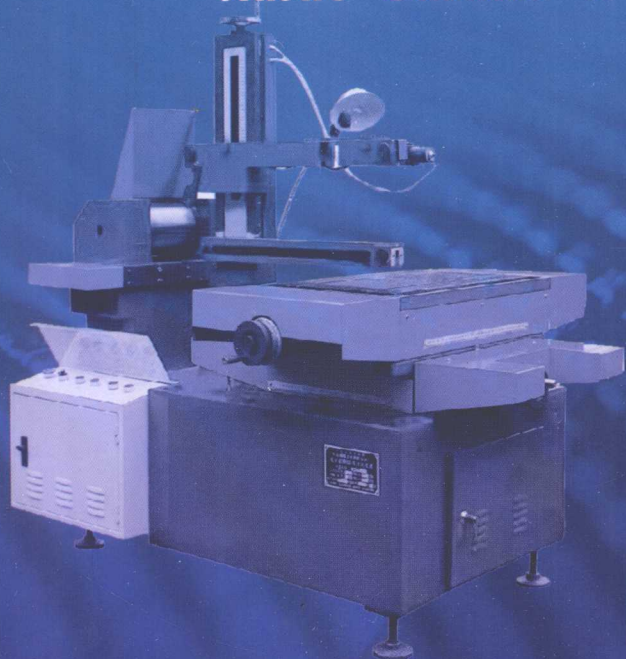


职业院校重点专业规划教材
数控技术应用专业教学用书

金属材料及加工工艺

JINSHU CAILIAO JI JIAGONG GONGYI

张炳岭 ● 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

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》等文件的要求,结合新时期高等职业技术学校“金属工艺学”课程教学大纲编写而成的。本书共分18章,内容包括金属的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、钢铁材料生产过程概述、非合金钢、低合金钢及合金钢、铸铁、非铁金属及其合金、硬质合金、其他工程材料、铸造、锻压、焊接、切削加工基础知识、常用切削加工设备及功用、特种加工简介、机械制造工艺过程概述等。

本书配有电子教案,使用本书的老师可登录机械工业出版社教材网 <http://www.cmpedu.com> 下载。

本书适合作为高职高专院校、重点中职学校机械及其相关专业的教学用书,也可作为相关工程技术人员参考或培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及加工工艺/张炳岭主编. —北京:机械工业出版社, 2009.7

职业教育院校重点专业规划教材. 数控技术应用专业
教学用书

ISBN 978-7-111-27363-9

I. 金… II. 张… III. ①金属材料-高等学校:技术学校-教材②金属加工-工艺-高等学校:技术学校-教材
IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第089907号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:汪光灿 责任编辑:王佳玮

版式设计:张世琴 责任校对:吴美英

封面设计:陈沛 责任印制:乔宇

北京京丰印刷厂印刷

2009年7月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·15.5印张·384千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27363-9

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379193

封面防伪标均为盗版

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》等文件的要求,结合相关教学大纲及高职高专学生实际情况而编写的,是机械及其相关专业学生的通用教材。本书的基本内容为金属学及热处理基础知识、机械工程材料及近代机械制造中广泛采用的热加工、冷加工方法。通过本书的学习可使读者了解金属的微观组织结构、使用性能及用途,了解钢的常规热处理方法及金属材料热加工、冷加工的工艺过程。

知识经济的迅猛发展对人的素质和能力提出了更高的要求。企业中,完善的管理、先进的设计是获得高质量产品的前提,但如果没有高素质、高水平的一线操作者和管理者作保证,也无法实现预期的产量及质量目标,因此,本书的出发点是:①理论联系实际,培养学生的综合应用能力,引导学生运用所学理论知识指导实践。②结合实验课和实习课,使学生比较系统地了解金属性能及机械制造过程的每一个环节,培养学生的观察能力和实际动手能力,造就既有一定专业特长、又有广泛知识面的“T”型人才。

本书在编写过程中,力求文字精炼、准确、通俗易懂;尽量做到理论联系实际,使内容丰富、新颖、由浅入深;突出理论知识的同时,注重实践性和实用性;在时效性方面,尽量反映机械制造领域的新技术、新材料、新工艺及新设备,使学生的认识跟上现代科技发展的步伐,符合职业技术教育的新要求。

本书由廊坊职业技术学院张炳岭任主编,张士杰、段红霞任副主编。其中,绪论、第五章至第十二章由张炳岭编写;第一章至第四章由张士杰编写;第十三章至第十五章由段红霞编写,第十六章由赵玲亚编写;第十七章、第十八章由孙冬菊编写。本书由北华航天工业学院赵东方教授主审。

本书的编写过程中,廊坊职业技术学院、北华航天工业学院及廊坊市管道技术学院等单位的教师给予了指导和帮助,书中所用金相图由廊坊职业技术学院金工实验室提供,在此一并表示感谢!

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在缺点与错误,恳请读者予以批评指正。

编 者

目 录

前言 绪论

第一篇 金属学及热处理基础

第一章 金属的性能..... 5	第三节 铁碳合金相图在生产中的应用 40
第一节 金属的力学性能..... 5	练习题 (3) 43
第二节 金属的物理性能和化学性能 13	第四章 钢的热处理 44
第三节 金属的工艺性能 15	第一节 钢在加热时的组织转变 44
练习题 (1) 16	第二节 钢在冷却时的组织转变 47
第二章 金属的晶体结构与结晶 17	第三节 退火与正火 54
第一节 金属的晶体结构 17	第四节 淬火与回火 56
第二节 纯金属的结晶 21	第五节 钢的表面热处理与化学热处理 61
第三节 金属的同素异构转变 24	第六节 热处理新技术简介 64
第四节 合金的晶体结构 25	练习题 (4) 65
第五节 二元合金相图 28	第五章 钢铁材料生产过程概述 67
练习题 (2) 30	第一节 炼铁过程概述 67
第三章 铁碳合金 32	第二节 炼钢过程概述 68
第一节 铁碳合金的基本相 32	练习题 (5) 71
第二节 铁碳合金相图 34	

第二篇 机械工程材料

第六章 非合金钢 75	第二节 低合金钢、合金钢的分类及牌号 86
第一节 常存杂质元素对钢性能的影响 75	第三节 低合金钢 88
第二节 非合金钢的分类及编号方法 76	第四节 合金钢 89
第三节 常用非合金钢 77	练习题 (7) 104
练习题 (6) 82	第八章 铸铁 106
第七章 低合金钢及合金钢 84	第一节 铸铁概述 106
第一节 合金元素在钢中的作用 84	第二节 常用普通铸铁 107
	第三节 合金铸铁 113

练习题 (8)	114	第二节 硬质合金材料简介	129
第九章 非铁金属及其合金	116	练习题 (10)	131
第一节 铝及铝合金	116	第十一章 其他工程材料	132
第二节 铜及铜合金	120	第一节 高分子材料	132
第三节 轴承合金	124	第二节 陶瓷材料	136
练习题 (9)	127	第三节 复合材料	138
第十章 硬质合金	128	练习题 (11)	140
第一节 硬质合金制备工艺	128		

第三篇 机械加工工艺基础

第十二章 铸造	143	练习题 (14)	186
第一节 铸造概述	143	第十五章 切削加工基础知识	187
第二节 砂型铸造	143	第一节 切削加工概述	187
第三节 零件结构的铸造工艺性 分析	146	第二节 切削运动与切削用量	187
第四节 铸造工艺设计	149	第三节 切削刀具	189
第五节 铸件常见缺陷	151	第四节 切削过程中的物理现象	192
第六节 金属的铸造性能	152	练习题 (15)	195
第七节 特种铸造	154	第十六章 常用切削加工设备及其 功用	196
第八节 铸造新技术简介	157	第一节 机床的分类与型号	196
练习题 (12)	158	第二节 车床及其功用	197
第十三章 锻压	159	第三节 钻床、镗床及其功用	203
第一节 锻压概述	159	第四节 刨床和插床	205
第二节 金属的塑性变形、加热对 组织和性能的影响	160	第五节 铣床	207
第三节 锻造工艺	163	第六节 磨床	209
第四节 锻件的结构工艺性	166	第七节 齿轮加工设备	211
第五节 冲压	168	第八节 精密加工简介	214
第六节 锻压新技术简介	169	第九节 切削加工零件的结构工 艺性	216
练习题 (13)	170	练习题 (16)	217
第十四章 焊接	172	第十七章 特种加工简介	219
第一节 焊接概述	172	第一节 特种加工概述	219
第二节 常用焊接方法	174	第二节 特种加工方法简介	220
第三节 其他焊接方法	180	练习题 (17)	224
第四节 焊接变形与焊接缺陷	182	第十八章 机械制造工艺过程 概述	225
第五节 焊件的结构工艺性	184	第一节 材料及加工方法的	
第六节 焊接新技术简介	185		

选择.....	225	基准.....	230
第二节 材料的合理使用.....	226	第六节 零件加工工艺路线的	
第三节 典型零件选材实例.....	227	制定.....	232
第四节 机械加工工艺流程		练习题 (18)	234
概述.....	229	附录 布氏硬度换算表.....	235
第五节 工件的安装与定位		参考文献.....	242

绪 论

一、本课程的性质和任务

机械工程材料主要包括金属材料和非金属材料两大类，它是人们生产和生活的物质基础，是经济和社会发展的先决条件，其产量和质量标志着一个国家的经济发展水平，历史学家也以此来划分历史发展的不同阶段。

通过学习本课程，可以系统地了解生产、生活中一些常用金属材料的结构、性能及应用范围，帮助我们在进行机械设计、加工、应用等方面更合理、更准确地进行选择，避免不必要的浪费。金属材料在现代化工业、农业、国防和科学技术等领域，都起着极其重要的、不可替代的作用，是使用量最多的机械工程材料。无论是最简单的日用品，还是复杂的航空、航天高科技产品，再如汽车、拖拉机、轮船、飞机及武器等，都大量地使用着不同种类的金属材料，在很多机械产品中，金属材料所占的比例达 80% ~ 90% 甚至更高。近年来，随着世界工业的迅猛发展，特别是大规模生产钢铁工艺的出现，金属材料的消耗量急剧上升，在促进科技及社会快速发展的同时，也造成地球蕴藏的金属资源急速减少。为了维护人类持续发展的大局，世界各国都在积极采取措施，研究和开发新材料、新工艺，最大限度地减少金属材料的消耗，努力寻找金属材料的替代品。

20 世纪中期，随着社会的不断进步及环保意识的不断增强，涌现出品种众多的非金属材料，如塑料、橡胶、陶瓷及复合材料等。如今，这些非金属材料正在得到进一步改进和运用，在一定程度上替代了金属材料，甚至有些非金属材料在使用性能方面超过了金属材料，从而减缓了金属材料的消耗。

金属材料的广泛应用，一方面是因为金属材料具有良好的使用性能，如较高的强度、硬度，适当的塑性、韧性等；另一方面还因为它具有较好的工艺性能，如铸造性能、锻造性能、热处理性能、焊接性能及切削加工性能等，并且来源丰富。目前，随着科技的不断进步，在机械零件的加工工艺方面也出现了日新月异的变化，无屑加工、特种加工等新的工艺方法不断涌现，如粉末冶金、电火花加工、电解加工、超声波加工、快速成型等。此外，激光技术与计算机技术在机械加工过程中的应用，使得加工设备不断更新，工艺方法不断改进，特别是以计算机为控制中心的 FMC（柔性制造单元）和 FMs（柔性制造系统）等系统的广泛运用，使得机械制造业的加工能力及适应性进一步增强，零件的加工质量和加工效率也大幅度提高，从而进一步提高了金属材料的利用率，减少了工艺损耗，节省了金属资源。

概括地讲，机械产品的制造工艺过程可分四大步：第一步是原材料的生产，如钢铁材料、非铁金属（有色金属）材料及非金属材料等。金属材料一般采用冶金方法获得，而非金属材料一般采用人工合成方法获得。第二步是毛坯的制造，大型的、结构复杂的毛坯通常采用铸造、锻造或焊接等方法获得，形状比较简单的毛坯可直接从型材上截取。第三步是将毛坯按设计要求加工成零件，通常采取切削加工方法，如车削、铣削、镗削等；也可采用特种加工方法，如电火花加工、超声波加工、激光加工等。第四步是装配，将加工好的零件按结构要求装配成具有一定形状和功能的机器或机构。在这四个步骤中，原材料及毛坯加工方

法的选择是关键的一环,选择不当将会造成材料及工时的浪费,并对零件的质量和性能产生直接的影响。另外,适当的热处理可大大提高金属材料的使用性能,如强度、硬度、塑性、韧性等。因此,为了更合理地使用金属材料和提高产品质量,作为工程技术及相关人员,必须了解金属材料的成分、组织、性能及它们之间的关系,了解它们的用途及成形方法,合理组织生产,最大限度地发挥金属材料的潜能,降低成本,提高效率。

二、金属工艺发展史

以铸造技术为例,我国是世界冶铸术的发源地,早在公元前513年,晋国就已铸成了有刑书的大铁鼎,称为铸型鼎;公元前119年,汉武帝刘彻宣布了“盐铁官营”政策,促进了我国历史上铸铁技术又一次大发展;隋唐以后,钢铁产量有了大幅度上升,锻、拔、大型铸件的铸造等各种加工工艺都有了进一步的提高和发展。五代周广顺三年(公元953年),铸造了重十万斤以上,高5.3m,长6.8m,宽3m的沧州大铁狮。宋代在太原晋祠铸有四个大铁人,元代铸造了重达一万六千斤的大铁龟。明朝宋应星在广泛实践的基础上,对我国古代的科学技术(其中包括冶铸技术)进行了系统的总结,写出了著名的《天工开物》,其中对冶铁、炼钢、锻铁、淬火等金属加工工艺的描述与现在有关加工方法非常接近,对我国金属加工工艺的发展起了很好的促进作用。

由此可见,我国劳动人民在历史的金属加工工艺史上曾经写下了光辉的一页,作出了卓越的贡献。但到了近代,特别是新中国成立以前,由于封建制度的腐败加上国外列强的侵略,严重阻碍了金属加工工艺的发展。

近年来,我国的在冶金及机械制造方面有了突飞猛进的发展,远程导弹、载人飞船、航天飞机、人造卫星、超导材料、纳米材料等重大项目的成功,带动了其他工业技术的飞速发展,标志着我国在工程材料及加工工艺方面都有了较高的水平,跟上了时代的步伐。

三、本书特点

本书共分三大部分,即金属学及热处理基础、机械工程材料和机械加工工艺基础。“金属学及热处理基础”部分主要介绍了金属的微观组织结构及其与金属性能之间的关系,其中以铁碳合金为主线,重点介绍铁碳合金相图及其在生产实际中的运用,同时还介绍了金属热处理工艺及钢铁冶炼技术。“机械工程材料”部分主要介绍了生产和生活中常用的金属和非金属材料,其中以金属材料为主线,重点介绍钢铁材料的种类、牌号、组织、性能、应用范围以及常用的热处理方法等。“机械加工工艺基础”部分主要介绍的是加工金属(或非金属)零件时经常采用的工艺方法及所用的设备、工具等,其中包括热加工工艺方法(铸造、锻造、焊接)和冷加工工艺方法(切削加工)两部分内容。因此,本书是融多种基础知识于一体的专业基础教材,其特点是:内容广、实践性强、综合性突出,考虑到读者的承受能力及实用性,对一些高深的基础理论部分进行了删改,力争做到深入浅出、通俗易懂。但名词多、概念多、材料种类多、内容抽象,理解起来较困难,因此要求读者在学习基本理论及基本概念的同时,注重理论联系实际,结合实验、实训,加深对基础知识的掌握。

通过学习本书,可帮助读者了解、理解和掌握以下知识:

- 1) 常用材料的性能、用途及选用原则。
- 2) 金属的冶炼过程及零件的冷加工、热加工工艺方法。
- 3) 常用加工设备的构造、工作原理及用途。
- 4) 与本课程有关的新技术、新工艺、新材料和新设备的发展概况。

第一篇

金属学及热处理基础

金属可分为纯金属和合金两大类，它们都是由各类金属原子“堆积”而成的，而这种堆积是有规律的。换句话说，固态下的金属内部原子都是按照一定方式有规律地排列着，正是由于原子排列方式的不同，导致金属宏观性质上的千差万别，如铜的熔点为 1083°C ，密度 $8.9\text{g}/\text{cm}^3$ ，化学性质稳定；铝的熔点为 660°C ，密度为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ ，化学性质较活泼；铁的熔点为 1538°C ，密度 $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，力学性能较高等。即使同一种金属材料，在不同的环境及加工工艺条件下表现出来的性质也不相同，这种差异完全是由金属内部的化学成分和组织结构所决定的。因此，研究金属与合金的内部结构及其变化规律，有助于正确了解和选用金属材料，合理确定金属加工工艺。

第一章 金属的性能

为了正确、经济、合理地使用金属材料，应充分了解和掌握金属的性能，尤其在机械制造业中，金属材料由于具有许多良好的性能，被广泛地用于制造生产和生活用品。

金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能，包括力学性能、物理性能、化学性能等。工艺性能是指金属材料在制造加工过程中反映出来的性能，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。

第一节 金属的力学性能

金属力学性能是指金属在力的作用下所显示出的，与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能。

金属的力学性能是使用性能的必要条件，是设计和制造机械零件或工具的重要依据。根据金属受力特点的不同，将表现出各种不同的特性，显示出各种不同的力学性能。金属的力学性能主要有强度、塑性、韧性、硬度和疲劳强度等。

一、强度

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同，可以分为静载荷、冲击载荷及循环载荷三种。静载荷是指大小不变或变化过程缓慢的载荷。金属在静载荷作用下，抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等形式，相应的强度也就有抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等名称或判据。一般情况下多以抗拉强度作为判别金属强度高低的依据。

金属材料的抗拉强度和塑性是通过拉伸试验测定的。

1. 拉伸试样

在国家标准中，对拉伸试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。通常采用圆柱形拉伸试样，如图 1-1 所示。

图中 d_0 为试样的原始直径， l_0 为试样的原始标距长度。

2. 力-伸长曲线

力-伸长曲线是指拉伸试验中记录的拉伸力 F 与试样伸长量 Δl 之间的关系曲线，在拉伸过程中，由拉伸试验机自动绘出。图 1-2 所示为低碳钢试样的力-伸长曲线。图中纵坐标表示力 F ，单位为 N；横坐标表示试样伸长量 Δl ，单位为 mm。

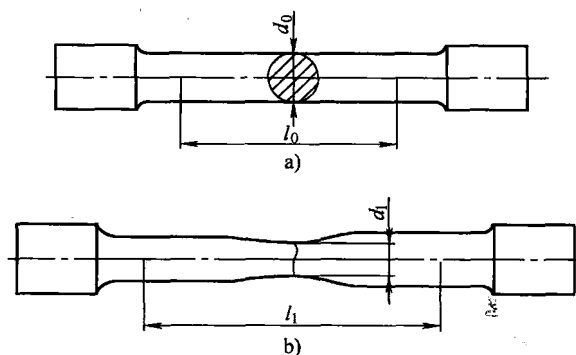


图 1-1 圆柱形拉伸试样
a) 拉伸前 b) 拉断后

由图可知,低碳钢试样在拉伸过程中,明显地表现出下面几个变形阶段:

(1) Oe ——弹性变形阶段 在力-伸长曲线图中, Oe 段为一斜直线,说明在该阶段试样的伸长量 Δl 与拉伸力 F 之间成正比例关系,当拉伸力 F 增加时试样的伸长量 Δl 随之增加,去除拉伸力后试样完全恢复到原始的形状及尺寸,表现为弹性变形。

(2) es ——屈服阶段 当拉伸力不断增加超过 F_e 时,试样继续伸长,但此时卸掉拉伸力,试样不能恢复原来的形状及尺寸,这种不能随拉伸力的去除而消失的变形称为塑性变形。当拉伸力继续增加到 F_s 时,力-伸长曲线出现平台或锯齿状,说明在拉伸力基本不变的情况下,试样的塑性变形量仍增加,这种现象称为屈服。 F_s 称为屈服拉伸力。

(3) sb ——冷变形强化阶段 屈服后,试样开始出现明显的塑性变形。随着塑性变形量的增加,试样抵抗变形的能力逐渐增加,这种现象称为冷变形强化。在力-伸长曲线上表现为一段上升曲线,该阶段试样的变形是均匀发生的。 F_b 为试样拉断前能承受的最大拉伸力。

(4) bk ——缩颈与断裂阶段 当拉伸力达到 F_b 时,试样的直径发生局部收缩,产生“缩颈”现象。由于缩颈使试样局部截面减小,试样变形所需的拉伸力也随之降低,这时变形主要集中在缩颈部位,最终试样被拉断。缩颈现象在力-伸长曲线上表现为一段下降的曲线。

此外,工程上使用的某些金属材料,受载荷作用时没有明显的屈服现象,如高碳钢、铸铁等。图 1-3 所示为铸铁的力-伸长曲线。

3. 强度指标

(1) 屈服点与屈服强度 在拉伸试验过程中,拉伸力不增加(保持恒定),试样仍然能继续伸长(变形)时的应力称为屈服点,用符号 σ_s 表示,单位为 MPa。

对于无明显屈服现象的金属材料(如高碳钢、铸铁等),可用屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 是指试样卸除拉伸力后,其标距部分的残余伸长率达到 0.2% 时的应力。

屈服点 σ_s 和屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 是工程上极为重要的力学性能指标,是大多数机械零件设计和选材的依据,是评定金属材料性能的重要参数。

(2) 抗拉强度 试样在拉断前所承受的最大应力称为抗拉强度,用符号 σ_b 表示,单位为 MPa。

零件在工作中所承受的应力,不应超过抗拉强度,否则会导致断裂。有些脆性材料,在拉伸试验时 $\sigma_{0.2}$ 难以测出,因此,用脆性材料制作机器零件或工程构件时,常以 σ_b 作为设计和选材的依据,并选用正当的安全系数。 σ_b 也是评定金属材料性能的重要参数。

二、塑性

塑性是指金属材料在断裂前产生塑性变形的能力,通常用伸长率和断面收缩率来表示。

1. 断后伸长率

试样拉断后,标距的伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率,用符号 δ 表示。 δ 值可

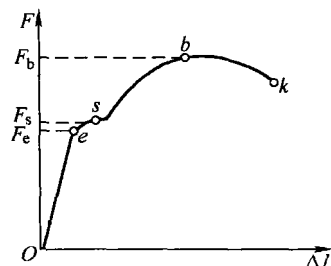


图 1-2 低碳钢的力-伸长曲线

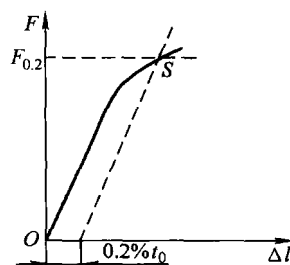


图 1-3 铸铁的力-伸长曲线

用下式计算

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

式中 l_1 ——拉断试样对接后测出的标距长度 (mm);

l_0 ——试样原始标距长度 (mm)。

应当指出,同一材料的试样长短不同,测得的伸长率数值是不相等的,因此,在比较不同材料伸长率时,应采用同样尺寸规格的试样。而断面收缩率与试样的尺寸因素无关。

2. 断面收缩率

试样拉断后,缩颈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。用符号 ψ 表示。 ψ 值可用下式计算

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

式中 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处最小横截面积 (mm^2)。

金属材料的断后伸长率和断面收缩率数值越大,说明其塑性越好。塑性直接影响到零件的成型加工及使用,塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等工艺,而且在使用时一旦超载,由于塑性变形能避免突然断裂,所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外,还必须具有一定的塑性。一般说来,断后伸长率达 5% 或断面收缩率达 10% 的材料,即可满足绝大多数零件的要求。

三、硬度

硬度是衡量金属软硬程度的一种性能指标,是指金属抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度是金属材料重要的力学性能之一,通常,材料的硬度越高,则耐磨性越好,故常将硬度值作为衡量材料耐磨性的重要指标。

测试硬度的方法很多,常用压入法测量,有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法三种。

1. 布氏硬度

(1) 测试原理 使用一定直径的球体(硬质合金球),以规定的试验力压入试样表面,经规定的保持时间后,去除试验力,测量试样表面的压痕直径,然后计算其硬度值,如图 1-4 所示。

布氏硬度值是指球面压痕单位表面积上所承受的平均压力,用符号 HBW 表示。布氏硬度值可用下式计算

$$\text{HBW} = \frac{F}{S} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力 (N);

S ——球面压痕表面积 (mm^2);

D ——球体直径 (mm);

d ——压痕平均直径 (mm)。

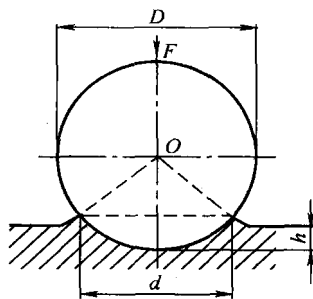


图 1-4 布氏硬度试验原理图

从计算公式中可以看出,当试验力 F 和压头球体直径 D 一定时,布氏硬度值仅与压痕直径 d 的大小有关, d 越大,HBW 值越小,表明材料越软;反之, d 越小,HBW 值越大,表明材料越硬。实际测试时,不必用上述公式计算,试验时一般用刻度放大镜测量出压痕直径 d ,然后根据 d 的大小查布氏硬度表得出所测的硬度值。

(2) 布氏硬度试验技术条件 布氏硬度试验时,压头球体直径 D 、试验力 F 和试验力保持时间 t ,应根据被测金属的种类、硬度值范围及试样的厚度进行选择,见表 1-1。

表 1-1 布氏硬度试验的技术条件

材 料	布氏硬度/HBW	球直径/mm	$0.102F/D^2$	试验力/N	试验力保持时间/s	注意事项
钢铁材料	≥ 140	10	30	29420	10	试样厚度应不小于压痕深度的 10 倍。试验后, 试样边缘及背面应无可见变形痕迹 压痕中心距试样边缘距离应不小于压痕直径的 2.5 倍 相邻两压痕中心距离应不小于压痕直径的 4 倍
		5		7355		
		2.5		1839		
	< 140	10	10	9807	10 ~ 15	
		5		2452		
		2.5		613		
非铁金属	≥ 130	10	30	29420	30	
		5		7355		
		2.5		1839		
	36 ~ 130	10	10	9807	30	
		5		2452		
		2.5		613		
	8 ~ 35	10	2.5	2452	60	
		5		613		
		2.5		153		

布氏硬度的表示方法是,测定的硬度数值标注在符号 HBW 的前面,符号后面按球体直径、试验力、试验力保持时间 (10 ~ 15s 不标注) 的顺序,用相应的数字表示试验条件。

例如:175HBW10/1000/30,表示用直径 10mm 的硬质合金球,在 9807N 试验力的作用下,保持 30s 时测得的布氏硬度值为 175。550HBW5/750,表示用直径 5mm 的硬质合金球,在 7355N 试验力的作用下,保持 10s ~ 15s 时测得的布氏硬度值为 550。

(3) 优缺点及适用范围 布氏硬度试验时的试验力大,球体直径大,因而获得的压痕直径也大,能在较大范围内反映被测金属的平均硬度,试验结果比较准确。

由于不同金属需要不同压头直径和试验力,压痕直径的测量比较费时,所以布氏硬度试验操作比较缓慢。在进行高硬度金属测试时,球体本身变形会影响试验结果的准确性。又因其压痕较大,要损伤金属的表面,不宜测量成品件或薄件。布氏硬度主要适用于测定灰铸铁、非铁金属及经退火、正火或调质处理的钢材等硬度不是很高的材料。

2. 洛氏硬度

(1) 测试原理 洛氏硬度试验是用金刚石圆锥、硬质合金球或钢球作压头,在初试验力和主试验力的先后作用下,压入试样的表面,经规定保持时间后卸除主试验力,在保留初试验力的情况下,根据测量的压痕深度来计算洛氏硬度值,如图 1-5 所示。

进行洛氏硬度试验时,先加初试验力 F_0 ,压头压入试样表面,深度为 h_1 ,目的是为了消除因试样表面不平整而造成

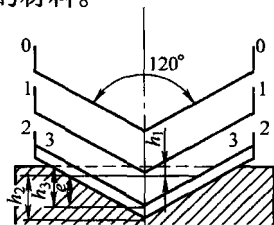


图 1-5 洛氏硬度试验原理图

的误差。然后再加主试验力 F_1 ，在总试验力 $(F_0 + F_1)$ 的作用下，压头压入深度为 h_2 。卸除主试验力，保持初试验力，由于金属弹性变形的恢复，使压头回升到压痕深度为 h_3 的位置，那么由主试验力所引起的塑性变形而使压头压入试样表面的深度 $e = h_3 - h_1$ ，称为残余压入深度。显然， e 值越大，被测金属的硬度越低，为了符合数值越大，硬度越高的习惯，以每标尺单位压痕深度作为一个硬度单位，并用一个常数 K 减去该比值，由此获得的硬度值称为洛氏硬度，用符号 HR 表示。计算公式如下

$$HR = K - \frac{e}{S}$$

式中 K ——常数，根据压头的不同取 100 或 130；

e ——压痕深度 (mm)；

S ——给定标尺的单位，常为 0.001mm 或 0.002mm。

洛氏硬度没有单位，试验时硬度值可直接从洛氏硬度计的刻度盘上读出。

(2) 常用洛氏硬度标尺及其适用范围 由于试验时选用的压头和总试验力的不同，洛氏硬度的测量尺度也就不同，常用的洛氏硬度标尺有 HRA、HRB、HRC 等，其中 HRC 标尺应用较为广泛，一般经淬火处理的钢或工具都采用 HRC 测量。三种洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围见表 1-2。

表 1-2 常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

标尺	硬度符号	压头	初试验力 /N	主试验力 /N	总试验力 /N	测量范围	应用举例
A	HRA	金刚石圆锥	98.07	490.3	588.4	20 ~ 88HRA	硬质合金、表面淬火层、渗碳层等
B	HRB	直径 1.5875mm 球	98.07	882.6	980.7	20 ~ 100HRB	退火或正火钢、非铁金属等
C	HRC	金刚石圆锥	98.07	1373	1471.1	20 ~ 70HRC	调质钢、淬火钢等

(3) 优缺点 洛氏硬度试验压痕较小，对试样表面损伤小，可用来测定成品、半成品或较薄工件的硬度；试验操作简便，可直接从刻度盘上读出硬度值；由于采用不同的硬度标尺，洛氏硬度的测试范围大，能测量从极软到极硬各种金属的硬度。但是，由于压痕小，当材料的内部组织不均匀时，硬度数值波动较大，不能反映被测金属的平均硬度，因此，在进行洛氏硬度试验时，需要在不同部位测试 4 次以上，取其平均值来表示被测金属的硬度值。

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，但其硬度值不能比较，为了测定从软到硬的各种材料及金属零件的表面硬度，并有连续一定的硬度标尺，特制定维氏硬度试验法。

(1) 测试原理 维氏硬度的测试原理与布氏硬度基本相同，如图 1-6 所示。将相对面夹角为 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，经保持规定时间后卸除试验力，在试样表面形成一个正四棱锥形压痕，测量压痕两对角线的平均长度，计算压痕单位面积上承受的平均压力，以此作为被测金属的硬度值，称为维氏

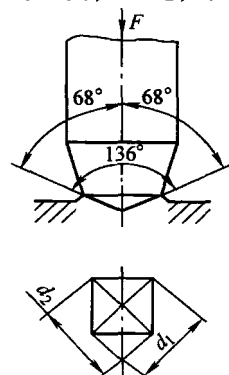


图 1-6 维氏硬度试验原理图

硬度, 用符号 HV 来表示。维氏硬度可用下式计算

$$HV = 0.1891 \times \frac{F}{d^2}$$

式中 F ——试验力 (N);

d ——压痕两条对角线长度算数平均值 (mm)。

试验时, 维氏硬度值同布氏硬度一样, 不用计算, 根据测得的压痕对角线平均长度, 从表中直接查出。

(2) 常用试验力、适用范围及其优缺点 维氏硬度试验所用的试验力可根据试样的大小、厚薄等条件进行选择, 常用试验力的大小在 49.03 ~ 980.7N 范围内。

维氏硬度值的表示方法与布氏硬度相同, 硬度数值写在符号的前面, 试验条件写在符号的后面。对于钢及铸铁, 当试验力保持时间为 10 ~ 15s 时, 可以不标出, 例如:

642HV30 表示用 294.2N 试验力保持 10 ~ 15s 测定的维氏硬度值为 642。

642HV30/20 表示用 294.2N 试验力保持 20s 测定的维氏硬度值为 642。

由于维氏硬度试验时所加试验力较小, 压痕深度较浅, 故可测量较薄工件的硬度, 尤其适用于零件表面层硬度的测量, 如化学热处理的渗层硬度测量, 其结果精确可靠。因维氏硬度值具有连续性, 范围在 5 ~ 1000HV 内, 所以适用范围广, 可测定从极软到极硬各种金属的硬度。但维氏硬度试验操作比较缓慢, 而且对试样的表面质量要求较高。

四、冲击韧度

强度、塑性、硬度等力学性能指标是在静载荷作用下测定的, 而许多零件和工具在工作过程中, 往往受到冲击载荷的作用, 如冲床的冲头、锻锤的锤杆、风动工具等。冲击载荷是指在短时间内以很大速度作用于零件或工具上的载荷。对于承受冲击载荷作用的零件, 除具有足够的静载荷作用下的力学性能指标外, 还必须具有足够的抵抗冲击载荷的能力。

金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧度。为了测定金属的冲击韧度, 通常要进行夏比冲击试验。

1. 测试原理

夏比冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的, 利用的是能量守恒原理。试验时, 将被测金属的冲击试样放在冲击试验机的支座上, 缺口应背对摆锤的冲击方向, 如图 1-7 所示。将重量为 G 的摆锤升高到 H 高度, 使其具有一定的势能 GH , 然后让摆锤自由落下, 将试样冲断, 并继续向另一方向升高到 h 高度, 此时摆锤具有的剩余势能为 Gh 。摆锤冲断试样所消耗的势能即是摆锤冲击试样所作的功, 称为冲击吸收能量, 用符号 K (KU 、 KV) 表示 (对应试样缺口为 U 型或 V 型), 其计算公式如下

$$K = G(H - h)$$

试验时, K 值可直接从试验机的刻度盘上读出。 K 值的大小代表了被测金属韧性的 高低, 但习惯上采用冲击韧度来表示金属的韧性。冲击吸收功除以试样缺口处的横截面积 S_0 , 即可得到被测金属的冲击韧度, 用符号 α_K 表示, 其计算公式如下

$$\alpha_K = \frac{K}{S_0}$$

式中 α_K ——冲击韧度 (J/cm^2);

K ——冲击吸收功 (J);

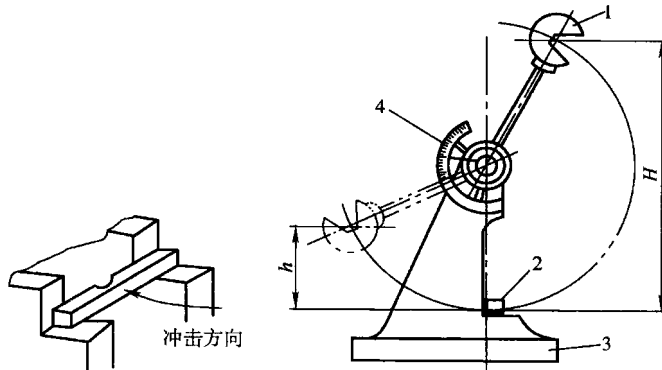


图 1-7 夏比冲击试验原理图

S_0 ——试样缺口处横截面积 (cm^2)。

脆性材料在断裂前无明显的塑性变形，断口比较平整，有金属光泽；韧性材料在断裂前有明显的塑性变形，断口呈纤维状，没有金属光泽。

2. 冲击试样

为了使夏比冲击试验的结果可以互相比较，冲击试样必须按照国家标准制作，如图 1-8 所示。常用的冲击试样有 U 型缺口试样和 V 型缺口试样两种，其相应的冲击吸收功分别标为 KU 和 KV ，冲击韧度则标为 α_{KU} 和 α_{KV} 。

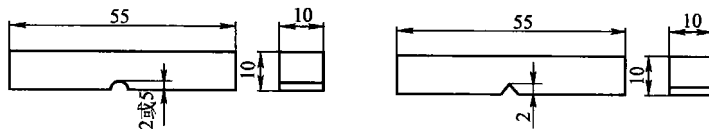


图 1-8 冲击试样

3. 韧脆转变温度

金属的冲击吸收功的大小与冲击试验时的温度有关。同一种金属材料在一系列不同温度下的冲击试验中，测绘的冲击吸收能量与试验温度之间的关系曲线，称为冲击吸收能量-温度曲线，如图 1-9 所示。

由图可知，冲击吸收功能量的变化趋势是随温度降低而降低的。当温度降至某一范围时，冲击吸收能量急剧下降，金属由韧性断裂变为脆性断裂，这种现象称为冷脆转变。金属由韧性状态向脆性状态转变的温度称为韧脆转变温度。在韧脆转变温度以下，材料由韧性状态转变为脆性状态。

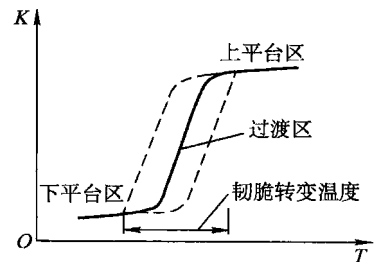


图 1-9 冲击吸收能量-温度曲线

金属材料的韧脆转变温度越低，说明其低温抗冲击性能越好。普通碳素钢的韧脆转变温度大约在 -20°C ，这对于在高寒地区或低温条件下工作的机械和工程结构来说非常重要，在选择金属材料时，应考虑其工作条件的最低温度必须高于金属的韧脆转变温度。

4. 多次冲击试验

在实际工作中，承受冲击载荷作用的零件或工具，经过一次冲击断裂的情况很少，大多