



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属工艺学

(近机类)

第二版

主编 王英杰



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

金属工艺学

(近机类)(第二版)

主编 王英杰

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材。本书根据 2000 年 8 月教育部颁发的《中等职业学校金属工艺学教学大纲(试行)》,并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核内容编写。

全书共 13 章,主要阐述了金属的性能、金属学基础知识、非合金钢、钢的热处理、低合金钢与合金钢、铸铁、非铁金属及其合金、非金属材料、铸造、锻压、焊接、切削加工基础知识、切削机床及切削加工等。各章之后都有小结及结合实际“复习与思考”。

本书可作为中等职业学校近机类各专业的教材。也可作为机械类专业的职工培训用教材。

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学/王英杰主编. —2 版. —北京:高等教育出版社,2007.5

近机类

ISBN 978 - 7 - 04 - 021033 - 0

I. 金… II. 王… III. 金属加工 - 工艺学 - 专业学校 - 教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 059241 号

策划编辑 王瑞丽 责任编辑 陈大力 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 马静如 责任校对 姜国萍 责任印制 毛斯璐

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 100011
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京机工印刷厂

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 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 12.75
字 数 310 000

版 次 2001 年 7 月第 1 版
2007 年 5 月第 2 版
印 次 2007 年 5 月第 1 次印刷
定 价 14.80 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 21033 - 00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

短信防伪说明：

本图书采用出版物短信防伪系统，用户购书后刮开封底防伪密码涂层，将16位防伪密码发送短信至95881280，免费查询所购图书真伪，同时将有可能会参加鼓励使用正版图书的抽奖活动，赢取各类奖项，详情请查询中国扫黄打非网(<http://www.shdf.gov.cn>)。

短信反盗版举报：编辑短信“JB,图书名称,出版社,购买地点”发送至9588128

短信防伪客服电话：(010)58582300/58582301

学习卡账号使用说明：

本书学习卡账号附在高等教育出版社出版的相关中职教材封底防伪码赠送。

请使用本书封底标签上防伪明码作为登录账号，防伪密码作为登录密码，登录“<http://sve.hep.com.cn>”或“<http://sve.hep.edu.cn>”，可获得累计20小时中职课程的多项增值服务，进行网上学习、下载资源和答疑等服务。

中职教师通过收集20个有效学习卡账号和密码，登录网站，注册获得会员账号，可获得累计100小时教师网上资源，包括电子教案、演示文稿、教学素材及教学资料等。

学习卡账号自登录之日起一年内有效，过期作废。会员账号自注册之日起一年内有效。

使用本学习卡账号如有任何问题，请发邮件至：4A_admin_zz@hep.edu.cn

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1号)的精神,教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从2001年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为学校选用教材提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的学校的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,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

2001年5月

第二版前言

本书第一版自2001年出版以来,一直受到中等职业学校广大师生的好评和关心。但随着科学技术的不断发展、新的国家标准的陆续颁布和实施、教育教学改革的不断深化、社会对学生就业素质与能力需求的变化以及考虑用书学校提出的修改意见与要求,按照高等教育出版社的要求,我们对第一版教材进行了全面的修订。

一、修订第一版教材的基本思路

(1) 保持第一版教材的适用范围和定位。

(2) 基本保持第一版教材的内容框架结构,如章节顺序和图表。

(3) 适应目前教育教学改革中出现的新情况、新问题、新要求,简化部分教学内容及其难度,使理论知识科普化,以便于理解,突出实践环节,加强工艺流程和应用范围的介绍,贴近生产过程,使学生对加工工艺过程具有初步认识,并为后续相关课程进行必要的知识铺垫。

(4) 修订第一版教材中存在的问题。

(5) 保持第一版教材在文字说明方面精炼、通俗易懂和形象直观的特色,进一步对文字说明和图表进行推敲和修改。

二、主要的修订内容和补充内容

(1) 对部分表格进行修改,使内容更精炼和典型,突出了重点。

(2) 采用新的布氏硬度新标准 GB/T 231.1—2002。

(3) 删除了“铝及合金的组别分类”、“树脂中的部分相关内容”、“锻接”、“电子束加工、离子束加工、电铸加工”、“实验指导”等。

(4) 对个别图进行更新,重新修订了部分图示,使图的形式更统一、准确和形象直观。

(5) 对个别定义和概念进行修订,如规定残余伸长应力、韧脆转变温度、铸铁等概念,使概念通俗易懂,便于学生理解。

三、本书的主要特色

(1) 立足职业素质和能力的培养,内容覆盖面宽、系统、严谨、层次分明,突出实践性,注重理论与实际相结合。

(2) 适合50学时左右的金属工艺学课程教学要求。

(3) 注重将理论知识科普化,将工艺过程精炼和突出。配备了方便学生复习和便于任课教师组卷的复习题库和试卷库,简化了目前不适合学生基本素质状况的试题库建设及组卷工作。

(4) 配备了相关配套教材,如王英杰主编的《金属工艺学实习》;配备了网络课程学习资源,师生可以通过本书所附学习卡,登录 <http://sve.hep.com.cn> 中等职业教育教学资源网获得有关教学资料。例如,复习思考题集及其标准答案、实验指导、部分生产过程视频资料、电子教案、试卷库(4份)等。

(5) 实行开放式教学,引导学生深入社会,了解企业的状况,探索解决问题的途径,培养积极

进取精神。

(6) 鼓励学生利用信息社会提供的现代化信息技术手段,拓宽知识面,培养信息素养。

(7) 培养学生自学能力,适应终身学习型社会需要。

本书在修订过程中得到了吴联兴老师的帮助和指导,在此表示感谢。参加此次修订工作的人员有王英杰、金升、李云峰、郭晋荣、王美玉。由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年6月

前 言

本书是中等职业教育国家规划教材,是根据2000年8月教育部颁发的《中等职业学校金属工艺学教学大纲(试行)》编写的。本书适用于近机类专业的基础课程教学。针对目前金属工艺学教学过程中出现的新要求、新情况以及某些教材中存在的问题,我们认真研究了新的中等职业学校金属工艺学教学大纲,查阅了大量的参考资料,进行了多次专题交流与研讨,汲取了各种现有教材的精华。

本教材的教学目标是:①比较系统地介绍机械制造过程,强化学生的工程意识、质量意识、效益意识和环境保护意识,培养和造就素质高、知识面宽的应用型人才;②适应未来若干年的就业形势,积极培养学生的创业意识和创业能力,为其自谋职业奠定良好的基础知识和实践经验;③强化实验教学,提高学生的动手能力和实践技能;④培养综合应用能力,引导学生学会应用所学的理论知识解决一些实际问题,使学生建立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;⑤培养学生团结合作,相互交流,相互学习,勇于探讨问题的学习风气;⑥引导学生深入社会,了解企业的状况,善于发现实际问题,探索解决问题的途径,培养不断创新和积极进取的创业精神;⑦善于利用信息社会提供的现代化信息技术手段拓展知识面。

本书在内容上尽量做到布局合理、丰富、新颖;在文字方面做到精炼、准确、通俗易懂;在内容组织上注意逻辑性、系统性和层次分明,突出实践性和适用性,注重理论与实际相结合;在时代性上尽量反映机械制造方面的新技术、新材料、新工艺和新设备,使教师和学生的认识在一定层次上能跟上现代科技发展与职业技术教育的新要求。每章有小结,指导学生掌握学习重点和学习方法;附有较全面的各种类型的“复习与思考”,供学生自学时自我检查是否掌握和理解了所学的基础知识;此外,书中还编写了教学大纲规定的实验指导内容,供教师和学生进行实验教学。

另外,王英杰主编的《金属工艺学实习》与本教材配套使用,以供实习教学。

本教材建议课时(总学时56课时)分配如下表:

章	建议课时	章	建议课时	章	建议课时
绪论 第一章	4	第六章	2	第十一章	4
第二章	4	第七章	4	第十二章	2
第三章	2	第八章	4	第十三章	6
第四章	4	第九章	4	机动	2
第五章	4	第十章	4	实验	6
小计	18		18		20
总计			56		

本书前言、绪论、第一章至第七章和实验指导由太原铁路机械学校王英杰编写,第八章由太

原铁路机械学校李雪芳编写,第九章和第十章由金华铁路司机学校金升编写,第十一章至第十三章由太原铁路机械学校张小剑编写;本书由王英杰主编。高等教育出版社聘请南京化工学校罗会昌任本书主审。

本书由全国中等职业教育教材审定委员会通过,赵国景教授任责任主审,张连凯、张勤副教授审稿。他们对提高书稿质量起到了重要作用,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。同时,本书在编写过程中参考了大量的文献资料,在此向文献资料的作者致以诚挚的谢意。

编 者

2000 年 12 月

目 录

绪论	(1)	第三节 低合金钢	(61)
第一章 金属的性能	(3)	第四节 合金钢	(62)
第一节 金属的力学性能	(3)	小结	(71)
第二节 金属的物理性能与化学性能	(12)	复习与思考	(72)
小结	(15)	第六章 铸铁	(74)
复习与思考	(15)	第一节 铸铁概述	(74)
第二章 金属学基础知识	(17)	第二节 常用铸铁	(75)
第一节 金属的晶体结构	(17)	第三节 合金铸铁	(81)
第二节 纯金属的结晶	(20)	小结	(82)
第三节 金属的同素异构转变	(21)	复习与思考	(82)
第四节 合金的晶体结构	(22)	第七章 非铁金属及其合金	(84)
第五节 铁碳合金的基本组织	(24)	第一节 铝及铝合金	(84)
第六节 铁碳合金状态图	(26)	第二节 铜及铜合金	(88)
小结	(30)	第三节 钛及钛合金	(93)
复习与思考	(31)	第四节 轴承合金	(94)
第三章 非合金钢	(33)	小结	(97)
第一节 杂质元素对钢性能的影响	(33)	复习与思考	(97)
第二节 非合金钢的分类	(34)	第八章 非金属材料	(99)
第三节 非合金钢的牌号及用途	(35)	第一节 高分子材料	(99)
小结	(40)	第二节 陶瓷材料	(106)
复习与思考	(40)	第三节 复合材料	(108)
第四章 钢的热处理	(42)	小结	(111)
第一节 钢在加热时的组织转变	(43)	复习与思考	(111)
第二节 钢在冷却时的组织转变	(44)	第九章 铸造	(112)
第三节 退火与正火	(45)	第一节 铸造概述	(112)
第四节 淬火	(47)	第二节 砂型铸造	(113)
第五节 回火	(50)	第三节 合金的铸造性能	(119)
第六节 钢的表面热处理与化学热处理	(52)	第四节 特种铸造	(122)
小结	(54)	小结	(125)
复习与思考	(55)	复习与思考	(125)
第五章 低合金钢与合金钢	(57)	第十章 锻压	(126)
第一节 合金元素在钢中的作用	(57)	第一节 锻压概述	(126)
第二节 低合金钢与合金钢的分类及 牌号	(59)	第二节 锻压加工的基本知识	(127)
		第三节 金属锻造工艺	(130)

第四节 冲压	(136)	小结	(163)
小结	(138)	复习与思考	(163)
复习与思考	(138)	第十三章 切削机床及切削加工	(165)
第十一章 焊接	(140)	第一节 切削机床的分类与型号	(165)
第一节 焊接概述	(140)	第二节 车床	(166)
第二节 焊条电弧焊	(141)	第三节 钻床与镗床	(172)
第三节 其他焊接方法	(146)	第四节 刨床与插床	(175)
第四节 常用金属材料的焊接	(150)	第五节 铣床	(177)
小结	(151)	第六节 磨床	(179)
复习与思考	(152)	第七节 特种加工简介	(181)
第十二章 切削加工基础知识	(153)	第八节 数控加工简介	(185)
第一节 切削加工概述	(153)	小结	(189)
第二节 切削运动与切削用量	(153)	复习与思考	(189)
第三节 切削刀具	(155)	参考文献	(191)
第四节 切削过程中的物理现象	(159)		

绪 论

金属材料和非金属材料的使用及其加工方法的不断改进是人类社会发展的重要里程碑,历史上的石器时代、青铜器时代和铁器时代都是以材料作为时代标志的。今天,如果没有耐高温、高强度、高性能的钛合金等金属材料,就不可能有现代宇航工业的发展。所以,早在 20 世纪 70 年代初,国内外的材料专家就已把金属材料比作现代工业的骨架了。因此,如果没有金属材料,当今社会科学技术的发展与进步,以及整个社会的生活与生产,都是不堪设想的。

人类社会从石器时代进入青铜器时代以后,金属材料便在人类生活中占据了十分重要的地位。特别是大规模生产钢铁工艺的出现,使金属材料的消耗量急剧上升,促进了科学技术和社会经济的飞速发展,同时也使地球上现有的金属资源越来越少。据估计,铁、铝、铜、锌、银等几种主要金属的储量,而今只够再开采 100~300 年。怎么办呢?一是向地壳的深部要资源;二是向海洋要资源;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,研究和开发新材料(如复合材料),不断改进现有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与非金属材料等,以达到减轻汽车自重、节约金属材料和省油的目的。

20 世纪中叶,随着科学技术的发展、社会环保意识的加强以及生产的需求,出现了许多非金属材料。非金属材料的使用,不仅满足了机械制造工程中的特殊需求,而且还大大简化了机械制造的工艺过程,降低了成本,提高了产品的使用性能。其中比较突出的就是塑料、陶瓷和复合材料的广泛应用。目前,它们的特殊性能正在不断地得到广大工程技术人员的认可,其应用范围正不断地扩大。

随着科学技术的发展,在机械零件的加工工艺技术方面也出现了日新月异的发展、如激光技术与计算机技术在机械零件加工过程中的应用,使得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;计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)和生产管理信息系统(MIS)的综合应用,突破了传统的机械零件加工方法,产生了巨大的变革。对于现代机械制造行业的技术工人来讲,学习本课程的有关知识对于提高自身素质,更好地适应现代化生产以及知识经济社会具有很好的指导意义。

回顾历史,我国曾是世界上使用金属材料最早的国家之一。我国使用铜的历史约有 4 000 余年,大量出土的青铜器,说明在商代就有了高度发达的青铜加工技术。例如,河南安阳出土的司母戊大方鼎,体积庞大,花纹精巧、造型精美,重达 875 kg,属殷商祭器。要制造这么精美的青铜器,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古代雕塑艺术与金属冶炼技术的完美结合。同时,在当时的条件下要浇注这样庞大的金属器物,如果没有大规模的劳动分工和精湛的雕塑艺术与铸造技术,是不可能完美地制造成功的。

另外,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 年在我国河北兴隆地区发掘出土的用来铸造农具的铁模子,即能说明

铁制农具早在我国春秋战国时期就已大量地应用于农业生产中。同时,我国古代还创造了三种炼钢方法:第一种是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,这种炼钢技术我国比其他国家早 1 600 多年,直到明朝之前的 2 000 多年间,我国钢铁生产技术在世界上一直遥遥领先。

1965 年在湖北省出土的越王勾践青铜剑,虽然在地下深埋了 2 400 多年,但是这把剑在出土时却没有一点锈斑,完好如初,说明当时不仅已掌握了金属冶炼、锻造、热处理等技术,而且还掌握了金属材料的防腐蚀技术。

在唐朝(约公元 7 世纪)时期,我国已应用锡焊和银焊技术,而此项技术欧洲直到公元 17 世纪才开始出现。

根据文字记载,公元 1668 年我国已使用直径 6.6 m 的镶片铣刀,该铣刀由牲畜带动旋转,用来加工天文仪上的铜环。

明朝宋应星所著《天工开物》一书中详细记载了古代冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等多种金属加工方法,以及锉刀、针等工具的制造过程等,而且其制造过程与现代几乎一致。这本书是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一。

历史充分说明,我国古代劳动人民在金属材料及其加工工艺方面取得了辉煌的成就,为人类文明做出了巨大的贡献。新中国成立后,我国在金属材料与非金属材料及其加工工艺理论研究方面有了突飞猛进的发展,推动了机械制造、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。原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星、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材料与非金属材料及其加工工艺方面达到了新的水平。“金属工艺学”比较系统地介绍了金属材料与非金属材料的种类、加工过程、性能和应用方面的基础知识,是融汇多种专业基础知识为一体的专业技术基础课,是培养从事机械制造行业应用型、管理型、操作型与复合型人才的一必修课程。

金属工艺学课程具有内容广、实践性和综合性突出的特点。学习本课程时,要多联系在金属材料和非金属材料方面的感性知识和生活经验,特别是在实习中要多观察,勤实践,做到理论联系实际,这样才能更好地学好系列教材中的知识,做到全面发展。

学习本课程的基本要求是:

1. 了解常用材料的牌号、性能、用途和一般选用原则。
2. 理解常用热处理工艺的原理、特点及应用,熟悉典型零件的热处理方法。
3. 了解零件的各种加工工艺的基本原理和特点。
4. 了解各种加工方法所用设备(工具)的工作原理和应用范围,掌握一些主要设备和工具的基本操作方法。
5. 了解与本课程有关的新技术、新工艺、新设备、新材料的发展概况。
6. 在学习上要逐步树立知识经济意识,善于利用各种信息资源拓展知识面和能力,培养严谨、科学、创新与创业、艰苦奋斗的企业精神,加强环境保护意识,做到清洁生产和文明生产,以便最大限度地获得企业效益和社会效益。

第一章 金属的性能

金属材料由于其特有的性能特点而被广泛应用。在机械制造行业中,为了设计制造具有竞争力的产品,必须首先了解和掌握材料的各种性能。通常把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。金属材料的使用性能包括力学性能、物理性能和化学性能等。只有全面地了解金属的各种性能,才能做到正确、经济、合理地选用金属材料。

第一节 金属的力学性能

金属的力学性能是指金属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,如弹性、强度、硬度、塑性、韧性等。弹性是指物体在外力作用下改变其原始形状和尺寸,当外力卸除后物体又恢复到其原始形状和尺寸的特性。物体受外力作用后导致物体内部之间相互作用的力称为内力。单位面积上的内力称为应力(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(%)。

金属力学性能是评定金属材料质量的主要判据,也是金属制件设计时选材和进行强度计算的主要依据。金属的力学性能主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

一、强度与塑性

强度是指金属抵抗永久变形和断裂的能力。塑性是指金属在断裂前发生不可逆永久变形的能力。如果物体在力的作用下产生形状、尺寸的改变,而外力去除后物体不能恢复到原始的形状和尺寸,这种不能恢复到原始的形状和尺寸的变形称永久变形或塑性变形。金属的强度和塑性指标可以通过拉伸试验测得。

(一) 拉伸试验

拉伸试验是指用静拉伸力对试样进行轴向拉伸,测量拉伸力和相应的伸长,并测其力学性能的试验。拉伸时一般将拉伸试样拉至断裂。

1. 拉伸试样

拉伸试验通常采用圆柱形拉伸试样,试样尺寸按国家标准中金属拉伸试验试样中的有关规定进行制作。试样分为短试样和长试样两种,一般都采用短试样。拉伸试样如图1-1所示:图1-1a为标准试样,图1-1b为拉断后的试样。 d_0 为标准试样的原始直径; d_1 为试样断口处的直径。 L_0 为标准试样的原始标距长度; L_1 为拉断试样对接后测出的标距长度。长试样 $L_0 = 10d_0$;短试样 $L_0 = 5d_0$ 。

2. 试验方法

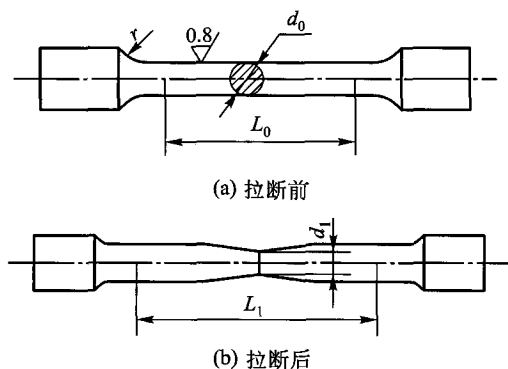


图 1-1 圆柱形拉伸试样

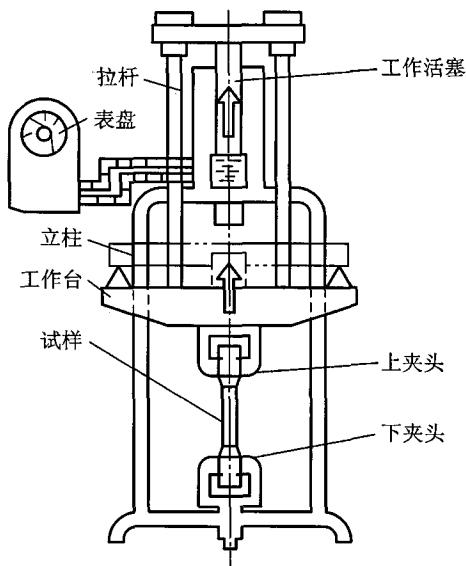


图 1-2 拉伸试验机示意图

拉伸试验在拉伸试验机上进行。图 1-2 为拉伸试验机示意图。将试样装在拉伸试验机的上、下夹头上,开动拉伸试验机,在轴向拉力的作用下试样受到拉伸,同时记录装置记录下拉伸过程中的力 - 伸长曲线。

(二) 力 - 伸长曲线

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。通常以拉伸力 F 为纵坐标,伸长量 ΔL 为横坐标,图 1-3 为退火低碳钢的力 - 伸长曲线图。

观察拉伸试验和力 - 伸长曲线会发现,在拉伸试验的开始阶段,试样的伸长量 ΔL 与拉伸力 F 之间成正比例关系,在力 - 伸长曲线图中为斜直线 Op 。在该阶段,当拉伸力增加时试样伸长量 ΔL 也呈正比地增加。当去除拉伸力后试样伸长变形消失,恢复其原始形状,符合胡克定律,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。

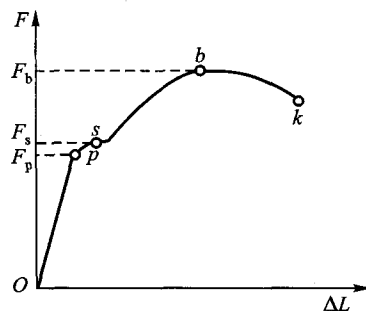


图 1-3 退火低碳钢的力 - 伸长曲线

当拉伸力不断增加,超过 F_p 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伸长,这种现象称为屈服。拉伸力 F_s 称为屈服拉伸力。

当拉伸力超过屈服拉伸力后,试样抵抗变形的能力将会增加,此现象为冷变形强化,即抗力增加现象。在力 - 伸长曲线上表现为一段上升曲线,即随着塑性变形量的增大,试样变形抗力也逐渐增大。

当拉伸力达到 F_b 时,试样的局部截面开始收缩,产生了缩颈现象。由于缩颈使试样局部截面迅速缩小,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。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力,称为极限拉伸力。

从完整的拉伸试验和力-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、冷变形强化阶段、缩颈与断裂阶段。

(三) 强度指标

金属抵抗拉伸力的强度指标有屈服点、规定残余伸长应力、抗拉强度等。

1. 屈服点和规定残余伸长应力

屈服点是指试样在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。屈服点用符号 σ_s 表示,单位为 MPa,其值可用下式计算:

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

式中 F_s ——试样屈服时的拉伸力, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

工业上使用的一些金属材料,如高碳钢、铸铁等,在进行拉伸试验时没有明显的屈服现象,也不会产生缩颈现象,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。

规定残余伸长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之比达到规定百分数时的应力,以应力的符号 σ 加角标表示。例如, $\sigma_{0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

2. 抗拉强度

抗拉强度是指试样拉断前承受的最大标称拉应力。抗拉强度用符号 σ_b 表示,单位为 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 是金属由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值,也是金属在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性金属来说,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,金属开始出现缩颈现象,即产生集中变形。

(四) 塑性指标

金属的塑性可以用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示,如拉伸后的断后伸长率和断面收缩率。它们是工程上广泛使用的表征材料塑性好坏的主要力学性能指标。

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, mm。

由于拉伸试样分为长试样和短试样, 因此, 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。同一种材料的断后伸长率 δ_{10} 和 δ_5 数值是不相等的, 一般短试样 δ_5 值大于长试样 δ_{10} 。

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, mm^2 ;

S_1 ——试样断口处的横截面积, mm^2 。

金属材料塑性的好坏, 对零件的加工和使用具有重要意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成形工艺, 而且在使用时万一超载, 由于塑性好能避免突然断裂。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。

目前金属材料室温拉伸试验方法采用 GB/T 228—2002 新标准, 由于目前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见表 1-1。

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}
规定残余伸长强度	R_r , 如 $R_{0.2}$	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

二、硬度

硬度是衡量金属软硬程度的一种性能指标, 也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。

硬度试验和拉伸试验都是在静载荷下测定金属力学性能的方法。硬度试验由于其基本上不损伤试样, 简便迅速, 不需要制作专门试样, 可直接在工件上进行测试, 因而在生产中被广泛地应用。拉伸试验虽能准确地测出金属的强度、塑性, 但属于破坏性试验, 因而在生产中不如硬度试验应用广泛。硬度是一项综合力学性能指标, 从金属表面的局部压痕也可以反映出金属的强度