



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料成形设备 及自动化

上海交通大学 王 敏 主编

西安交通大学 方 亮 赵升吨

华南理工大学 文生平

副主编



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料成形设备及自动化

Cailiao Chengxing Shebei ji Zidonghua

上海交通大学 王 敏

主 编

西安交通大学 方 亮 赵升吨

副主编

华南理工大学 文生平



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是教育部高等学校机械学科教学指导委员会材料成形及控制工程专业教学指导分委员会和高等教育出版社合作立项建设的“材料成形及控制工程专业系列教材”之一。

全书分为四篇(共 25 章),着重介绍材料成形工艺中涉及的四大类设备,即金属液态成形设备、金属塑性成形设备、金属焊接成形设备及塑料成形设备。在各大类中,以典型的材料成形工艺为主线,介绍各种设备及其相应的自动控制技术的应用。

本书可作为普通高等学校材料成形及控制工程专业以及相关专业本科生教材,也可以供研究生或有关工程技术人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形设备及自动化/王敏主编. —北京:高等教育出版社, 2010. 7

ISBN 978 - 7 - 04 - 029571 - 9

I. ①材… II. ①王… III. ①工程材料 - 成形 - 自动控制设备 - 高等学校 - 教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 109481 号

策划编辑	庚欣	责任编辑	庚欣	封面设计	张志奇
版式设计	范晓红	责任校对	刘莉	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 100120

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 40.25
字 数 990 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 7 月第 1 版
印 次 2010 年 7 月第 1 次印刷
定 价 58.00 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 29571 - 00

序

1998年,教育部进行了高等院校学科专业调整,原铸造、锻压、焊接、热处理四个专业合并为“材料成形及控制工程”专业(有的学校将焊接专业列为目录外专业)。由于各院校原有的专业基础、专业定位、办学历史及办学水平存在较大差异,因此在新专业的培养计划安排上也不尽相同。

在2002年度材料成形及控制工程专业教学指导分委员会工作会议上,委员们认真分析了我国各类院校中的材料成形及控制工程专业的情况,参考了几十所院校的专业现状,经综合分析,归纳出比较典型的三类培养计划,即“机械工程及自动化专业(计划一)”、“材料成形及控制工程专业——分专业方向培养计划(计划二)”、“材料成形及控制工程专业——不分专业方向培养计划(计划三)”。

针对新专业特点,各校在教材建设方面进行了一定的研究和摸索。普通高等教育“十五”国家级规划教材建设期间编写了几本教材,填补了一定的空白。但这些教材还不能完全适应专业发展现状,仍有部分院校只能使用专业目录调整前的老教材,而且要几本教材同时使用。专业教材建设仍需进一步研究和探索。为此,高等教育出版社于2004年12月成立了材料成形及控制工程专业系列教材编委会,研究编写适用于该专业发展的新教材。经编委会深入讨论和研究,第一期产生7个选题,并于2005年6月落实教材编写大纲,进入编写阶段。该系列教材现已列入“十一五”国家级教材规划。新教材不同于专业目录调整前的“小方向”教材,主要针对培养计划二类专业,兼顾培养计划三类专业。在教材编写中,对目前使用的各类教材进行了研究,同时补充了近年出现的新理论、新知识,充分反映了学科的最新进展及作者的教学体会。

本套教材是“十五”国家级规划教材的补充和完善,还可作为不分专业方向授课院校毕业生的后续教育教材。

专业目录调整十年来,作为教学改革重要内容的教材建设取得了很大进展。随着教学改革的不断深入,适合整合后材料成形及控制工程专业的新教材体系将进一步完善,精品教材将不断出现。

李春峰

2007年10月

前 言

材料成形技术既是现代制造业的关键技术之一，也是材料科学与工程的四要素之一，对国民经济的发展及国防建设的增强均有重要作用。

本书是教育部高等学校机械学科教学指导委员会材料成形及控制工程专业教学指导分委员会和高等教育出版社合作立项建设的“材料成形及控制工程专业系列教材”之一，并被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书根据《教育部关于“十一五”期间普通高等教育教材建设与改革意见》的精神，参照“材料成形及控制工程专业规范”的基本要求，结合现代材料成形技术和设备的特点及发展趋势，为培养适应 21 世纪需要的材料科学与工程领域的高等制造工程技术人才而编写的。

本书区别于其他同类教材的最明显特点为：

1. 知识全。涉及金属材料成形的三种传统工艺对应的设备，并增加了近年来发展较快的高分子材料成形设备。

2. 内容新。对一些新型的材料成形设备及相应的自动控制技术进行重点介绍，并引入一些实例。

3. 系统性强。与材料成形原理及工艺紧密结合，注重知识的系统性。

本书分为四篇(共 25 章)，第一篇(第 1~6 章)主要介绍金属液态成形设备及自动化；第二篇(第 7~13 章)主要介绍金属塑性成形设备及自动化；第三篇(第 14~19 章)主要介绍金属焊接成形设备及自动化；第四篇(第 20~25 章)主要介绍塑料成形设备及自动化。

参加本书编写工作的人员有：上海交通大学王敏(绪论、第 14、16 章及全书统稿)，华学明(第 15 章)，姚舜、黄坚(第 17 章)，林涛(第 19 章)；西安交通大学方亮(第 1~6 章)，赵升吨(第 7~13 章)；华南理工大学文生平(第 20~23 章)，彭响方(第 24、25 章)；哈尔滨工业大学张丽霞(第 18 章)。本书由王敏任主编，方亮、赵升吨、文生平任副主编。

本书由哈尔滨工业大学李春峰主审，负责分篇审阅的有西北工业大学李金山(第一篇)、哈尔滨工业大学李春峰(第二篇)、吉林大学赵熹华(第三篇)、华南理工大学周南桥(第四篇)，在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，教材中难免存在疏漏和不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

2010 年 2 月

目 录

绪论	1	0.3 本课程的内容及教学要求	6
0.1 材料成形设备分类及特点	1	参考文献	7
0.2 材料成形设备发展趋势	3		

第一篇 金属液态成形设备及自动化

第1章 概论	11	2.3 料位检测及炉后控制	30
1.1 液态成形设备与工艺关系	11	2.3.1 炉气差压式料位器	30
1.1.1 砂型铸造工艺及设备	11	2.3.2 机械式料位器	31
1.1.2 离心铸造工艺及设备	12	2.3.3 穿透式料位器	31
1.1.3 连续铸造工艺及设备	12	2.4 浇注机械	32
1.1.4 压力铸造工艺及设备	13	2.4.1 倾转式浇注机	32
1.1.5 低压铸造工艺及设备	13	2.4.2 气压式浇注机	32
1.1.6 喷射成形工艺及设备	13	2.4.3 底注式浇注机	33
1.1.7 真空实型铸造工艺及设备	13	2.4.4 电磁式浇注机	35
1.2 液态成形设备的分类	14	2.4.5 浇注过程机械控制的关键问题	36
1.2.1 型砂芯砂混制设备	15	思考题	37
1.2.2 造型设备	15	第3章 砂处理设备及控制	38
1.2.3 熔炼浇注设备	15	3.1 混砂机	38
1.2.4 落砂清理设备	15	3.1.1 碾轮式混砂机	39
1.3 液态成形设备的发展趋势	15	3.1.2 转子式混砂机	40
1.3.1 造型设备	16	3.1.3 摆轮式混砂机	41
1.3.2 砂处理设备	17	3.1.4 连续式混砂机	41
1.3.3 清理设备	17	3.2 松砂机	43
思考题	18	3.2.1 梳式松砂机	45
第2章 熔炼设备及控制	19	3.2.2 双轮式松砂机	45
2.1 配料设备	19	3.3 筛砂机	45
2.1.1 金属炉料称量设备	19	3.3.1 滚筒破碎筛砂机	46
2.1.2 非金属炉料称量设备	22	3.3.2 振动筛砂机	46
2.2 加料设备	27	3.3.3 振动电机筛	47
2.2.1 单轨式加料机	27	3.4 辅助装置	49
2.2.2 爬式加料机	27	3.4.1 料斗	49

3.4.2 料斗闸门	49	5.1.2 滚筒落砂机	89
3.4.3 给料器	49	5.2 清理设备	89
3.5 定量器	51	5.2.1 抛丸器	89
3.5.1 栅格式定量器	51	5.2.2 抛丸清理设备	92
3.5.2 杠杆式称量斗	52	5.2.3 喷丸清理设备	95
3.5.3 电子称量斗	53	5.2.4 清理滚筒	98
思考题	53	思考题	98
第4章 造型设备及控制	54	第6章 现代液态成形设备及控制	99
4.1 震击及震压造型机	54	6.1 离心浇注机	99
4.1.1 震压机构	57	6.1.1 立式离心铸造机	100
4.1.2 压头	58	6.1.2 卧式离心铸造机	100
4.1.3 起模机构	60	6.2 连铸机	102
4.2 气动微震压实造型机	60	6.2.1 浇注设备	102
4.3 射芯机及壳芯机	63	6.2.2 结晶器及振动装置	104
4.3.1 Z8612B 热芯盒射芯机	63	6.2.3 二次冷却装置	106
4.3.2 K87 壳芯机	65	6.2.4 拉坯矫直机	106
4.4 垂直分型无箱射压造型机	69	6.3 压铸机	108
4.5 高压造型机	74	6.3.1 热室压铸机	108
4.5.1 多触头高压造型机的结构	74	6.3.2 冷室压铸机	109
4.5.2 高压造型机高压压实机构	75	6.3.3 压铸机的基本结构	110
4.5.3 高压造型机多触头压头机构	77	6.4 低压铸造设备	113
4.5.4 高压造型机加砂机构	78	6.5 喷射成形设备	117
4.5.5 高压造型机模板更换装置	80	6.6 真空实型铸造设备	119
4.6 气冲造型机	81	6.7 快速成形设备	123
4.6.1 气冲紧实机理	82	6.7.1 紫外激光器	125
4.6.2 气冲造型紧实度分布及其他 工艺特性	82	6.7.2 激光束扫描装置	125
4.6.3 气冲造型中影响紧实度分布 的因素	83	6.7.3 树脂容器系统	125
思考题	84	6.7.4 数控系统和控制软件	126
第5章 落砂与清理设备及控制	85	6.7.5 后固化装置	126
5.1 落砂设备	85	思考题	126
5.1.1 振动落砂机	86	参考文献	128

第二篇 金属塑性成形设备及自动化

第7章 概论	131	7.2 塑性成形设备的分类及特点	133
7.1 塑性成形设备与工艺关系	131	7.2.1 塑性成形设备的分类方式	133

7.2.2 压力机的全周期载荷谱设计 的基本思想	135	思考题	188
7.2.3 塑性成形设备的驱动与传动 方式	138	第9章 液压机	189
7.3 塑性成形设备的发展趋势	140	9.1 概述	189
7.3.1 塑性成形设备的数控化	140	9.1.1 液压机基本组成及其类型	189
7.3.2 高效精密成形设备	141	9.1.2 液压机的主要技术参数	190
7.3.3 塑性成形的柔性加工系统	144	9.2 液压机动力装置	192
7.3.4 塑性成形设备的大型化	144	9.2.1 泵直接传动	192
思考题	147	9.2.2 泵—蓄能器传动方式	193
第8章 通用机械压力机	149	9.3 液压机的典型液压系统	194
8.1 概述	149	9.4 液压缸部件	196
8.1.1 通用机械压力机的工作原理	149	9.4.1 液压缸部件的种类及液压 缸的支撑形式	196
8.1.2 机械压力机的特点	152	9.4.2 液压缸的强度计算	198
8.1.3 机械压力机的主要性能参数	152	9.4.3 柱塞	201
8.2 曲柄滑块机构	154	9.5 机身	202
8.2.1 曲柄滑块机构的运动和受力 分析	154	9.6 液压机的计算机控制	206
8.2.2 曲柄滑块机构的设计计算	161	思考题	208
8.3 传动系统	168	第10章 螺旋压力机	209
8.3.1 传动系统关键零部件的放置 方式	168	10.1 概述	209
8.3.2 传动级数和各级速比分配	169	10.1.1 螺旋压力机的工作原理	209
8.3.3 离合器和制动器的安放位置	170	10.1.2 螺旋压力机的发展历史	211
8.3.4 传动系统的布置与传动参数	170	10.1.3 螺旋压力机的优缺点	212
8.4 离合器与制动器	173	10.1.4 螺旋压力机的主要技术参数	214
8.4.1 结构形式	174	10.1.5 螺旋压力机的用途	217
8.4.2 摩擦离合器的设计计算	179	10.2 螺旋压力机的结构	218
8.4.3 制动器的设计计算	180	10.2.1 摩擦压力机	218
8.5 电动机与飞轮	181	10.2.2 电动螺旋压力机	221
8.5.1 电动机功率的选择与校核	182	10.2.3 液压螺旋压力机	224
8.5.2 飞轮校核	183	10.2.4 离合器式螺旋压力机	226
8.6 机械压力机的计算机控制	185	10.3 螺旋压力机的力能关系	229
8.6.1 塑性成形设备计算机控制 系统的特点	185	10.3.1 螺旋压力机工作时能量的 转化	229
8.6.2 塑性成形设备计算机控制 系统的组成	185	10.3.2 整体飞轮的力能关系	230
8.6.3 机械压力机的计算机控制	186	10.3.3 螺旋压力机的能量调节	231
		10.3.4 组合式飞轮的力能关系	232
		10.4 电动螺旋压力机的计算机 控制	233
		10.4.1 电动螺旋压力机的计算机控制	

的必要性	233	第 13 章 现代数控成形设备的现状及	
10.4.2 打击能量的计算机控制方案	234	发展趋势	271
10.4.3 回程位置的计算机控制	236	13.1 概述	271
思考题	239	13.2 数控机床的基本构成	273
第 11 章 高速压力机	240	13.3 现代数控塑性成形设备的	
11.1 高速压力机现状及其发展		现状	275
趋势	240	13.3.1 金属板材数控渐进成形机	275
11.1.1 引言	240	13.3.2 数控回转头冲床	276
11.1.2 现代高速压力机的特点	241	13.3.3 数控折弯机	277
11.1.3 国内外高速压力机的性能综合		13.3.4 数控激光切割机	278
对比分析	249	13.3.5 数控剪板机	278
11.2 高速压力机的主要技术参数		13.3.6 数控卷板机	279
与典型产品结构	252	13.3.7 数控旋压设备	280
11.3 高速压力机的发展趋势	256	13.3.8 无模多点成形设备	281
思考题	257	13.3.9 交流伺服电机和异步电动机	
第 12 章 直线电动机驱动的压力机	258	联合拖动机机械压力机	282
12.1 直线电动机驱动的压力机		13.3.10 机电一体化全自动冲压技术	283
的特点	258	13.3.11 多连杆压力机及拉伸垫技术	283
12.2 国内直线电动机驱动的压		13.3.12 单机联线自动化冲压生产线	284
力机的结构	259	13.3.13 大型多工位压力机	285
12.2.1 台式串行结构	259	13.3.14 交流伺服电机直接驱动的	
12.2.2 框架式直线电动机式压力机	260	压力机	286
12.2.3 打箔用直线电动机压力机	263	13.3.15 数控框架板料冲压液压机	289
12.3 国外直线电动机驱动的压		13.3.16 新型液压机上液压垫装置	289
力机的结构	264	13.3.17 机械压力机上气垫装置	290
12.3.1 开式机身的直线电动机驱		13.3.18 变压边力控制系统	291
动的压力机	264	13.3.19 泵控缸电液技术	292
12.3.2 应用带有隔磁装置的直线		13.4 数控塑性成形机床的发展	
电动机驱动的压力机	265	趋势	296
12.4 带有增力方式的直线电动		思考题	297
机式压力机的结构	269	参考文献	298
思考题	269		

第三篇 金属焊接成形设备及自动化

第 14 章 概论	305	14.1.1 电弧焊工艺及设备	305
14.1 金属焊接成形设备与工艺		14.1.2 电阻焊工艺及设备	307
关系	305	14.1.3 高能束焊工艺及设备	307

14.1.4 摩擦焊工艺及设备	309	15.6.1 焊缝跟踪控制技术	360
14.2 金属焊接成形设备的分类	310	15.6.2 焊缝尺寸控制技术	363
14.3 金属焊接成形设备		思考题	366
的发展趋势	310	第16章 电阻焊设备及控制	367
14.3.1 逆变技术的应用	310	16.1 电阻焊机主电源	368
14.3.2 数字化技术的应用	311	16.1.1 单相工频交流焊机	369
14.3.3 现代控制技术的应用	312	16.1.2 二次整流焊机	373
14.3.4 焊接机器人及柔性制造		16.1.3 三相低频焊机	374
系统的发展	313	16.1.4 电容储能焊机	375
思考题	313	16.1.5 逆变焊机	377
第15章 电弧焊设备及控制	314	16.1.6 几种电阻焊机主电源焊接	
15.1 弧焊电源	314	性能比较	378
15.1.1 焊接电弧的基本知识	314	16.2 电阻焊机的机械结构和装置	379
15.1.2 弧焊电源的基础知识	317	16.2.1 点焊机和凸焊机	379
15.1.3 弧焊电源的分类	318	16.2.2 缝焊机	382
15.1.4 变压器式弧焊电源	319	16.2.3 对焊机	384
15.1.5 晶闸管整流式弧焊电源	320	16.3 电阻焊机的控制及质量监控	387
15.1.6 逆变式弧焊电源	321	16.3.1 控制装置	387
15.1.7 数字化焊接电源	327	16.3.2 质量监控	394
15.2 埋弧焊设备	336	思考题	403
15.2.1 埋弧焊的特征及应用	336	第17章 高能束焊接设备	404
15.2.2 埋弧焊的自动调节原理	337	17.1 电子束焊接设备	404
15.2.3 埋弧焊设备分类及组成	342	17.1.1 电子束焊接特点	404
15.2.4 多丝埋弧焊工艺	343	17.1.2 电子束焊机工作原理和分类	404
15.3 熔化极气体保护焊设备	344	17.1.3 电子束焊机系统结构	405
15.3.1 熔化极气体保护焊的特征	345	17.1.4 真空系统	416
15.3.2 熔化极气体保护焊熔滴过渡	345	17.1.5 工作台运动控制	417
15.3.3 熔化极气体保护焊设备组成	349	17.1.6 电子束焊接过程控制	418
15.3.4 先进熔化极气体保护焊技术		17.1.7 电子束焊机技术性能与特点	419
及设备	351	17.2 激光焊接设备及控制	420
15.4 钨极氩弧焊设备	354	17.2.1 概述	420
15.4.1 钨极氩弧焊的特征及应用	354	17.2.2 激光焊接原理与分类	421
15.4.2 钨极氩弧焊的电流种类	354	17.2.3 激光焊接设备组成	423
15.4.3 钨极氩弧焊设备组成	356	17.2.4 激光焊接用激光器	424
15.5 等离子弧焊(PAW)设备	357	17.2.5 光路系统	427
15.5.1 等离子弧焊的特征	357	17.2.6 工艺介质输送系统	430
15.5.2 等离子弧焊设备组成	359	17.2.7 激光加工机	431
15.6 电弧焊过程自动控制	360	17.2.8 激光焊接设备的控制	433

17.2.9 激光焊接设备的选用依据	434	18.5.1 连续驱动摩擦焊焊接参数 检测及控制	465
17.2.10 激光焊接安全防护	437	18.5.2 搅拌摩擦焊的自动控制及 应用	466
思考题	438	思考题	468
第18章 摩擦焊设备及控制	440	第19章 焊接机器人及控制	469
18.1 连续驱动摩擦焊机	441	19.1 概述	469
18.1.1 连续驱动摩擦焊机的构造	441	19.1.1 焊接机器人分类	469
18.1.2 连续驱动摩擦焊的工艺参数 ...	443	19.1.2 焊接机器人系统组成	471
18.1.3 连续驱动摩擦焊的特点及 用途	444	19.1.3 焊接机器人选择准则	473
18.1.4 连续驱动摩擦焊机的分类	444	19.2 焊接机器人工作原理	474
18.2 惯性摩擦焊机	446	19.2.1 机器人运动学	474
18.2.1 惯性摩擦焊机的构造	446	19.2.2 焊接机器人驱动方式	478
18.2.2 惯性摩擦焊的工艺参数	447	19.2.3 焊接机器人控制技术	479
18.2.3 惯性摩擦焊机的特点及用途 ...	447	19.3 典型焊接机器人系统	481
18.2.4 惯性摩擦焊机的分类	447	19.3.1 点焊机器人工作站	482
18.3 线性摩擦焊机	448	19.3.2 弧焊机器人工作站	485
18.3.1 线性摩擦焊的焊接过程	449	19.3.3 切割机器人工作站	488
18.3.2 线性摩擦焊机的特点及用途 ...	449	19.3.4 群控机器人工作站	490
18.4 搅拌摩擦焊机	450	19.4 焊接机器人技术发展	491
18.4.1 搅拌摩擦焊机的构造	450	19.4.1 焊接导引与焊缝跟踪	491
18.4.2 搅拌摩擦焊的特点	453	19.4.2 焊接机器人离线编程控制	494
18.4.3 搅拌摩擦焊工艺参数	454	19.4.3 焊接机器人远程控制	494
18.4.4 搅拌摩擦焊的用途	457	19.4.4 焊接机器人焊接质量控制	496
18.4.5 搅拌摩擦焊机的分类	458	思考题	499
18.4.6 搅拌摩擦焊新技术新设备	462	参考文献	500
18.5 摩擦焊机的自动控制	464		

第四篇 塑料成形设备及自动化

第20章 概论	507	21.2.1 单螺杆挤出机的组成	514
20.1 塑料成形设备与工艺关系	507	21.2.2 单螺杆挤出机的主要技术 参数	515
20.2 塑料成形设备的分类	508	21.2.3 单螺杆挤出机常规螺杆	515
20.3 塑料成形设备的发展趋势	509	21.2.4 单螺杆的挤出过程及理论	517
第21章 挤出成形设备及控制	512	21.2.5 新型螺杆	521
21.1 概述	512	21.2.6 料筒	525
21.1.1 挤出成形现状和发展	512	21.2.7 加料装置	527
21.1.2 挤出成形设备的组成及分类 ...	512	21.2.8 传动系统	528
21.2 单螺杆挤出机	514		

21.2.9 加热冷却系统	531	22.5.1 概述	569
21.3 排气式挤出机	535	22.5.2 塑料异型材机头	570
21.3.1 排气式挤出机的基本结构	535	22.5.3 定型装置	572
21.3.2 排气式挤出机的工作原理	535	22.5.4 贝加莱 PCC 在福田异型材 生产线上的挤出应用	575
21.3.3 排气式挤出机的分类	536	思考题	578
21.4 双螺杆挤出机	537	第 23 章 注射成形设备及控制	579
21.4.1 双螺杆挤出机的基本结构 和类型	537	23.1 概述	579
21.4.2 双螺杆挤出机主要参数	541	23.1.1 注塑成形原理	579
21.5 挤出过程熔体质量控制方法	541	23.1.2 注塑机的组成	580
21.5.1 温度与压力检测	542	23.1.3 注射成形机的分类	580
21.5.2 熔体温度的串级控制	543	23.1.4 注射成形机的主要参数	581
21.5.3 熔体压力的控制	543	23.1.5 注射成形机的标准及型号	583
21.5.4 熔体温度、压力多变量模糊 控制系统实例	545	23.1.6 注射成形机的现状及发展	583
思考题	550	23.2 注射装置	584
第 22 章 挤出成形辅机	551	23.2.1 注射系统的主要组成	584
22.1 挤出成形辅机的分类及组成	551	23.2.2 注射系统的工作原理	585
22.2 吹塑薄膜成形辅机	552	23.2.3 注射装置的主要零部件	585
22.2.1 吹塑薄膜辅机的设备及 生产过程	552	23.2.4 注射部分技术参数	586
22.2.2 冷却定型装置	555	23.3 合模系统	589
22.2.3 内冷却装置	555	23.3.1 合模系统的组成和类型	589
22.2.4 牵引装置	556	23.3.2 调模装置	593
22.2.5 卷取切割装置	558	23.3.3 顶出装置	593
22.3 塑料管材挤出成形	559	23.3.4 合模系统的主要技术参数	594
22.3.1 挤管辅机组成及生产过程	559	23.4 驱动装置	595
22.3.2 定型装置	560	23.4.1 液压系统	595
22.3.3 冷却装置	562	23.4.2 电力驱动装置	596
22.3.4 牵引装置	564	23.5 注塑机的安全技术要求	596
22.3.5 切割装置	564	23.5.1 安全保护与检测系统的组成	596
22.4 塑料板材挤出成形	565	23.5.2 注射成形机的安全技术要求	597
22.4.1 挤板辅机组成及生产过程	565	23.5.3 注射成形机的安全保护内容	598
22.4.2 压光机	566	23.6 控制系统	599
22.4.3 牵引装置	567	23.6.1 注塑机电气控制系统的组成 及特点	599
22.4.4 切割装置	568	23.6.2 注射成形过程控制	600
22.4.5 卸料装置	569	思考题	608
22.5 塑料异型材的生产过程	569	第 24 章 压延成形设备及控制	609
		24.1 压延设备及压延原理	609

24.1.1 压延设备	609	25.1.1 犁状转子混合机	621
24.1.2 压延原理	612	25.1.2 高速混合机	622
24.2 辊筒	612	25.2 开炼机	623
24.2.1 对辊筒的要求	613	25.2.1 开炼机的基本构造	623
24.2.2 辊筒结构	613	25.2.2 开炼机工作原理	624
24.2.3 辊筒变形	614	25.3 密炼机	624
24.3 影响压延的因素	619	25.3.1 密炼机的基本构造	624
思考题	620	25.3.2 工作原理及特点	626
第 25 章 混炼成形设备	621	思考题	626
25.1 捏合机	621	参考文献	627

绪 论

材料成形设备是指用以实现材料成形的装置，它既随着材料成形技术的发展而发展，又为材料成形技术的发展和进步提供了有利的支持和保障。材料成形设备的功能、机械化、自动化及现代化程度，直接关系到成形工艺的可实现性、成形精度和质量、生产效率及生产环境等。

0.1 材料成形设备分类及特点

依据材料成形工艺不同，材料成形设备主要包括金属液态成形设备、金属塑性成形设备、金属焊接成形设备和塑料成形设备四大类，每一大类下，根据细分的工艺方法又可将其分为若干小类，依此类推，又可进一步细分。

图 0.1 所示为材料成形设备的分类示意图。

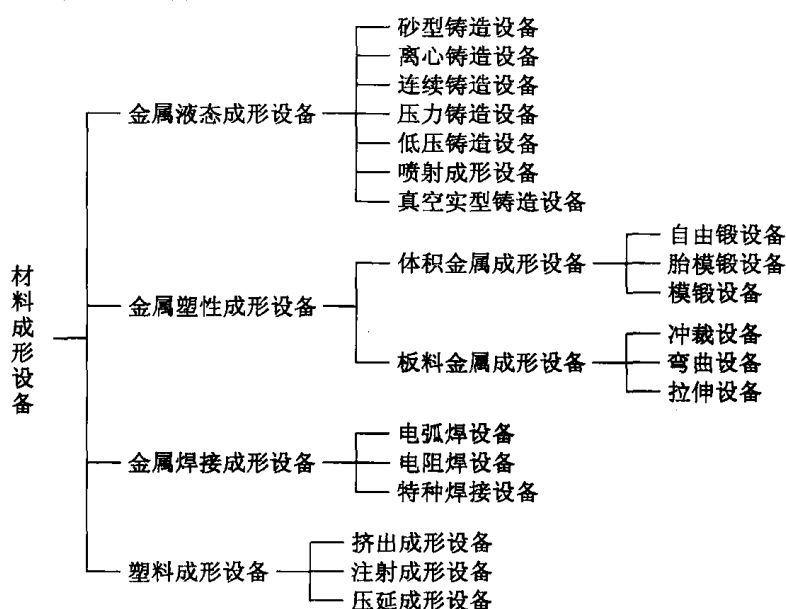


图 0.1 材料成形设备的分类

图 0.1 所示是以材料成形工艺为出发点对其设备进行分类的，但往往还有其他的分类方法，例如，金属液态成形设备也可以按铸造过程分为砂处理设备、造型设备、熔炼浇注设备和落砂清理设备等几部分，金属塑性成形设备又可以按能源类型分为机械压力机、液压机、高速压力机及直线电机驱动压力机等。

金属液态成形设备、金属塑性成形设备、金属焊接成形设备和塑料成形设备都有各自的特点，并与其相应的工艺特点密切相关。

金属液态成形是将金属材料加热熔化后，浇注到预先制造好的铸型中使之冷却、凝固，制得一定形状和性能要求的铸件的成形方法。

金属液态成形工艺的特点是：

- 1) 适用范围广：几乎不受材料类型、零件大小和厚薄，以及复杂程度的限制。
- 2) 尺寸精度高：铸件一般比锻件、焊接件尺寸更精确。
- 3) 生产成本低。

根据金属液态成形工艺的定义及上述特点，用于实现该工艺的设备相应具有如下特点：

- 1) 根据其工艺进程，需要砂处理、造型、熔炼浇注及落砂清理等几大类设备。
- 2) 可以是手工生产的简易设备，也可以实现机械化、自动化生产。
- 3) 熔炼设备的控制关键是精确控制炉温和提高加热速度。
- 4) 造型设备的主要要求是精度高、刚性大、噪声小、实现机械化程度大、生产效率高。

金属塑性成形也称塑性加工或压力加工，它是利用金属在外力作用下产生塑性变形，从而获得所需形状和性能的坯料或零件的成形方法。

金属塑性成形的工艺特点是：

- 1) 材料利用率高。
- 2) 成形过程往往伴随着组织、性能的改善。
- 3) 尺寸精度较高。
- 4) 生产效率高。

根据金属塑性成形工艺的特点，可以分为体积成形（锻造和挤压）和板料成形（冲压）两大类，用于实现塑性成形的设备相应具有如下特点：

- 1) 成形设备种类较多，包括锻锤、机械压力机、液压机等通用设备，以及辊锻机、精冲机、辗环机和楔横轧机等专用设备，如何选择成为其工艺设计及模具设计中的一项重要任务。
- 2) 成形设备类型的选择主要根据成形工艺特点、生产率及安全性等因素来确定。
- 3) 成形设备规格的选择主要包括公称压力（吨位）、行程和行程次数、工作台面尺寸及闭合高度、电机功率等。
- 4) 金属塑性成形设备的主要要求是机身刚性大、压力控制精度高、生产效率高。

金属连焊成形是利用加热或压力等手段，使两个分离的金属物体形成原子或分子间结合而连接成一体的成形方法。

金属连焊成形工艺的特点是：

- 1) 焊接成形工艺是对金属局部区域进行加热或加压连接的工艺，其连接质量受冶金条件和力学因素影响较大。
- 2) 使用范围广，可用于连接各种同类或异类金属，但其连接质量受被焊材料物理性能参数影响较大。
- 3) 焊接成形原理由不同的焊接工艺决定。

根据金属焊接成形工艺的定义及特点，用于实现该工艺的设备相应具备如下特点：

- 1) 焊接成形设备热源种类繁多，其主要形式有电弧、电阻热、电磁感应、高能束（电子束、激光束）、化学热、摩擦热等。
- 2) 高效、低耗、洁净是现代连接技术对电源的根本要求，同时，还要求其性能稳定、易

于控制和调节。

3) 焊接成形设备的控制精度, 以及机械化、自动化程度也是衡量其水平的重要因素。

塑料与金属材料相比, 其性能有很大的差别, 在成形工艺中特别需要考虑的是塑料的收缩性、流动性和结晶性。

塑料的收缩性是指其制品从模具中取出会发生尺寸收缩的特性, 其主要影响因素是成形工艺参数(成形压力、物料及模具温度等)。

塑料的流动性是指其在一定温度与压力下填充型腔的能力, 它是模具设计时必须考虑的一个重要工艺参数。

塑料按其分子结构可分为结晶型和无定形两类, 塑料的结晶与低分子物质的结晶有很大区别, 其结晶性体现在结晶速度慢、结晶不完全、结晶不完整。

塑料的其他工艺性能还包括热敏性、水敏性、应力敏感性、吸湿性、粒度以及各种热性能指标, 这些对其成形工艺都会产生一定的影响。

塑料成形工艺主要包括挤出成形、注射成形、压延成形等, 根据其工艺不同, 其对应的设备及控制也有不同的特点:

1) 挤出成形设备成本较低, 投资少、见效快, 综合生产能力强, 生产效率高。

2) 注射成形设备种类多, 但设备投资大, 具有生产效率高、易实现自动化操作、加工适应性强等优点。

3) 压延成形设备为普通液压机和螺旋压力机, 生产效率低、塑性成形精度难以控制、模具寿命短、不易实现自动化生产。

0.2 材料成形设备发展趋势

材料成形技术是制造技术的重要组成部分, 是航空航天、电子信息、交通运输、石油化工、核能核电、机械装备等产品的基础技术。据统计, 全世界 75% 的钢材要进行塑性加工、65% 的钢材要采用焊接结构, 我国铸件产量已超过 1 400 万吨, 成为世界铸件生产第一大国。随着新材料、新产品、新结构的不断应用, 对材料成形技术提出了更高的要求。

材料成形设备是实现先进的材料成形技术和保证材料成形质量的重要基础, 它是为相应的材料成形工艺服务的, 材料成形工艺的发展将大大推动成形设备的生产开发及更新换代; 同时, 材料成形设备本身也是制造业的产物, 它依赖于机械加工、电子元器件、自动控制、先进能源、计算机技术等基础行业的进步而发展, 先进的集成电路、激光技术以及数字化技术, 为诸如逆变焊机、激光加工设备、数字化焊接电源等新型材料成形设备提供了强有力的技术支撑; 此外, 环境保护和可持续发展的现代社会发展策略, 也将推动材料成形设备向节能、降噪、减污等绿色制造方向发展。

纵观近年来材料成形设备的需求、应用及开发制造情况。其发展趋势可以大体归纳为以下几方面:

(1) 数字化、智能化

随着计算机和现代控制技术的发展, 材料成形设备的数字化和智能化趋势已日益呈现, 主

要表现在：近年来世界各国数控成形设备的产量、产值和拥有量迅速增长，目前工业发达国家所生产的多种成形设备（如回转头压力机、多工位压力机、注射机、压铸机等）已多数实现了数控化，板材数控成形设备也有了很大的发展（如日本天田公司生产的数控冲、剪、折板机等）；“十一五”期间，我国也制定了“数控机床产业发展规划”和“振兴装备制造业”等措施，数控机床（包括数控锻压机械）成为国家“十一五”行业发展的重点目标。同时，自动造型生产线、机器人制芯自动化制芯单元等也成为金属液态成形设备的发展方向。数字化焊机已成为当今焊接设备发展的主流趋势（如奥地利 Fronius 公司生产的新一代全数字控制逆变式 MIG/MAG 焊机，20 世纪 90 年代推出的商品化数控自动埋弧焊机等），数字化焊机的工业生产实际应用已证实，其各项技术特性、功能和控制精度已远远超过了以模拟控制为主的常规焊机。基于工业机器人的材料成形设备也体现了数字化和智能化的综合应用，如焊接机器人的运动控制、焊接参数控制、焊接跟踪等检测和自动控制，均离不开数字技术和智能控制，有些较先进的焊接机器人控制软件中还备有“焊接专家系统”，这使控制参数设定更准确、焊接质量控制更可靠。此外，在材料成形设备中，设备单元的自动控制、参数的闭环控制、过程联动在线反馈等技术均已获得了较为广泛的应用。

（2）高精度、高质量

近年来，随着对成形产品生产要求的不断提高，精确成形技术发展迅速，例如：近年来，在汽车制造企业中，普遍推行“2 mm 工程”[即采用车身制造综合误差指数 CII (continuous improvement indicator) 来控制车身制造质量]，这就需要材料成形中的冲模精度、冲压件、检夹精度、焊夹精度和操作等综合因素来保证，并要求严格控制成形工业装备的加工和检测精度；为了提高乘用车的运行速度和节约能源，乘用车铸件生产朝着轻量化、精确化方向发展，薄壁高精度铸件的开发生产迫在眉睫，目前国外正在研究 3 mm 壁厚的灰铸铁缸体，3 mm 壁厚的耐热合金钢排气管等，这就需要高精度成形设备来完成；又如，为了提高成形加工精度，华中科技大学开发了数控电动螺旋压力机，可精确设置打击能量，成形精度高、制件公差小，特别适合精密锻造，可以用做汽车发动机连杆、气门的精密模锻成形，锻造后只需磨削加工，质量公差小。同时，随着高新技术的发展，产品的小型化、微型化也是成形加工的一大难点，集成电路芯片、现代生物医学所用的微型手术器械、高精度微型机械手、航空航天领域中用的微型精密传感器等，都离不开材料的微精加工，与之配套的激光精密切割、精密焊接等设备得到发展，这些设备必须保证微型工件的准确定位、微小热输入的精确控制、成形质量的严格监控，例如激光精密焊接采用准分子激光器（功率 $\approx 5\text{ W}$ ，波长 $= 157 \sim 308\text{ nm}$ ）加工的接头和位置可达到微米级精度。此外，在塑料成形设备方面，德国克劳斯马菲公司的注射机采用 PM 控制系统，通过对模具、工作油、熔料温度、注射压力、模腔压力和充模过程的控制，可使产品的质量误差精确在 0.15% 以内。

（3）集成化、柔性化

从系统工程角度出发，任何一种材料成形生产都可以看做是一个集成系统，系统内包括被加工原材料、生产模具、所使用的设备、工艺技术条件、车间操作环境等，在此系统中，材料、模具、设备、工艺等因素互相作用、互相影响，最终完成成形过程。

随着现代工业的发展，材料成形过程的机械化、自动化程度不断提高，集成化、柔性化的材料成形成套联线装置不断开发，例如在金属塑性成形装备中，有 CNC 回转头压力机、板材