

全国煤炭高等职业教育机械类规划教材

金属

工艺学

(工程材料与材料成形工艺基础)

主编 康 力 张安义

煤炭工业出版社

全国煤炭高等职业教育机械类规划教材

金属工艺学

(工程材料与材料成形工艺基础)

主 编 康 力 张安义

副主编 薛宁平 徐 荣

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书是全国煤炭高等职业教育机械类规划教材之一。

全书共二十一章。主要内容有:金属材料及热处理;金属毛坯成形工艺(包括铸造、锻压和焊接);机械加工工艺(包括金属切削基础知识、金属切削机床基础知识、零件表面的加工知识、精密加工与特种加工、机械零件加工工艺设计与零件结构工艺性及钳工与装配基础知识);表面工程技术和非金属材料;金属工艺学实验及新工艺新技术等。

本教材是高等职业技术学院、高等专科院校机械类专业的教材,也兼顾近机类,适用于机制、机电一体化、数控、模具、机械化、机修、机电、汽修等专业,亦可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学(工程材料与材料成形工艺基础)/康力,
张安义主编. —北京:煤炭工业出版社, 2004
(2011.1 重印)

ISBN 978 - 7 - 5020 - 2587 - 8

I. 金… II. ①康…②张… III. 金属加工 - 工艺学
IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 123734 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京京科印刷有限公司 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm^{1/16} 印张 22^{3/4}

字数 553 千字 印数 5 001—6 000

2005 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 2 次印刷

社内编号 5358 定价 34.50 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

本书由中国煤炭教育协会和中国矿业大学北京教材编审室共同组织编写,是全国煤炭高等职业教育机械类规划教材之一。

近年来职业教育发展迅速,职业技术教育教学不断改革,高职高专学校人才培养规格定位于“高等技术应用性专门人才”。这类技术人才有其特定的知识和能力结构,他们需要较宽的知识面,适度的基础理论,较强的实践动手能力以及发现、分析和解决实际问题的能力。特别强调培养学生岗位适应能力,这对教学内容、教学方法和教学手段等都提出了新的要求。根据高职高专人才培养规格以及知识和能力结构要求,在分析高职高专金属工艺学教学现状和存在的问题及总结多年教学经验的基础上,在编写《金属工艺学》教材时体现了以下特点:

(1) 以教学大纲为依据,理论知识面及深度适宜。内容上注重基本原理、工艺特点,侧重应用技术和加工工艺;强调理论联系实际,加强实践训练,贯彻以应用为目的;以掌握概念,强化应用、扩大知识面为教学重点,以必需、够用为度的原则。

(2) 力求做到重点突出,深入浅出,基本工艺内容注意“少、精、严”,新工艺内容注意“新、宽、浅”,及时反映新技术、新经验、新成果。

(3) 编写格式上适当注意教材的系统性,注意前后课程分工、衔接问题,适当运用图表,以求形象、易懂,便于学习。

(4) 为帮助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,每章后都附有一定数量的思考题与习题。

(5) 为了培养实践能力,本教材在铸、锻、焊等章节中较其他有关教材增设了典型工件的工艺分析示例及金属工艺学实验。

(6) 书中插图、名词术语、技术条件、牌号、型号等均采用最新国家标准和法定计量单位。

本书按总课时 100 学时编写,带“*”号的章节为选学内容。

参加本书的编写人员有康力(绪论、第十章、第十四章、第十九章),刘秀艳(第一章),焦会玲(第二章、第三章、第二十章),张安义(第四章、第五章、第六章),刘晓艳(第七章、第八章、第九章、第十一章),姚新兆(第十二章),徐荣(第十三章、第十五章、第十六章、第十八章),薛宁平(第十七章),王连洪、刘秀艳(实验部分)。本书由康力、张安义任主编,薛宁平、徐荣任副主编。全书由康力统稿定稿。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 10 月

目 录

绪论	(1)
----------	-----

工 程 材 料

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	(10)
第四节 疲劳	(12)
本章小结	(13)
思考题与习题	(13)
第二章 金属与合金的晶体结构及结晶	(14)
第一节 金属的晶体结构和结晶	(14)
第二节 合金的晶体结构	(20)
本章小结	(22)
思考题与习题	(22)
第三章 铁碳合金相图与碳素钢	(23)
第一节 铁碳合金的基本相及组织	(23)
第二节 铁碳合金相图	(25)
第三节 碳钢	(33)
本章小结	(37)
思考题与习题	(38)
第四章 钢的热处理	(39)
第一节 概述	(39)
*第二节 钢在加热时的组织转变	(40)
第三节 钢在冷却时的组织转变	(42)
第四节 钢的普通热处理	(48)
第五节 钢的表面热处理	(60)
*第六节 其他热处理技术简介	(66)
本章小结	(67)
思考题与习题	(67)
第五章 合金钢	(69)
*第一节 合金元素在钢中的作用	(69)
第二节 合金钢的分类与编号	(72)
第三节 合金结构钢	(73)
第四节 合金工具钢	(81)
*第五节 特殊性能钢	(88)
本章小结	(92)

思考题与习题	(92)
第六章 铸铁	(94)
第一节 概述	(94)
第二节 常用普通铸铁	(95)
第三节 铸铁的热处理	(102)
* 第四节 特殊性能铸铁	(103)
本章小结	(105)
思考题与习题	(105)
第七章 有色金属及其合金	(106)
第一节 铝及铝合金	(106)
第二节 铜及铜合金	(110)
* 第三节 滑动轴承合金	(113)
* 第四节 粉末冶金及硬质合金	(116)
本章小结	(118)
思考题与习题	(118)
* 第八章 非金属材料及复合材料	(119)
第一节 高分子材料	(119)
第二节 陶瓷材料简介	(125)
第三节 复合材料	(126)
本章小结	(128)
思考题与习题	(128)
* 第九章 功能材料	(129)
本章小结	(133)
思考题与习题	(133)
第十章 表面工程技术	(134)
第一节 表面工程技术简介	(134)
第二节 表面强化处理	(135)
第三节 表面电镀与氧化处理	(137)
* 第四节 其他表面处理工艺简介	(140)
本章小结	(143)
思考题与习题	(143)
第十一章 零件和工具的选材及热处理	(144)
第一节 零件和工具的失效形式及选材原则	(144)
第二节 热处理的技术条件及工序位置	(146)
第三节 典型零件的选材及热处理	(148)
本章小结	(152)
思考题与习题	(152)

材料成形工艺

第十二章 金属铸造成形	(153)
第一节 普通铸造	(153)
* 第二节 金属的铸造性能	(157)

第三节 铸件质量与技术检验	(160)
第四节 铸件工艺设计	(164)
第五节 铸件结构工艺性	(167)
第六节 特种铸造	(170)
本章小结	(175)
思考题与习题	(176)
第十三章 金属锻压成形	(178)
第一节 锻压成形原理	(179)
* 第二节 金属的锻造性能与锻造比	(181)
第三节 自由锻造	(183)
第四节 模型锻造与胎膜锻造简介	(193)
第五节 锻件质量与技术检验	(196)
第六节 板料冲压	(197)
* 第七节 其他锻压工艺简介	(202)
本章小结	(205)
思考题与习题	(205)
第十四章 金属焊接成形	(207)
第一节 手工电弧焊	(207)
第二节 其他焊接方法	(214)
* 第三节 先进焊接和特种焊接简介	(219)
第四节 焊接质量与技术检验	(221)
第五节 常用金属材料的焊接	(227)
第六节 焊接结构设计	(231)
本章小结	(238)
思考题与习题	(238)
* 第十五章 机械零件毛坯的选择	(241)
第一节 毛坯选择的一般原则	(241)
第二节 常用机械零件毛坯的种类和选择	(241)
本章小结	(244)
思考题与习题	(244)
第十六章 金属切削加工的基本知识	(246)
第一节 切削运动和切削要素	(246)
第二节 金属切削刀具	(248)
* 第三节 切削过程及其物理现象	(251)
* 第四节 工件材料的切削加工性	(253)
第五节 零件的加工质量与检验	(254)
本章小结	(255)
思考题与习题	(255)
第十七章 金属切削机床及其加工	(256)
第一节 金属切削机床的分类与型号编制	(256)
第二节 车床及其加工	(258)
第三节 铣床及其加工	(266)

第四节 钻床、镗床及其加工	(271)
第五节 刨床、插床、拉床及其加工	(276)
* 第六节 磨床及其加工	(278)
* 第七节 螺纹和齿轮齿形加工	(281)
本章小结	(284)
思考题与习题	(284)
* 第十八章 精密、超精密加工与特种加工	(286)
第一节 精密和超精密加工	(286)
第二节 特种加工	(289)
本章小结	(293)
思考题与习题	(293)
第十九章 机械零件加工工艺设计与零件结构工艺性	(295)
第一节 零件加工工艺基础知识	(295)
第二节 机械加工工艺规程的制定	(296)
第三节 典型表面的加工分析	(299)
第四节 典型零件加工工艺设计示例	(303)
第五节 机械零件的结构工艺性	(309)
本章小结	(315)
思考题与习题	(315)
* 第二十章 钳工	(317)
第一节 概述	(317)
第二节 钳工基本操作	(318)
本章小结	(330)
思考题与习题	(330)

实 验 部 分

实验一 硬度实验	(331)
I 布氏硬度试验	(331)
II 洛氏硬度试验	(333)
实验二 冲击实验	(336)
实验三 铁碳合金平衡组织的观察	(338)
实验四 碳钢的常规热处理	(341)
实验五 合金钢、铸铁与非金属显微组织的观察	(345)
实验六 车刀几何角度的测量	(346)
附 录	(349)
参考文献	(356)

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。其内容包括金属材料及热处理、铸造、锻压、焊接、金属切削加工等多个学科的基本知识。是工科院校学生和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。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。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的炼钢、锻造和热处理技术,制造出“干将”、“莫邪”等名剑。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。到明朝,我国已经有了多种简易切削加工设备。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,我国的机械制造业获得了迅速发展,逐步建立起比较完整的工业生产体系,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、特殊性能合金新材料;建造出口远洋货轮、内燃机车、机床等机械设备以及核电站的安全建造、载人卫星的成功发射和回收、三峡工程顺利建设。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较高的水平!

随着科学技术的发展,各种新材料、新工艺和新技术的不断涌现,金属工艺正向着高质量、高生产率和低成本方向发展。先进的毛坯生产技术、非金属材料的快速发展;特别是人工合成高分子材料的发展,改变了以钢和铁为中心的时代;纳米技术、表面技术的广泛应用;电火花、电解、超声波、激光、电子束和离子束加工等工艺的出现,已突破传统的依靠机械能、切削力进行切削的范畴,可以加工各种难加工的材料、复杂的型面和某些具有特殊要求的零件,数控机床的出现,提高了更新频繁的小批量零件和形状复杂的零件加工的生产率及加工精度。

近年发展起来的以计算机为控制中心,完成加工、装卸、运输、管理的柔性制造系统,具有监视、诊断、修复、自动转位加工产品的功能,使多品种、中小批量生产实现了加工自动化,大大促进了自动化的进程,尤其是将计算机辅助设计与制造结合起来而形成的计算机集成制造系统,是加工自动化向智能化发展的又一关键性技术,并进一步朝着网络化、集成化和智能化的方向发展。

金属工艺学是一门综合性的技术基础课,是机械类和近机类专业的必修课之一。

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。使学生掌握常用切削加工基础理论、基本加工工艺方法、

工件的结构工艺性及机械加工工艺过程的基础知识,了解现代先进的制造技术和工艺知识。通过本课程的学习,具有增强学生的工程实践能力,对工程技术工作的适应能力和机械结构创新设计能力的作用,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、成分、组织、性能及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;初步了解机器零件的结构工艺性和加工工艺性;了解常用设备及使用范围;初步掌握选择毛坯和零件加工方法的基本知识。

金属工艺学又是一门实践性很强的课程,学习本课程时,首先应具备先修课程的和一定的工程实践的感性认识。一方面要学好物理、化学、工程力学、机械制图、公差等先修课程,另一方面要重视生产实践感性知识的积累。在教学安排上,一般将本课程教学安排在金工实习之后。在金工实习过程中应注意增长对产品生产和零件加工过程的感性知识,培养一定的操作技能,在此基础上再来学习本课程的内容,才有助于上升到理论认识的高度。其次,在学习过程中应注意理论联系实际。在学习本课程内容时,必须善于联系实习中遇到的各种实际问题,深入领会课程的内容,做到灵活运用和融会贯通,在扎实地掌握本课程的基本理论与知识的同时,努力提高分析和解决工程实际问题的能力。最后在学习本课程的同时,还要注意了解本学科与相关学科的最新技术成果及发展,以便拓宽知识面,不断地探索、发现新的规律和确立新的规范以适应当今社会经济的多变性和飞速发展的需要。

工 程 材 料

第一章 金属材料的力学性能

金属材料是目前应用最广的材料之一,这是因为金属材料具有优良的使用性能和工艺性能。使用性能指金属材料在使用过程中所表现出来的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能指金属材料在加工制造过程中所表现出的特性,包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削加工性能等。力学性能指金属材料在外力作用下所表现出来的性能,包括强度、硬度、塑性、韧性及疲劳强度等。

第一节 强度和塑性

一、强 度

强度是指金属材料在外力(载荷)作用下抵抗变形和断裂的能力。由于所受载荷的形式不同,金属材料的强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度等,各种强度之间有一定的联系。一般多以抗拉强度作为判别金属强度高低的的基本指标。金属材料的强度大小,可通过拉伸试验来测定。

(一) 拉伸试验

拉伸试验是指用静拉力对标准拉伸试样进行缓慢地轴向拉伸,直至拉断的一种试验方法。拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。被试验的材料要做成标准试样,常用标准试样横截面为圆形,根据国家标准规定,标准试样分为长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$),如图 1-1 所示。图中 d_0 为试样直径(mm), l_0 为标距长度(mm); d_1 为断裂处截面的直径, l_1 为试样拉断后的标距长度。

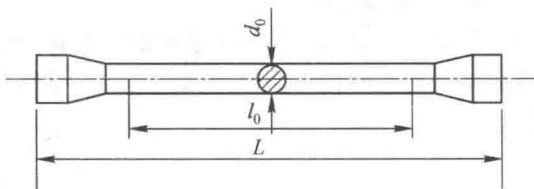


图 1-1 圆形标准拉伸试样

(二) 拉伸曲线

试验时,将标准试样装夹在拉伸试验机上,缓慢增加拉力,试样的标距长度将逐渐增加,直至拉断。拉伸机上设有自动记录装置,将试样开始加载直到断裂前所受的拉力 F ,与其所对应的试样标距 l_0 的伸长量 Δl 的关系绘成曲线,即为拉伸曲线。图 1-2 所示为低碳钢的拉伸曲线。图中纵坐标表示力 F ,单位为 N;横坐标表示绝对伸长 Δl ,单位为 mm。

由图可见,低碳钢的拉伸过程可分为以下几个阶段:

Oe——弹性变形阶段 当材料所受载荷从零增加到 F_e 时,拉伸曲线为直线,即试样的伸长量与载荷成正比。如果卸除载荷,试样仍能恢复到原来的尺寸,即试样的变形完全消失。这种随载荷消失而消失的变形叫弹性变形。这一阶段称为弹性变形阶段。

es——微量塑性变形阶段 继续增加载荷超过 F_e 后,试样将进一步伸长,此时若卸除载荷,弹性变形消失,而另一部分变形却不能消失,即试样不能恢复到原来的形状和尺寸,这种载荷消失后仍继续保留的变形称为塑性变形或永久变形。

ss'——屈服阶段 当载荷增加到 F_s 时,拉伸曲线出现了水平或锯齿形线段,这表明在载荷不增加或增加很少,甚至略有下降的情况下,试样却继续伸长,这种现象称为“屈服”。引起试样屈服的载荷 F_s ,称为屈服极限载荷。

s'b——大量塑性变形阶段 当载荷超过 F_s 后,试样的伸长量与载荷以曲线关系上升,但曲线的斜率比 **Oe** 阶段的斜率小,即载荷的增加量不大,而试样的伸长量却很大,这表明在超过 F_s 后,试样已开始产生大量的塑性变形。

bd——缩颈阶段 当载荷达到 b 点时,变形开始集中到试样最薄弱的部分,试样明显地出现局部直径变细的现象,称为“缩颈”现象。由于试样局部截面的逐渐缩小,对载荷的抵抗力下降,所以虽然载荷减小,但缩颈处的实际应力仍然是不断增加的,因此伸长量继续增加,直至 d 点断裂。

由图可知, b 点载荷 F_b 最大,故 F_b 叫做强度极限载荷。

在做拉伸试验时,并非所有的金属材料都具有这五个阶段。如铸铁等脆性材料,在拉断之前就没有明显的塑性变形阶段。

另外,在试样产生缩颈之前,由载荷所引起试样的伸长,基本上是在沿着整个试样标距长度内发生的,属于均匀变形;缩颈后,试样的伸长主要发生在颈部的一段长度内,属于集中变形。

(三) 强度指标

强度指标是用应力值来表示的。根据力学原理,试样受到载荷作用时,其内部产生大小与载荷相等而方向相反的拉力(即内力)。材料单位截面积上的内力,称为应力,用符号 σ 表示,即

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中 σ ——应力,MPa;

F ——内力,N;

S ——横截面积,mm²。

根据拉伸试验时获得的三种载荷(F_e 、 F_s 、 F_b),可以得出金属材料的三个主要强度指标。

1. 弹性极限

弹性极限是金属材料能保持完全弹性变形的最大应力,用 σ_e 表示,即

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

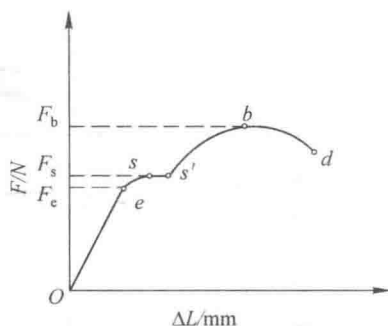


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

式中 σ_e ——弹性极限, MPa;
 F_e ——弹性变形范围内的最大载荷, N;
 S_0 ——试样原始横截面积, mm²。

2. 屈服强度

屈服强度(又叫屈服极限)是使材料产生屈服现象时的最小应力,用 σ_s 表示,即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 σ_s ——屈服强度, MPa;
 F_s ——使材料产生屈服的最小载荷, N;
 S_0 ——试样原始横截面积, mm²。

对于某些金属材料(如高碳钢、铜合金及铝合金等),由于屈服现象不明显,因此在工程上这类材料的屈服强度常以产生一定的微量塑性变形(一般用变形量为试样长度的 0.2% 表示)的应力为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示,称为条件屈服强度,即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0}$$

式中 $\sigma_{0.2}$ ——条件屈服强度, MPa;
 $F_{0.2}$ ——塑性变形量为试样长度的 0.2% 时的载荷, N;
 S_0 ——试样原始横截面积, mm²。

屈服强度是设计某些不允许产生塑性变形零件时的重要依据。例如,在设计汽车及拖拉机汽缸盖的螺栓时就是以屈服强度作为选材的依据,为了保证汽缸的密封性,缸盖螺栓不允许产生塑性变形。

3. 抗拉强度

试样断裂前能够承受的最大应力,称为抗拉强度(又叫强度极限),用 σ_b 表示,即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 σ_b ——抗拉强度, MPa;
 F_b ——试样断裂前所能承受的最大载荷, N;
 S_0 ——试样原始横截面积, mm²。

σ_b 愈大,表示金属材料的强度越高。低碳钢的屈服强度 σ_s 约为 240 MPa,抗拉强度 σ_b 约为 400 MPa。

σ_b 和 σ_s ($\sigma_{0.2}$) 都是金属材料的强度指标,也是一般的机器零件设计和选材的重要依据,常用金属材料强度指标的具体数值,可从有关手册中查到。对于钢材,可以从强度值得知屈服极限的近似值。

碳素钢 $\sigma_s \approx (0.56 \sim 0.6) \sigma_b$

合金钢 $\sigma_s \approx (0.75 \sim 0.8) \sigma_b$

金属材料的强度提高,零件或结构件的断面积就可能减小,重量减轻,或在较大载荷作用下不发生塑性变形或破坏,增加使用的可靠性。

工程上所用的金属材料,不仅希望具有较高的 σ_s ,还希望具有一定的屈强比 (σ_s / σ_b)。

屈强比越小,结构零件的可靠性越高,万一超载也能由于塑性变形而使金属的强度提高,不至于立即断裂。但若屈强比太小,则材料强度的有效利用率也很低。

二、塑性

塑性是材料在外力作用下发生永久变形而不破坏的能力。材料的塑性指标用伸长率和断面收缩率来表示,它们都是通过拉伸实验得到的。

(一) 伸长率

伸长率是指试样被拉断后,单位长度的伸长量。通常用百分数来表示。即

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 δ ——试样的伸长率;

l_0 ——试样的原始标距长度,mm;

l_1 ——试样拉断时的标距长度,mm。

用长短两种试样求得的伸长率分别用 δ_{10} 和 δ_5 表示,习惯上 δ_{10} 常用 δ 表示,对于同一种材料 $\delta_5 > \delta_{10}$,两者不能直接进行比较;对于不同的材料,只有采用相同长度的试样,实验测得的数值才能进行相互比较。

(二) 断面收缩率

断面收缩率是指试样被拉断后,单位横截面积的缩小量。也用百分数来表示。即

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

式中 ψ ——断面收缩率;

S_0 ——试样原始横截面积,mm²;

S_1 ——试样断裂处的横截面积,mm²。

δ 和 ψ 是材料的重要性能指标。它们的数值越大时,材料的塑性越好。如纯铁的 δ 可达 50%,而生铁的 $\delta < 1\%$,故纯铁的塑性比生铁的塑性好得多。金属材料的塑性好坏,对零件的加工和使用有十分重要意义。例如,低碳钢的塑性较好,故可以进行锻压;普通铸铁的塑性差,因而不能进行锻压,只能进行铸造。同时,由于材料具有一定的塑性,能够保证材料不致因稍有超载而突然断裂,这样就增加了材料使用的安全可靠性能。

第二节 硬 度

硬度是金属材料抵抗比它更硬物体压入表面的能力,即抵抗局部塑性变形的能力。它是金属材料常用的重要性能指标。它对机器零件,尤其是刀具、量具、模具等的质量有很大影响。硬度值愈大,其耐磨性就愈好,许多机器零件,根据工作条件的不同,要求硬度值在某一规定范围内,以保证足够的强度、耐磨性和使用寿命。因此,硬度是检验工、模具和机器零件的一项重要指标。由于测定硬度的试验设备比较简单,操作方便、迅速,又属无损检验,故在生产上和科研中应用都十分广泛。

测定硬度的方法比较多,其中常用的硬度测定法是压入法,它用一定的静载荷(压力)把压头压在金属表面上,然后通过测定压痕的面积或深度来确定其硬度。常用的硬度实验方法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种。

一、布氏硬度

(一) 实验原理

如图 1-3 所示,布氏硬度的测定原理是用一定大小的载荷 F ,把直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属表面,保持一定时间后卸除载荷,用金属表面压痕的面积 S 除载荷所得的商作为布氏硬度值。

布氏硬度值 = $\frac{F}{S} = 0.102 \frac{F}{\pi D h} = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

式中 D ——球体直径,mm;

F ——载荷,N;

d ——压痕平均直径,mm。

试验时测量出压痕的平均直径 d ,经计算或查表即可得出所测材料的布氏硬度值。

布氏硬度的符号:当压头为淬火钢球时,用 HBS 表示,适合于布氏硬度值在 450 以下的材料;当压头为硬质合金球时,用 HBW 表示,适合于布氏硬度值为 450~650 的材料。符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值,符号后面按压球直径、载荷及载荷保持时间(10 s~15 s 不标注)的顺序用数字表示试验条件。

例如,150HBS10/10000/30 表示用直径为 10 mm 的淬火钢球在 10 000 N 载荷作用下保持 30 s 测得的布氏硬度值为 150。500HBW5/7500 表示用直径为 5 mm 的硬质合金球在 7500 N 载荷作用下保持 10 s~15 s 测得的布氏硬度值为 500。

由于金属材料有硬有软、有厚有薄,如果采用一种标准的载荷 F 和压球直径 D ,就会出现:若对硬的材料合适,而对软的材料会发生压球陷入金属材料内的现象;若对厚的工件合适,而对薄的工件可能发生压穿的现象。因此在生产中进行布氏硬度试验时,要求使用大小不同的载荷 F 和压球直径 D ,具体情况见表 1-1。

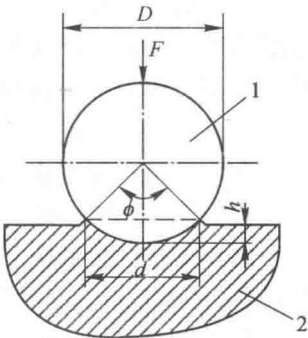


图 1-3 布氏硬度实验原理
1—钢球;2—被测试件

表 1-1 布氏硬度实验规范

材料种类	布氏硬度使用范围(HBS)	球直径 D/mm	$0.102 F/D^2$	试验力 F/N	试验力保持时间/s	备 注
钢、铸铁	≥ 140	10	30	29 420	10	压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的 2.5 倍； 两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍； 试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍。 试验后试样支撑面应无可见变形痕迹
		5		7 355		
		2.5		1 839		
	< 140	10	10	9 807	10~15	
		5		2 452		
		2.5		613		
非铁金属材料	≥ 130	10	30	29 420	30	
		5		7 355		
		2.5		1 839		
	35~130	10	10	9 807	30	
		5		2 452		
		2.5		613		
	< 35	10	2.5	2 452	60	
		5		613		
		2.5		153		

试验后压痕直径应在 $0.25D < d < 0.6D$ 的范围内,否则试验结果无效,应考虑换用其他载荷重作试验。因为若 d 值太小,灵敏度和准确性将随之降低, d 值太大,压痕的几何形状不能保持相似关系,影响试验结果的准确性。

当试验条件允许时,应尽量选用直径为 10 mm 的球体作压头。选用的 F/D^2 比值不同时布氏硬度值不能直接比较。

(二) 布氏硬度的优、缺点及应用

布氏硬度试验的优点是测定的数据准确、稳定,数据重复性强,常用于测定退火、正火、调质钢、铸铁及有色金属的硬度。其缺点是压痕较大,易损坏成品的表面,不能测定太薄的试样硬度。

布氏硬度主要用来测定铸铁、有色金属及退火钢等原材料、毛坯及半成品。

二、洛氏硬度

当被测定材料的硬度较高或试样较小时,需要用洛氏硬度实验机进行硬度测试。

(一) 实验原理

洛氏硬度试验,是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588 mm($1/16''$) 的淬火钢球作压头,在初试验力 F_0 及总试验力 F (初试验力 F_0 与主试验力 F_1 之和) 分别作用下压入金属表面,然后卸除主试验力 F_1 ,在初试验力 F_0 下测定残余压入深度,用深度的大小来表示材料的洛氏硬度值,并规定每压入 0.002 mm 为一个洛氏硬度单位。

洛氏硬度试验原理如图 1-4 所示。图中 0-0 为金刚石压头没有和试样接触时的位置,1-1 为压头在初载荷作用下压入试样 h_1 的位置;2-2 为压头在全部规定载荷(初载荷+主载荷)作用下压入 h_2 位置;3-3 为卸除主载荷保留初载荷后的位置 h_3 。这样,压痕的深度 $h = h_3 - h_1$,洛氏硬度的计算公式为

洛氏硬度值 = $C - \frac{h}{0.002}$

式中 h ——压痕的深度,mm;

C ——常数,当压头为淬火钢球时 $C = 130$,压头为金刚石圆锥时 $C = 100$ 。

材料越硬, h 越小,而所测得的洛氏硬度值越大。

洛氏硬度所加载荷根据被测材料本身硬度不同而作不同规定,组成不同的洛氏硬度标尺,其试验规范见表 1-2。

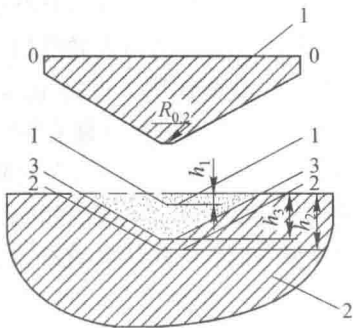


图 1-4 洛氏硬度试验原理

表 1-2 洛氏硬度试验规范

标尺符号	所用压头	总载荷/N		测量范围	应用举例
		初载荷	主载荷		
HRA	金刚石圆锥	100	500	70~85	适用于硬质合金、淬火工具钢、浅层表面硬化钢
HRB	1/16"钢球 ($\phi 1.588$ mm)	100	900	25~100	适用于有色金属,铸铁,退火、正火钢
HRC	金刚石圆锥	100	1 400	20~67	用于淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

注:HRA、HRC 所用刻度盘为 100,HRB 为 130。

(二) 洛氏硬度试验的优、缺点及应用

优点是:操作迅速、简便,可从表盘上直接读出硬度值,不必查表或计算,而且压痕小,可测量较薄工件的硬度。其缺点是精确性较差,硬度值重复性差,通常需要在材料的不同部位测试数次,取其平均值来代表材料的硬度。

淬火钢球压头适用于退火件、有色金属等较软材料的硬度测定;金刚石压头适用于淬火钢等较硬材料的硬度测定。

三、维氏硬度

(一) 实验原理

维氏硬度的测定原理基本上和布氏硬度相同,也是以单位压痕面积的力作为硬度值计量。不同的是所用压头锥面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体,如图 1-5 所示。

试验时在载荷 F 作用下,在试样表面上压出一个正方形锥面压痕。测量压痕对角线的平均长度 d ,用以计算压痕的面积 S ,以 F/S 的数值来表示试样的硬度,用符号 HV 表示,即

$$HV=0.102 \frac{F}{S}=\frac{2F\sin \frac{136^{\circ}}{2}}{d^2}=0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中 F ——载荷,N;

d ——压痕对角线的算术平均值,mm。

HV 可根据所测得的 d 值从维氏硬度表中直接查出。

由于维氏硬度所用的压头为正四棱锥,当载荷改变时,压痕的几何形状很相似,所以维氏硬度所用载荷可以随意选择(如 50 N、100 N、150 N、200 N 等)而所得到的硬度值是一样的。

维氏硬度标注时,在符号 HV 前方标出硬度值,在 HV 后面按载荷大小和保持载荷时间(10 s~15 s 不标出)的顺序用数字表示试验条件。

例如,640HV300 表示用 300 N 载荷保持 10 s~15 s 测定的维氏硬度为 640。640HV300/20 表示用 300 N 载荷保持 20 s 测定的维氏硬度值为 640。

(二) 维氏硬度试验的优、缺点及应用

维氏硬度可测软、硬金属,尤其是极薄零件和渗碳层、渗氮层的硬度。它测得的压痕轮廓清晰,数值较准确,而且不存在布氏硬度试验那种载荷与压头直径的比例关系的约束,也不存在压头变形问题。但是其硬度值需要测量压痕对角线,然后经计算或查表才能获得,效率不如洛氏硬度试验高,所以不宜用于成批零件的常规检验。

布氏、洛氏、维氏三种硬度值没有直接的换算公式,如要换算,需要查换算表(表 1-3)。

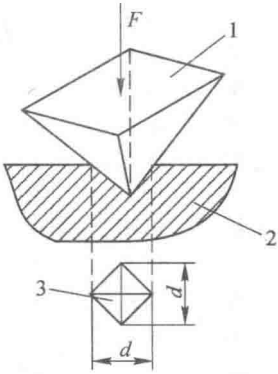


图 1-5 维氏硬度实验原理

1—金刚石正四棱锥压头;
2—试件;3—压痕

表 1-3 洛氏硬度 HRC 与其他硬度换算表

洛氏硬度		布氏硬度 HBS10/30000	维氏硬度 HV	强度 σ_b /MPa	洛氏硬度		布氏硬度 HBS10/30000	维氏硬度 HV	强度 σ_b /MPa
HRC	HRA				HRC	HRA			
65	83.6	—	798	—	42	71.7	390	400	1 350
64	83.1	—	774	—	41	71.1	379	389	1 310
63	82.6	—	751	—	40	70.6	369	378	1 275
62	82.1	—	730	—	39	70.1	359	368	1 235