

面向新工科机械专业系列教材



“十三五”江苏省高等学校重点教材

3D 打印成型工艺 及材料



主 编 吴国庆

高等教育出版社

面向新工科机械专业系列教材



“十三五”江苏省高等学校重点教材
(2018-2-081)

3D 打印成型工艺 及材料

主 编 吴国庆

副主编 顾 海 李 彬 姜 杰

高等教育出版社·北京

http://www.hep.com.cn/1250281

内容提要

3D 打印又称为增材制造,是具有划时代意义的新技术。本书共分 10 章,主要介绍 3D 打印技术的基本概况,对光固化成型工艺、选区激光烧结工艺、选区激光熔化工艺、熔融沉积成型工艺、三维印刷成型工艺、分层实体制造工艺、生物打印工艺等七种成型技术的基本原理、系统组成、主要特点、成型材料及应用等内容进行论述,并简单介绍形状沉积制造工艺、电子束熔化成型工艺、激光近净成型工艺等其他三种成型技术和典型的 3D 打印综合实例。

本书可作为高等学校机械、机电、汽车、材料成型、艺术设计及生物学等领域相关专业的本科生教材或参考书,也可供相关工程技术人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

3D 打印成型工艺及材料 / 吴国庆主编. --北京 :
高等教育出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-04-050964-9

I. ①3… II. ①吴… III. ①立体印刷-成型加工-
高等学校-教材 ②立体印刷-印刷材料-高等学校-教材
IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 258270 号

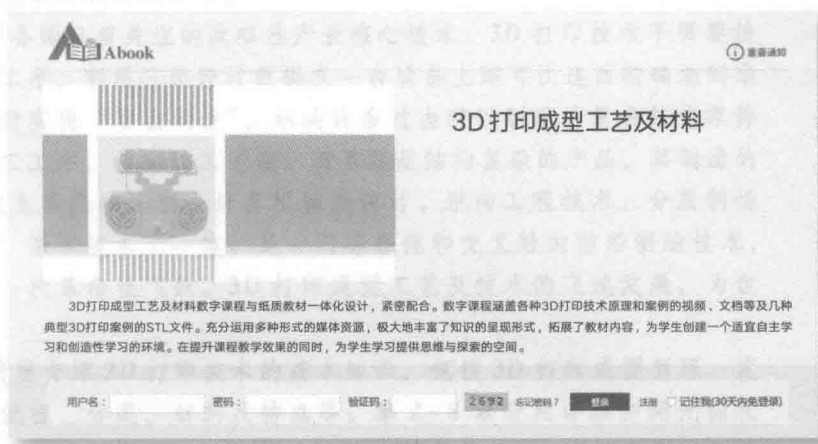
策划编辑 薛立华 责任编辑 薛立华 封面设计 王 鹏 版式设计 马云
插图绘制 于 博 责任校对 陈 杨 责任印制 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	三河市华骏印务包装有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	17.5	版 次	2018 年 12 月第 1 版
字 数	420 千字	印 次	2018 年 12 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	35.20 元
咨询电话	400-810-0598		

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 50964-00

3D 打印 成型工艺 及材料

- 1 计算机访问 <http://abook.hep.com.cn/1256281>，或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录，进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号（20 位密码，刮开涂层可见），或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码，完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮，开始本数字课程的学习。



如有使用问题，请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1256281>

前 言

3D 打印又称为增材制造,也称为材料累加制造、快速成型等,是指通过材料逐层增加的方式将数字模型制造成三维实体物件的过程。2012 年 4 月,英国著名经济学杂志《The Economist》发表封面文章《The Third Industrial Revolution》,认为 3D 打印将与其他数字化生产模式一起推动实现第三次工业革命。

3D 打印技术正成为世界各国日益关注的战略性产业核心技术。3D 打印技术不需要传统的刀具、夹具及多道工序,利用三维设计数据在一台设备上即可快速而精确地制造出任意复杂形状的零件,从而实现“自由制造”,解决许多过去难以制造的复杂结构零件的成型难题,可大大减少加工工序、缩短加工周期。而且越是结构复杂的产品,其制造的速度优势越显著。3D 打印技术集机械工程、计算机辅助设计、逆向工程技术、分层制造技术、数控技术、材料科学、激光技术于一体,是一门综合性和交叉性的前沿制造技术,是制造技术在制造理念上的一次革命性飞跃。3D 打印成型工艺及技术的飞速发展,为世界带来了颠覆性的变革。

本书共 10 章。第 1 章简要介绍 3D 打印技术的基本知识,包括 3D 打印成型原理、定义、国内外发展历程、基本流程、分类、材料及特点等;第 2~8 章分别详细介绍光固化成型工艺、选区激光烧结工艺、选区激光熔化工艺、熔融沉积成型工艺、三维印刷成型工艺、分层实体制造工艺、生物打印工艺等七种成型技术的研究与发展概述、基本原理、特点、工艺过程、系统组成、成型材料、成型质量影响因素及应用等;第 9 章简单介绍形状沉积制造工艺、电子束熔化成型工艺、激光近净成型工艺等其他三种新的成型技术;第 10 章介绍工业应用广泛的光固化成型工艺、选区激光烧结工艺、选区激光熔化工艺、熔融沉积成型工艺及三维印刷成型工艺的产品制造实例。

本书由南通理工学院吴国庆负责总体规划、审核统稿并担任主编,顾海、李彬、姜杰担任副主编。具体的编写分工如下:吴国庆负责编写第 1 章,姜杰负责编写第 2、8 章,张捷负责编写第 3、4 章,李彬负责编写第 5、9 章,顾海负责编写第 6、10 章,曹赛男负责编写第 7 章。

3D 打印技术涉及的学科和知识面广泛,远非作者的知识、能力和经验所及,在本书的编写过程中,编者参考了大量的文献,并结合自身的科研经历,引用了经过消化的许多专家和学者的创新思想、精辟理论和出色应用。在此向有关文献资料的原作者一并表示感谢!

在本书的编写过程中,南通理工学院和江苏省 3D 打印装备及应用技术重点建设实验室的黄天成、朱长永、缪亚东、芦欣、刘金金、陈保焯等给予了许多无私帮助与支持,他们做了大量的资料查阅、汇总及实例整理等工作。在此对他们表示衷心的感谢。

本书为“十三五”江苏省高等学校重点教材(项目编号:2018-2-081)和江苏高校

品牌专业建设工程资助项目 (PPZY2015C251) 成果, 同时得到了江苏省重点建设学科 (苏教研 [2016] 9 号)、江苏省高校自然科学研究重大项目 (18KJA460006)、江苏省高校自然科学研究项目 (18KJB460023、18KJD430006)、南通市科技计划项目 (CP12016002、GY12017022) 等的支持。

限于编者的水平和时间, 书中不足之处在所难免, 恳请读者批评指正。

编者

2018 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 3D 打印的发展历程	2
1.1.1 国外发展历程	2
1.1.2 国内发展历程	3
1.2 3D 打印基本原理与流程	4
1.2.1 基本原理	4
1.2.2 基本流程	5
1.3 3D 打印技术的分类	7
1.3.1 按成型工艺分类	7
1.3.2 按加工材料分类	9
1.4 3D 打印材料	10
1.5 3D 打印的数据建模与处理	11
1.5.1 三维建模方法	11
1.5.2 STL 数据和文件输出	12
1.6 3D 打印的优势与局限	13
1.6.1 3D 打印的优势	13
1.6.2 3D 打印的局限	14
思考与练习	15
第 2 章 光固化成型工艺及材料	16
2.1 概述	16
2.2 成型原理及工艺	17
2.2.1 成型原理	17
2.2.2 成型工艺	19
2.2.3 工艺特点	24
2.3 成型系统	24
2.3.1 SLA 成型系统	24
2.3.2 DLP 成型系统	32

2.3.3 PolyJet 成型系统	33
2.4 成型材料	34
2.4.1 光敏树脂的性能要求	34
2.4.2 光敏树脂的组成	35
2.4.3 光敏树脂的分类	36
2.5 成型影响因素	38
2.5.1 原理性误差	39
2.5.2 工艺性误差	41
2.5.3 后处理误差	44
2.6 典型应用	44
思考与练习	47
第3章 选区激光烧结工艺及材料	48
3.1 概述	48
3.2 成型原理及工艺	49
3.2.1 成型原理	49
3.2.2 成型工艺	51
3.2.3 工艺特点	52
3.3 成型系统	53
3.3.1 光学扫描系统	53
3.3.2 供粉及铺粉系统	55
3.4 成型材料	56
3.4.1 粉末特性	56
3.4.2 成型材料分类	58
3.5 成型影响因素	61
3.5.1 原理性误差	61
3.5.2 工艺性误差	63
3.5.3 制件缺陷及改进措施	66
3.6 典型应用	67
思考与练习	68
第4章 选区激光熔化工艺及材料	69
4.1 概述	69
4.2 成型原理及工艺	70
4.2.1 成型原理	70
4.2.2 成型工艺	71

4.2.3	工艺特点	72
4.3	成型系统	73
4.3.1	主机	73
4.3.2	激光器	73
4.3.3	光路传输系统	74
4.4	成型材料	76
4.4.1	粉末材料分类	76
4.4.2	金属粉末材料特性	76
4.4.3	常用的金属粉末材料	79
4.5	成型影响因素	80
4.5.1	原理性误差	80
4.5.2	工艺性误差	81
4.6	典型应用	83
	思考与练习	85
第5章 熔融沉积成型工艺及材料		86
5.1	概述	86
5.2	成型原理及工艺	87
5.2.1	成型原理	87
5.2.2	成型工艺	91
5.2.3	工艺特点	93
5.3	成型系统	94
5.3.1	机械系统	95
5.3.2	控制系统	101
5.4	成型材料	103
5.4.1	成型材料	104
5.4.2	支撑材料	111
5.5	成型影响因素	112
5.5.1	原理性误差	113
5.5.2	工艺性误差	116
5.5.3	后处理误差	121
5.6	典型应用	121
	思考与练习	124
第6章 三维印刷成型工艺及材料		125
6.1	概述	125

6.2 成型原理及工艺	126
6.2.1 成型原理	126
6.2.2 成型工艺	127
6.2.3 工艺特点	128
6.3 成型系统	128
6.3.1 喷墨系统	129
6.3.2 X-Y-Z 运动系统	131
6.3.3 其他部件	132
6.4 成型材料	132
6.4.1 粉末材料	132
6.4.2 粘结剂	136
6.5 成型影响因素	136
6.6 典型应用	138
思考与练习	141
第7章 分层实体制造工艺及材料	142
7.1 概述	142
7.2 成型原理及工艺	143
7.2.1 成型原理	143
7.2.2 成型工艺	144
7.2.3 工艺特点	147
7.3 成型系统	148
7.3.1 切割系统	148
7.3.2 升降系统	153
7.3.3 加热系统	153
7.3.4 原料供应与回收系统	157
7.4 成型材料	159
7.4.1 薄层材料	159
7.4.2 热熔胶	161
7.4.3 涂布工艺	161
7.5 成型影响因素	162
7.5.1 原理性误差	162
7.5.2 工艺性误差	164
7.6 典型应用	169
思考与练习	171
第8章 生物打印工艺及材料	172
8.1 概述	172

8.2 成型原理及工艺	174
8.2.1 激光生物打印	175
8.2.2 喷墨生物打印	175
8.2.3 挤出沉积生物打印	177
8.3 成型材料	178
8.3.1 生物打印材料性能要求	178
8.3.2 常用的生物打印材料	180
8.3.3 生物打印中水凝胶的重要特性	183
8.4 典型应用	185
思考与练习	195
第9章 其他成型工艺及材料	196
9.1 形状沉积制造工艺及材料	196
9.1.1 概述	196
9.1.2 成型原理及工艺	196
9.1.3 成型系统	199
9.1.4 成型材料	201
9.1.5 成型影响因素	202
9.1.6 典型应用	203
9.2 电子束熔化成型工艺及材料	204
9.2.1 概述	204
9.2.2 成型原理及工艺	205
9.2.3 成型系统	207
9.2.4 成型材料	209
9.2.5 成型影响因素	210
9.2.6 典型应用	210
9.3 激光近净成型工艺及材料	212
9.3.1 概述	212
9.3.2 成型原理及工艺	213
9.3.3 成型系统	218
9.3.4 成型材料	219
9.3.5 成型影响因素	220
9.3.6 典型应用	222
思考与练习	223
第10章 3D 打印综合实例	224
10.1 光固化成型综合实例	224

10.1.1	案例分析	224
10.1.2	成型设备	225
10.1.3	3D 打印	227
10.2	选区激光烧结综合实例	232
10.2.1	案例分析	232
10.2.2	成型设备	233
10.2.3	3D 打印	234
10.3	选区激光熔化综合实例	239
10.3.1	案例分析	239
10.3.2	成型设备	239
10.3.3	3D 打印	240
10.4	熔融沉积成型综合实例	247
10.4.1	案例分析	247
10.4.2	成型设备	248
10.4.3	3D 打印	248
10.5	三维印刷成型综合实例	253
10.5.1	案例分析	253
10.5.2	成型设备	253
10.5.3	3D 打印	254
	思考与练习	260
	参考文献	262

第1章 绪论

制造技术从制造原理上可以分为三类：第一类技术为等材制造，是在制造过程中，材料仅发生了形状的变化，其质量基本上没有发生变化；第二类技术为减材制造，是在制造过程中，材料不断减少；第三类技术为增材制造，即3D打印，是在制造过程中，材料不断增加。等材制造技术已经发展了几千年，减材制造技术发展了几百年，而增材制造技术的发展史仅仅是30年左右。

3D打印是20世纪80年代中期发展起来的一种高、新技术，是造型技术和制造技术的一次飞跃，它从成型原理上提出一个分层制造、逐层叠加成型的全新思维模式，即将计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机数字控制（CNC）、激光、精密伺服驱动和新材料等先进技术集于一体，依据计算机上构成的工件三维设计模型，对其进行分层切片，得到各层截面的二维轮廓信息，3D打印设备的成型头按照这些轮廓信息在控制系统的控制下，选择性地固化或切割一层层的成型材料，形成各个截面轮廓，并逐步顺序叠加成三维工件。

3D打印技术是通过CAD设计数据采用材料逐层累加的方法制造实体零件的技术，相对于传统的材料去除加工技术，是一种“自下而上”的材料累加的制造方法。自20世纪80年代末3D打印技术逐步发展，期间也被称为材料累加制造（Material Increase Manufacturing）、快速成型（Rapid Prototyping）、分层制造（Layered Manufacturing）、实体自由制造（Solid Freeform Fabrication）和增材制造（Additive Manufacturing）等。名称各异叫法分别从不同侧面表达了该制造技术的特点。

美国材料与试验协会（American Society for Testing and Materials, ASTM）F42国际委员会将3D打印定义为“Process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies”，即一种利用三维模型数据通过连接材料获得实体的工艺，通常为逐层叠加，是与去除材料的制造方法截然不同的工艺。目前，3D打印已发展了许多成型工艺，包括光固化成型、选区激光烧结、选区激光熔化、分层实体制造、三维印刷成型和熔融沉积制造等。

从广义的原理来看，以设计数据为基础，将材料（包括液体、粉材、线材或块材等）自动化地累加起来成为实体结构的制造方法，都可视为增材制造技术。增材制造技术不需要传统的刀具、夹具及多道加工工序，利用三维设计数据在一台设备上可快速而精确地制造出任意复杂形状的零件，从而实现“自由制造”，解决许多过去难以制造的复杂结构零件的成型，并大大减少了加工工序，缩短了加工周期。而且越是复杂结构的产品，其制造的速度优势越显著。3D打印成型工艺及技术的飞速发展，为世界带来了颠覆性的变革。



1.1 3D 打印的发展历程

1.1.1 国外发展历程

1892—1988 年属于初期阶段。从历史上看,首次提出层叠成型方法的是 J. E. Blanthier。1982 年,他在其美国专利 (#473901) 中曾建议用分层制造的方法来构成地形图。该方法的原理是:将地形图的轮廓线压印在一系列的蜡片上,然后按照轮廓线切割各蜡片,并将切割后的蜡片粘结在一起,熨平表面,从而得到对应的三维地形图。

1902 年, Carlo Baese 在他的美国专利 (#774549) 中提出了一种用光敏聚合物来制造塑料件的原理,这是现代第一种 3D 打印技术——光固化成型 (Stereolithography, SL) 的最初设想。直到 1982 年, Charles W. Hull 将光学技术应用于快速成型领域,并在 UVP Veltopak 公司的资助下,完成了第一个 3D 打印系统光固化成型系统 (Stereo Lithography Apparatus, SLA)。该系统于 1986 年获得专利,是 3D 打印发展历程中的一个里程碑。同年, Charles 成立了 3D Systems 公司,研发了著名的 STL 文件格式,STL 格式逐渐成为 CAD/CAM 系统接口文件格式的工业标准。1988 年,3D Systems 公司推出了世界上第一台基于 SL 技术的商用 3D 打印机 SLA-250,其体积非常大,Charles 把它称为“立体平板印刷机”。尽管 SLA-250 身形巨大且价格高昂,但它的面世标志着 3D 打印商业化的起步。

自 20 世纪 50 年代起,世界上就先后涌现了几百种 3D 打印成型工艺及技术。包括但不限于以下几种:Michael Feygin 于 1984 年发明了叠层实体制造 (Laminated Object Manufacturing, LOM) 技术,Helisys 于 1991 年推出第一台 LOM 系统;Scott Crump 于 1988 年发明了熔融沉积制造 (Fused Deposition Modeling, FDM) 技术,并于 1989 年成立了 Stratasys 公司,三年后推出了第一台基于 FDM 技术的 3D 工业级打印机;C. R. Dechard 于 1989 年发明了选区激光烧结 (Selective Laser Sintering, SLS) 技术,DTM 公司于 1992 年推出了首台 SLS 打印机;美国麻省理工学院 (MIT) 的 Emanuel Sachs 于 1993 年发明了三维印刷 (Three Dimensional Printing, 3DP) 技术,Z Corporation 于 1995 年获得 MIT 的许可,并开始开发基于 3DP 技术的打印机。需要注意的是,MIT 发明的三维打印技术只是“3D 打印”众多成型技术中的一种而已。通常所说的“3D 打印”并非特指 MIT 的这项三维打印技术。

除了新工艺的提出,3D 打印新技术也得到了快速发展。例如:2000 年,Objet 公司更新 SLA 技术,使用紫外线光感和液滴综合技术,大幅提高制造精度;2005 年,Z Corporation 推出世界上第一台高精度彩色 3D 打印机 Spectrum Z510,让 3D 打印走进了彩色时代;2008 年,Objet 公司推出 Connex 500,它是有史以来第一台能够同时使用几种不同的打印原料的 3D 打印机;2009 年,澳大利亚 Invetech 公司和美国 Organovo 公司研制出全球首台商业化 3D 生物打印机,并打印出第一条血管;2009 年,Bre Pettis 带领团队创立了著名的桌面级 3D 打印机公司 MakerBot, MakerBot 打印机源自于 RepRap 开源项目。

MakerBot 出售 DIY 套件, 购买者可自行组装 3D 打印机等。这些技术创新使 3D 打印越来越贴近人们的生活, 并对许多产业产生深远甚至颠覆性的影响。2012 年 4 月, 英国著名经济学杂志《The Economist》发表的封面文章《The Third Industrial Revolution》, 认为 3D 打印将与其他数字化生产模式一起推动实现第三次工业革命。

2012 年, 美国《时代》周刊已将 3D 打印产业列为“美国十大增长最快的工业”。据 3D 打印领域的年度权威报告 Wohlers Report 2018, 2017 年全球 3D 打印产业增长了 21%, 达 73.36 亿美元, 其中金属 3D 打印尤其突出。根据报告显示, 2017 年销售约 1768 套金属 3D 打印系统, 而 2016 年仅为 983 套, 增幅近 80%, 如图 1-1 所示。

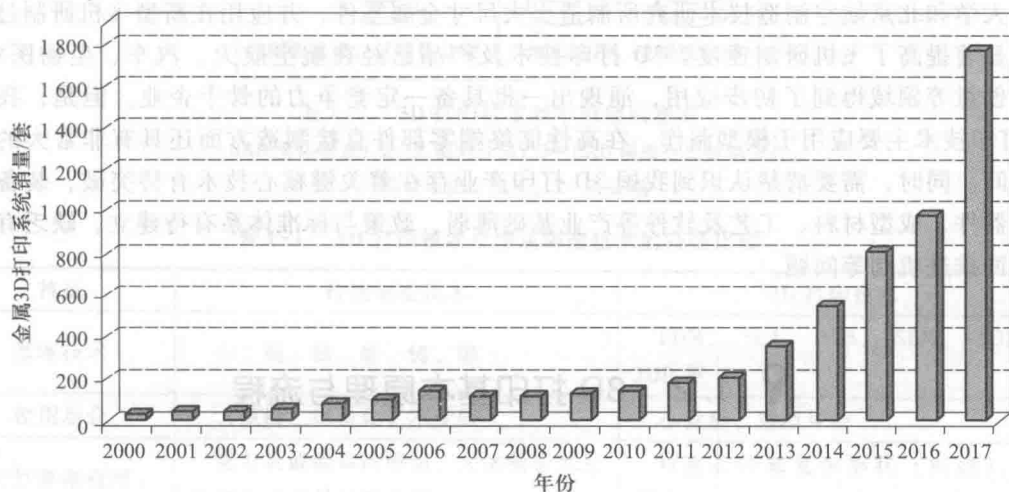


图 1-1 金属 3D 打印系统销售趋势图

从国际市场来看, 3D 打印成型市场本身已进入商业化阶段, 出现了多种成型工艺及相应的软件、设备及企业, 如美国的 3D Systems、Stratasys, 德国的 EOS 公司, 以色列的 Objet 公司 (已与 Stratasys 公司合并), 瑞典的 Arcam 公司, 比利时的 Materialise 公司等。

1.1.2 国内发展历程

3D 打印进入我国后, 也得到了各级政府部门的关注与投入。我国自 20 世纪 90 年代初, 在科技部等多部门持续支持下, 西安交通大学、华中科技大学、清华大学、北京隆源自动成型系统有限公司等在典型的成型设备、软件、材料等方面的研究及其产业化方面获得了重大进展。随后国内许多高校和研究机构也开展了相关研究, 如西北工业大学、北京航空航天大学、华南理工大学、南京航空航天大学、上海交通大学、大连理工大学、中北大学、中国工程物理研究院等单位都在做探索性的研究和应用工作。

1995 年, 3D 打印技术被列为我国未来十年十大模具工业发展方向之一, 国内的自然科学学科发展战略调研报告也将 3D 打印技术研究列为重点研究领域之一。2012 年 10 月, 由亚洲制造业协会联合华中科技大学、北京航空航天大学、清华大学等权威科研机构 and 3D 行业领先企业共同发起的中国 3D 打印技术产业联盟正式宣告成立。2012 年 11 月, 中国宣布是世界上唯一掌握大型结构关键件激光成型技术的国家。

2015年2月,国家工信部、发改委和财政部联合发布了《国家增材制造(3D打印)产业发展推进计划(2015—2016年)》,要求把培育和发展3D打印产业作为推进制造业转型升级的一项重要任务,这将带来我国3D打印行业的快速发展。2017年11月,国家工信部、发改委、教育部、财政部等十二部委继续联合发布了《增材制造产业发展行动计划(2017—2020年)》,助推3D打印产业发展上升到国家高度,3D打印产业已成为“中国制造2025”的发展重点。

经过多年的发展,我国3D打印技术与世界先进水平基本同步,在高性能复杂大型金属承力构件增材制造等部分技术领域已达到国际先进水平,例如北京航空航天大学、西北工业大学和北京航空制造技术研究所制造出大尺寸金属零件,并应用在新型飞机研制过程中,显著提高了飞机研制速度。3D打印技术及产品已经在航空航天、汽车、生物医药、文化创意等领域得到了初步应用,涌现出一批具有一定竞争力的骨干企业。但是,我国3D打印技术主要应用于模型制作,在高性能终端零部件直接制造方面还具有非常大的提升空间。同时,需要清楚认识到我国3D打印产业存在着关键核心技术有待突破,装备及核心器件、成型材料、工艺及软件等产业基础薄弱,政策与标准体系有待建立,缺乏有效的协调推进机制等问题。



1.2 3D打印基本原理与流程

1.2.1 基本原理

尽管3D打印技术包含多种工艺方法,但它们的基本原理都相同,其运作原理类似于传统喷墨打印机。传统喷墨打印机是将计算机屏幕上的一份文件或图形,通过打印命令将这份文件或图形传送给打印机,喷墨打印机即刻将这份文件或图形打印到纸张上。而3D打印技术的基本原理是:首先设计出所需产品或零件的计算机三维模型(如CAD模型);然后根据工艺要求,按照一定的规则将该模型离散为一系列有序的二维单元,一般在Z向将其按一定厚度进行离散(也称为分层),把原来的三维CAD模型变成一系列的二维层片;再根据每个层片的轮廓信息进行工艺规划,选择合适的加工参数,自动生产数控代码;最后由成型系统接收控制指令,将一系列层片自动成型并将它们连接起来,得到一个三维物理实体。有必要的話,还可以对完成的三维产品进行后处理,如深度固化、修磨、着色等,使之达到原型或零件的要求。3D打印技术的基本原理如图1-2所示。

3D打印技术与传统制造方法不同,其加工过程基于“离散/堆积成型”思想,是从零件的CAD实体模型出发,通过软件分层离散,利用数控成型系统层层加工的方法将成型材料堆积而形成实体零件。3D打印技术可以自动、快速、直接和精确地将计算机中的设计模型转化为实物模型,甚至可以直接制造零件或模具,从而有效地缩短加工周期、提高产品质量,并减少约50%的制造费用。3D打印技术与传统制造技术的特征比较见表1-1。

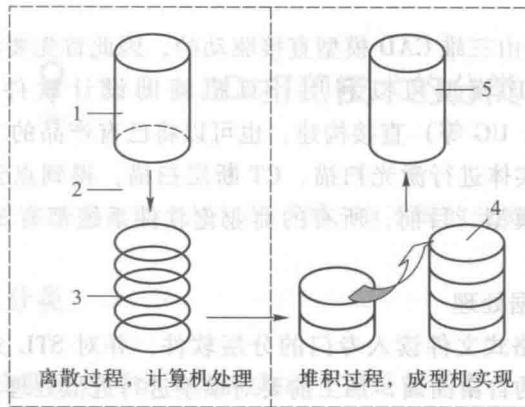


图 1-2 3D 打印技术基本原理示意图

1—CAD 实体模型；2—Z 轴向分层；3—CAD 模型分层数据文件；
4—层层堆积、加工；5—后处理

表 1-1 3D 打印技术与传统制造技术的特征比较

特征	传统制造技术	3D 打印技术
基本技术	车、铣、钻、磨、铸、锻	FDM、SLA、SLS、SLM、LOM、3DP 等
使用场合	大规模、批量化，不受限	小批量、造型复杂
零件复杂程度	受刀具或模具的限制，无法制造太复杂的曲面或异形深孔等	可制造任意复杂形状（曲面）的零件
适用材料	几乎所有材料	塑料、光敏树脂、陶瓷粉末、金属粉末等（有限）
材料利用率	产生切屑，利用率低	利用率高，材料基本无浪费
加工方法	去除成型，切削加工	添加成型，逐层加工
工具	切削工具	光束、热束
应用领域	广泛，不受限制	原型、模具、终端产品等
产品强度	较好	有待提高
产品周期	相对较长	相对较短
智能化	不容易实现	容易实现

1.2.2 基本流程

3D 打印的加工过程包括前处理、成型加工和后处理三个阶段，其中前处理是获得良好成型产品的关键所在。

1. 前处理阶段

在打印前准备打印文件，主要包括三维造型的数据源获取以及对数据模型进行分层处理。