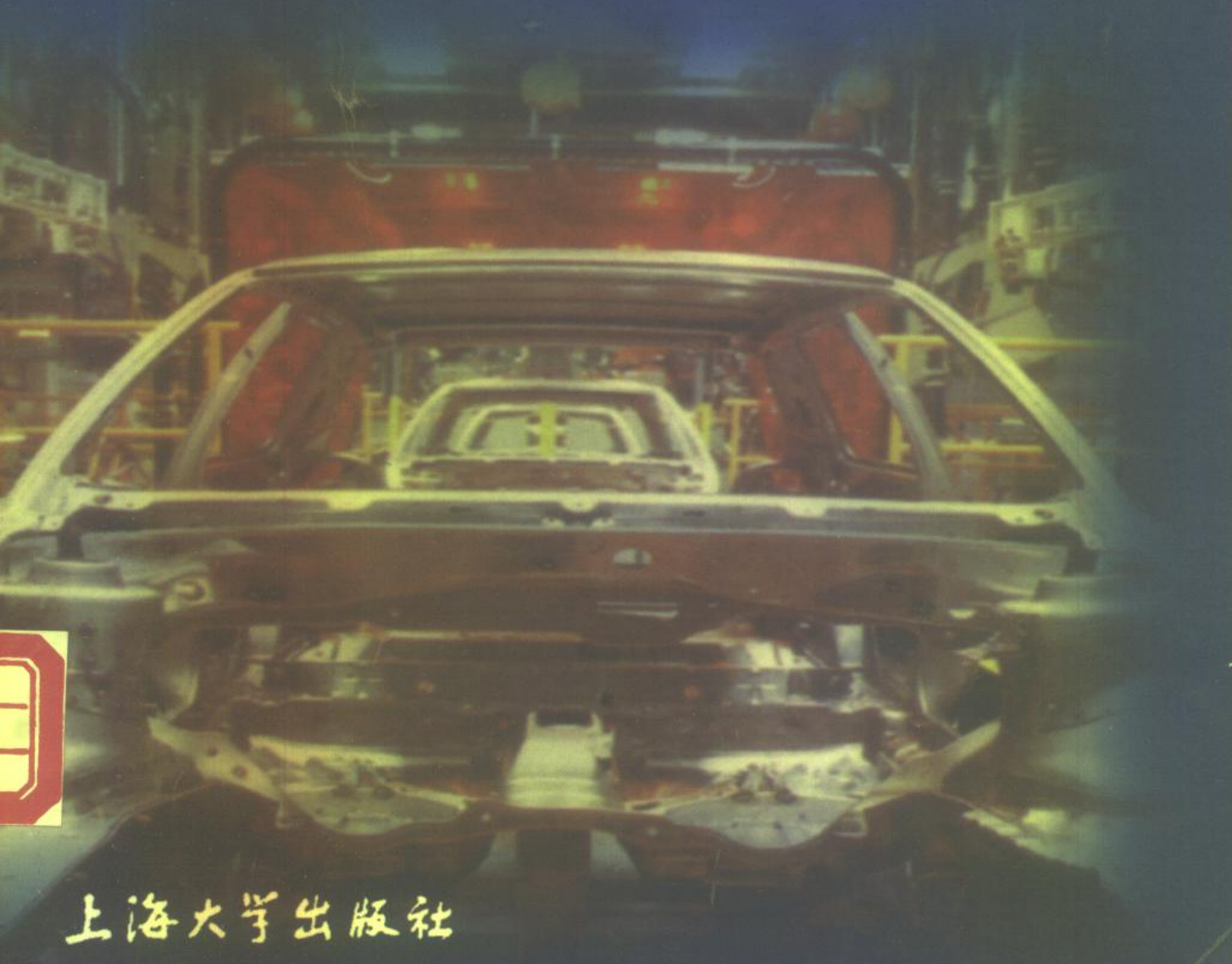


上海普通高校“九五”重点教材

上海市教育委员会组编

现代材料 成型技术基础

鞠鲁粤 主编



上海大学出版社

上海普通高校“九五”重点教材
上海市教育委员会组编

现代材料成形技术基础

鞠鲁粤 主编

上海大学出版社

· 上 海 ·

内 容 简 介

本书是教育部规定的机械专业技术基础课程“材料成形技术基础”教学参考书,主要面向机械类本科生,工科相关专业也可采用本教材进行教学。

本书共分6个章节,分别介绍了工程材料、铸造成形、锻压成形、焊接成形、非金属材料成形和材料的表面处理技术。为配合学习,每一章都附有习题和思考题,便于读者进行复习和总结,巩固已学知识。本教材的主要特点是,较详细地阐述了材料技术和各种成形技术的基本理论,在此基础上,较全面地介绍了现代材料成形方法及其新成果、新发展,便于读者了解先进材料技术、成形方法和表面处理工艺的发展趋势。

本书阐述了各种材料技术和成形过程的工艺原理、工艺方法、自身规律、相互联系、技术经济性及发展趋势,为理论与实践相联系作了一些尝试。

本书也可作为工程技术人员和工厂管理人员的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

现代材料成形技术基础/鞠鲁粤主编. —上海:上海大学出版社,1999

上海普通高校“九五”重点教材

ISBN 7-81058-083-3

I. 现… II. 鞠… III. 金属材料-成形-高等学校-教材
IV. TG39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 41988 号

上海大学出版社出版发行

(上海市延长路 149 号 邮政编码 200072)

上海市印刷七厂一分厂印刷 各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 14.75 字数 368 000

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~2 000

定价:22.00 元

前 言

“现代材料成形技术基础”是高等工科院校机械类专业的一门重要的技术基础课程。由于本书是上海普通高校“九五”重点教材,因而我们组织了长期在教学第一线、有丰富教学经验的教师编写了本书。

人类即将跨入 21 世纪,建立在现代自然科学新成就基础上的新工艺不断涌现,传统工艺不断发展。研究开发新工艺时,科学方法(如模型化方法、系统论、信息论、并行工程等)的应用愈来愈广泛;工艺过程正在向着典型化和生产专业化的方向发展,并朝着设计、制造、管理集成化、自动化和智能化方向迈进。对生产过程也提出了清洁生产、高效生产、柔性生产和精益生产的观念和要求。愈来愈多的新工艺、新技术,对人的知识结构有愈来愈高的要求。我们编写本书,正是为了适应这样的发展,使读者在材料成形领域掌握更多的现代知识,从而为解决现代工程材料的加工成形和新型材料的开发应用打下基础。

本书既可作为机械工程系本科生的必修技术基础课教材,又可作为相关工科系本科生的选修技术基础课教材,也可作为从事此领域的工程技术人员参考书。

本书由上海大学鞠鲁粤主编。参加编写的人员有(按章节顺序):鞠鲁粤(前言、绪论;第一、二章)、姚勤(第三、五、六章)、方宇栋(第四章)。参加编写工作的还有秦亦慧、陈方泉。

在编写本书过程中,参考了有关教材、手册、资料,并得到众多同志的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有错误和不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

1999 年 8 月

目 录

绪 论	1
第一章 工程材料	4
1.1 概述	4
1.1.1 材料技术在机械工业中的作用	4
1.1.2 材料科学的任务	5
1.2 固体材料的性能	5
1.3 固体材料的结构	11
1.3.1 固体的结合键	11
1.3.2 工程材料按结合键性质分类	12
1.3.3 晶体与非晶体结构	13
1.3.4 实际金属结构	16
1.4 金属的结晶	18
1.4.1 结晶的概念	18
1.4.2 金属结晶过程	18
1.4.3 铸态晶粒的大小	19
1.4.4 金属的同素异构转变	20
1.4.5 金属铸锭的组织	20
1.5 二元合金	21
1.5.1 二元合金的晶体结构	21
1.5.2 二元合金相图	22
1.6 铁碳合金	25
1.6.1 铁碳合金基本组织	25
1.6.2 铁碳合金状态图	26
1.7 碳钢	29
1.7.1 碳钢的分类	29
1.7.2 碳钢的牌号	29
1.8 钢的热处理	30
1.8.1 概述	30
1.8.2 钢在加热时的转变	30
1.8.3 钢在冷却时的转变	32
1.8.4 常用的钢的热处理	33
1.9 钢中的合金元素	38

1.9.1	合金元素在钢中的分布	38
1.9.2	合金元素对铁碳系平衡相图的影响	39
1.9.3	合金元素对钢冷却时相变的影响	39
1.9.4	合金元素对钢的力学性能的影响	39
1.10	合金钢	40
1.11	铸铁	42
1.11.1	铸铁的分类及特性	42
1.11.2	铸铁的石墨化过程	43
1.11.3	铸铁的牌号与性能	44
1.12	非铁金属材料	45
1.12.1	铝及铝合金	46
1.12.2	铜及铜合金	47
1.12.3	轴承合金	48
1.13	现代材料及发展	48
1.13.1	结构材料	49
1.13.2	功能材料	53
1.14	材料选用的技术经济原则	54
1.14.1	选材适用原则	54
1.14.2	技术经济评价指标	59
	思考题及习题	61
第二章	铸造成形	63
2.1	概述	63
2.2	铸件成形理论基础	64
2.2.1	金属的充型	64
2.2.2	金属的凝固	65
2.2.3	铸件凝固时间的计算	70
2.2.4	合金的收缩、应力及变形	72
2.3	砂型铸造工艺分析	76
2.3.1	浇注位置和分型面的确定	76
2.3.2	主要工艺参数的确定	78
2.3.3	铸造工艺图的制定	79
2.4	铸件的结构设计	80
2.5	砂型铸造方法	82
2.5.1	气动微振压实造型	82
2.5.2	高压造型	83
2.5.3	真空密封造型	85
2.5.4	气流冲击造型	85
2.5.5	冷冻造型	86
2.6	特种铸造	87

2.6.1	熔模铸造	87
2.6.2	金属型铸造	88
2.6.3	离心铸造	88
2.6.4	压力铸造	90
2.6.5	低压铸造	93
2.6.6	陶瓷型铸造	94
2.6.7	实型铸造	95
2.6.8	磁性铸造	96
2.6.9	石墨型铸造	96
2.6.10	真空吸铸	96
2.6.11	差压铸造	97
2.6.12	现代整体精铸及快速凝固成形技术	97
2.6.13	常用铸造方法的比较	97
2.7	铸造成形的技术经济性分析	98
2.7.1	铸件的生产成本分析	98
2.7.2	实现少无切削加工的经济分析	99
2.7.3	以铁代钢的成本分析	100
2.7.4	铸造质量的经济性分析	101
2.8	铸造技术的发展趋势	102
	思考题及习题	103
第三章	锻压成形	107
3.1	概述	107
3.2	塑性成形的理论基础	108
3.2.1	塑性变形的实质	108
3.2.2	塑性变形后金属组织和性能的变化	110
3.2.3	金属的锻造性能	112
3.2.4	塑性成形的力学分析方法	114
3.3	锻造	116
3.3.1	自由锻造	116
3.3.2	模型锻造	125
3.3.3	胎模锻简介	135
3.4	板料冲压	136
3.4.1	冲压的基本工序	137
3.4.2	冲压模具	142
3.4.3	冲压机械化、自动化与柔性加工系统	144
3.5	锻压新工艺简介	145
3.5.1	精密模锻	146
3.5.2	精密冲裁	147
3.5.3	回转成形(轧锻)	147

3.5.4	零件挤压	149
3.5.5	超塑性成形	149
3.5.6	粉末锻造	151
3.5.7	液态模锻	152
3.5.8	高能率成形	153
思考题及习题		154

第四章	焊接成形	156
4.1	概述	156
4.2	焊接方法	157
4.2.1	电弧焊基本概念	157
4.2.2	手工电弧焊	161
4.2.3	二氧化碳气体保护焊	162
4.2.4	氩弧焊	163
4.2.5	埋弧自动焊	165
4.2.6	电阻焊	165
4.2.7	钎焊	168
4.3	其他焊接方法	169
4.3.1	气焊与气割	169
4.3.2	等离子弧切割	170
4.3.3	堆焊与喷涂	170
4.3.4	螺柱焊技术	171
4.3.5	电渣焊	171
4.3.6	窄间隙焊	171
4.3.7	焊接方法的选择	171
4.4	焊接接头	173
4.4.1	焊接接头的组织与性能	173
4.4.2	焊接接头的缺陷	174
4.5	常用金属材料的焊接	175
4.5.1	金属焊接性的概念	175
4.5.2	常用金属材料的焊接	175
4.6	其他材料的焊接	177
4.6.1	陶瓷的焊接	177
4.6.2	塑料的焊接	178
4.7	焊接结构设计简介	178
4.7.1	焊接应力与变形	178
4.7.2	焊接接头与坡口	179
4.7.3	焊缝位置的设计	179
4.8	胶接	180
4.8.1	胶接的基本原理	181

4.8.2	胶接的主要特点	181
4.8.3	胶接工艺	181
4.8.4	胶接应用举例	182
4.9	焊接新技术简介	182
4.9.1	激光切割	182
4.9.2	水射流切割	182
4.9.3	数控切割技术	183
4.9.4	电子束焊	184
4.9.5	激光焊	184
4.9.6	摩擦焊	185
4.9.7	扩散焊	186
4.9.8	波峰焊技术	186
4.9.9	管焊技术	186
4.9.10	焊接机器人与自动生产线	187
	思考题及习题	191
第五章	非金属材料的成形	193
5.1	塑料的成形与加工	193
5.1.1	塑料的组成	193
5.1.2	塑料的分类和性能	194
5.1.3	塑料的成形方法	195
5.1.4	塑料的加工方法	198
5.2	橡胶的成形加工	199
5.2.1	橡胶的组成	199
5.2.2	橡胶的分类和性能	200
5.2.3	橡胶的成形加工	200
5.3	陶瓷的成形加工	201
5.3.1	陶瓷材料简介	202
5.3.2	陶瓷的成形加工	202
5.4	复合材料的成形	204
5.4.1	复合材料的成形方法	204
5.4.2	复合材料的二次加工	206
	思考题及习题	207
第六章	材料的表面处理技术	208
6.1	概述	208
6.1.1	表面处理技术的特点和用途	208
6.1.2	表面处理技术的分类	208
6.2	电镀与化学镀	209
6.2.1	普通电镀	209

6.2.2	电刷镀	211
6.2.3	化学镀	211
6.2.4	复合镀	212
6.3	化学转化膜技术	212
6.3.1	钢铁的氧化(发蓝)	212
6.3.2	钢铁的磷化	213
6.3.3	铝及铝合金的氧化	213
6.4	气相沉积技术	214
6.4.1	物理气相沉积	214
6.4.2	化学气相沉积	216
6.5	热喷涂技术	216
6.5.1	热喷涂的特点及应用	216
6.5.2	热喷涂方法	217
6.6	涂料涂装技术	220
6.6.1	涂料的组成与分类	220
6.6.2	涂装工艺	221
6.7	金属的着色和染色	222
6.8	表面处理技术的新发展	222
	思考题及习题	223
主要参考文献		224

绪 论

“材料成形技术基础”是机械系和相关工程系学生的一门重要的技术基础课程,主要是研究机器零件的常用材料和材料成形方法。即从选择材料到毛坯或零件成形的综合性课程。通过本课程的学习,可获得常用工程材料及材料成形工艺的知识,培养学生工艺分析的能力,了解现代材料成形的先进工艺、技术和发展趋势,为后续课程学习和工作实践奠定必要的基础。

材料是科学与工业技术发展的基础。先进的材料已成为当代文明的主要支柱之一。掌握材料的基础知识,了解先进材料的发展趋势,提高材料的应用能力,对提高工科学生的基本素质,进行工程设计和应用,有着至关重要的作用。

近年来,材料科学的发展极为迅速。在力学性能方面,材料逐步向高比强度、比模量方向发展。例如,美国 1980 年汽车平均重量为 1500kg,1990 年则为 1020kg。铸铁的比例由 15% 减至 11%。每台车的铸铁用量由 225kg 降至 112kg;此时铝合金由 4% 增至 9%;高分子材料由 6% 增至 9%。采用陶瓷材料制作汽车发动机,以取代金属材料的发动机,具有显著的技术经济效果和广阔的发展空间。

在使用性能上,新材料在能源材料、信息材料、生物材料方面的开发极大地拓展了人类生存空间。

在过去 30 年,燃气轮机叶片的工作温度平均每年提高 6.67°C 。而工作温度每提高 83°C ,就可使推力提高 20%。在能源工业上,输电变压器的铁损,全世界每年为 4000 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,若采用非晶态金属,每年可节约 1000 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,美国由此每年可节约 10 亿美元。由于太阳能每年照射在地球表面的能量,是全世界耗能的 1 万倍,在地球能源日渐枯竭的今天,采用光电转换材料(非晶硅、GaAs 等)将有极大的发展空间。

信息的储存和传递装置要求体积小、轻巧和快速。硅芯片内的线宽,1960 年为 $30\mu\text{m}$,1986 年降至 $1\mu\text{m}$,因而每片可容纳 10^5 以上的晶体管,储存 1.6×10^6 bit 的信息,1990 年达 $0.1\mu\text{m}$,因此光刻技术已由可见光转为高能电子和 X 射线。我国光刻技术发展也很快,1998 年上海华虹 NEC 已批量生产 $0.35\mu\text{m}$ 线宽的芯片,1999 年台湾批量生产出 $0.18\mu\text{m}$ 线宽的芯片。

生物学材料在美国以每年 13% 的速率递增,年销售额已达 500 亿美元。

材料科学的进步为材料成形技术拓展了发展空间。

材料成形技术一般理解为铸造成形、锻压成形、焊接成形和非金属材料成形。材料成形技术是一门研究如何用热加工方法将材料加工成机器部件和结构,并研究如何保证、评估、提高这些部件和结构的安全可靠度和寿命的技术科学。它属于机械制造学科。材料成形过程与金属切削过程不同,在大部分成形过程中,材料不仅发生几何尺寸的变化,而且会发生成分、组织结构及性能的变化。因此材料成形学科的任务不仅是要研究如何使机器部件获得必要的几何尺寸,同时要研究如何通过过程控制获得一定的化学成分、组织结构和性能,从

而保证机器部件的安全可靠度和寿命。

历史迈入 21 世纪,现代化发展对材料成形技术提出了更高的要求:

钢铁工业的发展,迫切需要发展特大型铸锻件及焊接结构件成套生产技术。为满足这方面的需求,材料成形技术还有很大的差距。例如,5500mm 特厚钢板轧钢机的机架重量为 410t。而我国铸钢能力还只有 200 多吨。像这样的特大型铸件不仅在重量上,而且在质量上,从冶炼、铸造、锻压、热处理、表面处理及质量检验等成套生产技术,我国目前还没有掌握。

能源工业的发展,要求成形工艺满足大型电力设备建设的需求,工业发达国家已能生产 120 万 kW 火力发电机组、100 万 kW 水轮发电机组、130 万 kW 核电设备的全部铸锻焊件。而我国还只能生产 60 万 kW 以下火力发电机组、32 万 kW 混流型和 17 万 kW 轴流式水轮发电机组及 30 万 kW 核电设备的部分大型铸锻件,在质量上也存在着较大的差距。同时我国钢锭利用率低、能耗大、成本高、在国际市场上缺乏竞争能力。如 30 万 kW 低压发电机组整体转子国外先进工厂用 180t 钢锭锻成,我们则需要 220t,每件锻件耗能和成本都比国外高。

交通工业的发展,使汽车工业在国民经济中的重要地位日益显现。1994 年,全世界共生产 4900 万辆汽车。由此每年使用的钢铁、铝合金和塑料等共达 6500 万 t。我国汽车工业的发展,特别是以生产载重汽车为中心转向以生产轿车为中心,将对铸、压、焊等成形技术提出更高的要求。我国汽车制造业中成形工艺还比较落后,如轿车发动机缸体薄壁铸造、覆盖件模具的 CAD/CAM 技术以及机器人焊接等均尚未完全掌握,以至还需从国外进口。

我国海洋工程目前尚处在起步阶段。海洋钻探平台、海洋管道铺设船等的制造均以焊接技术为主,由于海洋平台需要在海水、低温、风浪等恶劣条件下工作,因而对焊接技术及焊接结构件的断裂特性、失效分析和可靠性评估提出了十分严格的要求。又如,某种舰船的主体要用 80mm 厚度、800MPa 强度级的低合金高强度钢板焊接而成。制造如此强度级别和厚度的结构,从材料的冶炼、轧制到焊接等技术目前均尚未掌握。

航空航天工业的发展要求运载工具有尽可能高的推力重力比。国外先进航空发动机的推重比已达 10:1 以上,到 2000 年,预计将达到 20:1。军用飞机的寿命将从 4000h 提高到 8000h。提高推重比,减轻重量,提高可靠性,延长寿命,在相当程度上是靠材料及材料成形技术的进步。航空工业中,燃气涡轮发动机的制造技术水平完全依据于材料成形学科的发展。众所周知,发动机的特性和效率取决于它的工作温度,而工作温度取决于所使用的材料。材料的取舍,又取决于材料成形工艺的可能性,国外航空工业在材料成形工艺上取得了重大进展,我国大部分还都处于研制阶段。

由于材料成形技术在国民经济中的重要作用,材料成形技术引起了国内外各行各业的极大关注,材料成形技术在近年来获得了长足的发展和巨大的进步。

现代科学的发展使材料成形技术的内容远远超出了传统的热加工范围,例如常温下的冷冲压、超声波焊接、物理气相沉积、化学气相沉积以及近几年发展起来的光成形等快速成形方法,这些工艺方法已经不能用传统的成形技术概念加以概括。因此,现代材料成形技术应定义为:一切用物理、化学、冶金原理制造机器部件和结构,或改进机器部件化学成分、微观组织及性能的方法。

本教材的主要内容如下:

(1) 工程材料 主要介绍工程材料及其性能控制,现代材料及其应用;

(2) 铸造成形 主要介绍铸件成形理论、成形方法,特种铸造及现代铸造技术发展

趋势;

(3) 锻压成形 主要介绍金属的塑性变形理论,锻压成形方法及各种锻压新技术、方法;

(4) 焊接成形 主要介绍焊接成形理论,各种焊接成形方法及其新技术、新工艺;

(5) 非金属材料的成形 主要介绍塑料、陶瓷、橡胶和复合材料的成形方法和新技术;

(6) 表面处理技术 主要介绍表面处理技术、方法、工艺及其发展趋势。

本课程的目的要求是:

(1) 了解和掌握材料的各种性能、特点以及改变材料性能的途径;

(2) 能经济地选用材料并能根据材料的使用要求,了解和掌握在加工过程中如何保证并改进材料化学成分、内部组织、表面性能和加工性能;

(3) 了解材料成形工艺、零件结构工艺性、加工装备及生产过程自动化。

(4) 对材料成形方法进行经济分析和比较。

(5) 掌握各种材料成形工艺的相互关联性和互补性。

本课程的教学安排建议如下:

(1) 在金工实习后实施课程教学;

(2) 教材适宜的学时数为 50~90h;

(3) 最好能结合电视教学片和多媒体 CAI 组织教学。

第一章 工程材料

1.1 概述

材料是现代文明的三大支柱之一,它是发展国民经济的重要物质基础。材料作为生产活动的基本投入之一,对生产力的发展有深远的影响。人们曾把当时使用的材料,当作历史发展的里程碑,如“石器时代”、“青铜器时代”、“钢铁时代”等。我国是世界上最早发现和使用金属的国家之一。周朝是青铜器的极盛时期,到春秋战国时代,已普遍应用铁器。直到 19 世纪中叶,大规模炼钢工业兴起,钢铁才成为最主要的工程材料。

科学技术的进步,推动了材料工业的发展,新材料不断涌现。尤其石油化学工业的发展,促进了合成材料的兴起和应用;80 年代工程陶瓷材料又有很大进展。现在工程材料已扩展为包括金属材料、有机高分子材料和无机非金属材料三大系列的全材料范围。

1.1.1 材料技术在机械工业中的作用

材料技术的发展对机械工业有极其重要的作用。本世纪 30 年代以前,蒸汽机采用碳素钢制造,蒸汽温度不能超过 400°C ,热能得不到充分利用。以后,逐步掌握了材料的蠕变规律,从而研制出抗蠕变的耐热钢和耐热合金。使工质温度得以提高,才出现了亚临界和超临界温度的汽轮机等高效动力设备。今后,发展更高效的机械设备,仍有待材料科学的进步。

一、材料技术是机械产品质量的重要保证

材料是机械产品质量的重要保证,它必须满足机械产品的各项功能,承受各种服役条件的考验。它在质量上的贡献主要体现在两个方面:其一,保证机械产品在规定服役期间,材料的各种性能稳定可靠;其二,满足机械加工各种工艺条件对材料质量的要求。

1. 为机械设计提供依据

由于材料内部存在着夹杂、气孔和微裂纹等宏观缺陷,形成了专门研究非连续介质材料破裂理论的断裂力学。材料的疲劳裂纹扩展和应力腐蚀裂纹扩展的性能数据为动态的、损伤容限设计提供了依据。材料的可靠性评定,成为零部件和整机可靠性设计的基础数据。大型材料数据库的建立,使现代化的 CAD 可进行联机选材设计。

2. 不断推动机械制造工艺的进步

在机械制造中,材料的工艺性能很大程度上决定着加工方法的选择,也直接影响到生产效率。如机械制造中约有 70% 的零件最后需经刀具切削加工,机床的切削速度往往取决于刀具材料的性能。

材料科学与工程进步,也包含了通过改进材料工艺性能来适应各种工艺条件的可能性。目前,已开发出一系列适用于各种工艺条件的专用材料,除了易切削钢以外,还专门开发了冷镦钢、快速渗碳(氮)钢、感应淬火钢及非调质钢等。

某些新材料的应用,带来整个工艺的变革。如强力胶粘剂的应用,使胶接工艺部分取代传统的铆接工艺和焊接工艺,在汽车等工业中使用,使加工更迅速,密封性更好;复合材料的应用,将很多与传统工艺不同的方法引入机械制造业,改变了传统产业的面貌。新材料的应用带来一个显著的特点:不少材料的最终性能由制品的成形、加工工艺所决定,而陶瓷材料和不少功能材料使材料、制品趋于一体化,这将进一步引起工艺的变革。因此,随着材料技术的进步,设计、材料、工艺诸因素互相渗透、融合,推动了机械工业的发展。

3. 改善机械工业用材结构

材料科学的发展引起了机械工业用材结构的变化。如高分子材料已部分取代了金属材料;陶瓷材料和复合材料正在逐步兴起;高比强度、比模量材料正在日益引起人们的重视;粉末冶金材料耗用比例逐渐增加;球墨铸铁的消耗比例,目前呈逐步上升趋势;钢材中板、管、带材的使用比例也在逐步增加,以改善机械制造的经济效益。用材结构不仅大致反映了整个机械工业制造技术水平,也是分析产品的设计水平和质量的重要标志之一。

二、导致新兴产业的形成

新材料的开发与应用,是发展新兴产业的基础。60年代半导体材料兴起,微电子技术发展,形成了一大批新兴产业。70年代光学材料突破,激光技术发展,光导纤维新兴产业逐步发展起来,将取代电缆通信。80年代,在世界范围内研究热机上使用高温陶瓷,可将热机工作温度提高到 1370°C ,使热机的最高理论效率提高到近于80%。预测至21世纪初,高温结构陶瓷将形成新的产业,陶瓷柴油发动机、陶瓷燃气涡轮发动机等将进入市场。同时,先进的陶瓷刀具、密封磨环、轴承、喷嘴、内衬、挤压模等也将先后产业化。此外,第三代复合材料,今后也将形成新的产业。

总之,材料技术已成为不同工程领域新型产业的共性关键技术。

1.1.2 材料科学的任务

材料是一切工业的基础。无论金属材料、有机材料还是无机非金属材料,它们都有很多共同规律和相同的研究方法,从而形成了一门材料科学。材料科学的主要任务是研究材料的组分、结构与性能之间的相互关系和变化规律。它是介于基础科学和应用科学之间的一门应用基础科学,与物理、化学、化工、冶金等学科相互交叉、彼此渗透,为应用科学和工程技术提供新材料、新工艺和新技术。

1.2 固体材料的性能

机械零件在使用过程中要承受或传递载荷,彼此间往往有相对运动,有的还要受到高温、低温或腐蚀介质的作用。为了保证零件的正常工作和容易加工,材料必须具备相应的力学性能、物理性能、化学性能和工艺性能。表1-1列出了材料的常用性能。

本节重点介绍材料的力学性能。

一、强度和塑性

材料强度是指材料在达到允许的变形程度或断裂前所能承受的最大应力,像弹性极限、屈服强度、抗拉强度、疲劳强度、蠕变极限等等。按外力作用的方式不同,强度可分为抗拉、抗压、抗弯、抗剪强度等。工程上最常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

材料的强度、塑性指标是通过拉伸实验测定的。图1-1(a)为低碳钢拉伸实验测得的应

表 1-1 材料的常用性能

性能名称		性能内容	
使用性能	物理性能	包括密度、熔点、导电性、导热性、磁性等	
	化学性能	金属材料抵抗各种介质的侵蚀能力,如抗腐蚀性能等	
	力学性能	强度	指在外力作用下材料抵抗变形和破坏的能力,分为抗拉强度 σ_b 、抗压强度 σ_{bc} 、抗弯强度 σ_{bb} 、抗剪强度 σ_r ,单位均为 MPa
		硬度	衡量材料软硬程度的指标,较常用的硬度测定方法有布氏硬度(HBS、HBW)、洛氏硬度(HR)和维氏硬度(HV)等
		弹性	材料受外力作用产生变形,当外力去除后能恢复其原来形状的性能
		刚度	表征材料弹性变形抗力的大小,常用弹性模量 E 来衡量
		塑性	指在外力作用下材料产生永久变形而不发生破坏的能力。常用指标是伸长率 $\delta\%$ 和断面收缩率 $\psi\%$, δ 和 ψ 愈大,材料塑性愈好
		冲击韧度	指材料抵抗冲击破坏的能力。常把各种材料受到冲击破坏时,单位面积上消耗能量的数值作为冲击韧度的指标,用 $\alpha_k(\text{J}/\text{cm}^2)$ 表示。冲击韧度值综合反映了材料的强度和塑性
		断裂韧度	断裂韧度是表征材料抵抗裂纹失稳扩展即抵抗低应力脆性断裂的能力,用 K_{Ic} 表示,其单位为 $\text{N} \cdot \text{mm}^{-\frac{3}{2}}$
		疲劳强度	指材料在多次交变载荷作用下而不致引起断裂的最大应力
工艺性能		包括热处理工艺性能、铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能	

力-应变图。实验时将材料做成如图 1-1(b)标准试样,试样在外力作用下,其内部产生一种内力,其数值大小与外力相等,方向相反。材料单位面积上的内力称为应力(Pa),以 σ 表示。可按下式计算:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1-1)$$

式中 F ——试验时所加的外力(载荷)(N);

S_0 ——试样原始横截面积(m^2)。

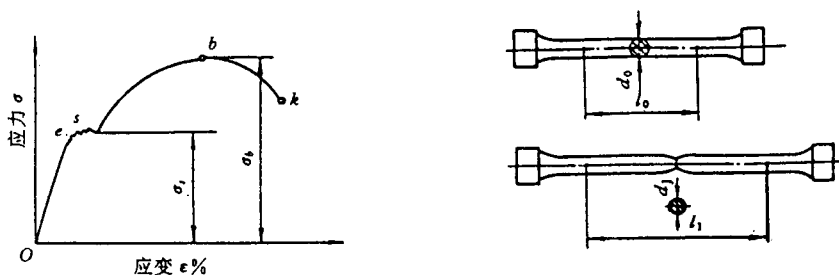


图 1-1 拉伸试样及低碳钢的应力-应变图

(a) 低碳钢应力-应变图; (b) 标准拉伸试样

1. 屈服强度

在图 1-1 中,当载荷未达到 e 点以前试样仅产生弹性变形,故 σ_e 是材料所能承受的不产生永久变形的最大应力,称为弹性极限。当载荷超过 e 点后,试样开始产生塑性变形,当载荷继续增大至 s 点时,虽然不再继续增加载荷,但变形却依然继续,拉伸图上出现一个平台,这种现象称为屈服。此时 s 点所对应的应力值称为屈服强度,用 σ_s 表示。它表示了在外力作用下,材料开始产生明显塑性变形时的应力值(Pa),代表了材料抵抗微量塑性变形的能力。它

可按下式计算:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 F_s ——试样产生屈服现象时所承受的最大外力(N)。

需要指出,大多数金属材料在拉伸时没有明显的屈服现象,按 GB228-87 要求,规定取非比例伸长与原标距长度之比为 0.2% 时的应力,记为 $\sigma_{p0.2}$,作为屈服强度指标,称为条件屈服强度,可用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-3)$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样产生 0.2% 塑性变形时的外力。

2. 抗拉强度

在图 1-1 中,当载荷继续增加至 b 点时,试样横截面出现局部变细的颈缩现象,至 k 点时试样被拉断。 b 点的应力 σ_b 是材料在拉断前所承受的最大应力值(Pa),称为材料的抗拉强度。它可按下式计算:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-4)$$

式中 F_b ——试样拉断前承受的最大外力(N)。

显然,金属材料不能在应力超过 σ_s 的条件下工作,否则,零件会产生塑性变形而失效;金属材料更不能在应力超过 σ_b 的条件下工作,否则会引起零件的破坏。

3. 塑性

通常表示材料塑性的指标是伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。伸长率

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 l ——试样拉断后对接的标距长度(mm);

l_0 ——试样原标距长度(mm)。

断面收缩率

$$\psi = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 S ——试样拉断后缩颈处最小横截面积(mm²)。

δ 和 ψ 值愈大愈好。金属材料具有一定的塑性是进行塑性加工的必要条件。另外良好的塑性可以提高零件工作的可靠性,防止零件突然断裂。

二、硬度

硬度是材料抵抗更硬的物体压入其内的能力。它反映材料表面抵抗外物局部压入的能力,其试验设备简单,操作方便、迅速,不需破坏试件,是一种简单易行的力学性能试验方法。硬度值和抗拉强度等其他力学性能指标之间存在一定关系,故在零件图上,对力学性能的技术要求往往是标注硬度值。生产中也常以硬度作为检验材料性能是否合格的主要依据,并以材料硬度作为制定零件加工工艺的主要参考。

常用的硬度指标有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRC)和维氏硬度(HV)等。硬度的测定方法和适用范围见表 1-2。