

# 高分子材料 3D 打印应用与案例

陶永亮<sup>1</sup>, 杨建京<sup>2</sup>

(1. 重庆川仪工程塑料有限公司, 重庆 400712;  
2. 广东模科激光科技有限公司, 广东 珠海 519001)

**摘要:** 高分子材料 3D 打印是增材制造的重要部分, 其 3D 打印方式较多, 发展前景广阔。本文以高分子材料在 3D 打印领域应用为主, 讲述了常用的三种高分子材料 3D 打印方式原理和实际应用案例, 介绍了其他四种高分子材料 3D 打印方式原理及技术要点, 了解了我国聚合物 3D 打印机向超大型高温型发展的动态以及 3D 打印丝材转向使用粒料节约材料成本, 兼容多种高性能 3D 打印材料, 让聚合物 3D 打印更好地为国民经济发展增添新动能。

**关键词:** 高分子材料; 聚合物; 3D 打印; 增材制造; FDM; SLS; SLA

**中图分类号:** TQ320.63

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2024)02-0035-07

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2024.02.009

3D 打印技术被人们称为增材制造, 它是以数字模型文件为基础, 运用粉末金属或聚合物等可黏结性材料, 通过逐层打印的方式来完成实体制造的技术<sup>[1]</sup>。3D 打印是指通过光固化、选择性激光烧结、熔融堆积等加工技术, 使材料一点一点累加, 形成需要的形状。3D 打印 1984 年开始在实验室研究, 至今快 40 年历史, 3D 打印实现了制造方式从等材、减材到增材的重大转变, 改变了传统制造的理念和模式, 大幅缩减了产品开发周期与成本, 也会推动材料革命, 具有重大价值<sup>[2]</sup>。目前, 3D 打印技术已在航空航天、军工、医疗、教育、汽车、机械装备等领域的零部件加工以及模具制造方面得到广泛地应用<sup>[3]</sup>。3D 打印涉及加工材料有金属材料、高分子材料、陶瓷材料、石墨烯材料等这几大类<sup>[4]</sup>。本文将主要以高分子材料(聚合物)为主, 对 3D 打印在工程塑料应用做些讨论与分享。

## 1 高分子材料 3D 打印方法介绍

增材制造(Additive manufacturing, 简称 AM)技术, 是一种与传统的材料去除加工方法相反的, 通过 CAD 设计模型, 采用离散材料(液体、粉末、线材)逐层堆积制造三维实体的技术。通俗也称 3D 打印技术(3D Print-ing)是制造业领域正在迅速发展的一项新兴技术, 被称为“具有工业革命意义制造技术”, 其核心是数字化、智能化制造, 实现了随时、随地、按需生产。从 19 世纪 80 年代第一台 3D 打印机诞生以来, 增材制造技术得到了迅速发展, 被英国杂志《经

济人》称为是第三次工业革命。

增材制造技术有多种分类, 根据材料的不同, 可以分为金属丝材、金属粉末和非金属材料等, 根据热源分类有激光、电子束、等离子弧、电弧等, 根据增材的形式可分铺粉、送粉和送丝方式。本文主要是以高分子材料 3D 打印进行介绍, 如表 1 所示<sup>[5]</sup>。

高分子材料作为 3D 打印的重要部分, 材料方面也是起到举足轻重的作用, 目前常用 3D 打印高分子材料有聚酰胺、聚酯、聚碳酸酯、聚乙烯、聚丙烯、ABS 等。在光固化立体印刷中的齐聚物种类繁多, 其中应用较多的主要有聚氨酯丙丙烯酸树脂、环氧丙烯酸树脂、聚丙烯酸树脂以及氨基丙烯酸树脂。目前应用较多的 3D 打印高分子材料技术主要有熔融沉积成型 FDM、选择性激光烧结 SLS、光固化立体印刷 SLA 等<sup>[6]</sup>, 还有数字光处理 DLP, 多射流熔融技术 MJF, 选择性热烧结 SHS, 分层实体成型法 LOM 工艺方式, 本文将做些介绍。

## 2 高分子材料 3D 打印主要方法与案例

### 2.1 熔融沉积成型 FDM

FDM(Fused Deposition Modeling)熔融沉积成型, 由美国学者 Scott Crump 于 1988 年研制成功。FDM 就是利用热塑性材料的热熔型、黏接性, 在高温

作者简介: 陶永亮(1956-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事高分子材料应用与模塑成型工艺研究。

收稿日期: 2023-03-03

表 1 增材制造分类、特征、材料表

序	类型	分类	特征	加工材料
1	挤压	熔融沉积造型 FDM	挤压线材通过加热热喷嘴	塑料、食品、陶瓷
2	颗粒粉末	选择性烧结技术 SLS	红外激光束；粉末；固化整体	热塑性塑料、金属
3		选择性热烧结 SHS	用热打印头代替激光	热塑性塑料
4	光聚合	多射流熔融技术 MJF	铺粉模块和热喷头模块，热源	热塑性塑料
5		光固化立体造型 SLA	紫外光照射；聚合反应：光敏树脂	光聚合物
6		数字光处理 DLP	激光成型技术	光聚合物
7	层压	分层实体制造 LOM	剪裁材料片，加入用黏合剂	纸、聚合物膜、金属膜片

将线材融化成液态，在计算机控制下通过打印头挤出层层堆积成型固化，最后在立体空间上排列形成立体实物<sup>[7]</sup>。FDM 技术目前桌面 3D 打印机较多，从打印尺寸、打印效率、打印件强度等方面正向工业领域的应用发展。

FDM 技术是应用最广泛、最具有生命力的打印技术，但要用于 FDM 3D 打印的耗材，要满足高机械强度、低收缩率、适合熔融温度等，要满足安全、无毒、无刺激性等环保要求<sup>[8-9]</sup>。

目前适用于 FDM 3D 打印技术的高分子材料有丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS)、聚乳酸 (PLA)、聚碳酸酯 (PC)、聚苯砜 (PPSF) 等<sup>[10]</sup>。打印 PC、PC/ABS、PPSF 等材料一般用线材较多，如用颗粒状树脂，需螺杆挤出式结构机型<sup>[11]</sup>。如图 1 所示。

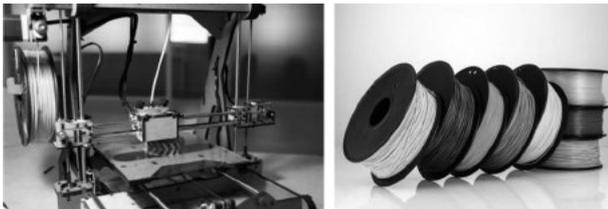


图 1 FDM 3D 打印机与线材示意图 (网图)

PLA 线材, 全称聚乳酸, 别名聚丙交酯 (Polylactic acid PLA)。分子式为  $H-[OCHCH_3CO]n-OH$ ，简称 PLA。PLA 是以乳酸为主要原料，其来源充分而且可以再生 (如玉米、木薯等淀粉含量高的农作物)。生产过程无污染，产品可以生物降解，实现在自然界中的循环，是理想的绿色高分子材料<sup>[12]</sup>。

在 3D 打印中，如成型收缩率较大，制品体积在冷却后有较大减小，会出现翘边或者制品底部和工作台之间架空的情况。为了解决这种问题，就需要对工作台加热以保持较高温，防止制品在打印过程中就冷却收缩而出现质量问题。对于 PLA 来说这问题不存在，热稳定性好，加工温度 170~230 °C，可进行挤压、纺丝、双轴拉伸，注射吹塑加工。其成型收缩率小，冷却后体积不会发生太大变化，即使打印较大的制品，

成型效果也有较好光泽度、透明性、手感和耐热性。打印时也无需对工作台加热，这是 PLA 作为 3D 打印耗材的优越之处<sup>[12-13]</sup>。

图 2 为键盘组合件产品，使用 PLA 颗粒材质料，采用螺杆挤出式结构 FDM 3D 打印机进行加工。PLA 本身是透明材料，可调色做产品，面盖用乳白色，底盒用黑色。打印温度为 220~230 °C，打印速度为 30~60 mm/s，底板不加热。面盖、底盒分别打印，最后装好小键盘等面盖和底盒扣合装配。

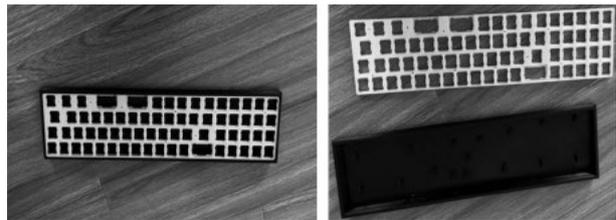


图 2 FDM 3D 打印键盘组合件示意图 (加工方供图)

ABS 是常用的 FDM 3D 打印材料。图 3 所示。选用 ABS 线材直径 1.75 mm (颜色为本色)，选用开放式 FDM 3D 打印机，无需恒温系统，打印温度为 265 °C，打印速度为 60 mm/s，底板 (热床) 为 90 °C，打印按技术要求，满足用户需求。



图 3 FDM 3D 打印 ABS 零件示意图 (加工方供图)

## 2.2 选择性烧结技术 SLS

选择性烧结技术 SLS (Selective Laser Sintering) 又称选择性激光烧结，由德克萨斯大学的 Carl Deckard 和同事们在 1989 年发明。SLS 使用造型材

料多为粉末状，将粉末预热到稍低于其熔点的温度，然后在刮平棍子的作用下将粉末铺平；CO<sub>2</sub> 激光器（红外激光器）激光束在计算机控制下根据分层截面信息进行有选择地烧结，一层完成后再进行下一层烧结，全部烧结完后去掉多余的粉末，则就可以得到一烧结好的零件。SLS 工艺最大的优点在于选材较为广泛，如尼龙、蜡、ABS、树脂裹覆砂（覆膜砂）、聚碳酸酯（poly carbonates）等都可以作为烧结对象，其原理如图 1 所示<sup>[14]</sup>。如图 4 所示。

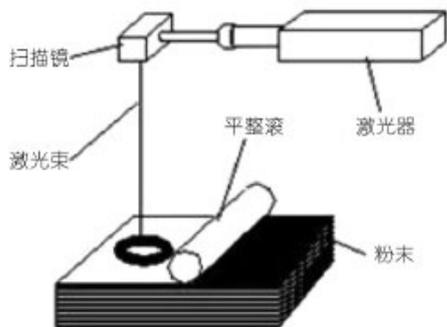


图 4 SLS 工艺原理图

SLS 是基于粉末床的激光 3D 打印技术，其中高分子基粉末是应用最早，也是目前应用最多、最成功的 SLS 材料。目前已有金属基粉末、陶瓷基粉末、高分子基粉末等。高分子与金属等材料相比较，具有成型温度低、烧结所需的激光功率小等优点，而且其表面能低，熔融黏度较高，没有金属粉末烧结时较难克服的“球化”效应。在选择激光器功率上有所区别，对于金属成型需要高功率 CO<sub>2</sub> 激光器，对于一般工程塑料可以采用红外激光器。

SLS 打印高分子材料有非结晶型高分子有聚碳酸酯（PC）、聚苯乙烯（PS）、高抗冲聚乙烯（HIPS）等，结晶型高分子有尼龙（PA）、聚丙烯（PP）、高密度聚乙烯（HDPE）、聚醚醚酮（PEEK）<sup>[15]</sup> 以及 TPU 材料等。

3D 打印技术提供了一种快速准确的方法，汽车制造商借助 3D 打印技术，可以应用于汽车外形设计的研发，能够实现小批量定制部件和生产自动化<sup>[16]</sup>。产品 3D 打印汽车零部件，精度 0.10 mm，使用材料尼龙，SLS 选择性激光烧结。特点为优良的韧性、自润滑性、耐磨性、耐化学性、气体透过性、及耐油性、无毒和容易着色。如图 5 所示。

TPU（Thermoplastic polyurethanes）名为热塑性聚氨酯弹性体橡胶，TPU 它是由二苯甲烷二异氰酸酯（MDI）或甲苯二异氰酸酯（TDI）等二异氰酸酯类



SLS 3D 打印轮毂



SLS 3D 打印方向盘

图 5 SLS 打印尼龙件示意图（网图）

分子和大分子多元醇、低分子多元醇（扩链剂）共同反应聚合而成的高分子材料<sup>[17]</sup>。研发 TPU 作为 3D 打印专用粉末用于部分产品打印。

产品名称：SLS 3D 打印用聚氨酯（TPU）粉末。产品牌号：Mophene3D T90A（热塑性聚氨酯弹性体）产品简介：粉末，白色，由特殊的加工工艺制备得到，具有粒径小（50~100 μm），且粒径分布窄的特点，非常合适 SLS 3D 打印技术。产品具有高强度、高耐磨和高弹性性能，宽的加工窗口和高粉末回收率。产品应用于减震鞋底，鞋垫，医学器官模型，柔性机器人，智能可穿戴设备，生物支架，服饰，假肢内衬等<sup>[18]</sup>。如图 6 所示。



图 6 Mophene 3DTSV 运动鞋（红色晶格中底）（网图）

### 2.3 光固化立体造型 SLA

SLA（Stereo Lithography Appearance）全称为立体光固化成型法，用激光聚焦到光固化材料表面，由点到线，由线到面顺序凝固，周而复始，层层叠加加工成三维实体，图 7 所示。

SLA 技术在 20 世纪 70 年代末到 80 年代初，有美国和日本科学家在不同的地点提出了利用连续层的选区固化产生三维实体的新思想。早期固化形式利用光能的化学和热作用使液态树脂材料产生变化的原理，对液态树脂有选择地进行光固化，可在不接触情况下制得所需三维实体模型，这种光固化技术逐层进行成

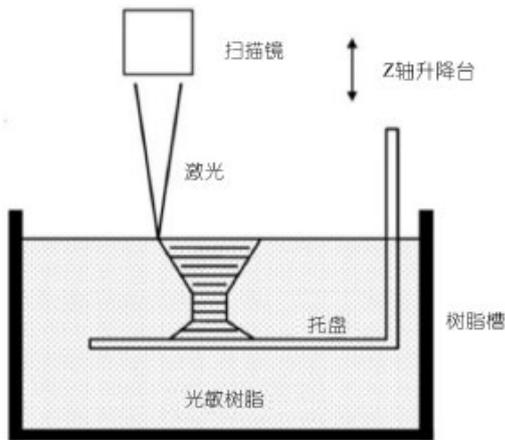


图 7 SLA 光固化打印机原理示意图

型方法，称为光固化成型法（光固化立体印刷）<sup>[19]</sup>。

光敏树脂为 SLA 技术主要原料，一般由预聚物、稀释剂、光引发剂等主要成分及其他助剂等组成。由于引发机理不同，光敏树脂分为三类：自由基光固化树脂、阳离子光固化树脂和混杂型光固化树脂等<sup>[20-21]</sup>，目前有环氧丙烯酸树脂、聚氨酯丙烯酸酯、聚酯丙烯酸酯等。3D 打印具有固化速度快、黏性低、韧性好、成本低等特性。目前 SLA 技术使用多数为自由基-阳离子混杂型光固化体系，丙烯酸酯和环氧树脂的混合体系，有较好地工艺性能，也能帮助提升打印件的精度等。如国外 Giba-Ceigy 公司的 SL-XB5081 树脂、5131 树脂及 Dupont 公司 Derlin2100 等树脂在固化速度、黏度、韧性、成本方面有较大改善。<sup>[22]</sup>。光敏树脂材料它类似于 ABS 材料，表面光滑，精度高，表面可喷漆，硬度也还可以。光敏树脂非常适合打印手板模型和外观设计模型，也有除外观之外，功能上有特殊要求的，如耐高温的或韧性较高等<sup>[23]</sup>。光敏树脂材料 3D 打印成品细节很好，表面质量高，可通过喷漆等工艺上色。但光敏树脂打印物品如长时间暴露在光照条件下，会逐渐变脆、变黄。不适合打印大件的模型，如需打印大件的，需要拆件打印<sup>[24]</sup>。我们经常在展会上看见的眼花缭乱样品就是用光敏树脂打印的，图 8 所示。

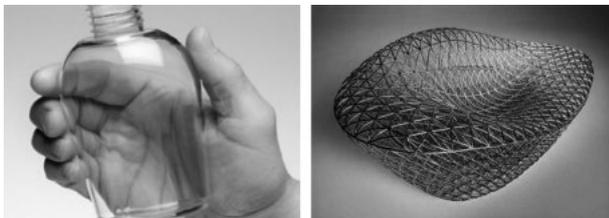


图 8 SLA 打印光敏树脂样品示意图（网图）

图 9 所示，前灯罩外形尺寸 550×25×20 (mm)，基本厚度 2 mm，采用一般的透明光敏树脂材料，SLA 激光固化打印，加工时间 24 h，后处理为砂光、抛光。汽车前灯灯罩应用 SLA 3D 打印机打印而成，主要用于设计验证结构，打印速度快，单个成本低，用 3D 打印开发零部件的流程中不需要模具，远远优于传统加工方式，可节约大量的成本和时间，缩短研发周期，提高测试效果。工程师可根据打印成品进行测试并及时调整结构，减少研发时间，占得市场先机。目前用打印来验证结构的方式已被大多数汽车零部件研发公司所接受并推广<sup>[25]</sup>。

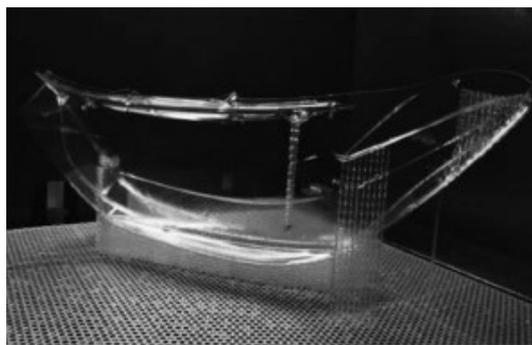


图 9 光敏树脂激光固化前灯罩（网图）

## 2.4 其他 3D 打印方式介绍

### 2.4.1 数字光处理 DLP

数字光处理 (Digital Light Processing, DLP) 是近年出现的 3D 打印技术，DLP 是 3D 打印成型技术的一种，被称为激光成型技术。DLP 技术与 SLA 的成型技术有着异曲同工之妙，它是 SLA 的变种形式。在加工产品时，利用数字微镜元件将产品截面图形投影到液体光敏树脂表面，使照射的树脂逐层进行光固化。DLP 3D 打印由于每层固化时通过幻灯片似的片状固化，速度比同类型的 SLA 速度更快。这项技术非常适合高分辨率成型。

SLA 工艺主要是将特定强度的激光聚焦到 3D 打印材料的表面，使其凝固成型。SLA 成型主要是点到线、线到面逐渐成型的过程。与 SLA 不同，DLP 技术主要利用 DLP 投影，投影过程中将整个面的激光聚焦到 3D 打印材料表面。所以 DLP 技术的机型打印速度更快<sup>[26]</sup>。

### 2.4.2 多射流熔融技术 MJF

多射流熔融 (Multijet Fusion) 打印技术是惠普公司发明的一种新型的 3D 打印成型技术，它旨在解决当前 3D 打印技术面临的三个主要问题：速度、精

度和成本。据惠普披露，其打印速度将比市场上任何其它 3D 打印技术快 10 倍以上，而且同样具备精度和强度<sup>[27]</sup>。

MJF 成型原理：先铺一层粉末，然后喷射熔剂，与此同时还会喷射一种精细剂（detailing agent），以保证打印对象边缘的精细度，然后再在上面施加一次热源。这一层就算完成了。以此类推，直到 3D 对象完成<sup>[27]</sup>。

MJF 打印机核心是位于工作台上的两个模块：分别叫做铺粉模块和热喷头模块。铺粉模块是用来在打印台上铺设粉末材料的。热喷头模块则是用来喷射“熔融剂”和“细化剂”这两种化学试剂的，而该模块正是惠普这款打印机的最大亮点——它能以每秒每英寸 3 000 万滴的量喷射这两种试剂。铺粉模块会首先上下移动铺设一层均匀的粉末。然后热喷头模块会左右移动喷射两种试剂，同时通过两侧的热源加热融化打印区域的材料。这个过程会往复进行，直至最后打印完成<sup>[28]</sup>。

MJF 技术是惠普公司的专利技术，相比 SLS 技术速度要快 10 倍，所使用的材料与 SLS 技术使用的材料是一样的，PA12 或者复合 PA12<sup>[29]</sup>。MJF 技术用 PA12 制成的手臂固定器相比石膏更加透气轻便，作为终端产品有着较高的耐用性，可以大大满足日常生活中的使用强度。逐渐成为定制化医疗的重要解决方案<sup>[30]</sup>。图 10 所示。



图 10 MJF 打印手部固定器（网图）

### 2.4.3 选择性热烧结 SHS

选择性热烧结 SHS（Selective sintering）技术的 3D 印刷工场，这种创新的丹麦企业成立于 2009 年，旨在创造一种“办公室 3D 打印机”，实惠的价格和高质量的印刷。SHS（选择性热烧结）在 2011 年推出 3D 印刷技术在 EUROMOLD。它类似于激光烧结，但是，而不是使用激光 SHS 使用的热打印头。被保持在升高的温度下，这样的机械扫描头只需要提升的温度

稍高于粉末的熔融温度。打印机在整个构建室一层薄薄的塑料粉末。感热式打印头开始来回移动，从打印头的热熔融到塑料粉末层中的每个横截面。再次三维打印机，塑料粉末，准备新的层，感热式打印头，继续加热到粉末层，最终三维成型，由未熔化粉末包围。未使用的粉是 100% 可回收，没有必要额外的支持材料。

选择性热烧结 SHS 与选择性烧结技术 SLS 有相同之处，都是烧结打印，SLS 是用激光源，SHS 是用热源，这就是不同之处。随着选择性热烧结技术 3D 打印机可以使任何复杂的几何形状（最小壁厚为 1 mm）的形成。可以加载多个 3D 模型，并打印在同一时间<sup>[31]</sup>，SHS 现在使用较少。

### 2.4.4 分层实体成型法 LOM

分层实体成型法（Laminated Object Manufacturing, LOM）出现较早的 3D 打印技术之一，由 Helisys 公司（现在的 Cubic Technologies）发明。

LOM 法以片材（纸片、塑料薄膜或复合材料）为原料，采用二氧化碳激光器切割系统按照计算机提取的横截面轮廓线数据，将背面涂有热熔胶的纸片材用激光切割出工件的内外轮廓，同时交叉切割非零件区域以便于废料的去除。切割完一层后，送料机构将新的一层纸片材叠加上去，工作台带动已成形的工件下降（通常材料厚度为 0.1~0.2 mm），与带状片材（料带）分离；送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；工作台上移动到加工平面；铺纸滚轮进行热压，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，最终完成零件加工。

由于原材料易于获取，LOM 工艺成本较低。加工过程不涉及化学反应，适合制作大尺寸产品。但由于传统的 LOM 成型工艺 CO<sub>2</sub> 激光器成本高、原材料种类过少、纸张的强度偏弱且容易受潮等原因，现已经逐渐退出 3D 打印历史舞台<sup>[26]</sup>。

## 3 结束语

高分子材料（聚合物）3D 打印得到了迅猛发展，高分子材料有各种颜色，重量轻，价格便宜，容易获得，非常适合 3D 打印应用，并且塑料还能承受压力，很容易以各种形式成型。世界各国在消费品、汽车、医疗和电子行业的增材制造中广泛用到高分子材料。2022 年，塑料类以 30% 以上的份额在 3D 打印市场上占据主导地位。根据 P&S Intelligence 的报告，2022

年 3D 打印材料市场的收入为 25.788 亿美元, 预计到 2030 年将保持每年 25.9% 的增长速度, 达到 162.308 亿美元<sup>[32]</sup>。

高分子材料 3D 打印正在经历从进口转变为国产化的过程。通过完整国产化的硬件、软件、材料和打印工艺的结合, 更多的国内外企业选择中国非金属高性能聚合物打印机。国产米级超大幅面高性能聚合物高温 3D 打印机, 打破国外垄断。新款颗粒料 3D 打印设备 FAST JET 1500 的成形尺寸达到了 1.5×1.5×1.5 m, 内置 25 kg 可烘干料斗, 采用自主开发的 6 轴控制系统(目前在用的是 4 轴, 剩余是预留拓展口)及 10 英寸全彩触控屏, 具备远端自动上料的功能。高性能塑料 3D 打印机 SPAC HT 920 具有 920×620×920 mm 的超大尺寸, 打印温度高达 500 °C, 腔体温度 220 °C, 热床温度 300 °C, 优异且稳定的温度条件为打印大幅面的高性能制件创造了基础。所有 3D 打印丝材都由颗粒料制作而成, 现在跳过丝材, 使用粒料节约材料成本, 颗粒 3D 打印机兼容多种高性能 3D 打印材料<sup>[33-34]</sup>, 让聚合物 3D 打印更好地为国民经济发展增添新动能。

参考文献:

[1] 高卓, 陈晓婷, 衣守志, 等. 3D 打印技术及聚合物打印材料的研究进展 [J]. 热固性树脂, 2016,32(4):67-70.  
 [2] 李克强. 催生新的动能 实现发展升级 [J]. 求是, 2015(20):3-6.  
 [3] 3D 打印技术已在各个领域的零部件模具开发方面得到广泛应用. EB/OL.[2017-05-25]. https://www.51g3.com.cn/aidigood0121/info\_36981019.html.  
 [4] 3D 打印的材料有哪些 [EB/OL].[2021-07-16]. https://jingyan.baidu.com/article/a24b3cd6644ad58fe002b8b.html.  
 [5] 3D 打印 [EB/OL].[2023-1-3]. https://baike.so.com/doc/5337810-5573249.html.  
 [6] 贺超良, 汤朝晖, 田华雨, 等. 3D 打印技术制备生物医用高分子材料的研究进展. 高分子学报, 2013, (06):722-732.  
 [7] 张媛. 熔融沉积快速成型精度及工艺研究 [D]. 大连理工大学, 2009.12:1-72.  
 [8] Liu H, Song W, Chen F, et al. Interaction of micro-structure and interfacial adhesion on impact performance of polylactide(PLA) ternary blends[J]. Macromolecules, 2011, 44:1 513-1 522.  
 [9] Liu H, Chen F, Liu B, et al. Supertoughened poly (lactic acid) ternary blends by simultaneous dynamic vulcanization and interfacial compatibilization[J]. Macromolecules, 2010, 43(14):6 058-6 066.  
 [10] 李天才. 3D 打印用聚乳酸复合材料的研究 [J]. 铸造, 2017, 66(8):806-809.  
 [11] 陈成军, 杜祥星, 李章鹏. 基于 FDM 技术工业级 3D 打印机的设计与应用 [J]. 信息技术与信息化, 2019(2):46-49.

[12] 陶永亮, 田书竹. 生物降解塑料迎来了重要发展时期(上) [J]. 橡塑技术与装备(塑料), 2021, 47(14):23-26.  
 [13] PLA 线材 适用于 FDM 3D 打印设备 [EB/OL].[2017-07-17]. https://www.sohu.com/a/157736170\_455806.  
 [14] 选择性激光烧结 [EB/OL].[2017-10-25]. https://baike.so.com/doc/2503398-2645457.html.  
 [15] 史玉升, 闫春泽, 魏青松, 等. 选择性激光烧结 3D 打印用高分子复合材料 [J]. 中国科学: 信息科学, 2015, 45(2):204-211.  
 [16] 3D 打印汽车零部件 [EB/OL].[2018-01-04]. https://www.aau3d.com/home-successfulcase-details-id-94.html  
 [17] TPU 材料 [EB/OL].[2022-10-13]. https://baike.so.com/doc/5418267-5656428.html..  
 [18] SLS 3D 打印 TPU 和运动鞋闪耀 Formnext 展会 [EB/OL].[2021-09-15]. https://mp.weixin.qq.com/s/0qE\_6oM2rZD4j1hdOpvPnQ.  
 [19] 百度文库. SLA 立体光固化 3D 打印技术 [EB/OL].[2016-02-19]. https://wenku.baidu.com/view/2b7894204693daef5ff73da0.html?\_wkt\_s=1670846458805.  
 [20] 孙晓琳. 3D 打印技术的应用 [J]. 机电产品开发与创新, 2013(4):108-109.  
 [21] Li Mengxiao, Zhou Shubao. Research on the application of 3D printing technology in the field of packaging [J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 731:304-308.  
 [22] 高卓, 陈晓婷, 衣守志, 等. 3D 打印技术及聚合物打印材料的研究进展 [J]. 热固性树脂, 2016, 32(4):67-70.  
 [23] 威布三维. 3DSL360 光固化 3D 打印机 [EB/OL]. https://www.wiibox.net/3d-printer-3dsl360.php.  
 [24] 为什么光敏树脂是 3D 打印的首选材料? [EB/OL].[2022-10-18]. https://www.sohu.com/a/593654737\_121300104.  
 [25] 齐思印. 案例简介 [EB/OL]. [2020-12-31]. https://www.qsy3d.com/caseInfo/202012310055.html.  
 [26] 常见 4 种 3D 打印工艺的原理及特点 [EB/OL].[2019-08-16]. https://www.sohu.com/a/334183343\_157139.  
 [27] 多射流熔融技术 (MJF) [EB/OL].[2015-09-22]. https://baik.e.ofweek.com/5066.html.  
 [28] 惠普多射流熔融 (MJF: Multijet Fusion) 工艺概述 [EB/OL].[2018-10-24]. https://www.sohu.com/a/270683178\_455806.  
 [29] 多射流熔融 3D 打印 (MJF) 技术原理 [EB/OL].[2019-06-24]. https://www.bilibili.com/video/av56726824/.  
 [30] 白令三维. MJF 工艺应用-手部固定器 [EB/OL]. https://www.bering3d.com/details/case/187.html.  
 [31] 选择性热烧结 (SHS) [EB/OL].[2014-07-18]. http://www.nanjixiong.com/thread-38809-1-1.html.  
 [32] 26% ! 3D 打印塑料市场增长迅猛, 最受欢迎的是 ..... [EB/OL].[2023-02-03]. https://mp.weixin.qq.com/s/4eQ3WY4EgfSTLrMkxxHR\_g.  
 [33] 打破垄断, 国产米级超大幅面高温 3D 打印机, 航空航天非金属优选方案 [EB/OL].[2022-06-24]. https://mp.weixin.qq.com/s/MnKSp3XnZXcuioKBxD58vw.  
 [34] 助力华南理工, 国产大型颗粒料 3D 打印机尺寸超大, 速度快, 性能更高 [EB/OL].[2023-01-12]. https://mp.weixin.qq.com/s/hcjbPYjwH4eLfv7s2\_iDQ.

## Polymer material 3D printing applications and cases

Tao Yongliang<sup>1</sup>, Yang Jianjing<sup>2</sup>

(1.Chongqing Chuanyi Engineering Plastic Co. LTD., Chongqing 400712, China ;  
2. Guangdong Modco Laser Technology Co. LTD., Zhuhai 519000, Guangdong, China)

**Abstract:** 3D printing of polymer materials is an important part of additive manufacturing which has many printing methods and broad development prospects. This article focuses on the application of polymer materials in the field of 3D printing, describing the principles and practical application cases of 3 commonly used methods and 4 uncommon methods. This paper described the development trend of polymer 3D printers towards ultra large and high-temperature types in China. The shift towards using granular materials for 3D printing silk can save material costs and is compatible with various high-performance 3D printing materials, allowing polymer 3D printing to better add new momentum to the development of the national economy.

**Key words:** polymer materials; polymer; 3D printing; additive manufacturing; FDM; SLS; SLA

(R-03)

### 山东淘汰 4 000 万条轮胎产能

#### Shandong eliminated 40 million tire production capacity

近日，国家发展改革委牵头会同相关部门共同修订形成《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，由鼓励、限制和淘汰三类目录组成。

其中轮胎鼓励类包含：采用绿色工艺的高性能子午线轮胎（55 系列以下，且滚动阻力系数  $\leq 9.0$  N/kN、湿路面相对抓着系数  $\geq 1.25$ ），航空轮胎、巨型工程子午胎（49" 以上）、农用车胎及配套专用材料和设备生产。

绿色轮胎是指由于应用新材料、新工艺，生产出节能、环保、安全的子午线轮胎产品。生产过程践行绿色制造理念，使用环保、无毒无害符合 Reach 的原材料；不产生有毒有害物质，不污染环境。在性能上能满足低滚动阻力、低燃油消耗、出色的操控稳定性、更短的制动距离、更好的耐磨性。使用后可回收再利用，节约资源与能源。使用后可回收再利用，节约资源与能源。目前倍耐力、普利司通、米其林、韩泰、固特异等国际龙头企业均在相应的技术上做出了突破性的进展。

轮胎限制类包含：斜交轮胎、力车胎（含手推车胎）、锦纶帘线、5 万 t/ 年以下钢丝帘线、再生胶（常压连续环保型脱硫工艺除外）、橡胶塑解剂五氯硫酚、橡胶促进剂二硫化四甲基秋兰姆（TMTD）生产装置。

轮胎淘汰类包含：年产 50 万条及以下的斜交胎，以天然棉帘子布为骨架的轮胎，干法造粒炭黑（特种炭黑和半补强炭黑除外）、年产 3 亿只以下的天然胶乳安全套，软边结构自行车胎，以棉帘线为骨架材料的普通输送带和以尼龙帘线为骨架材料的普通 V 带，轮胎、自行车胎、摩托车胎手工刻花硫化模具。

据了解，随着产能的优化，斜交胎在制造工艺上也越来越智能、精进。据业内预测，中国斜交胎在 2023 年产量可达 3 300 万条，同比增长 3.1%。机构预测，2023~2027 年，全球斜交线轮胎市场规模复合年增长率将达到 13.46%，市场规模预计将增加至 2 387.1 亿元。中国作为传统农业大国，随着农业领域智能化的渗入，农机装备越来越先进，对斜交线轮胎的需求、性能要求都在逐年增长，不断推动斜交胎行业更为良性发展。

在轮胎淘汰落后产能方面，早在 2021 年 4 月，山东省印发了《全省落实“三个坚决”行动方案（2021—2022 年）》。2023 年下半年，山东省发布《高端轮胎铸造项目发展指导目录（2023 年版）》要求有关部门严把项目关，坚决制止不属于指导目录范围的低端轮胎项目上马。据不完全统计，在过去四年山东轮胎至少淘汰了 4 000 万条产能。落后产能的出清，将进一步释放市场空间，规范市场运营，更有利于民族品牌国际市场地位和品牌形象的建立，对头部企业形成长期利好。

编自“轮胎观察网”

(R-03)