



交叉学科研究生高水平课程系列教材

■ 解孝林 赵 峰/丛书总主编

高分子材料3D打印 成形原理与实验

闫春泽 文世峰 伍宏志/主编

GAOFENZI CAILIAO 3D DAYIN CHENGXING YUANLI YU SHIYAN

史玉升/主审



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



交叉学科研究生高水平课程系列教材

高分子材料3D打印 成形原理与实验

GAOFENZI CAILIAO 3D DAYIN CHENGXING YUANLI YU SHIYAN

主 编 / 闫春泽 文世峰 伍宏志

主 审 / 史玉升



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内容简介

材料作为 3D 打印行业发展的重要物质基础,其发展情况将决定 3D 打印技术能否广泛应用。高分子材料具有密度小、质量小、成形温度低等优点,因此成为了 3D 打印中应用规模、实际产量最大,应用领域最广的材料体系。本书主要以三种典型的高分子材料 3D 打印工艺——光固化成形(SLA)、熔融沉积成形(FDM)、激光选区烧结(SLS)为主线,聚焦于成形原理的论述和成形实验的设计。在成形原理部分着重阐述不同工艺的成形特点,在实验部分设计系列实验,与成形原理部分呼应并形成有机整体,实现基础原理与实际应用相结合。其中:第 1 章为绪论,对 3D 打印进行了基本阐述;第 2~4 章分别介绍了光固化成形、熔融沉积成形以及激光选区烧结的成形原理;第 5~14 章设计了 10 个实验,可作为实践教学的参考。

图书在版编目(CIP)数据

高分子材料 3D 打印成形原理与实验/闫春泽,文世峰,伍宏志主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2019.5

交叉学院研究生高水平课程系列教材

ISBN 978-7-5680-5211-5

I. ①高… II. ①闫… ②文… ③伍… III. ①高分子材料-立体印刷-印刷术-研究生-教材
IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 095981 号

高分子材料 3D 打印成形原理与实验

闫春泽 文世峰 伍宏志 主编

Gaofenzi Cailiao 3D Dayin Chengxing Yuanli yu Shiyao

策划编辑:张少奇

责任编辑:罗雪

封面设计:杨玉凡

责任监印:徐露

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:北京虎彩文化传播有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:13.5

字数:329千字

版次:2019年5月第1版第1次印刷

定价:39.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

交叉学科研究生高水平课程系列教材

编委会



总主编 解孝林 赵 峰

编 委 (按姓氏拼音排序)

陈吉红 陈建国 金人超 刘宏芳 刘劲松
潘林强 施 静 史岸冰 王从义 王连弟
解 德 闫春泽 杨家宽 张胜民 张勇慧

秘 书 郑金焱 周 琳 张少奇

总序

Zongxu

2015年10月,国务院印发《统筹推进世界一流大学和一流学科建设总体方案》;2017年1月,教育部、财政部、国家发展改革委印发《统筹推进世界一流大学和一流学科建设实施办法(暂行)》。此后,坚持中国特色、世界一流,以立德树人为根本,建设世界一流大学和一流学科成为大学发展的重要途径。

当代科技的发展呈现出多学科相互交叉、相互渗透、高度综合以及系统化、整体化的趋势,构建多学科交叉的培养环境,培养复合创新型人才已经成为研究生教育发展的共识和趋势,也是研究生培养模式改革的重要课题。华中科技大学“交叉学科研究生高水平课程”建设项目是华中科技大学“双一流”建设项目“拔尖创新人才培养计划”中的子项目,用于支持跨院(系)、跨一级学科的研究生高水平课程建设,这些课程作为选修课对学术型硕士生和博士生开放。与之配套,华中科技大学与华中科技大学出版社组织撰写了本套交叉学科研究生高水平课程系列教材。

研究生掌握知识从教材的感知开始,感知越丰富,观念越清晰,优秀教材使学生在过程中获得的知识更加系统化、规范化。本套丛书是华中科技大学交叉学科研究生高水平课程建设的重要探索。不同学科交叉融合有不同特点,教学规律不尽相同,因此每本教材各有侧重,如:《学习记忆与机器学习》旨在提高学生在课程教学中的实践能力和自主创新能力;《代谢与疾病基础研究实验技术》旨在将基础研究与临床应用紧密结合,使研究生的培养模式更符合未来转化医学的模式;《高分子材料3D打印成形原理与实验》旨在将实验与成形原理呼应并形成有机整体,实现基础原理和实际应用的具体结合,有助于提升教学质量。本套丛书凝聚着编者的心血,熠熠生辉,此处不一一列举。

本套丛书的编撰得到了各方的支持和帮助,我校100余位师生参与其中,涉及基础医学院、机械科学与工程学院、环境科学与工程学院、化学与化工学院、药学院、生命科学与技术学院、同济医院、人工智能与自动化学院、计算机科学与技术学院、光学与电子信息学院、船舶与海洋工程学院以及材料科学与工程学院12个单位的24个一级学科,华中科技大学出版社承担了编校出版



任务,在此一并向所有辛勤付出的老师、同学和编辑们表示感谢!衷心期望本套丛书能为提高我校交叉学科研究生的培养质量发挥重要作用,诚恳期待兄弟高校师生的关注和指正。

解孝林

2019年3月于喻园

前言

Qianyan

材料作为 3D 打印行业发展的重要物质基础,在该行业发展中始终扮演着举足轻重的角色,从某种程度上讲,材料的发展将成为 3D 打印技术未来能否实现广泛应用的决定性因素。目前,材料种类少、性能低是制约 3D 打印技术发展的关键瓶颈之一。高分子材料具有密度小、质量小、成形温度低等优点,成为目前 3D 打印中应用规模、实际产量最大,应用领域最广的材料体系。高分子材料 3D 打印技术正在蓬勃发展,日新月异,新工艺、新材料、新装备不断涌现,然而在高分子材料 3D 打印领域,国内至今还没有一本专业、系统、全面的大中专教学用教材。为此,华中科技大学组织了一批在国内长期从事高分子材料 3D 打印技术教学与研究的科研人员,综合国内外相关研究成果,在多年的教学经验和科研基础上编写了本教材。

本书的编写思路及特点:以三种典型的高分子材料 3D 打印工艺——光固化成形(SLA)、熔融沉积成形(FDM)、激光选区烧结(SLS)为主线,聚焦于成形原理的论述和成形实验的设计。在成形原理部分着重阐述不同工艺的成形特点,在实验部分设计系列实验,与成形原理部分呼应并形成有机整体,实现基础原理和实际应用相结合,有利于达到由浅入深、学以致用、学以致用的教学目的。

全书共分为 14 章。第 1 章为绪论,简述了 3D 打印的概念、3D 打印中应用的高分子材料,以及高分子材料 3D 打印技术的优势和发展历程。第 2 章、第 3 章、第 4 章分别介绍了光固化成形、熔融沉积成形、激光选区烧结三种工艺的成形原理,重点介绍了工艺原理、材料与工艺特点、关键技术及成形性能等内容。第 5~14 章按照上述三种工艺分类并选用典型的材料设计了 10 个实验,其中,第 5 章、第 6 章为光固化成形实验,第 7~10 章为熔融沉积成形实验,第 11~14 章为激光选区烧结实验,可作为实践教学的参考。

本书由华中科技大学闫春泽、文世峰、伍宏志主编。具体写作分工如下:第 1 章、第 4 章、第 11~14 章由闫春泽编写;第 3 章、第 7~10 章由文世峰编写;第 2 章、第 5 章、第 6 章由伍宏志编写。另外,研究生季宪泰、吴雪良、胡辉、王冲、陈柯宇、许博安、黄耀东、刘主峰等参与了编写工作。本书最后由华



中科技大学史玉升教授主审。

由于编者的水平有限,本书的内容有很多值得商讨的地方,同时难免有疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者
2019年3月

目录

Mulu

第 1 章 绪论	/1
1.1 3D 打印技术概述	/1
1.2 高分子材料 3D 打印技术	/3
1.3 思考题	/5
第 2 章 光固化光敏树脂成形原理	/6
2.1 光固化反应机理与成形原理	/6
2.2 光固化成形用光敏树脂	/17
2.3 光固化成形工艺	/30
2.4 思考题	/32
第 3 章 熔融沉积成形高分子丝状材料成形原理	/33
3.1 熔融沉积成形的高分子丝状材料	/33
3.2 熔融沉积成形中的支撑材料	/40
3.3 熔融沉积成形用 ABS 丝状材料	/51
3.4 思考题	/57
第 4 章 激光选区烧结高分子粉末材料成形原理	/58
4.1 激光选区烧结工艺的原理及特点	/58
4.2 高分子及其复合粉末材料的制备、组成及表征	/66
4.3 激光选区烧结件的后处理材料及工艺	/73
4.4 尼龙 12 粉末材料及其 SLS 成形	/85
4.5 思考题	/102
第 5 章 紫外光固化成形光敏树脂实验	/103
5.1 实验基本理论	/103
5.2 实验目的与要求	/107
5.3 实验用材料、工具及仪器设备	/108
5.4 实验内容及步骤	/108
5.5 性能测试	/112
5.6 思考题	/114



第 6 章 数字光处理成形光敏树脂实验	/115
6.1 实验基本理论	/115
6.2 实验目的与要求	/117
6.3 实验用材料、工具及仪器设备	/117
6.4 实验内容及步骤	/118
6.5 性能测试	/119
6.6 思考题	/122
第 7 章 熔融沉积成形聚乳酸(PLA)材料实验	/123
7.1 实验原理	/123
7.2 实验目的	/125
7.3 实验材料及设备	/125
7.4 实验内容及步骤	/126
7.5 实验结果分析	/128
7.6 思考题	/132
第 8 章 熔融沉积成形聚碳酸酯(PC)材料实验	/133
8.1 实验基本理论	/133
8.2 实验目的与要求	/135
8.3 实验材料、工具及仪器设备	/135
8.4 实验内容及步骤	/136
8.5 实验结果分析	/137
8.6 思考题	/141
第 9 章 熔融沉积成形丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)材料实验	/142
9.1 实验目的	/142
9.2 实验要求	/142
9.3 实验材料及主要测试设备	/143
9.4 增塑 ABS 线材的制备及性能测试	/144
9.5 实验结果分析	/146
9.6 思考题	/152
第 10 章 熔融沉积成形热塑性聚氨酯(TPU)弹性体实验	/153
10.1 实验目的	/153
10.2 实验材料及仪器设备	/153
10.3 TPU 制备及性能测试	/154
10.4 实验结果与分析	/155
10.5 思考题	/162
第 11 章 激光选区烧结尼龙 12(PA12)医疗辅具实验	/163
11.1 实验原理	/163
11.2 实验目的	/169
11.3 实验材料与设备	/169

11.4	实验步骤	/169
11.5	性能测试	/170
11.6	实验报告内容	/170
11.7	思考题	/170
第 12 章	激光选区烧结成形铸造砂型(芯)实验	/171
12.1	实验原理	/171
12.2	实验目的	/178
12.3	实验材料与设备	/178
12.4	实验步骤	/179
12.5	性能测试	/179
12.6	实验报告内容	/179
12.7	思考题	/179
第 13 章	激光选区烧结成形聚苯乙烯(PS)精密铸造熔模实验	/180
13.1	实验基本理论	/180
13.2	实验目的与要求	/184
13.3	实验材料、成形及测试设备	/185
13.4	实验内容及步骤	/185
13.5	实验报告内容	/186
13.6	思考题	/186
第 14 章	激光选区烧结成形高性能高分子零件实验	/187
14.1	实验基本理论	/187
14.2	实验目的与要求	/192
14.3	实验仪器设备、材料及工具	/192
14.4	实验内容及步骤	/193
14.5	实验报告内容	/194
14.6	思考题	/194
参考文献		/195

第 1 章

绪 论

1.1 3D 打印技术概述

1.1.1 3D 打印的概念

3D 打印,亦称增材制造,是依据零件的三维 CAD 模型数据,全程由计算机控制,将离散材料(丝材、粉末、液体等)逐层累加制造实体零件的技术。相对于传统的材料去除(切削加工)技术,3D 打印是一种“自下而上”进行材料累加的制造过程。

自 20 世纪 80 年代末以来,3D 打印技术逐步发展,这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)、3D 打印(3D printing)技术等。名称各异的叫法分别从不同侧面表现了该制造技术的特点。

3D 打印是数字化技术、新材料技术、光学技术等多学科技术发展的产物。其工作原理可以分为如下两个阶段。

(1) 数据处理过程:利用计算机辅助设计三维 CAD 图形,将三维 CAD 图形切割成薄层,完成将三维数据分解为二维数据的过程。

(2) 逐层累加制造过程:依据分层的二维数据,采用所选定的制造方法制作与分层厚度相同的薄片,每层薄片按照顺序叠加起来,就构成了三维实体,实现了从二维薄层到三维实体的制造过程。

根据这种原理,3D 打印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”,解决了许多过去难以制造的复杂结构零件的成形问题,并大大减少了加工工序,缩短了加工周期。而且结构越是复杂的产品,其制造的速度提升越显著。近二十年来,3D 打印技术取得了快速的发展。3D 打印原理与不同的材料和工艺结合形成了许多 3D 打印设备,目前已有的设备种类达到 20 多种。这一技术一出现就取得了快速的发展,在各个领域,如消费电子产品、汽车、航空航天、医疗、军工、地理信息、艺术设计等领域都取得了广泛的应用。3D 打印的特点是单件或小批量快速制造,这一技术特点决定了 3D 打印在产品创新中具有显著的作用。



1.1.2 3D 打印材料简介

3D 打印是一项新兴的快速成形技术,具有制造成本低、生产周期短等明显优势,被誉为“第三次工业革命最具标志性的生产工具”。经过多年发展,3D 打印技术已广泛应用于科研、教育、医疗及航空航天等领域。3D 打印技术由硬件、软件、材料及成形工艺四大关键技术高度集成,各技术之间存在着既相互促进又相互制约的关系。随着 3D 打印设备及工艺的不断发展和逐步成熟,3D 打印材料的种类和性能已成为制约 3D 打印技术发展的重要因素,因此,新型 3D 打印材料的研发成为 3D 打印技术取得突破性进展的关键,同时也是拓展 3D 打印技术应用领域的必经之路。

尽管目前可用于 3D 打印的材料已经超过了 200 种,但是由于现实中产品非常多,生产材料及其组合纷繁复杂,200 多种材料仍然非常有限,3D 打印材料仍在不断丰富中。3D 打印材料主要包括高分子材料、金属材料、陶瓷材料和其他材料(如覆膜砂)。高分子材料根据其适用的 3D 打印技术不同,主要分为以下几种:适用于光固化成形技术的光敏树脂、适用于熔融沉积成形技术的丝状材料、适用于激光选区烧结技术的粉状材料和适用于其他 3D 打印技术的高分子材料(天然/合成材料)、弹性体材料、凝胶材料等。

1.1.3 高分子材料在 3D 打印中的优势

1) 种类繁多、性质各异

3D 打印是一种新兴的加工技术,其个性化的生产思路带来了加工手段的多样化,所制备的产品的种类、性质各具特色。因此,其对材料的物理、化学性能的要求也千差万别。3D 打印技术的发展使得各种满足打印专一性需求的不同物理、化学性能的材料不断出现。高分子材料本身具有种类繁多、性质各异、可塑性强的特点。通过对不同的高分子单元结构、单元种类的选择和数量的调节,不同结构单元的共聚及配比,可以轻松获得不同物理、化学性能的液态化、丝状化、粉末化的新型高分子材料,从而实现 3D 打印材料的功能多样性。

2) 质轻、强度高

高分子材料具有质轻、强度高的优点,尤其是部分工程塑料,其力学强度可以接近金属材料,而密度只略大于 1 g/cm^3 。其较小的自重和高支撑力为打印镂空的零件提供了便利。不仅如此,质轻、强度高的特点也使其成为打印汽车零件和运动器材零件的首选。

3) 熔融温度低

高分子材料具有熔融温度低的优点,且大多数分子熔体属于非牛顿流体,触变性能好,从而极大地满足了 3D 打印中熔融沉积成形工艺的需要。熔融沉积成形工艺由于不使用激光,成形速度快,后处理简单,并且设备成本低,维护简单,一直是 3D 打印技术推广应用的主力。高分子粉末材料由于烧结温度较低,在激光选区烧结工艺中也具有加工能耗小、对设备的要求低的优势。

上述优势使高分子材料在 3D 打印领域成为使用最广泛、研究最深入、市场化最便利的一类材料。

1.2 高分子材料 3D 打印技术

1.2.1 高分子材料 3D 打印技术简介

自 20 世纪 80 年代美国出现第一台商用光固化成形机后,高分子材料 3D 打印技术在至今近 40 年时间内得到了快速发展,较成熟的技术主要有以下几种:光固化成形(stereo lithography apparatus,SLA)、熔融沉积成形(fused deposition modeling,FDM)、激光选区烧结(selective laser melting,SLS)、叠层实体制造(laminated object manufacturing,LOM)。其中,叠层实体制造技术应用较少,其他几种方法得到广泛应用,并逐渐向低成本、高精度、多材料方向发展。下面简要介绍 SLA、FDM、SLS 这三种加工工艺。

1. 光固化成形

光固化成形(SLA)利用紫外激光使对紫外光非常敏感的液态树脂材料(性能类似于塑料)固化以成形。树脂槽中盛满液态光敏树脂,在计算机控制下经过聚焦的紫外激光束按照事先分层的截面信息,对液态树脂表面进行逐点逐线扫描。被扫描区域的树脂发生光聚合反应瞬间固化,形成制件的一个薄层;当一层固化后,工作台下移一个层厚的高度,液态光敏树脂自动覆盖在已固化的薄层表面,紧接着进行下一层扫描固化,新的固化层与前面的已固化层黏结为一体;如此反复直至整个制件制作完成。光固化成形能制造特别精细的零件(如戒指、需配合的上下手机盖等),且表面质量好;原材料利用率接近 100%,且不产生环境污染。其最大的不足是设备和材料较昂贵,复杂制件往往需要添加辅助结构(称为支撑),加工完后需去除。光固化成形可应用于航空航天、工业制造、生物医学、大众消费、艺术等领域的精密复杂结构零件的快速制作,精度可达 $\pm 0.05\text{ mm}$,较机加工略低,但接近传统模具的工艺水平。

2. 熔融沉积成形

熔融沉积成形(FDM)利用电加热法等熔化丝状材料,由三轴控制系统移动丝状材料,逐层堆积成形三维实体。材料(通常为低熔点塑料,如 ABS 等)先制成丝状,通过送丝机构送进喷头,在喷头内受热熔化;喷头在计算机控制下沿零件界面轮廓和填充轨迹运动,将熔化的材料挤出,材料挤出后迅速固化,并与周围材料黏结;通过层层堆积成形,最终完成制件制造。其初始制件表面较为粗糙,需配合后续抛光等处理。熔融沉积成形的优点如下:原料要求是丝状的塑料,可将零件壁内做成网状结构或者实体结构,当零件壁内是网状结构时可以节省大量材料;由于原材料为 ABS 等塑料,其密度小,1 kg 材料可以制作较大体积的模型;熔融成形,制件强度高,可作为功能零件使用,在产品设计与测试与评估等方面得到广泛应用,涉及汽车、工艺品、仿古、建筑、医学和教育等领域;无须使用激光器等贵重元器件,系统成本低。其最大不足是成形材料种类少,且成形精度略低,约为 0.2 mm。

3. 激光选区烧结

激光选区烧结(SLS)利用高能激光束的热效应使粉末材料软化或熔化,黏结成形一系列薄层,并逐层叠加获得三维实体。首先,在工作台上铺一薄层粉末材料,高能激光束在计算机控制下根据制件各层截面的 CAD 数据,有选择地(选区)对粉末层进行扫描,被扫描区



域的粉末材料由于烧结或熔化黏结在一起,而未被扫描的区域粉末仍呈松散状,可重复利用。一层加工完后,工作台下降低一个层厚的高度,再进行下一层铺粉和扫描,新加工层与上一层黏结为一体,重复上述过程直到整个制件加工完为止。最后,将初始制件从工作台上取出,进行适当后处理(如清粉和打磨等)即可。如需进一步提高制件强度,可采取后烧结或浸渗树脂等强化工艺。激光选区烧结成形材料广泛,包括高分子、金属、陶瓷、砂等多种粉末材料;应用范围广,涉及航空航天、汽车、生物医疗等领域;材料利用率高,粉末可重复使用;成形过程中无须添加支撑等辅助结构。其最大的不足是无法直接成形高性能的金属和陶瓷零件,成形大尺寸零件时容易发生翘曲变形,精度较难控制。成形材料的多样性,决定了 SLS 工艺可成形不同特性、满足不同用途的多类型零件。例如,成形塑料手机外壳,可用于结构验证和功能测试,也可直接作为功能零件使用;制作复杂铸造用熔模或砂型(芯),辅助复杂铸件的快速制造;制造复杂结构的金属和陶瓷零件,作为功能零件使用。其成形精度可达 $\pm 0.2\text{ mm}$,较机加工和模具精度低,与精密铸造工艺相当。

1.2.2 高分子 3D 打印技术的发展历程

3D 打印技术的核心制造思想最早起源于美国。早在 1892 年,Blather 在其专利中,曾建议用分层制造法构成立体地形图。随着计算机技术、激光技术和新材料技术的发展,出现了五种经典的 3D 打印工艺:1986 年美国的 Hull 发明了光固化成形技术,1988 年 Feygin 发明了叠层实体制造技术,1989 年 Deckard 发明了激光选区烧结技术,1992 年 Crump 发明了熔融沉积成形技术,1993 年麻省理工大学的 Sachs 发明了喷头打印(3D printing, 3DP)技术。

1988 年美国的 3D Systems 公司根据 Hull 的专利,生产出了第一台 3D 打印装备 SLA250,开创了 3D 打印技术发展的新纪元。在此后的十年中,3D 打印技术蓬勃发展,涌现了十余种新工艺和相应的 3D 打印装备。1991 年,美国 Stratasys 的 FDM 装备、Cubital 的实体平面固化装备和 Helisys 的叠层实体制造装备都实现了商业化。1992 年,美国 DTM 公司(现属于 3D Systems 公司)的 SLS 装备研发成功。1994 年,德国 EOS 公司推出了 EOSINT 型 SLS 装备。1996 年,3D Systems 公司使用喷墨打印技术,制造出其第一台 3D 打印装备 Actua2100;同年,美国 Zcorp 公司也发布了 Z402 型三维装备。2000 年,Z Corp 公司推出了世界上第一台商业多色 3D 打印机 Z402C。同年,以色列的 Object Geometries 公司推出了一款名为 Quadra 的 3D 喷墨打印机,该款打印机利用 1536 个喷嘴和紫外线光源来喷涂硬化光敏树脂高分子;美国精密光学制造公司发明了一种激光直接金属沉积(direct metal deposition, DMD)技术,该技术可以使用金属粉末生产和修复金属零件。

近年来,3D 打印市场始终保持良好的发展形势,不断有新材料和新设备涌现。Objet 公司发布了一种类 ABS 的数字材料以及一种名为 VeroClear 的清晰透明材料。3D Systems 公司也发布了一种名为 Accura CastPro 的新材料,该材料可用于制作熔模铸造模型。同期,SolidScape 公司也发布了一种可使蜡模铸造的铸模更耐用的新型材料——plusCAST。2011 年,Optomec 公司发布了一种可用于 3D 打印及保形电子的新型大面积气溶胶喷射打印头。同年,Objet 公司发布了一种新型打印机——Objet260 Connex,该打印机可以构建更小体积的多材料模型;3D Systems 公司发布了一种基于覆膜传输成像的打印机——PROJET1500,同时也发布了一种从二进制信息到字节的三维触摸产品。2012 年,法国的 EasyClad 公司发

布了 MAGIC LF600 大框架 3D 打印装备,可构建大体积模型,并具有两个独立的 5 轴控制沉积头,具有图案压印、修复及功能梯度材料沉积的功能。

随着工艺、材料和装备的日益成熟,3D 打印技术的应用范围由模型和原型制造进入产品快速制造阶段。早期 3D 打印技术受限于材料种类少及工艺水平低,主要应用于模型和原型制造,如制造新型手机外壳模型等,因而统称为快速原型技术。目前,“3D 打印”这一更加亲民的概念被越来越多的人熟知。如今,由于诸多快速原型和快速制造装备均以 3D 打印面貌示人,最早的 3D 打印已可被称为“经典 3D 打印技术”。“新兴 3D 打印技术”可以直接制造为人所用的功能部件、零件和传统工艺使用的工具,包括电子产品绝缘外壳、金属结构件、高强度塑料零件、劳动工具、橡胶缓振制件、汽车和航空应用的高温陶瓷部件及各类金属模具等。

目前,美国在 3D 打印的装备研制、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 3D 打印技术的发展历程。欧洲各国和日本也不甘落后,纷纷进行相关技术研究和装备研发。我国香港和台湾地区对 3D 打印技术的研究起步较内地(大陆)早,台湾大学研制了 LOM 装备,台湾各单位安装了多台进口 SLA 装备,香港生产力促进局和香港科技大学、香港理工大学、香港城市大学等机构拥有 3D 打印装备,重点进行技术研究与应用推广;内地(大陆)自 20 世纪 90 年代初开始 3D 打印技术研发,以华中科技大学、西安交通大学、清华大学为代表的研究机构开始自主研制 3D 打印装备并在国内开展广泛应用,在典型的成形设备、软件、材料等方面的研究和产业化获得了重大进展,接近国外产品水平。

1.3 思 考 题

1. 请简述 3D 打印的工作原理以及其与传统切削加工的本质不同。
2. 高分子 3D 打印材料根据适用 3D 打印技术的不同,主要分为几种?并简要说明之。
3. 请简述现今广泛应用于高分子材料的几种 3D 打印加工工艺。



(扫描二维码可
查看参考答案)

第 2 章

光固化光敏树脂 成形原理

2.1 光固化反应机理与成形原理

2.1.1 光固化反应机理

光固化快速成形技术是利用液态光敏树脂能在紫外光的照射下发生化学反应而快速固化这一特性发展起来的。液态光敏树脂盛放在树脂槽中,在光的照射下,光引发剂由基态跃迁到激发态,然后分解成为自由基或阳离子活性种,引发体系中的单体或低聚物发生化学反应,迅速固化,层层堆积得到制件。

光聚合反应指光固化单体或低聚物在紫外光或可见光的激发下发生的化学反应。光固化可定义成自由流动的液体通过接收紫外辐射能量发生化学聚合反应而转变为不黏性固体的相转变过程。3D 打印光敏树脂的光固化过程实际上就是光敏树脂在光固化 3D 打印快速成形设备光源的照射下发生这样的光聚合反应。

紫外光固化体系主要由两部分组成:光引发体系和光固化反应物(单体或低聚物)。另外根据实际需要,可添加各种助剂,如颜料、填料、润湿分散剂、流平剂、消泡剂和消光剂等。按照引发产生的活性中心不同,光固化体系可以分为自由基型光固化体系、阳离子型光固化体系和自由基-阳离子混杂型光固化体系。混杂型光固化体系指在同一树脂中同时发生自由基光固化反应和阳离子光固化反应。

自由基型光固化体系具有固化速度快、原料丰富和性能可调的优点,主要缺点是受氧阻严重、收缩厉害、成形精度不高、层与层间附着力弱等。阳离子型光固化体系的主要优点是耐磨、硬度高、力学性能好、体积收缩率小、层与层间附着力强等,因此特别适用于需要高精度的光固化快速成形技术。阳离子型光固化体系的主要缺点是固化受潮气影响、固化速度慢、原料种类少、价格高和性能不易调节等,其最大的缺点是固化速度慢。自由基-阳离子混杂型光固化体系则综合了二者的优点,同时尽量避免了二者的缺点,在一定程度上拓宽了光固化体系的使用范围。自由基-阳离子混杂型聚合体系表现出很好的协同作用,不同于几种自由基单体的共聚过程,自由基-阳离子混杂聚合生成的不是共聚物而是高分子合金,在反