

高等教育“十三五”规划教材



# 3D打印实用教程

3D DAYIN SHIYONG JIAOCHENG

主编 芜湖林一电子科技有限公司

编著 王刚 黄仲佳



时代出版传媒股份有限公司  
安徽科学技术出版社

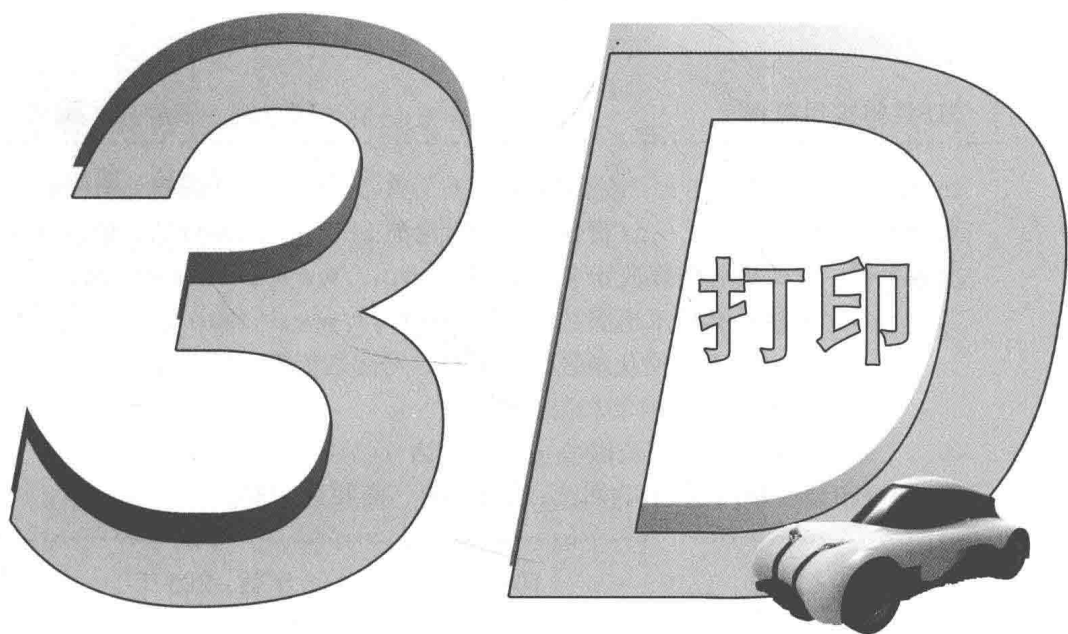
高等教育“十三五”

# 3D打印实用教程

3D DAYIN SHIYONG JIAOCHENG

主编 芜湖林一电子科技有限公司

编著 王刚 黄仲佳



时代出版传媒股份有限公司  
安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

3D 打印实用教程 / 王刚, 黄仲佳编著. --合肥: 安徽  
科学技术出版社, 2016. 8

ISBN 978-7-5337-6978-9

I. ①3… II. ①王…②黄… III. ①立体印刷-印刷  
术-教材 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 130780 号

3D 打印实用教程

王 刚 黄仲佳 编著

出 版 人: 黄和平

选题策划: 王 勇

责任编辑: 王 勇

责任校对: 刘 莉

责任印制: 李伦洲

封面设计: 朱 婧

出版发行: 时代出版传媒股份有限公司 <http://www.press-mart.com>

安徽科学技术出版社

<http://www.ahstp.net>

(合肥市政务文化新区翡翠路 1118 号出版传媒广场, 邮编: 230071)

电话: (0551)63533323

印 制: 安徽金日印刷有限公司

电话: (0551)65654069

(如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与印刷厂商联系调换)

开本: 787×1092 1/16

印张: 9.5

字数: 225 千

版次: 2016 年 8 月第 1 版

2016 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5337-6978-9

定价: 45.00 元

版权所有, 侵权必究

# 《3D 打印实用教程》

## 编 委 会

**主任:**黄仲佳

**成员:**(排名不分先后)

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 杨 辉 | 葛新亚 | 杜兰萍 | 姚道如 | 张信群 | 汪永华 |
| 陈传胜 | 陈之林 | 张传胜 | 王 刚 | 陈 静 | 张大荣 |
| 束传俊 | 程正翠 | 段建伟 | 邵 刚 | 熊良平 | 毕亚东 |
| 程启森 | 陈丽莉 | 张 俊 | 杨 军 | 孟新耀 | 黄 飞 |
| 黎 闯 | 李海俊 | 刘一胜 | 吕月林 | 张作胜 | 谢金刚 |
| 王文浩 | 刘 顺 | 张 俊 | 孙 伟 |     |     |

**主编:**芜湖林一电子科技有限公司

**编著:**王 刚 黄仲佳

**参编:**刘明朗 邢 昌 刘俊松 吕月林



## 前 言

3D 打印技术又名增材制造技术,是以计算机三维设计模型为蓝本,通过软件分层离散和数控成型系统,利用激光束、热熔喷嘴等方式将金属粉末、陶瓷粉末、塑料、细胞组织等特殊材料进行逐层堆积黏结,最终叠加成型,制造出实体产品。随着工业技术的不断发展,个性化制造将成为未来的趋势,传统制造方法面临的挑战将会越来越大。在一些工艺复杂、性能要求高的领域,3D 打印技术充分展现了其成本低、周期短、质量高的优势,应用前景十分广阔。3D 打印技术应用涵盖产品设计、模具设计与制造、材料工程、医学研究、文化艺术、建筑工程等各个领域。3D 打印技术的推广应用是制造工艺的一次变革、制造技术的一次飞跃、制造模式的一次革命。从长远看,这项技术应用范围之广将超乎想象,最终将会给人们的生产和生活方式带来颠覆式的改变,正如著名的《经济学人》对 3D 打印技术的描述——这是一种新型的生产方式,能够促成第三次工业革命。

本书介绍了 3D 打印技术的应用领域、基本建模方法,FDM 型 3D 打印机的控制软件、操作方法,3D 打印后期处理方法等内容,并以实例详述了 3D 打印的整个过程及相关注意事项。本书在内容编排上以建模—打印—后期处理为主线,前后连贯,结构严谨。本书讲解清晰,语言通俗易懂,并配有丰富的实例,便于进行操作和学习,使读者能够轻松入手,快速掌握 3D 打印的基本流程和操作方法。

本书由安徽工程大学机械与汽车工程学院王刚、黄仲佳担任主编,安徽工程大学机械与汽车工程学院刘明朗、邢昌、刘俊松以及芜湖林一电子科技有限公司吕月林参与了编写。编写分工如下:王刚统稿并编写了第 2 章的 2.1 节和 2.2 节、第 4 章;黄仲佳编写了第 2 章的 2.3 节、2.4 节和 2.5 节、第 7 章;刘明朗编写了第 3 章;邢昌编写了第 1 章的 1.3 节、1.4 节和 1.5 节;刘俊松编写了第 1 章的 1.1 节和 1.2 节;吕月林编写了第 5 章和第 6 章。

本书在编写过程中得到了安徽省春谷 3D 打印智能装备产业技术研究院的大力支持,由芜湖林一电子科技有限公司提供设备图片和实训例子,也得到了许多专家和同仁的热情帮助,在此谨向他们表示衷心的感谢!

由于编者的水平和经验有限,书中难免有不当和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

# CONTENTS .....

## 目录

### 第1章

### 3D 打印技术概述

#### 1.1 3D 打印介绍/1

##### 1.1.1 3D 打印原理与流程/1

##### 1.1.2 3D 打印的历史与发展/2

#### 1.2 3D 打印类型/3

##### 1.2.1 熔融沉积成型/3

##### 1.2.2 立体光固化成型/4

##### 1.2.3 选区激光烧结成型/5

##### 1.2.4 三维印刷成型/6

##### 1.2.5 分层实体制造成型/7

#### 1.3 3D 打印常用材料/7

##### 1.3.1 工程塑料/7

##### 1.3.2 光敏树脂/8

##### 1.3.3 金属材料/9

##### 1.3.4 陶瓷材料/9

#### 1.4 3D 打印的应用/10

##### 1.4.1 航空航天/10

##### 1.4.2 生物医学/12

##### 1.4.3 机械制造/13

##### 1.4.4 文化教育/15

##### 1.4.5 其他/16

#### 1.5 3D 打印与汽车制造业/16

##### 1.5.1 3D 打印汽车历史/16

##### 1.5.2 3D 打印在汽车中的应用领域/19

##### 1.5.3 3D 打印在汽车领域的发展前景/22

### 3D 打印基本建模方法

### 第2章

#### 2.1 正向建模方法(软件建模)/24

##### 2.1.1 Pro/Engineer/24

##### 2.1.2 SolidWorks/24

##### 2.1.3 UG NX/24

##### 2.1.4 3D Studio Max/25

##### 2.1.5 Maya/25

##### 2.1.6 Rhino/25



|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 2.2   | 逆向建模方法——三维扫描建模/25           |
| 2.2.1 | 基本特点/26                     |
| 2.2.2 | 硬件配置/26                     |
| 2.2.3 | 系统需求/27                     |
| 2.3   | Geomagic Studio 逆向建模基本介绍/27 |
| 2.3.1 | Geomagic Studio 功能介绍/27     |
| 2.3.2 | Geomagic Studio 工作界面/28     |
| 2.3.3 | Geomagic Studio 鼠标操作及快捷键/29 |
| 2.3.4 | Geomagic Studio 工具栏命令详解/30  |
| 2.3.5 | Geomagic Studio 处理流程/33     |
| 2.3.6 | Geomagic Studio 点阶段/33      |
| 2.3.7 | Geomagic Studio 多边形阶段/35    |
| 2.3.8 | Geomagic Fashion 阶段/37      |
| 2.4   | LY-3D20 三维扫描仪操作向导与实例/37     |
| 2.4.1 | 界面介绍与功能说明/37                |
| 2.4.2 | 扫描实例演示/47                   |
| 2.5   | 基于2D的建模方法/52                |
| 2.5.1 | 基于草图的建模/52                  |
| 2.5.2 | 基于照片的建模/52                  |

### 第3章 FDM型3D打印机控制软件

|       |                |
|-------|----------------|
| 3.1   | Cura 软件安装/54   |
| 3.2   | Cura 软件功能介绍/56 |
| 3.2.1 | 基本界面/56        |
| 3.2.2 | 模型转换/59        |

### FDM型3D打印机设置与操作 第4章

|       |                     |
|-------|---------------------|
| 4.1   | FDM 型3D 打印机介绍/64    |
| 4.2   | FDM 型3D 打印机设置/65    |
| 4.2.1 | 操作面板设置/65           |
| 4.2.2 | 操作面板常用操作/67         |
| 4.3   | FDM 型3D 打印机维护与保养/71 |
| 4.3.1 | 打印机日常维护指南/71        |
| 4.3.2 | 常见问题及故障排除(FAQ)/76   |



## 5.1 抛光/77

## 5.1.1 化学抛光/77

## 5.1.2 电解抛光/77

## 5.1.3 超声波抛光/77

## 5.1.4 流体抛光/78

## 5.1.5 磁研磨抛光/78

## 5.1.6 机械抛光/78

## 5.2 喷砂/80

## 5.3 砂纸打磨/80

## 5.4 蒸汽平滑/80

## 5.5 珠光处理/81

## 5.6 上色/81

## 第 6 章

## 3D 打印及逆向三维数字建模实训

## 6.1 3D 打印实训/83

## 实训 1——烟灰缸 3D 打印/83

## 实训 2——4 缸发动机模型 3D 打印/91

## 实训 3——工艺品模型 3D 打印/97

## 实训 4——实用手机支架 3D 打印/104

## 实训 5——医用脊椎骨模型 3D 打印/112

## 6.2 三维数字建模实训/119

## 实训 6——轮胎模型逆向建模/119

## 实训 7——铸件模型逆向建模/132



# 第1章 3D打印技术概述

## 1.1 3D打印介绍

### 1.1.1 3D打印原理与流程

3D打印技术,是以计算机三维设计模型为蓝本,通过软件分层离散和数控成型系统,利用激光束、热熔喷嘴等方式将金属粉末、陶瓷粉末、塑料、细胞组织等特殊材料进行逐层堆积黏结,最终叠加成型,制造出实体产品。与传统制造业通过模具、车铣等机械加工方式对原材料进行定型、切削为最终生产成品不同,3D打印将三维实体变为若干个二维平面,通过对材料处理并逐层叠加进行生产,大大降低了制造的复杂度。这种数字化制造模式不需要复杂的工艺、庞大的机床和众多的人力,直接从计算机图形数据中便可生成任何形状的零件。

我们日常生活中使用的普通打印机可以打印电脑设计的平面物品,而所谓的3D打印机与普通打印机工作原理基本相同,只是打印材料有些不同。普通打印机的打印材料是墨水和纸张,而3D打印机内装有金属、陶瓷、塑料、砂等不同的“打印材料”,是实实在在的原材料,打印机与电脑连接后,通过电脑控制可以把“打印材料”层层叠加起来,最终把电脑上的蓝图变成实物。通俗地说,3D打印机是可以“打印”出真实的3D物体的一种设备,比如打印一个机器人模型、玩具车、各种模型,甚至是食物等。之所以通俗地称其为“打印机”是参照了普通打印机的技术原理,因为分层加工的过程与喷墨打印十分相似。这项打印技术称为3D打印技术。

只需要一个想法,一些材料,一台3D打印机就可以把人脑中的一切想法转化成实体,它可以打印一辆车、一栋房子、一只胳膊,甚至一块猪肉。3D打印机的操作原理与传统打印机很多地方是相似的,它配有熔化的尼龙粉和卤素灯,允许使用者下载图案。与传统打印机不同的是,打印的不是纸而是粉末。打印时,它将设计品分为若干薄层,每次用原材料生成一个薄层,再通过逐层叠加“成型”。3D打印技术的神奇之处在于可以自动、快速、直接和精确地将电脑中的设计转化为模型,甚至直接制造零件或模具,不再需要传统的刀具、夹具和机床,就可以打造出任意形状,小型产品半天就可完成。

从3D打印的制作过程出发,可以划分为设计与打印两个阶段,如图1-1所示。在设计阶段,主要通过三维建模软件或者三维扫描仪进行设计。三维建模和可视化对物体最终的打印效果起着重要作用,可以在开放式设计理念下进行合作设计与创作;在打印阶段,3D打印机对三维模型进行逐层分切,通过读取文件中的横截面信息,对分切的每一个层

进行构建,将这些截面逐层打印出来,再将各层截面以各种方式黏合起来,从而制造出一个实体。

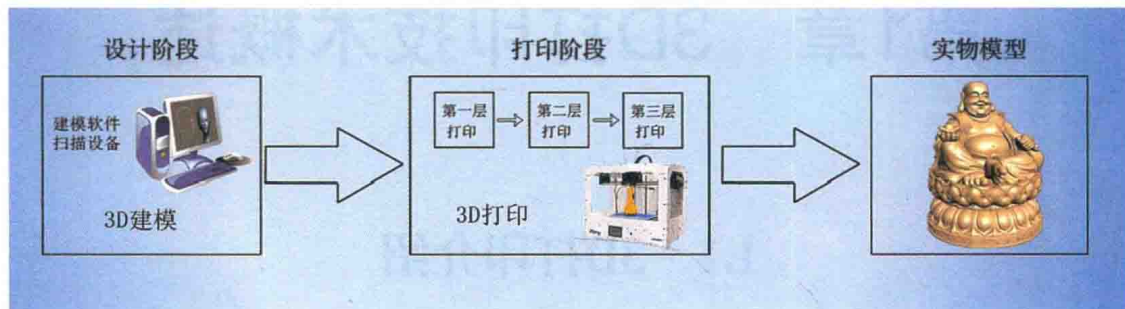


图1-1 3D打印基本流程

### 1.1.2 3D打印的历史与发展

3D打印并非新鲜的技术,这个思想起源于19世纪末的美国,并在20世纪80年代得以发展和推广。早在1892年,J.E.Blanther在其专利中曾建议用分层制造法构成地形图。1902年,C.Baese的专利提出了用光敏聚合物制造塑料件的原理构造地形图。1904年,Perera提出了在硬纸板上切割轮廓线,然后将这些纸板黏结成三维地形图的方法。

20世纪50年代之后,出现了几百个有关3D打印的专利。80年代后期,3D制造技术有了根本性的发展,出现的专利更多,仅在1986—1998年间注册的美国专利就有24个。1986年Hull先生发明了光固化成型(SLA,Stereo lithography Appearance),1988年Feygin发明了分层实体制造,1989年Deckard发展了粉末激光烧结技术(SLS,Selective Laser Sintering),1992年Crump发明了熔融沉积制造技术(FDM,Fused Deposition Modeling),1993年Sachs先生在麻省理工大学发明了3D打印技术。1995年,麻省理工创造了“三维打印”一词,当时的毕业生J.Bredt和T.Anderson修改了喷墨打印机方案,变为把约束熔剂挤压到粉末床的解决方案,而不是把墨水挤压在纸张上的方案。

随着3D打印专利技术的不断发明,相应的用于生产的设备也被研发出来。最早的3D打印出现在上个世纪的80年代,1988年美国的3D Systems公司根据Hull的专利,生产出了第一台现代3D打印设备——SLA-250(光固化成形机),开创了3D打印技术发展的新纪元。在此后的10年中,3D打印技术蓬勃发展,涌现出十余种新工艺和相应的3D打印设备。科学家们表示,目前三维打印机的使用范围还很有限,不过在未来的某一天人们一定可以通过3D打印机打印出更实用的物品。



## 1.2 3D打印类型

### 1.2.1 熔融沉积成型

FDM是“Fused Deposition Modeling”的缩写形式,意为熔融沉积成型。熔融沉积成型(FDM)工艺的材料一般是热塑性材料,如蜡、ABS、PC、尼龙等。以丝状供料,材料在喷头内被加热熔化,喷头沿零件截面轮廓和填充轨迹运动,同时将熔化的材料挤出,材料迅速固化,并与周围的材料黏结,基本原理如图1-2所示。每一个层片都是在上一层上堆积而成,上一层对当前层起到定位和支撑的作用。随着高度的增加,层片轮廓的面积和形状都会发生变化,当形状发生较大的变化时,上层轮廓就不能给当前层提供充分的定位和支撑作用,这就需要设计一些辅助结构——“支撑”,对后续层提供定位和支撑,以保证成形过程的顺利实现。该类型的设备目前主要以桌面机为主,如图1-3所示,便于使用者个性化的创造。

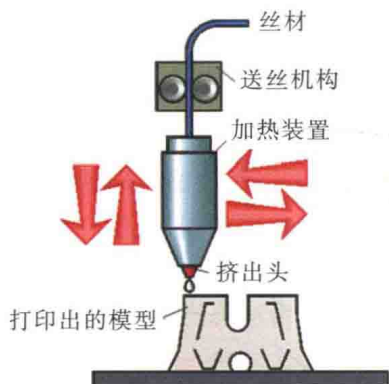


图1-2 FDM基本原理



图1-3 桌面级FDM设备外观

FDM工艺不用激光,使用、维护简单,成本较低。用蜡成形的零件原形,可以直接用于失蜡铸造。用ABS制造的原形因具有较高强度而在产品设计、测试与评估等方面得到广泛应用。近年来又开发出PC、PC/ABS、PPSF等更高强度的成型材料,使得该工艺有可能直接制造功能性零件。由于这种工艺具有一些显著优点,发展极为迅速,目前FDM系统在全球已安装快速成型系统中的份额大约为30%。

FDM打印技术具有以下优点:

(1)快速塑料零件制造。材料性能一直是FDM工艺的主要优点,其ABS原形强度可以达到注塑零件的1/3。近年来又发展出PC、PC/ABS、PPSF等材料,强度已经接近或超过普通注塑零件,可在某些特定场合(试用、维修、暂时替换等)下直接使用。虽然直接金属零件成型(近年来许多研究机构和公司都在进行这方面的研究,是当今快速原形领域的一个研究热点)的材料性能更好,但在塑料零件领域,FDM工艺是一种非常适宜的快速制造方式。随着材料性能和工艺水平的进一步提高,相信会有更多的FDM原形在各种场合直接使用。缺点:成型物体表面粗糙。

(2)不使用激光,维护简单,成本低。价格是成型工艺是否适于三维打印的一个重要因素。多用于概念设计的三维打印机对原形精度和物理化学特性要求不高,便宜的价格是其能否推广开来的决定性因素。

(3)塑料丝材,清洁,更换容易。与其他使用粉末和液态材料的工艺相比,丝材更加清洁,易于更换、保存,不会在设备中或附近形成粉末或液体污染。

(4)后处理简单。仅需要几分钟到一刻钟的时间剥离支撑后,原形即可使用。而现在应用较多的SLS,3DP等工艺均存在清理残余液体和粉末的步骤,并且需要进行后固化处理,需要额外的辅助设备。这些额外的后处理工序一是容易造成粉末或液体污染,二是增加了几个小时的时间,不能在成型完成后立刻使用。

(5)成型速度较快。一般来讲,FDM工艺相对于SL、SLS、3DP工艺来说,速度是比较慢的。但针对三维打印应用,其也有一定的优势。首先,SL、SLS、3DP都有层间过程(铺粉/液、挂平),因而它们一次成型多个原形速度很快,例如3DP可以做到1小时成型25 mm左右高度的原形。三维打印机成形空间小,一次成型1至2个原型,相对来讲,他们的速度优点就不甚明显。其次三维打印机对原形强度要求不高,所以FDM工艺可通过减小原形密实程度的方法提高成型速度。通过试验,具有某些结构特点的模型,最高成型速度已经可以达到 $60\text{ cm}^3/\text{h}$ 。通过软件优化及技术进步,预计可以达到 $200\text{ cm}^3/\text{h}$ 的高速度。

## 1.2.2 立体光固化成型

SLA是“Stereo lithography Appearance”的缩写,即立体光固化成型法。用特定波长与强度的激光聚焦到光固化材料表面,使之由点到线,由线到面顺序凝固,完成一个层面的绘图作业,然后升降台在垂直方向移动一个层片的高度,再固化另一个层面。这样层层叠加构成一个三维实体。SLA是最早实用化的快速成形技术,采用液态光敏树脂原料,工艺原理如图1-4所示。

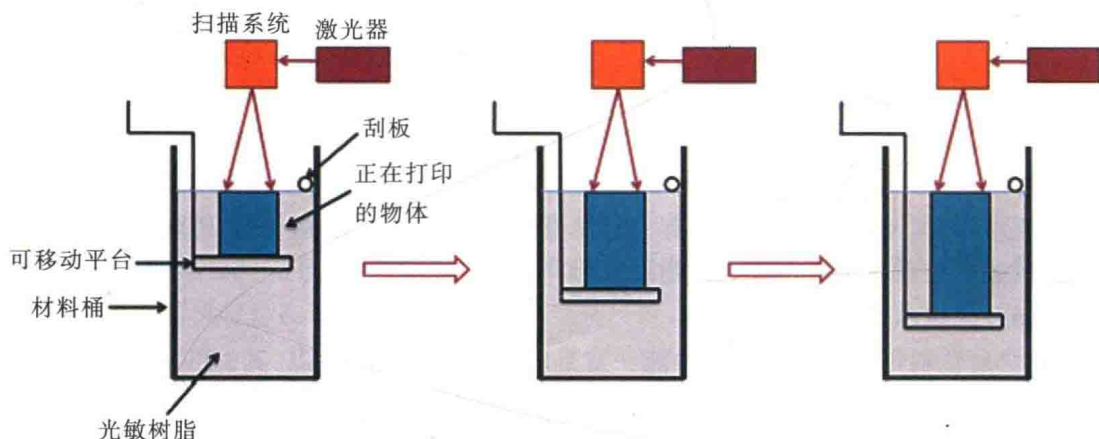


图1-4 SLA光固化成型工艺

SLA工艺过程是,首先通过CAD设计出三维实体模型,利用离散程序对模型进行切片处理,设计扫描路径,产生的数据将精确控制激光扫描器和升降台的运动;激光束通过数控装置控制的扫描器,按设计的扫描路径照射到液态光敏树脂表面,使表面特定区域内



的一层树脂固化,这层加工完毕后,就生成零件的一个截面;然后升降台下降一定距离,固化层上覆盖另一层液态树脂,再进行第二层扫描,第二固化层牢固地黏结在前一固化层上,这样一层层叠加形成三维工件原形。将原形从树脂中取出后,进行最终固化,再经打光、电镀、喷漆或着色处理即得到要求的产品。

SLA技术主要用于制造多种模具、模型等;还可以在原料中通过加入其他成分,用原形模代替熔模精密铸造中的蜡模。SLA技术成型速度较快,精度较高,但由于树脂固化过程中产生收缩,不可避免地会产生应力或引起形变。因此开发收缩小、固化快、强度高的光敏材料是其发展趋势。

### 1.2.3 选区激光烧结成型

SLS选区激光烧结技术,即“Selective Laser Sintering”,与3DP技术相似,同样采用粉末为材料。所不同的是,这种粉末在激光照射高温条件下才能熔化。喷粉装置先铺一层粉末材料,将材料预热到接近熔化点,再采用激光照射,对需要成型模型的截面形状扫描,使粉末熔化,被烧结部分黏合到一起。通过这种过程不断循环,粉末层层堆积,直到最后成型,工艺原理如图1-5所示。

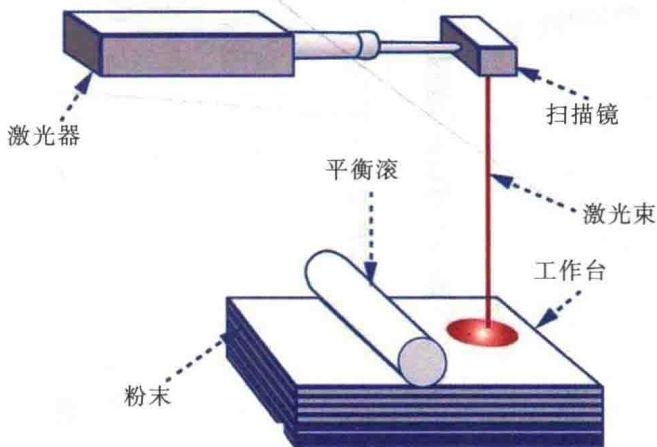


图1-5 SLS光固化成型工艺

激光烧结技术成型原理最为复杂,成型条件最高,是设备及材料成本最高的3D打印技术,但也是目前对3D打印技术发展影响最为深远的技术。目前SLS技术材料可以是尼龙、蜡、陶瓷、金属等,成型材料的种类多元化。

粉末材料选择性烧结采用二氧化碳激光器对粉末材料(塑料粉、陶瓷与黏结剂的混合粉、金属与黏结剂的混合粉等)进行选择性的烧结,是一种由离散点一层层堆集成三维实体的工艺方法。在开始加工之前,先将充有氮气的工作室升温,并保持在粉末的熔点以下。成型时,送料筒上升,铺粉滚筒移动,先在工作平台上铺一层粉末材料,然后激光束在电脑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,形成三维的原形零件。最后经过5~10小时冷却,即可从粉末缸中取出零件。未经烧结的粉末能承托正在烧结的工件,当烧结工序完成后,取出零件。

粉末材料选择性烧结工艺适合成型中小件,能直接得到塑料、陶瓷或金属零件,零件的翘曲变形比液态光敏树脂选择性固化工艺要小。但这种工艺仍需对整个截面进行扫描和烧结,加上工作室需要升温 and 冷却,成型时间较长。此外,由于受到粉末颗粒大小及激光点的限制,零件的表面一般呈多孔性。

通过烧结陶瓷、金属与黏结剂的混合粉得到原形零件后,须将它置于加热炉中,烧掉其中的黏结剂,并在孔隙中渗入填充物,其后处理复杂。粉末材料选择性烧结快速原形工艺适合于产品设计的可视化表现和制作功能测试零件。由于它可采用各种不同成分的金属粉末进行烧结、渗铜等后处理,因而制成的产品可具有与金属零件相近的机械性能,但由于成型表面较粗糙,渗铜等工艺复杂,所以有待进一步提高。

#### SLS技术的优点如下:

- (1)可以采用多种材料。从理论上说,任何加热后能够形成原子间黏结的粉末材料都可以作为SLS的成型材料。
- (2)过程与零件复杂程度无关,制件的强度高。
- (3)材料利用率高,未烧结的粉末可重复使用,材料无浪费。
- (4)无须支撑结构。
- (5)与其他成型方法相比,能生产较硬的模具。

#### SLS技术的缺点如下:

- (1)原形结构疏松、多孔,且有内应力,制作易变形。
- (2)生成陶瓷、金属制件的后处理较难。
- (3)需要预热和冷却。
- (4)成型表面粗糙多孔,并受粉末颗粒大小及激光光斑的限制。
- (5)成型过程产生有毒气体及粉尘,污染环境。

## 1.2.4 三维印刷成型

3DP三维印刷技术,即“Three Dimension Printing”。3DP打印机使用标准喷墨打印技术,通过将液态连接体铺放在粉末薄层上,以打印横截面数据的方式逐层创建各部件,最终形成三维实体模型。采用这种技术打印成型的样品模型与实际产品具有同样的色彩,还可以将彩色分析结果直接描绘在模型上,模型样品所传递的信息较大,如图1-6所示。

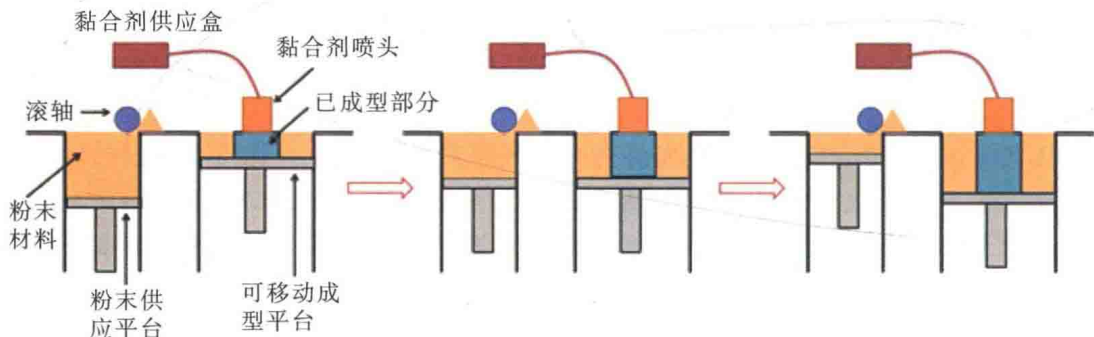


图1-6 3DP粉末黏合成型工艺



美国麻省理工大学的Emanuel Sachs教授于1989年申请了三维印刷技术(3DP)的专利。这是一种以陶瓷、金属等粉末为材料,通过黏合剂将每一层粉末黏合到一起,通过层层叠加而成型。1993年,粉末黏合成型工艺是实现全彩打印最好的工艺,使用石膏粉末、陶瓷粉末、塑料粉末等作为材料,是目前最为成熟的彩色3D打印技术。

## 1.2.5 分层实体制造成型

分层实体制造法(LOM,Laminated Object Manufacturing),LOM又称层叠法成型,它以片材(如纸片、塑料薄膜或复合材料)为原材料,其成形原理如图1-7所示。激光切割系统按照电脑提取的横截面轮廓线数据,将背面涂有热熔胶的纸用激光切割出工件的内外轮廓。切割完一层后,送料机构将新的一层纸叠加上去,利用热黏压装置将已切割层黏合在一起,然后再进行切割,这样一层层地切割、黏合,最终成为三维工件。

LOM常用材料是纸、金属箔、塑料膜、陶瓷膜等。此方法除了可以制造模具、模型外,还可以直接制造构件或功能件。该技术的特点是工作可靠,模型支撑性好,成本低,效率高。缺点是前、后处理费时费力,且不能制造中空结构件。

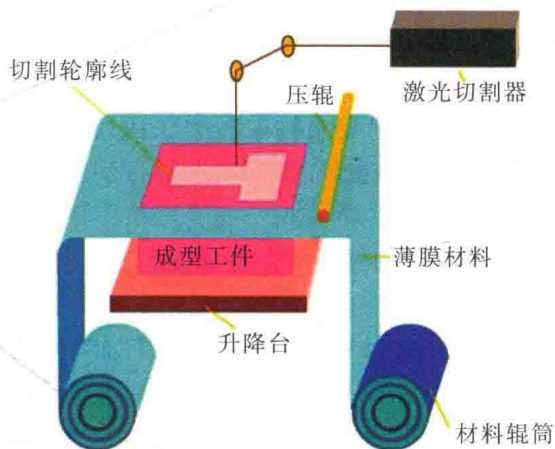


图1-7 LOM分层实体成型工艺

## 1.3 3D打印常用材料

3D打印材料是3D打印技术发展的重要物质基础,在某种程度上,材料的发展决定着3D打印能否有更广泛的应用。目前,3D打印材料主要包括工程塑料、光敏树脂、橡胶类材料、金属材料和陶瓷材料等。除此之外,彩色石膏材料、人造骨粉、细胞生物原料以及砂糖等食品材料也在3D打印领域得到了应用。3D打印所用的这些原材料都是专门针对3D打印设备和工艺而研发的,与普通的塑料、石膏、树脂等有所区别,其形态一般有粉末状、丝状、层片状、液状等。通常,根据打印设备的类型及操作条件的不同,所使用的粉末状3D打印材料的粒径为1~100  $\mu\text{m}$ 不等,而为了使粉末保持良好的流动性,一般要求粉末要具有高球形度。

### 1.3.1 工程塑料

工程塑料指被用作工业零件或外壳材料的工业用塑料,是强度、耐冲击性、耐热性、硬度及抗老化性均优的塑料。工程塑料是当前应用最广泛的一类3D打印材料,常见的有

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)类材料、Polycarbonate (PC)类材料、尼龙类材料等。ABS材料是Fused Deposition Modeling (FDM, 熔融沉积造型)快速成型工艺常用的热塑性工程塑料,具有强度高、韧性好、耐冲击等优点,正常变形温度超过90℃,可进行机械加工(钻孔、攻螺纹)、喷漆及电镀。

ABS材料的颜色种类很多,如象牙白、白色、黑色、深灰、红色、蓝色、玫瑰红色等,在汽车、家电、电子消费品领域有广泛的应用。

PC材料是真正热塑性材料,具备工程塑料的所有特性:高强度、耐高温、抗冲击、抗弯曲,可以作为最终零部件使用。使用PC材料制作的样件,可以直接装配使用,应用于交通工具及家电行业。PC材料的颜色比较单一,只有白色,但其强度比ABS材料高出60%左右,具备超强的工程材料属性,广泛应用于电子消费品、家电、汽车制造、航空航天、医疗器械等领域。

尼龙玻纤是一种白色的粉末,与普通塑料相比,其拉伸强度、弯曲强度有所增强,热变形温度以及材料的模量有所提高,材料的收缩率减小,但表面变粗糙,耐冲击强度降低。材料热变形温度为110℃,主要应用于汽车、家电、电子消费品领域。

PC-ABS复合材料是一种应用最广泛的热塑性工程塑料。PC-ABS具备了ABS的韧性和PC材料的高强度及耐热性,大多应用于汽车、家电及通信行业。使用PC-ABS能打印出包括概念模型、功能原形、制造工具及最终零部件等热塑性部件。

Polycarbonate-Iso (PC-ISO)材料是一种通过医学卫生认证的白色热塑性材料,具有很高的强度,广泛应用于药品及医疗器械行业,用于手术模拟、颅骨修复、牙科等专业领域。同时,因为这种材料具备PC的所有性能,也可以用于食品及药品包装行业,做出的样件可以作为概念模型、功能原形、制造工具及最终零部件使用。

Polysulfone (PSU)类材料是一种琥珀色的材料,热变形温度为189℃,是所有热塑性材料里面强度最高,耐热性最好,抗腐蚀性最优的材料,通常作为最终零部件使用,广泛用于航空航天、交通工具及医疗行业。PSU类材料能带来直接数字化制造体验,性能非常稳定,通过与Rortus设备的配合使用,可以达到令人惊叹的效果。

## 1.3.2 光敏树脂

光敏树脂即Ultraviolet Rays (UV)树脂,由聚合物单体与预聚体组成,其中加有光(紫外光)引发剂(或称为光敏剂)。在一定波长的紫外光(250~300 nm)照射下能立刻引起聚合反应完成固化。光敏树脂一般为液态,可用于制作高强度、耐高温材料。常见的光敏树脂有Somos NEXT材料、树脂Somos 11122材料、Somos 19120材料和环氧树脂。

Somos NEXT材料为白色材质,类PC新材料,韧性非常好,基本可达到selective laser sintering (SLS, 选择性激光烧结)制作的尼龙材料性能,而精度和表面质量更佳。Somos NEXT材料制作的部件拥有迄今最优的刚性和韧性,同时保持了光固化立体造型材料做工精致、尺寸精确和外观漂亮的优点,主要应用于汽车、家电、电子消费品等领域。

Somos 11122材料看上去更像是真实透明的塑料,具有优秀的防水和尺寸稳定性,能提供包括ABS和PBT在内的多种类似工程塑料的特性,这些特性使它很适合用在汽车、医疗以及电子类产品领域。



Somos 19120材料为粉红色材质,是一种铸造专用材料。成型后可直接代替精密铸造的蜡膜原形,避免开发模具的风险,大大缩短制作周期,具有低留灰烬和高精度等特点。

环氧树脂是一种便于铸造的激光快速成型树脂,它含灰量极低(800℃时的残留含灰量<0.01%),可用于熔融石英和氧化铝高温型壳体系,而且不含重金属锑,可用于制造极其精密的快速铸造型模。

### 1.3.3 金属材料

近年来,3D打印技术逐渐应用于实际产品的制造,其中,金属材料的3D打印技术发展尤其迅速。在国防领域,欧美发达国家非常重视3D打印技术的发展,不惜投入巨资加以研究,而3D打印金属零部件一直是研究和应用的重点。3D打印所使用的金属粉末一般要求纯净度高、球形度好、粒径分布窄、氧含量低。目前,应用于3D打印的金属粉末材料主要有钛合金、钴铬合金、不锈钢和镍合金材料等,此外还有用于打印首饰用的金、银等贵金属粉末材料。

钛是一种重要的结构金属,钛合金因具有强度高、耐蚀性好、耐热性高等特点而被广泛用于制作飞机发动机压气机部件,以及火箭、导弹和飞机的各种结构件。钴铬合金是一种以钴和铬为主要成分的高温合金,它的抗腐蚀性能和机械性能都非常优异,用其制作的零部件强度高、耐高温。采用3D打印技术制造的钛合金和钴铬合金零部件,强度非常高,能制作的最小尺寸可达1 mm,而且其零部件机械性能优于锻造工艺。

不锈钢以其耐空气、蒸汽、水等弱腐蚀介质和酸、碱、盐等化学侵蚀性介质腐蚀而得到广泛应用。不锈钢粉末是金属3D打印经常使用的一类性价比较高的金属粉末材料。3D打印的不锈钢模型具有较高的强度,而且适合打印尺寸较大的物品。

### 1.3.4 陶瓷材料

陶瓷材料具有高强度、高硬度、耐高温、低密度、化学稳定性好、耐腐蚀等优异特性,在航空航天、汽车、生物等行业有着广泛的应用。但由于陶瓷材料硬而脆的特点使其加工成形尤其困难,特别是复杂陶瓷件需通过模具来成型。模具加工成本高,开发周期长,难以满足产品不断更新的需求。

3D打印用的陶瓷粉末是陶瓷粉末和某一种黏结剂粉末所组成的混合物。由于黏结剂粉末的熔点较低,激光烧结时只是将黏结剂粉末熔化而使陶瓷粉末黏结在一起。在激光烧结之后,需要将陶瓷制品放入到温控炉中,在较高的温度下进行后处理。陶瓷粉末和黏结剂粉末的配比会影响到陶瓷零部件的性能。黏结剂分量越多,烧结越容易,但在后置处理过程中零件收缩比较大,会影响零件的尺寸精度。黏结剂分量少,则不易烧结成型。颗粒的表面形状及原始尺寸对陶瓷材料的烧结性能非常重要,陶瓷颗粒越小,表面越接近球形,陶瓷层的烧结质量越好。

瓷粉末在激光直接快速烧结时液相表面张力大,在快速凝固过程中会产生较大的热应力,从而形成较多微裂纹。目前,陶瓷直接快速成形工艺尚未成熟,国内外正处于研究