

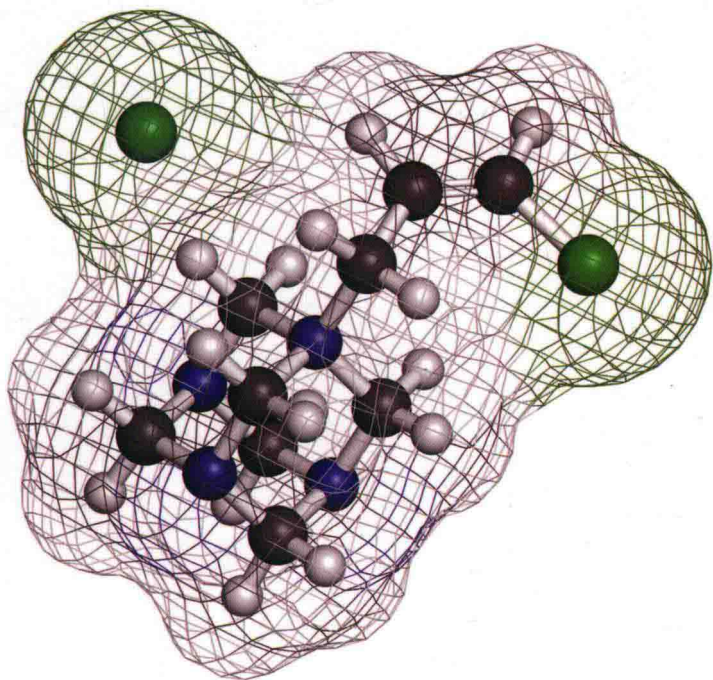


全国应用型高校3D打印领域  
人才培养“十三五”规划教材

顾问 卢秉恒  
丛书主编 史玉升 朱 红

# 3D 打印材料

朱 红 谢 丹◎主编



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

全国应用型高校 3D 打印领域人才培养“十三五”规划教材

# 3D 打印材料

主 编 朱 红 谢 丹  
副主编 陈森昌 罗 贤  
参 编 郭 璐 黎 楠



华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 提 要

3D 打印是一种快速成型技术,它以三维数字模型文件为基础,运用高能束流或其他方式,通过逐层打印或粉末熔铸的方式来将液体材料、粉末材料、丝状材料、片层材料等进行逐层堆积、黏结,最终叠加成型来构造形体的技术。

本书分为 5 个模块,针对不同打印成型方式,将常用的 3D 打印金属材料、3D 打印非金属材料、3D 打印生物医用材料和 3D 打印新型材料的性能、种类、应用和展望进行了完整的介绍。项目内容按照材料的物理化学性能层层递进,强调材料性能对打印的影响,介绍国内外常用打印材料的牌号及其性能,各种打印技术对材料的要求等。

### 图书在版编目(CIP)数据

3D 打印材料/朱红,谢丹主编. —武汉:华中科技大学出版社,2017. 9  
全国应用型高校 3D 打印领域人才培养“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-5680-2924-7

I. ①3… II. ①朱… ②谢… III. ①立体印刷-印刷术-高等学校-教材 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 126911 号

### 3D 打印材料

朱 红 谢 丹 主 编

3D Dayin Cailiao

策划编辑:张少奇  
责任编辑:刘 飞  
封面设计:杨玉凡  
责任校对:刘 竣  
责任监印:周治超

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:武汉楚海文化传播有限公司  
印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司  
开 本:710mm×1000mm 1/16  
印 张:11.25  
字 数:229 千字  
版 次:2017 年 9 月第 1 版第 1 次印刷  
定 价:38.80 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

# 全国应用型高校 3D 打印领域人才培养“十三五”规划教材

## 编审委员会

顾问:卢秉恒 西安交通大学

总主编:史玉升 华中科技大学

朱红 武汉职业技术学院

主任:史玉升 华中科技大学

副主任:周钢 华中科技大学

陈森昌 广东技术师范学院

李义军 湖北嘉一三维高科股份有限公司

委员:(按姓氏笔画排序)

王晖 佛山职业技术学院

文世峰 华中科技大学

刘凯 武汉职业技术学院

李中伟 华中科技大学

李文慧 文华学院

杨振国 佛山职业技术学院

杨家军 文华学院

余日季 湖北大学

张帆 武汉理工大学

张新建 文华学院

陈曦 广东技术师范学院

易杰 湖南工业职业技术学院

胡斌 湖北嘉一三维高科股份有限公司

钟飞 湖北工业大学

侯高雁 武汉职业技术学院

盛步云 武汉理工大学

谢丹 武汉职业技术学院

鄢国平 武汉工程大学

戴红莲 武汉理工大学

魏青松 华中科技大学

秘书:俞道凯 张少奇

# 序

3D 打印技术也称增材制造技术、快速成型技术、快速原型制造技术等,是近 30 年来全球先进制造领域兴起的一项集光/机/电、计算机、数控及新材料于一体的先进制造技术。它不需要传统的刀具和夹具,利用三维设计数据在一台设备上由程序控制自动地制造出任意复杂形状的零件,可实现任意复杂结构的整体制造。如同蒸汽机、福特汽车流水线引发的工业革命一样,3D 打印技术符合现代和未来制造业对产品个性化、定制化、特殊化需求日益增加的发展趋势,被视为“一项将要改变世界的技术”,已引起全球关注。

3D 打印技术将使制造活动更加简单,使得每个家庭、每个人都有可能成为创造者。这一发展方向将给社会的生产和生活方式带来新的变革,同时将对制造业的产品设计、制造工艺、制造装备及生产线、材料制备、相关工业标准、制造企业形态乃至整个传统制造体系产生全面、深刻的影响:①拓展产品创意与创新空间,优化产品性能;②极大地降低产品研发创新成本,缩短创新研发周期;③能制造出传统工艺无法加工的零部件,极大地增加工艺实现能力;④与传统制造工艺结合,能极大地优化和提升工艺性能;⑤是实现绿色制造的重要途径;⑥将全面改变产品的研发、制造和服务模式,促进制造与服务融合发展,支撑个性化定制等高级创新制造模式的实现。

随着 3D 打印技术在各行各业的广泛应用,社会对相关专业技能人才的需求也越来越旺盛,很多应用型本科院校和高职高专院校都迫切希望开设 3D 打印专业(方向)。但是目前没有一套完整的适合该层次人才培养的教材。为此,我们组织了相关专家和高校的一线教师,编写了这套 3D 打印技术教材,希望能够系统地讲解 3D 打印及相关应用技术,培养出适合社会需求的 3D 打印人才。

在这套教材的编写和出版过程中,得到了很多单位和专家学者的支持和帮助,西安交通大学卢秉恒院士担任本套教材的顾问,很多在一线从事 3D 打印技术教学工作的教师参与了具体的编写工作,也得到了许多 3D 打印企业和湖北省 3D 打印产业技术创新战略联盟等行业组织的大力支持,在此不一一列举,一并表示感谢!

我们希望该套教材能够比较科学、系统、客观地向读者介绍 3D 打印这一新兴制造技术,使读者对该技术的发展有一个比较全面的认识,也为推动我国 3D 打印

技术与产业的发展贡献一份力量。本套书可作为高等院校机械工程专业、材料工程专业、职业教育制造工程类的教材与参考书,也可作为产品开发与相关行业技术人员的参考书。

我们想使本套书能够尽量满足不同层次人员的需要,涉及的内容非常广泛,但由于我们的水平和能力有限,编写过程中有疏漏和不妥在所难免,殷切地希望同行专家和读者批评指正。

史玉升

2017年7月于华中科技大学

# 前 言

3D 打印技术是以三维数字模型为样本,通过逐层打印或粉末熔铸的方式来构造物体的技术,运用高能束流或其他方式,将液体、熔融体、粉末、丝、片等特殊材料进行逐层堆积黏结,最终叠加成型,直接构造出实体的技术。该技术的应用拓展与材料的性能密不可分,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。

“3D 打印材料”是高职院校机械类及近机类各专业中一门实用性较强的专业基础课程。本书的编写遵循“打好基础、精选内容、利于教学”的原则,注重理论与实践的紧密联系,既保证了必要、足够的理论知识内容,又增强了理论知识的应用性、实用性;本书分为五个模块,针对不同打印形式,将金属材料、非金属材料、生物材料和新型材料的性能、种类及应用进行了完整的介绍,项目内容按照材料的化学性能层层递进,强调材料性能对打印的影响,国内外常用打印材料的牌号及其性能,各种打印技术对材料的选取等。

本书由武汉职业技术学院朱红、谢丹担任主编,陈森昌、罗贤担任副主编,郭璐、黎楠参编。书中绪论、知识模块 3 与知识模块 5 由武汉市仪表电子学校罗贤编写;知识模块 1 中的 1.1 节与 1.4 节由武汉职业技术学院朱红编写;知识模块 1 中的 1.2 节由广东技术师范学院陈森昌编写;知识模块 1 中的 1.3 节、知识模块 2 中的 2.3 节及知识模块 4 由武汉职业技术学院谢丹编写;知识模块 2 中的 2.1 节由湖北水利水电职业技术学院黎楠编写;知识模块 2 中的 2.2 节由武汉职业技术学院郭璐编写;全书由武汉职业技术学院朱红负责统稿。

由于编者水平有限,书中难免出现疏漏和不足之处,敬请各位读者批评指正。

编 者

2017 年 6 月

# 目 录

绪论 .....	(1)
0.1 3D 打印材料简介 .....	(2)
0.2 3D 打印工艺对选材的要求 .....	(5)
0.3 3D 打印材料的分类 .....	(8)
0.4 本课程的学习目的和任务 .....	(9)
知识模块 1 3D 打印金属材料 .....	(11)
1.1 金属材料 .....	(12)
1.1.1 金属的力学性能 .....	(12)
1.1.2 金属的晶体结构与结晶 .....	(22)
1.1.3 合金的晶体结构与结晶 .....	(30)
1.1.4 铁碳合金 .....	(34)
1.1.5 热处理 .....	(39)
1.1.6 热处理新工艺简介 .....	(48)
1.2 3D 打印金属粉末及其成型时存在的问题 .....	(49)
1.2.1 金属粉末介绍 .....	(49)
1.2.2 金属粉末成型时存在的问题 .....	(51)
1.3 3D 打印常用金属材料及金属粉末烧结的未来发展 .....	(52)
1.3.1 3D 打印常用金属材料 .....	(52)
1.3.2 金属粉末烧结未来发展 .....	(69)
1.4 金属粉末的牌号及性能 .....	(70)
思考题 .....	(72)
知识模块 2 3D 打印非金属材料 .....	(73)
2.1 高分子材料 .....	(73)
2.1.1 高分子材料的性能 .....	(74)
2.1.2 高分子材料的种类 .....	(75)
2.1.3 常用高分子材料 .....	(80)
2.2 光敏树脂材料 .....	(102)
2.2.1 光固化机理及材料对成型质量的影响 .....	(102)



2.2.2	SLA 工艺对材料的要求	(105)
2.2.3	光敏树脂材料的组成	(106)
2.2.4	常用光敏树脂	(108)
2.2.5	常用光敏树脂材料牌号及性能	(109)
2.3	无机非金属材料	(115)
2.3.1	陶瓷材料	(115)
2.3.2	石膏材料	(120)
2.3.3	彩色砂岩	(123)
2.3.4	淀粉	(125)
	思考题	(127)
<b>知识模块 3 3D 打印生物医用材料</b>		(128)
3.1	生物医用金属材料	(128)
3.1.1	医用金属	(129)
3.1.2	3D 金属打印技术及其对金属材料的要求	(129)
3.1.3	3D 打印对金属性能的影响	(130)
3.1.4	Ti6Al4V 合金用于医学 3D 打印	(131)
3.2	生物医用高分子材料	(133)
3.2.1	可生物降解高分子材料	(134)
3.2.2	非生物降解高分子材料	(135)
3.2.3	3D 打印生物医用材料的应用	(139)
3.3	生物医用复合材料	(140)
3.3.1	生物医用复合材料的选择要求	(141)
3.3.2	生物医用复合材料的分类	(141)
3.3.3	生物医用复合材料的应用	(143)
3.4	细胞参与的生物医用 3D 打印材料	(144)
3.4.1	干细胞材料	(144)
3.4.2	生物细胞材料	(146)
3.5	生物医用陶瓷材料	(148)
	思考题	(149)
<b>知识模块 4 3D 打印新型材料</b>		(150)
4.1	食用材料	(150)
4.2	聚丙烯材料	(151)

4.2.1 聚丙烯的特点 .....	(152)
4.2.2 聚丙烯的性能 .....	(152)
4.3 碳纳米材料 .....	(154)
4.3.1 富勒烯 .....	(155)
4.3.2 碳纳米管 .....	(155)
4.3.3 碳纳米纤维 .....	(156)
4.4 秸秆材料 .....	(157)
4.5 砂糖材料 .....	(159)
思考题 .....	(160)
<b>知识模块 5 3D 打印材料展望</b> .....	<b>(161)</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>(166)</b>

## 绪 论

材料是人类生活和生产的物质基础,是社会发展的基石。翻开人类进化史,我们不难发现,材料的开发、使用和完善都贯穿其始终,从天然材料的应用到陶瓷、青铜器的制造,从钢铁的冶炼到材料的合成,人类成功地生产出满足自身需求的材料,从而使自身走出深山,奔向茫茫平原、辽阔的海洋,飞向广袤的太空。由此可见,材料的划时代作用是不容忽视的,它犹如支撑万丈高楼的基石,支撑着人类文明,成为人类文明进步的标志。

材料的用途很多,广义地讲,食品、药品、燃料、木材、沙石、肥料、水、空气等都是材料。但一般工业和工程领域中所说的材料是指工程材料,即用于制造工程构件、机械零件、工模具等的材料,如金属材料、陶瓷材料、聚合物、复合材料等。

3D 打印称为增材制造,是一种新的快速成型方式,它是以数学模型文件为基础,运用金属粉末、陶瓷粉末、塑料线材、细胞组织等可连接或可凝固化的材料,通过一层一层打印的方式直接制造三维实体产品的技术,顾名思义,就是通过一点点增加材料堆叠成一个想要的物件的样子。它是运用计算机软件设计出立体的加工样式,然后通过特定的成型设备用液化、粉末化、丝化的材料逐层打印出产品,与传统的减材制造不同,3D 打印技术无须原胚和模具,就能直接根据计算机图形数据,通过增加材料的方法生产形状复杂的物体,简化产品的制造程序,缩短产品的研发周期,提高效率并降低成本。可见,3D 打印是一种依托信息技术、精密机械和材料科学等多学科交叉的高新技术。

如今 3D 打印在国外市场上已初步形成规模,3D 打印技术目前约有 50% 都应用在电子消费品、汽车等领域,在医疗生物等领域,3D 打印也大有可为。根据美国相关组织统计,目前美国约有 200 万人使用 3D 打印技术打印的假肢;此外,3D 打印机还能打印出真正的房子、衣服、鞋子和食物;而国内的 3D 打印技术,研究水平较国外仍有差距,目前我国的 3D 打印技术处于一个优化升级的过程,应用会随着技术的推进而不断扩展。

3D 打印技术与传统打印技术的一个重要区别是:3D 打印需要进行数字化三维模型构建,传统打印技术并不需要构建数字化三维模型;3D 打印机的精确度相当高,能打印出模型中的大量细节部分,而且它创建模型的速度比铸造、冲压等传统方法创建模型的速度更快,特别是对传统方法难以制作的特殊结构模型。一般来说,3D 打印的设计过程,先通过计算机软件建模,再将建成的三维模型分区重组成的截面积切片,从而指导打印机逐层打印,具体流程如图 0-1 所示。

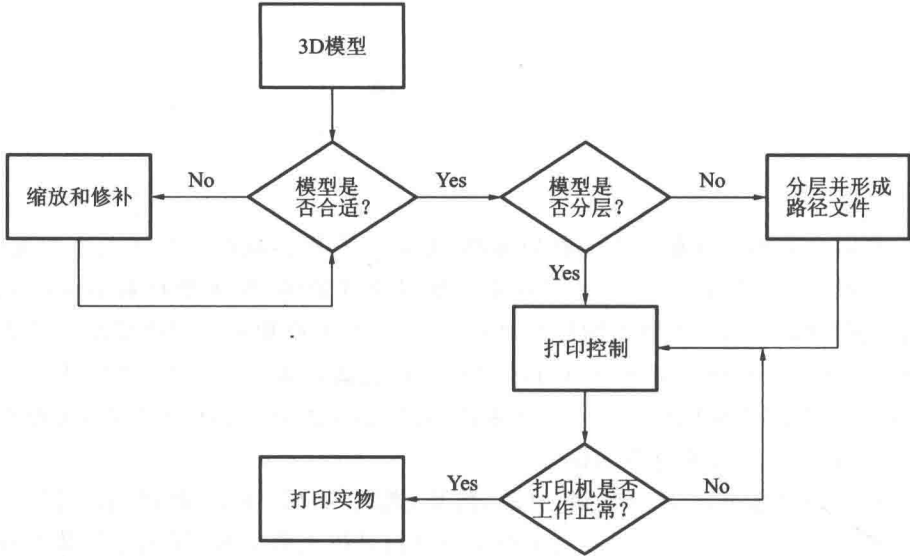


图 0-1 3D 打印流程图

模型的获取方式可分为三种：三维建模、三维扫描和网络下载已完成设计的模型。在模型方面有建模软件、分层切片及逐层打印软件，将所获取模型的数据文件存入存储卡中，打印机通过读取文件中的横截面信息，用液态、粉状或片状的材料将这些截面逐层地打印出来，再将各层截面联合起来，从而制造一个实体。

3D 打印技术发展前景是否广阔，关键在于材料。因此，3D 打印材料是 3D 打印技术发展的重要物质基础和关键保障。

## 0.1 3D 打印材料简介

3D 打印，综合了数字建模技术、机电控制技术、信息技术、材料科学与化学等诸多领域的前沿技术，是快速成型技术的一种，与传统制造技术相比，3D 打印不必事先制造模具，不必在制造过程中去除大量的材料，也不必通过复杂的锻造工艺，就可以得到最终的产品，因此在生产上可以实现结构优化、节约材料和节省能源的目标。3D 打印技术适合于新产品的开发、快速单件和小批量零件的制造、复杂形状零件的制造、模具的设计与制造等。因此 3D 打印产业受到国内外越来越广泛的关注，将成为下一个具有广阔发展前景的朝阳产业。目前 3D 打印技术的快速发展，使其成为近几年国内外快速成型技术研究的重点。在国防领域，欧美发达国家非常重视 3D 打印技术的应用，并投入巨资研制中心材料制造金属零部件，特别是大力推动增材制造技术在钛合金等高价值材料零部件制造上的应用，材料是 3D 打印的物质基础，也是当前制约 3D 打印发展的瓶颈。

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,材料的发展决定了 3D 打印是否能有更广泛的应用。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 打印设备和工艺研发的,与普通的塑料、石膏、树脂等有所区别,其形态一般分为粉末状、丝状、片状、液体状,通常根据打印设备的类型及成型方式选择不同形态的材料。

3D 打印根据成型机成型方式的不同,将若干生活中常见的材料划分为四种类型。

第一种,光聚合类型液态材料。主要使用液态光敏树脂,其主要累积技术为树脂固化法,又称为立体光固化成型法(简称 SLA),就是在盛满液体光敏树脂的容器中,液态光敏树脂在紫外激光束的照射下快速固化成想要的形状。

第二种,挤压类型固态丝材。主要使用热塑性材料和共晶系统金属材料,其主要累积技术为熔丝堆叠法,又称为熔融沉积成型法(简称 FDM)。美国学者 Scott Crump 在 1988 年提出该方法,他将丝状的材料加热融化,根据要打印的物体截面轮廓信息,将材料有选择性地涂在工作台上,快速冷却,形成一层截面,然后一直重复以上的过程,直至形成整个实体的造型。这种打印方式主要使用的材料是一种聚乳酸(PLA),以玉米、木薯等为原料提取,绿色环保,无气味、无污染,这种打印方式也是现在最常用的成型法。

第三种,粒状类型固态粉末材料。主要使用热塑性塑料、金属粉末、陶瓷粉末材料,其主要累积技术为激光烧结法,称为选择性激光烧结法(简称 SLS),就是将材料粉末涂撒在已成型的零件表面,并刮平;激光束在计算机的控制下,根据分层信息进行有选择性地烧结,一层完成后再进行下一层的烧结,全部烧结完成后,去掉多余的粉末,就可以得到一层烧结好的零件截面,并与下面已成型的部分黏结;当一层截面烧结完成后,铺上新的一层材料粉末,并重复以上打印步骤,直到完成打印。

第四种,层压类型固态片材。主要使用纸、金属膜、塑料薄膜材料,其主要累积技术为分层实体制造技术,又称 LOM 技术,由美国 Helisys 公司的 Michael Feygin 于 1986 年研制成功。LOM 工艺采用薄片材料,如纸、塑料薄膜等。片材表面事先涂覆上一层热熔胶。加工时,用热压辊热压片材,使之与下面已成型的工件黏结;用 CO<sub>2</sub> 激光器在刚黏结的新层上切割出零件截面轮廓和工件外框,并在截面轮廓与外框之间多余的区域内切割出上下对齐的网格;激光切割完成后,工作台带动已成型的工件下降,与带状片材(料带)分离;供料机构转动收料轴和供料轴,带动料带移动,使新层移到加工区域;工作台上升到加工平面;热压辊热压,工件的层数增加一层,高度增加一个料厚;再在新层上切割截面轮廓。如此反复直至零件的所有截面黏结、切割完,得到分层制造的实体零件。

三维印刷(简称 3DP)使用的材料与第二种的材料相同,能够打印彩色模型产品,3DP 工艺与 SLS 工艺类似,采用粉末材料成型,如陶瓷粉末、石膏粉末。所不同的是材料粉末不是通过烧结连接起来的,而是通过喷头用黏结剂将零件的截面“印刷”在材料粉末上面。用黏结剂黏结的零件强度较低,还须后处理。具体工艺过程如下:上一层黏结完毕后,成型缸下降一个距离(等于层厚:0.013~0.1 mm),供粉缸上升一高度,推出若干粉末,并被铺粉辊推到成型缸,铺平并被压实。喷头在计算机控制下,按下一建造截面的成型数据有选择地喷射黏结剂建造层面。铺粉辊铺粉时将多余的粉末用集粉装置收集。如此周而复始地送粉、铺粉和喷射黏结剂,最终完成一个三维粉体的黏结。未被喷射黏结剂的地方为干粉,在成型过程中起支撑作用,且成型结束后,比较容易去除和回收。

四种不同工艺的优缺点比较如表 0-1 所示。

表 0-1 四种典型 3D 打印工艺比较

	立体光固化成型 (SLA)	熔融沉积成型 (FDM)	选择性激光烧结 (SLS)	分层实体制造 (LOM)
优点	成型速度极快,成型精度、表面质量高;适合做小件及精细件	成型材料种类较多,成型样件强度高;尺寸精度较高,表面质量较好,易于装配;材料利用率高	可直接得到塑料、蜡或金属件;材料利用率高;造型速度较快	成型精度较高;只需对轮廓线进行切割,制作效率高,适合做大件及实体件
缺点	成型后要进一步固化处理;光敏树脂固化后较脆,易断裂,可加工性不好;工作温度不能超过 100℃,成型件易吸湿膨胀,抗腐蚀能力不强	成型时间较长;做小件和精细件时精度不如 SLA	成型件强度和表面质量较差;在后处理中难以保证制件尺寸精度,后处理工艺复杂,样件变形大,无法装配	不适宜做薄壁原型;表面比较粗糙,工件表面有明显的台阶纹,成型后要进行打磨;易吸湿膨胀,成型后要尽快做表面防潮处理;工件强度差,缺少弹性
设备购置费用	高昂	低廉	高昂	高昂
维护和日常使用费用	激光器有损耗,光敏树脂价格昂贵,运行费用很高	无激光器损耗,材料的利用率高,原材料便宜,运行费用极低	激光器有损耗,材料利用率高,原材料便宜,运行费用居中	激光器有损耗,材料利用率高,原材料便宜,运行费用居中

续表

	立体光固化成型 (SLA)	熔融沉积成型 (FDM)	选择性激光烧结 (SLS)	分层实体制造 (LOM)
发展趋势	稳步发展	飞速发展	稳步发展	渐趋淘汰
应用领域	复杂、高精度、艺术用途的精细件	复杂、高精度、艺术用途的精细件	铸造件设计	实大体大件
适合行业	快速成型服务	科研院校、企业	铸造行业	铸造行业

## 0.2 3D 打印工艺对选材的要求

### 1. 各种成型工艺对材料的要求

3D 打印通常由不同的打印工艺来选择材料和成型方法,各成型工艺所用材料及其优缺点对比表如表 0-2 所示。

表 0-2 各成型工艺所用材料和优缺点对比表

成型方法	成型原理	使用材料	优点	缺点
立体光固化成型	液态光敏树脂在紫外线照射下发生聚合反应,材料从液态变固态	光敏树脂	精度较高、表面效果好	工艺运行及材料费用高,零件强度低,无法进行装配
熔融沉积成型	以丝状供料,被加热熔化的材料从喷头内挤出,迅速固化	蜡、ABS、PC、尼龙等	不用激光、使用和维护简单、成本较低	层与层的固化过程中,对于形状复杂的结构,还需要一些辅助定位和支撑结构
选择性激光烧结	将粉末材料平铺在已成型零件上表面,并刮平,高激光器烧结成型	不同材料的粉末为原料,例如:金属粉末、陶瓷粉末、聚碳酸酯、尼龙粉末等	材料选材广泛,无须考虑支撑系统,生产周期短等	受粉末的影响,在烧结过程中会产生各种缺陷(裂纹、变形、气孔等)
分层实体制造	加工时,热压辊热压片材,使之与已成型工件黏结,用激光器在新层上切割出截面轮廓,如此反复	薄片材料,如纸、塑料、薄膜等	原型精度高,原材料价格便宜,成型速度快。有较高的硬度和较好的力学性能	不能直接制作塑料工件,工件的抗拉强度和弹性不够好,工件易吸湿膨胀,前后处理费时费力

续表

成型方法	成型原理	使用材料	优点	缺点
三维印刷	有选择性地喷射黏结剂将零件上平铺好的粉末黏结起来,最后烧结成型	粉末材料,如陶瓷粉末、金属粉末	不用激光,成本较低,材料选择广泛,不用支撑结构	受粉末及烧结工艺的限制,产品的精度一般不高
无模铸型制造技术	第一个喷头在每层铺好的型砂上喷射黏结剂,同时第二个喷头喷射催化剂,并产生胶黏反应	砂、树脂、石膏、催化剂等	材料易得,可回收,铸造过程高度自动化、敏捷化。使设计、制造的约束条件大大减少	制造的模具韧度不够高、后处理操作的质量有待提高

根据打印工艺的不同,3D 打印对材料的一般要求如下:

(1) 立体光固化成型(SLA)要求光敏树脂黏度低,利于成型树脂较快流平,便于快速成型;固化收缩小,固化收缩导致零件变形、翘曲、开裂等,影响成型零件的精度,低收缩性树脂有利于成型高精度零件;湿态强度高,较高的湿态强度可以保证固化过程不产生变形、膨胀及层间剥离;杂质少,固化过程中没有气味,毒性小,有利于操作环境。但是 SLA 树脂会收缩变形,树脂在固化过程中都会发生收缩,通常线收缩率约为 3%。从高分子化学角度讲,光敏树脂的固化过程是从短的小分子体向长链大分子聚合体转变的过程,其分子结构发生很大变化。因此需要在 SLA 光固化树脂中加入纳米陶瓷粉末、短纤维等,可改变材料强度、耐热性能等,改变其用途。

(2) 选择性激光烧结成型(SLS)要求粉末材料有良好的热塑(固)性,一定的导热性,粉未经激光烧结后要有一定的黏结强度;粉末材料的粒度不宜过大,否则会降低成型件的质量;而且 SLS 材料还应有较窄的“软化-固化”温度范围,该温度范围较大时,制件的精度会受影响。

大体来讲,3D 打印激光烧结成型工艺对成型材料的基本要求是:具有良好的烧结性能,无须特殊工艺即可快速精确地成型;对于直接用作功能零件或模具的原型,力学性能和物理性能(强度、刚度、热稳定性、导热性及加工性能)要满足使用要求;当间接使用原型时,要有利于快速方便地处理后续加工工序,即与后续工艺的接口性要好。

(3) LOM 技术成型速度快,制造成本低,成型时无须特意设计支撑,材料价格也较低。但薄壁件、细柱状件的剥离比较困难,而且由于材料薄膜厚度有限制,制件表面粗糙,需要烦琐的后处理过程。LOM 原型一般由薄片材料和黏结剂两部



分组成,薄片材料根据对原型性能要求的不同可分为:纸、塑料薄膜、金属铂等。对于薄片材料要求厚薄均匀,力学性能良好并与黏结剂有较好的涂挂性和黏结能力。用于 LOM 的黏结剂通常为加有某些特殊添加剂组分的热熔胶。

(4)熔融沉积成型(FDM)要求材料要有良好的成丝性;其次,由于 FDM 过程中丝材要经受“固态-液态-固态”的转变,故要求 FDM 在相变过程中有良好的化学稳定性,且 FDM 材料要有较小的收缩性。

## 2. 各种成型工艺对应材料的发展现状

3D 打印技术对原材料的要求比较苛刻,以 FDM 成型为例,为满足熔融沉积工艺的适用性,要求所选的材料需要以丝状形态提供,材料融化后在软件程序驱动下,自动按设计工艺完成各切片的凝固,使材料重新结合起来,完成成型。由于整个过程涉及材料的快速融化和凝固等物态变化,同时还要保证制件的表面质量及功能要求,这对原材料的性能要求极高,使得材料成本居高不下。有专家指出,3D 打印的核心是它对传统制造模式的颠覆,因此,从某种意义上说,3D 打印最关键的不是机械制造,而是材料研发。

### (1)快速原型制造及材料现状。

快速原型制造即通常所说的快速成型,目前 3D 打印快速成型用特种粉体材料大多是设备工艺厂商针对各自设备特点定制的,优点是与专属设备的适用性好,研制难度相对小,缺点是材料的产业通用性差,产品成型过程的精度还有待提高,可见,制品表面精度受粉末原材料特性的制约明显,工艺对材料的依赖性不容忽视。

### (2)高性能金属构件直接制造技术及所用材料现状。

高性能金属构件直接制造技术起步于 20 世纪 90 年代初,工艺难度比较大,其所用材料主要是钛及钛合金粉末材料和镍基或钴基的高温合金类粉末材料。工艺过程主要采用高功率的能量束,如激光或电子束作为热源,使粉末材料进行选区熔化,冷却结晶后形成严格按设计制造的堆积层,堆积层连续成型,形成最终产品。到目前为止,直接制造工业上的小型金属构件相对容易,体积较大的金属构件的直接制造难度非常大,对材料和工艺控制的要求很高。这将是增材制造产业推动相关工业发展的重点方向,也将是一项关键技术。其最大的难度在于材料和成型工艺。以钛合金为例,激光熔化后的材料凝固会造成钛合金体积收缩,造成巨大的材料热应力,内应力对小型构件影响不大,但随着零件尺寸的增加,成型会变得非常困难,即使能够成型也会由于大的内应力严重影响材料强度。第二个难题是材料冷却结晶过程复杂,材料结晶过程很难定量控制,一旦出现晶体粗大、枝晶等必将造成材料成型后的力学性能不佳等问题,最终结果就是关键构件没办法获得实际应用。

### (3)3D 打印材料粉末制备方法简介及现状。

目前,合金粉末的制备方法主要有水雾化、气雾化和真空雾化等,其中真空雾