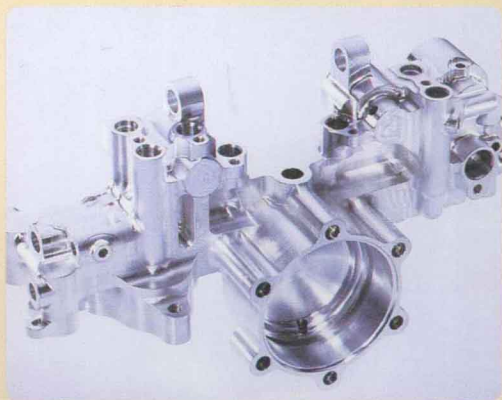




中等职业教育课程改革国家规划新教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属加工与实训 ——基础常识与技能训练

主编 王英杰 陈 礁



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



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

Jinshu Jiagong yu Shixun

——基础常识与技能训练

—— Jichu Changshi yu Jineng Xunlian

主编 王英杰 陈 礁
主审 周兆元 徐 刚



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书为中等职业教育课程改革国家规划新教材,经中等职业教育教材审定委员会审定通过。本书是依据教育部2009年颁布的“中等职业学校金属加工与实训教学大纲”,并参照相关的最新国家职业技能标准和行业职业技能鉴定规范中有关要求编写而成的。

本书主要包括:金属材料的力学性能,常用工程材料,钢的热处理,金属热加工基础,金属冷加工基础。与本书配套研发了金属加工与实训课程立体化教学资源,主要有《金属加工与实训练习册》(附题库光盘)、《金属加工与实训教学指导》(附光盘),并提供了包括网络课程、电子教案、多媒体课件、多媒体素材库、习题库等丰富的网上教学资源。

本书附学习卡/防伪标,利用本书封底所附学习卡账号,按照本书最后一页“郑重说明”下方的使用说明,登录网站“<http://sve.hep.com.cn>”,可上网学习,下载资源。

本书可作为中等职业学校机械类专业基础课程教材,也可作为岗位培训教材。

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/王英杰,
陈礁主编. —北京:高等教育出版社,2010.7

ISBN 978-7-04-026927-7

I. ①金… II. ①王…②陈… 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124248号

策划编辑	王瑞丽	责任编辑	陈大力 王素霞	封面设计	于涛
版式设计	于涛	责任校对	俞声佳	责任印制	朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京佳信达欣艺术印刷有限公司

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 11
字 数 260 000

版 次 2010年7月第1版
印 次 2010年9月第3次印刷
定 价 19.40元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26927-00

中等职业教育课程改革国家规划新教材 出版说明

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,经中等职业教育教材审定委员会审定通过。本书是依据教育部2009年颁布的“中等职业学校金属加工与实训教学大纲”,并参照相关的最新国家职业技能标准编写而成的。本书是中等职业学校机械大类的专业基础课程教材,通过本书的学习,可以使学生掌握必备的金属材料、热处理、金属加工工艺的知识和技能。本书在编写过程中贯彻“以服务为宗旨、以就业为导向”的职教理念,吸收企业技术人员参与教材编写,紧密结合工作岗位;选取的案例贴近生活、贴近生产实际;将创新理念贯彻到内容选取、教材体例等方面。

本书配套有丰富的教学资源,主要有《金属加工与实训练习册》(附题库光盘)、《金属加工与实训教学指导》(附光盘),并提供了包括网络课程、电子教案、多媒体课件、多媒体素材库、习题库等网上教学资源。

本书坚持教学大纲对“课程教学目标”的定位,在编写时努力贯彻教学改革的有关精神,严格依据教学大纲的要求,努力体现以下特色:

1. 立足职业教育,突出实用性和指导性

(1) 教材编写内容紧扣教学大纲要求,定位科学、合理、准确,力求降低理论知识点的难度;正确处理好知识、能力和素质三者之间的关系,保证学生全面发展,适应培养高素质劳动者需要;以就业为导向,既突出学生职业技能的培养,又保证学生掌握必备的基本理论知识,使学生达到既能有操作技能,又懂得基本的操作原理知识,如在锻压知识介绍中要让学生明白“为什么要趁热打铁?”,实现“练”有所思,“学”有所悟;贯彻课程建设综合化思想,合理协调基础理论知识与基本技能之间的密切关系,尽量将不同的知识有机地连贯起来,培养一专多能、复合型人才,体现学生的“柔性”发展需要,更好地适应学生在就业过程中的转岗需要以及二次就业需要,适应终身学习需要,为学生工作后进一步发展奠定必要的基本知识与基本技能。

(2) 教材内容立足体现为机械大类各专业培养目标服务,注重“通用性教学内容”与“特殊性教学内容”的协调配置,体现出新编教材对机械大类各不同专业既有“统一性”要求,又有选择上的“灵活性”或“差异性”,尽量满足不同专业的培养目标需要。例如,金属材料的力学性能、金属材料的分类与应用、热处理知识、冷加工基本方法等应体现为“通用性教学内容”,适应大多数专业的教学需要,而热处理、铸造、锻压、焊接及冷加工中技能部分则应体现为“特殊性教学内容”,适应个别专业的培养目标和培养方向。

(3) 教材内容通俗易懂、标准新、内容新、指导性强、趣味性强。尽可能多地介绍现场金属加工工艺流程(如典型零件:轴、销、套、齿轮、滚动轴承、弹簧、常用工具、常用刀具、常见模具、缸体、支承件等)相关设备及零件,突出实践性和指导性,拉近现场与课堂教学的距离,丰富学生的感性认识。

2. 以学生为中心,创新编写体例

(1) 配合部分教学内容,教材中设置了具有直观性和带有感情色彩的引导文、实物图片、对比性表格及科普知识介绍(如实践与思考、职业常识、生活常识、史海拾贝等)等。例如,介绍钢

铁材料时,可以举学生比较熟悉的物体或产品进行说明,如“奥运会主会场——鸟巢的钢结构就是采用 Q460 钢建造的”、“为什么泰坦尼克号豪华双层邮轮会快速沉没?”等案例。使学习内容具有生动性、实用性和指导性等,以此激发学生对该课程的学习热情和学习兴趣,缩短理论与实际应用之间的差距,构建理论与应用之间的“桥梁或纽带”,培养创新能力和自学能力。

(2) 设置适当的复习思考题,降低难度,突出针对性和实用性,立足加强学生对知识点和基本技能的理解和掌握。改变单一的“考学生”的教学观念,树立如何引导、服务和帮助学生掌握知识的新理念。

3. 重视学生个性发展需要,渗透探索精神、创新意识、爱国教育等

(1) 体现以人为本,面向学生个性发展需要,在部分章节中设置“探讨话题”、“分析与交流”等小栏目,创造相互交流、相互探讨的学习氛围,激发学生的学习兴趣,培养学生的分析能力和自学能力。例如,在热处理一章中,可以根据教学内容设置:“工艺案例分析”、“实践活动”、“史海拾贝”等内容,引导学生相互探讨与交流,激发学习兴趣。

(2) 介绍成熟的新知识、新技术、新工艺和新材料,并面向实际应用,如激光热处理、激光焊接、激光切割、激光加工等新工艺。

(3) 在课程学习和实践教学活动中注重渗透爱国主义教育、职业道德教育、环境保护教育、安全生产教育及创业教育。例如,举例说明中国古代在金属加工方面的辉煌成就、新中国在钢铁生产方面的取得的成就等,激发学生的爱国热情和敬业精神。

本书建议学时为 56 学时,具体学时分配见下表:

章	建议学时	章	建议学时	章	建议学时
绪论	2	第二章	4	第四章	12
第一章	2	第三章	4	第五章	32
小计	4		8		44
总计			56		

本书附学习卡/防伪标,利用本书封底所附学习卡账号,按照本书最后一页“郑重说明”下方使用说明,登录网站“<http://sve.hep.com.cn>”,可上网学习,获得相关资源。

本书由太原铁路机械学校王英杰,福建工业学校陈礁担任主编,浙江师范大学职业技术学院金升担任副主编,参加编写工作的还有常彬,梁青云,孙曼曼,王丽宁,王文丽,徐冬元。

教育部聘请沈阳大学职业技术学院周兆元教授和靖江中等专业学校徐刚审阅了本书;高等教育出版社聘请九江职业技术学院郁兆昌审阅了本书。他们对本书提出了宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢!

由于编写时间及编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。读者意见反馈邮箱:zz_dzyj@pub.hep.cn。

编 者
2010 年 6 月

目 录

绪论	1	第五节 表面热处理与化学 热处理	64
第 1 章 金属材料的力学性能	5	第六节 热处理新技术简介	68
第一节 金属材料的强度与塑性	5	第 4 章 金属热加工基础	70
第二节 金属材料的硬度	8	第一节 铸造	70
第三节 金属材料的韧性	12	第二节 锻压	81
第四节 金属材料的疲劳强度	14	第三节 焊接	96
第 2 章 常用工程材料	16	第 5 章 金属冷加工基础	112
第一节 非合金钢、低合金钢 和合金钢	16	第一节 金属切削加工基础	112
第二节 铸铁	28	第二节 金属切削机床的 分类及应用	120
第三节 非铁金属	32	第三节 特种加工与先进 加工技术	148
第四节 新型工程材料简介	42	第四节 零件生产过程基础知识 ..	153
第 3 章 钢的热处理	52	附录 中国与外国常用钢铁 材料牌号对照	161
第一节 热处理概述	52	参考文献	164
第二节 退火与正火	55		
第三节 淬火与回火	58		
第四节 时效	62		

绪 论

金属材料由于具有比其他材料优越的性能，如物理性能、化学性能、力学性能及工艺性能等，广泛地应用于机械制造、工程建设、交通、石油化工、农业、国防等领域。因此，了解金属材料的分类、性能及成形加工过程等知识具有重要意义。

一、金属和金属材料的定义

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，并具有特殊金属光泽的物质。金属材料是指由金属元素或以金属元素为主要材料构成的，并具有金属特性的工程材料，它一般包括纯金属和合金两类。

纯金属在工业生产中虽然具有一定的用途，但是由于它的强度、硬度一般都较低，而且冶炼技术复杂，价格较高，因此在使用上受到很大的限制。目前在工农业生产、建筑、国防建设中广泛使用的大多是合金状态的金属材料。

合金是指两种或两种以上的金属元素或金属与非金属元素组成的金属材料，如普通黄铜是由铜和锌两种金属元素组成的合金，普通白铜是由铜和镍两种金属元素组成的合金，碳素钢是由铁和碳组成的合金。与纯金属相比，合金除具有较好的力学性能外，还可以通过调整组成元素之间的比例，获得一系列性能各不相同的合金，从而满足不同的性能要求。



生活常识 纯金的纯度是 99.99%，用 24K 表示；12K 金的含金量是 49.99%，那么，18K 金的含金量是多少呢？12K 金和 18K 金是合金吗？查一查资料，它们主要含有什么元素？

纯金具有优良的韧性，1 盎司 (31.103 5 g) 的纯金可拉成 105 km 长的细线。历史上第一片金箔是埃及人打造的，而今天德国的一家金箔公司可以将 100 g 的纯金打制出 700 万片金箔，这些金箔足可铺满 6 个足球场。

二、金属材料的分类

金属材料通常分为钢铁材料和非铁金属材料两大类，如表 0-1 所示。

表 0-1 金属材料的分类

金 属 材 料								
钢 铁 材 料				非铁金属材料				
非合 金钢	低合 金钢	合金钢	铸铁	铜及铜 合金	铝及 铝合 金	滑动 轴承 合金	钛及 钛合 金	其他 非铁 金属

钢铁材料(或称黑色金属)是指以铁或以它为主形成的金属材料,如钢和生铁。钢铁材料按碳的质量分数 w_c (含碳量)的高低进行分类,可以分为工业纯铁($w_c < 0.0218\%$)、钢($w_c = 0.0218\% \sim 2.11\%$)和生铁($w_c > 2.11\%$)。

非铁金属(或称有色金属)材料是指除钢铁材料以外的其他金属材料,如金、银、铜、铝、镁、钛、锌、锡、铅等。

除此之外,在国民经济建设中还出现了许多新型金属材料,如高温合金、粉末冶金材料、非晶态金属材料、纳米金属衬料、单晶合金以及新型金属功能材料(永磁合金、形状记忆合金、超细金属隐身材料)等。



生活常识

流动的金属——汞

汞是唯一在常温下呈液态的金属。在古代,汞被广泛用于镀金工艺中。金放在汞里会很快溶解,与汞形成一种合金(金汞合金)。把金汞合金涂在要镀金的物体表面,然后进行加热,汞在加热过程中就会不断蒸发,最后留下的便是一层金膜。但是用这种方法镀金,会产生汞蒸气,对人体危害很大,所以现在已不采用这种方法镀金。此外,利用汞能溶解金或其他金属的特性,可以从细碎的矿砂中收集金或其他金属。

三、金属材料加工方法简介

绝大多数的机械产品或机械零件是由金属材料经过某些成形加工方法获得的。目前常用的机械产品成形加工方法主要有:铸造、锻压、焊接、粉末冶金、普通切削加工、数控加工和特种加工等。



生活常识

香味金属

现代医学证明:香气不仅能改善人的心情,还能有效地治疗人的烦恼、恐惧、愤怒等生理反应性疾病。那么,能否将香气浸渗到金属中,并使金属在相当长的时间内源源不断地散发清香呢?

令人欣慰的是这种香味金属已经面世了,且很受消费者青睐。香味金属的合成工序是:根据具体的用途,选择出不同的金属,添加混合剂、减磨剂后压缩成形,然后再放入 $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的高温炉内烧结,这样便获得具有很多孔穴的金属材料。当这样的金属材料进行表面加工时,将液态香味压入或浸渗到金属孔穴之中,这样就形成了香味金属。

现在,美、英、法等国已把香味金属应用到火车、汽车等交通工具内,使旅游的人们能受到清香的熏陶。日本大道钢铁公司已采用一种新技术,利用多孔金属制造项链、戒指、耳环等首饰。多孔金属结构内的香料,借助佩戴者的体温蒸发出香味,使香味长伴人体。

四、金属材料在国民经济中的作用和地位

金属材料在国民经济中具有重要的作用和突出的地位，它是人类社会发展的物质基础。人类利用金属材料制作了生产和生活用的工具及设备设施，不断改善人类生存的环境与空间，创造了丰富的物质文明和精神文明。科学家把金属材料比作现代工业的骨架(图0-1)。随着金属材料大规模生产及消耗量的上升，极大地促进了人类社会和科学技术的飞速发展。

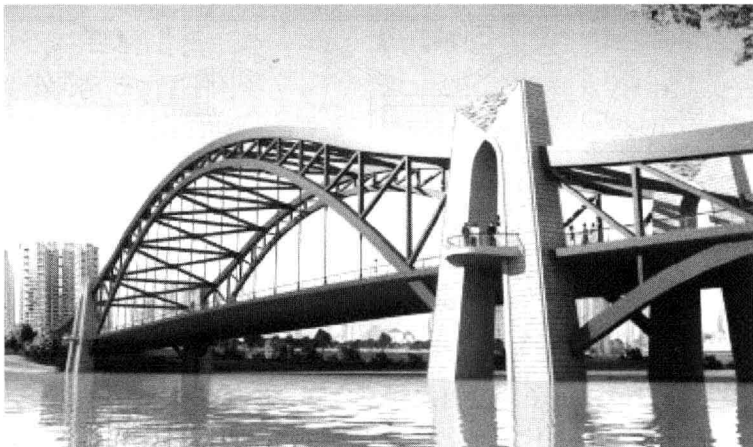


图0-1 桥梁

同时，随着金属材料的广泛使用，地球上现有的金属矿产资源越来越少。据估计，铁、铝、铜、锌、银、锡等几种主要金属的陆地储量，只能再开采100年到300年。怎么办呢？一是向地壳的深处要金属；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，世界各国都在积极研究，改进金属材料的加工工艺，提高其性能，充分发挥其潜力，从而达到节约金属材料的目的。例如，轻体汽车的设计，就是利用高强度钢材减轻汽车自重，达到节约金属材料和省油的目的。

五、金属材料加工技术的发展历史

回顾历史，人类在金属材料及其成形加工方面留下了辉煌的一页。从美雷卢巴(公元前2315年—公元前2190年)陵墓出土的一幅画(图0-2)上可以看到4000多年前古埃及金属加工的技术水平。画上一位官员正称量金属(金子)，记录员记录数量。有6个人正用吹火管吹着熔炉里的火，紧接着是一个人把坩埚里的金属熔液浇注到地上的模子里，在浇注时一个助手用棍子挡着熔渣。画面右端上部几个人正用石锤锻打金属，进行成形加工，而且可以看到已经制造出的各种器具。当时人们只知道用吹火管，还不懂得用风箱鼓风，也不懂得使用有手柄的大锤，而是用石锤锻打金属。

我国也是世界上使用和加工金属材料最早的国家之一，我国使用和加工铜的历史约有4000多年。大量出土的青铜器说明在商代(公元前1600—公元前1046年)我国就具有精湛的青铜加工技术。例如，河南安阳出土的司母戊大方鼎(图0-3)，体积庞大，花纹精巧、造型精美，重达875 kg，属祭器。要制造这么庞大的精美青铜器，需要经过雕塑、制造模样与铸型、冶炼等工序，可以说司母戊大方鼎是雕塑艺术与金属冶炼技术的完美结合。另外，在当时的条



图 0-2 古埃及的金属加工技术

件下要浇铸这样庞大的金属器物，如果没有大规模的劳动分工组织、精湛的雕塑艺术及铸造成形技术，是不可能制造成功的。

早在公元前 6 世纪即春秋末期，我国就已出现了人工冶炼的铁器，比欧洲出现生铁早 1 900 多年，如 1953 年在河北兴隆地区发掘出的用来铸造农具的铁模子，说明铁制农具已大量地应用于农业生产中。另外，我国古代还创造了三种炼钢方法：第一种是战国晚期从矿石中直接炼出的自然钢，用这种钢制作的刀剑在东方各国享有盛誉，后来在东汉时期传入欧洲；第二种是西汉期间经过“百次”冶炼锻打的百炼钢；第三种是南北朝时期的灌钢，即先炼铁、后炼钢的两步炼钢技术，这种炼钢技术比其他国家早 1 600 多年。直到明朝，之前的 2 000 多年间，我国在钢铁生产技术方面一直遥遥领先于世界。

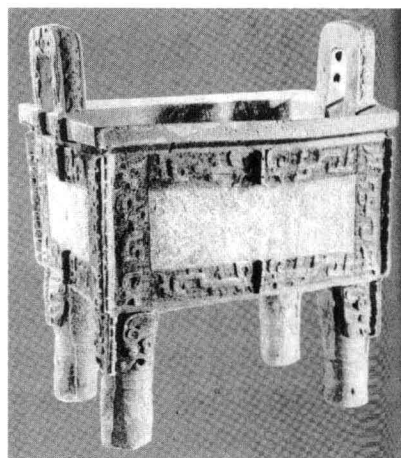


图 0-3 司母戊大方鼎

明朝宋应星所著的《天工开物》一书中详细记载了古代炼铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等多种金属材料加工方法。书中介绍的锉刀、针等工具的制造过程与现代几乎一致，可以说《天工开物》是世界上阐述有关金属成形加工工艺内容最早的科学著作之一。

新中国成立后，我国在金属材料及其成形加工工艺方面的研究与应用有了突飞猛进的发展。2008 年我国的钢铁产量突破了年产 5 亿吨，成为国际钢铁市场上举足轻重的“第一力量”，有力地推动了我国机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表、航天航空等现代化工业的发展。同时，导弹、原子弹、氢弹、人造地球卫星、载人火箭、探月卫星、超导材料、纳米材料等重大项目的研究与试验成功，都标志着我国在金属加工方面达到了新水平。历史充分说明，我国在金属加工方面取得了辉煌的成就，为人类文明做出了巨大的贡献。

随着现代科学技术的发展，金属材料加工工艺也有了日新月异的发展。激光技术与计算机技术在机械零件加工过程中得到了广泛应用，机械零件加工设备不断创新，零件的加工质量和效率不断提高。例如，计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和生产管理信息系统(MIS)的综合应用，突破了传统的金属材料加工方法，提高了金属材料加工水平，降低了机械制造成本，提高了机械产品的使用性能。

第1章 金属材料的力学性能



应知应会与学习要求

本章主要介绍金属材料力学性能指标的分类、含义、使用范围等内容。在学习之后,要注意以下几个方面:第一,要准确理解有关名词的定义;第二,要学会利用掌握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理论知识对遇到的实际问题或现象进行科学地解释。例如,零件的疲劳断裂在日常生活和工作中将会经常遇到,如果我们能够细心地观察和分析日常生活和工作中的疲劳现象,做到理论联系实际,就一定会加强对疲劳现象的认识和理解;第三,为了巩固所学的知识,要学会对知识进行分类、归纳和整理,提高学习效率。



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为保证机械零件或工具正常工作应具备的性能,即在使用过程中所表现出的特性。使用性能包括力学性能(或机械性能)、物理性能和化学性能等。工艺性能是指金属材料在制造机械零件或工具的过程中,适应各种冷、热加工的性能,也就是金属材料采用某种成形加工方法制成成品的难易程度。工艺性能包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。在机械制造过程中,必须了解和掌握金属材料的各种性能特点,以便使机械产品在设计、选材和制造等方面体现出最优化。



第一节 金属材料的强度与塑性 ●●●

一、力学性能的概念

力学性能是指金属材料在力的作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能,又称机械性能,主要包括强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。物体受外力作用后导致物体内部之间产生的相互作用的力称为内力,而单位面积上的内力则称为应力 σ (N/mm²或MPa)。应变是指由外力所引起的物体原始尺寸或形状的相对变化。

金属材料的力学性能是评定金属材料质量的主要依据,也是金属构件设计时选材和进行强度计算的主要依据。

二、拉伸试验过程分析

拉伸试验是指用静(缓慢)拉伸力对试样进行轴向拉伸,通过测量拉伸力和伸长量来测定试样强度、塑性等力学性能的试验。拉伸试样通常采用圆柱形拉伸试样,如图1-1所示。圆

柱形拉伸试样分为短圆柱形拉伸试样和长圆柱形拉伸试样两种：长圆柱形拉伸试样 $L_0 = 10d_0$ ；短圆柱形拉伸试样 $L_0 = 5d_0$ (d_0 为圆柱形拉伸试样的原始直径, L_0 为圆柱形拉伸试样的原始标距,)。为了节省成本, 通常采用短圆柱形拉伸试样。图 1-1a 为圆柱形拉伸试样拉伸前的状态, 图 1-1b 为圆柱形拉伸试样拉断后的状态。图中 d_U 为圆柱形拉伸试样断口处的直径, L_U 为圆柱形拉断拉伸试样对接后测出的标距长度。

在进行拉伸试验时, 拉伸力 F 和试样伸长量 ΔL 之间的关系曲线称为力 - 伸长曲线。通常把拉伸力 F 作为纵坐标, 伸长量 ΔL 作为横坐标。图 1-2 所示为退火低碳钢的力 - 伸长曲线图。

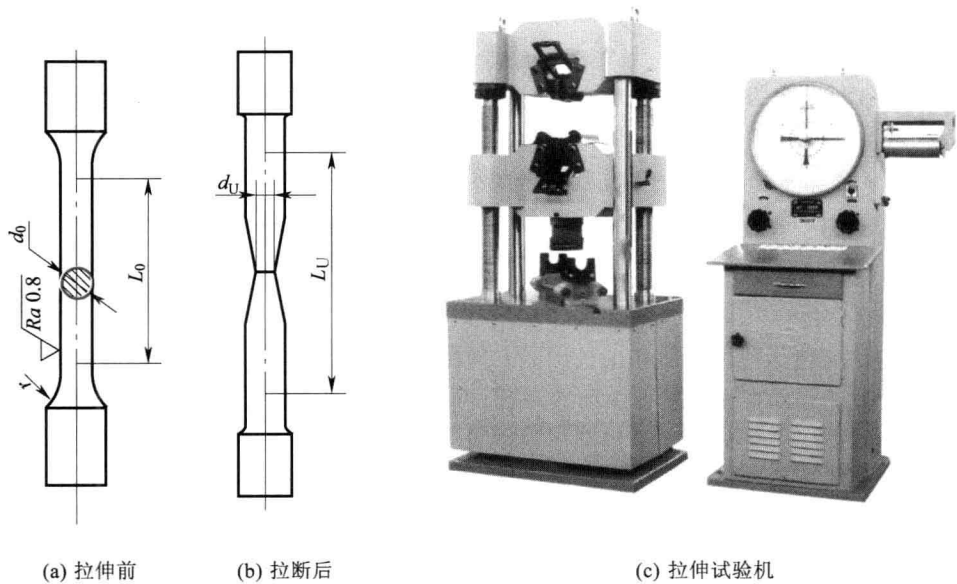


图 1-1 圆柱形拉伸试样和拉伸试验机

在进行拉伸试验时, 拉伸力 F 和试样伸长量 ΔL 之间的关系曲线, 称为力 - 伸长曲线。图 1-2 所示为退火低碳钢的力 - 伸长曲线, 从图中曲线可以看出, 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、颈缩与断裂阶段。

弹性变形阶段是指力 - 伸长曲线中的直线 Op 部分。在该阶段当拉伸力增加时, 试样伸长量 ΔL 呈正比增加。当去除拉伸力后试样伸长变形消失, 恢复其原来形状, 变形表现为弹性变形。图中 F_p 是试样保持弹性变形的最大拉伸力。

屈服阶段是指力 - 伸长曲线中 s 点附近的一段曲线。当拉伸力不断增加并超过 F_p 时, 试样将产生塑性变形, 即去除拉伸力后, 变形不能完全恢复, 变形 (或伸长) 将被长期保留下来。当拉伸力继续增加到 F_s 时, 力 - 伸长曲线在 s 点附近出现一个平台, 即在拉伸力不再增加的情况下, 试样也会明显伸长, 这种现象称为屈服现象。拉伸力 F_s 称为屈服拉伸力。

变形强化阶段是指力 - 伸长曲线中 sb 部分。当拉伸力超过屈服拉伸力 F_s 后, 试样抵抗变形的能力将会增加, 此

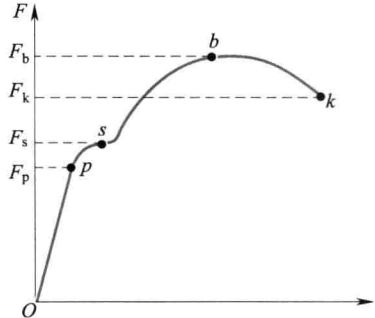


图 1-2 退火低碳钢的力 - 伸长曲线

现象称为冷变形强化。即随着变形的增大，试样变形抗力也逐渐增大。

颈缩与断裂阶段是指力-伸长曲线中 b_k 部分。当拉伸力达到 F_b 时，试样的局部截面开始收缩，产生颈缩现象。由于颈缩使试样局部截面迅速缩小，最终导致试样被拉断。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力，称为极限拉伸力。

三、强度

强度是金属材料抵抗永久变形和断裂的能力。金属材料的强度指标可以通过拉伸试验测得。金属材料抵抗拉伸力的强度指标主要有屈服强度(或规定残余伸长应力)和抗拉强度等。

1. 屈服强度和规定残余伸长应力

屈服强度是指在拉伸试验过程中拉力(或载荷)不增加(保持恒定)的情况下，拉伸试样仍能继续伸长(变形)时的应力。GB/T 228—2002 标准规定：屈服强度分为上屈服强度(R_{eH})和下屈服强度(R_{eL})。一般情况下，屈服强度指下屈服强度。屈服强度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选材和设计的依据。下屈服强度 R_{eL} 可用下式计算：

$$R_{eL} = F_s / S_0$$

式中 R_{eL} ——下屈服强度，MPa；

F_s ——拉伸试样产生屈服时的恒定拉力或首次下降的最小拉力，N；

S_0 ——拉伸试样原始横截面积， mm^2 。

工业上使用的部分金属材料(如高碳钢、铸铁等)在进行拉伸试验时，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强度的指标，即规定残余伸长应力。规定残余伸长应力是指拉伸试样在卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长与原始标距比值达到规定的百分比时的应力，用符号 R_r 表示。如 $R_{0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

2. 抗拉强度

抗拉强度是指拉伸试样拉断前所承受的最大标称拉应力，用符号 R_m 表示。 R_m 可用下式计算：

$$R_m = F_b / S_0$$

式中 R_m ——抗拉强度，MPa；

F_b ——拉伸试样承受的最大载荷，N；

S_0 ——拉伸试样原始横截面积， mm^2 。

R_m 是表征金属材料由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值，也是表征金属材料在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性较好的金属材料来说，拉伸试样在承受最大拉应力 R_m 之前，变形是均匀一致的；但超过 R_m 后，金属材料便开始出现颈缩现象，即产生集中塑性变形。

四、塑性

塑性是金属材料在断裂前发生不可逆永久变形的能力。金属材料的塑性可以用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示，如断后伸长率和断面收缩率。它们是表征材料塑性优劣的主要力学性能指标。

1. 断后伸长率

拉伸试样在力的作用下会产生塑性变形, 拉伸试样中的原始标距会不断伸长。拉伸试样拉断后的标距伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率, 用符号 A 或 $A_{11.3}$ 表示。 A 或 $A_{11.3}$ 可用下式计算:

$$A \text{ 或 } A_{11.3} = (L_U - L_0) / L_0 \times 100\%$$

式中: A 或 $A_{11.3}$ ——断后伸长率, %;

L_U ——拉断拉伸试样对接后测出的标距长度, mm;

L_0 ——拉伸试样原始标距, mm。

使用短拉伸试样测定的断后伸长率用符号 A 表示; 使用长拉伸试样测定的断后伸长率用符号 $A_{11.3}$ 表示。同一种金属材料的断后伸长率 A 和 $A_{11.3}$ 数值是不相等的, 因而不能直接用 A 和 $A_{11.3}$ 进行比较。一般短拉伸试样的 A 值大于长拉伸试样的 $A_{11.3}$ 。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指拉伸试样拉断后颈缩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 Z 表示, 可用下式计算:

$$Z = (S_0 - S_U) / S_0 \times 100\%$$

式中: Z ——断面收缩率, %;

S_0 ——拉伸试样原始横截面积, mm^2 ;

S_U ——拉伸试样断口处的横截面积, mm^2 。

金属材料的塑性对零件的加工和使用具有重要的意义, 塑性好的金属材料容易进行锻压、轧制等成形加工。所以, 大多数机械零件除要求具有较高的强度外, 还要求有一定的塑性。

目前, 金属材料室温拉伸试验方法采用的标准主要是新标准 (GB/T 228—2002), 新标准与旧标准 (GB/T 228—1987) 在强度与塑性方面的名词和符号对照见表 1-1。

表 1-1 新标准与旧标准在强度与塑性方面的名词和符号对照

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_s 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}
规定残余伸长强度	R_r , 如 $R_{r0.2}$	规定残余伸长应力	σ_r , 如 $\sigma_{r0.2}$
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b



实践与思考 弹性变形与塑性变形有何区别?



第二节 金属材料的硬度

硬度是指金属材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。它是衡量金属材

料软硬程度的一种性能指标。由于硬度试验基本上不损伤工件，操作简便、迅速，可直接在工件上进行测试，因此应用广泛。同时，硬度又是一项综合力学性能指标，从金属表面的局部压痕可以反映出金属材料的强度和塑性。因此，在零件图上经常标注出各种硬度指标作为技术要求。硬度对于机械零件的耐磨性有直接影响，金属材料的硬度值愈高，其耐磨性亦愈高。

硬度测定方法有压入法、划痕法、回弹高度法等，其中压入法的应用最为普遍。在压入法中根据载荷、压头和表示方法的不同，常将硬度分为布氏硬度(HBW)、洛氏硬度(HRA、HRB、HRC等)和维氏硬度(HV)三种。

一、布氏硬度(HBW)

布氏硬度的试验原理是用一定直径的硬质合金球，以匹配的试验力压入试样表面，保持规定的时间后，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1-3所示。目前，金属材料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值试验范围上限为650。

布氏硬度的标注方法是将测定的硬度值标注在符号HBW的前面。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的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。例如，150 HBW10/1 000/30表示用压头直径为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时测得的布氏硬度值为150；又如，500HBW5/750表示用压头直径为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时测得的布氏硬度值为500。

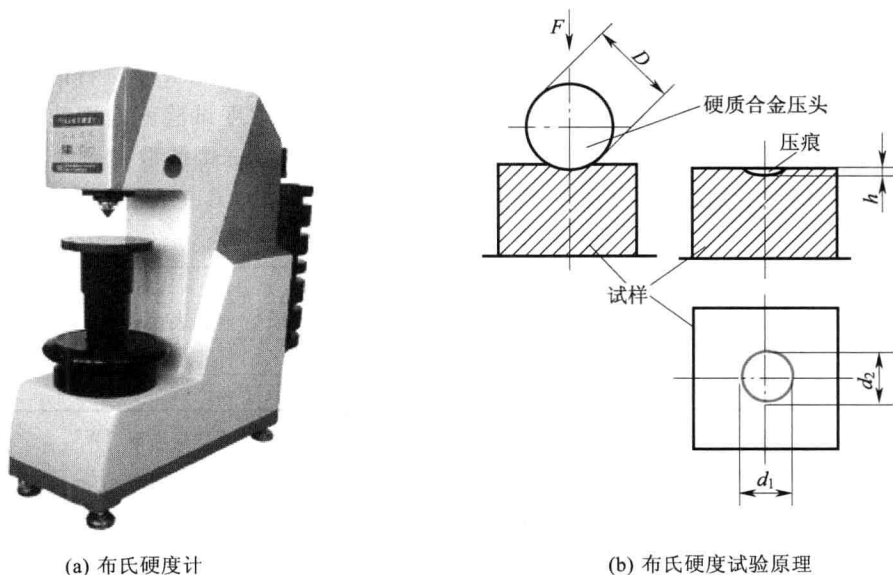
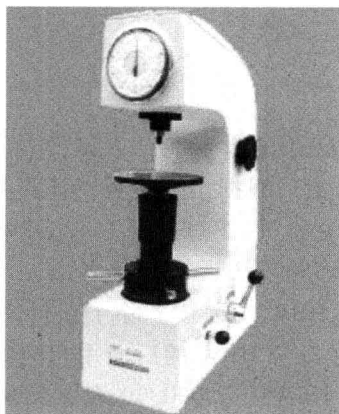


图1-3 布氏硬度计和试验原理示意图

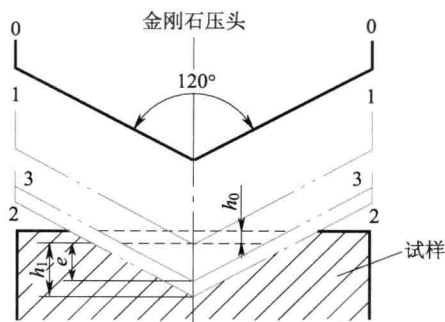
布氏硬度试验的特点是试验时金属材料表面压痕大，能在较大范围内反映被测金属材料的平均硬度，测得的硬度值比较准确，数据稳定。但由于压痕较大，对金属表面的损伤较大，不宜测定太小或太薄的试样。布氏硬度试验主要用于测定原材料的硬度，如铸铁、非铁金属、经退火处理或正火处理的金属材料及其半成品。

二、洛氏硬度(HR)

洛氏硬度的试验原理是将锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.5875 mm 的球(钢球或硬质合金球)压入试样表面(如图 1-4 所示), 试验时, 先加初试验力, 然后加主试验力, 压入试样表面之后, 去除主试验力, 在保留初试验力的情况下, 根据试样残余压痕深度增量来衡量试样硬度的大小。



(a) 洛氏硬度计



(b) 洛氏硬度试验原理

图 1-4 洛氏硬度计和试验原理示意图

在图 1-4 中, 0-0 位置为金刚石压头还没有与试样接触时的原始位置; 当加上初试验力 F_0 后, 压头压入试样中, 深度为 h_0 , 处于 1-1 位置; 再加主试验力 F_1 , 使压头又压入试样的深度为 h_1 , 图中 2-2 位置; 然后去除主试验力, 保留初试验力, 压头因材料的弹性恢复到图中 3-3 位置。图中所示 e 值, 称为残余压痕深度增量。洛氏硬度试验就是用残余压痕深度增量来计算金属材料的硬度值, 实际测量时可通过试验机的表盘直接读取被测金属材料的硬度值。洛氏硬度按选用的总试验力及压头类型的不同, 常用 A、B、C 三种标尺(见表 1-2)。

表 1-2 洛氏硬度测试规范

标尺	压 头	初试验力/N	主试验力/N	适用测试材料	有效值
HRA	120° 金刚石圆锥体	98.07 kg	490.3 kg	硬质合金、表面淬火钢	20 ~ 88
HRB	直径 1.5875 mm 球	98.07 kg	882.6 kg	退火钢、非铁金属	20 ~ 100
HRC	120° 金刚石圆锥体	98.07 kg	1373 kg	一般淬火钢件	20 ~ 70

注: 使用钢球压头时, 在硬度符号后面加“S”, 使用硬度合金球压头时, 在硬度符合后面加“W”。

根据 GB/T 230.1—2004 规定, 洛氏硬度数值写在符号 HR 的前面, 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。

洛氏硬度试验是生产中广泛应用的一种硬度试验方法。其特点是: 硬度试验压痕小, 对试样表面损伤小, 常用来直接检验成品或半成品零件的硬度, 尤其是经过淬火处理的零件, 常采用洛氏硬度计进行测试; 另外, 试验操作简便, 可直接从试验机上读取硬度值。但是, 由于压痕小, 硬度值的准确性不如布氏硬度高, 数据重复性差。因此, 在测试时要选取不同位置的三点测出硬度值, 将三点硬度的平均值作为被测金属材料的洛氏硬度值。