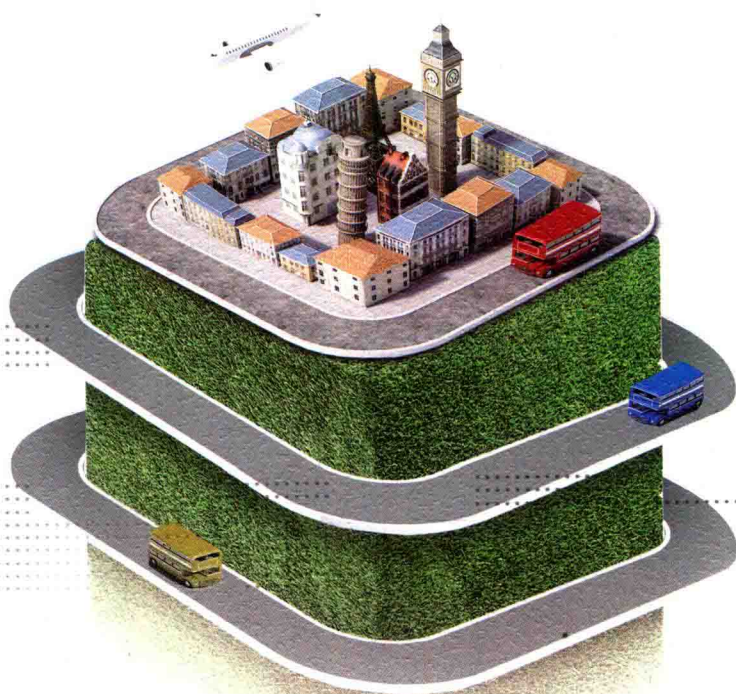




逆向设计与3D打印

◎ 全国3D大赛(全国三维数字化创新设计大赛)组委会 组织编写

◎ 陈丽华 主编 ◎ 路春玲 肖国栋 副主编



中国工信出版集团



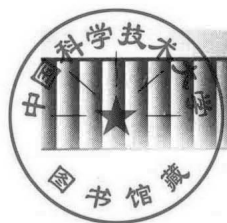
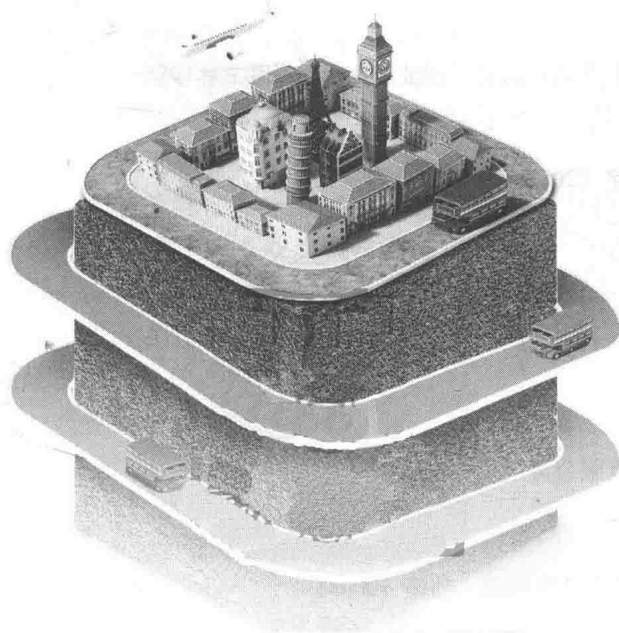
电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

3D 技术培训教材

逆向设计与3D打印

◎ 全国3D大赛(全国三维数字化创新设计大赛)组委会 组织编写

◎ 陈丽华 主编 ◎ 路春玲 肖国栋 副主编



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书编者结合多年从事逆向造型教学、培训与工程实践经验,以及指导学生参加全国技能大赛三维数字化设计与制造和 3D 大赛经验,以逆向设计和打印设计一般流程为载体,根据 3D 大赛逆向设计与 3D 打印竞赛规则,将内容分解成不同的工作任务。通过工作任务详细阐述逆向设计及 3D 打印的一般流程,从三维扫描仪的安装、调试到扫描数据的采集、扫描数据的处理及 CAD 模型重构;模型构成后,通过 PDM、SLA、SLS 等 3D 打印技术打印模型。本书以标准块、铣刀片等案例逆向为载体,在做中学,在学中做,注重解题思路和分析方法,每个项目由任务引入、任务分析、任务实施及相关知识构成,按照逆向与 3D 打印一般流程进行操作,操作步骤详细,读者可以按照操作步骤完成实践操作。

本书可作为高等职业院校相关专业的学生教材,也适合作为工程技术人员和高等院校学生的自学教程。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

逆向设计与 3D 打印/陈丽华主编. —北京:电子工业出版社, 2017.9

3D 技术培训教材

ISBN 978-7-121-31877-1

I. ①逆… II. ①陈… III. ①机械设计—职业教育—教材②立体印刷—印刷术—职业教育—教材
IV. ①TH122②TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 127938 号

策划编辑:牛平月

责任编辑:桑 昀

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:17.75 字数:458 千字

版 次:2017 年 9 月第 1 版

印 次:2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价:48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254454, niupy@phei.com.cn。

PREFACE

前言

《工业转型升级规划（2011—2015 年）》明确提出：“坚持把推进‘两化’深度融合作为转型升级的重要支撑。充分发挥信息化在转型升级中的支撑和牵引作用，深化信息技术集成应用，促进‘生产型制造’向‘服务型制造’转变，加快推动制造业向数字化、网络化、智能化、服务化转变。”

三维数字化技术是促进产业升级和创新驱动的推动力，已成为开启和引领全球“第三次工业革命”“工业 4.0”“工业互联网”变革的竞争焦点。3D 引领新兴战略产业，支撑产业转型升级，践行创新型国家建设。

本书以 3D 打印与逆向工程为背景，将三维测量、三维设计及产品优化、再设计、创新设计整合为一体，培养学生组织管理、先进设备操作、团队协作、现场问题的分析与处理、工作效率、创新思想等职业素养；推广三维先进工具的应用与普及，提升三维应用技术的创新设计与制造能力，培养具有创新精神的 3D 人才。

本书由常州机电职业技术学院陈丽华担任主编，常州机电职业技术学院路春玲、天津微深科技有限公司肖国栋担任副主编，南京双庚科技有限公司贡森、天津微深科技有限公司张淼、常州机电职业技术学院庞雨花等同志参编。在本书的编写过程中，得到本院计辅专业石祥东、李辉、王帅等各级学生及昆山市奇迹三维科技有限公司贺琦、宋佳成、周保根等同志的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢！

由于水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

CONTENTS

目录

项目 1 3D 打印概述	1
任务 1.1 了解 3D 打印概念	1
任务 1.2 了解 3D 打印主要技术工艺与特点	5
1.2.1 FDM 技术	5
1.2.2 SLS 技术	9
1.2.3 SLA 技术	12
1.2.4 LOM 技术	14
1.2.5 3DP 技术	17
1.2.6 不同 3D 打印技术之间的对比	20
任务 1.3 了解 3D 目前应用及发展趋势	22
1.3.1 3D 打印技术在金属件制造中的应用	22
1.3.2 3D 打印技术在玩具、工艺品领域中的应用	23
1.3.3 3D 打印技术在服装行业中的应用	24
1.3.4 3D 打印技术在珠宝行业中的应用	25
任务 1.4 熟悉 3D 打印一般流程	31
项目 2 逆向数据采集	34
任务 2.1 架设光栅式扫描仪	35
任务 2.2 扫描仪幅面调节	53
任务 2.3 扫描仪标定	61
任务 2.4 标准块扫描	71
任务 2.5 铣刀片扫描	84
项目 3 测量数据的处理	97
任务 3.1 标准块数据处理	97
3.1.1 点云处理阶段	98
3.1.2 多边形处理阶段	103
任务 3.2 铣刀片数据处理	113
3.2.1 点云处理阶段	114
3.2.2 多边形处理阶段	117
3.2.3 文件的保存	121

项目 4 CAD 模型重构	127
任务 4.1 重构“标准块”CAD 模型	127
4.1.1 导入 Geomagic Studio 封装后的标准块点云数据	128
4.1.2 进入“创成式外形设计”工作台——创建曲面	132
4.1.3 封闭曲面, 形成实体	145
4.1.4 导出.stl 数据	148
任务 4.2 重构“铣刀片”CAD 模型	168
4.2.1 导入 Geomagic Studio 封装后的铣刀片点云数据	168
4.2.2 建立铣刀片顶面及底面	170
4.2.3 建立刀片侧面	172
4.2.4 建立刀片内孔圆柱面	175
4.2.5 建立刀片上下小平面	181
4.2.6 分割与修剪	183
4.2.7 实体造型	184
项目 5 3D 打印	188
任务 5.1 标准块模型打印	188
5.1.1 安装切片软件	189
5.1.2 模型切片	190
5.1.3 打印操作	196
任务 5.2 铣刀片模型打印	204
5.2.1 模型切片	205
5.2.2 打印操作	209
项目 6 综合实战——美容仪的逆向与 3D 打印	216
任务 6.1 美容仪扫描	216
任务 6.2 美容仪扫描数据处理	221
6.2.1 导入点云文件	221
6.2.2 杂点处理	223
6.2.3 封装	225
6.2.4 多边形处理	225
6.2.5 对齐坐标	227
6.2.6 导出文件	231
任务 6.3 重构“美容仪”CAD 模型	232
6.3.1 导入点云	233
6.3.2 曲面重建	234
6.3.3 形成实体	272
6.3.4 保存文件	273
任务 6.4 美容仪模型 3D 打印	273
6.4.1 模型切片	274
6.4.2 打印操作	275
参考文献	277

3D 打印概述



项目简介

3D 打印技术，这个名称是近年来针对民用市场而出现的一个新词。其实在专业领域，它有另外一个名称——快速成型技术，快速成型技术又称快速原型制造（Rapid Prototyping Manufacturing, RPM）技术。

2012 年 3 月 9 日，奥巴马宣布了重振美国制造业计划——再工业化；同年 4 月 17 日选择了第一个技术——3D 打印，8 月 16 日美国成立了国家增材制造创新研究院后，“3D 打印”已经成为最流行的科技词汇之一。据 Wohlers 报告显示，全球 3D 打印行业正以年均增长率 30% 的速度迎来爆发式增长，到 2016 年全球 3D 打印增材制造市场规模超 70 亿美元，2018 年将达到 125 亿美元。2014 年 3D 打印板块是华尔街最热门的板块之一，《时代》周刊将 3D 打印产业列为“美国十大增长最快的工业”之一。

任务 1.1 了解 3D 打印概念



任务引入

“3D 打印”掀起新一轮的制造业革命，改写整个世界的制造业前景。我国作为制造业大国，转型升级压力突显，各种成本的增加，迫使我们去寻求能够帮助我们打造“制造强国”“设计创新”的有效途径与工具，想要重振制造业，让实体经济回归，就需要把握前沿技术。因此，我们需要了解 3D 打印技术。



任务分析

一般认为 3D 打印技术诞生于 20 世纪 80 年代后期，是基于材料堆积法的一种高新制造技术，被认为是近 30 年来制造领域的一个重大成果。本任务就是了解 3D 打印的一般概念和技术，要求通过网络检索 3D 打印的相关技术及报道，并写出有关 3D 打印的综述。



通过网络可以检索到 3D 打印的一些知识。

1. 3D 打印概念

3D 打印技术,被称为增材制造(Additive Manufacturing)或直接数字化制造(Direct Digital Manufacturing);其在专业领域另有一个名称为“快速成型技术”。快速成型技术又称快速原型制造(Rapid Prototyping Manufacturing, RPM)技术,诞生于 20 世纪 80 年代后期,是基于材料堆积法的一种高新制造技术,被认为是近 30 年来制造领域的一个重大成果。其实质是利用三维 CAD 数据,通过快速成型机,将一层层的材料堆积成实体原型。它与普通打印工作原理基本相同,打印机内装有液体或粉末等“打印材料”,与计算机连接后,通过计算机控制把“打印材料”一层层叠加起来,最终把计算机上的蓝图变成实物;演变至今,3D 打印成了所有快速成型(Rapid Prototyping)技术的通俗叫法。

3D 打印集机械工程、CAD、逆向工程技术、分层制造技术、数控技术、材料科学、激光技术于一身,可以自动、直接、快速、精确地将设计思想转变为具有一定功能的原型或直接制造零件,从而为零件原型制作、新设计思想的校验等方面提供了一种高效低成本的实现手段。它将信息、材料、生物、控制、融合渗透等各种技术融合在一起,对未来制造业生产模式与人类生活方式产生重要的影响。

2. 3D 打印制造与传统制造区别

传统的机械加工方法是“减材制造”,如图 1-1-1 所示,在毛坯的基础上,用车、铣、刨、磨等方法去除材料,制造零件;或者是“等材制造”,采用锻造或铸造方法改变坯料制造零件。与传统切削加工方法不同,3D 打印技术是在现代 CAD/CAM 技术、激光技术、计算机数控技术、精密伺服驱动技术以及新材料技术的基础上集成发展起来的。不同种类快速成型系统因所用成型材料不同,成型原理和系统特点也各有不同。但是,其基本原理都是一样的,那就是“分层制造,逐层叠加”,类似于数学上的积分过程。形象地讲,快速成型系统就像是一台“立体打印机”,因此得名“3D 打印机”。

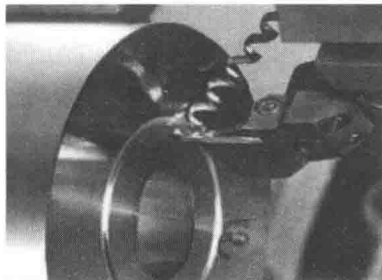
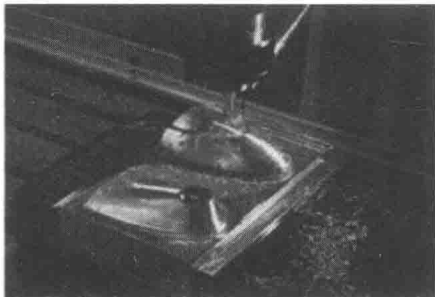


图 1-1-1 传统制造加工过程

首先,分层软件按一定的层厚对零件的 CAD 几何模型进行“切片”操作,得到一系列的各层截面的轮廓信息,快速成型机的成型头按照这些二维轮廓信息在控制系统的控制下,每



次制作一层具有一定微小厚度和特定形状的截面，经一层层选择性地烧结、固熔堆砌或切割后形成多个截面薄层，并自动叠加成三维实体，其制造过程如图 1-1-2 所示。

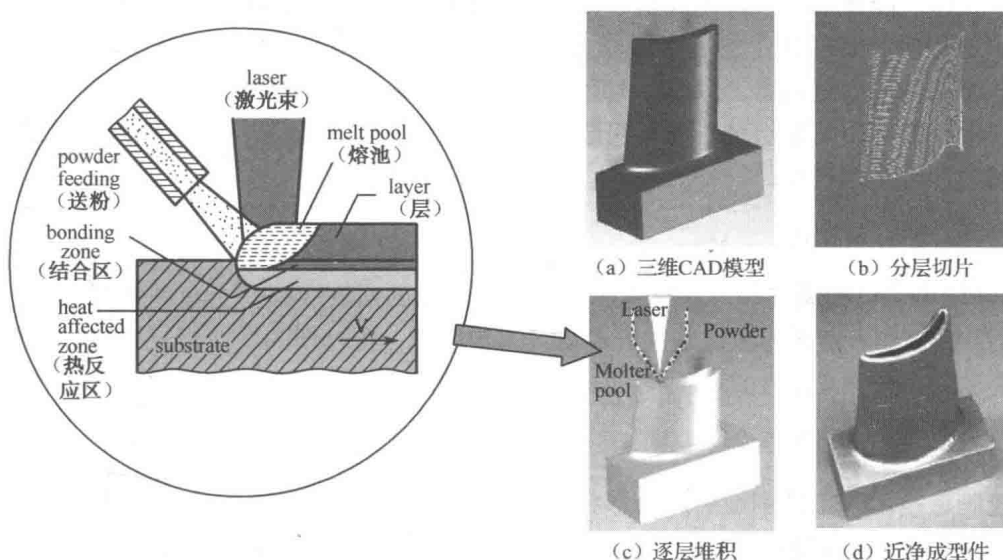


图 1-1-2 3D 打印制造加工过程



相关知识

3D 打印技术优缺点

3D 打印参照的是打印技术原理，能够将计算机设计出的物体直接打印出实物。3D 打印降低了设计与制造的复杂度，能够制造出传统方式无法加工的奇异结构，拓展了设计人员的想象空间。该技术将对航空航天、汽车、医疗和消费电子产品等核心产业的革新有巨大的推动作用。

3D 打印的优势是帮助各行各业减少成本、时间和复杂性。

优势 1：制造复杂物品不增加成本

就传统制造而言，物体形状越复杂，制造成本越高。对 3D 打印机而言，制造形状复杂的物品成本不增加，制造一个华丽的形状复杂的物品并不比打印一个简单的方块消耗更多的时间、技能或成本。制造复杂物品而不增加成本将打破传统的定价模式，并改变我们计算制造成本的方式。

优势 2：产品多样化不增加成本

一台 3D 打印机可以打印许多形状，它可以像工匠一样每次都做出不同形状的物品。传统的制造设备功能较少，做出的形状种类有限。“3D 打印”省去了培训机械师或购置新设备的成本，一台 3D 打印机只需要不同的数字设计蓝图和一批新的原材料就可以完成产品或零件的制造，不需要增加新设备。



优势 3：无须组装

“3D 打印”能使部件一体化成型。传统的大规模生产建立在组装线基础上，在现代工厂，机器生产出相应的零部件，然后由机器人或工人（甚至跨洲）组装。产品组成部件越多，组装耗费的时间和成本就越多。3D 打印机通过分层制造整个产品，例如可以同时打印一扇门及上面的配套铰链，不需要组装。省略组装就缩短了供应链，节省在劳动力和运输方面的花费。供应链越短，污染也越少。

优势 4：零时间交付

3D 打印机可以按需打印。即时生产，减少了企业的实物库存，企业可以根据客户订单使用 3D 打印机制造出特别的或定制的产品满足客户需求，所以新的商业模式将成为可能。如果人们所需的物品按需就近生产，零时间交付式，生产能最大限度地减少长途运输的成本。

优势 5：设计空间无限

传统制造技术和工匠制造的产品形状有限，制造形状的能力受制于所使用的工具。例如，传统的车床只能制造回转型轴类、盘类物品，铣床只能加工用铣刀切削的部件，制模机仅能制造模铸形状。3D 打印机可以突破这些局限，开辟巨大的设计空间，甚至可以制作目前可能只存在于自然界的形状。

优势 6：零技能制造

传统工匠需要当几年学徒才能掌握所需要的技能。批量生产和计算机控制的制造机器降低了对技能的要求，然而传统的制造机器仍然需要熟练的专业人员进行机器调整和校准。3D 打印机从设计文件里获得各种指示，做同样复杂的物品，3D 打印机所需要的操作技能比机加工少。非技能制造开辟了新的商业模式，并能在远程环境或极端情况下为人们提供新的生产方式。

优势 7：不占空间、便携制造

就单位生产空间而言，与传统制造机器相比，3D 打印机的制造能力更强。例如，机加工只能制造比自身小很多的物品，与此相反，只要 3D 打印机调试好后，打印设备可以自由移动，打印机可以制造比自身还要大的物品。较高的单位空间生产能力使得 3D 打印机适合家用或办公使用，因为它们所需的物理空间小。

缺点 1：精度上的偏差

“3D 打印”是材质一层层堆积形成的，每一层都有厚度，由于分层制造存在“台阶效应”，每个层次虽然很薄，但在一定微观尺度下，仍会形成具有一定厚度的一级级“台阶”，如果需要制造的对象表面是曲面，那么就会造成精度上的偏差，这决定了它的精度难以企及传统的剪裁制造方法。

缺点 2：材料的局限性

目前供 3D 打印机使用的材料非常有限，无外乎石膏、无机粉料、光敏树脂、塑料金属等。能够应用于 3D 打印的材料还非常单一，以塑料为主，并且打印机对单一材料也非常挑剔，一



般一台 3D 打印机只适用一类材料,例如,有的 3D 打印机只能打印特定的巧克力,并不是所有巧克力材料都可以打印。

任务 1.2 了解 3D 打印主要技术工艺与特点



任务引入

3D 打印技术的基本原理是:将计算机内的三维数据模型进行分层切片得到各层截面的轮廓数据,计算机据此信息控制激光器(或喷嘴)有选择性地烧结一层接一层的粉末材料(或固化一层又一层的液态光敏树脂,或切割一层又一层的片状材料,或喷射一层又一层的热熔材料或黏合剂)形成一系列具有一个微小厚度的片状实体,再采用熔结、聚合、黏结等手段使其逐层堆积成一体,便可以制造出所设计的新产品样件、模型或模具。自美国 3D Systems 公司 1988 年推出第一台商用快速成型机商品 SLA-1 以来,已经有十几种不同的成型系统,其中比较成熟的有 FDM、SLA、SLS、3DP、LOM 等方法。各种 3D 打印技术工艺不同,特点也不同。



任务分析

想要了解 FDM、SLS、SLA、LOM、3DP 等技术的工艺及其特点,我们先要了解各技术概念,了解其发展历史,进而熟悉其成型的原理,该技术成型所用材料、应用范围,再比较其优缺点。下面我们对各项技术进行熟悉和比较,最后总结。



任务实施

1.2.1 FDM 技术

1. FDM 技术概念

FDM 的全称是 Fused Deposition Modeling,即熔融沉积法,别称为熔丝沉积,是一种不依靠激光作为成型能源,而将各种丝材(如工程塑料 ABS、PLA、聚碳酸酯 PC 等)加热熔化进而堆积成型的方法,如图 1-2-1 所示。

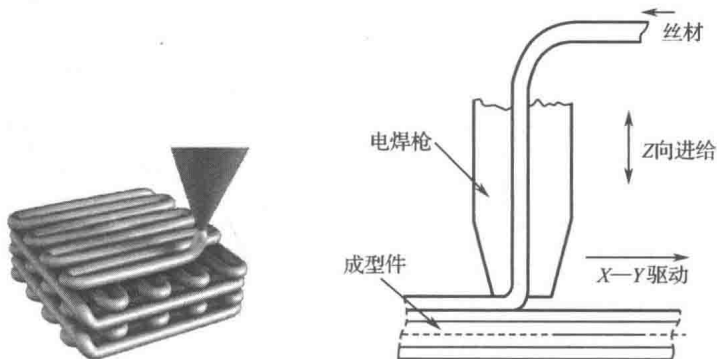


图 1-2-1 FDM 成型工艺示意图



2. FDM 技术的历史简介

FDM 技术是美国学者 Scott Crump 在 1988 年研究出来的。1990 年, 美国 Stratasys 公司率先推出了基于 FDM 技术的快速成型机, 并很快发布了基于 FDM 的 Dimension 系列 3D 打印机。FDM 常见的代表设备机型有 XYZ 直角坐标机型 (如图 1-2-2 所示) 及并联臂机型 (如图 1-2-3 所示)。此外, 还有采用极坐标的舵机型等。

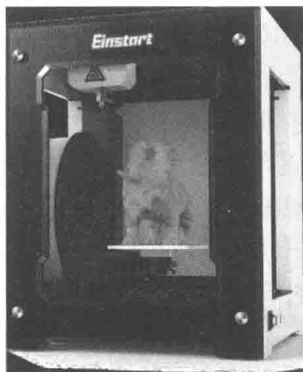


图 1-2-2 XYZ 直角坐标机型

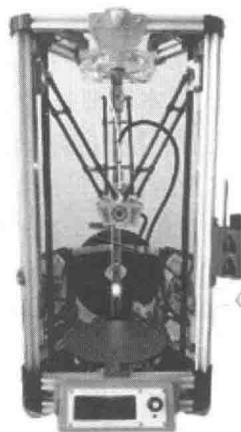


图 1-2-3 并联臂机型

FDM 技术工艺成型样件如图 1-2-4 所示。

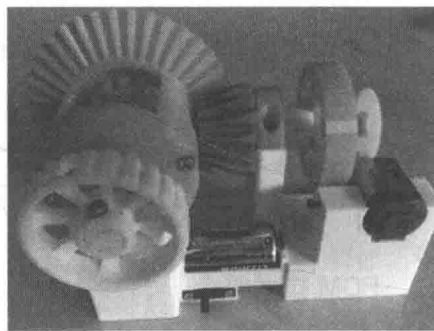


图 1-2-4 FDM 技术工艺成型样件

3. FDM 技术的成型原理

FDM 技术的成型原理如同 1-2-5 所示, 加热喷头在计算机的控制下, 根据产品零件的截面轮廓信息, 作 X-Y 平面运动, 热塑性丝状材料由供丝机构送至热熔喷头, 并在喷头中加热和熔化成半液态, 然后被挤压出来, 有选择性的涂覆在制作面板上, 快速冷却, 然后根据切片层厚, 形成一层大约 0.05-0.4mm 厚的薄片轮廓, 一层截面成型完成后工作台下降一定高度, 或喷头提高一层厚, 再进行下一层的熔覆, 好像一层层“画出”截面轮廓, 如此循环, 最终形成三维产品零件。

4. FDM 技术所用材料

FDM 技术所用的材料有许多种, 如工程塑料 ABS、PLA、聚碳酸酯 PC、工程塑料 PPSF



以及 ABS 与 PC 的混合料等。同时,还有专门开发的针对医用的材料 ABS-i。如图 1-2-6 所示为 PLA 材料。

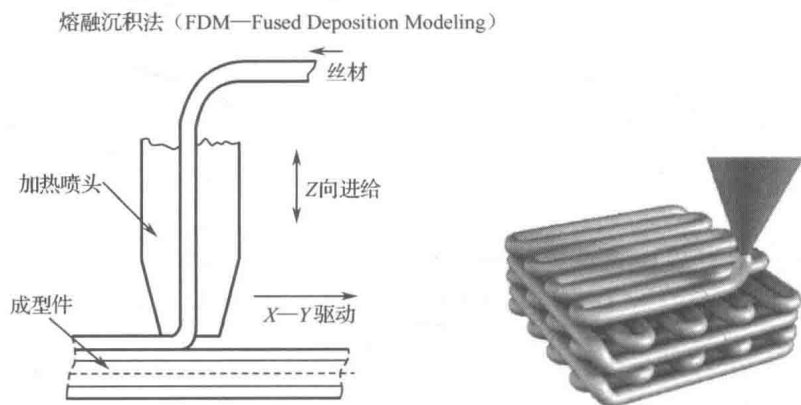


图 1-2-5 FDM 技术的成型原理图

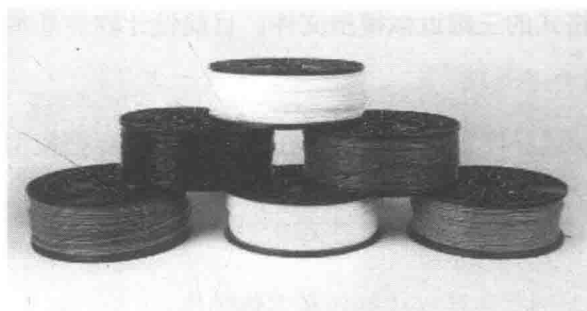


图 1-2-6 PLA 材料

5. FDM 技术应用范围

FDM 技术现在主要用于新产品试制,制作概念模型,即结构复杂的装配原型件,或精度要求不高的创意产品。FDM 技术制造的模型,可以用于装配验证、销售展示、个性产品的制作等。

6. FDM 技术优缺点

1) 优点

- (1) 设备构造原理和操作简单,维护成本低,系统运行安全。
- (2) 制造系统无毒气或化学物质污染,一次成型、易操作且不产生垃圾。
- (3) 可选用多种材料,材料性能好,ABS 强度可以达到注塑零件的 1/3。
- (4) 原材料利用率高,材料寿命长,以卷材形式提供,便于搬运和更换。
- (5) 支撑去除简单,不需要化学清洗,分离容易。
- (6) 可以成型任意复杂程度的零件。

2) 缺点

- (1) 成型精度较低,成型件的表面有较明显的层堆积纹理。



(2) 悬臂结构或斜度大于 60° 时, 需要制作支撑结构。

(3) 成型速度相对较慢。

7. FDM 技术制造过程

FDM 技术制造模型的过程包括设计 CAD 模型、CAD 模型的近似处理、对 STL 文件进行分层处理、造型、后处理。

1) 设计 CAD 模型

设计人员根据需求运用设计软件制作出三维 CAD 模型。目前, 常用的设计软件有 Pro/Engineering、SolidWorks、CATIA、AutoCAD、UG、MAYA、3DMAX 等。

2) CAD 模型的近似处理

这一步主要是为了清除产品表面不规则的曲面, 所以在加工前一定要对其进行近似处理。目前国内采用的是美国 3D system 公司开发的 STL 文件格式, 是用一系列相连的小三角平面来逼近曲面, 得到 STL 格式的三维近似模型文件。目前设计软件基本都有这个功能。

3) 对 STL 文件进行分层处理

因为快速成型都是一层一层打印的, 所以在打印前, 需要把模型转化为一层一层的层片模型, 每层的厚度在 $0.05\sim 0.4\text{mm}$ 之间。

4) 造型

FDM 技术制造的模型造型包括支撑制作和实体制作。

(1) 支撑制作。

在 FDM 技术制作模型的过程中, 最重要的是支撑制作。因为一旦支撑没做好, 就会导致制作的模型塌陷变形, 影响模型的成型精度。同时, 制作支撑还有一个重要的目的, 就是建立基础层, 即工作平台与模型之间的缓冲层, 基础层有利于原型剥离平台, 同时, 还可以在制作过程中提供一个基准面。

(2) 实体制作。

在支撑做好后, 就可以一层一层、自下而上层层叠加打印出模型。

5) 后处理

3D 打印成型的后处理主要是对原型进行表面处理。去除支撑部分, 对模型表面进行处理。但是, 原型的部分复杂和细微结构的支撑很难去除, 有时还会损坏原型。Stratasys 公司开发的水溶性支撑材料, 可以很好地去除支撑部分。

8. FDM 技术的发展前景

FDM 技术作为 3D 打印成型技术中的一种, 其发展前景广泛。FDM 技术因为其制作简单、成本低廉, 所以, 对于企业来说, 可以节约成本开支; 同时, FDM 技术现主要用于制造概念模型, 便于设计师直接观看, 从而发现设计不足。因此, FDM 技术将会在设计行业、制造业等行业大放异彩, 发挥重要作用。



1.2.2 SLS 技术

1. SLS 技术概念

SLS 技术，全称为粉末材料选择性烧结（Selected Laser Sintering），是采用红外激光作为热源来烧结粉末材料，以逐层添加方式成型三维零件的一种快速成型方法。

2. SLS 技术的历史简介

SLS 分层制造技术是由美国得克萨斯大学奥斯汀分校的 C. R. Dechard 于 1989 年研制成功。目前德国 EOS 公司推出了自己的 SLS 工艺成型机 EOSINT，分为适用于金属、聚合物和砂型三种机型。我国的北京隆源自动成型系统有限公司和华中科技大学也相继开发出了商品化的设备。SLS 代表设备金属粉末 3D 打印机如图 1-2-7 所示，SLS 尼龙粉末 3D 打印机如图 1-2-8 所示。

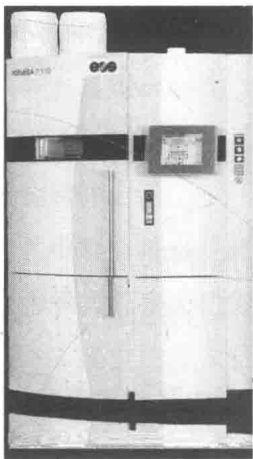


图 1-2-7 SLS 金属粉末 3D 打印机



图 1-2-8 SLS 尼龙粉末 3D 打印机

3. SLS 技术的成型原理

SLS 技术的成型原理是：在开始加工前，需要把充有氮气的工作室升温，并保持在粉末的熔点以下。成型时，送料桶上升，铺粉的滚筒移动，先在工作平台上铺一层粉末材料，然后激光束在计算机的控制下按照截面轮廓对实心部分所在的粉末进行烧结，使粉末熔化继而形成一层固体轮廓。第一层烧结完成后，工作台下降一截面层的高度，再铺上一层粉末，进行下一层烧结，如此循环往复，层层叠加，直到三维零件成型。最后，将未烧结的粉末回收收到粉末缸中，并取出成型件。对于金属粉末激光烧结，在烧结之前，整个工作台被加热至一定温度，可减少成型中的热变形，并利于层与层之间的结合。SLS 技术的快速成型系统工作原理如图 1-2-9 所示，该工艺成型样件如图 1-2-10 所示。

4. SLS 技术所用耗材

SLS 技术目前可以使用的打印耗材有尼龙粉末、PS 粉末、PP 粉末、金属粉末、陶瓷粉末、树脂砂和覆膜砂。

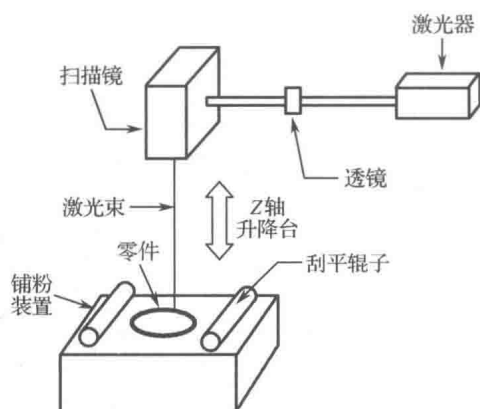


图 1-2-9 SLS 技术的快速成型系统工作原理图

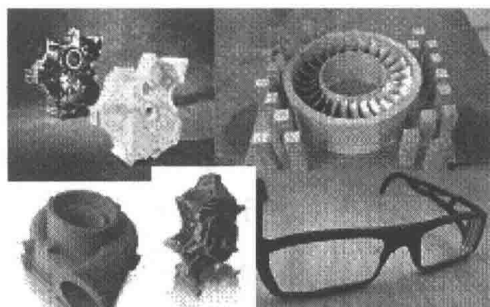


图 1-2-10 SLS 工艺成型样件

5. SLS 技术应用范围

SLS 技术不仅可以运用于快速模型的制造，而且还可用于产品的小批量生产。

6. SLS 技术优缺点

1) 优点

- (1) 能生产较硬的模具。
- (2) 可以采用多种原料，包括类工程塑料、蜡、金属、陶瓷等。
- (3) 零件构建时间短，EOS 公司生产的 EOSINT S750 成型速度最大可达 $2500\text{cm}^3/\text{h}$ 。
- (4) 不需要设计和构造支撑。

2) 缺点

- (1) 有激光损耗，需要专门实验室环境，使用及维护费用高。
- (2) 需要预热和冷却，后处理麻烦。
- (3) 成型表面受粉末颗粒大小及激光光斑的限制。
- (4) 加工室需要不断充氮气，加工成本高。
- (5) 成型过程产生有毒气体和粉尘，污染环境。

7. SLS 技术制造过程

SLS 工艺因为材料不同，具体的烧结工艺也是不同的。

1) 高分子粉末材料烧结工艺

以高分子粉末材料为例，此材料的烧结工艺过程可以分为前处理、粉层激光烧结叠加和后处理 3 个阶段。

(1) 前处理主要是利用设计软件设计出三维 CAD 造型，将 STL 数据转换后输入到粉末激光烧结快速成型系统中。

(2) 第二阶段就是粉层激光烧结叠加：设备根据原型的结构特点，设定具体的制造参数，设备自动完成原型的逐层粉末烧结叠加过程。当所有叠层自动烧结叠加完成之后就需要把制



造的原型在成型缸中冷却至 40°C 以下, 把原型捞出进行后期处理。

(3) 后处理: 因为制造出的模型强度很弱, 所以在整个后期处理过程中需要进行渗蜡或者渗树脂补强处理。

2) 金属零件间接烧结工艺

金属零件间接烧结工艺分为 3 个阶段: SLS 原型件的制作、粉末烧结件的制作、金属熔渗后处理。

(1) SLS 原型件的制作包括 CAD 建模、分层切片、激光烧结、原型。此阶段的关键在于, 如何选用合理的粉末配比和加工工艺参数实现原型件的制作。

(2) 粉末烧结件的制作又称“褐件”制作, 此阶段过程为二次烧结 (800°C) 至三次烧结 (1080°C), 此阶段的关键在于, 烧制原型件中的有机物质获得具有相对准确形状和强度的金属结构体。

(3) 金属熔渗阶段过程为: 二次烧结 (800°C) $\rightarrow$ 三次烧结 (1080°C) $\rightarrow$ 金属熔渗 $\rightarrow$ 金属件。此阶段的关键在于, 选用合适的熔渗材料及工艺, 以获得较致密的金属零件。

3) 金属零件直接烧结制造工艺

SLS 工艺的金属零件直接制造工艺流程为: CAD 模型 $\rightarrow$ 分层切片 $\rightarrow$ 激光烧结 (SLS) $\rightarrow$ RP 原型零件 $\rightarrow$ 金属件。

4) SLS 工艺中影响模型精度的因素

在利用 SLS 工艺制造原型件的过程中, 容易影响原型件精度的因素有很多, 比如 SLS 设备精度误差、CAD 模型切片误差、扫描方式、粉末颗粒、环境温度、激光功率、扫描速度、扫描间距、单层厚度等。其中烧结工艺参数对精度和强度的影响是很大的。另外, 预热不均也会导致原型件精度变差。

(1) 激光功率: 随着激光功率的增加, 尺寸误差正方向增大, 并且厚度方向的增大趋势要比宽度方向的尺寸误差大。

(2) 扫描速度: 当扫描速度增大时, 尺寸误差向负向误差方向减小, 强度减小。

(3) 扫描间距: 随着扫描间距的增大, 尺寸误差向负差方向减小。

(4) 单层厚度: 随着单层厚度的增加, 强度减小, 尺寸误差向负差方向减小。

8. SLS 技术的发展前景

SLS 工艺自发明以来, 十几年的时间里, 在各个行业得到了快速的发展, 其主要是用于快速制造模型, 利用制造出来的模型进行测试, 以提高产品的性能, 同时, SLS 技术还用于制作比较复杂的零件。虽然, SLS 技术得到了一些行业广泛的应用, 但在未来发展中, SLS 技术还应该加强成型工艺和设备的开发与改进, 寻找更有利 SLS 技术的新材料、研究 SLS 技术制造模型的新手段以及 SLS 技术的后处理工艺的优化。随着 SLS 技术的发展, 新的工艺以及材料的发现, 会对未来的制造业产生巨大的推动作用。