

21
CENTURY

郭丽波 杨峻峰 时建 主编
王洪琳 王超林 主审

21世纪全国高等职业技术学院机械制造与自动化专业(机电一体化专业)通用教材

21SHIJI QUANGUO GAODENG ZHIYEJISHU YUANXIAO JIXIEZHIZAO
YU ZIDONGHUA ZHUANYE (JIDIANYITIHUAZHUANYE) TONGYONG JIAOCAI

金属工艺学

JINSHUGONGYIXUE



山东科学技术出版社

www.lkj.com.cn

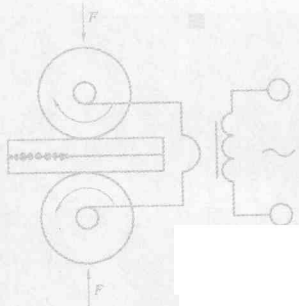
00290740

21世纪全国高等职业院校机械制造与自动化专业(机电一体化专业)通用教材

JIN SHU GONG YI XUE

金属工艺学

◎主 编 郭丽波 杨峻峰 时 建
◎主 审 王洪琳 王超林



山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/郭丽波主编. —济南:山东科学技术出版社,2008

21世纪全国高等职业技术学院机械制造
与自动化专业(机电一体化专业)通用教材
ISBN 978-7-5331-4895-9

I. 金... II. 郭 III. 金属工艺学—高等学校;
技术学校—教材 IV. TG93

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第112198号

21世纪全国高等职业技术学院机械制造
与自动化专业(机电一体化专业)通用教材

金属工艺学

主编 郭丽波 杨峻峰 时建

主审 王洪琳 王超林

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路16号

邮编:250002 电话:(0531)82098080

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpres.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路16号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:山东新华印刷厂

地址:济南市胜利大街56号

邮编:250001 电话:(0531)82079112

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:17

版次:2008年2月第1版第1次印刷

ISBN 978-7-5331-4895-9

定价:35.00元

NEI RONG TI YAO

内 容 提 要

本书是依据教育部及劳动和社会保障部对高职高专技能人才培养的要求，以及现代科学技术发展的需要，本着“以应用为主，必需、够用”原则，结合职业教育的特点和职业教育教学改革的经验编写的。

全书内容包括金属学基础知识、热处理、工程材料、表面处理、铸造、塑性成形工艺、焊接、切削加工和机械加工工艺过程等。

本书侧重于学生获取知识、分析问题与解决工程技术问题能力的培养和工程素质与创新思维能力的培养。在内容上注重先进性、实用性和系统性，在叙述上力求层次分明，详简得当，既有理论又有实例，以便于讲授与自学，并且每章均附有教学目的和要求、习题供教学参考。

本书可作为高职高专及成人高等工科院校的机械类、近机械类各专业的教材和参考书，也可供机械制造工程技术人员学习参考。

>>> 编审委员会

主任：王洪琳 杨峻峰 时建

副主任：陈文 王超林 刘永海

委员：（按姓氏笔画排列）

王叶青 王整风 朱宝杰 孙振强 张凤军 张永生

张彦江 张雪筠 杜来平 陈育新 迟京瑞 周文彬

周佩翔 姚瑞珊 贾利敏 燕居怀 魏玉梅

总策划：王洪胜

>>> 本书编审人员

主编：郭丽波 杨峻峰 时建

副主编：崔文琪 魏燕 李敬存 陈文 李国平 李传红

陶希海 刘云香

编者：（按姓氏笔画排列）

王玉利 于忠芳 于彬 王华云 刘云香 任孝平

邢爱梅 陈文 沙令娥 李传红 李国平 李敬存

李震 时建 张建军 杨晓红 杨峻峰 林宝川

侯云霞 崔文琪 袁齐 郭丽波 逯志亮 陶希海

主审：王洪琳 王超林

前 言

P R E F A C E

我们以“保持特色，精炼基础，拓宽知识，跟踪时代，注重应用，强化能力”为原则，对现有的相关教材进行了必要的分析，并在汲取国内外同类教材某些优点的基础上，结合相关院校的教改成果及编者多年的教学经验，编写了《金属工艺学》一书。

本书着重阐述常用工程材料及主要加工方法的基本原理和工艺特点，全面讲述了机械零件常用材料的选用、毛坯的选择、机械零件的加工方法和工艺路线的拟订，以及目前发展的新材料、新技术和新工艺，兼有基础性、实用性、知识性、实践性与创新性等特点，是培养现代复合型人才的重要基础课程之一。本书既注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术问题能力的培养，也力求体现注重学生工程素质与创新思维能力的培养。为此，本教材的编写既体现现代制造技术、材料科学、现代信息技术的密切交叉与融合，又体现工程材料和制造技术的历史传承和发展趋势。在内容的选择和编写上本教材有如下特点：

1. 内容的选择和安排上既系统丰富又重点突出，每个章节既相互联系，又相对独立，以便适应不同专业、不同学习背景、不同学时、不同层次的学生选用。

2. 注重吸收本专业领域的新理论、新技术、新工艺、新方法，开阔学生视野，培养学生的创新素质和能力。

3. 本书突出理论的应用性和针对性，实现理论与实际的有机结合，既能增强学生的学习兴趣，又能培养学生实践能力及严谨求实的科学态度。

4. 全书力求取材新颖实用，注重内容的先进性、实用性和系统性。在叙述上力求层次分明，详简得当，既有理论又有实例，以便于讲授与自学，并且每章均有教学目的和要求、习题供教学参考。

5. 在选材和编写体系上充分体现了以实际应用为目的，注重对学生动手能力和创新能力的培养，为学生在知识、能力、素质三方面协调发展创造条件。

使用本书时，可根据具体情况作必要的调整或增删，有些内容可供学生自学。

本书在编写过程中参考了国内外许多相关教材、科技著作和论文，在此向这些资料的作者们表示深深的谢意！

由于编者水平、时间有限，书中难免存在缺点和错误，恳请有关专家和广大读者批评指正。

编 者

目 录

CONTENTS

金属工艺学

绪 论	(1)
第一章 金属学基础知识	(4)
主要目的和要求	(4)
第一节 金属材料的主要性能	(5)
第二节 金属的晶体结构与结晶	(11)
第三节 铁碳合金相图	(21)
小 结	(28)
习 题	(28)
第二章 钢的热处理	(30)
主要目的和要求	(30)
第一节 钢的热处理原理	(31)
第二节 钢的普通热处理	(38)
第三节 钢的表面热处理和化学热处理	(44)
第四节 热处理新工艺简介	(49)
第五节 典型工件热处理	(52)
小 结	(57)
习 题	(58)
第三章 工程材料	(60)
主要目的和要求	(60)
第一节 碳钢	(60)
第二节 合金钢	(64)
第三节 铸铁	(69)
第四节 有色金属	(73)

· 第五节 粉末冶金材料	(78)
· 第六节 非金属材料	(81)
· 第七节 其他新材料简介	(92)
第八节 典型零件材料的选用	(95)
小 结	(98)
习 题	(99)
· 第四章 金属材料表面处理技术	(102)
主要目的和要求	(102)
第一节 热喷涂技术	(102)
第二节 金属表面的防腐处理	(106)
小 结	(111)
习 题	(111)
第五章 铸造	(112)
主要目的和要求	(112)
第一节 砂型铸造工艺	(112)
第二节 特种铸造	(121)
第三节 合金的熔炼与浇注	(124)
第四节 砂型铸造工艺设计	(131)
第五节 铸件的结构工艺性	(135)
第六节 铸造新技术简介	(138)
小 结	(141)
习 题	(142)
第六章 金属塑性成形工艺	(144)
主要目的和要求	(144)
第一节 锻压成形工艺基础	(144)
第二节 自由锻	(147)
第三节 模锻	(156)
第四节 板料冲压	(160)
第五节 现代塑性加工与发展趋势	(165)
小 结	(171)
习 题	(171)

第七章 焊接	(173)
主要目的和要求	(173)
第一节 熔焊	(174)
第二节 压焊与钎焊	(185)
第三节 常用金属材料的焊接	(189)
第四节 焊接结构设计	(191)
第五节 金属的切削	(196)
第六节 其他焊接新工艺简介	(197)
小 结	(200)
习 题	(200)
第八章 金属切削加工	(202)
主要目的和要求	(202)
第一节 金属切削加工的基本知识	(202)
第二节 车削加工	(211)
第三节 铣削	(219)
第四节 刨削和拉削	(222)
第五节 磨削	(225)
第六节 钻削、镗削	(230)
第七节 精密加工和特种加工简介	(233)
第八节 数控加工简介	(238)
小 结	(240)
习 题	(241)
第九章 机械加工工艺流程	(243)
主要目的和要求	(243)
第一节 基本概念	(243)
第二节 零件加工工艺规程	(251)
第三节 典型零件加工工艺过程实例	(255)
小 结	(260)
习 题	(260)
参考文献	(262)

绪论

材料的种类很多,其中用于机械制造的各种材料称为机械工程材料。工程材料是机械产品制造所必需的物质基础,是工业的“粮食”。工程材料的使用与人类进步密切相关,标志着人类文明的发展水平。现代工业、农业、国防、科学技术等部门都广泛使用工程材料,而工程材料的加工是其不可缺少的重要组成部分。因此,研究工程材料及其加工工艺是非常重要的任务,尤其对机械制造业具有更重要的意义。

机械产品的制造过程,一般是先将材料通过热成形方法制成零件的毛坯或半成品,再经切削加工制成所需的零件,最后将零件装配成机械。在制造过程中,为改善毛坯和工件的性能,常要对其进行热处理。

为提高毛坯利用率和质量、降低成本、改善劳动条件,毛坯生产应广泛采用机械化、自动化的生产方式和先进工艺,使毛坯在形状、尺寸和表面质量上尽量与零件要求相接近,以达到少加工或无切削加工。

我国古代在工程材料及其加工工艺方面有着光辉的历史。我国是世界上应用铜、铁最早的国家,在四千年以前就已经开始使用铜。早在公元前2000年左右的青铜器时代,人类就开始了对工程材料的冶炼和加工制造。公元前2000多年的夏代,我国就掌握了青铜冶炼术,到距今3000多年前的殷商、西周时期,技术达到当时世界高峰,用青铜制造的生产工具、生活用具、兵器和马饰得到普遍应用。如1939年在河南安阳武官村出土的商殷祭器司母戊大方鼎,其体积庞大,鼎重875 kg,而且花纹精巧,造型精美。这充分说明了远在商代(公元前1562—1066)我国就有了高度发达的冶铸青铜技术。在春秋时期,发明了生铁冶炼技术,开始用铸铁作农具,这比欧洲国家早一千八百多年。在战国时代,已经有了很高明的制剑技术,说明那时我国已经掌握了炼钢、铸造、热处理等技术。公元7世纪唐朝时期,已经应用锡焊和银焊,比欧洲早一千多年。在明朝时期,我国已经出现了很多简单的切削设备。1980年12月从秦始皇陵墓陪葬坑出土的大型彩绘铜马,结构精致,形态逼真,由三千多个零部件组成,综合了铸造、焊接、凿削、研磨、抛光及各种连接工艺。明代宋应星所著的《天工开物》一书,记载了冶铁、炼钢、铸

铸、锻铁、淬火等各种金属加工的方法,它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

上述事实说明我国古代在金属加工工艺方面的科学技术都曾远远超过同时代的欧洲,在世界上占有领先地位,对世界文明和人类进步作出过巨大的贡献。但由于封建制度的长期统治,特别是近百年来外国的侵略,我国经济、工农业生产和科学技术停滞落后,工程材料的生产和技术发展亦徘徊不前,远远落后于西方国家。

19世纪以来,工程材料获得了高速发展,到20世纪中期,金属材料的使用达到鼎盛时期,由钢铁材料所制造的产品约占机械产品的95%。今后的发展趋势是传统材料不断扩大品种规模,不断提高质量并降低成本,新材料特别是人工合成材料等将得到快速发展,从而形成金属、高分子、陶瓷及复合材料三分天下的新时代。另外,功能材料、纳米材料等高科技材料将加速研究,逐渐成熟并获得应用。工程材料业已成为所有科技进步的核心。加工工艺发展到目前,定向凝固技术、快速成形技术、高速锤锻、精密模锻、气体保护自动焊、激光焊、等离子焊等各种新的成形技术,以及自动线、加工中心、数控系统、柔性制造系统等已是屡见不鲜,正向着快速、精密、自动化的方向飞速发展。

在当前工业生产、管理和科研部门,工程材料及其加工工艺直接关系到产品设计、材料选用、工艺安排、质量检测、组织管理和经济效益的诸多环节。要从事设备维修、保养、技术改造和劳保安全等工作,工程材料及其加工工艺更是必须掌握的最基本的知识。作为应用型高级工程技术人员,只有熟悉金属材料及其加工工艺的基本概念,了解常用的其他工程材料和有关加工工艺知识,才能具有分析处理生产工作中必然涉及的有关材料和加工工艺方面的各种实际问题的能力,这是经济建设和科学技术发展的现实要求。

金属工艺学是一门研究工程材料的应用及其加工方法的一门科学,是高等工科院校机械类、近机械类各专业必修的技术基础课。它是一门实践性、应用性和综合性很强的课程,系统地介绍了工程材料,冷、热加工的各种工艺方法,以及它们之间联系的基础知识。其主要内容包括金属学的基础知识、工程材料(包括金属材料和非金属材料)、热处理、铸造、金属压力加工、金属焊接、机械切削加工等部分。

通过本课程的学习,未来应用型高级工程技术人员和管理人员能熟悉现代工业生产中常用的金属材料及其加工工艺的基本知识,并为学习有关专业课程及今后从事工业生产技术、管理和有关工作打下必要的基础。

学习金属工艺学的基本要求:

1. 掌握金属材料的成分、组织、性能之间的关系,强化金属材料的基本途径,钢的热处理原理和方法,常用金属材料和非金属材料的性质、特点、用途和选用

原则。初步具有正确选用常用金属材料 and 常规热处理工艺的能力。

2. 掌握各种热加工工艺方法的成形原理、工艺特点和应用场合,具有选用毛坯种类、成形方法和制定简单毛坯(零件)加工工艺规程的初步能力。

3. 熟悉制造毛坯、加工零件所用的主要设备和主要附件的种类、型号、规格、特点。

4. 掌握毛坯(零件)的结构工艺性,具有分析零件结构工艺性的基本能力,能够进行简单产品的结构设计和工艺设计,培养综合运用知识的能力。

5. 了解与本课程有关的新技术、新工艺。

由于本课程的实践性和应用性都很强,为了保证课程顺利进行,本教材的内容应该在完成金工实习之后或结合实习进行教学,才能达到本课程预期目的和要求。

本课程以课堂教学为主,辅以必要的实验,注重理论联系实际,注重各种能力的培养。

第 一 章 金属学基础知识

主要目的和要求

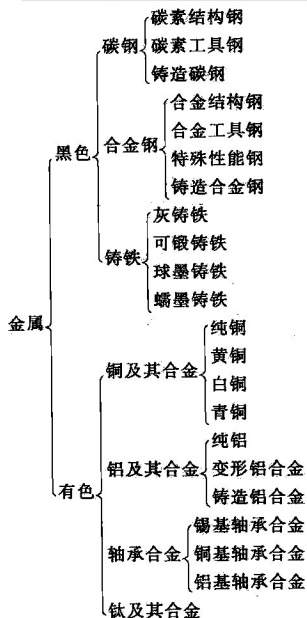
1. 了解常用金属材料的种类及分类。
2. 了解金属材料的主要力学性能,掌握评定各项力学性能的主要指标。
3. 理解晶体、晶格、晶胞、晶粒、合金、相、组织的基本概念。
4. 了解金属的晶体结构,掌握结晶过程、晶体的缺陷对晶体构造和性能的影响。
5. 了解合金的基本相结构和性能,熟练掌握简化的 Fe-Fe₃C 相图。
6. 了解典型铁碳合金的结晶过程及其组织转变,能正确分析二元合金状态图和简化的铁碳合金状态图,并运用铁碳合金状态图分析铁碳合金的成分、组织与性能的关系以及在热加工中的应用。

学习本章时,只要掌握和理解基本内容即可,着重理解晶体结构、金属的结晶过程及名词、术语的物理意义和铁碳合金相图及其应用。有些内容一时不能理解的,可结合后面章节的学习进一步理解。

在目前所发现的 100 多种化学元素中,金属约占 80%。金属是指具有良好的导电性和导热性、有一定的强度和塑性、具有光泽的物质,如铁、铝等。金属材料是由金属元素或以金属元素为主要材料组成的、具有金属特性的工程材料。它包括纯金属和合金。金属材料具有优越的物理性能、化学性能、力学性能和工艺性能,它能够适应生产和科学技术发展的需要,因此在工农业生产和日常生活中的各方面有着广泛用途。

金属(金属材料)通常分为黑色金属和有色金属两大类。钢、铸铁、铬、锰属于黑色金属,除黑色金属以外的其他金属,称为有色金属,如铜、铝、镁、锌、锡、铅等。

在制造业中,常用的金属材料分类如下:



第一节 金属材料的主要性能

金属材料的性能直接关系到金属制品和金属结构的质量、使用寿命和加工成本,是产品选材和拟定加工工艺方案的重要依据。金属材料的性能包括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,它包括物理、化学和力学性能等;工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能,包括铸造、锻造、焊接、切削加工性能等。

一 金属材料的力学性能

力学性能是指金属材料在外力作用时所表现出的抵抗变形和破坏的能力,主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

1. 强度

金属材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力,称为强度。强度大小通常用应力来表示。根据载荷作用方式不同,强度分为抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度和抗压强度等。

通常以抗拉强度作为判别金属强度高低的的基本指标。

(1) 拉伸试验

金属材料的抗拉强度通过以标准试样在万能材料试样机上进行拉伸试验测定的。图 1-1(a) 为拉伸标准试样, 试样横截面形状有圆形和矩形两种。拉伸试样一般又分为长试样 ($L_0 = 10d_0$) 和短试样 ($L_0 = 5d_0$) 两种。

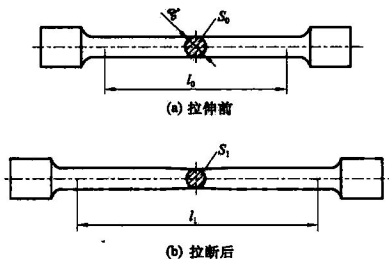


图 1-1 圆形拉伸试样

拉伸试验中得出的拉力与伸长量的关系曲线称为拉伸曲线图。图 1-2 是低碳钢的拉伸曲线图, 图中纵坐标表示拉力 F , 单位为 N; 横坐标表示试样的伸长量 ΔL , 单位是 mm。从图中可以明显地看出低碳钢在拉伸过程中出现的几个变形阶段:

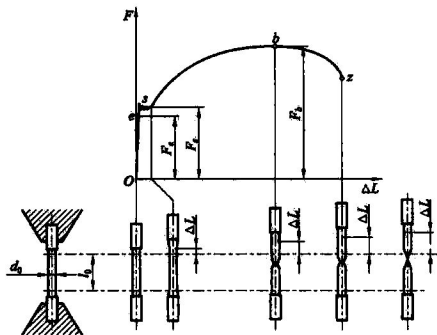


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线图

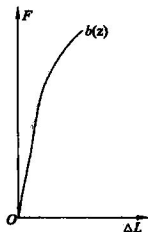


图 1-3 铸铁的拉伸曲线

① Oe 为弹性变形阶段。在拉伸试验时, 若载荷不超过 F_e , 则卸载后试样立即恢复原状, 这种随载荷的作用而产生, 随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。 F_e 为试样能恢复到原始形状和尺寸的最大拉伸力。

② es 为屈服阶段。若载荷超过 F_e , 则卸载后试样的变形不能完全消失, 保留一部分残余变形。这种不能随载荷的去除而消失的变形称为塑性变形, 也称为永久变形。当载荷达

到 F_1 时,试样开始产生明显的塑性变形,在曲线上出现了水平的锯齿形线段,即表示外力不增加,试样仍继续发生塑性伸长,这种现象称为屈服。 F_1 为屈服载荷。

③ sb 为强化阶段。当载荷超过 F_1 后,材料开始出现明显的塑性变形。同时欲使试样继续伸长,载荷也必须不断增加。随着塑性变形增加,试样变形抗力也逐渐增加,这种现象称为形变强化(或称加工硬化)。此阶段变形是均匀发生的。 F_b 为拉伸试验时的最大载荷。

④ bz 为颈缩阶段。当载荷增加到某一最大值 F_b 时,试样开始局部截面面积缩小,出现“颈缩”现象,变形主要集中在颈部。由于试样截面面积逐渐减小,试样变形所需要的载荷也逐渐降低,当达到图 1-2 中 z 点时,试样在“颈缩”处断裂。

生产中使用的金属材料多数没有明显的屈服现象,有些脆性材料不仅没有明显的屈服现象发生,也没有明显的“颈缩”,如图 1-3 所示的铸铁的拉伸曲线。

(2) 强度指标

金属材料在受外力作用时,其内部产生与外力相抗衡的内部抗力,这个内部抗力称为内力。单位面积上的内力称为应力,用 σ 表示。金属材料常用的强度指标有弹性极限 σ_e 、屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。

金属材料产生按比例完全弹性变形所能承受的最大应力值称比例极限 σ_p 。但比例极限不易精确测定,通常用开始产生微量塑性变形时的最大应力值 σ_e 作为完全弹性变形的强度指标,称弹性极限。

$$\sigma_e = F_e / S_0 \text{ (MPa)}$$

式中: F_e 为弹性变形时的最大载荷(N); S_0 为原始横截面积(mm^2)。

屈服点 σ_s 表示金属材料抵抗微量塑性变形的能力。

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

式中: F_s 为试样产生屈服时的载荷(N); S_0 为试样原始横截面积(mm^2)。材料的屈服点越高,允许的工作应力也越高。因此,材料的屈服点是机械设计和选用材料的依据,也是评定金属材料性能的重要指标。

金属材料在拉断前所能承受的最大应力,称为抗拉强度。抗拉强度 σ_b (MPa) 表达式为

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

式中: F_b 为试样拉断前承受的最大载荷(N); S_0 为试样原始横截面积(mm^2)。抗拉强度表示金属材料在拉伸载荷作用下的最大均匀变形能力。零件在工作中所承受的应力不允许超过抗拉强度,否则会产生断裂,造成事故。抗拉强度也是机械零件设计选材时的重要依据之一。

2. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生永久变形而不破坏的能力。常用塑性指标是断后伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 。

断后伸长率是试样被拉断时标距长度的伸长量与原始标距长度之比的百分数,用符号 δ 表示。

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

同一材料的试样长短不同则测得的 δ 是不同的,长、短两种试样的 δ 分别用 δ_{10} 和 δ_5 表示。同一材料用不同标准试样测定则 δ 值不同,所以不同材料进行比较时,必须是相同标准试样测定的数值才有意义。

断面收缩率是指试样拉断处横截面积的缩减量与原始横截面积之比的百分数,用符号 Ψ 表示。

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

金属材料的伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 越大,表明材料的塑性越好。铸铁的伸长率 δ 几乎为零,塑性很差,所以不能进行塑性变形加工。另外,塑性好的材料,偶尔过载时由于能发生一定量的塑性变形而不至于突然断裂,在一定程度上保证了零件的工作安全性,因此对于重要的结构零件要求必须具备一定的塑性。

3. 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度的测试方法有压入法、刻划法和回跳法等,生产中最常用的是压入法。常用硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(1) 布氏硬度

布氏硬度的测试原理是用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,在规定载荷 F 的作用下压入被测试金属的表面(如图1-4所示),停留一定时间后卸除载荷,然后测量被测试金属表面上所形成压痕的直径 d ,由此计算压痕的表面积 S ,求出压痕在单位面积上所承受的平均压力值(F/S),以此作为被测试金属的布氏硬度值,用符号HBS(HBW)来表示。用淬火钢球作压头时用HBS表示,用硬质合金球作为压头时用HBW表示。

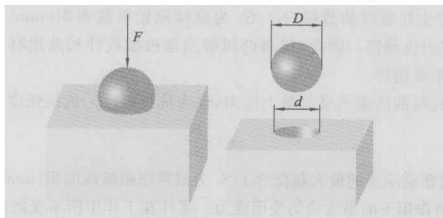


图1-4 布氏硬度实验原理示意图

在实际测试时,硬度值不需要计算,只需用读数显微镜测出压痕直径“ d ”,然后根据“ d ”值,查“压痕直径与布氏硬度对照表”,即可求得所测的硬度值。

布氏硬度的表示方法为在符号HBS或HBW前面标硬度值,符号后面按顺序用数字表示试验条件,依次为球体直径(mm)、试验力(kg)、试验力保持时间(s,10~15s不标注)。例如170HBS 10/1000/30表示用直径10 mm的钢球,在9807 N的试验力作用下,保持30 s时,测得的硬度值为170。

布氏硬度因压痕面积较大,HB值的代表性较全面,试验数据的重复性好,但由于淬火钢