

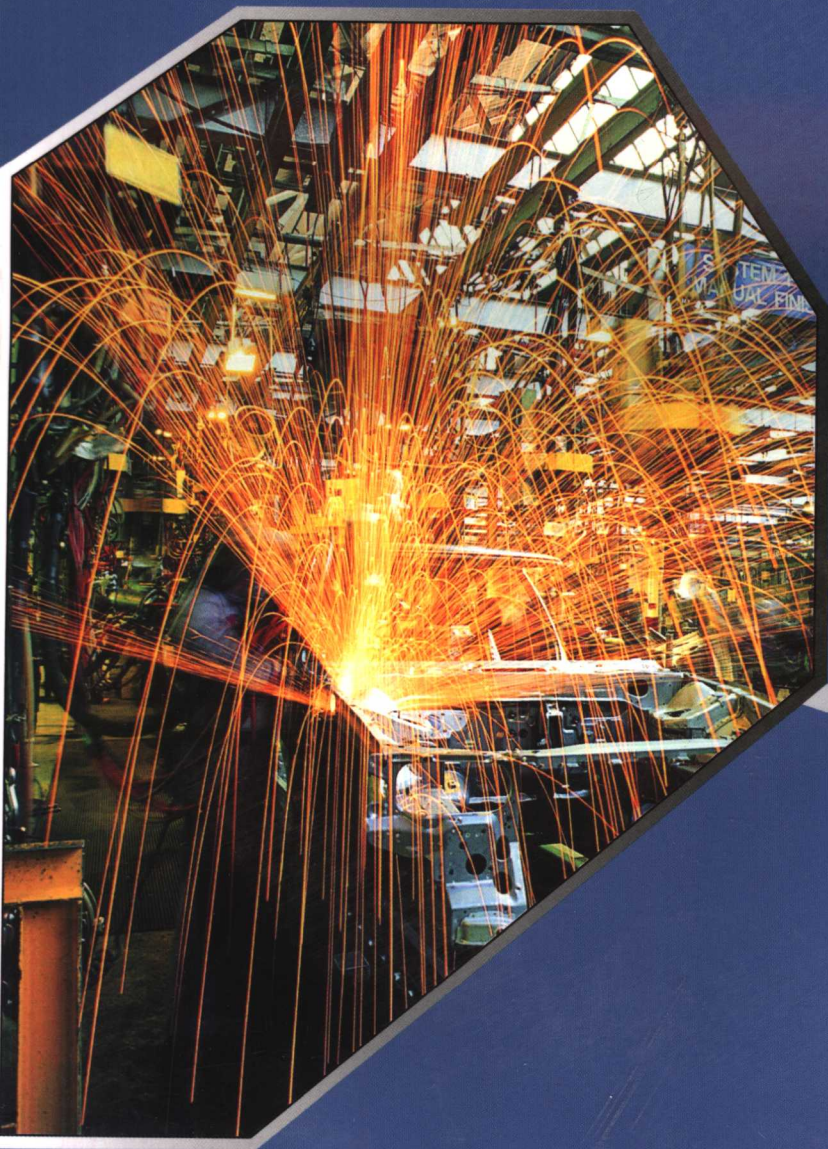


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

专 · 业 · 基 · 础 · 系 · 列

工程材料与热加工

游文明 主编



高等教育出版社

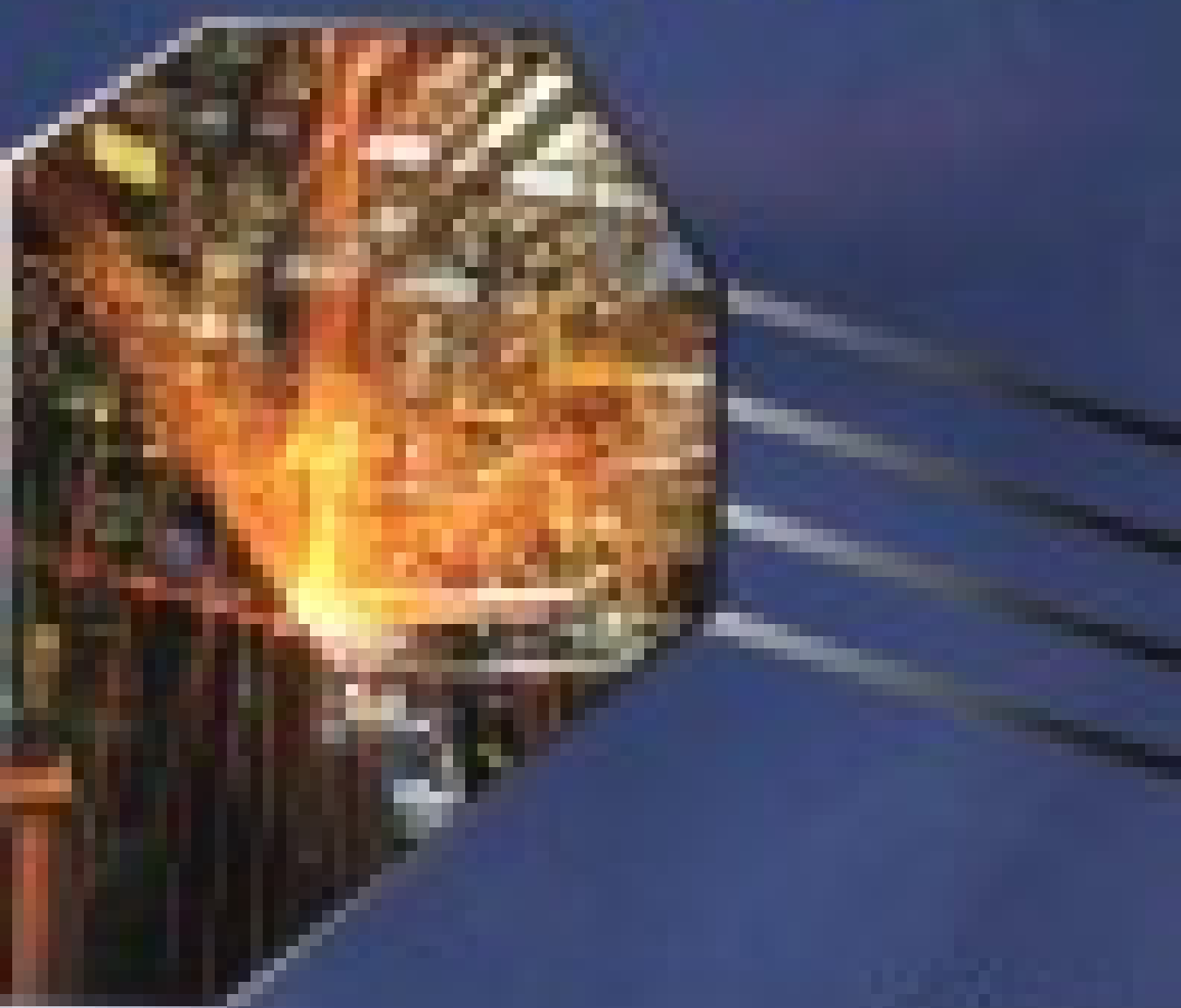


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料科学与工程系列教材

工程材料 | 热加工

第二版 王崇



机械工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
专业基础系列

工程材料与热加工

游文明 主编

高等教育出版社

内容提要

本教材是2005年江苏省教育教学改革重点课题“高等职业教育与行业企业关系的研究”成果之一,也是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书主要包括:工程材料的基础知识、铁碳合金、热处理技术、碳钢和铸铁、低合金钢和合金钢、非金属材料、铸造、锻压、焊接、零件材料与毛坯的选择等。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、技师学院、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院机械类专业的教学用书,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人员的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热加工/游文明主编. —北京:高等教育出版社,2007.10

ISBN 978-7-04-022129-9

I. 工… II. 游… III. ①工程材料-高等学校:技术学校-教材②热加工-高等学校:技术学校-教材 IV. TB3 TG306

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第137312号

策划编辑 罗德春 责任编辑 杜惠萍 封面设计 张申申 责任绘图 朱 静
版式设计 余 杨 责任校对 俞声佳 责任印制 尤 静

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 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 16.25
字 数 390 000

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>

版 次 2007年10月第1版
印 次 2007年10月第1次印刷
定 价 20.60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 22129-00

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

前 言

随着我国从制造大国向制造强国转变步伐的加快,培养现代制造业需要的应用型、技能型实用人才,成为当今高等职业教育所面临的首要任务。高等职业教育的课程改革已成为大势所趋,这不仅对“工程材料与热加工”课程改革提出了新的挑战,也创造了良好的机遇。高等职业的教育理念和人才培养目标要求“工程材料与热加工”课程必须立足于“以人为本”的高度,着眼于学生的全面发展,以“实用技术”与“高新技术”相结合为基础,贴近学生的学情和教师的教学实际,努力创设更有利于学生自主学习、主动探究的学习情境,让学生真正学以致用。作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材之一,本书就是在这种背景下编写的。

“工程材料与热加工”课程是以机器零件为研究对象,从零件的材料选用介绍到毛坯成形方式选择的一门专业基础课,是高等职业教育阶段,培养学生具有良好职业道德与工程技术素养的必修课程。因此,在教材编写过程中,编者根据高等职业院校教学改革的方针,针对制造业发展对技术应用型人才素质需求变化的实际,结合多年来在培养技术应用型人才和高技能人才方面探索的实践经验和体会,精选学生就业岗位(群)所必备的、实用的知识和技能,着力打破单纯强调课程本身的系统性、逻辑性的局限,构建工程材料与热加工技术和技能的学习平台,尽可能体现以学生发展为本,为学生就业和创业服务的教育思想。

本教材力求突出课程的科学性、实用性、技能性的特点,内容以“必需、够用、实用”为原则,以零件材料与毛坯的选择为目标,以工程材料应用为主线,以实际案例分析为抓手,把理论内容与实训、试验结合起来,形成教材体系。全书除绪论外共分十二章,主要包括工程材料的性能、材料的成分组织及其与性能的关系、材料性能的改善技术,以工业用钢为主学习各种工程材料、热加工技术、零件材料与毛坯的选择。

参加本书编写的人员都是具有多年高等职业教育教学经验的专业教师,包括扬州职业大学游文明、尹晨、池寅生、周梅芳、仇华兴,徐州工业职业技术学院孙金海,南京工业职业技术学院翁秀奇,山东交通职业技术学院卢洪德。其中孙金海编写第1章,翁秀奇编写第2章,尹晨编写第4章,尹晨、仇华兴编写第5章,卢洪德编写第6章,池寅生编写第7章、第8章,游文明编写绪论、第3章、第9章、第10章、第12章,周梅芳编写第11章。本书由游文明任主编。

本书由东南大学机械工程学院史金飞教授和扬州工业职业技术学院教授级高级工程师王武林审阅,他们提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

尽管编者一直致力于“工程材料与热加工”课程的教学改革,并在该课程的特色方面做了许多探索,但由于高等职业教育教学改革是一个需要长期探索和不断深化的过程,完善和提高需要一段时间,加之编者的水平和视野有限,因而书中的不足与疏漏在所难免,恳请读者批评和指正,以便及时改进。

所有意见和建议请寄:ywm@yzpc.edu.cn

编者

2007年8月

目 录

绪论	1	的影响	46
第 1 章 工程材料基础	4	3.3.3 碳的质量分数对工艺性能的影响	48
1.1 工程材料的分类	4	3.4 铁碳合金相图的应用	48
1.2 工程材料的性能	5	3.4.1 在钢铁选材方面的应用	48
1.3 金属材料的力学性能	6	3.4.2 在制定热加工工艺方面的应用	49
1.4 金属材料的工艺性能	17	第 4 章 钢的热处理基础	51
1.5 金属材料的其他性能	18	4.1 概述	51
第 2 章 金属与合金的晶体结构	22	4.2 钢在加热时的组织转变	52
2.1 金属的晶体结构	22	4.2.1 钢的临界转变温度	52
2.1.1 晶体的基础知识	22	4.2.2 钢在加热时的组织转变	52
2.1.2 纯金属的晶体结构	23	4.3 钢在冷却时的组织转变	54
2.2 合金的晶体结构	25	4.3.1 过冷奥氏体的等温转变	54
2.2.1 基本概念	25	4.3.2 过冷奥氏体的连续冷却转变	58
2.2.2 合金的晶体结构	25	4.4 钢的热处理工艺	60
2.3 实际金属的晶体结构	27	4.4.1 钢的退火	61
2.4 纯金属的结晶与同素异晶转变	29	4.4.2 钢的正火	63
2.4.1 金属的结晶过程	29	4.4.3 钢的淬火	64
2.4.2 金属的同素异晶转变	32	4.4.4 钢的回火	70
第 3 章 铁碳合金相图	33	4.4.5 钢的表面淬火	71
3.1 铁碳合金相图基础	33	4.4.6 钢的化学热处理	73
3.1.1 铁碳合金相图	33	4.5 热处理零件的结构工艺性	77
3.1.2 铁碳合金的基本相及基本组织	34	4.6 热处理技术要求的标注	79
3.1.3 铁碳合金相图的组成	37	第 5 章 常用铁碳合金及其热处理	82
3.1.4 铁碳合金的种类	38	5.1 碳钢(非合金钢)	82
3.2 典型铁碳合金结晶过程分析	39	5.1.1 钢中的杂质元素及其影响	82
3.2.1 共析钢的结晶过程	40	5.1.2 碳钢的分类	83
3.2.2 亚共析钢的结晶过程	41	5.1.3 碳钢的牌号及用途	83
3.2.3 过共析钢的结晶过程	41	5.2 铸铁	89
3.2.4 共晶白口铸铁的结晶过程	42	5.2.1 铸铁及其石墨化过程	89
3.2.5 亚共晶白口铸铁的结晶过程	43	5.2.2 铸铁的成分和性能	89
3.2.6 过共晶白口铸铁的结晶过程	44	5.2.3 铸铁的分类	90
3.3 铁碳合金成分、组织和性能之间的 关系	45	5.2.4 灰口铸铁	90
3.3.1 碳的质量分数对平衡组织的影响	45	5.3 铸铁的热处理	95
3.3.2 碳的质量分数对铁碳合金力学性能		5.3.1 可锻铸铁的石墨化退火	95

5.3.3 以改善铸铁件整体性能为目的的热处理	96
5.3.4 铸铁的表面热处理	98
第6章 低合金钢与合金钢	99
6.1 合金钢的分类与牌号	99
6.1.1 合金钢的分类	99
6.1.2 合金钢牌号表示方法	100
6.2 合金元素对钢的影响	100
6.2.1 合金元素对钢力学性能的影响	100
6.2.2 合金元素对钢工艺性能的影响	101
6.3 低合金钢	102
6.3.1 低合金高强度结构钢	102
6.3.2 易切削结构钢	103
6.3.3 低合金耐候钢	104
6.4 机械合金结构钢	104
6.4.1 机械合金结构钢的分类及牌号	104
6.4.2 合金渗碳钢	104
6.4.3 合金调质钢	106
6.4.4 合金弹簧钢	108
6.4.5 轴承钢	109
6.4.6 高锰耐磨钢	110
6.5 合金工具钢与高速工具钢	110
6.5.1 合金工具钢	110
6.5.2 高速工具钢	115
6.6 不锈钢和耐热钢	116
6.6.1 不锈钢	116
6.6.2 耐热钢	117
第7章 非铁金属(有色金属)	119
7.1 铝及其合金	119
7.1.1 工业纯铝	119
7.1.2 铝合金的分类和热处理	120
7.1.3 变形铝合金	121
7.1.4 铸造铝合金	123
7.2 铜及其合金	126
7.2.1 工业纯铜	126
7.2.2 铜合金的分类	126
7.2.3 黄铜	127
7.2.4 青铜	128
7.3 钛及其合金	130
7.3.1 纯钛	130
7.3.2 钛合金	130

7.3.3 钛及钛合金的应用领域	131
7.4 滑动轴承合金	132
7.4.1 滑动轴承的性能和组织	133
7.4.2 常用滑动轴承合金	133
第8章 非金属材料及复合材料	135
8.1 塑料与橡胶	135
8.1.1 塑料	135
8.1.2 橡胶	139
8.2 陶瓷材料	141
8.2.1 陶瓷的分类	141
8.2.2 陶瓷的性能特点	142
8.2.3 常用特种陶瓷	142
8.3 复合材料	143
8.3.1 复合材料的分类	144
8.3.2 复合材料的性能	144
8.3.3 常用复合材料	145
第9章 铸造	147
9.1 金属材料的铸造性能	147
9.2 常用铸造方法	150
9.2.1 砂型铸造	150
9.2.2 特种铸造	154
9.2.3 常用铸造方法的特点	158
9.3 砂型铸造工艺简介	160
9.3.1 浇注位置的确定	160
9.3.2 分型面的选择	161
9.3.3 工艺参数的选定	162
9.3.4 浇注系统	164
9.4 铸件的结构设计要求	164
9.4.1 铸件的外形	164
9.4.2 铸件的孔和内腔	166
9.4.3 铸件的壁厚与壁间连接	166
9.5 实例分析	168
第10章 锻压	176
10.1 锻压的基础	176
10.1.1 金属塑性变形的实质	176
10.1.2 冷变形对金属组织结构和性能的影响	177
10.1.3 回复与再结晶	178
10.1.4 热变形对金属组织和性能的影响	179

10.1.5 金属材料的可锻性	179	11.4 焊接方法的特点	223
10.2 锻造	180	11.5 焊件的结构设计	225
10.2.1 锻造的加热与冷却	180	11.5.1 焊接结构材料的选择	225
10.2.2 锻造成形方法	181	11.5.2 焊缝的合理布置	225
10.3 锻件的结构工艺性	191	11.6 实例分析	226
10.3.1 自由锻件的结构工艺性	191	第 12 章 工程材料的选用及机械零件	
10.3.2 胎模锻件和模锻件的结构工 艺性	192	毛坯的选择	229
10.4 冲压	194	12.1 工程材料的选用	229
10.4.1 冲压的基本工序	194	12.1.1 零件的失效分析	229
10.4.2 冲压件的结构工艺性	197	12.1.2 工程材料的选用原则	232
10.4.3 冲压件的精度和表面质量	199	12.1.3 选材的步骤	235
10.5 实例分析	200	12.2 零件毛坯的选择	236
第 11 章 焊接	210	12.2.1 毛坯的种类	236
11.1 金属材料的焊接性能	210	12.2.2 毛坯质量对比分析	237
11.2 常用熔化焊	211	12.2.3 毛坯生产的经济性对比分析	238
11.2.1 焊条电弧焊	211	12.2.4 毛坯生产方式的选择原则	239
11.2.2 焊接设备	212	12.2.5 毛坯生产方式的选择依据	240
11.2.3 焊条	213	12.3 轴和齿轮的材料选择与毛坯 选择	243
11.2.4 其他熔焊方法	219	12.3.1 轴类零件材料与毛坯的选择	243
11.3 压焊与钎焊	222	12.3.2 齿轮类零件材料与毛坯的选择	246
11.3.1 压焊	222	参考文献	250
11.3.2 钎焊	223		

绪 论

一、本课程与制造业的关系

制造业是国民经济的物质基础和工业化的产业主体,是社会进步与富民强国之本。任何一个国家为了自身的发展和安_全,都将制造业的发展和升级作为国家战略来对待。高度发达的制造业是实现工业化的必备条件,也是一个国家综合竞争力的重要标志。从事机械设计与制造工作的人员必须具备工程材料、热处理和铸造、压力加工、焊接等热加工技术的基本知识。正确地选择零件材料与成形方法关系到产品的质量、使用寿命、生产成本、生产周期与经济效益。因此,高职高专院校的机械类或近机类学生必须具备机械制造的基本知识和相关技能。

“工程材料与热加工”是制造类专业的一门专业基础课,是培养实用型技术人才及提升学生工程素养的重要的专业基础课程。它以机器的生产过程为主线,着重介绍机器零件常用材料及毛坯热加工成形方法方面的知识,使学生获得必要的工程材料及毛坯成形方法的基本知识,初步掌握常用工程材料的性能及金属材料热加工的常用方法,使学生具有合理选择材料、选用毛坯及分析毛坯结构工艺性的初步能力,为学习后续相关课程和今后从事生产技术工作建立必要的基础。机械零件是机械产品最基本的单元,其制造过程主要包括材料的选择、毛坯的生产、切削加工、热处理等,如图 0.1 和 0.2 所示。

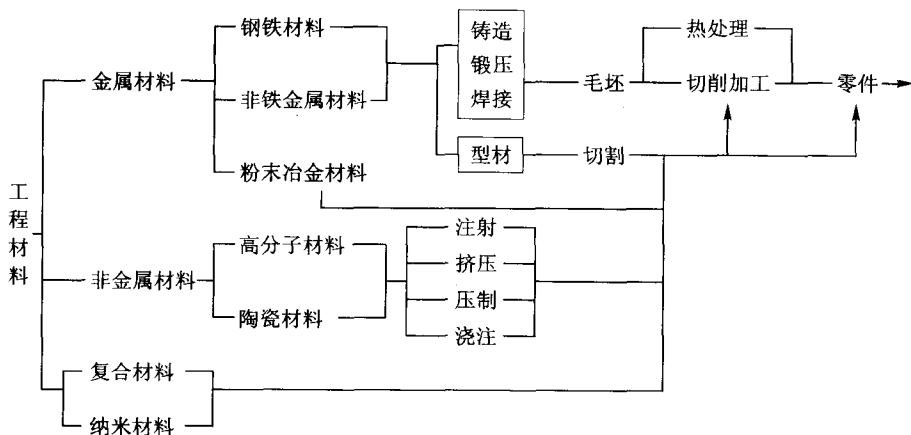


图 0.1 机械零件常规工艺流程示意图

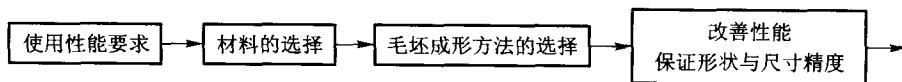


图 0.2 本课程知识框架示意图

二、工程材料与热加工技术发展历史

工程材料与热加工技术来源于人类的生产实践,具有悠久的发展历史,它对人类文明进步起到了积极的推动作用。在石器时代,人类的祖先以石器为主要工具,石块是人类历史最早使用的工程材料。人类的祖先在不断改进石器的过程中发现了天然铜块和铜矿石,并在陶器的制造过程中发现了冶铜术,后来又将锡矿石和铜矿石一起冶炼,生产出了更加坚韧和耐磨的青铜,人类社会从此进入青铜器时代。公元前 1200 年左右,人类开始使用铁,人类社会进入铁器时代。后来钢铁工业迅速发展,成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。

在材料生产和热加工技术方面,中华民族取得过辉煌的成就。我国使用铜的历史有 4 000 年左右,在商代(公元前 1600—公元前 1046)就有高度发达的青铜加工技术。我国铁的使用比欧洲早 1 900 余年,在春秋时期就大量使用了铁器。东汉时期我国就掌握了炼钢技术,比其他国家早 1 600 余年。河南安阳出土的司母戊大方鼎,重达 875 kg,它不仅体积庞大,而且上面花纹精巧、造型精美,反映了我国古代高超的铸造技术。湖北江陵出土的湖北楚墓的越王勾践宝剑在地下埋藏 2 000 多年,出土时仍金光闪闪、锋利无比,经研究发现是因为越王勾践宝剑经过了硫化处理,反映了当时高超的铸造、热处理技术。到明朝就有比较完整的文字著作,宋应星所著的《天工开物》一书,记载了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁和淬火等各种金属加工方法,是世界上最早比较全面阐述材料与加工技术的科学文献之一。

以上事实充分说明了中华民族在材料生产和材料加工工艺方面对世界文明和人类进步的卓越贡献。但是,18 世纪,特别是鸦片战争以后,由于封建制度的日益腐败和资本主义列强的侵略,严重地束缚了我国生产力和科学技术的发展,材料生产和材料加工科学也难逃厄运,造成了我国在该方面的落后局面。

新中国成立后,我国人民在中国共产党的领导下,在金属材料、非金属材料及其加工工艺方面有了突飞猛进的发展。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实验成功,我国不断出现新材料、新工艺、新技术和新设备,标志着在材料生产和热加工技术方面达到了很高的水平。相信在不远的将来,我国在机械制造领域一定能步入世界先进行列。

三、课程目标与要求

“工程材料与热加工”课程具有实践性和综合性强的特点,因此在学习本课程时要注意感性认识的积累,注意多观察、多实践、勤思考,同时做到理论联系实际。

1. 知识目标与要求

了解工程材料与成形工艺技术在机械制造过程中的地位和作用;熟悉工程材料的种类、牌号、成分、性能、改性方法和用途,掌握金属材料的力学性能、晶体结构、铁碳相图等金属学的基本知识,初步掌握常用金属材料的分类、牌号(代号)、性能特点及用途,具有初步的选择零件材料的能力;熟悉常用材料成形工艺方法的基本知识,理解各种热加工技术的基本原理、工艺特点及加工范围,并初步具有选择毛坯制造方法的能力;了解与本课程有关的新材料、新工艺、新技术及其发展趋势,建立质量与经济观念。

2. 能力目标

能正确使用工程材料;了解金属材料的热处理方法和作用;能正确选用毛坯与零件的成形方

法;了解新材料与先进的成形方法及发展趋势。通过实验和实习,具有一定的热处理、铸造、锻压、焊接等实践动手操作能力。

课程最终目标可概括为“合理三选”,即“合理选材”、“合理选热处理方法”、“合理选毛坯”。

第1章 工程材料基础

【学习目标】

- 1) 熟悉工程材料的分类;
 - 2) 熟悉材料在使用中应具备的性能;
 - 3) 了解材料的拉伸试验;
 - 4) 理解强度、刚度、弹性、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度的概念;
 - 5) 了解金属材料的物理性能及化学性能;
 - 6) 熟悉金属材料的工艺性能;
 - 7) 了解相关力学性能的应用。
-

1.1 工程材料的分类

工程材料主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中的材料,包括用来制造工程构件和机械零件的材料,也包括一些用于制造工具的材料和具有特殊性能(如耐蚀、耐高温等)的材料。

工程材料种类繁多,分类方法也有多种。按材料结合键的性质来分,工程材料可分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料四类。金属材料主要以金属键结合,高分子材料以分子键和共价键结合,陶瓷材料以离子键、共价键结合,复合材料可由多种结合键组成。

1. 金属材料

金属材料是最重要的工程材料之一,它包括金属和以金属为基的合金。最简单的金属材料是纯金属。工程应用的金属材料原子间的结合键基本上为金属键,且皆为金属晶体材料。

工业上把金属和其合金分为两大部分:

- (1) 黑色金属 铁及以铁为基的合金;
- (2) 非铁金属 黑色金属以外的所有金属及其合金。

2. 高分子材料

高分子材料为有机合成材料,亦称聚合物。它具有较高的强度,良好的塑性,较强的耐腐蚀性能,很好的绝缘性以及重量轻等优良性能,在工程上是发展最快的一类新型结构材料。

高分子材料是由大量相对分子质量特别大的大分子化合物组成的,每个大分子皆包含大量结构相同、相互连接的链节。有机物质主要以碳元素(通常还有氢)为其结构组成,在大多数情况下它构成大分子的主链。大分子内的原子之间由很强的共价键结合,而大分子与大分子之间的结合力为较弱的范德华力。工程上通常根据力学性能和使用状态将其分为四大类:塑料、合成纤维、橡胶、胶粘剂。

3. 陶瓷材料

陶瓷是由一种或多种金属元素与一种非金属元素(通常为氧)组成的化合物。它的硬度很高,但脆性很大。陶瓷材料属于无机非金属材料,主要为金属氧化物和金属非氧化物。由于大部分无机非金属材料含有硅和其他元素的化合物,所以又叫做硅酸盐材料。它一般包括无机玻璃(硅酸盐玻璃)、玻璃陶瓷(或称微晶玻璃)和陶瓷等三类。

4. 复合材料

复合材料是两种或两种以上不同材料的组合材料,其性能优于它的任一组成材料。复合材料可以由各种不同种类的材料复合组成,所以它的结合键非常复杂。它在强度、刚度和耐蚀性方面比单纯的金属、陶瓷和聚合物都优越,是一类特殊的工程材料,具有广阔的发展前景。

1.2 工程材料的性能

工程材料的性能一般包括两类:使用性能和工艺性能。使用性能是保证工件正常工作应具备的性能,主要包括力学性能、物理性能、化学性能等。工艺性能是材料在被加工过程中适应各种冷、热加工的性能,包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能、切削加工性能等。

材料的力学性能是指工程材料在不同环境(温度、介质)下,承受各种外加载荷(拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等)时所表现出的力学特征。大多数情况下,材料在受力作用时会出现变形和断裂,因此材料的力学性能可以理解为材料受力时对变形与断裂的抵抗能力。

零件和工具在使用过程中所受的力,按作用方式不同,可分为静载荷和动载荷。静载荷——力的大小不变或变化缓慢的载荷,如静拉力、静压力等。动载荷——力的大小和方向随时间而发生改变,如冲击载荷、交变载荷、循环载荷等。

工程材料的性能如图 1.1 所示。

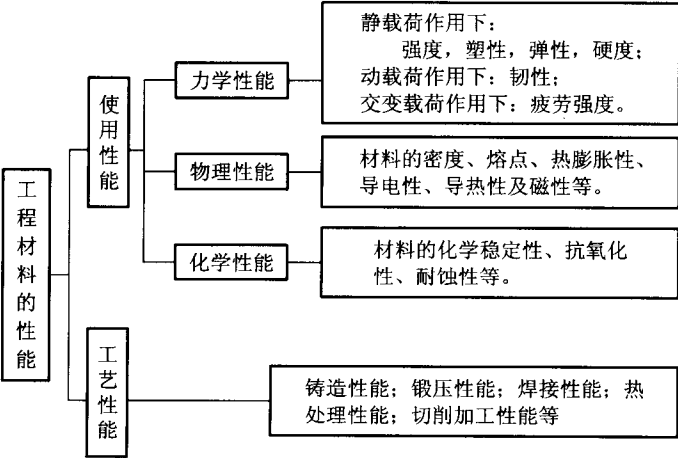


图 1.1 工程材料的性能

1.3 金属材料的力学性能

金属材料是人类发展和应用的最古老的材料之一,可以上溯至 5 000 年前的青铜器时代。近半个世纪来,金属材料从原来几乎一统天下的地位部分地为其他新材料取代,但这并非是其“夕阳西下”,而是朝着高性能化、复合化、多功能化和智能化方向发展。可以预见,至少在 21 世纪,金属材料在现代社会材料消费中仍占主导地位。在金属材料中,钢的用量最大,目前全球年消耗达八亿多吨,尤其对我们国家更是如此。因此,在工程材料部分,首先要介绍金属材料,特别是金属材料的性能及其衡量指标。

1. 拉伸试验

金属的强度、塑性一般可通过金属拉伸试验来测定。GB/T 228—2002 规定了拉伸试验的方法和制作标准。在试验时,金属材料制成一定的尺寸和形状(图 1.2),将拉伸试样装夹在拉伸试验机上,对试样施加拉力,在拉力不断增加的过程中,观察试样的变化,直至把试样拉断。根据试样在拉伸过程中承受的载荷与产生的变形量(这里指试样伸长量)之间的关系,可绘出该金属的力-伸长量之间的曲线,并由此表征该金属的强度及塑性。

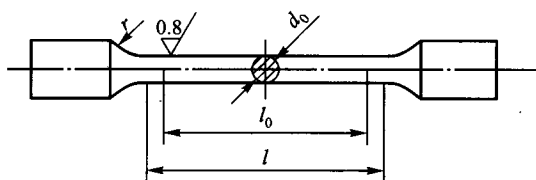


图 1.2 圆形拉伸试样示意图

根据拉伸过程中载荷(F)与试样的伸长量(Δl)之间的关系,可以绘制出金属的拉伸曲线。图 1.3 所示为低碳钢的拉伸曲线,拉伸过程可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。具体分析如下:

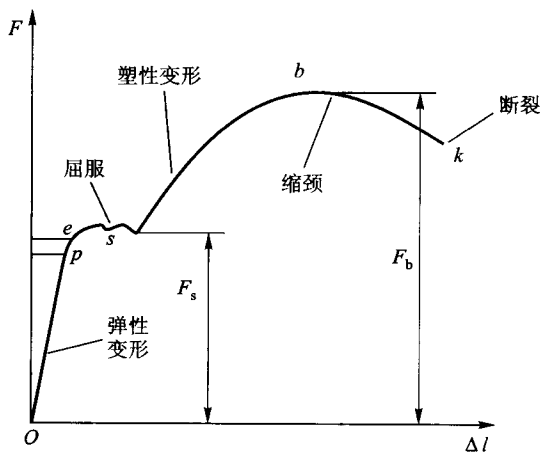


图 1.3 低碳钢的力-伸长曲线

Op 段:试样的伸长量与载荷呈直线关系,完全符合胡克定律,试样处于弹性变形阶段。

pe 段:伸长量与载荷不再成正比关系,拉伸曲线不成直线,试样仍处于弹性变形阶段。

es 段(e 点后的平台或锯齿):外力不增加或变化不大,试样仍继续伸长,出现明显的塑性变形,这种现象称为屈服现象。

sb 段:这个阶段,载荷增加,伸长沿整个试样长度均匀伸长,称均匀塑性变形阶段;同时,随着塑性变形不断增加,试样的变形抗力也逐渐增加,这个阶段是材料的强化阶段。

b 点:载荷达到最大,试样局部面积减小,伸长增加,形成了“缩颈”。

bk 段:随着缩颈处截面不断减小(非均匀塑性变形阶段),承载能力不断下降,到 k 点时,试样发生断裂。

2. 应力 - 应变曲线($\sigma - \varepsilon$ 曲线)

无论是何种材料,在载荷的作用下,都要产生一些变化,称之为变形。最明显的是,一根橡皮筋受拉会变长,去除拉力后又恢复了原样;但若是一根铁丝,可以很容易将其弯曲,但卸载后,弯曲形状还会保持。能恢复的变形称为弹性变形,不能恢复的变形称为塑性变形。显然,不同材料,发生弹性变形、塑性变形的难易程度不同。载荷与绝对变形的关系可用来评价材料的变形能力,但其中含有尺寸因素的影响。工程上,常用应力与应变间的关系来衡量材料的变形能力。

应力:试样单位面积上承受的载荷。这里用承受的载荷 F 除以试样的原始横截面积 S_0 表示,单位常用 Pa 或 MPa。

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

式中, F ——试样所承受的载荷;

S_0 ——试样的原始横截面积。

应变:试样单位长度的伸长量。这里用试样的伸长量 Δl 除以试样的原始标距 l_0 表示。即

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

式中, Δl ——试样标距长度的伸长量;

l_0 ——试样的原始标距长度。

图 1.4 所示是低碳钢的应力 - 应变曲线,即 $\sigma - \varepsilon$ 曲线。应力 - 应变曲线的形状与拉伸曲线形状相同,只是坐标数值不同。

不同材料的拉伸曲线形状有很大差别。如低碳钢等材料,在断裂前有明显塑性变形的断裂称为韧性断裂;而灰铸铁、淬火高碳钢等材料,在断裂前塑性变形量很小,甚至不发生塑性变形的断裂称为脆性断裂。

3. 强度

金属材料抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。金属材料的强度指标根据其变形特点可分为以下几个:

1) 弹性极限 σ_e

弹性极限 σ_e 指材料开始产生塑性变形时所承受的最大应力值,即

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中, F_e ——材料开始产生塑性变形时所承受的最大载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

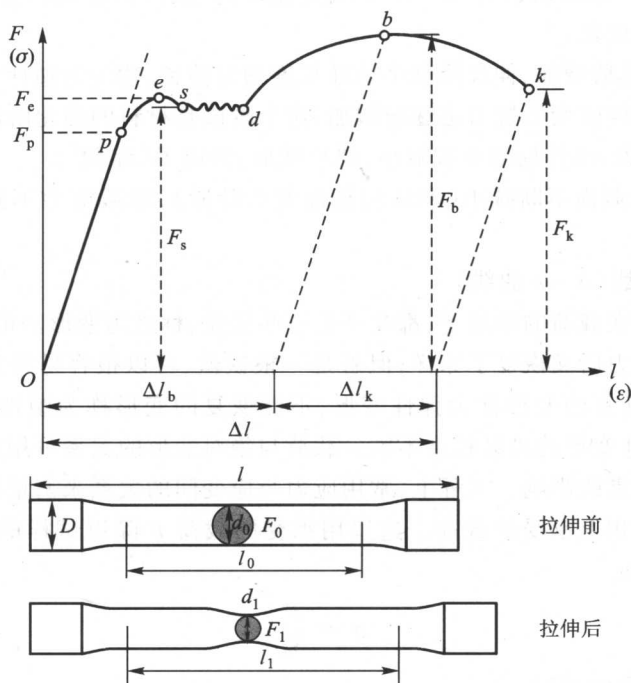


图 1.4 低碳钢的应力 - 应变曲线图

它表示材料开始塑性变形时的抗力。

2) 屈服点 σ_s 和屈服强度 $\sigma_{0.2}$

材料产生屈服时的最低应力值称为屈服点,以 σ_s 表示,单位为 MPa。即

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

式中, F_s ——金属开始发生明显塑性变形时的最小载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

它表示材料产生明显塑性变形时的抗力。

当载荷(应力)增加到 $F_s(\sigma_s)$ 时,拉伸曲线(应力 - 应变曲线)在 s 点后出现近于水平阶段,表现载荷不变时,试样仍显继续伸长,这种现象称为屈服。屈服现象之后,试样又随载荷的增加而增长,产生比较均匀的塑性变形,称为均匀塑性变形;由于较大的塑性变形伴随着形变强化现象,又称之为强化阶段。

有些材料(如高碳钢、铸铁)在进行拉伸试验时没有明显的屈服现象,通常规定试样产生 0.2% 残余应变时的应力值为该材料的条件屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示,单位为 MPa,又称为屈服强度,如图 1.5 所示。

屈服点(屈服强度)是工程技术最重要的力学性能指标之一。一般机械零件或工程构件在使用中不允许产生过量的塑性变形,因而在设计和选材时常以 σ_s 为依据。

$$\text{许用应力} [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} \text{ (其中 } n \text{ 为安全系数)}$$