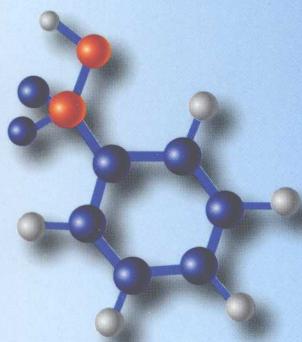




21世纪全国高等院校材料类**创新型**应用人才培养规划教材



MATERIALS

金属材料成形工艺及控制

主 编 孙玉福 张春香
主 审 陈 跃

Materials



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

金属材料成形工艺及控制

主 编 孙玉福 张春香
副主编 卢广玺 李永刚
主 审 陈 跃



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书为 21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材。全书共 12 章，分为三篇，主要内容包括金属液态成形工艺、连接成形工艺和塑性成形工艺，同时介绍了相关工艺过程的控制内容。本书内容丰富，风格新颖，应用性强，且具有一定的理论深度。

本书可作为高等院校材料成形及控制工程专业的本科生教材，也可作为材料科学与工程专业相关课程的教材，还可供相关行业工程技术人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料成形工艺及控制/孙玉福，张春香主编. —北京：北京大学出版社，2010.2

(21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-16125-8

I. 金… II. ①孙…②张… III. 金属材料—成形—工艺—高等学校—教材 IV. TG39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 222835 号

书 名：金属材料成形工艺及控制

著作责任者：孙玉福 张春香 主编

责任编辑：童君鑫

标准书号：ISBN 978-7-301-16125-8/TH·0168

出版者：北京大学出版社

地 址：北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址：<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话：邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱：pup_6@163.com

印刷者：三河市北燕印装有限公司

发 行 者：北京大学出版社

经 销 者：新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25 印张 573 千字

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

定 价：40.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010-62752024

电子邮箱：fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

编审指导与建设委员会

成员名单 (按拼音排序)

白培康 (中北大学)	陈华辉 (中国矿业大学)
崔占全 (燕山大学)	杜彦良 (石家庄铁道学院)
杜振民 (北京科技大学)	耿桂宏 (北方民族大学)
关绍康 (郑州大学)	胡志强 (大连工业大学)
李楠 (武汉科技大学)	梁金生 (河北工业大学)
林志东 (武汉工程大学)	刘爱民 (大连理工大学)
刘开平 (长安大学)	芦笙 (江苏科技大学)
石海芳 (辽宁工程技术大学)	孙凤莲 (哈尔滨理工大学)
孙玉福 (郑州大学)	万发荣 (北京科技大学)
王春青 (哈尔滨工业大学)	王峰 (北京化工大学)
王金淑 (北京工业大学)	卫英慧 (太原理工大学)
伍玉娇 (贵州大学)	夏华 (重庆理工大学)
徐鸿 (华北电力大学)	余心宏 (西北工业大学)
张朝晖 (北京理工大学)	张光胜 (安徽工程科技学院)
张敏刚 (太原科技大学)	张锐 (郑州航空工业管理学院)
张晓燕 (贵州大学)	赵惠忠 (武汉科技大学)
赵莉萍 (内蒙古科技大学)	赵玉涛 (江苏大学)

前 言

随着现代科学技术的迅速发展,各学科间的渗透和交叉越来越多,专业面过窄的情况已不适应社会人才需求的要求。1998年,教育部将高校铸造、焊接和塑性成形加工等专业调整拓宽为材料成形及控制工程专业。然而,到目前为止,相应的本科生教材较少,难以满足新专业的不同需求。在此情况下,由北京大学出版社组织的21世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材编审指导与建设委员会于2008年年底研究制定了材料类专业系列教材的编写计划,编者按照该编写计划的要求,本着“以学生为本”的原则编写了本书,以满足当前材料行业创新型应用人才培养的需要,适应材料行业的发展。

本书依据材料成形及控制工程专业工艺课程的基本教学要求,以金属液态成形、焊接成形和塑性成形为重点,突出工艺过程控制、工艺分析和设计及现代工程应用三大特色,以提高学生综合分析、设计和实际应用能力为目标,在原《铸造工艺学》和《造型材料》、《电弧焊及电渣焊》和《焊接方法》、《锻造工艺学》和《金属挤压与拉拔工艺学》等教材基础上精选内容,并补充了新知识和新工艺。本书将内容界定在金属材料成形范围内,宽而不泛,实用性强,并具有一定的理论深度。

全书共12章,分为三篇:

第一篇为金属液态成形工艺及控制,内容包括造型材料及砂型(芯)制作、金属-铸型的界面作用及铸件缺陷控制、铸造工艺设计和特种铸造工艺。阐述型(芯)砂用原材料的基本性能及其对型(芯)砂性能的影响,型(芯)砂性能及其对铸件质量影响的基本规律,以及不同的造型(芯)工艺及其特点;分析铸件凝固过程中金属-铸型的界面相互作用及其对铸件质量尤其是表面质量的影响;阐述工艺设计的基本原理和方法,主要涉及铸造工艺方案、浇冒口系统及液态成形CAD、CAE的基本原理。最后,简单介绍了几种特种铸造工艺。

第二篇为金属连接成形工艺及控制,内容包括焊接电弧、熔滴过渡及焊缝成形、埋弧焊及电弧控制系统和气体保护电弧焊。阐述焊接电弧物理,包括电弧的导电、产热及电弧力的机理;分析焊丝的加热、熔滴过渡及控制,母材的熔化及焊缝成形控制;介绍埋弧自动焊的工艺及熔化极电弧焊自动调节系统。此外,对钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊、CO₂气体保护焊和等离子弧焊的基本理论及工艺特点也进行了简单介绍。

第三篇为金属塑性成形工艺及控制,内容包括轧制理论与工艺、挤压与拉拔工艺、锻造工艺和冲压工艺。阐述轧制的基本理论,型材、线材、板带材和管材塑性加工工艺;介绍挤压与拉拔的基本理论及工艺;阐述锻造的加热规范,自由锻及模锻工艺,精密模锻及特种锻造技术;介绍冲裁、弯曲、拉深工艺及其他冲压成形,如胀形、翻边和缩口工艺等。

为了应用与创新,各篇结合生产实际列举了许多实例,在写作风格上注重分析与启发。为便于教与学的结合,每章开头提供了“本章教学要点”,每章后附有习题,以加强学生对所学内容的进一步理解和巩固。



本书的前言、绪论、第1章1.1~1.2节和第12章由郑州大学孙玉福编写，第1章1.3~1.5节和第2~4章由郑州大学张春香编写，第5~8章由郑州大学卢广玺编写，第9~11章由郑州大学李永刚编写。全书由孙玉福统稿。

本书在编写过程中，得到了21世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材编审指导与建设委员会、北京大学出版社及编写人员所在工作单位的支持与帮助，在此深表谢意！本书由河南科技大学陈跃教授担任主审，陈跃教授对书稿提出了许多宝贵意见，对此，谨致诚挚的谢意！

本书编写过程中参阅了大量的有关著作、教材和技术资料，谨对这些著作、教材和技术资料的编著者表示衷心的感谢！本书编写过程中还得到了关绍康教授、张锐教授、刘胜新教授和赵红亮教授等人的支持与帮助，在此深表谢意！

本书将在今后的使用过程中不断改进和完善，恳切希望广大教师、学生和其他读者提出宝贵意见。

编 者

2009年10月

目 录

绪论 1

- 0.1 金属材料成型的基本概念及特点 1
- 0.2 材料成型技术的发展 3
- 0.3 本课程的内容及要求 5

第一篇 金属液态成形工艺及控制 7

第 1 章 造型材料及砂型(芯)制作 9

- 1.1 概述 10
- 1.2 湿型砂 11
 - 1.2.1 湿型砂用原材料及质量要求 11
 - 1.2.2 湿型砂性能要求及检测原理 19
 - 1.2.3 湿型砂制备及质量控制 ... 24
- 1.3 水玻璃砂型(芯) 26
 - 1.3.1 钠水玻璃的质量要求及其硬化机理 26
 - 1.3.2 CO_2 -钠水玻璃砂型(芯)的制造工艺 29
 - 1.3.3 自硬钠水玻璃砂 31
- 1.4 有机化学粘结剂砂型(芯) 32
 - 1.4.1 壳芯(型) 32
 - 1.4.2 自硬冷芯盒法砂型(芯) ... 35
 - 1.4.3 气硬冷芯盒法砂型(芯) ... 37
- 1.5 铸造用涂料及分型剂 40
 - 1.5.1 铸造用涂料 40
 - 1.5.2 分型(脱模)剂 43
- 小结 44
- 习题 45

第 2 章 金属-铸型的界面作用及铸件缺陷控制 46

- 2.1 铸型中的传热与传质现象 47

- 2.1.1 砂型的结构特点 47
- 2.1.2 砂型的传热及其热物理性能 48
- 2.1.3 砂型的受热过程 49
- 2.1.4 传质现象和砂型表层的水分迁移 50
- 2.2 膨胀缺陷 53
 - 2.2.1 夹砂结疤和鼠尾 53
 - 2.2.2 毛刺 56
- 2.3 粘砂现象 57
 - 2.3.1 机械粘砂(渗透粘砂) 57
 - 2.3.2 化学粘砂(烧结粘砂) 59
- 2.4 气体和侵入性气孔 62
 - 2.4.1 铸型中的气体 62
 - 2.4.2 侵入性气孔的形成 62
 - 2.4.3 防止侵入性气孔的措施 ... 63
- 2.5 砂眼及型壁移动 64
 - 2.5.1 砂眼的形成及防止措施 ... 64
 - 2.5.2 型壁移动的形成及防止措施 64
- 2.6 铸件表面合金化 65
 - 2.6.1 铸件表面合金化的获取方法 65
 - 2.6.2 铸件表面合金化工艺 66
- 小结 66
- 习题 67

第 3 章 铸造工艺设计 68

- 3.1 概述 69
 - 3.1.1 铸造工艺设计概念 69
 - 3.1.2 设计依据 69
 - 3.1.3 设计内容和程序 70
- 3.2 铸造工艺方案设计 70
 - 3.2.1 零件结构的铸造工艺性分析 70



3.2.2 铸件浇注位置的确定	75	4.2.2 压力铸造的特点及 应用	122
3.2.3 铸件分型面的选择	76	4.3 离心铸造	123
3.2.4 砂芯设计	79	4.3.1 离心铸造的基本类型	123
3.3 浇注系统设计	81	4.3.2 离心铸造的特点及 适用范围	124
3.3.1 浇注系统的基本类型及 选择	82	4.4 熔模铸造	124
3.3.2 浇注系统各组元中金属液的 流动特性及组元设计	86	4.4.1 熔模铸造的基本工艺 过程	124
3.3.3 浇注系统的设计与计算 ...	89	4.4.2 熔模铸造的特点和 适用范围	126
3.4 冒口设计	91	4.5 消失模铸造	126
3.4.1 冒口的作用、种类和 位置	91	4.5.1 消失模铸造的主要工艺 过程	127
3.4.2 冒口的补缩原理	95	4.5.2 消失模铸造分类	127
3.4.3 铸钢件冒口设计与计算 ...	97	4.5.3 消失模铸造特点及适用 范围	127
3.4.4 铸铁件实用冒口的 设计	102	小结	128
3.4.5 提高通用冒口补缩效率的 措施和特种冒口	106	习题	128
3.5 铸造工艺图绘制	108	第二篇 金属连接成形工艺及控制 ...	129
3.5.1 铸造工艺图绘制的一般 程序	108	第 5 章 焊接电弧	131
3.5.2 铸造工艺符号及其表示 方法	109	5.1 焊接电弧的导电机理	132
3.5.3 设计说明书及铸造 工艺卡	112	5.1.1 焊接电弧的导电特点	132
3.6 CAD/CAE/CAM 技术在液态成形 工艺中的应用	112	5.1.2 焊接电弧的构成及其 导电特性	136
3.6.1 液态成形工艺 CAD	113	5.1.3 焊接电弧的静特性	139
3.6.2 液态成形 CAE	114	5.1.4 交流电弧的特点	140
3.6.3 液态成形 CAM	115	5.2 焊接电弧的产热	141
小结	116	5.2.1 焊接电弧的产热机理	141
习题	116	5.2.2 电弧的能量密度和温度 分布	142
第 4 章 特种铸造工艺	117	5.3 电弧力及影响因素	144
4.1 金属型铸造	119	5.3.1 电弧的主要作用力	144
4.1.1 金属型铸造的特点	119	5.3.2 电弧力的影响因素	145
4.1.2 金属型铸造工艺	119	5.3.3 磁场对电弧的作用	146
4.1.3 金属型的材料及结构	120	小结	150
4.2 压力铸造	121	习题	151
4.2.1 压铸机工作原理	121		

第 6 章 熔滴过渡及焊缝成形	152	8.1.4 钨极氩弧焊工艺	206
6.1 焊丝的熔化及熔滴过渡	153	8.1.5 脉冲钨极氩弧焊	207
6.1.1 焊丝的加热和熔化特性	153	8.2 熔化极氩弧焊	209
6.1.2 熔滴上的作用力	156	8.2.1 熔化极氩弧焊的特点	209
6.1.3 熔滴过渡的主要形式	157	8.2.2 亚射流过渡和电弧固有自调节作用	210
6.1.4 熔滴过渡的控制	162	8.2.3 熔化极脉冲氩弧焊	211
6.2 母材熔化及焊缝成形	166	8.2.4 混合气体的应用	213
6.2.1 熔池和焊缝的形状尺寸	166	8.2.5 熔化极氩弧焊设备	214
6.2.2 焊接条件对焊缝成形的影响	167	8.2.6 熔化极氩弧焊工艺	217
6.2.3 焊缝成形的控制	171	8.3 CO ₂ 气体保护焊	218
小结	173	8.3.1 CO ₂ 气体保护焊的特点	218
习题	174	8.3.2 CO ₂ 气体	219
第 7 章 埋弧焊及电弧控制系统	175	8.3.3 CO ₂ 气体保护焊的冶金特性	220
7.1 埋弧焊	177	8.3.4 CO ₂ 气体保护焊规范参数选择	222
7.1.1 埋弧焊的特点	177	8.3.5 减少金属飞溅的措施	224
7.1.2 埋弧焊的冶金特点	178	8.3.6 CO ₂ 气体保护焊焊接设备	226
7.1.3 埋弧焊设备	181	8.4 等离子弧焊	228
7.1.4 埋弧焊工艺	185	8.4.1 等离子弧的形成	228
7.2 熔化极电弧焊自动调节系统	189	8.4.2 等离子弧的特性	228
7.2.1 电弧焊自动调节基本原理	189	8.4.3 双弧现象及其防止	229
7.2.2 电弧焊自身调节系统	190	8.4.4 等离子弧焊接	230
7.2.3 电弧电压反馈调节系统	192	8.4.5 等离子弧焊接设备	232
7.2.4 电弧焊的程序自动控制	195	小结	233
小结	196	习题	234
习题	197	第三篇 金属塑性成形工艺及控制 ...	235
第 8 章 气体保护电弧焊	198	第 9 章 轧制理论与工艺	237
8.1 钨极氩弧焊	199	9.1 轧制基本理论	238
8.1.1 钨极氩弧焊的特点	199	9.1.1 轧制过程基本概念	238
8.1.2 钨极氩弧焊焊枪及电极	200	9.1.2 轧制过程中金属的变形规律	241
8.1.3 电流的种类和极性	202	9.1.3 轧制压力的计算	247
		9.1.4 轧制力矩的计算	254
		9.1.5 轧机的弹跳方程与板带的厚度控制	255



9.1.6 板型控制技术	261	11.1.1 锻前加热	324
9.2 型材及线材生产工艺	265	11.1.2 加热时的缺陷	325
9.2.1 型材生产	265	11.1.3 锻造温度范围的确定 ...	326
9.2.2 线材生产	268	11.1.4 金属坯料的加热规范 ...	327
9.3 板带材生产	270	11.2 自由锻工艺	328
9.3.1 热轧板带生产技术	270	11.2.1 自由锻工艺特点及 工序	328
9.3.2 冷轧板带钢生产	275	11.2.2 锻粗工序	329
9.4 管材生产工艺	278	11.2.3 拔长工序	332
9.4.1 热轧无缝管材生产	278	11.2.4 自由锻其他工序	336
9.4.2 焊管生产工艺	283	11.2.5 大型铸件自由锻及 胎模锻造	339
小结	284	11.3 模锻工艺	340
习题	285	11.3.1 模锻工艺概述	340
第 10 章 挤压与拉拔工艺	287	11.3.2 开式模锻	342
10.1 金属挤压基本概念及理论	288	11.3.3 闭式模锻	345
10.1.1 挤压的基本方法	288	11.4 其他锻造技术	346
10.1.2 挤压工艺的特点	296	11.4.1 精密模锻	346
10.1.3 挤压时金属的流动	296	11.4.2 冷锻技术	348
10.1.4 挤压制品的组织与 性能特征	300	11.4.3 特种锻造技术	349
10.1.5 挤压力的计算与测定 ...	302	小结	353
10.2 挤压设备及工具	303	习题	354
10.2.1 挤压设备	303	第 12 章 冲压工艺	355
10.2.2 挤压工具	304	12.1 冲裁工艺	356
10.3 金属挤压工艺	308	12.1.1 冲裁的概念及变形 过程	356
10.3.1 管棒型材挤压工艺 概述	308	12.1.2 冲裁模的间隙	359
10.3.2 锭坯尺寸的选择	308	12.1.3 冲裁力	361
10.3.3 挤压温度与速度的 选择	309	12.2 弯曲工艺	361
10.3.4 挤压润滑	311	12.2.1 弯曲的概念及板料 弯曲过程	361
10.4 拉拔理论及工艺	312	12.2.2 弯曲回弹	363
10.4.1 拉拔的基本理论	312	12.3 拉深工艺	366
10.4.2 拉拔力的影响因素	317	12.3.1 拉深的概念及板料拉深 变形过程	366
10.4.3 拉拔工艺	318	12.3.2 圆筒形拉深的工艺性 设计	369
小结	321	12.4 其他冲压成形工艺	371
习题	322	12.4.1 胀形	371
第 11 章 锻造工艺	323		
11.1 锻造的加热规范	324		

12.4.2 翻边	372	12.5.2 板料成形性能模拟	
12.4.3 缩口	373	试验	377
12.4.4 旋压	374	小结	380
12.5 板料冲压成形性能参数及		习题	381
试验方法	375	参考文献	383
12.5.1 板料冲压性能指标	375		

绪 论

0.1 金属材料成型的基本概念及特点

金属材料与人们的日常生活息息相关，是现代文明各个领域不可缺少的物质基础。但任何材料在使用前都要经过加工成形，使其具有一定的形状、轮廓和尺寸，并成为具备一定使用性能的零件、部件及构件，再以特定方式组合、装配而构成各种装置、设备、仪器、设施、器件或用具，从而服务于各行各业。

金属材料成型一般包括液态成型、连接成型及塑性成型。

1. 液态成型工艺的基本概念及特点

液态成型工艺(铸造)是指将液态金属浇入铸型中，凝固后获得具有一定形状和性能铸件(产品)的成形方法。绝大多数铸件用做毛坯，需要经机加工后才能成为各种机器零件；少数铸件当达到使用的尺寸精度和表面粗糙度要求时，可作为成品或零件而直接使用。

液态成型工艺具有以下特点：

(1) 结构及尺寸适用范围广。铸造成形工艺几乎不受零件大小、壁厚和复杂程度的限制，可以铸造壁厚范围为 0.3mm~1m，长度从几个毫米到十几米，质量从几克到 500 多吨的各种铸件。用其他方法难以成形的形状和结构复杂零件(如各类箱体、叶轮、泵体等)，几乎只能用铸造成形工艺来制造。

(2) 合金的种类适应性强。用铸造成形工艺可以生产铸钢件、铸铁件、各种铝合金、铜合金、镁合金、锌合金及钛合金等铸件。特别是对于无法用焊接和塑性加工成形的金属或合金，可采用铸造成形。如在铸件中所占比例最大的铸铁件，铸造是唯一可行的成形方法。

(3) 尺寸精度高。一般比锻件、焊接件尺寸精确，且近年来，随着铸造成形技术的快速发展和新的铸造成形工艺的出现，铸件的尺寸精度和表面质量进一步提高，节约了大量的金属材料，减少了机械加工工时。

(4) 成本低廉。铸造容易实现大批量机械化生产，并且可大量利用废、旧金属材料，可生产结构复杂、尺寸较准确的金属结构件，生产成本较低。

但是铸件也存在一些缺点，成形过程中涉及的工序较多，控制难度较大，废品率较高。由于没有经过固态下的压力加工，铸件的内部组织均匀性、致密性较低，其力学性能低于锻件。

2. 连接成型工艺的基本概念及特点

材料的连接成型是现代制造业中十分重要的制造金属零部件的手段，它是通过机械、



物理、化学和冶金方式,由简单零件或型材连接成复杂零件和机械部件的工艺过程。按接头的形成机理分类,可把连接成形工艺分为机械连接成形、物理和化学连接成形、冶金连接(焊接)成形等。

焊接是指通过适当的物理化学过程使两个分离的固态物体产生原子(分子)间结合力而连接成一体的连接方法。被连接的两个物体(构件、零件)可以是各种同类或不同类的金属、非金属(石墨、陶瓷、玻璃、塑料等),也可以是一种金属与一种非金属。迄今为止,焊接的主要对象是金属材料。

焊接成形工艺具有以下特点:

(1) 连接质量高。焊接连接是一种金属原子间的连接,刚度大,整体性好,在外力作用下不像机械连接那样因间隙变化而产生较大的变形。同时,焊接连接容易保证产品的气密性与水密性。

(2) 适用范围广。焊接工艺适用于各种金属构件间的连接,特别适用于几何尺寸大而材料较分散的制品,如船壳、桁架等;大型、复杂的结构常分解为许多小零件或部分分别加工,然后通过焊接连成整体,从而扩大了工作面,简化了结构的加工工艺,缩短了加工周期。

(3) 材料适用性强。焊接不仅可以方便地将各种不同形状与厚度的相同材料连接起来,也可实现不同材料间的连接成形。

(4) 工艺简单,成本较低。焊接结构中各零件间可直接用焊接连接,不需要特殊的模具和附加的连接件,工艺较简单;同时焊接接头的强度一般可与母材相等,接头质量好,产品质量轻;焊接设备简单,生产成本较低。

但焊接结构是不可拆卸的,更换修理部分零件不方便;另外焊接易产生残余应力,焊缝易产生裂纹、夹渣、气孔等缺陷而引起应力集中,从而降低结构的承载能力,缩短其使用寿命,甚至造成脆断。

3. 塑性成形工艺的基本概念及特点

塑性加工是指在外力的作用下,金属材料产生塑性变形,获得所需的制品形状、尺寸和微观组织及材料性能的一种金属加工工艺。基本的塑性加工方法有锻造、轧制、挤压、拉拔、拉深、弯曲及剪切等。其中锻造、轧制和挤压是依靠压力作用使金属发生塑性变形;拉拔和拉深是依靠拉力作用使金属发生塑性变形;弯曲是依靠弯矩作用使金属发生弯曲变形;剪切是依靠剪切力作用使金属发生剪切或剪断。

塑性加工既是材料制备的主要手段,又是装备制造的重要环节,前者如轧制及挤压可生产板材、管材、棒材和型材,后者如锻造与冲压可生产各种锻件和冲压件。

塑性成形工艺具有以下特点:

(1) 金属利用率高。金属型材塑性加工是在金属整体性得到保证的前提下,依靠塑性变形使物质发生转移来实现工件形状和尺寸的变化,因而材料的利用率很高。

(2) 力学性能好。在塑性加工过程中,除尺寸和形状发生改变外,金属的组织、性能也能得到改善和提高,尤其对于铸造坯料,经过塑性加工将使其结构致密、粗晶破碎细化和均匀,从而使其性能提高。此外,塑性流动所产生的流线也能使其性能得到改善。

(3) 生产效率高。金属型材塑性加工过程便于实现生产过程的连续化、自动化,适于大批量生产,因而劳动生产率高。

(4) 尺寸精度和表面质量较高。金属型材塑性加工和近年来发展较快的热精锻、冷锻

及温锻等精密塑性成形技术,可以生产尺寸精度和表面质量较高的型材及金属零件。

但是塑性加工也存在一些不足,成形加工时需要很大的成形力,能耗较高,且设备庞大结构复杂,一次投入费用高。

0.2 材料成形技术的发展

1. 液态成形工艺的发展

溯源古老的制造技术,我国是世界上最早的发源地之一。在各种制造工艺之中,我国劳动人民创造了具有很高技术价值和民族色彩的铸造技术。

河北省唐山市出土的早期铜器中,有锻打成形的,也有熔铸成形的。近年考古发掘的成果表明,我国夏代就能熔铸青铜。最初的铸型是使用石范,但因石料不易加工,又不耐高温,所以,很快就想到用泥土做成泥范。这个改进变成了历史性的大跳跃,以至在长达3000多年时间内,人们都没有在它上面跨越一步。在近代机器制造业兴起采用砂型铸造以前,泥范一直是最主要的铸造方法。到了唐宋时期,泥范技术日臻完善。通过一些巨大的铸件,不难看出我国古代所拥有的高超铸造技艺。沧州五代铁狮、当阳北宋铁塔,它们至今仍闪烁着民族智慧的光芒。现存于北京大钟寺内的明朝永乐大钟,铸于明永乐十八年(418—1422)前后,全高6.75m,钟口外径3.3m,钟唇厚0.185m,重46.5t,据考证钟体铸型为泥范,芯分七段先铸成钟钮,然后再使钟钮与钟体铸接成一体,钟体的内外铸满经文,共约22700余字。大钟至今完好,声音幽雅悦耳,是世界上罕见的古钟之一。

泥范技术中的泥范,虽容易制取,但它在很长时间内,却停留在一次性使用的水平上。显然,精心制造的“泥范”只能使用一次是很可惜的。1953年,在河北省兴隆县发现了战国时期的铁范,这说明我国早在公元前400多年就已经发明和掌握了金属范技术。由于金属范使用寿命较长,这一技术在我国古代农具铸造中发挥了重大作用。铁范曾成功地利用在军事上,特别是在第一次鸦片战争时期,监制军械的龚振麟,为了赶铸炮位,打击侵略者,曾独创性地用铁范铸炮并获得成功。

金属范虽可以重复使用,但不适用铸造小巧玲珑的东西。对此,我国古代人民还发明了熔模铸造,传统的熔模铸造一般称为失蜡、出蜡或捏蜡、拔蜡铸造,它虽然在所用蜡料、制模、造型材料、工艺方法等方面都与现代熔模铸造有别,但现代熔模铸造却与它胎生于一个原理之中。

以上这些都向世人展现了我国古代铸造工艺的水平和高超技艺,表明我国古代铸造技术居世界先进行列。

新中国成立60年以来,我国铸造业发展迅猛。近几年来,我国铸件产量已达2000万t/年以上,能为航空、航天、航海、交通、制造、冶金、化工等行业提供各种铸件。例如,我国已铸出重260t的大型铸铁钢锭模,还铸出 30×10^4 kW水轮机转子等复杂、尺寸要求很严的铸件,特别是2008年,中信重机洛阳重型铸锻厂生产了约520t的18500t压力机铸钢机架,其尺寸精度和质量达到了发达国家的水平。这些均标志着我国铸造技术水平已接近国际先进水平。近年来,我国的铸件已大量进入国际市场,专业铸造研究所和大学的科研工作也在蓬勃发展,如大型铸件铸造工艺的计算机辅助设计,采用计算机模拟大型



铸件的充型过程和凝固过程,可在铸件生产之前判断铸造缺陷(如缩孔、缩松等)是否产生以及产生的部位,从而及时调整工艺方案,对新产品试制特别是大型铸件的单件生产确保一次成功提供了技术保证。

在液态成形技术的发展过程中,出现了多种铸造方法,但基本上可分为砂型铸造和特种铸造两大类。金属液在重力作用下充满砂型而获得铸件的方法称为砂型铸造。有别于砂型铸造的其他铸造方法统称为特种铸造,如熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造、真空实型铸造及V法铸造等。特种铸造与砂型铸造相比,进一步提高了铸件的力学性能、尺寸精度和表面质量等,并且易于实现机械化和自动化。

2. 连接成形工艺的发展

焊接是一门新兴而又古老的技术,早在公元3000年前我国古代已有铜-金、铅-锡焊接的应用,举世瞩目的秦始皇墓中出土的铜车马构件上就有锻焊和钎焊焊缝。明代科学著作《天工开物》中也有关于锻焊的记载。但是,目前工业生产中广泛应用的焊接方法几乎都是19世纪末、20世纪初的现代科学技术,是冶金学、金属学、力学、电工、电子学等迅速发展的产物。现代焊接方法的发展是以电弧焊和压力焊为起点的。电弧作为一种气体导电的物理现象,是在19世纪初被发现的,但直到19世纪末电力生产得到发展以后,人们才有条件研究它的实际应用。1885年俄国人别那尔道斯发明碳极电弧可以看作是电弧作为工业热源应用的创始。而电弧焊真正应用于工业,则是在1892年发现金属电弧后,特别是1930年前后出现了薄皮和厚皮焊条以后才逐渐开始的。电阻焊是1886年由美国人发明的,它的大规模工业应用也几乎跟电弧焊同时代。1930年以前,焊接在机器制造业中的作用还是很微不足道的。当时造船、锅炉、飞机等制造业基本上还是用铆接方法。这种铆接方法不仅生产效率低,而且连接质量也不能满足船体、飞机等产品的发展要求。因此,从1930年以后,电弧焊和电阻焊就逐渐取代铆接,成为机器制造业中的基本加工工艺之一。

20世纪现代焊接的发展十分迅速,继几种主要的电弧焊技术出现后,50年代出现电渣焊、电子束焊;60年代出现等离子弧焊和激光焊;70年代出现脉冲焊和窄间隙焊接;80年代开始太空焊接。到90年代已经有电弧焊18种、硬钎焊11种、固态焊接9种、软钎焊8种、电阻焊9种、气焊4种、其他焊10种、热喷涂3种、氧切割9种、电弧切割7种、其他切割6种以及扩散焊1种。近年来,出现的表面张力过渡焊、搅拌摩擦焊、激光和电弧复合加热焊等显示了新的焊接技术仍在不断发展之中。微电子工业对微细连接工艺和设备的需求,陶瓷材料和复合材料对真空钎焊、真空扩散焊、喷涂等工艺和设备的需求,使它们获得了更强的生命力,走上了一个新台阶。同时,材料科学、信息科学、电力电子等高新技术的应用,也极大地促进了现代焊接技术的发展。

焊接工艺的发展趋势体现在以下几个方面:

(1) 不断提高焊接生产率。提高焊接生产率的主要途径是提高焊接熔敷速率,另一个途径是减小坡口断面及降低所需熔敷金属量,近年来最突出的成就是窄间隙焊接。重视改善焊前准备工序的机械化和自动化水平,逐步实现焊接过程的自动化和智能化。

(2) 研究和开发新热源。焊接热源的发展可概括为两方面:一方面是对现有的热源进行改善,使之更为有效方便、经济适用,如激光束和电子束焊接;另一方面则是开发更有效的热源。另外,也可采用两种热源叠加,以求获得更强的能量密度,如在等离子束中加激光、在电弧中加激光等。

(3) 应用绿色节能技术。在电阻点焊中,利用电子技术的发展,将交流点焊改变为次级整流点焊,可以大大提高焊机的功率因数,减少焊机容量(由 1000kVA 降至 200kVA)。逆变式焊机不仅有电能转换效率高的节能特点,而且可以显著降低自身体积和质量,节省原材料,具有良好的焊接工艺控制性能。

3. 塑性成形工艺的发展

金属塑性加工方法在我国的应用,可以上溯到 4000 年前,它是伴随着制陶、冶炼、铸造发展起来的。古代中国创造了多种工艺方法,结合固体冶金制造钢铁,对一系列的金属及合金进行了加工。采用的工艺方法以锻为主,包括冷锻和热锻。此外,还采用了箔材多层迭后锤锻、丝材拉拔、板成形及冲压等技术。山东沙滕县宏道院出土汉画像石(公元前 206 年)和西夏敦煌榆林窟壁画,生动地再现了古代热锻的场景。在福建泉州湾打捞起一具古代主锚,它由熟铁制造,热锻后又经退火,晶粒尺寸均匀,硬度为 115HB,强度为 435MPa。我国著名的四川省泸定县泸定桥,桥长为 106m,宽为 218m,由 9 条铁索组成,是在清前期(1706 年)制成的。除热锻技术,冷锻、箔材制造、板成形、旋压、拉拔、模压、冷弯技术也得到应用,有的达到较高的技艺水平。

总之,我国古代塑性加工技术理论上对退火、冷加工硬化、锻的本质都有极为深刻的认识。许多传统的塑性加工工艺所以能流传至今,正是由于其蕴含有极高的工艺合理性,甚至有些工艺技术是现代技术都不及的,如捶金箔、打锡箔、铁画等。

自 20 世纪 90 年代以来,高新技术的发展正全面促进传统成形技术的改造及先进塑性成形技术的形成和发展。精密塑性成形技术是先进制造技术的重要组成部分,也是汽车工业、工程机械行业中应用广泛的制造工艺方法。它可以生产更接近最终形状(净形的)金属零件,如热精锻、冷锻和温锻即是这几年来应用发展很快的精密塑性成形技术,它们不仅节约材料、能源、减少加工工序和设备,而且显著提高了生产率 and 产品质量,降低了生产成本,从而提高了产品的市场竞争能力。数值模拟技术是塑性加工技术从经验走向科学化的重大转折,已经开始进入实用阶段。同时人工智能和智能化控制技术也将协同发展,并从简单形状零件成形发展到覆盖件等复杂形状零件成形,从而真正进入实用阶段。

21 世纪的塑性加工业将以新材料、新能源、计算机、信息、电子、控制技术等为依托,以更快的速度持续发展,发展的方向将更加突出“精、省、净”的需求。塑性成形技术将具有更大的柔性或灵活性,以适应未来多样化及产品个性化的市场需求发展趋势,加强企业对市场变化的快速响应能力。

0.3 本课程的内容及要求

“金属材料成形工艺及控制”是材料成形及控制工程专业的主要课程之一,它主要研究金属材料的成形工艺及成形过程中的规律。

本书在液态成形工艺部分主要介绍型(芯)砂用原材料的基本性能及其对型(芯)砂性能的影响,型(芯)砂性能及其对铸件质量影响的基本规律,以及不同的造型(芯)工艺及其特点;分析铸件凝固过程中金属-铸型的界面相互作用及其对铸件质量尤其是表面质量的影响;阐述工艺设计的基本原理和方法,主要涉及铸造工艺方案、浇冒口系统及液态成形



CAD、CAE 的基本原理，最后介绍几种特种铸造工艺。在学完本课程之后，应进行铸造工艺课程设计，并结合相应的 CAE 软件使用，使读者从选择造型材料及其工艺、分析铸件可能出现的缺陷直至设计合理的铸造工艺等方面经过实际的训练，在巩固理论知识的同时培养读者独立工作的能力。

本书在连接成形工艺部分主要介绍电弧焊基础，熔滴过渡及焊缝成形，埋弧焊及电弧控制系统，气体保护电弧焊。阐述焊接电弧物理，包括电弧的导电、产热及电弧力的机理；分析焊丝的加热、熔滴过渡及控制，母材的熔化及焊缝成形控制；介绍埋弧自动焊的工艺及熔化极电弧焊自动调节系统。此外，对钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊、CO₂ 气体保护焊、等离子弧焊的基本理论及工艺特点也进行了简单介绍。

本书在塑性成形工艺部分主要介绍轧制理论与工艺、挤压与拉拔工艺、锻造工艺、冲压工艺等四大部分，内容基本涵盖了当前塑性加工的主要手段、方法以及相关的基本理论和工艺过程。塑性加工的工艺方法及产品品种繁多，建议读者在学习本书的基础上阅读一些相关书籍，以丰富和巩固所学知识。