

doi: 10.7690/bgzdh.2013.07.008

快速成型技术及在装备零件仿制中的应用

王格芳, 陈国顺, 吴国庆, 张东

(军械工程学院军械技术研究所, 石家庄 050000)

摘要: 针对现代武器装备保障对维修零件小批量、多品种产品的生产要求, 对快速成型 (rapid prototyping, RP) 技术在装备零件仿制中的应用进行研究。简要介绍 RP 的基本原理、技术特点及分类、应用方向, 并结合实例分析 RP 技术在武器装备复杂形面零件仿制中的应用。结果表明: 仿制的“开闩曲臂”和“右抽筒子”与零件原件的精度误差优于 0.1 mm, 符合装备零件制造标准要求。

关键词: 快速成型; 技术应用; 武器装备; 零件仿制

中图分类号: TJ05 **文献标志码:** A

Application of Rapid Prototyping Technology in Equipment Parts Manufacturing

Wang Gefang, Chen Guoshun, Wu Guoqing, Zhang Dong

(Ordnance Technological Research Institute, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Aimed at the manufacture demand of small-batch maintenance parts and multi-item production for weapon equipment support, it has been studied that the application of rapid prototyping (RP) technology in equipment parts manufacturing. The basic principle, characteristic and sort, application direction of RP technology is briefly introduced, and integrating with example, the application of RP technology in weapon equipment parts manufacturing is analyzed. The results show that the precision is excelled 0.1 mm between copying “discharge crossbar bend arm”, “right take out sleeve” and parts originals, and accord manufacture demand of equipment parts.

Key words: rapid prototyping; technology application; weapon equipment; parts copying

0 引言

近年来, 我军加大了对引进装备维修备件国产化的研究, 目前这一研究主要集中于电子组件、印制电路板类备件, 对于具有复杂曲面、复杂形状的零件以及具有复杂型腔、复杂型心的零件仿制研究较少。面对现代武器装备保障对维修零件小批量、多品种产品的生产要求, 缩短零件产品开发周期和降低零件产品开发成本, 实现复杂形面零件产品快速设计与制造, 解决引进装备和停产断供备件中零件仿制难题, 对提高装备零件加工质量和效率, 以及装备维修保障能力有着重要的意义。

传统的零件制造方法需要设备多, 成本高、周期长, 且不能直接将设计数据快速转化为三维实体。快速成型 (rapid prototyping, RP) 技术及系统综合应用了激光、数控、材料、计算机及精密传动等技术手段, 将计算机辅助设计 (computer aided design, CAD) 和计算机辅助制造 (computer aided manufacturing, CAM) 集成于一体。RP 系统根据在计算机上构造的零件三维模型, 直接将零件设计数据快速、精确地转变为零件实体模型或直接制造零

件, 从而可以对零件设计进行快速评价、修改及功能试验。用 RP 系统制造零件样品相对于传统制造方法, 其周期大大缩短、成本大幅降低; 因此, 笔者对快速成型技术在装备零件仿制中的应用进行研究^[1]。

1 快速成型基本原理

RP 基本原理是基于“离散—堆积”方法, 即“分层制造, 逐层叠加”。零件 RP 制造的核心是零件模型离散处理、堆积加工零件实体, 具体实现过程包括以下 4 个步骤:

1) 零件三维模型构建。借助 CAD 软件设计出所需零件的三维 CAD 模型, 或用实物逆向工程方法, 建立零件的三维 CAD 模型。对采用逆向工程建立的 CAD 模型, 还需将模型表面转换为三角面片逼近的表面, 并生成面片文件 (如 .STL 文件等)。

2) 零件模型离散处理。根据成型工艺要求, 按照一定的规律将零件的三维 CAD 模型离散为一系列有序的单元, 通常在 Z 向将其按一定厚度进行离散 (一般称为分层), 把原来的三维 CAD 模型变成由一系列的层片构成的层片文件 (如 .CLI 文件等)。

收稿日期: 2013-01-17; 修回日期: 2013-02-22

作者简介: 王格芳 (1967—), 男, 湖南人, 硕士, 高级工程师, 从事军械装备技术保障、电子装备自动测试及智能诊断设备与技术、装备维修器材特征信息自动采集及处理设备与技术研究。

3) 堆积加工零件实体。根据不同成型工艺要求对层片文件进行检验或修正，并基于每个层片的轮廓信息生成数控加工代码，通过 RP 系统控制材料精确地成型(制造)一系列层片，并自动将它们逐层叠加(堆积)，最终形成一个零件三维实体。

4) 成型零件的后处理。从 RP 系统里取出成型零件，对零件表面进行打磨、抛光、涂挂等处理，对有些零件还可放在高温炉中进行后烧结，进一步提高零件的强度^[2-3]。

2 快速成型技术特点及分类

目前，RP 技术的种类(见图 1)大致可分为基于激光的成型技术和是基于喷射的成型技术 2 类，不同种类的 RP 系统所用的成型材料、成型原理及技术特点都有一定的差别。其中，立体光刻(stereo lithography apparatus, SLA)、选择性激光烧结(selected laser sintering, SLS)、分层实体造型(laminated object manufacturing, LOM)、熔丝沉积造型(fused deposition modeling, FDM)和三维打印(three dimension printing, 3DP)成型技术的特点如下：

1) SLA 成型技术。在计算机的控制下，激光束以模型各分层截面轮廓为轨迹，逐点扫描成型材料薄层，使之产生光聚合反应后固化，从而形成制件的一个薄层截面。一层固化完毕后，在刚刚固化的工作表面布放一层新的成型材料以便进行循环扫描、固化，如此重复堆积成整个原型。SLA 常用成型材料是热固性光敏树脂，主要用于制造各种模具和模型等，SLA 成型速度较快、精度较高，但由于树脂固化过程中产生收缩，会产生应力或引起形变。

2) SLS 成型技术。在计算机的控制下，激光束对成型材料粉末分层扫描，成型材料在激光照射时吸收能量，发生熔融固化，从而形成制件的一个薄层截面。一层固化完毕后，再进行下一层扫描烧结，如此层层叠加，最终生成所需要的三维实体制件。SLS 突破了 RP 使用材料的限制，可以烧结陶瓷、塑料、石蜡等多种材料，但激光烧结工艺参数对制件精度、强度的影响很大，对经验的依赖性非常强。SLS 成型材料适应面广，可以直接制造金属零件。

3) LOM 成型技术。在计算机的控制下，激光束按照 CAD 分层模型数据，对单面涂有热熔胶的成型材料的箔带进行切割，形成制件的一个薄层截面。一层切割完毕后，通过加热辊加热，使刚刚切好的一层与下面已切割层粘接在一起。这样通过逐

层切割、粘合，最后将不需要的材料剥离，得到预制的原型。LOM 常用成型材料是纸、金属箔、陶瓷膜、塑料膜等，可以制造模具、模型、结构件，制件的粘结强度与所选的成型基材和胶种密切相关。

4) FDM 成型技术。在成型前，先将液化管中的丝状成型材料加热熔化，在成型时，由计算机控制热熔喷嘴的喷头作 $x-y$ 联动扫描，同时喷出半流动状的高分子聚合物，高分子聚合物在成型室中冷却成型，从而形成制件的一个薄层截面，并与下面已成型层粘结在一起，逐层沉积、凝固后形成整个原型或零件。FDM 成型系统采用液化器代替了激光器，所用材料主要是石蜡、塑料等低熔点材料和低熔点金属，可直接制造金属件和多种模型。

5) 3DP 成型技术。在计算机的控制下，通过铺粉装置将成型材料粉末均匀铺撒在工作台台面上，并控制压平后粉末的厚度等于计算机制件 CAD 模型分层中相应的厚度。再由计算机控制粘接剂喷射头移动的方向和速度，对分层位图进行喷射粘接，从而形成制件的一个薄层截面。一层粘接完成后，再进行下一层的铺粉、粘接，如此重复分层铺粉、粘接，逐渐将整个制件制作出来。3DP 成型材料包括陶瓷、金属、石膏、塑料的粉末等，其技术关键是配置合乎要求的粘接剂和原材料粉末^[4]。

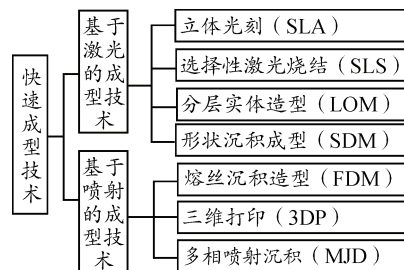


图 1 快速成型技术分类

3 快速成型技术应用方向

目前，RP 技术广泛应用于航空、航天、国防、汽车、医学和轻工等领域，涉及产品设计验证与功能评估、产品模具快速设计与制造、单件制造及小批量生产、样件试制、快速制造等，其应用方向主要有以下方面：

1) 产品设计验证与功能评估。在产品造型设计中，RP 技术能够直接、快速、精确地将设计模型转化为具有一定功能的实体模型，方便设计人员对产品设计、结构和功能进行验证评估，及时发现设计中的问题并修改完善产品设计，降低开发风险。

2) 产品模具快速设计与制造。在产品模具制造

上, RP 技术能够结合传统的模具制造技术, 大大缩短模具设计与制造的开发周期。一是采用 RP 技术直接制造不同材料的模具; 二是利用 RP 技术先制作模芯, 再利用模芯结合精密铸造等技术复制模具。

3) 单件制造及小批量生产。在机械制造领域里, 对于形状特殊、结构复杂的制件有时只需一件或小批量生产, 若通过制模再生产往往成本高、周期长。而基于 RP 技术直接成型来实现小批量生产, 往往成本低、周期短, 且方便产品的更新换代^[5]。

4) 金属零件直接快速成型。金属零件直接 RP 工艺分单成型工艺与复合成型工艺, 在野外装备的快速应急修复方面具有突出的作用, 它可以通过网络或直接从计算机中调出该零件的三维 CAD 模型, 快速制造出所需零件, 并完成装备的换件修理^[6]。

4 RP 技术在装备零件仿制中的应用分析

武器装备部分零件具有生产批量小、形状较特殊、结构较复杂、规格差异大等特点, 且该部分零件在装备中功能、作用独特, 对该部分零件的设计制造通常精度要求高、过程复杂、难度较大, 需要反复进行设计、检测和改进, 设计制造成本高、周期长。由于从国外引进装备的技术资料不完整, 用于维修的零件通常只能从装备生产国进口, 造成零件筹措周期长、费用高, 且易受到国际关系影响。我军对于国产大型复杂装备的方针是“多研制、少生产”, 通常设计定型后生产一批或几套就停产,

导致装备的专用维修零件筹措困难^[7]。

在引进装备的维修零件和停产断供的维修零件中, 部分形状特殊的零件多是由复杂的曲面拼接而成, 由于图纸资料缺乏或不完整, 所以零件的加工制造十分困难, 对这部分零件进行仿制可以迅速形成对该类零件的制造生产能力, 解决这部分零件筹措困难、费用偏高的问题。RP 技术具有灵活多样的制造工艺和技术优势, 为结构复杂的装备零件原型制造和模具制作提供了快速、精密的技术保障, 是快速仿制零件的有效途径。笔者以某型武器装备复杂形面零件“开门曲臂”(见图 2(a))和“右抽筒子”(见图 3(a))为例, 简要说明 RP 技术在装备零件仿制中的应用过程^[8]。

1) 零件三维模型构建。针对仿制对象的结构特点, 首先利用三维激光扫描仪 VIVID-910 对零件实物进行了数字化测量, 获取零件表面的数据点云(见图 2(b)、图 3(b))。然后利用逆向工程软件 PolyWorks 对获取的数据点云进行三维数据处理, 并重构零件三维 CAD 模型(见图 2(c)、图 3(c))。

2) 零件模型离散处理。根据仿制对象的类型、尺寸大小和精度要求, 首先选择基于 SLA 工艺的 EDEN350V 光固化成型机进行零件制造, 同时选用光敏树脂作为成型材料。然后根据 SLA 工艺要求, 利用专业的快速成型软件 Magics 将零件三维 CAD 模型转换成 .STL 格式文件, 随后离散处理成 .CLI 文件, 并控制好数据处理过程中引入的误差。

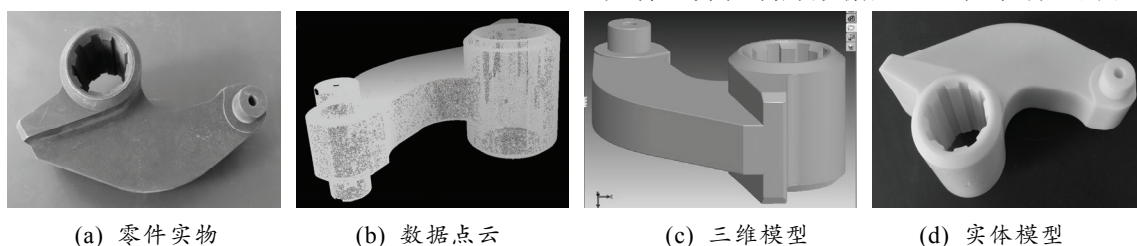


图2 “开门曲臂”零件仿制过程

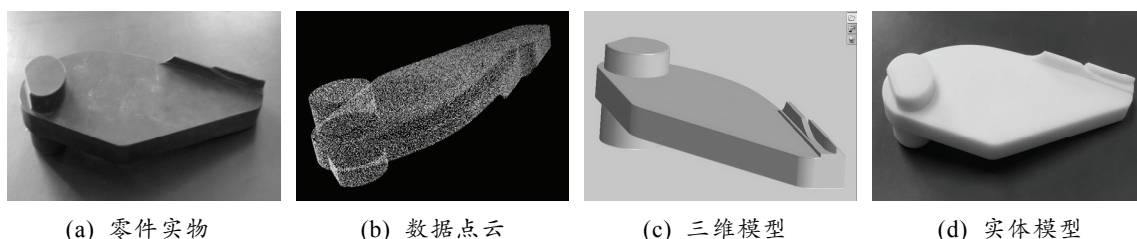


图3 “右抽筒子”零件仿制过程

3) 零件快速加工制造。在 EDEN350V 光固化成型机上加载经过离散处理的成型数据文件, 设置合适的工艺参数, 选择相应的制作模式, 进行零件

的快速成型加工制作, 最终形成零件三维实体, 即仿制件(见图 2(d)、图 3(d))。同时注意控制工艺过程引起的误差, 即成型过程中和成型后制件的变形,

以及由于喷头尺寸、台阶效应、数控代码引起的误差等^[10-11]。

5 结束语

利用 GLOBAL9158 型三坐标测量机,对零件原件和仿制件进行测量比对分析,结果表明:仿制的“开门曲臂”和“右抽筒子”与零件原件的精度误差优于 0.1 mm,符合装备零件制造标准要求。

参考文献:

[1] 陈婵娟. 快速成型技术的现状及发展趋势[J]. 湖南科技学院学报, 2011, 32(8): 68-71.

[2] 朱季平. 快速成型技术在现代制造业中的应用研究[J]. 装备制造技术, 2011(8): 10-12.

[3] 余珞珈, 魏著谱, 见文, 等. 快速成型技术与新产品开

发[J]. 模具, 2011(14): 59-61.

[4] 李玉蓉. 快速成型技术的应用[J]. 机械与电子, 2011(13): 95-96.

[5] 马劲松. 浅谈快速成型技术在航空航天业的应用与发展[J]. 快速制造技术, 2010(8): 51-54.

[6] 王格芳, 陈国顺, 王学明, 等. 基于实物逆向工程技术的装备零件设计方法[J]. 兵工自动化, 2009(4): 12-14.

[7] 颜永年, 张人佶, 林峰. 快速制造技术及其应用发展之路[J]. 航空制造技术, 2008(11): 116-118.

[8] 王格芳, 吴国庆, 沙晓光, 等. 激光测量的自由曲面点云数据处理方法[J]. 工程图学学报, 2008(5): 33-37.

[9] 张海鸥, 蒋疆, 王桂兰. 金属零件直接快速制造技术[J]. 航空制造技术, 2008(7): 97-99.

[10] 王格芳, 黄礼富, 吕艳梅. 激光测量中的多视点云旋转对齐方法[J]. 兵工自动化, 2007(6): 47-50.

[11] 荣辉, 吴国庆, 王格芳. 军械装备器材三维数据自动采集系统[J]. 兵工自动化, 2006(11): 36-37.

(上接第 26 页)

$$F_{气} = F_1 \times 1.5 \tag{3}$$

气缸的行程由 2 个平钳张开角度和夹钳内轨道共同决定, 可以通过作图法来确定。

2 顶升机构主要参数设计与分析

顶升机构结构如图 1 所示, 其结弹力 P 由气缸和楔形块共同决定, 其气缸所需要的气缸推力:

$$F_{气} = 1.5 \cdot P \cdot \tan \gamma \tag{4}$$

式中: γ 为楔形块与水平方向的夹角, 第 3 段自锁段时其值必须小于摩擦角。考虑摩擦和机构上能量损失引入安全系数 1.5。

压入时结合长度 l 由第 3 段曲线的夹角和气缸所走的行程共同决定, 则气缸在所走的位移不得小于 $l \cdot \cot \gamma$ 。

4 样机参数与实验

为验证结弹机构的可行性, 对结弹机构进行了样机制造与实验验证, 以 40 弹作为试验对象, 相关的结构参数按照上述的设计方法确定, 其参数表如表 1 所示。

表 1 结弹机构主要设计参数

参数名称	数值	参数名称	数值
结弹力/N	3 200.96	夹具张开角度/(°)	150
夹具气缸缸径/mm	63	顶升气缸缸径/mm	63
夹具气缸行程/mm	100	顶升气缸行程/mm	80
夹具内轨道第 1 段曲线夹角/(°)	3	楔形块第 1 段曲线夹角/(°)	7.5
夹具内轨道第 3 段曲线夹角/(°)	50	楔形块第 3 段曲线夹角/(°)	25

试验时在顶升头上安装压力传感器对结弹力

进行检测。试验后的产品先进行同轴度检测^[6], 同轴度不大于 0.03 mm 的判定为合格品, 对合格品中的压力值进行统计。试验时取 100 个弹丸和药筒进行试验, 合格产品为 99 个, 其结弹力的值在 3 085~3 378 N 之间。将实验数据与采用公式 (1) 中所计算的理论结弹力相比较, 二者数据基本相符, 验证了理论上计算结弹力的可行性。

5 结论

实验结果表明: 该结弹机构具有装配精度高、结构简单可靠的特点, 且通过采用自动上料装置易于实现生产的自动化, 加工的产品一致性较好。实物样机验证了该机构的功能, 能满足实际生产的要求, 可推广到同类产品装配设备的设计中。

参考文献:

[1] 乔相信, 阎思江, 王人参. 制式定装炮弹拔弹力的计算与控制方法[J]. 弹箭与制导学报, 2008(4): 90-92.

[2] 史慧芳, 李作武, 刘彬. 一种新的小口径炮弹紧口装置[J]. 兵工自动化, 2011, 30(4): 12-13.

[3] 李威, 李锦, 吴斌. 基于 SolidWorks 的弹头压入专机的有限元分析与结构优化[J]. 兵工自动化, 2011, 30 (3): 19-20.

[4] 李慧卓, 黄正祥, 祖旭东, 等. 弹体结构对混凝土侵彻弹垂直侵深的影响与试验研究[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(10): 134.

[5] 许文斌, 葛培琪, 张鹏顺. 薄臂管压入扩径成形力的计算[J]. 锻压技术, 1996(3): 19-21.

[6] 胡翔, 王瑁. 火箭弹高精度同轴度测量设备及误差分析[J]. 兵工自动化, 2007, 26(11): 15-17.