



PUTONG GAODENG YUANXIAO
JIXIELEI SHIERWU GUIHUA XILIE JIAOCAI



普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

工程材料及成形技术基础

GONGCHENG CAILIAO JI CHENGXING JISHU JICHU

主 编 史雪婷 周富涛 孟 倩
主 审 王顺花

GONGCHENG CAILIAO JI
CHENGXING JISHU JICHU



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



PUTONG GAODENG YUANXIAO
JIXIELEI SHIERWU GUIHUA XILIE JIAOCAI

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

工程材料及成形技术基础

GONGCHENG CAILIAO JI CHENGXING JISHU JICHU

主 编 史雪婷 周富涛 孟 倩

主 审 王顺花



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

内容简介

本书共分为 10 章, 主要内容包括金属材料的力学性能、金属与合金的晶体结构、金属与合金的结晶、金属的塑性变形及再结晶、钢的热处理、常用工程金属材料、金属的铸造成形工艺、金属的塑性成形工艺、金属的焊接成形工艺、机械零件用材及成形工艺选择, 每章后附有适量的思考与练习题。

本书注重学生分析问题及解决工程技术问题能力的培养以及学生工程素质与创新思维能力的提高。因此, 本书着重阐述了机械制造技术中金属材料的基本理论和加工方法的常规工艺, 也介绍了有关机械制造的新工艺、新技术及其发展趋势。

本书可作为高等工科院校机械类、近机类专业的技术基础教材和参考书, 也可作为高职类工科院校及相关工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

工程材料及成形技术基础 / 史雪婷, 周富涛, 孟倩
主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2014.5
普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材
ISBN 978-7-5643-3024-8

I. ①工… II. ①史… ②周… ③孟… III. ①工程材
料—成型—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 077459 号

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材

工程材料及成形技术基础

史雪婷 周富涛 孟倩 主编

责任编辑	孟苏成
助理编辑	罗在伟
特邀编辑	李伟
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	22.25
字 数	549 千字
版 次	2014 年 5 月第 1 版
印 次	2014 年 5 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3024-8
定 价	43.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

普通高等院校机械类“十二五”规划系列教材
编审委员会名单

(按姓氏音序排列)

主任	吴鹿鸣				
副主任	蔡勇	蔡长韬	蔡慧林	董万福	冯鉴
	侯勇俊	黄文权	李军	李泽蓉	孙未
	吴斌	周光万	朱建公		
委员	陈永强	党玉春	邓茂云	董仲良	范志勇
	龚迪琛	何俊	蒋刚	李宏穆	李玉萍
	廖映华	刘念聪	刘转华	陆兆峰	罗红
	孟倩	乔水明	秦小屿	邱亚玲	史雪婷
	宋琳	孙付春	汪勇	王海军	王顺花
	王彦平	王忠	谢敏	徐立新	应琴
	喻洪平	张静	张良栋	张玲玲	赵登峰
	郑悦明	钟良	周富涛	朱江	

总 序

装备制造业是国民经济重要的支柱产业，随着国民经济的迅速发展，我国正由制造大国向制造强国转变。为了适应现代先进制造技术和现代设计理论和方法的发展，需要培养高素质复合型人才。近年来，各高校对机械类专业进行了卓有成效的教育教学改革，和过去相比，在教学理念、专业建设、课程设置、教学内容、教学手段和教学方法上，都发生了重大变化。

为了反映目前的教育教学改革成果，切实为高校的教育教学服务，西南交通大学出版社联合众多西部高校，共同编写系列适用教材，推出了这套“普通高等院校机械类‘十二五’规划系列教材”。

本系列教材体现“夯实基础，拓宽前沿”的主导思想。要求重视基础知识，保持知识体系的必要完整性，同时，适度拓宽前沿，将反映行业进步的新理论、新技术融入其中。在编写上，体现三个鲜明特色：首先，要回归工程，从工程实际出发，培养学生的工程能力和创新能力；其次，具有实用性，所选取的内容在实际工作中学有所用；再次，教材要贴近学生，面向学生，在形式上有利于进行自主探究式学习。本系列教材，重视实践和实验在教学中的积极作用。

本系列教材特色鲜明，主要针对应用型本科教学编写，同时也适用于其他类型的高校选用。希望本套教材所体现的思想和具有的特色能够得到广大教师和学生的认同。同时，也希望广大读者在使用中提出宝贵意见，对不足之处，不吝赐教，以便让本套教材不断完善。

最后，衷心感谢西南地区机械设计教学研究会、四川省机械工程学会机械设计（传动）分会对本套教材编写提供的大力支持与帮助！感谢本套教材所有的编写者、主编、主审所付出的辛勤劳动！

首届国家级教学名师
西南交通大学教授



2010年5月

前 言

“工程材料及成形技术基础”课程是按教育部面向 21 世纪工科本科机械类专业人才培养模式改革要求而设置的机械基础系列课程之一，是一门研究工程材料及零件毛坯成形工艺的重要技术基础课程。本书按照高等院校机械类本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求，合理定位，立足于教学改革的需要，整合了工程材料、金属热加工工艺等有关材料基础、选材、毛坯成形工艺及选择等专业知识，参考了不同版本的优秀教材后编写的。本书着重阐述了常用金属材料及热成形方法的基本原理和工艺特点，全面讲述了机械零件常用材料的选用、热处理工艺方案的确定、机械零件的失效分析、毛坯成形工艺的选择、工艺路线的拟订以及机械制造中的新工艺、新技术等内容。

本书注重学生获取知识能力、分析问题及解决工程技术问题能力、工程素质与创新思维能力的培养。为此本书在内容的选择和编写中，体现了如下特点：

(1) 力求适应机械类专业的应用实际，精简了材料理论知识的叙述，强化了实际应用的介绍；着重阐述了常规工艺，简单描述了新工艺、新技术。

(2) 考虑到各专业的不同需要，在内容的选择和安排上具有一定的通用性。

(3) 内容的选择和安排既系统、丰富，又重点突出。每个章节既相互联系，又相对独立，以便适应不同专业、不同学习背景、不同学时、不同层次的学生选用。

(4) 为加深学生对课程内容的理解，掌握和巩固所学的基本知识，在分析问题和解决问题的能力方面得到应有的训练，每章后附有思考与练习题，供学生进行练习，以便对所学内容及时系统地巩固、消化和吸收。

本书共分为 10 章。其中，第 1~4 章由周富涛编写；第 5 章由孟倩、周富涛合编；第 6 章、第 7 章第 2 节由孟倩编写；前言，绪论，第 7 章第 1、3、4、5 节，第 8~9 章由史雪婷编写；第 10 章由孟倩、史雪婷合编。全书由史雪婷统稿。本书由兰州交通大学王顺花教授担任主审，她在审稿中提出了一些宝贵的意见并订正了个别错误。在本书的调研、编写过程中得到了兰州交通大学机电工程学院材料科学与工程系全体同仁和很多院校、科研单位领导及同仁们的大力支持和热情帮助，在此表示衷心的感谢。

非常感谢西南交通大学出版社的领导和编辑同志，是他们的亲切关怀和大力支持才使这本书的出版成为可能。

由于编者水平有限，不妥之处在所难免，恳切希望各位读者朋友批评指正。

编 者

2013 年 11 月

目 录

0 绪 论	1
0.1 工程材料及其成形技术的发展史	1
0.2 工程材料的概念及分类	3
0.3 材料成形技术的概念及分类	4
0.4 学习本课程的目的和要求	5
1 金属材料的力学性能	6
1.1 强度、刚度、弹性和塑性	6
1.2 硬 度	10
1.3 疲 劳	13
1.4 冲击韧性	14
1.5 断裂韧性	16
1.6 材料的工艺性能	17
思考与练习	18
2 金属与合金的晶体结构	19
2.1 晶体学基础	19
2.2 金属的晶体结构	21
2.3 实际金属的晶体结构	23
2.4 合金的晶体结构	26
思考与练习	30
3 金属与合金的结晶	31
3.1 纯金属的结晶	31
3.2 合金的结晶	33
3.3 铁碳合金相图	41
3.4 凝固组织及其控制	54
思考与练习	56
4 金属的塑性变形及再结晶	58
4.1 金属的塑性变形	58
4.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	63

4.3	回复和再结晶	65
4.4	金属材料的热加工与冷加工	68
	思考与练习	69
5	钢的热处理	70
5.1	概述	70
5.2	钢在加热时的转变	71
5.3	钢在冷却时的转变	73
5.4	钢的普通热处理	81
5.5	钢的表面热处理	88
5.6	常见热处理缺陷及预防	92
	思考与练习	94
6	常用工程金属材料	96
6.1	钢的分类与编号	96
6.2	合金元素在钢中的作用	98
6.3	工程结构用钢	101
6.4	机械制造结构钢	104
6.5	工具钢	111
6.6	特殊性能钢	118
6.7	铸 铁	125
6.8	有色金属材料	127
	思考与练习	136
7	金属的铸造成形工艺	138
7.1	金属铸造成形工艺的理论基础	138
7.2	常用铸造合金及其熔炼	150
7.3	砂型铸造成形工艺	169
7.4	特种铸造	189
7.5	铸件的结构设计	201
	思考与练习	210
8	金属的塑性成形工艺	216
8.1	金属塑性成形工艺的理论基础	216
8.2	锻造成形工艺	223
8.3	板料冲压成形工艺	242
8.4	其他塑性成形方法	263
	思考与练习	271

9 金属的焊接成形工艺	274
9.1 金属焊接成形工艺的理论基础	274
9.2 常用的焊接方法	286
9.3 常用金属材料的焊接	303
9.4 焊接结构的工艺设计	311
思考与练习	318
10 机械零件用材及成形工艺选择	321
10.1 机械零件的失效	321
10.2 机械零件选材的基本原则及方法	323
10.3 典型零件的选材及工艺示例	325
10.4 毛坯成形工艺的选择	331
10.5 典型机械零件毛坯成形工艺选用示例	336
思考与练习	339
参考文献	342

0 绪 论

0.1 工程材料及其成形技术的发展史

材料是人类用来制作各种产品的物质，人类生活与生产都离不开材料。人类社会的发展史表明，材料及成形工艺是社会文明进步的标志之一。所以，历史学家根据人类制造生产工具的材料及成形工艺，将人类的生活时代划分为石器时代、陶器时代、青铜器时代、铁器时代。当今，人类正跨入人工合成材料和复合材料的新时代。

材料的发展经历了从低级到高级、从简单到复杂、从天然到合成的过程，材料的发展与应用状况是人类文明发展水平的标志。纵观人类利用材料的历史，可以清楚地看到，人类利用材料的历史，就是一部人类进化和进步的历史。每一种重要新材料的发现和应用，都会促使生产力向前发展，并给人类生活带来巨大的变革，把人类社会和物质文明推向一个新的阶段。

我们的祖先对材料的发展作出了杰出的贡献。在二三百万年前，人类最初使用的材料是天然石块，并逐步学会了用石块相互撞击，制造简单的工具；后来发展到使用磨制石器，如石刀、石矛、石斧等，这个时期称为石器时代。公元前 6000 年—公元前 5000 年，人们用黏土（主要成分为 $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ）烧制出了形状更加复杂的各种陶器制品，这个时期称为陶器时代。到了东汉时期又出现了瓷器，我国成为最早生产瓷器的国家。中国的瓷器流传到世界的各个角落，成为中国文化的象征，对世界文明产生了极大的影响。直到今天，中国瓷器仍畅销四海，享誉全球。公元前 2140 年—公元前 1711 年，人们用孔雀石（铜矿石）和木炭炼出铜；到了殷、西周时期，铜的应用已发展到很高的水平，普遍用于制造各种工具、食器、兵器等，这个时期称为青铜器时代。我国春秋战国时期的《周礼·考工记》中记载了青铜的成分和性能之间的关系，创造了灿烂的青铜文化。公元前 770 年—公元前 221 年，人们已开始大量使用铁器。到了西汉时期，炼铁技术又有了很大的提高，采用煤作为炼铁的燃料，这比欧洲早了 1 700 多年，这个时期称为铁器时代。后来，钢铁工业迅速发展，钢铁成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。

进入 20 世纪，随着现代科学技术和生产的飞速发展，材料、能源与信息已成为发展现代化社会生产的三大支柱，而材料又是能源与信息发展的物质基础。在材料中，非金属材料发展迅速，尤以人工合成高分子材料的发展最快。从 20 世纪 60 年代到 70 年代，有机合成材料每年以 14% 的速度增长，而金属材料的年增长率仅为 4%。近 20 多年来，金属与非金属相互渗透、相互结合，新型复合材料异军突起，组成了一个完整的材料体系。20 世纪 90 年代，人类不断发展和研制新材料，这些新材料具有一般传统材料不可比拟的优异性能和特定性能，

是发展信息、航天、能源、生物、海洋开发等新技术的重要基础，也是整个科学技术进步的突破口。如砷化镓等新的化合物半导体材料、用于信息探测传感器的硫化铅等敏感类材料、石英型光导纤维材料、铬钴合金光存储记录材料、非晶体太阳能电池材料、超导材料、高温陶瓷材料、高性能复合结构材料、高分子功能材料，特别是纳米材料等。新材料的广泛使用给社会带来了巨大的进步。

进入 21 世纪，随着科学技术的进步、人类生活水平的提高，对材料科学技术提出了更高的要求，特别是由于世界人口迅速增加，资源迅速枯竭，生态环境不断恶化，对材料的生产技术与有效利用提出了许多新要求。面向 21 世纪，新材料有如下发展趋势：继续重视对新型金属材料的研究开发；发展在分子水平设计高分子材料的技术；继续发掘复合材料和半导体材料的潜在价值；大力发展纳米材料、光电子信息材料、先进陶瓷材料、高性能塑料、超导材料等。总之，新材料技术是社会现代化的先导，是一切工业发展的关键共性基础。材料的研究和应用促进了人类社会的进步，而人类社会的不断发展又刺激了材料的不断创新。

在材料的生产和成形工艺方面，中华民族曾创造了辉煌的成就，为人类文明和世界进步作出了巨大的贡献。我国在原始社会后期开始使用陶器，在仰韶文化和龙山文化时期，制陶技术已经相当成熟。约 3 000 年前，我国便已采用铸造、锻造、淬火等技术生产各种工具和兵器。青铜冶炼始于夏代，至商周时期（公元前 16 世纪—公元前 8 世纪）冶铸技术已经达到很高的水平。从河南安阳出土的殷商祭器司母戊鼎，重达 875 kg，外形尺寸为 1.33 m × 0.78 m × 1.10 m，不仅体积庞大，而且上面花纹精巧、造型精美，是迄今世界上最古老的大型青铜器。湖北江陵楚墓中发现的越王勾践青铜剑，虽在地下埋藏了 2 000 多年，但刃口依然锋利，寒光闪闪，可以一次割透叠在一起的十多层纸张。春秋战国时期，我国就大量使用铁器，白口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁相继出现，比欧洲诸国早了 1 900 年。从兴隆战国铁器遗址中发掘出的浇铸农具用的铁模，说明冶铸技术已由泥砂造型水平进入铁模铸造的高级阶段。现存北京大钟寺内的明朝永乐年间铸造的大铜钟，重 46.5 t，钟身内外遍铸经文 20 余万字，是世界上铸字最多的大钟，其钟声浑厚悦耳，远传百里，至今仍伴随着华夏子孙辞旧迎新。我国河北沧州的五代铁狮、湖北当阳的北宋铁塔等，都是世界著名的巨型铸件。西安出土的秦始皇兵马俑宝剑，距今已 2 300 多年，仍光彩夺目、锋利如新。经化验，它渗入了 14 种合金元素，表面是一层含铬的氧化物。它不仅显示出我国古代铸、锻、焊工艺技术精湛，而且热处理、合金化的水平令现代人赞叹叫绝。还有秦始皇陵出土的大型彩绘铜马车，由 3 000 多个零件组成，综合采用了铸造、焊接、凿削、研磨、抛光及各种连接工艺，结构之复杂，制作之精美，令人叹服。明朝宋应星所著的《天工开物》一书，记载了冶铁、炼钢、铸造、锻铁和淬火等各种金属加工方法，其中记述的关于锉刀的制造、翻修和热处理工艺与现在相差无几，是世界上最早较全面阐述金属成形的科学技术著作之一。

历史充分说明，我们勤劳智慧的祖先，在材料的创造和使用上取得了卓越成就。中华人民共和国成立以后，特别是改革开放 30 多年来，我国工业生产迅速发展。20 世纪 60 年代我国自行设计并生产的 12 000 t 水压机，是制造重大装备的必备生产设备。我国压铸机数量超过 3 000 台，大小铸造厂遍布全国。近几年来，我国铸件年产量已超过 1 000 万 t，居世界前三位；拥有重点锻造企业近 400 家，锻件年产量 260 余万 t，居世界第一位；焊接已进入各行业，如年产各种焊接钢管近 1 000 万 t，各地已建有各类焊管厂 600 多家，焊管机组多达 2 000 余家。铸件、锻件、焊接件出口也逐年增加。我国人造卫星、洲际弹道导弹、长征系

列运载火箭、“天宫一号”目标飞行器、神舟系列载人航天飞船的研制成功，均与我国机械制造工艺水平的发展密切相关。我国是世界上少数几个拥有运载火箭和人造卫星发射实力的国家。这些飞行器的壳体均是选用铝合金、钛合金或特殊合金薄壳结构，采用胶接及钨极氩弧焊、等离子弧焊、真空电子束焊、真空钎焊和电阻焊等方法焊接而成。我国成功生产了世界上最大的轧钢机机架铸钢件（重 410 t）和长江三峡巨型水轮发电机组等特大型零部件。近年来，精密成形技术的不断发展，使毛坯的形状、尺寸和表面质量更接近零件要求。国际机械加工技术学会预测，21 世纪初精密成形与磨削加工相结合，将逐步取代大部分中、小零件的切削加工，所成形的公差可相当于磨削精度。

当今世界，科学技术迅猛发展，微电子、计算机、自动化技术与制造工艺和设备相结合，形成了从单机到系统、从刚性到柔性、从简单到复杂等不同档次的多种自动控制加工技术；成形加工过程中的计算机模拟和仿真与并行工程、敏捷化工程及虚拟制造相结合，已成为网络化异地设计和制造的重要内容；应用新型传感器、无损检测等自动监控技术及可编程控制器、新型控制装置可以实现系统的自适应控制和自动化控制。

0.2 工程材料的概念及分类

工程材料是指具有一定性能，在特定条件下能够承担某种功能、被用来制造零件和工具的材料。工程材料学是材料学科的实用部分，重点阐述材料的结构、性能、工艺、应用之间的关系。工程材料主要应用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域，用来制造工程构件、机械零件、工具等。

工程材料有各种不同的分类方法。工程上通常按化学成分、结合键的特点将工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大类，如图 0.1 所示。

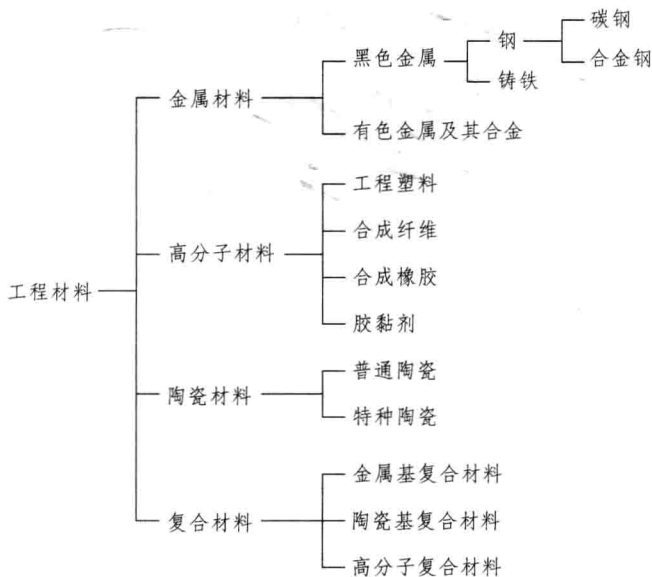


图 0.1 工程材料的分类

金属材料是以金属键结合为主的材料，具有良好的导电性、导热性、延展性和金属光泽，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，铁及铁合金称为黑色金属。钢铁材料的世界年产量已超过 10 亿 t，在机械产品中的用量已占整个用量的 60% 以上。黑色金属之外的所有金属及其合金称为有色金属。

高分子材料是以分子键和共价键为主的材料。高分子材料作为结构材料，具有塑性、耐腐蚀性、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。这些高分子材料在机械、电气、纺织、汽车、飞机、轮船等制造工业和化学、交通运输、航空航天等工业中被广泛应用。

陶瓷材料是以共价键和离子键结合为主的材料，其性能特点是熔点高、硬度高、耐腐蚀、脆性大。陶瓷材料分为传统陶瓷和特种陶瓷两大类。传统陶瓷又称普通陶瓷，是以天然硅酸盐矿物为原料的陶瓷，主要用作建筑材料。特种陶瓷又称精细陶瓷，是以人工合成材料为原料的陶瓷，常用作工程上的耐热、耐蚀、耐磨零件。

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，通过这种组合来达到进一步提高材料性能的目的。复合材料包括金属基复合材料、陶瓷基复合材料和高分子复合材料。如现代航空发动机燃烧室中耐热最高的材料就是通过粉末冶金法制备的氧化物粒子弥散强化的镍基合金复合材料。很多高级游艇、赛艇及体育器械等是由碳纤维复合材料制成的，它们具有质量轻、弹性好、强度高优点。

0.3 材料成形技术的概念及分类

工业中所用的材料，特别是金属材料绝大多数是原材料（如铸锭、型材、板材、管材等）。而构成机械装备的零件的形状和大小则各式各样，千变万化。因此，必须通过改变原材料的形态，使其接近或达到零件的形状、尺寸和技术要求等，工业上把这些通过改变原材料的形态从而获得毛坯或零件的制造加工方法统称为材料成形技术。

材料成形技术这门学科主要研究各种成形工艺方法本身的规律性及其在机械制造中的应用和相互联系；零件的成形工艺过程和结构工艺性；常用工程材料性能对成形工艺的影响；工艺方法的综合比较等。它几乎涉及机器制造中所有工程材料的成形工艺，属于机械制造学科。

材料的种类繁多，性能各有不同，形态互有差异，从而使材料成形技术多种多样。材料成形技术主要包括金属铸造成形技术、金属塑性成形技术、金属焊接成形技术和其他材料成形技术等（如粉末冶金成形、塑料成形、复合材料成形等）。

铸造属于液态成形技术，是将液态合金注入铸造模型中使之冷却、凝固而获得铸件产品。采用铸造方法可以生产铸铁件、铸钢件、铝、铜、镁、钛、锌及其合金等有色合金铸件。我国已铸造出重约 315 t 的大型厚板轧机的铸钢构架、大型水轮机转子等复杂铸件，还可以铸造壁厚为 0.3 mm、长度为 12 mm、质量为 12 g 的小型铸件。铸造在工业生产中获得了广泛应用，在一般机械设备中，铸件占整个机械设备质量的 40%~90%，如在机床和内燃机中铸件质量占 70%~90%，在风机、压缩机中铸件质量占 60%~80%，汽车的铸件质量占 40%~60%，拖拉机的铸件质量占 50%~70%。

锻造与冲压属于塑性成形技术，是在锻压机器的外力作用下将加热后或室温下的固态金属通过模具成形为所需锻件或冲压件的产品。采用塑性成形方法，既可以生产钢锻件、钢板冲压件、各种有色金属及其合金的锻件和板料冲压件，还可以生产塑料件和橡胶制品。塑性成形加工的零件和制品，其比例在汽车和摩托车中占 70%~80%，在拖拉机及农业机械中约占 50%，在航空航天中占 50%~60%，在仪表中约占 90%，在家用电器中占 90%~95%，在工程与动力机械中占 20%~40%。

焊接属于连接成形技术，是将数个坯件或零件通过焊接方法连接为一个整体构件而获得焊接产品。采用连接技术，既可以对同种材料进行连接，也可以对异种材料进行连接。焊接技术在钢铁、桥梁、建筑、汽车、机车车辆、舰船、航空航天飞行器、电站、石油化工设备、机床、工程机械、电器与电子产品、城市高架及地铁、油和气远距离传输管道、高能粒子加速器等许多重大工程中，起着极为重要的作用。

材料成形技术是机械制造的重要组成部分，是现代化工业生产技术的基础，其生产能力及其工艺水平，对国家的工业、农业、国防和科学技术的发展影响很大。材料成形技术是实现汽车、铁路、航空航天、石油化工等行业中的铸件、锻件、焊件、钣金件、塑料件和复合材料件等的主要生产方式和方法。

0.4 学习本课程的目的和要求

“工程材料及成形技术基础”课程是高等工科院校机械类和近机类各专业必修的技术基础课。该课程主要阐述工程材料及零件毛坯成形工艺的基本理论、基本知识及工程应用。通过本课程的学习，使学生在掌握工程材料的基本理论及材料成形基本知识的基础上，具备根据零件的服役条件合理选择和使用材料，正确制订热处理、成形工艺方法和妥善安排工艺路线的能力。

学习本课程的基本要求如下：

(1) 基本理论方面。掌握材料的成分、结构、组织与性能间的关系；掌握热处理、材料成形工艺与材料组织及性能间的关系。这些关系的规律性是制造、开发材料、确定热处理及成形工艺的理论基础。

(2) 基本知识方面。掌握各类金属材料的特点及选用；掌握各类热处理工艺过程及特点；掌握金属材料各类成形工艺的过程及特点。

(3) 工程应用方面。熟悉各类工程材料的应用，具有选用工程材料的初步能力；熟悉各类成形工艺的应用，初步具有选择毛坯、零件成形方法及制订简单零件加工工艺的能力；在工艺流程中合理安排材料热处理与成形工艺的位置；熟悉材料及其加工中图样和技术条件的标注方法；了解各种成形零件的结构工艺性，具有分析零件结构工艺性的初步能力。

本课程具有较强的理论性和应用性，学习中应注重分析、理解与运用，并注意知识的衔接与综合运用；为了提高分析问题、解决问题的能力，在理论学习外，还要注意密切联系生产实际，重视实验环节，认真完成作业；学习本课程之前，学生应具有必要的生产实践感性认识和专业基础知识，并应在后继课程和生产实习、课程设计、毕业设计等教学环节中反复练习，巩固提高。

1 金属材料的力学性能

由于金属材料的品种很多,并具有各种不同的性能,能满足各种机械的使用和加工要求,因此在生产上得到了广泛应用。

在机械设计时,满足使用性能是选材的首要依据。例如,汽车半轴在工作时主要承受扭转力矩和反复弯曲以及一定的冲击载荷,因此,要求半轴材料具有高的抗弯强度、疲劳强度和较好的韧性;起重机钢丝绳及吊钩承受拉伸应力,选材时应考虑拉伸强度;齿轮心部及齿根部承受剪切应力,而齿轮表面承受磨损,这就要求齿轮内韧外硬;等等。所有这些选材时考虑的因素都涉及材料的使用性能。使用性能是指为保证零件能正常工作和有一定的工作寿命,材料应具备的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能。其中结构材料的使用性能主要由它们的力学性能指标衡量;功能材料的使用性能主要由相关的物理学参量衡量。力学性能是指材料抵抗外力作用所显示的性能,包括强度、刚度、硬度、塑性、韧性和疲劳强度等,它们可通过标准试验测定。

如果选材时满足了使用性能,那么还要考虑材料是否容易加工。如果制造困难或制造成本太高,则这种选材方案未必可行。因此,选材时还应考虑材料的工艺性能。工艺性能是指为保证材料加工顺利进行,材料应具备的性能,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

本章主要介绍材料的力学性能,对材料的物理和化学性能及工艺性能作简单介绍。

1.1 强度、刚度、弹性和塑性

金属的强度、刚度、弹性和塑性一般可以通过金属拉伸试验来测定。它是按 GB 6397—1986 规定,把一定尺寸和形状的金属试样(见图 1.1)装夹在试验机上,然后对试样逐渐施加拉伸载荷,直至试样拉断为止。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量之间的关系,可测出该金属的拉伸曲线,并由此测定金属的强度、刚度、弹性及塑性。

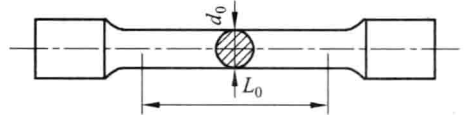


图 1.1 圆形标准拉伸试样

1.1.1 拉伸曲线与应力-应变曲线

1.1.1.1 拉伸曲线

试样进行拉伸试验时,随着载荷的逐渐增加,试样的伸长量也逐渐增加,通过自动记录

仪随时记录载荷 (P) 与伸长量 (ΔL) 的数值, 直至试样被拉断为止, 然后将记录的数值绘在载荷为纵坐标、伸长量为横坐标的图上。连接各点所得的曲线即为拉伸曲线。

图 1.2 为低碳钢的拉伸曲线。由图可见, 低碳钢试样在拉伸过程中, 其载荷与变形关系有以下几个阶段:

(1) 当载荷不超过 P_p 时, 拉伸曲线 Oa 为一直线, 即试样的伸长量与载荷成正比增加, 如果卸除载荷, 试样立即恢复到原来的尺寸, 试样属于弹性变形阶段, 完全符合胡克定律。 P_p 是能符合胡克定律的最大载荷。

(2) 当载荷超过 P_p 后, 拉伸曲线开始偏离直线, 即试样的伸长量与载荷已不再成正比关系, 但若卸除载荷, 试样仍能恢复到原来的尺寸, 故仍属于弹性变形阶段。 P_e 是试样发生完全弹性变形的最大载荷。

(3) 当载荷超过 P_e 后, 试样将进一步伸长, 但此时若卸除载荷, 弹性变形消失, 而另一部分变形被保留, 即试样不能恢复到原来的尺寸, 这种不能恢复的变形称为塑性变形或永久变形。

由图 1.2 可见, 当载荷达到 P_s 时, 拉伸曲线出现了水平的或锯齿形的线段, 这表明在载荷基本不变的情况下, 试样却继续变形, 这种现象称为“屈服”。引起试样屈服的载荷称为屈服载荷。

(4) 当载荷超过 P_s 后, 试样的伸长量与载荷又将呈曲线关系上升, 但曲线的斜率比 Oa 段的斜率小, 即载荷的增加量不大, 而试样的伸长量却很大。这表明在载荷超过 P_s 后, 试样已开始产生大量的塑性变形。当载荷继续增加到某一最大值 P_b 时, 试样的局部截面面积缩小, 产生所谓的“颈缩”现象。由于试样局部截面的逐渐减小, 承载能力也逐渐降低, 当达到拉伸曲线上 k 点时, 试样断裂。 P_k 为试样断裂时的载荷。

应该指出, 低碳钢这类塑性材料在断裂前有明显的塑性变形, 这种断裂称为韧性断裂, 某些脆性材料 (如铸铁等) 在尚未产生明显的塑性变形时已断裂, 故不仅没有屈服现象, 而且也不产生颈缩现象, 这种断裂称为脆性断裂。

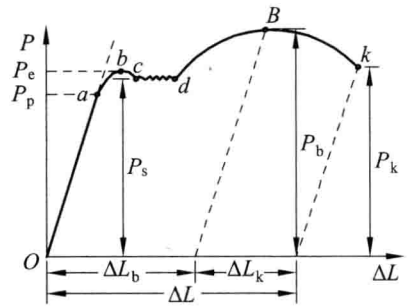


图 1.2 低碳钢的拉伸图

1.1.1.2 应力-应变曲线

由于拉伸曲线上的载荷 P 和伸长量 ΔL 不仅与试验的材料性能有关, 而且还与试样的尺寸有关。为了消除试样尺寸因素的影响, 需采用应力-应变曲线。

将载荷 P 除以试样的原始截面面积 A_0 , 即得到试样所受的拉应力 σ , 其单位为 MPa; 将试样的伸长量 ΔL 除以试样的原始标距长度 L_0 , 得到试样的相对伸长, 即应变 ϵ 。以 σ 为纵坐标, ϵ 为横坐标, 则绘出 σ - ϵ 关系曲线, 图 1.3 为低碳钢的应力-应变曲线示意图。应力-应变曲线的形状与拉伸曲线完全相似, 只是坐标与数值不同。但它不受试样尺寸的影响, 可以直接看出金属材料的一些力学性能。

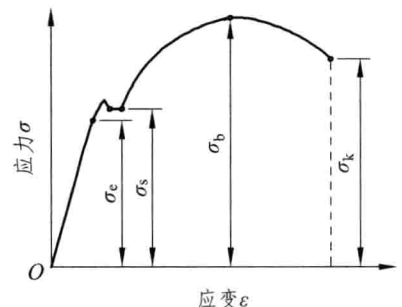


图 1.3 低碳钢的应力-应变曲线

1.1.2 刚度和弹性

由应力-应变曲线中的弹性变形阶段可以测出材料的弹性模量 (E) 和弹性极限 σ_e 。

1.1.2.1 弹性模量

弹性模量 E 是指材料在弹性状态下的应力与应变的比值, 即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

式中 σ ——材料在弹性变形范围内的应力, MPa;

ε ——材料在应力作用下产生的应变, 即相对变形量, 无量纲。

在应力-应变曲线上, 弹性模量就是试样在弹性变形阶段应力-应变线段的斜率, 即引起单位弹性变形时所需的应力。因此, 它表示材料抵抗弹性变形的能力。工程上将材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。

绝大多数机械零件都是在弹性状态下进行工作的, 在工作过程中, 一般不允许有过量的弹性变形, 更不允许有明显的塑性变形。因此, 对其刚度都有一定的要求。零件的刚度除了与零件横截面大小、形状有关外, 还主要取决于材料的性能, 即材料的弹性模量 E 。弹性模量 E 值越大, 则材料的刚度越大, 材料抵抗弹性变形的能力就越强。弹性模量 E 值主要取决于各种材料本身的性质, 热处理、微合金化及塑性变形等对它的影响很小。一般钢在室温下的 E 值为 190~220 GPa, 而铸铁的 E 值较低, 一般为 75~145 GPa。

1.1.2.2 比例极限与弹性极限

比例极限 σ_p 是应力与应变之间能保持正比例关系的最大应力值, 即

$$\sigma_p = \frac{P_p}{A_0}$$

式中 P_p ——载荷与变形能保持正比例关系的最大载荷, N;

A_0 ——试样的原始横截面面积, mm^2 。

弹性极限 σ_e 是材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力值, 即

$$\sigma_e = \frac{P_e}{A_0}$$

式中 P_e ——试样发生完全弹性变形的最大载荷, N;

A_0 ——试样的原始横截面面积, mm^2 。

由于弹性极限与比例极限在数值上非常接近, 故一般不必严格区分。它们表示材料在不产生塑性变形时所能承受的最大应力值。有些零件如枪管、炮筒及精密弹性件等在工作时不允许产生微量塑性变形, 设计时应根据比例极限和弹性极限来选用材料。