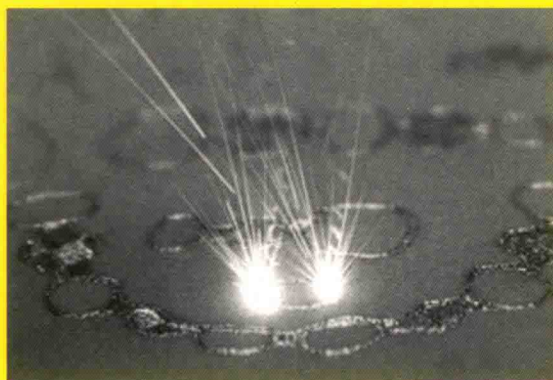


增材制造技术 原理及应用

魏青松 主编
史玉升 主审



科学出版社

增材制造技术原理及应用

魏青松 主编

史玉升 主审

科学出版社

北京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229,010-64034315,13501151303

内 容 简 介

本书首先介绍了增材制造技术概念、发展历程、技术特点、工艺和材料种类以及发展趋势,然后按照工艺分类论述了光固化制造、叠层实体制造、熔融沉积制造、激光选区烧结、激光选区熔化、激光工程净成形、电子束选区熔化、三维喷印等增材制造技术,着重介绍了工艺原理、设备、材料、材料、工艺特点、关键技术及零件性能,论述了增材制造中的数据处理及快速制模技术,最后以系列实验论述相应增材制造技术在各领域的应用。本书内容广泛,专业性突出,剪系统性强,内容新颖,形成了概念、技术细节和综合应用的有机整体。

本书可供高等学校的材料成形及控制工程专业学生使用,也可供非材料专业学生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

增材制造技术原理及应用/魏青松主编. —北京:科学出版社,2017.10
ISBN 978-7-03-053953-3

I. ①增… II. ①魏… III. ①立体印刷—印刷术 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 168323 号

责任编辑:吉正霞 王 晶 / 责任校对:邵 娜

责任印制:彭 超 / 封面设计:苏 波

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16

2017 年 10 月第 一 版 印张:17

2017 年 10 月第一次印刷 字数:396 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《增材制造技术原理及应用》

编 委 会

主 编：魏青松

主 审：史玉升

编 委（以姓氏笔画排序）：

文世峰 史玉升 刘 凯 闫春泽

宋 波 张 升 莫健华 钱 波

鲁中良 魏青松

前 言

增材制造也称为快速成形、快速制造、增量制造等,是近三十年来全球先进制造领域兴起的一项集光、机、电、计算机及新材料于一体的先进制造技术。与切削等材料“去除法”不同,该技术通过将液体、粉末及丝状等离散材料逐层堆积成三维实体,因此被通俗地称为“3D 打印”。该技术发展时间虽短,但其在复杂结构快速制造、个性化定制方面显现出来的优势越来越受到重视。该技术不但改变了传统的加工模式,还是大规模生产向定制化制造转变的有效实现手段之一,因而受到了各国、各行各业的高度重视。但是,该技术发展并不成熟,新工艺、新材料、新装备不断涌现,技术进步速度快,以致至今还没有一本全面、专业、系统的大中专教学用教材。为此,华中科技大学组织了一批国内长期从事增材制造技术研究和教学的科研人员,综合国内外相关研究成果,在多年科研的基础上编写了本教材。

本书的编写思路及特点:以工艺为主线,兼顾材料形态;以典型方法为主,兼顾新工艺导向;侧重基础,着重于工艺原理和关键技术的论述;对于多种工艺方法,做到精选内容,讲透一种,举一反三;以典型案例呈现技术特点,实现基础与实用并重;在概论中着重讲述不同成形工艺的共同点,在实验部分中设计系列实验,形成全书总体概念、技术细节和综合应用有机的整体,达到由浅入深、学以致用教学目的。

全书分为 12 章。第 1 章为概论,简述增材制造技术的概念、发展历程、技术特点、工艺和材料种类及发展趋势;第 2~9 章按工艺分类介绍光固化技术(SLA)、叠层实体制造(LOM)、熔融沉积成形(FDM)、激光选区烧结(SLS)、激光选区熔化(SLM)、激光工程净成形(LENS)、电子束选区熔化(SEBM)、三维喷印(3DP)8 种增材制造技术,重点介绍工艺原理、设备、材料、工艺特点、关键技术及零件性能等内容;第 10 章阐述增材制造中的数据处理;第 11 章讲述基于增材制造技术的快速制模技术;第 12 章设计系列实验,供实践教学参考。

本书由华中科技大学魏青松主编。具体写作分工如下:第 1 章、第 9 章、第 12 章由华中科技大学魏青松编写;第 2 章由华中科技大学莫健华编写;第 3 章、第 10 章由华东理工大学钱波编写;第 4 章由华中科技大学文世峰编写;第 5 章由华中科技大学闫春泽编写;第 6 章由华中科技大学魏青松、宋波编写;第 7 章由西安交通大学鲁中良编写;第 8 章由北京航空制造工程研究所张升编写;第 11 章由武汉理工大学刘凯编写。另外,华中科技大学博士后周燕,研究生韩昌骏、唐萍、李帅、赵晓、朱伟、田乐、王倩、季宪泰、陈鹏等参与了编写工作。本书最后由华中科技大学史玉升教授主审。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,恳请广大读者批评、指正。

编 者
2016 年 12 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 增材制造技术概念	1
1.2 增材制造技术发展历程	2
1.3 增材制造技术特点	3
1.4 增材制造的工艺种类	4
1.5 增材制造使用的材料	5
1.6 增材制造技术的发展趋势	6
第 2 章 光固化制造技术	8
2.1 光固化制造技术发展历史	8
2.2 光固化成形工艺原理	8
2.3 光固化成形材料	9
2.4 光固化成形系统及工艺	15
2.4.1 成形系统的组成及其工艺流程	15
2.4.2 成形过程	17
2.4.3 成形工艺	19
2.4.4 成形时间	20
2.4.5 成形件的后处理	21
2.5 光固化成形精度	22
2.5.1 影响精度的因素	22
2.5.2 衡量精度的标准	25
2.5.3 标准测试件的测量	25
2.5.4 提高精度的方法	26
2.6 光固化成形设备	27
2.7 光固化成形典型应用	30
2.7.1 在珠宝首饰中的应用	30
2.7.2 在生物制造工程和医学中的应用	31
2.7.3 在软模快速制造方面的应用	31
第 3 章 叠层实体制造技术	33
3.1 叠层实体制造技术发展历史	33
3.2 叠层实体制造工艺原理	33

3.3	叠层实体制造成形材料	35
3.4	叠层实体制造设备及核心器件	37
3.5	叠层实体制造工艺参数	41
3.6	叠层实体制造后处理	42
3.7	叠层实体制造工艺特点	43
3.7.1	叠层实体制造技术的特点	43
3.7.2	叠层实体制造成形的精度	45
3.8	叠层实体制造成形效率	46
3.9	叠层实体制造典型应用	47
3.9.1	复杂结构成形	47
3.9.2	产品原型制作	48
3.9.3	工业产品模型	49
3.9.4	工艺品制作	49
3.9.5	铸造木模制作	49
第4章	熔融沉积成形技术	51
4.1	熔融沉积成形技术发展历史	51
4.2	熔融沉积成形工艺原理	52
4.2.1	熔融挤出过程	52
4.2.2	喷头内熔体的热平衡	53
4.2.3	喷头内熔体流动性	54
4.3	熔融沉积成形材料	56
4.3.1	聚合物材料物性分析	57
4.3.2	聚合物材料的热物理性质	58
4.3.3	成形材料的性能要求	59
4.3.4	支撑材料的性能要求	61
4.4	熔融沉积成形系统	62
4.4.1	硬件系统	62
4.4.2	软件系统	68
4.5	熔融沉积成形设备	69
4.5.1	熔融沉积成形设备的组成	69
4.5.2	典型熔融沉积成形设备	70
4.6	熔融沉积成形工艺流程	72
4.6.1	前处理	72
4.6.2	原型制作	72
4.6.3	后处理	73
4.7	熔融沉积成形优缺点	73
4.8	熔融沉积成形误差	74

4.8.1	原理性误差分析	75
4.8.2	工艺性误差分析	77
4.8.3	后期处理误差分析	81
4.9	熔融沉积成形制件力学性能	82
4.10	熔融沉积成形典型应用	83
4.10.1	教育科研	83
4.10.2	建筑行业	84
4.10.3	消费娱乐行业	84
4.10.4	地理信息系统	84
4.10.5	医疗行业	85
4.10.6	工业设计行业	85
4.10.7	配件饰品	86
第5章	激光选区烧结技术	87
5.1	激光选区烧结技术发展历史	87
5.2	激光选区烧结工艺原理	88
5.2.1	激光选区烧结成形原理	88
5.2.2	激光烧结机理	89
5.3	激光选区烧结成形材料	91
5.3.1	粉末特性	91
5.3.2	成形材料分类	92
5.4	激光选区烧结核心器件	95
5.5	激光选区烧结成形设备	97
5.6	激光选区烧结工艺特点	99
5.7	激光选区烧结制件性能	100
5.7.1	高分子尼龙-12/铝复合材料 SLS 制件性能	100
5.7.2	覆膜砂 SLS 制件性能	101
5.7.3	Al ₂ O ₃ 陶瓷 SLS 制件性能	102
5.7.4	金属制件性能	104
5.8	激光选区烧结的典型应用	105
5.8.1	铸造砂型(芯)成形	105
5.8.2	铸造熔模的成形	105
5.8.3	高分子功能零件的成形	106
5.8.4	生物制造	107
第6章	激光选区熔化技术	109
6.1	激光选区熔化技术发展历史	109
6.2	激光选区熔化工艺原理	110

6.2.1	激光能量的传递	110
6.2.2	金属粉末对激光的吸收率	110
6.2.3	熔池动力学	111
6.2.4	熔池稳定性	111
6.3	激光选区熔化成形材料	112
6.3.1	粉末堆积特性	112
6.3.2	粒径分布	113
6.3.3	粉末的流动性	114
6.3.4	粉末的氧含量	114
6.3.5	粉末对激光的吸收率	114
6.4	激光选区熔化核心器件	115
6.4.1	主机	115
6.4.2	激光器	115
6.4.3	光路传输系统	117
6.4.4	控制系统	118
6.4.5	软件系统	118
6.5	激光选区熔化成形设备	119
6.5.1	激光选区熔化成形的设备组成	119
6.5.2	典型 SLM 设备	121
6.6	激光选区熔化成形工艺流程	123
6.6.1	材料准备	123
6.6.2	工作腔准备	124
6.6.3	模型准备	124
6.6.4	零件加工	124
6.6.5	零件后处理	126
6.7	激光选区熔化优缺点	126
6.8	激光选区熔化冶金特点	128
6.8.1	球化	128
6.8.2	孔隙	129
6.8.3	裂纹	129
6.8.4	典型材料的微观特征与力学性能	130
6.9	激光选区熔化的典型应用	132
6.9.1	轻量化结构	132
6.9.2	个性化植入体	134
6.9.3	随形水道模具	135
6.9.4	复杂整体结构	136
6.9.5	免组装结构	137

第 7 章 激光工程净成形技术	140
7.1 激光工程净成形技术发展历史	140
7.2 激光工程净成形的工艺原理	142
7.2.1 粉末熔化和凝固过程	143
7.2.2 熔池特征	144
7.2.3 粉末穿过激光束到达熔覆层表面的状态	145
7.3 激光工程净成形材料	145
7.3.1 粉末粒度	146
7.3.2 粉末流动性	147
7.3.3 成形材料的种类	147
7.4 激光工程净成形的核心器件	147
7.4.1 激光系统——高功率激光器	148
7.4.2 数控系统	150
7.4.3 送粉系统——喷嘴	150
7.4.4 气氛控制系统	152
7.4.5 监测与反馈控制系统	153
7.5 激光工程净成形的设备	153
7.6 激光工程净成形的工艺流程	153
7.6.1 模型准备	154
7.6.2 材料准备	154
7.6.3 送料工艺	154
7.6.4 零件加工	154
7.6.5 零件后处理	155
7.7 激光工程净成形优缺点	155
7.8 激光工程净成形的冶金特点	156
7.8.1 体积收缩过大	157
7.8.2 粉末爆炸迸飞	157
7.8.3 微观裂纹	157
7.8.4 成分偏析	158
7.8.5 残余应力	158
7.9 激光工程净成形典型应用	159
7.9.1 快速模具制造	159
7.9.2 高精复杂零件的快速制造和修复	159
7.9.3 梯度功能材料的设计与制造	160
第 8 章 电子束选区熔化技术	162
8.1 电子束选区熔化技术发展历史	162

8.2	电子束选区熔化技术工艺原理	162
8.3	电子束选区熔化成形材料	163
8.4	电子束选区熔化核心器件	164
8.4.1	电子枪系统	164
8.4.2	真空系统	164
8.4.3	控制系统	164
8.4.4	软件系统	165
8.5	电子束选区熔化的装备	165
8.6	电子束选区熔化的工艺流程	166
8.7	电子束选区熔化的优缺点	167
8.8	电子束选区熔化的冶金特点	167
8.8.1	电子束选区熔化技术的冶金缺陷	167
8.8.2	典型材料的微观特征与力学性能	169
8.9	电子束选区熔化的典型应用	170
第9章	三维喷印技术	172
9.1	三维喷印技术发展历史	172
9.2	三维喷印技术工艺原理	173
9.2.1	液滴对粉末表面的冲击	173
9.2.2	液滴在粉末表面的润湿	174
9.2.3	液滴的毛细渗透	174
9.2.4	液滴对粉末的黏结固化	175
9.3	三维喷印成形材料	175
9.3.1	基体材料	176
9.3.2	黏结材料	178
9.3.3	添加材料	179
9.4	三维喷印核心器件	179
9.4.1	喷头的工作原理和典型结构示意图	179
9.4.2	喷头的工作参数	181
9.5	三维喷印成形设备	182
9.5.1	典型三维喷印设备的组成	182
9.5.2	国外主流三维喷印厂商设备	183
9.5.3	主要工艺参数	183
9.6	三维喷印工艺过程	184
9.6.1	总体规划及黏结方案确定	185
9.6.2	黏结剂设计	186
9.6.3	粉末设计	187
9.6.4	粉液综合实验及工艺参数优化	188

9.6.5	后处理	188
9.7	三维喷印优缺点	189
9.8	三维喷印典型应用	190
9.8.1	原型制作	190
9.8.2	快速制模	190
9.8.3	功能部件制造	191
9.8.4	医学领域	191
9.8.5	制药工程	192
9.8.6	组织工程	192
9.8.7	电子电路制造的应用	192
第 10 章	增材制造数据处理	194
10.1	STL 模型发展历史	194
10.2	STL 模型的文件格式及拓扑优化	194
10.2.1	STL 文件格式	194
10.2.2	STL 文件拓扑关系的建立	196
10.2.3	STL 文件数据的错误修正	198
10.2.4	STL 模型偏置	202
10.2.5	STL 模型镂空	202
10.3	STL 模型切片	204
10.3.1	基于几何拓扑信息的分层切片	204
10.3.2	基于三角形面片位置信息的分层切片	205
10.3.3	基于 STL 网格模型几何连续性的分层切片	205
10.4	填充算法	206
10.4.1	填充的类型及特点	206
10.4.2	填充算法	207
10.5	支撑结构	210
10.5.1	柱状支撑	210
10.5.2	块体支撑	211
10.5.3	网格支撑	211
10.6	AMF 文件格式	213
10.6.1	文件结构	213
10.6.2	几何规范	213
10.6.3	颜色规范	214
10.6.4	纹理映射	214
10.6.5	材料规范	214
10.6.6	打印纹理	214
10.6.7	元数据	214

10.6.8	可选曲线三角形	214
10.6.9	公式	215
10.6.10	压缩	215
10.7	其他数据格式	215
10.7.1	OBJ 文件	215
10.7.2	PLY 文件	216
10.7.3	常见的中间数据格式	216
第 11 章	快速制模技术	218
11.1	快速制模技术发展历史	218
11.2	软模技术	219
11.2.1	硅橡胶模具的特点	219
11.2.2	制造硅橡胶模具工艺	220
11.2.3	硅橡胶模具制作的主要工艺问题	221
11.2.4	硅橡胶模具的应用	222
11.3	过渡模技术	224
11.3.1	铝填充环氧树脂模	224
11.3.2	铸造模技术	226
11.4	硬模技术	230
11.4.1	直接成形金属模具	231
11.4.2	间接方法制作金属模具	234
第 12 章	增材制造实验	240
12.1	飞机发动机模型光固化成形实验	240
12.2	故宫建筑模型叠层实体制造实验	241
12.3	兵马俑模型熔融沉积成形实验	243
12.4	人脸反求工程实验	245
12.5	手机壳软模翻制实验	247
12.6	中国龙铸型激光选区烧结实验	249
12.7	镂空结构金属戒指模型激光选区熔化制造实验	250
12.8	涡轮叶片砂型三维喷印成形实验	252
参考文献		254

第 1 章 概 论

1.1 增材制造技术概念

增材制造(additive manufacturing, AM)属于一种制造技术。它依据三维 CAD 设计数据,采用离散材料(液体、粉末、丝等)逐层累加制造实体零件。相对于传统切削的材料去除和模具成形的材料变形,增材制造是一种“自下而上”材料累加的制造过程,在材料加工方式上有本质区别。

自 20 世纪 80 年代开始,增材制造技术逐步发展,期间也被称为“材料累加制造”(material increase manufacturing)、“快速原型”(rapid prototyping)、“分层制造”(layered manufacturing)、“实体自由制造”(solid free-form fabrication)、“三维喷印”(3D printing)等,在我国大多称之为“快速成形”“快速制造”或“快速成形制造”等,名称各异叫法分别从不同侧面表达了该制造工艺的技术特点。

从加工过程中材料量的变化角度看,制造技术大致可分为以下三种形式:

(1) 材料去除方式,也称为减材制造。一般是指利用刀具或电化学方法,去除毛坯中不需要的材料,剩下的部分即是所需加工的零件或产品。

(2) 材料成形方式,也称为等材制造技术。如铸造、锻压、冲压、注塑等方法,主要是利用模具控形,将液体或固体材料变为所需结构的零件或产品。

(3) 增材制造。它是利用液体、粉末、丝等离散材料,通过某种方式逐层累积制造复杂结构零件或产品的方法。

前两种形式是目前加工制造的最常用工艺,像铸造工艺已有数千年历史。第三种形式至今仅有不到 30 年的发展历程。

增材制造具有明显的数字化特征,集新材料、光学、高能束、计算机软件、控制等技术于一体。其工作过程可以划分为两个阶段:

(1) 数据处理过程。对计算机辅助设计的三维 CAD 模型进行分层“切片”处理,将三维 CAD 数据分解为若干二维轮廓数据。

(2) 叠层制作过程。依据分层的二维数据,采用某种工艺制作与数据分层厚度相同的薄片实体,每层薄片“自下而上”叠加起来,构成了三维实体,实现了从二维薄层到三维实体的制造。从工艺原理上来看,数据从三维到二维是一个“微分”过程,依据二维数据制作二维薄层然后叠加成“三维”实体的过程则是一个“积分”过程。该过程将三维复杂结构降为二维结构,降低了制造难度,在制造复杂结构(如栅格、内流道等)方面较传统方法具有突出优势。该分层制造思想相对于传统“减材制造”模式是一个变革。该思想很早就有,但只是在近 30 年数字化设计和制造技术不断发展的基础上才转变为自动化设备,并形成了增材制造技术。

采用增材制造技术,人们可以发挥最大自由度的想象力,创造各种各样的成形方法。

例如,采用光化学反应原理,研制出了光固化成形方法;利用叠纸切割的物理方法,研制出了叠层实体制造方法;利用喷胶黏接方法,研制出了三维喷印成形方法;利用金属熔焊原理,研制出了金属熔覆成形方法等。多种实现工艺方法表明,增材制造技术已经从传统制造技术向多学科融合发展,物理、化学、生物和材料等新技术的发展给增材制造技术的提升带来了新的生命力。增材制造给制造技术带来了巨大的变革,更为重要的是这一工业化设备逐步走向生活,演变成办公和家庭等个人消费型产品,使得创造更加容易,加强了人们创新的积极性,增添了创新的乐趣。

1.2 增材制造技术发展历程

1. 增材制造技术在国外的概况

第一阶段,思想萌芽。增材制造技术的核心思想最早起源于美国。早在1892年,美国 Blather 在其专利中提出了利用分层制造法制作地形图。1902年,美国 Carlo Baese 在—项专利中提出了用光敏聚合物分层制造塑料件的原理。1940年,Perera 提出了切割硬纸板并逐层黏接成三维地图的方法。直到20世纪80年代中后期,增材制造技术开始了根本性发展,出现了一大批专利,仅在1986~1998年间注册的美国专利就达20多项。但这期间增材制造仅仅停留在设想阶段,大多还是一个概念,并没有付诸实际。

第二阶段,技术诞生。标志性成果是5种常规增材制造技术的发明。1986年,美国 Uvp 公司 Charles W. Hull 发明了光固化(stereo-lithography apparatus,SLA)技术;1988年,美国 Feygin 发明了叠层实体制造(laminated object manufacturing,LOM)技术;1989年,美国得克萨斯大学 Deckard 发明了粉末激光选区烧结技术(selective laser sintering, SLS);1992年,美国 Stratasys 公司 Crump 发明了熔融沉积成形(fused deposition modeling, FDM)技术;1993年,美国麻省理工大学 Sachs 发明了三维喷印技术(three-dimensional printing, 3DP)。

第三阶段,设备推出。1988年,美国 3D Systems 公司根据 Hull 的专利,制造了第一台增材制造设备 SLA250,开创了增材制造技术发展的新纪元。在此后的10年中,增材制造技术蓬勃发展,涌现出了十余种新工艺和相应的成形设备。1991年,美国 Stratasys 公司的 FDM 设备、Cubital 公司的实体平面固化(solid ground curing,SGC)设备和 Helisys 公司的 LOM 设备都实现了商业化。1992年,美国 DTM 公司(现属于 3D Systems 公司)的 SLS 设备研发成功。1994年,德国 EOS 公司推出了 EOSINT 型 SLS 设备。1996年,3D Systems 使用三维喷印技术,制造了第一台 3DP 设备 Actua2100。同年,美国 Zcorp 公司也发布了 Z402 型 3DP 设备。总体上,美国在增材制造设备研制和生产销售方面占全球的主导地位,其发展水平及趋势基本代表了世界增材制造技术的发展历程。另外,欧洲和日本也不甘落后,纷纷进行了相关技术研究和设备研发。

第四阶段,大范围应用。随着工艺、材料和设备的日益成熟,增材制造技术的应用范围由模型和原型制作进入产品快速制造阶段。早期增材制造技术受限于材料种类和工艺水平的限制,主要应用于模型和原型制作,如制作新型手机外壳模型等,因而习惯称之为快速原型技术(rapid prototyping,RP)。

以上述5种常规增材制造技术为代表的早期增材制造可被称为经典增材制造技术。

新兴增材制造技术则强调直接制造为人所用的功能制件及零件,如金属结构件、高强度塑料零件、高温陶瓷部件及金属模具等。高性能金属零件的直接制造是增材制造技术由“快速原型”向“快速制造”转变的重要标志之一。2002年,德国成功研制了激光选区熔化(selective laser melting, SLM)设备,可成形接近全致密的精细金属零件和模具,其性能可达到同质锻件水平。同时,电子束熔化(electronic beam melting, EBM)、激光工程净成形(laser engineering net shaping, LENS)等金属直接制造技术与设备涌现出来。这些技术面向航空航天、生物医疗和模具等高端制造领域,直接成形复杂和高性能的金属零部件,解决一些传统制造工艺面临的结构和材料难加工甚至是无法加工等制造难题,因此增材制造技术的应用范围越来越广泛。

2. 增材制造技术在我国的发展概况

自20世纪90年代初开始,以西安交通大学、清华大学、华中科技大学和北京隆源公司几家单位为代表,在国内率先开展增材制造技术的研究与开发。西安交通大学重点研究SLA技术,并开展了增材制造生物组织和陶瓷材料方面的应用研究;清华大学开展了FDM、EBM和生物3DP技术的研究;华中科技大学开展了LOM、SLS、SLM等增材制造技术的研究;北京隆源公司重点研发和销售SLS设备。随后又有一批高校和研究机构参与到该项技术的研究之中。北京航空航天大学 and 西北工业大学开展了LENS技术研究,中航工业北京航空制造工程研究所和西北有色金属研究院开展了EBM技术的研究,华南理工大学、南京航空航天大学开展了SLM技术的研究等。国内高校和企业通过科研开发和设备产业化改变了该类设备早期依赖进口的局面,通过近二十多年的应用研发与推广,在全国建立了数十个增材制造服务中心,用户遍布航空航天、生物医疗、汽车、军工、模具、电子电器及造船等行业,推动了我国制造技术的发展和传统产业升级。

1.3 增材制造技术特点

1. 适合复杂结构的快速制造

与传统机加工和模具成形等工艺相比,增材制造将三维实体加工变为若干二维平面加工,大大降低了制造的复杂度。从原理而言,只要在计算机上设计出结构模型,就可以应用该技术在无须刀具、模具及复杂工艺条件下快速地将“设计”变为“现实”。制造过程几乎与零件的结构复杂度无关,可实现“自由制造”,这是传统加工无法比拟的。应用增材制造可制造出传统方法难加工(如自由曲面叶片、复杂内流道等)甚至是无法加工(如内部镂空结构,如图1.1所示)的非规则结构;可实现零件结构的复杂化、整体化和轻量化制造,尤其是在航空航天、生物医疗及模具制造等领域具有广阔的应用前景。

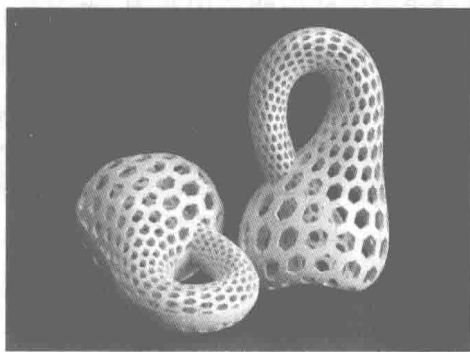


图 1.1 增材制造的复杂镂空结构件

2. 适合个性化定制

与传统大规模批量生产需要大量工艺技术准备和工装、设备等制造资源相比,增材制造在快速生产和灵活性方面极具优势。从设计到制造,中间环节少、工艺流程短,特别适合于珠宝、人体器官、文化创意等个性化定制、小批量生产以及产品定型之前的验证性制造,可极大降低加工成本和周期。

3. 适合于高附加值产品的制造

增材制造的诞生仅 30 多年的时间,相比于传统制造技术非常年轻和不成熟。现有大多数增材制造工艺的加工速率较低(主要指单位时间内制造的体积或重量)、零件加工尺寸受限(最大约为 2 m 左右)、材料种类有限;主要应用于成形单件、小批量和常规尺寸制造,在大规模生产、大尺寸和微纳尺度制造等方面不具备优势。因此,增材制造技术适合应用于航空航天、生物医疗以及珠宝等高附加值产品的制造,且主要用于大规模生产前的研发与设计验证以及个性化制造。

4. 面临技术成熟度低、材料种类有限和应用范围小等局限

增材制造是一项以三维 CAD 模型为加工数据并由计算机控制,集数字化设计和数字化制造于一体的先进制造技术。但截至目前,增材制造比传统机加工、铸、锻、焊以及模具工艺的技术成熟度低,与大范围应用尚有一定差距。材料的适用范围比较少,制件的精度相对较低。目前来看,短时间内增材制造难以替代传统制造工艺,而是传统技术的一个发展和补充。增材制造的应用还面临着稳定性差、成本高等问题,而这些问题会随着研究和工程应用的深入而不断解决。

1.4 增材制造的工艺种类

增材制造综合了材料、机械、计算机等多学科知识,属于一种多学科交叉的先进制造技术。美国试验与材料协会(American Society for Testing and Materials, ASTM)F42 增材制造技术委员会按照材料堆积方式,将增材制造技术分为表 1.1 所示的 6 大类。每种工艺技术都有特定的应用范围,大多数工艺可用于模型制造,部分工艺可用于高性能塑料、金属零部件的直接制造以及受损部位的修复。

表 1.1 增材制造的工艺类型及特点

工艺方法	代表性公司	材料	用途
SLA	3D Systems(美国)	光敏聚合物	模型制造、零部件直接制造
三维喷印	Objet(以色列)	聚合物	模型制造、零部件直接制造
	3D Systems(美国)	聚合物、砂、陶瓷、金属	模型制造
FDM	Stratasys(美国)	聚合物	模型制造、零部件直接制造