

高等学校机械工程及自动化
(机械设计制造及其自动化)专业系列教材

材料成形技术基础

西安交通大学 方亮 程羽 王雅生 主编

高等教育出版社

内容简介

本书是高等学校机械工程及自动化(机械设计制造及其自动化)专业系列教材之一。

本教材全面介绍了凝固成形、塑性成形、焊接成形、表面成形、粉末成形和塑料成形的基本原理、工艺方法和技术要点,内容上采用原理和技术并重、传统与创新兼顾的原则,力求反映当代材料成形领域的最新成就,以适应机械与材料工程领域高级人才培养的需要。

本书可作为机械设计制造及其自动化专业及相关专业教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术基础/方亮,程羽,王雅生主编. —北京:
高等教育出版社,2004.11
ISBN 7-04-015606-7

I. 材... II. ①方...②程...③王... III. 工程
材料-成形-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 103565 号

策划编辑	龙琳琳	责任编辑	陈大力	封面设计	刘晓翔	责任绘图	杜晓丹
版式设计	范晓红	责任校对	金 辉	责任印制			

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×1092 1/16	版 次	年 月第 1 版
印 张	16.25	印 次	年 月第 次印刷
字 数	390 000	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 :15606-00

前 言

本教材是为适应机械设计制造及其自动化专业(机械工程及自动化专业)教学指导委员会确定的技术基础课程要求编写的。教材全面介绍了凝固成形、塑性成形、焊接成形、表面成形、粉末成形和塑料成形的基本原理、工艺方法和技术要点,内容上采用原理和技术并重、传统与创新兼顾的原则,力求反映当代材料成形领域的最新成就,以适应机械与材料工程领域高级人才培养的需要。全书共分十章,第一章简要介绍材料加工的历史与现状,并引出一些基本共性问题;第二至第四章重点介绍材料加工的物理、化学基础及控制原理;第五至第七章简要叙述传统的铸造、塑性成形和焊接成形的基本方法;第八至第十章除介绍表面、粉末、陶瓷和塑料成形方法外,还介绍了这些成形技术的最新发展。各章均附有思考和练习题,书末附有参考文献。

本书在陈金德、邢建东主编的《材料成形技术基础》上,结合网络课程教学特点,并总结了多年的教学经验编写而成。由方亮、程羽和王雅生主编,参加编写工作的有方亮(第一章部分,第二、五、九章)程羽(第一章部分,第四、六、十章)王雅生(第一章部分,第三、七、八章)。本书编写过程中得到了西安交通大学材料加工工程学科全体同仁的大力支持和热情帮助。

本书由西北工业大学吴诗教授审阅。吴诗教授对书稿进行了认真的审阅,并提出了非常宝贵的建议,在此一并表示衷心感谢。本书可作为机械设计制造及其自动化专业及相关专业教材,也可供有关工程技术人员参考。本教材还是教育部新世纪网络课程建设工程项目之一——“材料成形技术基础”网络课程的配套教材,可用于辅助网络教学。

本书同时还被列入西安交通大学“十五”规划,编者在此感谢西安交通大学对教材编写、出版提供的资金支持与大力帮助。

编 者
于西安交通大学
2004 年 7 月

目 录

第一章 绪论	1	一、凝固区特性与凝固件质量的关系	35
第一节 材料加工概述	1	二、凝固动态曲线与凝固方式	35
一、材料加工概述	1	三、凝固方式的影响因素	37
二、材料加工的基本要素和流程	1	第八节 凝固成形的应用	38
第二节 材料成形的一些基本问题 和发展概况	4	一、铸造生产过程中的凝固控制	39
一、凝固成形的基本问题和发展概况	4	二、焊接生产中的凝固过程控制	44
二、塑性成形的基本问题和发展概况	6	三、陶瓷与粉末合金制备过程中的凝固 现象	48
三、焊接成形的基本问题和发展概况	8	思考与练习	50
四、表面成形的基本问题和发展概况	10	第三章 材料成形热过程	51
第三节 本课程的性质和任务	11	第一节 焊接成形热过程	51
第二章 材料凝固理论	12	一、焊接热过程特点	51
第一节 材料凝固概述	12	二、焊接过程热效率	52
第二节 凝固的热力学基础	13	第二节 焊接温度场	53
一、状态函数的概念	13	一、焊接传热形式及热传导基本方程	53
二、状态函数间的关系	14	二、焊接温度场的数学表述法及数学 解析的假定条件	54
三、自发过程	14	三、瞬时热源的热传导过程	55
四、界面张力	14	四、影响焊接温度场的因素	57
第三节 形核	16	第三节 焊接热循环	60
一、凝固的热力学条件	16	一、焊接热循环的主要参数	61
二、自发形核	17	二、多层焊热循环	64
三、非自发形核	19	三、影响焊接热循环的因素	67
四、形核剂	21	第四节 凝固成形热过程	72
第四节 生长	22	一、凝固成形热过程特点及热效率	72
一、固液界面的结构	22	二、凝固成形热温度场	73
二、生长方式	24	第五节 塑性成形热过程特点及 温度场	74
三、生长速度	26	一、塑性成形热过程的基本特点	75
第五节 溶质再分配	26	二、塑性成形加热过程的热效率	77
一、溶质再分配与平衡分配系数	26	三、塑性成形的温度场	77
二、非平衡凝固时的溶质再分配	27	思考与练习	77
三、成分过冷判据	28	第四章 塑性成形理论基础	79
四、成分过冷与晶体生长形态	29	第一节 金属冷态下的塑性变形	79
五、微观偏析	30	一、冷塑性变形机理	80
六、宏观偏析	31	二、冷塑性变形特点	81
第六节 共晶合金的凝固	32		
第七节 金属及合金的凝固方式	34		

三、冷塑性变形对金属组织和性能的影响	82	一、铸铁合金的分类	109
第二节 金属热态下的塑性变形	83	二、普通灰铸铁	109
一、塑性变形时软化过程	83	三、球墨铸铁	111
二、热塑性变形机理	84	四、蠕墨铸铁	111
三、塑性变形对金属组织和性能的影响	85	五、可锻铸铁	111
第三节 应力状态和应变状态分析	87	六、铸钢	112
一、点的应力状态分析	87	七、有色合金	112
二、点的应变状态分析	91	第三节 液态金属的获得	113
第四节 屈服准则	95	一、铸铁合金的熔炼	113
一、屈雷斯加屈服准则	96	二、铸钢的熔炼	114
二、米泽斯屈服准则	96	三、有色合金的熔炼	115
三、屈雷斯加屈服准则和米泽斯屈服准则的比较	97	第四节 凝固成形方法	116
第五节 塑性变形时的应力应变关系	98	一、砂型铸造	116
一、弹性变形时的应力应变关系	98	二、金属型铸造	119
二、塑性变形时应力应变关系的特点	99	三、压力铸造	120
三、等效应力和等效应变的概念	100	四、低压铸造	120
四、增量理论	100	五、熔模铸造	121
五、全量理论	101	六、离心铸造	123
第六节 应力状态对塑性和变形抗力的影响	102	七、几种常用凝固成形方法评价	124
一、应力状态对塑性的影响	102	第五节 凝固成形件的结构设计	126
二、应力状态对变形抗力的影响	102	一、铸造工艺对铸件结构的要求	126
第七节 真实应力 - 应变曲线	103	二、合金的铸造性能对铸件结构的要求	128
一、用拉伸试验绘制真实应力 - 应变曲线	103	第六节 计算机在凝固成形中的应用	132
二、真实应力 - 应变曲线的近似数学表达式	104	一、凝固成形中的计算机辅助设计	133
三、变形温度和应变速率对真实应力 - 应变曲线的影响	105	二、凝固成形过程的数值模拟	133
第八节 金属塑性成形中的摩擦	105	思考与练习	134
一、金属塑性成形时摩擦的特点	106	第六章 塑性成形技术	136
二、描述接触面上摩擦力的数学表达式	106	第一节 板料成形方法	137
思考与练习	107	一、冲裁	137
第五章 凝固成形技术	108	二、弯曲	139
第一节 凝固成形概述	108	三、拉深	140
第二节 凝固成形用金属材料	109	四、胀形	142
		五、翻边	143
		六、冲压模具及其结构	145
		第二节 体积成形方法	146
		一、锻造	146
		二、挤压	152
		第三节 计算机在塑性成形中的应用	155
		一、塑性成形过程的计算机模拟	155
		二、模具 CAD/CAM	156

思考与练习	157	第一节 粉末合金及陶瓷成形过程	
第七章 焊接成形技术	159	概论	217
第一节 典型弧焊方法	159	第二节 原材料加工	218
一、手工电弧焊	159	一、雾化法及电解法	219
二、埋弧自动焊	162	二、粉末及其特性	220
三、钨极氩弧焊	166	第三节 粉末成形	222
四、熔化极气体保护焊	169	第四节 烧结	227
第二节 压力焊及钎焊	173	第五节 粉末合金及陶瓷成形技术	
一、电阻焊	173	的新发展	228
二、摩擦焊	175	一、电火花烧结	229
三、钎焊	177	二、喷射成形	229
第三节 常用金属材料的焊接	178	三、粉末锻造	230
一、结构钢的焊接	179	四、热挤压	231
二、不锈钢的焊接	182	思考与练习	232
三、有色金属的焊接	185	第十章 塑料成形技术	234
第四节 焊接力学	189	第一节 塑料的组成、分类及主要	
一、焊接残余应力与焊接残余变形	189	成形方法	234
二、减少及消除残余应力的措施	192	一、塑料的组成及结构特点	234
三、预防和消除残余变形的措施	193	二、塑料的分类	235
四、焊接结构的脆性断裂	195	三、塑料的可加工性及主要成形	
五、焊接结构的疲劳强度	196	方法	235
六、焊接结构的应力腐蚀破坏	198	第二节 塑料成形理论基础	236
思考与练习	200	一、塑料的流变性	236
第八章 表面成形及强化技术	201	二、塑料成形过程的物理和化学	
第一节 表面涂层技术	201	变化	237
一、热喷涂技术	202	第三节 注射成形及其模具	238
二、涂层结合机理、结构特点及喷		一、注射成形过程	238
涂材料	205	二、典型注射模具结构	240
三、电镀、化学镀及堆焊	207	第四节 塑料的焊接	245
四、表面沉积	208	一、塑料的可焊性	245
第二节 表面改性技术	211	二、塑料的焊接成形方法	245
一、固态表面强化	212	思考与练习	246
二、液态表面强化	213	参考文献	247
思考与练习	215		
第九章 粉末合金及陶瓷成形技术	217		

第一章 绪 论

本章采用工艺形态学方法,对整个材料加工过程作综合性描述,进而引出材料成形的一些基本问题,并简要介绍发展现状。

第一节 材料加工概述

学习思考问题

- 材料加工的基本要素和流程是什么
- 材料成形存在的基本问题是什么
- 本课程的性质和基本任务是什么

一、材料加工概述

任何机器或设备,都是由许许多多的零件装配而成的。这些零件所用材料有金属材料,也有非金属材料。零件或材料的加工方法多种多样,归纳起来有以下4类:

(1) 成形加工 :用来改变材料的形状尺寸,或兼有改变材料的性能。主要有凝固成形、塑性成形、焊接成形、粉末压制和塑料成形等。

(2) 切除加工 :用于改变材料的形状尺寸,主要有车、铣、刨、钻、磨等传统的切削加工,以及直接利用电能、化学能、声能、光能进行的特殊加工,如电火花加工、电解加工、超声加工和激光加工等。

(3) 表面成形加工 :用来改变零件的表面状态和(或)性能,如表面形变及淬火强化、化学热处理、表面涂(镀)层和气相沉积镀膜等。

(4) 热处理加工 :用来改变材料或零件的性能,如退火、正火、淬火和回火等。

根据零件的形状尺寸特征、工作条件及使用要求、生产批量和制造成本等多种因素,选择零件的加工方法,以达到技术上可行、质量可靠和经济上合理。零件制成后再经过检验、装配、调试,最终得到整机产品(图 1.1)。

二、材料加工的基本要素和流程

材料加工方法的种类虽然繁多,但通过对每种材料加工方法的过程分析表明,它们都可以用建立在少数几个基本参数基础上的统一模式来描述。该模式便于对各种加工方法进行综合分析和横向比较。

任何一种材料的加工过程,都是为了达到材料的形状尺寸或性能的变化。而为了产生这种

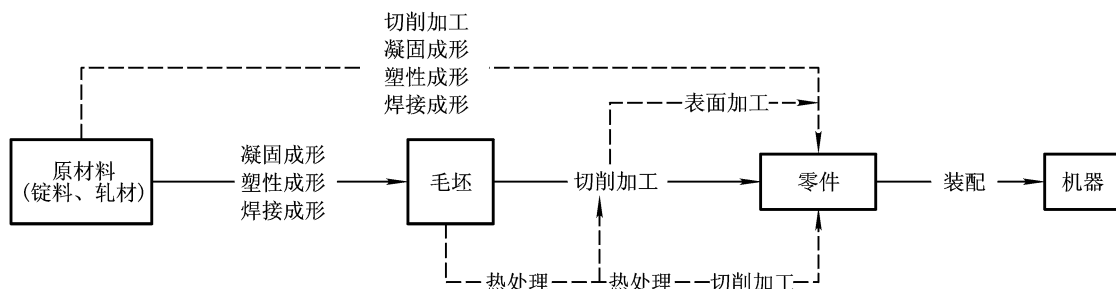


图 1.1 机械制造一般过程示意

变化,必须具备三个基本要素 材料、能量和信息(图 1.2)。因而材料的加工过程,可以用相关的材料流程、能量流程和信息流程来描述。

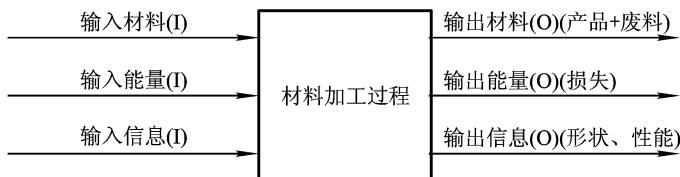


图 1.2 材料加工过程的一般模式

I—输入；O—输出

1. 材料流程

材料流程涉及 ①表征加工过程特点的类型。②要改变形状尺寸和(或)性能的材料状态。③能够用来实现这种形状尺寸和(或)性能变化的基本过程。现简要介绍如下。材料流程可分为三种类型:直通流程、发散流程和汇合流程。不同类型的材料流程表示不同的加工过程特征。直通流程对应于质量不变过程,其特点是加工材料的初始质量等于或近似等于加工材料的最终质量。也就是说,在此过程中,材料仅受控地改变几何形状或(和)性能。各种凝固成形、塑性成形、粉末压制、塑料成形和热处理等均属于此类。发散流程对应于质量减少过程,其特点是通过切除部分材料而获得形状尺寸的变化,但工件最终几何形状只能局限在输入材料的几何形体内,相应的加工方法有传统的切削加工,以及电火花加工、电解加工、热切割和冲裁等。汇合流程对应于质量增加过程,其特点是工件几何形状通过若干个元件装配、连接或焊接而获得,工件质量基本上等于各元件质量之和,而这些元件是用前述的一种或多种加工方法制成的。材料流程与材料状态有关,不同的材料状态导致加工过程结构的差别。常见的材料状态有固态、液态和颗粒(粉末)态,颗粒态也可看成是固态的细分。直通流程的材料状态可为固态、液态或颗粒态,发散流程的材料只能是固态,而汇合流程的材料状态可为固态,也可以是固态和液态兼而有之。

2. 能量流程

下面仅就机械过程和热过程分别介绍其能量流程,包括能量的提供方法、传递介质和能源。基本过程为机械过程的能量流程。实现此类基本过程的能量可以通过下列三种方法来提供。

(1) 传递介质与加工材料之间的相对运动

传递介质的状态可以是刚性、颗粒态和流体状态。切削加工中的刀具和塑性成形中的工模

具为刚性介质,通过它们与加工材料的相对运动而实现材料的切除或塑性变形,见图 1.3。在超声加工中,传递介质为颗粒(磨粒)状,通过磨粒的高速冲击而加工材料。挤压通过高压液体介质使金属挤压成形。

(2) 作用在加工材料上的压力差

板料成形中的气压胀形、液压胀形、橡胶胀形、超塑性板的气压胀形、塑料的吹塑成形和真空成形等,都是借助压力差来实现的。此时的传递介质可以是弹性体、液体和气体(包括真空状态)等。图 1.4 所示为压力差产生的机械基本过程。

(3) 直接产生于加工材料中的质量力

在重力场或磁场的作用下产生的机械基本过程见图 1.5。

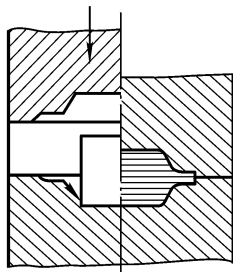


图 1.3 模锻成形

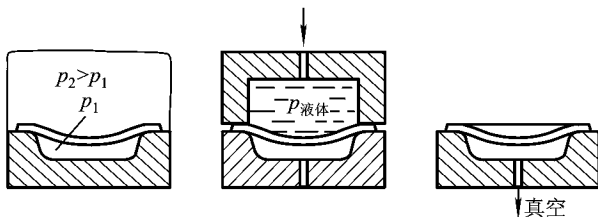


图 1.4 压力差产生的机械基本过程

基本过程为热过程的能量流程:热基本过程所需热量通常由电能、化学能或机械能转化而得。热量可在加工材料内部直接产生(直接加热),也可在加工材料外部产生,然后以一定方式,如导热、对流、辐射等传递给加工材料(间接加热)。电能转化为热能的方式、方法有很多种。例如,使电流通过导电材料即可产生热,若导电材料本身即为被加工材料,则为直接加热。如果导电材料为特殊高电阻加热元件,产生的热量通过适当介质,以对流、辐射等方式传递给加工材料,则为间接加热。利用电磁感应亦可将电能转化为热能,感应电加热常用于模锻前的毛坯加热(见图 1.6)。借助电弧放电可产生热量,电弧焊即是利用此原理使填充材料和工件连接区的基体材料在加热条件下熔化。火花放电亦可实现电能向热能的转化,火花放电产生的瞬时高温,可使金属熔化和气化。

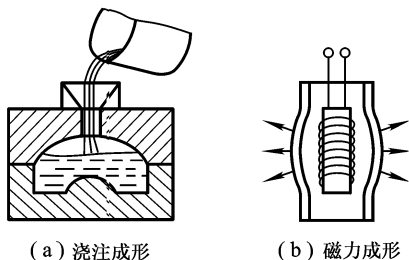


图 1.5 由质量力产生的机械基本过程

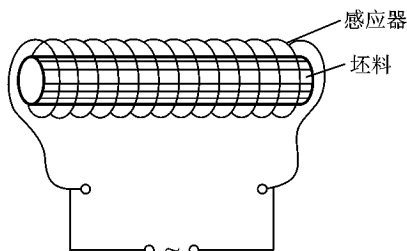


图 1.6 感应电加热原理

此外,通过电子束、激光,亦可使电能转化为热能,高能密度的电子束和激光束足以使被加工材料熔化或气化,从而实现材料加工中的热基本过程。化学能源的获得是通过可燃物质的燃烧而转化为热能的。例如,熔焊中的气焊是利用可燃气体(如乙炔与氧的混合气体)的燃烧而熔化金属的,气割是利用可燃气体燃烧将待切处的金属加热到能在氧气流中燃烧的温度,而气体火焰的钎焊则是利用可燃气体燃烧使钎料熔化。以机械能为基础的热源,热量由摩擦产生,如摩擦焊

即是以焊接件接触面摩擦产生的热量为热源。

3. 信息流程

信息流程包括形状信息和性能信息两个方面。在材料加工过程中,由于把形状变化信息施加于材料,最终的形状信息就等于材料的初始形状信息与加工过程中所施加的形状变化信息之和。

形状变化信息是由具有一定形状信息量的刀具或工模具和加工材料之间的相对运动共同产生的。也就是说,形状变化过程为借助能量流程把相应于信息流程中的形状变化信息施加于材料流程的过程。形状变化信息可以通过一个或几个阶段加于材料,即

$$I_o = I_i + \Delta I_{p1} + \Delta I_{p2} + \cdots + \Delta I_{pn}$$

式中, I_o ——要求获得的几何形状信息;

I_i ——材料的初始形状信息;

ΔI_{p1} 、 ΔI_{p2} 、 $\cdots$ 、 ΔI_{pn} ——各个加工过程的形状变化信息。

所需的加工过程数取决于技术力量和经济原因两个方面。一般地说,刀具或工模具所包含的形状信息量越少,则它们与加工材料的相对运动对于材料的形状变化所起的作用就越大,反之亦然。例如,模锻时锻模几乎已包含了所要求的全部形状信息量,因而锻模与加工材料的相对运动就变得很简单,而对于一般的车削加工,车刀所包含的形状信息量很少,为了获得所需形状的零件,甚至要求三个相对运动,即刀具沿工件轴向和径向的平移以及相对转动等。

同样,性能信息流程涉及材料的初始性能和通过各种加工过程产生的材料性能的变化,工件最终的性能则是它们综合作用的结果。热处理加工的主要目的在于改变材料的性能而不改变其几何形状,而塑性成形在其改变材料形状的同时一般都伴随有性能的变化。上面应用工艺形态学的方法,从材料流程、能量流程和信息流程三个方面对材料加工过程进行了综合性描述,这有利于认识材料加工过程的本质特征和建立起清晰的概念,方便对它们的分析比较,并有助于激发人们的想象力和创造性。

第二节 材料成形的一些基本问题和发展概况

一、凝固成型的基本问题和发展概况

1. 基本问题

凝固成形属液态金属质量不变过程,包括充填铸型和冷却凝固两个基本过程。充填(亦称浇注)是一种机械过程,而凝固则为热过程。

凝固过程中热量传递方式有传导、对流和辐射。材料具有的热量通过这三种方式传递给铸型或环境,使其自身冷却。在此过程中,一方面将材料的几何形状固定下来;另一方面赋予材料所希望的性能信息。从微观来看,凝固就是金属原子由‘近程有序’向‘远程有序’或‘远程无序’的过渡,成为按规则排列的晶体或无序排列的非晶体;从宏观来看,就是把液态金属所具有的热量传递给环境而凝固成一定形状和性能的固体(铸件)。

尽管凝固成形包括充填和凝固两个基本过程,但在多数情况下,凝固过程显得更重要。这是由于,材料一旦从液态凝固成固体后,在后续的其他加工中几乎无法使其品质有本质的改变。但这并不等于忽视充填过程对铸件质量的影响,特别是对于某些形状的铸件或易氧化合金的成形,

充填是否充分、平稳对最终质量仍有重要作用。

凝固成形方法种类繁多,但其最终目的都是为了获得健全的、满足使用要求的铸件。故此,下面的一些基本问题或关键问题应给予考虑:凝固组织的形成与控制、铸造缺陷的防止与控制 and 铸件尺寸精度与表面粗糙度控制。

凝固组织包括晶粒的大小、方向和形态等,它们对铸件的物理性能和力学性能有着重大的影响。控制铸件的凝固组织是凝固成形中的一个基本问题,能随心所欲地获得所希望的组织历来是人们追求的目标之一。但由于铸件组织的表现形式受诸多因素的影响和制约,欲控制凝固组织,就必须对其形成机理、形成过程和影响因素等有全面的了解。通过对控制原理的深入研究,目前已建立了许多控制组织的方法,如孕育、动态结晶、定向凝固等。

铸造缺陷对铸件质量是一个严重的威胁,是造成废品的主要原因。存在于铸件的缺陷五花八门,有内在的缺陷和外观缺陷之分。由于凝固成形时条件的差异,缺陷的种类、存在形态和表现部位不尽相同。金属的液态收缩可形成缩孔、缩松,凝固期间元素在固相和液相中的再分配会造成偏析缺陷,冷却过程中热应力的集中可能会造成铸件裂纹。这些缺陷的成因对所有的铸造合金都相同,关键是在实际凝固成形中如何加以控制,以使铸件缺陷消除或降至最低程度。此外,还有许多缺陷,如夹杂物、气孔、冷隔等出现在填充过程中。它们不仅与合金种类有关,而且还与具体成形工艺有关。总之,在各种凝固成形方法中,如何尽量避免缺陷仍是一个重要的基本问题。

在现代制造业的许多领域,对铸件尺寸精度和外观质量的要求愈来愈高,也正是这种要求促使了近净成形铸造技术的迅猛发展,它改变了铸造只能提供毛坯的传统观念。然而,铸件尺寸精度和表面粗糙度由于受到诸多因素(如铸型尺寸精度及型腔表面粗糙度、液态金属与铸型表面的反应、凝固热应力、凝固收缩等)的影响和制约,控制难度很大,在一种成形方法中很奏效的措施,可能在另一种成形方法中毫无效果。因此,开展这方面的深入研究,以促进近净成品铸造技术的发展也是凝固成形中的一个重要问题。

2. 发展概况

凝固成形技术的发展,不仅推动着传统行业的技术进步,也为高科技产业的发展奠定了基础。从几千年前的铸造技术演变到今天的现代铸造技术或凝固成形技术,这无疑主要归功于金属凝固理论的发展、凝固技术的提高和计算机的应用。

凝固是铸件形成过程的核心,它决定着铸件的组织和缺陷的形成,因而也决定了铸件的性能和质量。近 30 年来,借助于物理、化学、金属学、非平衡热力学与动力学、高等数学和计算数学,从传热、传质和固液界面三个方面进行研究,使金属凝固理论有了很大的发展。这不仅使人们对许多条件下的凝固现象和组织特征有了深入的认识,而且促使了许多凝固技术和铸件凝固成形方法的提出、发展和生产应用。例如,凝固理论已建立了铸件冷却速度和晶粒度以及晶粒度与力学性能之间的一些函数关系,从而为控制铸造工艺参数和铸件力学性能创造了条件。

控制凝固过程已成为开发新型材料和提高铸件质量的重要途径。关于凝固技术的发展,典型的代表就是定向凝固技术、快速凝固技术和复合材料的获得。此外,还有半固态金属铸造成形技术等。

计算机的应用正从各方面推动着铸造业的发展和变革,它不仅可提高生产效率和降低生产成本,而且使过去许多不可能的事情变成了现实,同时又促使了新技术和新工艺的不断出现。从计算机辅助工艺设计到计算机辅助制造(凝固过程的数值模拟和快速样件制造),直至目前广泛研究的计算机组织和性能模拟等,都极大地推动着铸造业的发展。

二、塑性成形的基本问题和发展概况

1. 基本问题

塑性成形属质量不变过程,材料状态一般为固态,主要的基本过程为机械过程——塑性变形,能源类型主要是电能,能量传递介质一般为刚性介质——工模具,形状信息由工模具(含有一定的形状信息量)和工模具与加工材料的相对运动共同产生,性能信息来自材料自身性质和成形过程中的转变特性。这样,尽管塑性成形过程方法多种多样,所要生产的零件或零件毛坯五花八门,都可以从上述的共同特征中引申出一些基本问题 材料的塑性、塑性成形力的评价、加工材料内部场变量的确定和形状信息的准确输入。

材料的塑性是塑性成形的前提条件,塑性好意味着材料塑性成形的适应能力强。如果材料没有塑性,则塑性成形就无从谈起。塑性除与材料自身的性质有关外,还与外部变形条件(变形温度、应变速率和应力状态等)有密切关系。因此,研究材料塑性变形的物理本质和机理、不同变形条件下材料的塑性行为和抗力行为以及塑性变形所引起的组织性能的变化等就很有必要。

塑性成形需要输入能量,即对加工材料施加外力和作功。只有对所需成形力和功的大小做出准确评价,才能正确选用加工设备和设计成形模具,并且通过对成形力的影响因素的分析,为减少成形力和节约能耗提供科学依据,求解所需的成形力,从根本上说就是确定工件内部的应力场,因为应力场的确定,自然包括与工模具接触表面处应力分布的确定,进而就可求得成形力及模壁的压力分布。此外,应力场的确定,对于分析工件内部裂纹的产生和空洞的愈合等也是必不可少的。

材料受到外力的作用而发生塑性流动时,其内部即存在位移场、应变场。这些物理场变量的确定,一方面可以用来分析材料的瞬间流动状态和形状尺寸的变化规律,为合理选择原毛坯、设计中间毛坯及模具型腔形状提供科学依据;另一方面可以分析工件的内部性能,如硬度分布、纤维组织的形成、碳化物和非金属夹杂物的破碎和再结晶晶粒度的变化等。将应力场与应变场相配合,再利用必要的判据则可进一步预测工件内部可能产生的缺陷,从而为控制产品质量提供理论依据。为确定应力场、位移场和应变场,就需要研究塑性成形力学的基本方程和求解方法等。

塑性成形需要输入形状信息,这些信息由含有形状信息量的工模具与加工材料的相对运动共同产生。对于给定的塑性成形件,采用什么工艺方法,形状信息分几个阶段输入,与其对应的模具结构和形状参数如何确定,设备系统如何选择和控制等,都是十分重要的,也是塑性成形需要研究的基本问题。

2. 发展概况

根据加工材料的特点,塑性成形可分为板料成形和体积成形两大类。

对板料成形而言,主要向大批量生产中的高速化、自动化,小批量生产的简易化、通用化和万能化,工艺过程的模拟化和模具设计与制造的计算机化,成形零件的精密化等方向发展。

在大批量生产中,着重向高速化、自动化发展,其主要表现有:

① 发展高速自动压力机。普通压力机的行程一般为每分钟几十次或上百次,而目前发展的高速压力机,小型的其行程高达 $2\,000 \sim 3\,000$ 次/min,中型的也有 $600 \sim 800$ 次/min。这样一台高速压力机,其生产效率相当于 $5 \sim 10$ 台普通压力机,发展高速压力机并不单纯是设备自身的问题,行程次数高不一定生产效率就高。要实现生产高速化还需要解决一系列配套问题,如送料、出料、废料处理、模具寿命及监控保护、减振降噪等。

② 发展多工位压力机。一个板料成形件的生产总是包括多道工序,如落料、拉延、冲孔、翻

边等。一般的方法是由几台设备和几套模具分别完成,而多工位压力机是将多道工序,在压力机的各个工位上由滑块的一次行程同时完成,各工位之间有送料夹钳和机械手传递坯件。在压力机的连续运转下,一次行程即可生产一个板料成形件。这样,一台多工位压力机便可代替几台甚至十几台普通压力机。目前,多工位压力机吨位高达 62 000 kN,它每分钟可生产十几个汽车车身零件。

③ 发展冲压自动线。由多台压力机配上自动装料、送料、出料、传递翻转、监控保护等辅导装置,组成一条冲压自动线。这种冲压自动线在汽车工业中得到普遍应用。例如,日本某株式会社的一条由 6 台压力机组成的汽车车门冲压自动线,每小时可生产汽车车门内板近 800 件,整条自动线由一人管理。又如,电机行业中广泛用冲压自动线生产定子片和转子片。

在小批量生产中多朝简易化、通用化和万能化的方向发展,尽量做到一机多能、一模多用,提高加工的“柔性”。在这方面可有两种基本途径:一是提高设备系统的功能,如多自由度加工机床、快换模系统和数控系统;二是从成形方法和模具着手,如采用单模、(多)点模、自适应软模甚至无模成形等。

板料成形的计算机模拟大多采用有限应变弹塑性有限元法。作为这方面的一个突出成就,是在 20 世纪 80 年代末实现了对汽车覆盖件成形过程的计算机模拟。通过计算机模拟,可以求出成形板坯的位移场、应变场、应力场、成形力,合理的原毛坯形状,预测成形缺陷和成形质量等。模具的加工和装配图样由计算机绘制,代替了手工设计的繁琐劳动。随着 CAD/CAM 一体化的完成,作为模具设计和制造之间的联系手段——图纸,将逐渐失去其作用,由 CAD 系统输出的信息直接输入 CAM 系统,形成数控加工机床所需的信息,从而大大缩短产品的设计和制造周期,显著提高产品的质量。

为了减少后续加工、节约原材料和能源消耗,人们总是希望所加工的产品能最大限度地接近成品零件。在普通冲裁中,冲裁件的尺寸精度和切面表面粗糙度都较差,改用精冲工艺,其切面表面粗糙度 Ra 高达 $0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$,尺寸精度可达 IT8 ~ IT6 级。常用的精冲方法有带齿圈压板精冲、对向凹模冲裁等。板料的超塑性气压成形,可以生产形状复杂、精确的壳体零件,如与扩散连接工艺相结合,还可生产形状复杂的板材结构件,用于航空航天上,使器件重量减轻。又如采用数控弯曲机的非在线控制,可及时补偿回弹,达到精密弯曲的目的。总之,开发新工艺、工艺过程的模拟化、工艺装备的数控化等都有利于提高成形件的精度。

对体积成形而言,根据不同的加工方法,其发展方向可分为自由锻方面、模锻方面和特种成形技术方面。

在自由锻方面,注意力主要集中在大型自由锻上,发展的重点是提高大锻件的质量。所采用的技术措施有:

① 改进冶炼和浇铸技术,以提高钢锭的冶金质量,如采用真空精炼、电渣重熔、真空浇注、循环除气等。

② 改进锻造工艺,如采用“中心压实法”。

③ 发展探伤技术,并用断裂力学原理计算允许的锻件裂纹尺寸或已知裂纹尺寸的安全服役期。

④ 发展锻焊联合工艺,把大锻件分成几块锻制,然后拼焊成一体,或者将几个钢锭用电渣焊焊成一体,再锻成锻件,以解决由于设备容量不断加大所需锻件和钢锭重量也相应加大的矛盾。

⑤ 在水压机自由锻方面采用程控联动快锻,使水压机和操作机的动作,按预先规定的程序相互配合、协调行动,以改善劳动条件、提高生产效率和减少加工余量。

⑥ 对于各种轴类锻件(包括实心轴和空心轴),发展了精密锻轴工艺和相应的具有较高自动化水平的径向锻轴机。

在模锻方面主要有:

① 压力机(曲柄压力机和螺旋压力机)模锻基本取代锤上模锻,因为压力机比模锻锤更适应工艺精化及实现机械化、自动化流水线生产的要求。

② 模锻件的精度不断提高,其重要发展之一是精密模锻。精密模锻的工艺特点是对模锻的各个环节,如下料、毛坯处理、加热、冷却、模具材料和制造精度、模锻设备、工艺润滑等,都提出更加严格的技术要求,因而模锻件的形状尺寸及表面质量远比普通模锻件高。

③ 模锻生产自动化程度日益提高,除了在热模锻压力机上配备机械手实现不同程度的自动化外,还发展了模锻自动线。

④ 模锻过程的计算机模拟和工艺、模具 CAD/CAM。主要采用刚塑性和刚粘塑性有限元法,对于变形-温度和传热的耦合问题还同时采用热传导有限元法。通过数值模拟可确定变形体内部的位移场、温度场、应力场、应变场等,若与材料变形损伤或组织演化进行耦合分析,则可进一步预测工件的裂纹产生和晶粒组织分布,为工艺优化和质量控制提供科学的理论依据。应用反向模拟追踪中间瞬时金属的过渡形状,最终可复原出工件所需的原毛坯或预成形坯的形状尺寸。现代制造业对模锻(包括其他种类的体积成形)工艺设计和模具制造提出更高的要求,传统的手工设计和模具制造方法已无法适应,采用 CAD/CAM 技术成为解决这个矛盾的有效途径。由于模锻的 CAD 只有配合锻模的数控加工才能充分显示其巨大的优越性,而数控加工只有依据 CAD 产生的信息才能发挥其高效率,因此把二者结合起来,形成了计算机辅助设计和辅助制造系统(CAD/CAM 系统)。

常规变形条件下固态金属的成形性能总是不太理想,加之影响金属流动的因素比较复杂、不易控制,因此形状复杂、精细的零件很难锻出;再者,固态金属的变形抗力较大,导致设备吨位增大,模具工作繁重。这些都是传统塑性加工的不利因素,而目前发展的一些特种塑性成形技术,对于克服这些不利因素具有明显的优越性,如超塑性成形、粉末冶金锻造、省力成形和产品—工艺—材料的一体化。

随着人们对客观世界认识的不断加深,改造客观世界的能力也在不断提高。因此,塑性成形方法的更新和技术进步日新月异。

三、焊接成形的基本问题和发展概况

1. 基本问题

焊接成形是利用各种形式的能量使被连接的表面产生原子(分子)间的结合而成为一体的成形加工方法。在焊接成形过程中,包含有热过程、物理化学冶金过程和应力变形过程,这三个过程几乎是同时发生而又相互影响的。

焊接成形方法多种多样(图 1.7),目前已发展了数十种焊接成形过程。按照焊接成形过程的特点,可将焊接成形分为三大类,即熔化焊、固相焊和钎焊。利用焊接成形方法可以将金属与金属、金属与非金属、非金属与非金属连接在一起。

各种类型的焊接成形方法都是为适应生产的需要而发展起来的。随着现代科学技术的发展,原有的焊接成形方法不断改进,而且出现了许多新的焊接成形方法。但不论什么样的焊接成形方法,都会涉及共同性的基本问题:能量输入、清除表面污染、组织性能不均匀、残余应力和残余变形、焊接缺陷及检测、焊接结构的制造问题等。

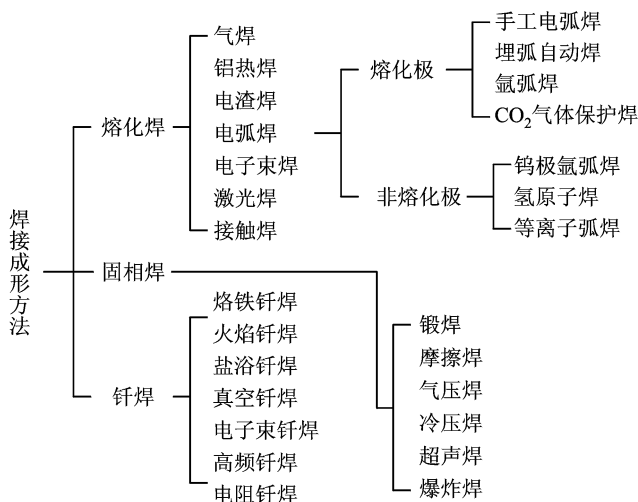


图 1.7 焊接成形方法及其分类

任何一种焊接成形方法都需要向焊接部位提供某种形式的能量,而且几乎所有焊接成形方法都是局部加热。因此,工件上的温度分布是不均匀和不稳定的,焊接热源具有局部性、瞬时性、极高的温度梯度和不均匀的特点。正是由于这些特点,使得焊接过程的分析相当复杂,伴随着焊接的不平衡过程,产生一系列的焊接所独有的问题,如不平衡的焊接物理化学冶金过程、焊接应力和变形等。

两个被焊接的表面只有在不存在氧化物或其它污染的情况下,才能获得满意的焊接接头。虽然在焊接之前进行清理是有益的,但往往是不够的,而每种焊接成形方法均应使污染表层溶解和消散,这可由焊剂的化学反应、电弧飞溅和机械方式来完成。必须从焊接表面清除的三种污染物质为有机薄膜层、吸附的气体和氧化物等。

在熔化焊接过程中,随着热过程的进行,焊接熔池将伴随着极不平衡的各种冶金过程,这些过程不同于炼钢和铸造时的金属熔炼和结晶过程。虽然被焊接材料在成分及性能上已满足了产品的设计和使用要求,但由于焊接接头部位的冶金作用,所形成的焊缝化学成分和组织性能往往同母材金属有相当明显的差别。另外,在焊缝进行冶金过程的同时,焊缝两侧的不同位置也经历着不同的热循环,离焊缝边界越近,其加热的峰值温度越高,而且加热速率和冷却速率也越大。因此,在这些区域事实上进行着一个特殊的热处理过程,整个受热影响的区域会引起组织性能的不均匀变化,进而对整个结构的强度和断裂行为产生显著的影响。

由于焊接过程是一个局部加热过程,其温度分布极端不均匀,这就使得焊接结构存在着很大的残余应力和残余变形。在焊接残余应力的单独或者与其他因素的共同作用下,可能导致焊接结构中局部产生裂纹或改变形状,从而影响结构的承载能力和尺寸精度,焊接残余变形则往往是造成焊接结构尺寸超差的主要因素之一。

在焊接过程中通常会产生诸如裂纹、未焊透、气孔和夹渣等缺陷,这些缺陷往往是焊接结构产生破坏的根源。因此,对焊接缺陷的成因及检测方法的研究仍是焊接成形的基本问题之一。

焊接结构是指以焊接技术为主要连接手段的金属构件。在确保结构部件上焊接接头质量的同时,为了满足加工条件,既要提高生产率,又要通过改善制造时的作业环境以增加安全性。

2. 发展概况

焊接作为材料成形加工的主要手段之一正在向各个领域渗透。焊接技术的发展主要可分为焊接结构、焊接材料、焊接自动化等几个方向。新的焊接结构正在不断出现和完善,并向着大型化和高参数方向发展。焊接结构的工作条件越来越苛刻,要求也越来越严格。如核压力容器壁厚接近 200 mm,又如 50 万吨级的全焊接油轮,长 382 m、宽 168 m、高 27 m,采用低碳钢和普通低合金钢制造,最大钢板厚度达 140 mm。现代焊接结构除尺寸越来越大外,往往还在高温、高压或低温、深冷环境下工作,有的则在冲击条件下使用。

传统的焊接结构通常采用强度低、韧性良好的低碳钢或低合金钢制造。近几年来,随着焊接技术的不断完善,高强度钢在现代焊接结构中也获得了广泛的应用。

数十年来,焊接技术也和其他科学技术一样获得了迅猛的发展。激光焊、电子束焊、等离子弧焊及气体保护焊等焊接方法的出现,以及高质量高性能焊接材料的不断出现和完善,使得几乎所有的工程材料都能实现焊接,而且自动化的焊接生产在许多工业部门已代替了传统的手工焊生产,以电子技术、信息技术及计算机技术的综合应用为标志的焊接机械化、自动化系统,乃至焊接柔性制造系统已成为当今焊接技术的重要特点。

四、表面成形的基本问题和发展概况

1. 基本问题

表面成形是以表面工程技术为基础,在不改变基体组织结构和成分、不降低基体所具备的各种性能的条件下,通过表面涂层技术、表面改性技术及两者的复合技术,来设计零件表面,从而赋予表面具有基体材料本身所不具备的特殊性能及功能,如耐腐蚀、抗氧化、耐磨损、导电、电绝缘性能等。它是以材料表面为核心的成形过程,而且在使用过程中与外界的各种作用也是从表面开始的。

表面成形技术分为表面涂层技术与表面改性技术,由于两者之间有本质上的区别,因而所涉及的基本问题也不相同。

表面涂层技术是在材料表面形成一层与基体材料不同的涂层,只有这一涂层与基体具有足够的结合强度,才能使涂层发挥应有的作用。它的基本问题是涂层与基体的结合和涂层的材料及结构。

人们通过各种表面预处理来获得清洁且具有一定活性的表面,研究各种工艺条件的选择、控制以及不同的涂层组织结构等,以期获得满意的涂层与基体的结合。而涂层的材料直接影响到涂层所具备的各种性能。如何通过合适的工艺来获得所希望的涂层材料及结构,也是涂层技术研究的重要方面。

表面改性技术的基本问题是针对材料的服役条件及损伤机理并结合基体材料,设计所希望的表面组织及结构,针对所希望的表面组织及结构,研究获得这一表面材料的方法。

2. 发展概况

材料表面工程技术作为材料科学的一个重要领域,近 20 年来得到非常迅速的发展,传统的表面技术被革新,新的工艺方法不断发明出来,并在工业生产中广泛应用,使得金属及非金属制品的质量及外观得到大幅度的提高,产生了巨大的经济效益。

以表面渗碳、淬火、电镀等为主的传统表面处理技术,在我国已有相当长的历史。随着真空渗碳、离子氮化、高能密度束流表面强化、渗镀、物理气相及化学气相沉积以及热喷涂等表面涂层技术的发展,使得表面工程技术向着新的多学科性的边缘学科——表面工程学发展。

自从 20 世纪 60 年代发明激光,特别是 70 年代研制出工业化大功率激光器后,人们即开始

了将激光束用于表面改性技术的研究。利用这种具有能量集中的高能束,可以实现局部薄层加热,并靠自激冷却获得快速冷却的效果,因而可实现表面淬火、表面熔融合金化、表面熔化-结晶、表面熔化-微晶或非微晶等过程,使表面层的结构和性能产生很大的变化。

物理气相沉积(PVD)经历了由最初的真空蒸镀到 1963 年离子镀技术的开发应用。20 世纪 70 年代末磁控溅射技术的出现使溅射技术有了新的突破。化学气相沉积(CVD)可以追溯到 19 世纪末,最早是用于高纯度金属的提炼,后来主要用于制造半导体和磁性薄膜,到 20 世纪 50 年代初期才在钢基体上沉积 TiC 作为耐磨涂层使用。但普通 CVD 的化学反应所需温度过高,限制了 CVD 技术的应用。而后相继开发的等离子增强 CVD(PACVD 或 PCVD)技术及激光化学气相沉积(LCVD)技术,由于降低了 CVD 的反应温度,可以使 CVD 在 500 ~ 600 °C 的温度范围内进行,从而推动了 CVD 作为材料表面涂层技术的发展。

20 世纪 40 年代末,由于航空航天工业对高质量涂层的需求以及自熔性合金粉末的研制成功,使热喷涂技术获得了长足的发展。由美国联合碳化钨公司研制成功的爆炸喷涂,为制备优质耐磨涂层提供了方法。随后开发的等离子喷涂技术,使得包括无机陶瓷在内的几乎所有材料都能够被制成涂层供使用。20 世纪 80 年代初开发的超音速火焰喷涂技术,极大地扩大了耐磨硬质合金涂层的应用领域。

第三节 本课程的性质和任务

“材料成形技术基础”是机械工程及自动化专业的一门技术基础课。通过本课程的教学,使学生初步掌握各种材料成形技术的基本原理和工艺方法,并具有一定的综合分析和处理材料成形实际问题的能力,从而在更大的范围内拓宽学生的知识面、开阔视野和激发创造性思维。此外,本课程对于促进学科的交叉也是有好处的。

本课程的任务是:

1. 阐明材料成形所涉及的一些基本理论问题,包括材料成形的热过程、金属的凝固理论、塑性成形的物理和力学基础,以及有关表面成形、粉末冶金和塑料成形的理论基础。
2. 介绍有关凝固成形、塑性成形、焊接成形、表面成形及强化、陶瓷成形与粉末冶金技术、塑料成形等的工艺方法、技术要点和相关工艺装备及模具。