬度的测定方法

根据 GB231—84《金属布氏硬度试验方法》规定,布氏硬度试验原理如图 1-3 所示。用一个直径为 D 的淬火钢球(或硬质合金圆球)作为压头,以规定的试验力 F 将压头垂直压入被测材料表面,保持一定时间后将压头载荷卸掉,被测材料表面出现一个压痕,测得压痕直径 d ,以压痕单位表面积上承受的载荷大小来作为布氏硬度值。即

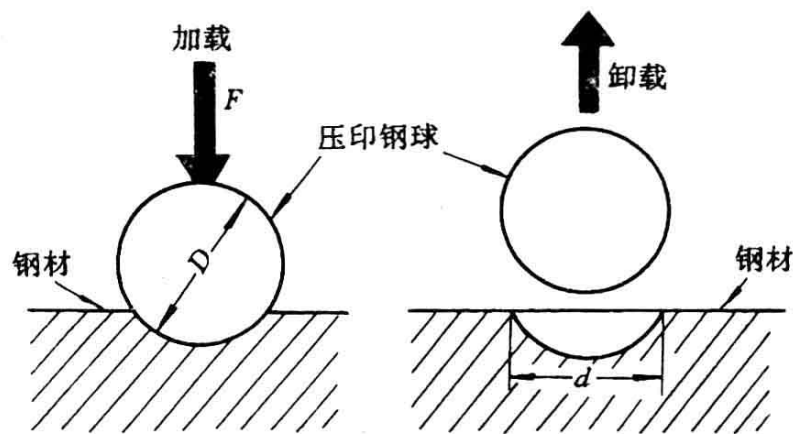


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

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

式中 F ——对压头施加的载荷,kgf;

A ——压痕表面积,mm²;

D ——压头直径,mm;

d ——压痕直径,mm。

若载荷 F 的单位为 N,则布氏硬度计算式为

$$\text{布氏硬度} = \frac{0.204F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

由于金属材料的硬度不同,厚薄不一,在生产中进行布氏硬度试验时,要求使用不同大小的试验载荷和不同直径的钢球(或硬质合金球)。实践证明,当采用不同大小的试验载荷和不同直径压头进行试验时,只要能满足 F/D^2 值为一常数,且压痕直径控制在 $0.25D < d < 0.6D$ 之间,则所测得的布氏硬度值相同,且对不同硬度材料所测得的硬度值可以进行比较。标准中规定压头直径分 10mm、5mm、2.5mm、1.25mm、1mm 等五种规格, F/D^2 的比值有 30、15、10、5、2.5、1.25 和 1 等七种。为了保证同一材料使用不同压头测得硬度值相同,选用 F 值大小时,可根据材料和硬度范围按表 1-1 选取 F/D^2 值,再按表 1-2 确定压头直径和试验力 F 的值。

表 1-1 布氏硬度实验规范(一)

材 料	布氏硬度	F/D^2
钢及铸铁	<140	10
	≥140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5(1.25)
	35~80	10(5 或 15)
	>80	10(15)
铅、锡		1.25(1)

表 1-2 布氏硬度实验规范(二) (摘自 GB231-84)

硬 度 符 号	球直径 D /mm	F/D^2 0.102F/D ²	试验力 F /kgf
HBS(HBW)10/3000	10	30	3000(29.42kN)
HBS(HBW)10/1500	10	15	1500(14.71kN)
HBS(HBW)10/1000	10	10	1000(9.807kN)
HBS(HBW)10/500	10	5	500(4.903kN)
HBS(HBW)10/250	10	2.5	250(2.452kN)
HBS(HBW)10/125	10	1.25	125(1.226kN)
HBS(HBW)10/100	10	1	100(980.7N)
HBS(HBW)5/750	5	30	750(7.355kN)
HBS(HBW)5/250	5	10	250(2.452kN)
HBS(HBW)5/125	5	5	125(1.226kN)
HBS(HBW)5/62.5	5	2.5	62.5(612.9N)
HBS(HBW)5/31.25	5	1.25	31.25(306.5N)
HBS(HBW)5/25	5	1	25(245.2N)

从布氏硬度表达式中可以看出,压头直径 D 和所加载荷 F 是相对不变的,只要测出压痕直径 d 便可计算出布氏硬度值;通过表 1-3 的布氏硬度数值表也可直接查出硬度值。

2. 布氏硬度的表示方法

按照国标规定,布氏硬度用以下符号表示:压头为淬火钢球时测得的布氏硬度用 HBS 表示,适用于测定布氏硬度值在 450 以下的材料;压头为硬质合金球时测得的布氏硬度用 HBW 表示,适用于测定布氏硬度值在 650 以下的材料。布氏硬度的单位是 kgf/mm^2 ,但一般不标出单位。

在布氏硬度符号 HBS 或 HBW 前注明硬度值,符号后面按以下顺序用数值表示试验条件:

- ① 压头球体直径,mm;
- ② 试验力,kgf;
- ③ 试验力保持时间(10~15s 不标注),s。

例如:120HBS10/1000/30 表示该材料用直径 10mm 的淬火钢球在 1000kgf(9.807kN) 试验力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。500HBW5/750 表示用直径 5mm 的硬质合金球在 750kgf(7.355kN) 试验力作用下保持 10~15s 测得的布氏硬度值为 500。

由于硬度和强度以不同形式反映了材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力,材料的硬度值与抗拉强度之间存在一定的内在联系,可由布氏硬度值近似确定抗拉强度值。

低碳钢	$\sigma_b \approx 3.6\text{HBS}$
高碳钢	$\sigma_b \approx 3.4\text{HBS}$
调质合金钢	$\sigma_b \approx 3.25\text{HBS}$
灰铸铁	$\sigma_b \approx 1\text{HBS}$

上述关系式中 σ_b 的单位为 MPa。布氏硬度试验方法准确、简便、经济,一般不破坏零件,主要用来测定退火钢材、有色金属、铸铁的原材料及半成品的硬度,对于硬度太高、厚度太薄的材料不宜采用。

二、洛氏硬度

洛氏硬度试验与布氏硬度试验一样,也是一种压入式硬度试验,但它是以前以压痕的深度表示材料的硬度值。按照 GB/T 230—91《金属洛氏硬度试验方法》的规定,试验选用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或淬火钢球作为压头,在初始试验力及主试验力的先后作用下,将压头压入试样表面,经规定保持时间后卸除主试验力,用压痕深度来确定材料的硬度值。洛氏硬度的试验原理如图 1-4 所示。施加的初载荷为 98.07N,总载荷依据材料的硬度与厚薄分别为 588.4N、980.7N、1.471kN 三种。

整个测定过程主要分三步(以总载荷 1471N 为例):

- ① 先加 98.07N 初载荷,使压头与材料表面充分接触,减少测量误差(图 1-4(a)),此时压痕深度为 h_1 ;
- ② 加主载荷 1372N(与初载荷一共为 1471N),使压头压入材料表面,并保持一段时间,压痕深度为 h_2 (图 1-4(b));
- ③ 卸除主载荷,材料回弹(图 1-4(c)),此时压痕实际深度为 $h = h_2 - h_1$ 。

依据压痕深度 h 计算洛氏硬度,规定压痕每深 0.002mm 为一个洛氏硬度单位。但用 $h/0.002$ 表示的硬度值不符合习惯说法,为避免错觉,我们把最硬的材料作为 100,用 100—

表 1-3

金属布氏硬度数值表

(摘自 GB231—84)

球直径 D /mm		F/D^2								
		30	15	10	5	2.5	1.25			
10	5	3000(29.42kN) 750(7.355kN) 187.5(1.839kN) 120(1.177kN) 30(294.2N)	1500(14.71kN) — — — —	1000(9.807kN) 250(2.452kN) 62.5(612.9N) 40(392.3N) 10(98.07N)	500(4.903kN) 125(1.266kN) 31.25(306.5N) 20(196.1N) 5(49.03N)	250(2.452kN) 62.5(612.9N) 15.625(153.2N) 10(98.07N) 2.5(24.52N)	125(1.266kN) 31.25(306.5N) 7.813(76.61N) 5(49.03N) 1.25(12.26N)	100(980.7N) 25(245.2N) 6.25(61.29N) 4(39.23N) 1(9.807N)		
		试验力 F /kgf								
		布氏硬度 HBS 或 HBW								
		压痕直径 d /mm								
2.40	1.200	0.6000	0.480	0.240	218	327	109	54.5	27.2	21.8
2.41	1.205	0.6025	0.482	0.241	216	324	108	54.0	27.0	21.6
2.42	1.210	0.6050	0.484	0.242	214	321	107	53.5	26.8	21.4
2.43	1.215	0.6075	0.486	0.243	212	319	106	53.1	26.5	21.2
2.44	1.220	0.6100	0.488	0.244	211	316	105	52.7	26.3	21.1
2.45	1.225	0.6125	0.490	0.245	209	313	104	52.2	26.1	20.9
2.46	1.230	0.6150	0.492	0.246	207	311	104	51.8	25.9	20.7
2.47	1.235	0.6175	0.494	0.247	205	308	103	51.4	25.7	20.5
2.48	1.240	0.6200	0.496	0.248	204	306	102	50.9	25.5	20.4
2.49	1.245	0.6225	0.498	0.249	202	303	101	50.5	25.3	20.2
2.50	1.250	0.6250	0.500	0.250	200	301	100	50.1	25.1	20.0
2.51	1.255	0.6275	0.502	0.251	199	298	99.4	49.7	24.9	19.9
2.52	1.260	0.6300	0.504	0.252	197	296	98.6	49.3	24.7	19.7
2.53	1.265	0.6325	0.506	0.253	196	294	97.8	48.9	24.5	19.6
2.54	1.270	0.6350	0.508	0.254	194	291	97.1	48.5	24.3	19.4
2.55	1.275	0.6375	0.510	0.255	193	289	96.3	48.1	24.1	19.3
2.56	1.280	0.6400	0.512	0.256	191	287	95.5	47.8	23.9	19.1
2.57	1.285	0.6425	0.514	0.257	190	284	94.8	47.4	23.7	19.0
2.58	1.290	0.6450	0.516	0.258	188	282	94.0	47.0	23.5	18.8
2.59	1.295	0.6475	0.518	0.259	187	280	93.3	46.6	23.3	18.7

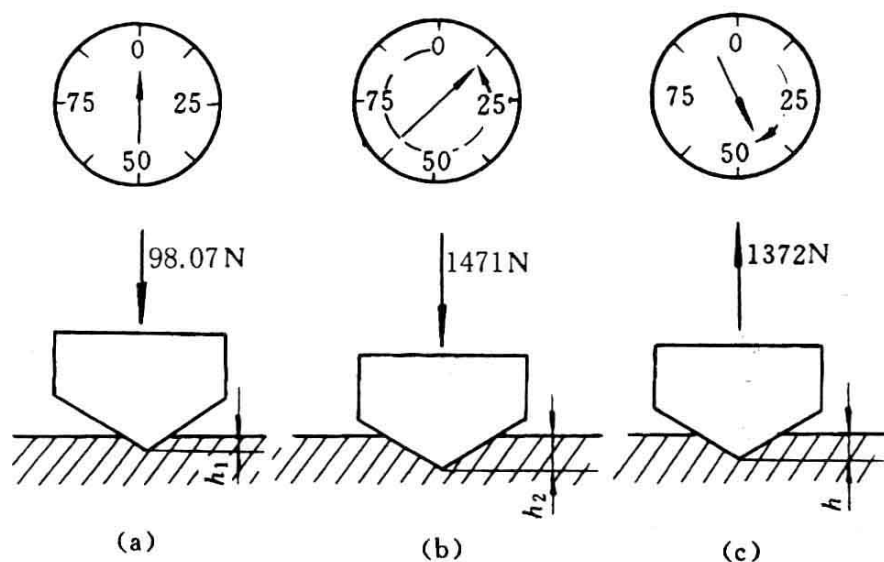


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

$h/0.002$ 作为硬度值,这样就符合材料越硬,硬度值越大的习惯说法。即

$$\text{洛氏硬度} = 100 - \frac{h}{0.002}$$

洛氏硬度没有单位,是一个无名数。实际测定时压痕深度 h 无需测量,洛氏硬度值也无需计算,试验机表盘上每一格相当于 0.002mm 深度,硬度值可直接从表盘上读出。

测定洛氏硬度时依据材料的材质及厚薄而选用不同的压头及载荷。标准规定洛氏硬度有 A、B、…、K 等九种硬度标尺,用 HR 表示洛氏硬度,前面为硬度数值,后面为使用的标尺。例如,50HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 50。硬度值越大,表明材料硬度越高。

常用的硬度标尺有 A、B、C 三种。表 1-4 为洛氏硬度试验规范。

表 1-4

常用洛氏硬度试验规范

(摘自 GB230—83)

洛氏硬度标尺	硬度符号	压头类型	初始试验力 F_0	主试验力 F_1	总试验力 F	洛氏硬度范围
A	HRA	金刚石圆锥	98.07N	490.3N	588.4N	20~88HRA
B	HRB	$\phi 1.5875\text{mm}$ 钢球	98.07N	882.6N	980.7N	20~100HRB
C	HRC	金刚石圆锥	98.07N	1.373kN	1.471kN	20~70HRC

洛氏硬度值 HRC 与布氏硬度值 HBS 之间,存在着如下关系

$$\text{HRC} = 124.1 \left(1 - \frac{12.7}{\sqrt{\text{HBS}}} \right)$$

当 $\text{HBS} = 220 \sim 500$ 时,其关系大致如下

$$\text{HRC} \approx \frac{1}{10} \text{HBS}$$

洛氏硬度的优点是测量范围大,从较软的有色金属到高硬度的硬质合金;从原材料到半成品或成品。不论材料厚薄都能测定,且不损伤材料或工件表面,操作简单迅速。缺点是压痕较小,对组织不均匀的材料测出的硬度值代表性、重复性差,因而硬度值不准确,需要进行多点测量。

洛氏硬度主要用于测定成品、半成品工具、量具、刃具的硬度。HRA 用来测定高硬度的薄片材料及硬质合金的硬度；HRB 用来测定软金属的硬度；HRC 应用最为广泛，主要用来测定调质钢、淬火钢的硬度。

三、维氏硬度

GB4340—84《金属维氏硬度试验方法》规定，维氏硬度试验原理是将一个相对面夹角为 136°的金刚石正四棱锥体压头以选定的试验力压入试样表面，经规定的保持时间后卸除试验力，被测金属表面出现一方形压痕，如图 1-5 所示。以压痕单位面积上承受的载荷大小作为维氏硬度值，用 HV 表示。即

$$HV = \frac{F}{A} \text{ kgf/mm}^2$$

式中 F ——载荷,kgf；

A ——压痕表面积 mm^2 。

当正四棱锥压入试件时，其压痕表面积为

$$A = \frac{d^2}{2\sin 68^\circ} = \frac{d^2}{1.8544} \text{ mm}^2$$

所以，维氏硬度 HV 为

$$HV = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

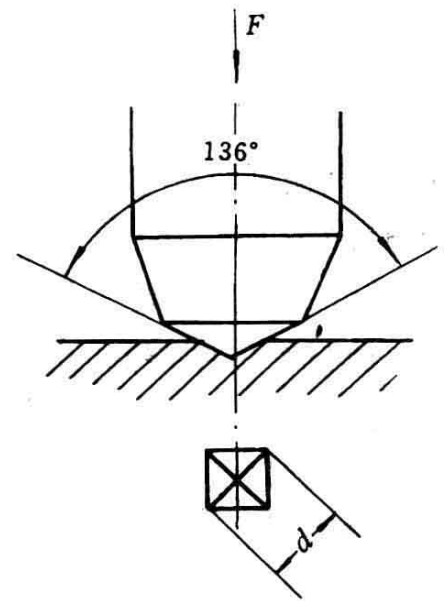


图 1-5 维氏硬度试验原理示意图

实际上，依据 d 的平均值，从维氏硬度表可直接查得硬度值。维氏硬度试验力规范见表 1-5。

表 1-5

维氏硬度试验力规范

(摘自 GB4340—84)

硬度符号	试验力/kgf(N)
HV5	5(49.03)
HV10	10(98.07)
HV20	20(196.1)
HV30	30(294.2)
HV50	50(490.3)
HV100	100(980.7)

维氏硬度的表示方法：维氏硬度用符号 HV 表示，单位是 kgf/mm^2 ，但通常不注出单位。符号前注明硬度值，符号后面按以下顺序用数值表示试验条件：

- ① 试验力；
- ② 试验力保持时间(10~15s 不标注)。

例如：640HV30 表示在 30kgf(294.2N)试验力作用下保持 10~15s 测得该材料的维氏硬度值为 640。640HV30/20 表示在 30kgf(294.2N)试验力作用下保持 20s 测定得维氏硬度值为 640。

维氏硬度试验不存在载荷与压头比例关系的影响，也不存在压头变形问题，且压痕轮廓