



中等职业教育课程改革国家规划新教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属加工与实训

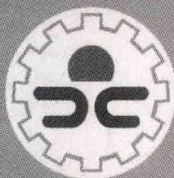
(基础常识与技能训练)

石爱军 王雪婷 主编



JINSHUJIAGONGYUSHIJUN

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

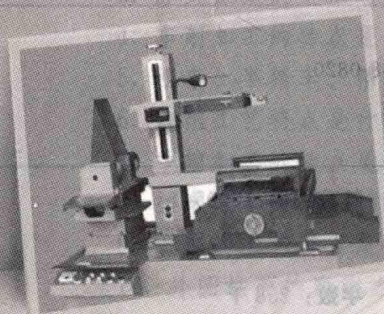


中等职业教育课程改革国家规划新教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属加工与实训 (基础常识与技能训练)

主 编 石爱军 王雪婷
副主编 王成国 黄 亮
主 审 (按姓氏笔画排序)
刁建平 方德明

大学图书馆
藏书章



JINSHUJIAGONG YU SHIZUN

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书是中等职业教育课程改革国家规划新教材,经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。教材依据教育部2009年颁布的“中等职业学校金属加工与实训教学大纲”的精神和要求编写而成,并参照国家劳动和社会保障部最新颁布实施的《国家职业标准》,结合中等职业学校培养初中级技能型人才的教学特点和培养目标设置教材的呈现方式,体现出职业教育“做中学、做中教”的教学理念。

全书共七单元,主要阐述了金属材料的力学性能、常用金属材料、钢铁材料热处理、铸造、锻压、焊接、金属切削加工基础知识等内容。作者编写时注意考虑到中职学生的阅读心理、习惯和专业知识基础等特点,降低难度,淡化理论,删繁就简,削枝强干,做到少而精;同时设置了知识窗、温馨提示、学习建议等栏目。每章配备了模拟训练题,供学生进行综合训练,巩固和深入理解所学知识。

本书适合作为中等职业学校机械类、工程技术类及近机类相关专业的教材,也可作为成人教育院校教材、职业培训教材和机械行业技工人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属加工与实训.基础常识与技能训练/石爱军,
王雪婷主编. —北京:中国铁道出版社,2010.6
中等职业教育课程改革国家规划新教材
ISBN 978-7-113-11228-8

I. ①金… II. ①石… ②王… III. ①金属加工—专
业学校—教材 IV. ①TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第055348号

书 名:金属加工与实训(基础常识与技能训练)
作 者:石爱军 王雪婷 主编

策划编辑:李小军	读者热线电话:400-668-0820
责任编辑:李小军 徐盼欣	封面制作:李 路
封面设计:付 巍	责任印制:李 佳
版式设计:于 洋	

出版发行:中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码:100054)
印 刷:北京市昌平开拓印刷厂
版 次:2010年6月第1版 2010年6月第1次印刷
开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:11 字数:258千
印 数:3000册
书 号:ISBN 978-7-113-11228-8
定 价:21.00元

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签,无标签者不得销售

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社计算机图书批销部联系调换。

中等职业教育课程改革国家规划新教材

出版说明

教育部职业教育与成人教育司 教育部职业技术教育中心研究所 教育部职业技术教育中心研究所 教育部职业技术教育中心研究所

为贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》(国发〔2005〕35号)精神,落实《教育部关于进一步深化中等职业教育教学改革的若干意见》(教职成〔2008〕8号)关于“加强中等职业教育教材建设,保证教学资源基本质量”的要求,确保新一轮中等职业教育教学改革顺利进行,全面提高教育教学质量,保证高质量教材进课堂,教育部对中等职业学校德育课、文化基础课等必修课程和部分大类专业基础课教材进行了统一规划并组织编写,从2009年秋季学期起,国家规划新教材将陆续提供给全国中等职业学校选用。

国家规划新教材是根据教育部最新发布的德育课程、文化基础课程和部分大类专业基础课程的教学大纲编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过的。新教材紧紧围绕中等职业教育的培养目标,遵循职业教育教学规律,从满足经济社会发展对高素质劳动者和技能型人才的需要出发,在课程结构、教学内容、教学方法等方面进行了新的探索与改革创新,对于提高新时期中等职业学校学生的思想道德水平、科学文化素养和职业能力,促进中等职业教育深化教学改革,提高教育教学质量将起到积极的推动作用。

希望各地、各中等职业学校积极推广和选用国家规划新教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2010年6月

前 言

本书是中等职业教育课程改革国家规划新教材,经过全国中等职业教育教材审定委员会审定、根据教育部 2009 年最新颁布的《中等职业学校金属加工与实训教学大纲》的要求,以及中等职业教育人才培养目标的要求编写而成。

本书的教学目标是:

- (1)了解常用金属材料的分类、牌号、性能及用途,并能正确选用金属材料;
- (2)熟悉一般机械加工的工艺路线与热处理工序;
- (3)了解主要冷热加工方法的基础知识,并掌握部分设备(或工具)的基本操作方法;
- (4)突出实践教学,提高动手能力和实践技能;
- (5)引导学生深入社会,了解企业状况,善于发现实际问题,培养不断创新和积极进取的创业精神,培养探究工程实际中有关的金属工艺问题的意识,培养综合应用能力;
- (6)培养自主学习习惯,引导学生学会应用所学知识解决一些实际问题,使学生具有一定的解决实际问题的感性认识和经验,做到触类旁通,融会贯通,提高适应职业变化的能力;
- (7)培养团结合作,相互交流,相互学习,勇于探讨的学习风气;
- (8)培养运用工具书、网络等查阅和处理金属加工工艺信息的能力;
- (9)培养遵守职业道德和职业规范,树立安全生产、节能环保和产品质量等职业意识,造就素质高、知识面宽的中等应用型人才,满足未来职业生涯需要。

本书在内容编写和版式设计等方面尽量做到精炼、新颖、活泼、通俗易懂,插图形象生动。每章配有模拟训练题供学生自我检查。

本书建议 56 学时,分配见下表:

单 元	建议课时	单 元	建议课时	单 元	建议课时
绪 论	2	第三单元	4	第六单元	4
第一单元	2	第四单元	4	第七单元	32
第二单元	4	第五单元	4	总 计	56

全书由石爱军、王雪婷任主编,由王成国、黄亮任副主编,由刁建平、方德明任主审。其中,第一章由石爱军编写;第二章由王成国编写;第三章由黄亮编写;第四至第六章由王雪婷编写;第七章由王人杰和郭晓平编写。

充分考虑到中等职业学校的教学需求,配套教学资源以助学和助教光盘形式免费提供给老师。请将需求信息发送至 tqbook@tqbooks.net,教学服务部联系电话:010—83525088、010—63560056,我们会及时与您联系!

本书适合作为中等职业学校机械类、工程技术类及近机类相关专业的教材,也可作为成人教育院校教材、职业培训教材和机械行业技工人员的参考书。

由于时间仓促,书中的不足和疏漏之处在所难免,恳请读者给予批评指正。

编 者

2010 年 5 月

目 录

绪 论	1	模块二 自由锻造	86
第一单元 金属材料的力学性能	4	模块三 模锻与胎模锻	89
模块一 金属材料的力学性能	4	模块四 板料冲压	92
模拟训练题	11	模拟训练题	95
第二单元 常用金属材料	13	第六单元 焊接	97
模块一 常用金属材料的分类	13	模块一 焊接基础知识	97
模块二 钢铁材料	16	模块二 焊条电弧焊	99
模块三 常用铸铁	29	模块三 其他焊接方法简介	106
模块四 常用非铁金属及其合金	33	模拟训练题	113
模块五 常用非金属材料	42	第七单元 金属切削加工基础	115
模拟训练题	49	模块一 金属切削加工基础知识	115
第三单元 钢铁材料热处理	54	模块二 钻床及其应用	122
模块一 热处理基础知识	54	模块三 车床及其应用	123
模块二 退火与正火	55	模块四 铣床及其应用	132
模块三 淬火与回火	58	模块五 数控机床及其应用	137
模块四 表面热处理与化学热处理	62	模块六 其他机床及其应用	141
模拟训练题	68	模块七 特种加工与先进加工技术简介	150
第四单元 铸造	70	模块八 零件生产过程基础知识	156
模块一 铸造基础知识	70	模拟训练题	167
模块二 砂型铸造	71	参考文献	170
模块三 特种铸造简介	76		
模拟训练题	80		
第五单元 锻压	82		
模块一 锻压基础知识	82		

绪 论

一、金属加工概述

材料同人类文明的发展和社会的进步密切相关，是社会发展的物质基础。人类利用材料制作了工具、设备及设施，不断改善了自身的生存环境与空间，创造了丰富的物质文明和精神文明。从人类社会发展的历史来看，技术的进步和生活的改善都与新材料的出现和应用密切相关，并有力地推动人类社会向前发展。因此，历史学家为了科学合理地划分人类社会的文明程度，就以材料的生产和使用作为人类文明进步的标志。以材料为标志，人类社会已经历了石器时代（公元前 10 万年）、陶器时代（公元前 8000 年）、青铜器时代（公元前 5000 年）、铁器时代（公元前 1000 年）、水泥时代（公元元年）、钢时代（公元 1800 年）、硅时代（公元 1950 年）、新材料时代（公元 1990 年）等。可以看出，人类使用材料的足迹经历了从低级到高级、从简单到复杂、从天然到合成的过程。目前，人类社会正处于金属（如钛金属）、高分子、陶瓷及复合材料共同发展的时代。

人们将信息、材料、能源和生物工程等称为现代技术的四大支柱，许多工业化国家都把新材料的研究与开发作为重点工作之一，由此可以看出，材料在现代工业发展中具有重要地位和作用。

材料的种类和分类方法很多，其中工程材料是指在生活、生产和科技领域中，用于制造结构件、机器、工具和功能部件的各类材料的统称。按工程材料的特性不同，可将工程材料分为金属材料和非金属材料。按工程材料的应用领域来分，可将工程材料分为信息材料、能源材料、建筑材料、机械工程材料、生物材料、航空航天材料等。其中，机械工程材料是指用于机械制造的各种材料的统称。

在材料的使用及加工过程中，金属材料的生产和应用是人类社会发展的重要里程碑，它象征着人类在征服自然、发展社会生产力方面迈出了具有深远历史意义的一步，有力地促进了社会生产力的发展。尤其是大规模生产钢铁材料及非铁金属技术的出现，使金属材料的应用得到迅速增长，并成为国民经济的重要基础和支柱性产业之一。目前，金属材料广泛应用于机械装备制造、建筑（见图 0-1）、石油化工、交通运输、电力、国防建设（见图 0-2）、航空航天等行业，并极大地促进了人类社会经济与科学技术的飞速发展。

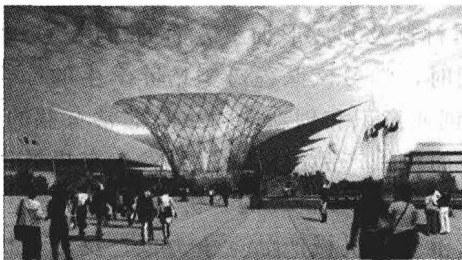


图 0-1 金属结构——世博轴

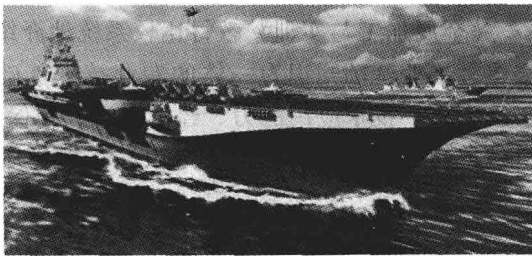


图 0-2 航空母舰

随着金属材料的广泛使用，地球上可以开采的金属矿产资源也越来越少。据估计，铁、铝、铜、锌、银、锡、镍、铬、稀土等金属的储量，只能再开采 100~300 年。怎么办呢？一是向地壳的深部要金属；二是向海洋要金属；三是节约金属材料，寻找它的代用品。目前，世界各国都在积极采取措施，改进现有金属材料的加工工艺，提高其利用率，或寻找金属材料代用品。

到 20 世纪中叶，随着科技的发展、社会环保意识的加强，以及生产的特殊需求，出现了越来越多的非金属材料。非金属材料的广泛使用，不仅满足了人类社会对工程材料的需求，而且大大简化了机械制造的工艺过程，降低了机械制造成本，提高了机械产品的使用性能，也节约了大量的金属材料。其中，应用比较突出的非金属材料是塑料、陶瓷与复合材料等。目前，它们所具有的独特性能正不断地得到广大工程技术人员认可，而且其应用范围在不断地扩大，正在逐步地改变着金属材料占绝对主导地位的格局。

金属加工工艺方法主要包括热加工和冷加工两大类。热加工主要包括铸造、锻压、焊接等加工方法，它们主要用于生产金属毛坯，如铸件、锻件、焊件等；冷加工主要包括各种机械加工方法，如钻削加工、车削加工、刨削加工、铣削加工、磨削加工、拉削加工等，它们主要用于对各种毛坯或原材料进行精确加工，逐步改变毛坯或原材料的形状、尺寸及表面质量，使其获得所需精度要求的合格零件。

如今，随着科学技术的不断发展，金属加工工艺方法也日新月异，如铸造新技术、锻压新技术、焊接新技术、机械加工新技术的不断涌现，逐步改善了传统的金属加工方法，解决了新的技术难题，满足了新材料的加工需要。例如，精密铸造、精密冲裁、埋弧自动焊、数控切削加工等新的金属加工技术正逐步替代传统的金属加工技术，取得了良好的经济效益。目前，金属加工工艺技术正向着高速、自动、精密化方向发展，金属材料的使用效率也在不断提高。

二、金属加工与实训课程的性质与任务

本课程是中等职业学校机械类专业及工程技术类相关专业的一门基础课程。其主要任务是：使学生掌握必备的金属材料、热处理、金属加工工艺知识和技能；培养学生分析问题和解决问题的能力，具备继续学习专业技术的能力；培养其在机械类专业领域的基本从业能力；贯穿职业道德和职业意识的培养，形成严谨、敬业的工作作风，为今后解决生产实际问题和职业生涯的发展奠定基础。

三、金属加工与实训课程的教学目标

1. 专业能力培养目标

《金属加工与实训》教材比较系统地介绍了金属材料及其成形加工方面的知识，是融会多种专业基础知识为一体的专业技术基础课。同时，学习该课程对于培养学生的综合工程素质、技术应用能力、经济意识、环保意识、创业意识和创新能力也是非常有益的。机械产品生产的核心与目的是为了获得优质产品。而机械产品的质量主要发生在机械产品的制造过程中，其中 60%~70% 是由于成形加工工艺因素造成的。机械产品质量差，会造成机械制造成本增加，资源、人力和物力严重浪费，机械产品竞争力低；反之，机械产品质量好，会给企业带来活力、效益和信誉，为国家创造出更多的财富，并为社会

带来更多的就业机会。因此,通过该课程的学习,可以实现以下培养目标:

- (1) 能够正确选用常用金属材料。
- (2) 熟悉一般机械加工的工艺路线与热处理工序。
- (3) 具有钳工、车工、铣工、焊工等金属加工的基础操作技能。
- (4) 会使用常用的工具、量具、刀具等。

(5) 能够阅读中等复杂程度的零件图及常见工种的工艺卡,并能按工艺卡要求实施加工工艺。

2. 方法能力培养目标

在学习本课程时,要多联系自己在金属材料及其成形加工方面的感性认识和生活经验,要多讨论、多交流、多分析和多研究,特别是在实习中要勤观察、勤实践,做到理论联系实际,这样才能更好地掌握教材中的基础知识,实现以下培养目标:

- (1) 具有运用工具书、网络等查阅和处理金属加工工艺信息的能力。
- (2) 具有一定的交流、研讨、分析及解决问题能力。
- (3) 能够理论联系实际,尝试经过思考发表自己的见解,培养严谨的工作作风。
- (4) 具有科学观察、理解、判断、推理和计算的能力。
- (5) 养成自主学习的习惯,以形成适应职业变化的能力。

3. 社会能力培养目标

现代社会是高度民主、集中和分工严密的社会,这种社会机制不仅需要我们努力完成自己应该负责的工作或任务,而且还要积极主动地与其他人员共同合作,组成高效、融洽的团队,才能稳定地和顺利地完成任务,适应竞争日益激烈的社会,使企业不断发展壮大,并实现自己的奋斗目标。通过本课程的学习,我们可以实现以下培养目标:

- (1) 勇于探究工程实际中有关的金属工艺问题。
- (2) 遵守职业规范,具有高度的工作责任感与严谨、细致的工作作风。
- (3) 养成善于与他人合作共事的习惯,具有一定的合作与沟通能力。
- (4) 具有乐观开朗、吃苦耐劳、节约能源、文明安全生产、环境保护及质量与效益的意识。
- (5) 具有勇于创新和敬业乐业的精神。

四、金属加工安全生产规范要求

安全生产对于金属加工行业来说,是一项非常重要的教育内容。忽视安全生产,不仅会对人身造成伤害,而且还会给企业、社会和国家造成经济损失。因此,从事金属加工行业工作的人员,一定要牢固地树立安全生产意识,把安全生产制度化、规范化,常抓不懈。

在金属加工企业工作或实习过程中,首先,要熟悉工作环境的生产特点;其次,要了解防火、防漏、防爆、防毒、防机械伤害等基本常识;第三,要认真熟悉各工种基本的安全生产操作规范,严格按操作规程进行操作,坚决杜绝违规操作行为,应该戴防护用品(如防护眼镜、面罩、手套、鞋等)的必须戴好,以防身体受到不必要的伤害。

第一单元 金属材料的力学性能

学习目标

本单元主要介绍金属材料的力学性能指标。学习的目标是：
熟悉金属材料性能测试指标。

通常我们把金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。所谓使用性能是指机械零件在使用条件下，金属材料表现出来的性能，它包括力学性能、物理性能、化学性能等。金属材料使用性能的好坏，决定了它的使用范围与使用寿命。所谓工艺性能是指机械零件在加工制造过程中，金属材料在所制定的冷、热加工条件下表现出来的性能，它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。金属材料工艺性能的好坏，决定了它在制造过程中加工成形的适应能力。只有了解金属材料的性能，特别是力学性能，才能科学合理地选用金属材料。



温馨提示

金属材料的力学性能是一个非常重要的概念，同学们一定要重视啊！

模块一 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能又称为机械性能，是指金属材料在外力作用下所表现出来的性能。金属材料的力学性能是评定金属材料质量的主要判据，也是零件设计和选材时的主要依据。按外加载荷性质的不同（如拉伸载荷、压缩载荷、扭转载荷、冲击载荷、循环载荷等），金属材料的力学性能指标可分为强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

一、强度与塑性

金属材料在力的作用下，抵抗永久变形和断裂的能力称为强度。塑性是指金属材料在断裂前发生不可逆永久变形的能力。金属材料的强度和塑性指标可以通过静拉伸试验测得。

1. 力伸长曲线图

图 1-1 所示为退火低碳钢的力伸长曲线图。从力伸长曲线可以看出，试样从开始拉伸到断裂要经过弹性变形阶段、屈服阶段、变形强化阶段、缩颈与断裂四个阶段。

(1) 弹性变形阶段。观察图 1-1 中的力伸长曲线，在斜直线 Op 阶段，当拉伸力 F 增加时，试样伸长量 ΔL 也呈正比增加。当去除拉伸力 F 后，试样伸长变形消失，恢复其原来形状，其变形规律符合虎克定律，表现为弹性变形。图中 F_p 是试样保持完全弹性变形的最大拉伸力。

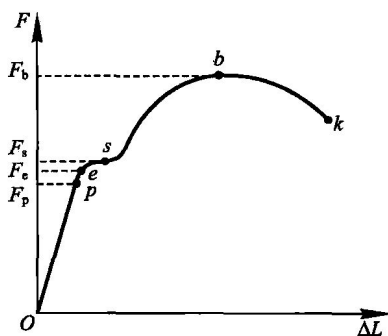


图 1-1 退火低碳钢力伸长曲线

(2) 屈服阶段。当拉伸力超过 F_s 时, 试样将产生塑性变形。去除拉伸力后, 变形不能完全恢复, 塑性伸长将被保留下来。当拉伸力继续增加到 F_s 时, 力伸长曲线在 S 点后出现一个平台, 即在拉伸力不再增加的情况下, 试样也会明显地伸长, 这种现象称为屈服现象。拉伸力 F_s 称为屈服拉伸力。

(3) 变形强化阶段。当拉伸力超过屈服拉伸力后, 试样抵抗变形的能力将会提高, 产生冷变形强化现象。在力伸长曲线上表现为一段上升曲线, 即随着塑性变形的增大, 试样变形抗力也逐渐增大。

(4) 缩颈与断裂阶段。当拉伸力达到 F_b 时, 试样的局部截面开始收缩, 产生缩颈现象。由于缩颈使试样局部截面迅速缩小, 单位面积上的拉伸力增大, 变形集中于缩颈区, 最后延续到 k 点时试样被拉断。缩颈现象在力伸长曲线上表现为一段下降曲线 bk 。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力, 称为极限拉伸力。

2. 强度指标

金属材料的强度指标主要有: 屈服点 σ_s 、规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ 、抗拉强度 σ_b 等。

(1) 屈服点和规定残余延伸应力。屈服点是指试样在静拉伸试验过程中力不增加(保持恒定)仍然能继续伸长(变形)时的应力。屈服点用符号 σ_s 表示, 单位为 N/mm^2 或 MPa 。屈服点 σ_s 可用下式计算:

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

式中: F_s ——试样屈服时的拉伸力, N ;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

对于高碳钢、铸铁等钢铁材料来说, 在进行静拉伸试验时, 没有明显的屈服现象, 也不会产生颈缩现象, 这就需要规定一个相当于屈服点的强度指标, 即规定残余伸长应力。

规定残余延伸应力是指试样卸除拉伸力后, 其标距部分的残余伸长与原始标距的百分比达到规定值时的应力, 用应力符号 σ 并加角标“ r ”和规定残余伸长率表示。例如, 国家标准规定 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力定为没有明显产生屈服现象金属材料的屈服点。

温馨提示

金属零件及其结构件在工作过程中一般不允许产生塑性变形, 因此, 屈服点 σ_s 是工程技术上重要的力学性能指标之一, 也是大多数机械零件和结构件选材和设计的依据。

(2) 抗拉强度。抗拉强度是指试样拉断前承受的最大标称拉应力。用符号 σ_b 表示, 单位为 N/mm^2 或 MPa 。 σ_b 可用下式计算:

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

式中: F_b ——试样承受的最大载荷, N ;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

σ_b 是表征金属材料在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性金属材料来说, 拉伸试样在承受最大拉应力 σ_b 之前, 变形是均匀一致的。但超过 σ_b 后, 金属材料开始出现缩颈现象, 即产生集中变形。

3. 塑性指标

金属材料的塑性可以用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示。工程上广泛使用的表征材料塑性大小的主要指标是断后伸长率和断面收缩率。

(1) 断后伸长率。拉伸试样在进行拉伸试验时，在力的作用下产生塑性变形，原始试样中的标距会不断伸长。试样拉断后的标距伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率，用符号 δ 表示。 δ 可用下式计算：

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

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。

由于拉伸试样分为长试样和短试样，使用长试样测定的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示，通常写成 δ ；使用短试样测定的断后伸长率用符号 δ_5 表示。同一种金属材料的断后伸长率的 δ_{10} 和 δ_5 数值是不相等的，因而不能直接用 δ_5 和 δ_{10} 进行比较。一般短试样的 δ_5 值大于长试样的 δ_{10} 值。

(2) 断面收缩率。断面收缩率是指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。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，mm²；

S_1 ——试样断口处的横截面积，mm²。

塑性好的金属材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成形工艺，而且在使用过程中可以避免金属构件突然断裂。对于铸铁、陶瓷等脆性材料，由于塑性较低，拉伸时几乎不产生明显的塑性变形，超载时会发生突然断裂，使用过程中必须注意。

 温馨提示

通常情况下金属的伸长率不超过 90%，而超塑性金属材料的最大伸长率可高达 1 000%~2 000%，个别的可达到 6 000%。金属材料只有在特定条件下才显示出超塑性，如在一定的变形温度范围内进行低速加工时可能出现超塑性。

目前，金属材料室温拉伸试验方法采用 GB/T 228—2002 新标准。由于原有的金属材料力学性能数据是采用旧标准进行测定和标注的，所以原有旧标准 GB/T 228—1987 仍然沿用，本教材为叙述方便采用旧标准。关于金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照如表 1-1 所示。

表 1-1 金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照

GB/T 228—2002 新标准		GB/T 228—1987 旧标准	
名 词	符 号	名 词	符 号
断面收缩率	Z	断面收缩率	φ
断后伸长率	A 和 $A_{11.3}$	断后伸长率	δ_5 和 δ_{10}
屈服强度	—	屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sL}
规定残余延伸强度	R_r ，如 $R_{r0.2}$	规定残余延伸应力	σ_r ，如 $\sigma_{r0.2}$
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b

二、硬度

硬度是金属材料抵抗外物压入的能力。它直接反映金属材料的软硬程度，也反映金属材料的耐磨性和切削加工性。常用的硬度测试方法有布氏硬度（HBW）、洛氏硬度（HRA、HRB、HRC等）和维氏硬度（HV）。

1. 布氏硬度

布氏硬度是用一定直径的硬质合金球，以相应的试验力压入试样表面，经规定的保持时间后，卸除试验力，测量试样表面的压痕直径 d ，然后根据压痕直径 d 计算其硬度值的方法，如图1-2所示。布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力表示的。试验时只要测量出压痕直径 d （mm），可通过查布氏硬度表得出HBW值。布氏硬度计算值一般都不标出单位，只写明硬度的数值。

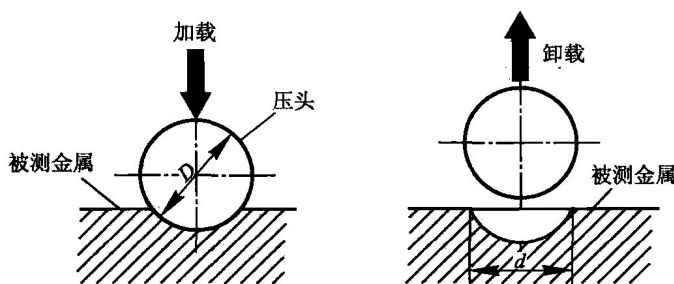


图 1-2 布氏硬度试验原理图

布氏硬度值标注在硬度符号 HBW 前面。除了保持时间为 10~15 s 的试验条件外，在其他条件下测得的硬度值，均应在符号 HBW 后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间，如 250HBW10/1000/30 表示用直径 $D=10$ mm 的硬质合金球，在 1 000 kgf（9.807 kN）试验力作用下，保持 30 s 测得的布氏硬度值是 250；480 HBW5/750 表示用直径 $D=5$ mm 的硬质合金球，在 750 kgf（7.355 kN）试验力作用下保持 10~15 s 测得的布氏硬度值是 480。

布氏硬度反映的硬度值比较准确，数据重复性强。但由于其压痕较大，对金属材料表面的损伤较大，因此不宜测定太小或太薄的试样。通常布氏硬度适合于测定非铁金属，铸铁及经退火、正火、调质处理后的各类钢材。目前，金属布氏硬度试验方法执行 GB/T 231.1—2002 标准，用符号 HBW 表示，本标准规定的布氏硬度试验范围上限为 650HBW。

2. 洛氏硬度

根据 GB/T 230.1—2004，洛氏硬度是以锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.587 5 mm 的球（淬火钢球或硬质合金球）压入试样表面，如图 1-3 所示。根据试样残余压痕深度增量来衡量试样的硬度大小。残余压痕深度 h 增量越小，金属材料的硬度越高。

洛氏硬度计采用不同的压头和载荷，并对应不同的硬度标尺，每种标尺由一个专用字母表示，标注在符号 HR 后面，如 HRA、HRB、HRC 等（见表 1-2）。不同标尺的洛氏硬度值，彼此之间没有直接的换算关系。测

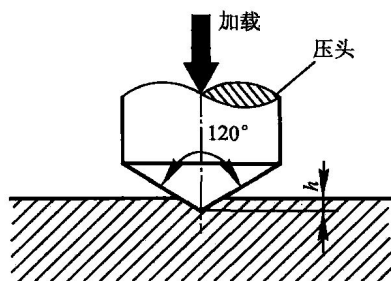


图 1-3 洛氏硬度试验原理图

定的硬度数值写在符号 HR 的前面，符号 HR 后面写使用的标尺，如 50HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 50。

表 1-2 常用洛氏硬度的试验条件、硬度测试范围和应用举例

硬度符号	压头材料	总试验力 F (N/kgf)	硬度测试范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥	588.4/60	20~88	硬质合金、碳化物、浅层表面硬化钢
HRB	$\phi 1.5875$ mm 的淬火钢球或硬质合金球	980.7/100	20~100	非铁金属、铸铁、经退火或正火的钢
HRC	120°金刚石圆锥	1 471.0/150	20~70	淬火钢、调质钢、深层表面硬化钢

注：使用淬火钢球压头测定的硬度值，在硬度符号 HRB 后面加 S；使用硬质合金球压头测定的硬度值，在硬度符号 HRB 后面加 W。

洛氏硬度试验操作简便，压痕小，对试样表面损伤小，可以直接从试验机上显示出硬度值。但是，由于压痕小，硬度值的准确性不如布氏硬度，数据重复性较差。因此，在测试洛氏硬度时，要测取至少三个不同位置的硬度值，然后再计算这三点硬度的平均值作为被测材料的硬度值。洛氏硬度主要用于直接检验成品或半成品的硬度，特别适合检验经过淬火的零件。

3. 维氏硬度

维氏硬度是以面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石为压头（见图 1-4），在规定的试验力 F （49.03~980.7 N）作用下，压入试样表面，经规定保持时间后，卸除试验力，则试样表面上压出一个正四棱锥形的压痕，测量压痕两对角线 d_1 、 d_2 的平均长度，查 GB 4340.1—1999 附表就可得出维氏硬度值。维氏硬度是用正四棱锥形压痕单位面积上承受的平均压力表示的硬度值。

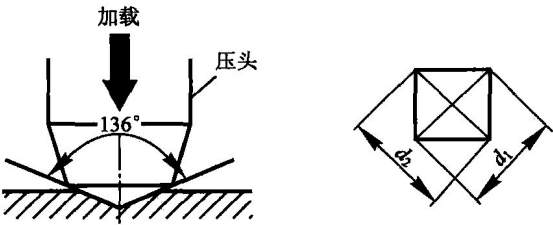


图 1-4 维氏硬度试验原理图

维氏硬度测量范围在 5~1 000 HV，用符号 HV 表示，硬度数值写在符号 HV 的前面，试验条件写在符号 HV 的后面。对于钢和铸铁，若试验力保持时间为 10~15 s 时，可以不标出。例如，640HV30 表示用 30 kgf（294.2 N）的试验力，保持 10~15 s 测定的维氏硬度值是 640；640HV30/20 表示用 30 kgf（294.2 N）的试验力，保持 20 s 测定的维氏硬度值是 640。

维氏硬度适用范围宽，从软材料到硬材料都可以进行测量，主要用于材料研究领域，也适用于零件表面层硬度的测量，测量结果精确可靠。但进行维氏硬度测试时，对试样表面的质量要求高，测量效率较低，因此，维氏硬度没有洛氏硬度使用方便。

温馨提示

硬度是一项综合力学性能指标，可以反映出材料的强度和塑性。在工程技术和机械生产方面，常在零件图上标注出各种硬度指标，并作为零件检验和验收的主要依据之一。一般来说，材料的硬度值越高，零件的耐磨性亦越高。

三、冲击韧性

有些零件工作时受到的力是冲击力，如锻锤的锤杆、钢钎、冲床的冲头等，这些零件除要求具备足够的强度、塑性、硬度外，还应有足够的韧性。韧性是金属材料在断裂前吸收变形能量的能力。冲击载荷比静载荷的破坏性要大得多，因此需要对金属材料制定冲击载荷下的性能指标。金属材料的韧性大小通常采用冲击吸收能量 K （单位是焦耳 J）指标来衡量。测定金属材料的冲击吸收能量 K 采用 GB/T 229—2007 金属材料夏比摆锤冲击试验方法。

1. 夏比摆锤冲击试样

夏比摆锤冲击试样有 V 形缺口试样和 U 形缺口试样两种。带 V 形缺口的试样，称为夏比 V 形缺口试样；带 U 形缺口的试样，称为夏比 U 形缺口试样。

2. 夏比摆锤冲击试验方法

夏比摆锤冲击试验方法是在摆锤式冲击试验机上进行的，如图 1-5 所示。试验时，将带有缺口的标准试样安放在试验机的机架上，使试样的缺口位于两支座中间，并背向摆锤的冲击方向。将一定质量的摆锤升高到规定高度 H_1 ，则摆锤具有势能 A_{KV1} （V 形缺口试样）或 A_{KU1} （U 形缺口试样）。当摆锤落下将试样冲断后，摆锤继续向前升高到 H_2 ，此时摆锤的剩余势能为 A_{KV2} 或 A_{KU2} 。则冲击试样的吸收能量 K 就等于摆锤冲断试样过程中所失去的势能。

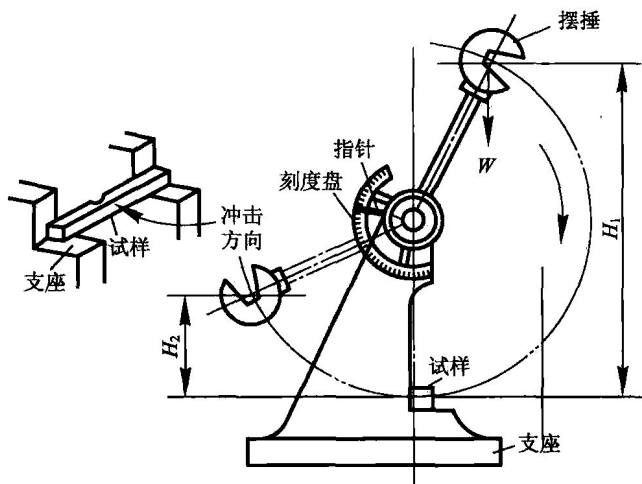


图 1-5 夏比冲击试验原理

如果是 V 形缺口试样： KV_2 或 $KV_8 = A_{KV1} - A_{KV2}$ ；

如果是 U 形缺口试样： KU_2 或 $KU_8 = A_{KU1} - A_{KU2}$ 。

KV_2 或 KU_2 表示用刀刃半径是 2 mm 的摆锤测定的吸收能量；

KV_8 或 KU_8 表示用刀刃半径是 8 mm 的摆锤测定的吸收能量。

冲击吸收能量 KV_2 或 KV_8 （ KU_2 或 KU_8 ）可以从试验机的刻度盘上直接读出，它是表征金属材料韧性的重要指标。显然，冲击吸收能量越大，表示金属材料抵抗冲击试验力而不破坏的能力越强。

冲击吸收能量 K 对组织缺陷非常敏感，它可灵敏地反映出金属材料的质量、宏观缺口和显微组织的差异，能有效地检验金属材料在冶炼、成形加工、热处理工艺等方面的质量。

3. 冲击吸收能量与温度的关系

冲击吸收能量对温度非常敏感。有些金属材料在室温时并不显示脆性，但在较低温度下，则可能发生脆断。在进行不同温度的一系列冲击试验时，随试验温度的降低，冲击吸收能量总的变化趋势是随着温度的降低而降低，如图 1-6 所示。当温度降至某一数值时，冲击吸收能量急剧下降，金属材料由韧性断裂变为脆性断裂，这种现象称为冷脆转变。金属材料在一系列不同温度的冲击试验中，冲击吸收能量急剧变化或断口韧性急剧转变的温度区域，

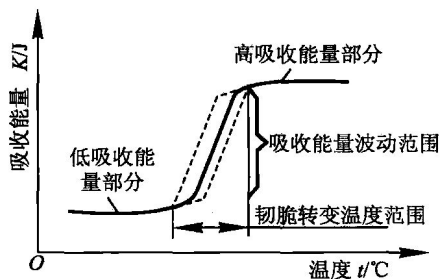


图 1-6 冲击吸收能量—温度曲线

称为韧脆转变温度。金属材料的韧脆转变温度越低，说明金属材料的低温抗冲击性越好。非合金钢的韧脆转变温度约为 -20°C ，因此在非常寒冷（低于 -20°C ）的地区使用非合金钢构件（如车辆、桥梁、输运管道、电力铁塔等）时，易发生脆断现象。所以，在选用金属材料时，一定要考虑其使用条件的最低温度必须高于金属材料的韧脆转变温度。

四、疲劳现象和疲劳强度

1. 疲劳现象

轴、齿轮、弹簧等是在循环应力作用下工作的。循环应力是指应力的方向都随时间发生周期性变化的应力。常见的循环应力是对称循环应力，其最大值 $\sigma_{\max}$ 和最小值 $\sigma_{\min}$ 的绝对值相等，即 $\sigma_{\max}/\sigma_{\min} = \pm 1$ ，如图 1-7 所示。零件在循环应力作用下，在一处或几处产生局部永久性累积损伤，经一定循环次数后产生裂纹或突然发生完全断裂的过程，称为疲劳（或称疲劳断裂）。

日常生活和生产中，许多零件工作时承受的实际循环应力值通常低于制作金属材料的屈服点或规定残余伸长应力，但是零件在这种循环应力作用下，经过一定时间的工作后会发生突然断裂。金属材料疲劳断裂时不产生明显的塑性变形，断裂是突然发生的。由此可见，疲劳断裂的危害是很大的，常会造成严重事故。据统计，大部分零件的损坏是因疲劳造成的。因此研究疲劳现象对于正确使用金属材料，合理设计机械构件具有重要意义。

研究表明，疲劳断裂首先是在零件的应力集中局部区域产生，先形成微小的裂纹核心，即微裂纹源。随后在循环应力作用下，微小裂纹不断扩展长大。由于微小裂纹不断扩展，使零件的有效工作面逐渐减小，因此，零件所受应力不断增加，当应力超过金属材料的断裂强度时，则突然发生疲劳断裂，形成最后断裂区。金属材料的疲劳断裂断口一般由微裂源、扩展区和瞬断区组成，如图 1-8 所示。

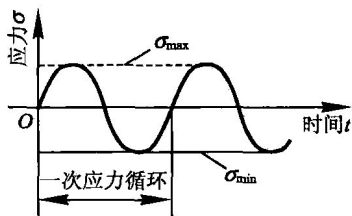


图 1-7 对称循环应力

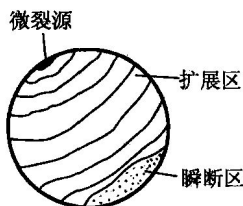
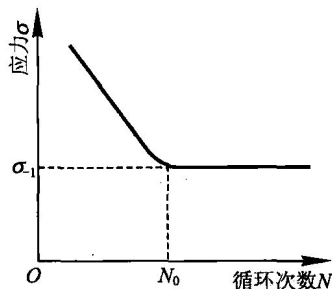


图 1-8 疲劳断口示意图

2. 疲劳强度

金属材料所受循环应力 σ 与循环次数 N 之间的关系,可用 $\sigma-N$ 曲线表示,如图1-9所示。由图可见,当金属材料所受循环应力 σ 低于某一数值时,曲线与横坐标几乎平行,表示金属材料可经受无限多次循环应力作用而不断裂,这一应力值称为金属材料的疲劳强度。由于零件不可能承受无限次数的循环应力作用,因此在工程实践中,一般是求疲劳极限,即对应于指定的循环基数下的中值疲劳强度。对于钢铁材料其循环基数 $N_0=10^7$,对于非铁金属其循环基数 $N_0=10^8$ 。对于对称循环应力,其疲劳强度用符号 σ_{-1} 表示。对于脉动循环应力,其疲劳强度用符号 σ_0 表示。

图 1-9 $\sigma-N$ 曲线

温馨提示

疲劳断裂一般是由金属材料内部的气孔、疏松、夹杂、表面划痕、缺口、应力集中等引起的。因此,改善内部组织,减小应力集中,减小零件表面粗糙度值等,可提高零件的疲劳强度。例如,对零件表面进行表面强化(如喷丸、滚压、内孔挤压、表面淬火、表面化学热处理等)可改变零件表层的残余应力状态,从而提高零件的疲劳强度。

学习建议

学习过程中,第一,要准确理解有关概念;第二,要在头脑中初步建立起金属材料的分类和力学性能的分类;第三,要熟悉力学性能指标的应用场合;第四,要善于用学到的知识对日常生活中的现象进行分析和思考,试一试能否用学到的知识对遇到的实际问题或现象进行科学地解释,如“韧性”、“疲劳断裂”等;第五,为了巩固所学的知识,要学会对所学的知识进行分类、归纳和整理,提高学习效率。

模拟训练题

一、填空题

- 通常我们把金属材料的性能分为_____性能和_____性能。
- 使用性能包括_____性能、_____性能和_____性能。
- 金属材料的力学性能指标可分为_____、_____、_____、韧性和疲劳强度等。
- 金属材料的强度指标主要有_____、_____、_____等。
- 工程上广泛使用的表征材料塑性大小的指标是:断后_____率和断面_____率。