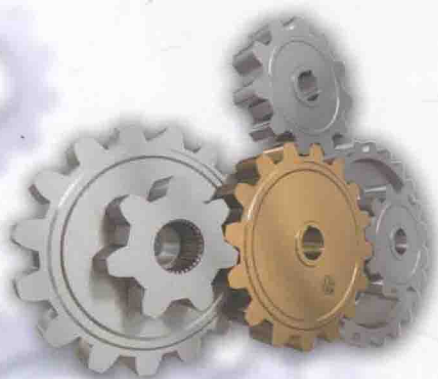




高等职业教育“十二五”规划教材

机械制造

项峻松 主 编
贾相武 主 审



人民交通出版社
China Communications Press

高等职业教育“十二五”规划教材

Jixie Zhizao
机 械 制 造

项峻松 主编

贾相武 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

全书共分为十四章,内容包括:绪论;工程材料基础;铸造成型;塑性成型;焊接成型;非金属材料成型;快速成型技术;机械零件材料与毛坯的选择;机械切削加工基础;机械加工工艺基础;典型零件加工;机械加工质量及表面处理;机械装配工艺;特种加工与机械制造技术展望等。本书可作为高等职业教育教材,也可供职工技术培训及有关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造 / 项峻松主编. — 北京:人民交通出版社, 2014.1

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-114-11112-9

I. ①机… II. ①项… III. ①机械制造—高等职业教育—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 001425 号

高等职业教育“十二五”规划教材

书 名: 机械制造

著 作 者: 项峻松

责任编辑: 周 凯 富砚博

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 25.25

字 数: 640 千

版 次: 2014 年 1 月 第 1 版

印 次: 2014 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-11112-9

定 价: 65.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

机电设备维修与管理(港口机械) 专业建设委员会

主任委员 王怡民

副主任委员 金仲秋 李锦伟

编 委 柴勤芳 屠群锋 兰杏芳 朱小平

胡启祥 田文奇 杨成军(企业)

任小波(企业) 章正伟 项峻松

张振兴(企业) 徐忞福(企业)

钟满祥(企业) 郑 淳(企业)

前言 Preface

为更好地服务于浙江海洋经济发展示范区规划、浙江舟山群岛新区建设这两大国家级发展战略和浙江港航强省战略,为区域港航物流业提供人才支撑,浙江交通职业技术学院选择机电设备维修与管理(港口机械)专业建设作为中央财政支持提升专业服务产业发展能力建设项目。在2011年至2013年建设期间,通过项目推进,加快紧缺型高端技能人才培养,取得了可喜成绩。本教材为该项目建设成果之一。

《机械制造》是一门讲述机械产品制造过程的综合性基础课程,是专业必修课程,该课程的主要任务是培养学生懂得现代材料学和制造技术的知识,具备选材、零件制造的能力。本教材的编写符合培养计划的要求,针对性强,难度适中,便于学生掌握。

现代科学技术的发展,不断更新机械制造的技术手段和管理模式,在当前细化分工合作的生产模式下,学生的未来职业环境决定了知识重在应用,争取一岗多能,因此本书减缩了传统理论知识的介绍,扩大了知识面,以实际工作环境和产品为导向,将材料、工艺方法等知识放到现代机械制造这个系统中去,让学生体验产品从最初原材料直到成品的过程,从中认识和学习机械制造所必须的基础知识,使其更快地应用到实际工作中去。

现代机械制造技术紧密结合了当前新技术的发展,参与人员不仅要掌握传统工艺技术,更要掌握一定的新颖制造技术,所以本书对数字快速成型、特种加工技术也做了一定的介绍,使得读者能够贴近现代制造技术的发展方向。

本书以培养应用型技术人才为目标,以行业实践为基础,注重培养学生的机械工程制造职业技能,着重培养学生的创新思维和实际应用能力。全书共分为十四章,内容包括:绪论;工程材料基础;铸造成型;塑性成型;焊接成型;非金属材料成型;快速成型技术;机械零件材料与毛坯的选择;机械切削加工基础;机械加工工艺基础;典型零件加工;机械加工质量及表面处理;机械装配工艺;特种加工与机械制造技术展望等。本书可作为高等职业教育教材,也可供职工技术培训及有关工程技术人员学习参考。

本书由浙江交通职业技术学院项峻松主编,贾相武主审,舟山港股份有限公司李贤松参编机械装配工艺部分。编写过程中参考了大量文献资料,在此,特向提供资料和研究成果的学者,在理论上、经验上给予指导的专家同行致以诚挚的谢意!

由于编者经验所限,书中难免有不足之处,衷心希望广大读者、各位专家学者提出宝贵意见,以便进一步修改完善。

编者

2013年9月

目 录 Contents

第一章 绪论	1
第一节 制造业的概念和发展	1
第二节 机械制造业的发展、重要性和目标	3
第三节 关于本课程	4
第二章 工程材料基础	6
第一节 材料的分类和性能	6
第二节 金属材料的性能	7
第三节 非金属材料的基本知识	17
第四节 金属的晶体结构与结晶	23
第五节 铁碳合金	32
第六节 材料的改性处理	37
第七节 常用金属材料	57
第八节 非金属材料和复合材料	78
第三章 铸造成型	92
第一节 铸造成型概论	92
第二节 砂型铸造	100
第三节 特种铸造	106
第四节 铸造工艺设计	112
第五节 砂型铸造铸件结构设计	116
第六节 铸造新技术及发展趋势	121
第四章 塑性成型	123
第一节 塑性成型理论基础	123
第二节 塑性成型方法	128
第三节 其他塑性成型工艺及发展趋势	147
第五章 焊接成型	152
第一节 焊接成型理论基础	152
第二节 常用焊接方法	156
第三节 焊接结构工艺设计	165
第四节 焊接技术的新发展	169
第六章 非金属材料成型	173
第一节 工程塑料成型	173
第二节 工业橡胶成型	184
第三节 陶瓷成型	185

第四节	复合材料成型	187
第五节	非金属材料成型新技术	191
第七章	快速成型技术	193
第一节	快速成型技术概念与分类	193
第二节	快速成型技术的工艺过程	195
第三节	几种常用快速成型技术的原理	197
第四节	快速成型技术的广泛应用	201
第八章	机械零件材料与毛坯的选择	203
第一节	零部件的失效	203
第二节	选择材料的原则	205
第三节	典型零件的选材	208
第四节	毛坯成型方法的选用	212
第五节	常见机械零件的毛坯成型方法	215
第九章	机械切削加工基础	217
第一节	零件切削加工的基本概念	217
第二节	切削加工机床和装备	220
第三节	车削加工及装备	223
第四节	铣削加工与铣床	228
第五节	刨削、插削与拉削加工	233
第六节	钻削、铰削、镗削加工	237
第七节	磨削加工	240
第八节	齿轮加工	244
第九节	电加工	251
第十节	切削刀具基础	254
第十一节	常见表面加工	259
第十章	机械加工工艺基础	271
第一节	机械加工工艺规程概述	271
第二节	零件的结构工艺性	274
第三节	工件的定位与夹具基础	277
第四节	零件加工工艺路线	285
第五节	加工余量与工序尺寸的确定	290
第六节	工艺过程的经济性	299
第七节	机械加工工艺规程制定	302
第十一章	典型零件加工	307
第一节	轴类零件加工	307
第二节	盘套类零件加工	316
第三节	箱体类零件加工	323
第十二章	机械加工质量及表面处理	334
第一节	机械加工精度	334
第二节	机械加工表面质量	341

第三节	影响表面质量的工艺因素	343
第四节	控制表面质量的工艺途径	345
第五节	机械加工振动对表面质量的影响及其控制	347
第六节	零件的表面处理	350
第十三章	机械装配工艺	370
第一节	机械装配工艺概述	370
第二节	机械装配方法	372
第三节	装配工艺规程的制定	376
第十四章	特种加工与机械制造技术展望	381
第一节	特种加工概述	381
第二节	特种加工介绍	383
第三节	机械制造技术的发展与展望	389
参考文献		393

第一章 绪 论

第一节 制造业的概念和发展

一、制造和制造业的概念

在国民经济产业结构中,通常有三大产业:第一产业为农业;第二产业为工业;第三产业为服务业。在工业中,又分制造业、建筑业、采掘业及能源和水资源的生产供应业等。目前,我国的工业在国民经济中所占比例过半,其中制造业产值接近工业总产值的一半。制造业是国民经济的基础,它的发展对一个国家的经济、社会乃至文化的影响是十分巨大和深刻的。

1. 制造的概念

制造(Manufacturing)是把原材料变换成所希望的有用产品,它是人类所有经济活动的基石,是人类历史发展和文明进步的动力。

制造有广义和狭义之分。国际生产工程学会给“制造”下的定义是:制造是涉及制造工业中的产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务等一系列相关活动和工作的总称。这是指广义的制造,而狭义的制造是指具体产品或零部件的加工制造。本书涉及的范畴是基于狭义的制造范畴,并重点讲述了其中有关机械类的产品制造,涉及材料及处理、成型加工、装配等内容。

2. 制造业的概念

制造业是指将制造资源,包括物料、设备、工具、资金、技术、信息和人力等,通过制造过程转化为可供人们使用和消费的产品。制造业涉及国民经济的许多部门,包括机械、电子、化工、轻工、食品、航天、军工等。作为国民经济的基础,制造业肩负着为国民经济各部门和国防建设提供技术设备,为人民的物质生活提供生活资料和财富的重任。

二、制造业的发展历程、展望

1. 制造业的发展历程

制造技术是由社会、政治、经济等多方面因素决定的。纵观近 200 年制造业的发展历程(图 1-1),影响其发展的主要因素是技术的推动及市场的牵引。人类科学技术的每次革命,必然引起制造技术的不断发展,也推动了制造业的发展。随着人类的需求不断产生变化,也从另一方面推动了制造业的不断发展,促进了制造技术的不断进步。

如图 1-1 所示,近 200 年来在市场需求不断变化的驱动下,制造业的生产规模沿着“小批量、少品种大批量,向着多品种小批量”的方向发展;在科技高速发展的推动下,制造业的资源配置沿着“劳动密集—设备密集—信息密集—知识密集”的方向发展;与之相适应,制造

技术的生产方式沿着“手工—机械化—单机自动化—刚性流水自动化—柔性自动化—智能自动化”的方向发展。

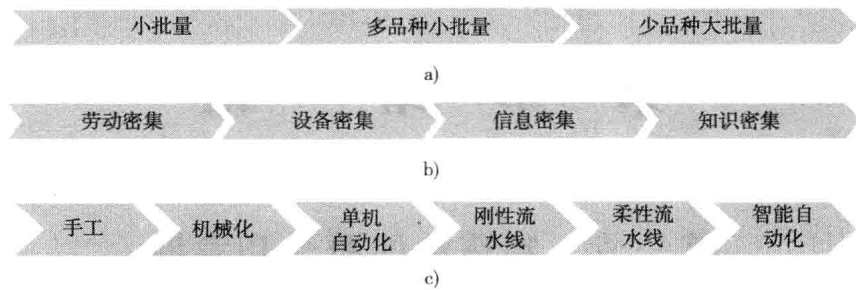


图 1-1 近 200 年的制造业发展历程
a) 生产规模的变化;b) 资源配置的变化;c) 生产方式的变化

20 世纪末,以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代工程科学技术的迅猛发展,以及其在控制领域中的广泛渗透、应用和衍生,极大地拓展了制造活动的深度和广度,急剧地改变了现代制造业的设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织结构,产生了一大批新的制造技术和制造模式。

现代制造业已成为发展速度快、技术创新能力强、技术密集甚至是知识密集的部门。许多产品的技术含量和附加值增大,从而进入了高技术产品的行列。制造技术给制造业带来了重大变革,其主要特点是:常规制造工艺的优化;新型加工方法的发展;专业、学科间的界限逐渐淡化;工艺设计由经验走向定量分析;信息技术、管理技术与工艺技术紧密结合。

2. 制造业的发展展望

步入 21 世纪后,社会与政治环境、市场需求、技术创新的变革,预示着制造业将发生巨大变化。因此制造业必须应对这些变化,制定新的目标,进行改革,以提高市场的竞争能力。

(1) 制造全球化

随着世界自由贸易体制的进一步完善及全球通信网络的建立,国际经济技术合作交往日趋紧密,全球产业界进入了结构大调整的重要时期,世界正在形成一个统一的大市场,在全球范围内基于柔性、临时合作模式的格局正在逐步形成,企业必须适应这种模式,使制造业走向全球化。

(2) 生产环保化

随着人口的增长以及技术的不断开发,全球生态系统将受到严重的威胁。可持续发展是把生产废弃物及产品对环境的影响减少到“接近于零”。开发不影响环境的、成本低且有竞争力的产品和工艺,尽可能利用回收材料做原料,在能源、材料和人才资源各方面不造成大的浪费。

(3) 创新常态化

技术创新是企业发展的原动力和核心竞争力,企业是技术创新的主体和直接获益者。技术创新包括产品创新、过程创新、市场创新和管理创新。技术创新应该成为可学习和可管理的过程。培养员工的创新精神,营造有利于创新的文化和环境,制定符合企业发展要求的创新策略,建立鼓励创新的管理机制和创新能力评价体系是提高企业创新能力的关键。

第二节 机械制造业的发展、重要性和目标

一、机械制造业的发展

人类文明的发展与机械制造业的进步密切相关。早在石器时代,人类就开始利用天然石料制作工具,到了青铜器和铁器时代,人们开始采矿、冶金、铸锻工具,并开始制作纺织机械、水利机械、运输车辆等,以满足以农业为主的自然经济的需要。

在古代中国,机械制造具有悠久的历史。公元前 16 世纪至公元前 11 世纪的商代,中国已出现可转动的琢玉工具。公元 260 年左右,创造了木制齿轮,并应用轮系原理,成功地研制出以水为动力的机械装置用于加工谷物。公元 750 年,我国出现了车削加工和车床的雏形,早于欧洲近千年,但因种种原因,至中华人民共和国成立前夕,中国的机械制造业几乎为零。

公元 18 世纪 70 年代,以瓦特发明蒸汽机为代表引发了第一次工业革命,产生了近代工业化的生产方式,机器生产方式逐步取代手工劳动方式,机械制造业逐渐形成规模。19 世纪中叶,电磁场理论的建立为发电机和电动机的产生奠定了基础,从而迎来了电气化时代。以电力作为动力源,使机械结构发生了重大变化,机械制造业进入快速发展时期。

20 世纪初,内燃机的发明,使汽车开始进入欧美家庭,引发了机械制造业的又一次革命。生产流水线的出现和管理理论的产生,标志着机械制造业进入“大批量生产”的时代。以汽车工业为代表的大批量自动化的生产方式使得生产率获得极大提高,机械制造业有了更迅速的发展,并开始成为国民经济的支柱产业。

第二次世界大战后,集成电路和计算机的出现,以及运筹学、现代控制论、系统工程等软科学的产生和发展,使机械制造业产生了一次新飞跃,紧接着数控机床的出现,使得中、小批量生产的自动化成为可能,验证了科学技术的发展成果,促进了生产力的提高。

20 世纪 80 年代以来,信息产业的崛起和通信技术的发展加速了市场的全球化进程,市场竞争呈现新的方式,而且更加激烈。为了适应新形势,在机械制造领域提出了许多新的制造理念和生产模式,如计算机集成制造(CIM)、精益生产(LP)、快速原型制造(RPM)、并行工程(CE)、敏捷制造(AM)等。

20 世纪 90 年代,随着因特网的出现和应用,使得不同地区的单位之间实现了快速大信息量的传输交流,使机械制造业可以将不同地区的工厂、设计单位和研究所通过因特网组合在一起,分工协作,发挥各单位特长,共同开发、研制并生产大型新产品,产生了敏捷制造的模式,达到快速、优质、低成本地进行生产或研制新产品的目的。

进入 21 世纪,机械制造业正向自动化、柔性化、集成化、智能化和清洁化的方向发展。现代机械制造技术发展的总趋势是机械制造技术与材料科学、电子科学、信息科学、生命科学、环保科学、管理科学等交叉融合,形成绿色制造,朝着能源与原材料消耗最小,废弃物最少并尽可能回收利用,在产品的整个生命周期中对环境无害等方面发展。

二、机械制造业的重要性的目标

制造业是工业的主体,是提供生产工具、生活资料、科技手段、国防装备等的手段及其进步的依托,是现代化的动力源,是现代文明的支柱,也是一个国家的立国之本。

制造业在国民经济中的地位可以参考发达国家的数据:美国 68% 的财富来源于制造业;日本国民经济总产值中约 49% 由制造业提供。在先进的工业化国家中,约有 1/4 人口从事于制造业,在非制造业部门中,又有约半数人员的工作性质与制造业密切相关。

在整个制造业中,机械制造业占有特别重要的地位。因为机械制造业是国民经济的装备部,它以各种机器设备供应和装备着国民经济的各个部门,并使其不断发展。国民经济各部门的生产水平和经济效益在很大程度上取决于机械制造业所提供的装备的技术性能、质量和可靠性。国民经济的发展速度,在很大程度上取决于机械制造工业技术水平的高低和发展速度。总体上讲,机械制造业是国民经济中的一个重要组成部分。

新中国成立以来六十多年间,我国机械制造业有了很大发展,拥有了自己独立的、门类齐全的轻重工业,取得了举世瞩目的成就。近年来,我国机械制造业充分利用国内外两方面的资金和技术,开始进行较大规模的技术改造。制造技术、产品质量和水平及经济效益有了很大提高,为推动国民经济发展起了重要作用。现在的中国是一个制造大国,中国的制造业规模已经达到世界第二位,仅次于美国。但是,中国的制造业大而不强,而且是一个制造水平很低的国家。主要表现在产品质量和技术水平不高;自主知识产权的产品少且制造技术落后;基础元器件和基础工艺不过关;产品技术创新能力落后。由于产品结构和生产技术相对落后,致使我国许多高精尖设备和成套设备仍需要大量进口,我国机械制造业人均产值仅为发达国家的几分之一。

随着我国改革的不断深入,对外开放扩大,为我国机械制造业的振兴和发展提供了前所未有的良好条件。我们应该正视现实,面对挑战,抓住机遇,励精图治,奋发图强,振兴和发展中国的机械制造业,提高中国机械工业企业的“核心竞争力”,使企业在市场上长期保持竞争优势,使我国的机械制造业在不太长的时间内,达到世界先进水平。

第三节 关于本课程

在机械行业中,无论其工作性质侧重哪一方面,都要面对工程材料以及成型加工方法的应用等问题。《机械制造》课程是机械类专业必修的一门主干技术基础课,能够使大学生建立材料及成型方法即机械制造生产过程的基本知识,了解新材料,掌握现代的制造技术及工艺方法,培养大学生的工程实践能力和创新思维方法。

一、本课程的要求

本课程的基本要求如下:

- (1) 建立工程材料和材料成型工艺与现代机械制造的完整概念,培养良好的工程意识。
- (2) 掌握金属材料的概念及强化金属材料的基本途径,熟悉常用工程材料的性质、特点、用途和选用原则。
- (3) 掌握各种成型方法的基本原理、工艺特点和应用场合。
- (4) 掌握毛坯的结构工艺性,会合理选择材料和毛坯成型方法。
- (5) 掌握机械零件的切削加工方法,合理选择工艺过程。
- (6) 掌握机械零件的加工质量控制和表面处理技术。
- (7) 掌握机械装配的初步概念。
- (8) 了解与本课程有关的新技术、新工艺以及机械制造的发展趋势。

二、本课程学习方法

本课程集多种工艺方法为一体,信息量大,实践性强,叙述性内容较多,建议在学生完成金工实习后再开始本课程的学习。在实际教学中,应以课堂教学为主,采用多媒体课件、实物与模型、课堂讨论等多种教学手段及形式,以增强学生的感性认识,加深其对教学内容的理解;拟开设适量的相应实践课,并应注意理论联系实际,使学生在掌握理论知识的同时,提高分析问题和解决问题的工程实践能力;建议完成一定的作业及复习思考题,以巩固所学的课程内容。

第二章 工程材料基础

第一节 材料的分类和性能

一、工程材料的分类

当今材料科学、新能源、信息以及生物技术已成为一个国家经济建设的支柱产业,其中材料占有十分突出的地位。20 世纪 40 ~ 50 年代,材料的开发应用主要围绕着机械制造业,因此,发展了以一般力学性能为主的金属材料。20 世纪 90 年代以后,随着科学技术的发展,材料工艺不断进步,从而全面推动了新材料的开发和应用,极大地提高了材料的性能和质量。现代材料种类繁多,据粗略统计,目前世界上的材料已有 40 余万种,并且还在以每年约 5% 的速度增加。可以说,没有新材料就没有科技发展的物质基础。

工程材料是指在机械、船舶、化工、建筑、车辆、仪表、航空航天等工程领域中用于制造工程构件和机械零件的材料。按材料的组成和结合键的特点,可将工程材料分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料。工程材料分类,如图 2-1 所示。

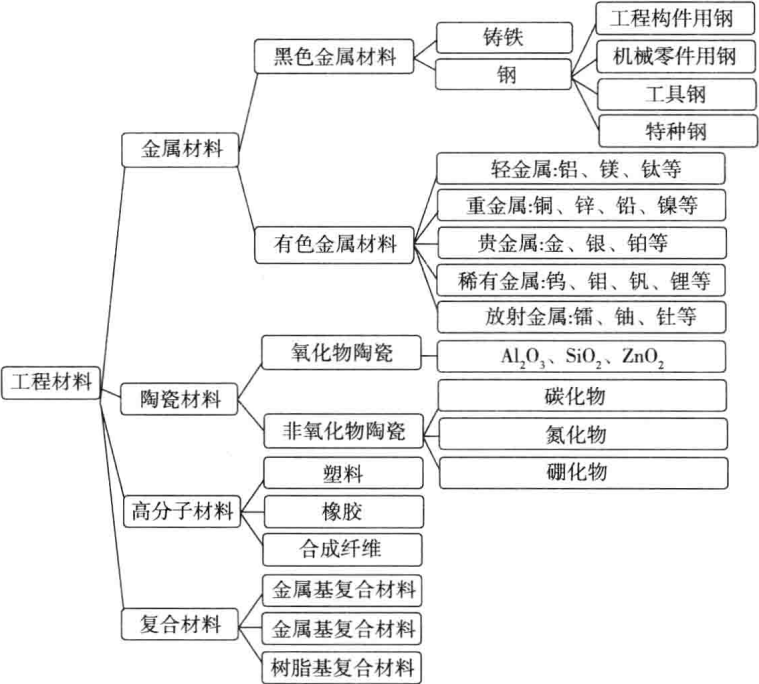


图 2-1 工程材料分类

(1)金属材料。金属材料具有较高的强度、良好的导电性、导热性、塑性,是目前用量最大、应用最广泛的工程材料。金属材料分为黑色金属和有色金属两类,铁及铁基合金称为黑

色金属,除黑色金属以外的金属及复合金称为有色金属。

(2)陶瓷材料。陶瓷材料的性能特点是熔点高、硬度高、耐蚀性好、脆性大。陶瓷材料分为普通陶瓷、特种陶瓷和金属陶瓷。

(3)高分子材料。高分子材料具有塑性、耐蚀性、电绝缘性、减振性好及密度小等特点。工程上使用的高分子材料主要包括塑料、橡胶及合成纤维等。

(4)复合材料。复合材料是把两种或两种以上不同性质或不同结构的材料以微观或宏观的形式组合在一起而形成的材料,通过这种组合可达到进一步提高材料性能的目的。复合材料分为金属基复合材料、陶瓷基复合材料、石墨基复合材料和聚合物基复合材料。

由现代科技的发展诞生出来的新型材料有:

(1)纳米材料。纳米级结构材料简称为纳米材料(nanometer material),是指其结构单元的尺寸介于 $1\sim 100\text{nm}$ 之间。由于它的尺寸已经接近电子的相干长度,它的性质因为强相干所带来的自组织使得性质发生很大变化。而且其尺寸已接近光的波长,加上其具有大表面的特殊效应,因此其所表现的特性,例如熔点、磁性、光学、导热、导电特性等,往往不同于该物质在整体状态时所表现的性质。

(2)气凝胶材料。气凝胶(aerogel)是一种世界上密度最小的固体,目前最轻的硅气凝胶仅有 $1\text{mg}/\text{cm}^3$,低于空气密度,所以也被叫做“固体烟”。气凝胶的空间网状结构中充满的介质是气体,外表呈固体状,由于气凝胶中99.8%以上是空隙,所以有非常好的隔热效果和填充性能,气凝胶在航空航天,太空探测上有多种用途。

二、工程材料的性能

材料的选择与使用,其主要依据就是材料的使用性能与工艺性能。所谓使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能。

材料的力学性能是指材料在外力作用下表现出来的抵抗能力。常用的力学性能有强度、塑性、硬度、韧性和抗疲劳性等。材料的力学性能主要取决于材料的化学成分、组织结构、冶金质量、表面和内部的缺陷等内在因素,一些外在因素如载荷性质、应力状态、温度、环境介质等也会对材料的力学性能产生较大的影响。不同的载荷,将有不同的力学性能判据。力学性能不仅是零件设计和选择材料的重要依据,而且也是验收、鉴定材料性能的重要依据。

材料受到自然界中,光、重力、温度、电场和磁场等作用所表现出来的性能称为物理性能,它包括材料的电学性能、磁学性能、光学性能、密度和熔点等。

材料的化学性能是指材料抵抗各种化学作用的能力。

材料的工艺性能是指材料在各种加工过程中所表现出来的性能,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能和可加工性能等。

第二节 金属材料的性能

一、金属材料的力学性能

(一)强度和塑性

金属材料的强度和塑性是在静载荷作用下测定的。静载荷是指大小不变或变化缓慢的载荷。

1. 强度

材料在载荷作用下抵抗塑性变形和破坏的能力称为强度。因材料的受载方式和变形形式不同,可将强度分为抗拉强度、抗压强度和剪切强度等。不同材料的抵抗载荷作用和变形方式是不同的,因此,可以有不同的强度指标,并且不同材料的强度差别也很大。

(1) 材料的静载拉伸试验

材料在载荷作用下的形状和尺寸变化称为变形。材料受载荷作用一般会经历弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。在载荷的作用下,材料内部产生应力。

试验时,采用万能材料试验机,给拉伸试样缓慢施以拉力,测出拉力与变形的关系。

为了使金属材料的力学性能指标在测试时能排除因试样形状、尺寸不同而造成的影响,并便于分析比较,试验时先将被测材料制成标准试样。按国家标准,试样的截面可以为圆形、矩形、多边形、环形等,其中圆形拉伸试样如图 2-2 所示。当 $l_0 = 10d_0$ 时,称为长试样;当 $l_0 = 5d_0$ 时,称为短试样。将试样装夹在拉伸试验机上,慢慢增加拉伸力,试样标距的长度将逐渐增大,直到被拉断。

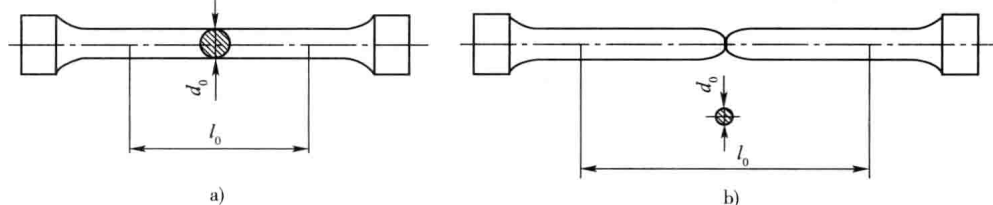


图 2-2 圆形拉伸试样

a) 拉伸前; b) 拉伸后

如图 2-3 所示为低碳钢试样的力—伸长曲线,曲线分为四个阶段:

①弹性变形阶段。 Oab 为弹性变形阶段, Oa 为直线。当载荷不超过 P_p (a 点载荷) 时,拉伸曲线为一条直线,即载荷与伸长量成正比,此时试样只产生弹性变形。外力去掉后,试样恢复原状。

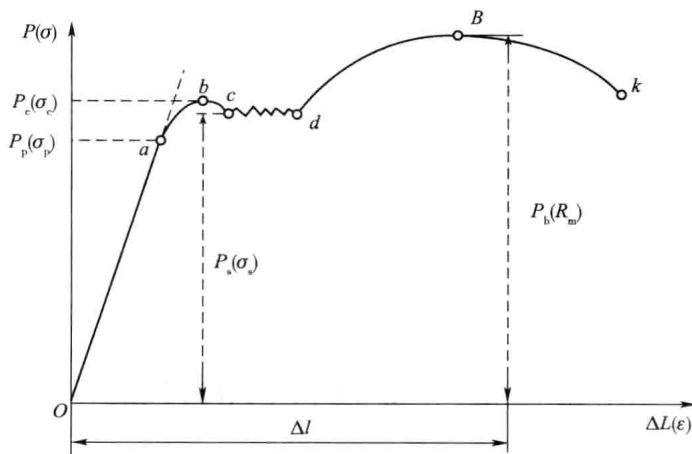


图 2-3 低碳钢试样的力—伸长曲线

当载荷超过 P_p 而不大于 P_e (b 点载荷) 时,拉伸曲线稍偏离直线,试样发生微量塑性变形 ($0.001\% \sim 0.005\%$),其仍属于弹性变形阶段。

②屈服变形阶段。 bcd 为屈服变形阶段,屈服载荷为 P_s (c 点载荷), c 点为屈服点。

③均匀变形阶段。 dB 为均匀塑性变形阶段, P_b (B 点载荷) 为材料所能承受的最大载荷。

④缩颈阶段。 Bk 为局部集中塑性变形, 即缩颈阶段。试样在某个部位发生局部收缩, 称为缩颈现象, 最后在缩颈处断裂。

(2) 比例极限与弹性极限

①比例极限。比例极限是金属弹性变形时应变与应力严格成正比关系的上限应力。即在拉伸曲线上开始偏离直线时的应力 σ_p , 单位为 N/mm^2 或 MPa 。

$$\sigma_p = \frac{P_p}{S_0} \quad (2-1)$$

式中: S_0 ——试样原始横截面面积, mm^2 。

②弹性极限。在弹性变形阶段, b 点为弹性变形的最大值, 所对应的应力称为弹性极限, 用 σ_e 表示, 单位为 N/mm^2 或 MPa 。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{S_0} \quad (2-2)$$

若应力超过弹性极限, 金属便开始发生塑性变形。工程上通常规定, 以产生 0.005% 、 0.01% 、 0.05% 的残留变形时的应力作为条件弹性极限, 分别表示为 $\sigma_{0.005}$ 、 $\sigma_{0.01}$ 、 $\sigma_{0.05}$ 。

弹性极限与比例极限都是表征材料对弹性变形的抗力。弹性零件在使用过程中, 其工作应力不允许大于其弹性极限, 否则将导致零件的失效和损坏, 所以弹性极限是弹性零件 (如弹簧) 设计和选材的主要依据。

(3) 屈服强度 σ_s 和条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$

在力—伸长曲线上屈服点所对应的应力, 即材料刚开始产生塑性变形时的最小应力称为屈服强度, 用 σ_s 表示。它表示材料抵抗微量塑性变形的能力, 是设计和选材的主要依据之一。 σ_s 越大, 其抵抗塑性变形的能力越强, 越不容易发生塑性变形。

对于脆性材料, 在拉伸试验时没有明显的屈服现象, 难以测算其屈服点, 工程上通常将试样产生 0.2% 残留变形时的应力作为条件屈服极限, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(4) 抗拉强度

材料在常温和载荷作用下发生断裂前的最大应力称为抗拉强度, 用 R_m 表示, 单位为 N/mm^2 或 MPa 。

$$R_m = \frac{P_b}{S_0} \quad (2-3)$$

式中: R_m ——材料抵抗断裂的能力。 R_m 越大, 材料抵抗断裂的能力越强。对于脆性材料, 如灰口铸铁, $R_m = \sigma_s$ 。

2. 塑性

塑性是指材料在断裂前产生塑性变形而不被破坏的能力。材料塑性的好坏可通过拉伸试验来测定。材料的塑性通常采用断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 两个指标来评定。

(1) 断后伸长率

试样拉断后标距的伸长量与原始标距的百分比, 称为断后伸长率 A 。

$$A = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_u - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2-4)$$

式中: l_u ——试样断裂后的标距, mm ;