

快速成形技术的研究现状及发展趋势

江开勇 刘 斌 李洪友

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要 成形材料的开发应用,可提升成形质量、拓宽原型应用的领域、开发新的成形工艺. 软件是快速成形技术的灵魂,第三方软件介入是当前快速成形技术软件开发的一个明显趋势. 基于快速成形思想的各种新的工艺方法、研究与工艺装备开发,以及桌面化设备和功能原型成形设备的开发,是新的快速成形设备研制的两大趋势.

关键词 快速成形, 成形材料, 软件技术, 工艺装备

中图分类号 TH 16-1

文献标识码 A

快速成形技术(Rapid Prototyping Technology, 以下简称 RP 技术)是 20 世纪 80 年代中后期发展起来的一项新兴的先进制造技术,其核心思想是基于降维离散的方法,把任意复杂的三维实体通过切片处理,转换为二维平面的制造和沿成形方向做一维的层片叠加,实现物理原型的快速制造. 美国是 RP 技术的发源地,几种典型的 RP 工艺技术与商品化设备均由美国首推. 目前,在 RP 领域,美国仍然处于领先地位. 美国国家自然科学基金委员会、ARPA (Advanced Research Projects Agency) 和其他联邦委员会,都投入较大资金向一些大学、公司提供资助和贷款等,以推动 RP 学术研究与应用开发研究. 紧随其后的是日本. 日本一度瞄准所有 RP 工艺中技术最成熟、成形质量最高的 SL 工艺,开展研究与自主设备开发. 近年来,针对汽车制造业的需求,LOM 工艺得到重视. 特别值得一提的是松原茂夫教授发明基于 LOM 原型的逐次成形方法,为快速制造汽车覆盖件等提供一种崭新的成形方法,推动了 LOM 工艺的发展. 欧共体也设立过多个针对 RP 的项目计划,以扩大和深化 RP 技术在欧洲的研究、开发和应用. 如受欧共体支持的 EARP(European Action on Rapid Prototyping),其宗旨就是鼓励和促进其成员间技术信息共享和在 RPT(Rapid Prototyping Technology)领域 R&D 合作,其中的“Work Area, Med Earp”专门支持 RP 在医学上应用的项目. 在我国,较早涉足 RP 领域研究与设备开发的单位,主要有清华大学、西安交通大学、华中科技大学和北京隆源自动化成形公司. 他们各有侧重,可以说是我国在 RP 技术领域研究开发的首发阵容. 目前,国内有很多高校、研究机构和企业具备 RP 设备,从事该领域的研究与技术开发工作.

1 国内外 RP 技术的研究现状

1.1 成形材料^[1~7]

目前开发成功并商业化应用的成形材料,主要有丙烯酸基光固化树脂、环氧基光固化树脂、涂覆纸、纤维混纺料、精铸石蜡、聚脂石蜡、ABS、MABS(医学用 ABS)、纤细尼龙(Fine Nylon)、尼龙复合物(Nylon Composite)、存真塑料(TrueFormTM)、聚碳酸酯(Polycarbonate)、金属粉末、覆膜陶瓷粉. Cibatool 公司的 Cibatool SL5170 具有低收缩、低粘度的优点,在 SL 工艺中得到最为广泛的应用. Helysis 公司的涂覆纸,灰份低,可直接或间接用于消失模铸造. Stratasy 公司开发纤维混纺料具有耐高温高压的特点,可直接制造塑料注塑模具. 精铸石蜡、聚脂石蜡具有气化温度低、熔点低的特点,适用于消失模制造.

收稿日期 2005-05-21

作者简介 江开勇(1961-),男,教授,主要从事特种加工和快速成形技术的研究. E-mail: jiangky@hqu.edu.cn

基金项目 福建省自然科学基金资助项目(E0410021);福建省科技计划重点基金资助项目(2003H002)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

MABS(医学用 ABS)强度高、熔点也高,可用于医学用原型制造。DTM 公司开发的纤细尼龙,有较好的强度、刚度、耐热性和抗腐蚀性能,用于概念型和测试型制造。尼龙复合物是一种填充了玻璃微珠的尼龙,有很好的强度、刚度、耐热性和抗腐蚀性能,能制造微小特征,适合概念型和测试原型制造。存真塑料,熔点低、变形率低,适用于消失模制造。聚碳酸酯,价格便宜、熔点低,同样适合于消失模制造。金属粉末熔点高、强度高,用于制造功能零件或金属模具制造。覆膜陶瓷粉可用于制造陶瓷壳型。

我国在材料方面进行的研究较少。现在研究的材料,主要有光固化树脂(SL 用料)、蜡及 ABS(FDM 用料)、涂敷纸(LOM 用料)、树脂蜡(SLS 用料)、工程塑料和铸造覆膜砂等。西安交通大学配制了 LPS 系列用光固化树脂。清华大学成功地解决了用于 FDM 工艺的蜡和 ABS 丝材的制备。华中科技大学自行制备 LOM 工艺用纸。浙江大学进行了光固化树脂的固化和精度研究。北京隆源公司开发了可用于 SLS 工艺的工程塑料、精铸蜡粉体料等。

1.2 软件开发^[8~12]

软件是 RPM 系统的灵魂。国外各主要 RPM 系统生产商一般都开发自己的数据变换接口软件,如 3D SYSTEMS 公司的 ACES 和 QuickCast, Hellisys 公司的 LOMSlice, DTM 的 Rapid Tool, Stratasys 的 QuickSlice, SupportWorks, AutoGen, Cubital 的 SoliderDFE, Sander Prototype 的 ProtoBuild 和 ProtoSupport 等。由于 CAD 与 RPM 的数据变换接口软件开发的困难性和相对独立性,涌现一批第三方接口软件,如由美国的 Solid Concept 公司于 1992 年推出的 Bridge Works。经不断改进,现已发展到 Version 4.0 以上。该软件可通过对 STL 文件特征的分析,自动添加各种支撑。由比利时的 Materialise 公司在 1993 年推出的 Magics, 现已发展到 Version 4.2, 包括 Magics View, Magics RP, Magics SG, Contours Tools, CT-Modeller System, Mimics 和 CTM 等 7 个模块,可以进行基于 STL 文件的显示、错误检验、自动添加支撑、分层、制造时间估计等处理。它还提供了各种对 CT 文件及 IGES 文件的有效处理。该软件功能广泛、性能优良、界面美观,是一个优秀的第三方接口软件。由美国的 Solid Concept 公司在 1994 年推出的 SolidView, 可以进行 STL 文件的线框和着色显示, STL 文件的旋转、缩放等操作。同时,它还有错误修复、添加支撑等功能。由美国的 POGO 公司于 1994 年推出的 STL Manager, 主要用于 STL 文件的显示和支撑的添加。由美国的 Imageware 公司在 1994 年推出的 Surfacar RPM, 为其 Surfacar 软件增加用于快速原型制造数据处理的模块;等等。

第三方软件公司介入 RP 领域,与 RP 设备开发商捆绑销售成为一种趋势。如 3D SYSTEM 公司与 Imageware 公司达成协议,采用 Imageware 的 RP 系列模块作为“3D Systems SL Toolkit”。Sanders Prototype 公司也采用了 STL-Manager 作为自己的数据接口。另外,德国的 F&S 公司也购买了该软件的部分模块。在我国,上海联泰科技有限公司推出的 RS 350 系列激光快速成形机,其前置处理软件也采用 Magics, 采纳捆绑销售的方式,极大地提高了国内 SL 设备的商品化水平。

1.3 新工艺与装备开发

RP 技术发展到现在,已经出现 10 余种不同的工艺方法,而且一些新的工艺方法和工艺装备开发仍然是一个热点。新工艺与成形设备开发的趋势是桌面化、功能化、专门化^[13,14]。作为新一代的概念型原型设备,它主要有 Z-Corp 的 Z 400 系列——一种基于喷射粘结剂粘接粉末的工艺。其中的 Z 406 型为彩色机,可同时或交替喷射 4 种颜色的粘结剂。每种颜色的喷头分别有 400 个喷嘴,其喷头采用 HP 公司 HP 2000 打印机喷头,如图 1 所示。Object 的新机器 Quadra 3D Ink-Jet 采用具有 1 536 个喷嘴组成的阵列式喷头,在其运动方向的前后,各有一个紫外固化灯,边喷射边固化。喷头阵列的宽度为 60 mm,具有很高的成形效率,如图 2 所示。Solidimension 的 3D 300G-LOM 工艺,改变了在典型 LOM 工艺中采用激光切割涂覆纸的工艺方法,它采用刀片切割塑料薄膜,层间粘结不用加热。



图 1 多色喷射粘结成形

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

热熔胶,而直接用粘结剂粘结.由于不使用激光器,设备本身的成本和运行成本大幅度下降,塑料薄膜的价格也远低于专用的涂覆纸^[15],其成形制品如图 3 所示. CAM-LEM 公司开发了基于 LOM 原理的金属或陶瓷零件的制造工艺与装备,称为 CAM-LEM (Computer Aided Manufacturing of Laminated

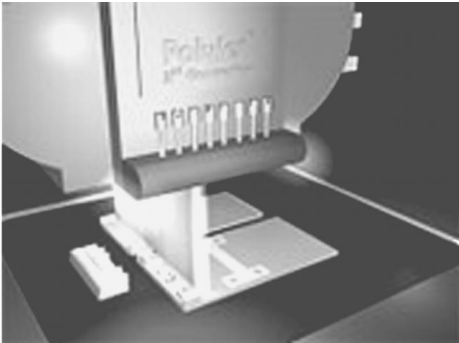


图 2 3D 喷射/光固化成形

材料. 制备模型^[16]. 其工艺原理如图 4 所示.

日本在新工艺技术开发方面,有许多独具特色的内容^[17]. 由东京理研研制开发的,采用 LED 发光管光源的光造型装置,可望大幅度降低设备成本. 目前主要着力于光源的改进,以提高成形速度. 设备的工作原理,如图 5 所示. 大阪大学和东京理研共同研制的液晶投射光造型机,成形效率大幅度提高. 目前主要是成形精度的进一步提高. 帝人精机公司也在独立开发同样的设备^[17]. 设备的工作原理,如图 6 所示. 茨城大学前川克广教授研制开发的“绿带(Green Tape)”成形工艺,其基本工艺原理是先把粉体材料与树脂粘结剂混合制成薄带状材料. 然后在自制的成形设备上,按照类似于

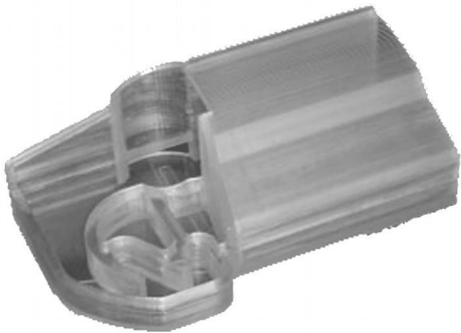


图 3 塑料薄膜 LOM 工艺制口

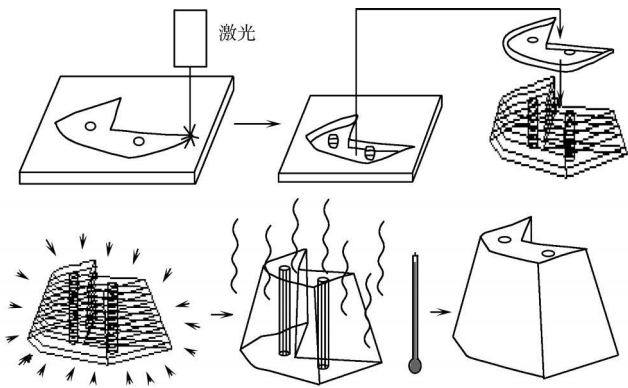


图 4 CAM-LEM 工艺原理

本工艺原理是先把粉体材料与树脂粘结剂混合制成薄带状材料. 然后在自制的成形设备上,按照类似于

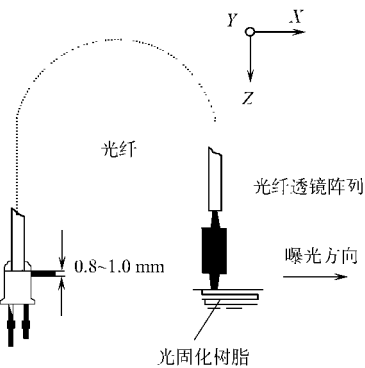


图 5 LED 阵列光造型法

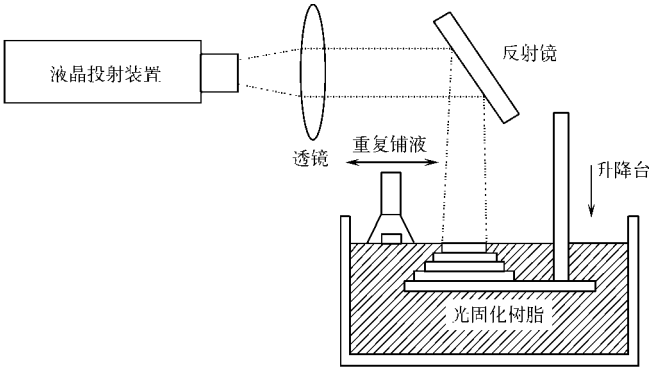


图 6 液晶投射光造型

LOM 工艺过程完成层片切割与层片粘接叠加,制造金属型和陶瓷型原型. 其工艺原理如图 7 所示^[18,19]. 日本松原茂夫教授发明的逐次成形方法,为快速制造汽车覆盖件等提供一种崭新的成形方法. 目前,该项技术已经在包括丰田汽车在内的多家汽车制造公司得到实际应用^[17]. 其工作原理及部分成形件,如图 8,9 所示.

Stanford University 开展的形状沉积制造(Shape Deposition Manufacturing, SDM),集成了材料堆积与铣削加工工艺. 它是解决典型 RP 工艺存在的原型表面质量、加工精度与传统机械加工差距的有效工艺途径^[20,21]. 其工艺原理如图 10 所示. 韩国国立大学机械与宇航工程学院 Jongwon Kim 等研究开发的混合快速成形系统(Hybrid Rapid Prototyping System),采用沉积与 CNC 铣削加工交替的分块成形方法,其基本思想与 SDM 类似^[22]. 华侨大学模具技术研究中心提出的分段堆积成形(Decompounded Deposition Shaping)技术,取得了可喜的进展^[23,24]. 原型材料采用金属填充型高强度树脂,支撑材料采

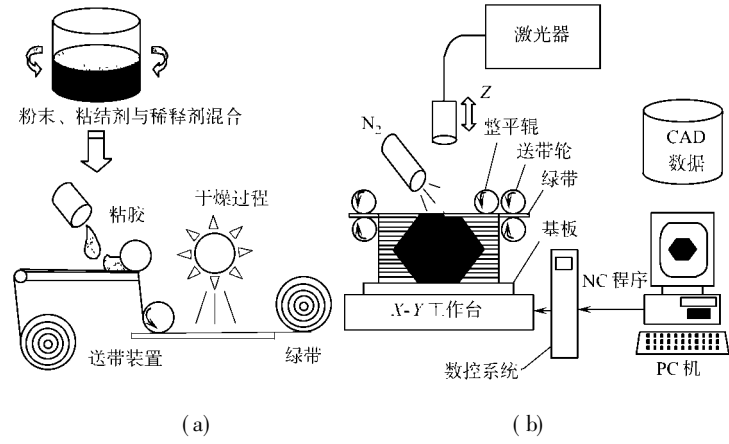


图 7 绿带成形工艺

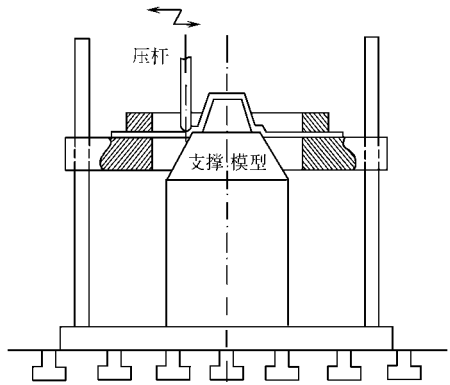


图 8 渐进成形工艺原理



用可溶热塑性聚合物,有效解决了实体材料与支撑材料的热匹配问题、材料收缩问题等.特别地,改性后的材料固化时间大幅度缩短.开发了基于局部极值轮廓的实体分段算法及其应用软件,并在自主开发的三轴CNC雕刻机上进行了喷射装置的集成,达到了实用效果.图11为部分成形件照片.

低温冰型快速成形技术,是RP新工艺技术开发中一项非常有新意的尝试,其工艺原理如图12所示.美国的

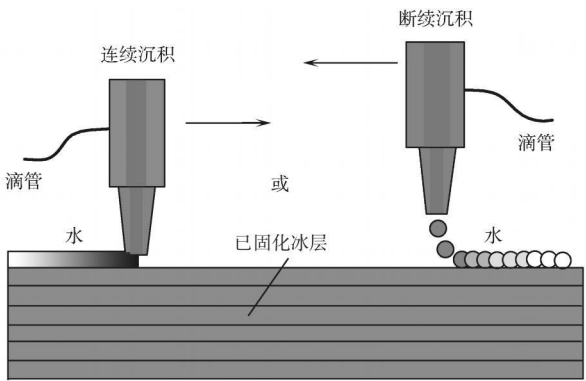
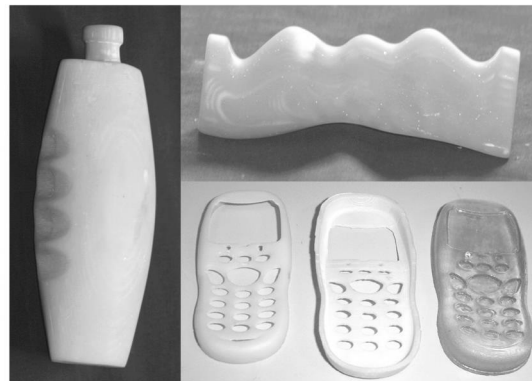
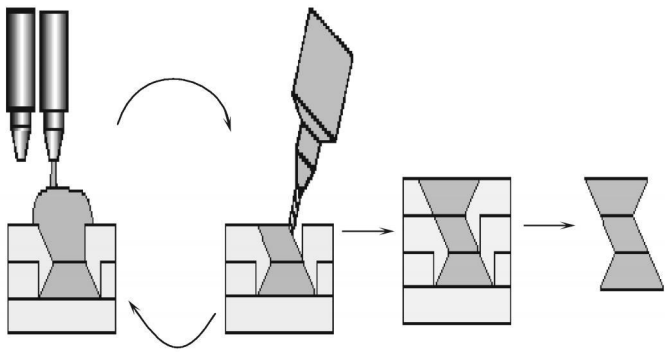


图 12 低温冰型快速成形工艺原理

型精密铸造工艺,使这一技术趋于实用化^[25~27]。

2 发展趋势

2.1 喷射成形技术将是桌面化快速成形设备的主流

由于喷射成形材料选择范围宽,设备运行成本低,容易将材料制备与材料成形统一起来。因此,喷射成形技术的广泛应用,已成为快速成形技术发展的重要趋势。如以上所述的喷射成形设备,还有诸如 3D Systems Inc. 的 Thermojet, Solidimension Ltd. 的 SD 300 等都具有很好的商业前景。基于喷射技术的成形设备,有望成为今后类似于打印机的计算机外围设备。

2.2 分层制造与传统机械加工的集成

快速成形技术的优势是不容置疑的,但是快速成形技术的基本原理决定了 RP 工艺还难于达到与传统机械加工所具有的表面质量和精度指标。如何把快速成形的基本成形思想与传统机械加工方法集成,优势互补,是提升 RP 竞争力的重要方向之一。如 3DP 工艺,以及前面介绍的形状成形(SDM)技术,都是朝着这一方向发展的具体体现。

2.3 新材料开发是改善 RP 成形质量的重要突破口

快速成形技术的重要特征之一,是材料制备与材料成形过程的集成,离散堆积过程要求材料具有更严格的低收缩率、适当的流动性和粘性等性质。作为 RP 后端应用的原型,还必须考虑材料本身的无残留物去除及直接作为小批量模具使用,也必须考虑材料具有足够的机械性能和导热性能等。另外,特殊功能材料成形在生产生活中发挥着越来越重要的作用,如采用快速成形技术制作梯度功能材料,可以制造出具有特定电、磁学性能(如超导体、磁存储介质)的产品;组织工程材料快速成形在生物医学工程中的应用,将是 21 世纪继信息产业后最重要的科学研究和经济增长热点。

2.4 发展网络环境下的快速成形技术服务

快速成形是典型的数字化制造技术,特别适合于远程异地设计制造。快速成形具有广阔的服务背景,开展面向应用对象的网络化服务,是推动 RP 技术发展的一项重要任务。

3 结束语

限于篇幅,本文只是从与快速成形技术相关的材料研究、软件开发和成形设备研制 3 个方面,阐述了快速成形技术的发展现状。基于快速原型的后端技术,如快速模具技术等近年有了重大的进展,有待另文介绍。

参 考 文 献

- 1 Gray R W, Baird D G, Bohn J H. Effects of processing conditions on short TLCP fiber reinforced FDM parts[J]. Rapid Prototyp J, 1998, 4(1): 14~25
- 2 Karalekas D E. Study of the mechanical properties of nonwoven fibre mat reinforced photopolymers used in rapid prototyping[J]. Materials & Design, 2003, 24(8): 665~670
- 3 Masood S H, Song W Q. Development of new metal/polymer materials for rapid tooling using fused deposition modeling[J]. Materials & Design, 2004, 25(7): 587~594
- 4 Tan K H, Chua C K, Leong K F. Scaffold development using selective laser sintering of polyetheretherketone hydroxyapatite biocomposite blends[J]. Biomaterials, 2003, 24(18): 3115~3123
- 5 Chung S I, Im Y G, Jeong H D, et al. The effects of metal filler on the characteristics of casting resin for semi-metallic soft tools[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 134(1): 26~34
- 6 Christian P, Jones I A, Rudd C D, et al. Monomer transfer moulding and rapid prototyping methods for fiber reinforced thermoplastics for medical applications[J]. Composites Part (A): Applied Science and Manufacturing, 2001, 32(7): 969~976
- 7 Zhong Weihong, Li Fan, Zhang Zuoguang, et al. Short fiber reinforced composites for fused deposition modeling[J]. Materials Science and Engineering (A), 2001, 301(2): 125~130

- 8 Yau H T, Kuo C C, Yeh C. Extension of surface reconstruction algorithm to the global stitching and repairing of STL models[J]. Computer Aided Design, 2003, 35(5): 477~ 486
- 9 Pratt M J, Bhatt A D, Dutta D, et al. Progress towards an international standard for data transfer in rapid prototyping and layered manufacturing[J]. Computer Aided Design, 2002, 34(14): 1111~ 1121
- 10 Szilvi Nagy M, Mátyási G. Analysis of STL files, mathematical and computer modelling[J]. 2003, 38(79): 945~ 960
- 11 Lee S H, Ahn D G, Yang D Y. Surface reconstruction for mid slice generation on variable lamination manufacturing [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, (130-131): 384~ 389
- 12 Claudio E, Hanan S. Experience with SAND-TCL: A scripting tool for spatial databases[J]. Journal of Visual Languages & Computing, 2002, 13(2): 229~ 255
- 13 徐健, 颜永年, 卢伟, 等. 快速成形技术的发展方向[J]. 航空制造技术, 2002, 11: 5~ 27
- 14 黄树槐, 肖跃加, 莫健华, 等. 快速成形技术的展望[J]. 中国机械工程, 2000, 11(2): 195~ 200
- 15 Yu Guoxing, Ding Yucheng, Li Dichen, et al. A low cost cutter based paper lamination rapid prototyping system[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2003, 43(11): 1079~ 1086
- 16 Bryden B G, Pashby I R. Hot platen brazing to produce laminated steel tooling[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 110(2): 206~ 210
- 17 Takeo Nagakawa. 日本のラピッドプロトタイプングの現状[J]. 電気加工学会志, 2000, 34(76): 9~ 17
- 18 Maekawa K, Yokoyama Y, Ohshima I. Fabrication of metal grinding/polishing tools by greentape laser sintering method[J]. Key Engineering Materials, 2001, 196: 133~ 140
- 19 Maekawa K, Kokura S, Ohshima I, et al. Laser micro fabrication using thin powder tapes process architecture and feasibility investigation[J]. Manufacturing Systems, 1999, 29(2): 131~ 135
- 20 Liu H C, Sunyoun L, Prinz F B, et al. RP of Si_3N_4 burner arrays via assembly mould SDM[J]. Rapid Prototyping Journal, 2004, 10(8): 239~ 246
- 21 Kietzman J, Park B H, Prinz F B. Part strength improvement in polymer shape deposition[J]. Rapid Prototyping Journal, 2001, 7(3): 130~ 137
- 22 Hur J, Lee K, Hu Z, et al. Hybrid rapid prototyping system using machining and deposition[J]. Computer Aided Design, 2002, 34(10): 741~ 754
- 23 Jiang K Y, Gu Y H. Study of the shape deposition manufacturing of polymer parts[J]. Key Engineering Materials, 2003, (256-260): 672~ 676
- 24 赵宝民, 江开勇, 顾永华. 分段沉积雕铣成形工艺及材料研究[J]. 机电技术, 2004, (增刊): 167~ 170
- 25 Leu M C, Zhang W, Sui G. An experimental and analytical study of ice part fabrication with rapid freeze prototyping [J]. CIRP Annals, 2000, 147~ 150
- 26 吴任东, 颜永年. 基于冰模的熔模铸造工艺研究[J]. 铸造, 2003, 52(11): 1074~ 1077
- 27 吴任东, 魏大中, 颜永年, 等. 基于快速成形的低温冰型制造技术研究[J]. 低温工程, 2003, (4): 36~ 42

Status Quo and Trend of the Study on Fast Forming Technique

Jiang Kaiyong Liu Bin Li Hongyou

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

Abstract By developing and applying material of forming or shaping, forming quality can be promoted, prototype application can be broadened, and new RP process can be developed. Software is the core of rapid prototyping technology. The field of rapid prototyping technology where commercial software involved is an obvious trend of software technique development at present. The research on various new technological method and technological equipment based on the principle of rapid prototyping as well as the development of desktop equipment and functionalizing equipment, are two R & D big trends in developing new RP equipment.

Keywords rapid prototyping, forming material, software technique, process equipment