

综述

快速原型技术研究综述

张慧杰, 胡国清, 刘文艳, 林忠华

(厦门大学 机电系, 福建 厦门 361005)

摘要: 在研究快速原型技术发展历史和现状的基础上, 介绍了快速原型制造的基本原理, 重点介绍几种发展较成熟的 RP 技术的基本原理, 分析 RP 技术的特点, 并探讨其应用价值和发展前景, 提出了目前发展快速成型的基本观点和未来发展趋势。

关键词: 快速原型; CAD 模型; 激光器

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1006 - 0316(2004)06 - 0001 - 04

The overview of rapid prototyping technique

ZHANG Hui-jie, HU Guo-qing, LIU Wen-yan, LIN Zhong-hua

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Based on the history and development of rapid prototyping technique, the principles of Rapid Prototyping (RP), especially several developed techniques, are introduced. The characteristics of RP techniques are analyzed and the opinions about future development tendency and prospect are put forward.

Key words: rapid prototyping; CAD model; laser apparatus

快速原型制造技术, 又称快速成型技术, Rapid Prototyping (简称 RP 技术)。快速成型 (RP) 技术是 20 世纪 80 年代后期发展起来的一项先进制造技术, 它可以在无需准备任何模具、刀具和工装卡具的情况下, 直接根据产品设计 (CAD) 数据, 快速制造出新产品的样件、模具或模型, 与传统的铸、锻、轧、焊、车、铣、刨、磨等一系列加工过程相比, 原型制造的加工过程大大缩短了加工周期并降低了产品研制的成本, 对促进企业产品创新、提高产品竞争力有积极的推动作用。美国、欧洲及日本等发达国家已将快速成型技术应用于电子信息、汽车、通讯、机械交通、轻工家电、航天航空、医疗器械、塑料、模具、建筑模型等众多行业。国内北京隆源快速成型公司、清华大学、西安交通大学、南京航空航天大学、华中科技大学、上海交通大学、华北大学、浙江大学、快速原型制造技术生产力促进中心 (西安、天津、武汉、深圳、宁波) 等单位在成型理论、工艺、设备、材料、软件开发等方面做了大量的研究工作, 并已开发出商品化、能制造复杂原型的 RP 系统。但目前国内外对金属快速成型还在起步阶段, 成功的示例并不

多, 主要集中在碳钢和其他几种特殊的金属以及它们的合金上面。

1 RP

快速原型技术是在现代 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等技术的基础上集成发展起来的, 是多学科交叉技术综合的结晶。RP 的基本原理是首先将三维实体模型数据 (STL 文件) 按一定方向分层为层片模型数据 (CLI 文件), 快速原型成型机再根据这些数据, 利用特定的材料, 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、粘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, 直至完成整个实体的创建。一层截面制作后, 另一层又在它上面累加, 反复如此, 直到整个零件由底而上逐层构造完成。快速成型过程可以由图 1 所示^[6]。

自美国 3D 公司 1988 年推出第一台商品 SLA 快速成型机以来, 已经有十几种不同的成型系统, 其中比较成熟的有 SLA、SLS、LOM、FDM

收稿日期: 2004-04-22

基金项目: 福建省自然科学基金项目 (k32014); 国家留学回国人员基金资助项目 (k3003)

和LG等。其成型原理分别介绍如下：

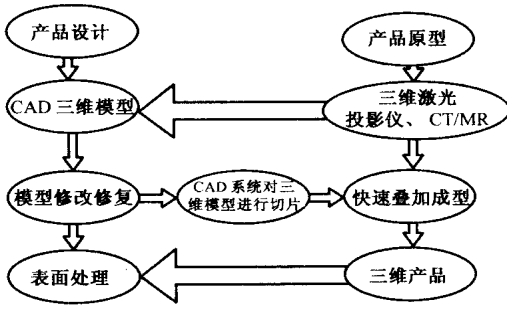


图1 快速成型的过程

(1) 液态光敏树脂选择性固化 SLA (Stereo Lithography Apparatus)

SLA 成型原理：液槽里盛满液态光敏树脂，计算机根据每个截面的轮廓线控制的激光光束扫描光敏树脂，光敏树脂很快固化形成一层轮廓，每一层的扫描完成之后，工作台下下降一个凝固层的厚度，一层新的液态树脂又覆盖在已扫描过的层表面，新固化的一层粘结在前一层上，如此重复直至成型完毕，即形成快速原型。工作原理如图2所示^[19]。如果实体上有悬空的结构，处理软件可以预先判断并生成必要的支撑工艺结构。构型工作全部完成后，从工作台上取出实体，用溶剂洗去未凝固的树脂，然后用紫外线进行整体照射，以保证所有的树脂都凝结牢固。其制件性能相当于工程塑料或蜡模；主要用于高精度塑料件、铸造用蜡模、样件或模型。

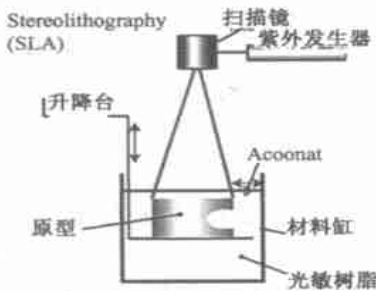


图2 成型原理图

国外用于SLA的材料较多的是DSM Som - osR 族树脂，它们有很好的工艺参数和物理性能，生成的原型有较高的精确度、具有可确定的外型、磨光的表面、很强的抗湿性、较高的耐热性等优点。除此之外，SLA的成型材料还有SL - 5170、SL - 5240、Somos 7100等。国内主要采用ABS工程塑料粉末、石蜡粉末、聚苯乙烯粉末作为原材料。

美国 3D SYSTEM 公司 SLA 系列：viper si²

SLA system、SLA - 3500SLA - 5000、SLA - 7000。另外 SLA 成型机还有 EOS 公司的 SterEos300/ 400/ 600；F&S 公司的 MLS；CMET 公司的 SOUP；D - MEC 公司的 SCS 等系列。国内陕西恒通智能机器有限公司已开发出 LPS600、LPS350；上海联泰科技有限公司 RS350H、RS350S、RS600H，RS600S 等系列。

(2) 粉末材料选择性烧结 SLS (Selected Laser Sintering)

SLS 成型原理：计算机控制 CO₂ 激光束按截面轮廓的信息扫描工作台上的一层粉末材料，单个的微粒便会在他们的接触点凝固成一片层实体，然后，下降活塞带着刚凝固的几何实体向下移动一层的厚度，接着，送粉滚筒横跨制造腔移动，铺上新的一层粉末，此过程反复进行直至生成三维实体；待制造腔冷却，取出实体，去除包裹在原型外的多余的粉末饼，再按设计要求对其表面有选择的进行密封、渗透、上漆等处理。如图3^[18]所示。

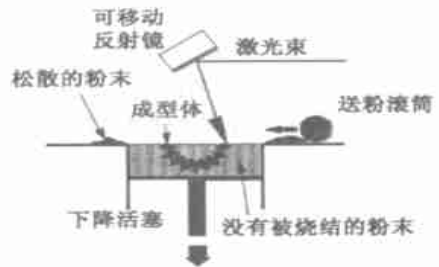


图3 SLS成型原理图

国外用于 SLS 的材料非常广泛且具有很高的功能性。例如：Dura Form PA 和 DuraForm GF；Somos R 201CastForm PS，CastForm，33%玻璃尼龙 (nylon 33% glass)、精密尼龙 (fine nylon)、覆蜡陶瓷粉、复蜡金属粉、聚碳酸酯粉、蜡粉、覆裹热凝树脂的细沙等。SLS 所成的原型具有良好的耐久性和功能性，成型时无须支撑，但此种方法得到的原型表面比较粗糙，零件本身多孔，密度不均匀。制件性能相当于工程塑料、蜡模、砂型；主要用于塑料件、铸造用蜡模、样件或模型。目前 SLS 成型机有：EOSINTP700、EOSINT250/ 350 等型号，3D 公司的 SLS 成型机系列：Sinterstation2000，25000CI，2500Plus 等。目前国内华中理工大学、北京隆源公司已开发出 SLS 快速成型机。

(3) 薄型材料选择性切割 LOM (Laminated Object Manufacturing)

LOM 成型原理：这种方法根据三维模型每个

截面的轮廓线，在计算机的控制下，用 CO₂ 激光束对薄型材料（如底面涂胶的卷状纸）进行切割，逐步得到各层轮廓，并将其粘结在一起，形成三维产品。原理如图 4 所示^[20]。LOM 使用的原材料为预涂覆热敏胶的纤维纸，厚度有 0.1mm 和 0.2mm 两个规格，其制件的强度相当于优质木材的强度，制件性能相当于高级木材，主要用于快速制造新产品样件、模型或铸造用木模。国外的成型机型号有 LOM 1020, LOM 1015, LOM 2030; 国内有清华的 SSM500/800/1600 系列，华中理工大学在 1997 年也向市场推出商品化的 LOM 成型设备。

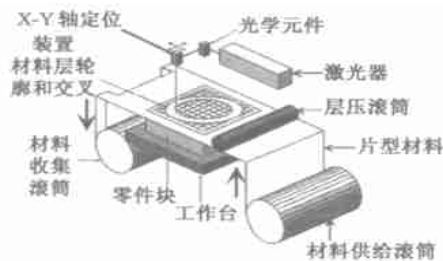


图 4 LOM 成型原理图

(4) 丝状材料选择性熔覆 FDM (Fused Deposition Modeling)

FDM 成型原理：热扫描喷头在计算机的控制下，根据截面轮廓信息作 X—Y 平面运动和高度 Z 方向的运动，丝材（如塑料丝、石蜡质丝等）由供丝机构送至喷头，在喷头中加热、熔化，然后选择性地涂覆在工作台上，快速冷却后形成一层截面轮廓，层层叠加最终成为快速原型，如图 5 所示^[15]。制件性能相当于工程塑料或蜡模；主要用于塑料件、铸造用蜡模、样件或模型。国外成型材料主要是 ABS、ABSi、Investment Casting Wax、Elastomer、polycarbonate 等。STRATASY 公司的 FDM 成型机有 FDM 3000、FDM MAXUM、FDM 1600, FDM 1650, FDM 2000, FDM 8000 等型号。国内有清华的 MEM250/250 系列。

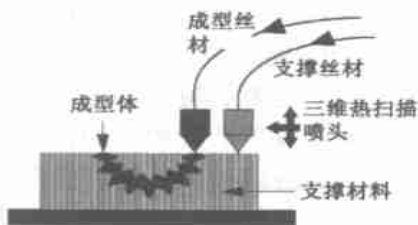


图 5 FDM 成型原理图

(5) LG (Laser Generating)

LG 技术最早是由德国 Fraunhofer 生产技术研

究会 (Institute of Production Technology) IPT 在 1994 年开发的，系统由一个脉冲激光器、一个三轴电脑数值控制 (CNC) 机床和一个同轴送粉机构组成。金属粉末被送至激光光束的焦点处，并在送粉喷嘴里熔化，然后将熔化的金属液珠沉积在基材的表面上。粉末并不是先沉积再经过激光照射，而是先被充气送粉器送至激光光束聚焦处，气体送粉保护金属被氧化，再由计算机根据轮廓信息扫描沉积成为原型实体，如图 6 所示^[3]。

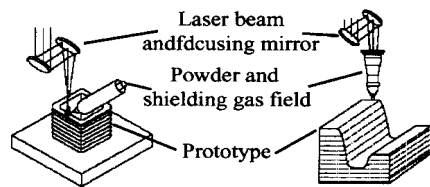


图 6 LG

LG 能够直接成型完全密度的原型，和其他的成型过程不同，LG 成型过程中金属粉末并不是被烧结，而是被完全熔化。SLS 和 3DP 成型过程，粉末松散的置于基材表面，即使采用黏合剂，也不能使粉末完全紧凑，导致成型实体多孔，密度不完整，但是由于 LG 成型无支撑，使得成型实体的形状受到限制。

此外还有粉末材料选择性粘结法 (TDP 法)、直接壳型铸造法 (DSPC 法) 以及立体生长成型法 (SGC 法)、立体喷墨印刷 (Ink-Jet Printing) 等方法

2 结论

快速原型制造技术尽管发展的时间不长，但发展速度很快，极大的提高了制造业的发展水平，给制造业带来了根本性的变化。目前国内快速成型制造技术中对非金属材料的制造，无论是原型的质量、性能、尺寸、外观，还是制造的速度都取得卓越的成果，已经相当成熟。而对金属原型的制造，就其材料在密度和性能上与所要求的金属材料零件差距还很大，需要用它们的模型经过二次铸造才能生产出最终要求的金属原型，并且目前可以用作快速成型的金属材料范围有限，特别是国内的金属快速成型研究起步较晚，还比较落后，生产设备也大多直接从国外引进或仿制，自主知识产权的设备和材料目前还较少。因此，目前研究的重点应放在金属材料的快速成型技术上和研究适应于金属的 (下转第 7 页)

程彻底的重新构思、根本的重新设计, 要达到在诸如成本、质量、服务和速度等关键性能方面的显著提高。

(7) 全面质量管理

质量是市场竞争的一个重要因素, 关于质量也是一个不断演进的概念。最初是只要符合技术规范、经久耐用, 就是质量好。但随着市场的演进, 个性化、多样化的要求越来越突出, 当前评价质量的准则就是“用户满意”, 进而要求“产品全生命周期内用户满意”。

(8) CIM3

CIM3 是 P. P. Yin 于 1990 年提出的一种 CIM 方法, 其核心思想是: 计算机系统不足以处理现实世界的种种不规则性, 一个组织需要人们的共同协作才能发挥作用, CIM3 方法将“工作流”作为人和已有的 CIM 自动化平台之间的集成器, 将制造过程中人的活动与自动化设备、通信连接以及信息系统集成在一起, 形成所谓“工作流”, 即人们在日常生活中开展的各种活动以及进行相互联系的模式, 因此 CIM3 可以称为“面向人”、“更柔性”和“面向结果”的模型。

(9) 广义企业

广义企业 (EE) 是欧洲一些制造系统专家在 20 世纪 90 年代初提出的概念。其主要思想是将系统集成的范围更加扩大。如对某个企业来说, 首先要紧密地与其供应商及相应的后勤服务单位实现集成。其次对顾客则要有一种相对说来不太紧密的集成, 主要是以信息交换为基础, 然后是相对固定的订单和供货关系。

参考文献:

- [1] 陈禹六. 先进制造业运行模式 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [2] 中国工程院课题组. 新世纪如何提高和发展我国制造业 [N]. 光明日报, 2002 - 07 - 04 (4).
- [3] 刘晟光, 等. 生产方式演进的过程 [J]. 成组技术与生产现代化, 2000, (3): 1 - 3.
- [4] 王华栋. 浅谈我国 CIMS 发展概况 [J]. 航空工艺技术, 1997, (3): 23 - 25.
- [5] Dick Dore, (张申生译). 敏捷企业 [J]. 中国机械工程, 1996, (4): 42 - 45.
- [6] 王华栋, 等. 动态联盟公司的体系结构和运行模式研究 [J]. 机械工业自动化, 1997, (1): 6 - 8.
- [7] 卢锐. 先进制造技术与企业的现代化 [J]. 中国管理科学, 1998, 6 (4): 59 - 62.

(上接第 3 页)

快速原型设备。

参考文献:

- [1] 虞钢, 虞和济. 集成化激光智能加工工程 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [2] 郑启光. 激光先进制造技术 [M]. 华中科技大学出版社, 2002.
- [3] F. Klocke T. Celiker Y. - A. Song Rapid Metal Tooling Rapid Prototyping Journal Volume 1. Number 3. 1995: 32 - 42
- [4] 李永堂, 巨丽, 杜诗文. 快速原型制造技术研究进展 [J]. 太原重型机械学院学报, 2002: 255 - 258.
- [5] 陈扼西. 快速原型技术及其在我国的发展 [J]. 集美大学学报 (自然科学版) 2001: 340 - 344.
- [6] 潘东杰等. 快速成型—先进的现代制造技术 [J]. 《铸造技术》, 1999, 4: 37 - 39.
- [7] 潘东杰, 黄列群, 沈永华. 快速成型技术——制造业的新兴技术 [J]. MEEM, 1999, (4): 68 - 69
- [8] 宋天虎. 我国快速成型制造技术的发展与展望 [J]. 中国机械工程, 2000, 10.
- [9] 卢秉恒. 基于 RP 的快速制造技术. RP 技术与模具制造 [M]. 西安陕西科技出版社, 1998.
- [10] 3D Systems Solid Imaging Company <http://www.stratatsys.com/>

- [11] Johns. Lamancusa Rapidprototyping techniques <http://www.me.psu.edu/lamancusa>
- [12] Robert Daly Rapidprototyping Molds the Future of Manufacturing Technology Investor 2000 08: 38 - 39.
- [13] The RP&T center Laminated Object Manufacture <http://www.warwick.ac.uk>
- [14] Innovative Manufacturing center Fused Deposition Modeling <http://www.imcuk.org/>
- [15] Make Reaserch And Development Center Fused deposition modeling <http://www.makeresearch.com/rp-FDM.html>
- [16] Make Reaserch And Development Center Sintering <http://www.makeresearch.com/rp-sintering.html>
- [17] 快速原型制造技术生产力促进中心 (天津) <http://www.rp.com.cn/>
- [18] Cladding formation in laser - beam fusion of metal powder
- [19] Phoenix Analysis And Design Technologies <http://www.padtinc.com/rm/sla/default.htm>
- [20] Foundryonline <http://www.foundryonline.com/laminate.htm>
- [21] <http://www.techcore.com.cn/techcore/xjzz/rp-china.htm>
- [22] THE RAPID PROTOTYPING HOME PAGE <http://www.cc.utah.edu/asn8200/rapid.html>
- [23] 3DSYSTEMS <http://www.3dsystems.com/>
- [24] Zele der Fraunhofer - Allianz Rapid Prototyping <http://www.rapidprototyping.fhg.de/frames.shtml.de>
- [25] Quick Parts <http://www.quickparts.com/encyclopedia/>