

熔融沉积快速成形工艺控制研究^{*}

肖 棋 江开勇

(华侨大学机电工程系, 泉州 362011)

摘要 以一种自主开发的改性聚丙烯为成形材料, 研究其熔融沉积快速成形的工艺特点. 同时, 对影响该工艺的各种参数如喷嘴温度、材料性能、分层厚度、填充速度、出丝速度、填充偏置和网络间距等进行实验分析. 在此基础上, 提出了提高快速成形实体的精度及表面质量的一系列措施, 取得了良好的成形效果. 结果对于 FDM 工艺中有关新成形材料的开发及成形工艺参数优化控制的深入研究, 提供了重要的依据. 所采用的实验研究方法, 对于探讨 FDM 工艺的一般规律同样具有重要的参考价值.

关键词 快速成形, 造型, 实体, CAD

分类号 TH 164

快速成形技术(简称 RP 技术), 是以离散/堆积的成形思想为基础, 综合利用激光、数控、CAD 和新材料等学科的技术, 形成一种从概念设计到三维实体模型制造一体化的高新技术^[1]. RP 技术的工程化在 80 年代末起源于美国. 它与传统的加工方法截然不同的, 是通过材料累加法从三维 CAD 几何模型制造其物理模型. 它可以快速而准确地制作出 CAD 的物理模型, 因而大大缩短了产品周期, 降低了开发成本^[2]. 利用 RP 技术制造三维实体的方法: (1) 三维光刻(SLA); (2) 分层实体制造工艺(LOM); (3) 熔融堆积成形工艺(FDM); (4) 选择性激光烧结工艺(SLS)等. 本文研究以改性聚合物为材料的熔融堆积快速成形的工艺控制.

1 实验部分

1.1 实验条件

设备为 M-RPMS 多功能快速成形机(清华大学激光快速成形中心). 材料为改性聚丙烯.

1.2 实体模型造型方法

本实验采用 AUTO CAD R14 在微机上进行造型. 图 1 为采用 AUTO CAD R14 所造的三维模型. 造型的方法是以立方体、圆柱体、锥体和环体等基本体素为单位体, 通过布尔运算生成所需的几何形体^[3]. 这些形体具有完整的几何信息, 是真实而唯一的三维实体. 然后, 把所造的

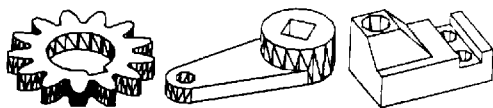


图 1 采用 AUTO CAD 造的三维模型

实体以 STL 文件输出到 M-RPMS 多功能快速成形机上。

1.3 实验方法

将 CAD 造好的三维模型以 STL 文件方式输入多功能快速成形机。启动快速造型机的数控系统与温度系统, 控制喷嘴温度在 230 左右, 层厚 0.3 mm, x 方向及 y 方向的网格间距都选择 1.5 mm, 选择恰当的填充速度和出丝速度。参数选择后, 对 CAD 三维模型进行分层和填充, 调整好喷嘴与工作台垫板的距离(约 0.2 mm), 便可开始造型。

1.4 检测方法

秒表测量时间, 游标卡尺测量实体的尺寸误差, 体表面粗糙度用粗糙度样块对比法。

2 实验结果与分析

2.1 可成形的工艺范围

FDM 工艺温度(θ)决定着材料的粘结性能和堆积精度, 其中喷嘴出口温度决定了熔融成形材料在粘结成形时的粘度。每层成形时间(t)的长短则对上一层的粘度影响很大。图 2 是以改性聚丙烯为堆积材料的 FDM 工艺所允许的温度及每层成形时间的工艺范围图。从图 2 可清楚看到, 若温度过低(< 200), 材料不能熔融, 使喷嘴堵塞, 无法成形; 若温度过高(> 250), 则材料会焦黄。若每层的成形时间过短, 上一层的材料来不及固化, 就继续再堆, 则成形的面会塌陷。值得一提的是, 当以蜡为挤出材料时, 若每层的成形时间过长, 上一层堆积的材料已完全固化并冷却, 再继续堆积则容易脱层。以改性聚丙烯为挤出材料时, 经过反复实验, 发现不会产生脱层现象。

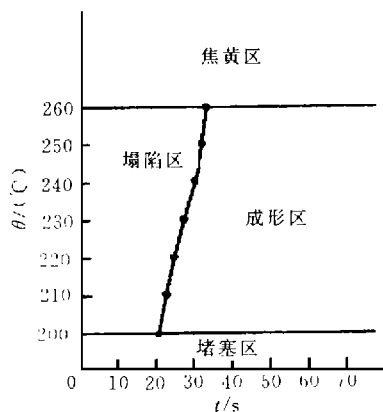


图 2 可成形的工艺范围图

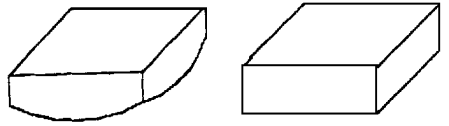
每层的成形时间(t)与填充速度、该层的面积大小及形状的复杂程度有关。若层的面积小、形状简单、填充的速度快, 则该层成形的时间就短; 若层的面积大、形状复杂、填充的速度慢, 则该层成形的时间就长。在造型时, 应控制好喷嘴的工作温度和每层的成形时间, 才能造出效果较好的实体。对改性聚丙烯这种材料, 喷嘴温度在 230 左右最佳。当成形的面积小时, 则应选择慢的填充速度; 反之成形的面积大时, 则应选择快的填充速度, 以提高造型效率。另外, 我们在反复不断的实验中还总结出: 在堆积一些截面积很小的形体, 往往难以成形, 如堆积直径很小的圆柱时, 往往堆出来的不圆。这是因为截面积太小, 一层的成形时间太短, 来不及固化成形, 就接着再堆, 丝被拉着走。为了在堆积截面积很小的形体时也能得到满意的效果, 则应在堆积的过程中在当前成形面上吹冷风强制冷却, 以加速材料的固化速度, 保证成形件的几何稳定性。

2.2 内应力的消除

FDM 系统所用材料为热塑性材料(如石蜡、ABS 等), 成形过程中材料会发生两次相变过程。一次是由固态丝状受热熔化成熔融状态; 另一次是由熔融状态经过喷嘴挤出后冷却成固态。材料凝固过程中的体积收缩会导致产生内应力, 这个内应力最终会导致如图 3(a) 所示的

翘曲变形及脱层现象.

为消除内应力引起的翘曲变形现象,可先在垫层上用材料与造型相同、底面略大的薄层底座,然后在底座上面造型.这样做的结果是变形都在底座上,而实际造型时产生的内应力相互抵消.因此,消除了由内应力引起的翘曲变形,去掉底座,可得到基本没有变形的实体(图 3b).



(a) 翘曲变形 (b) 没变形

图3 内应力引起的翘曲变形

2.3 影响成形精度的因素

2.3.1 材料性能对成形精度的影响 材料在工艺过程中要经过两次相变.在凝固过程中,材料有一定的收缩率,会直接影响成形的精度.为了提高精度,可改进材料的配方,降低材料收缩率,同时在设计时考虑收缩量进行尺寸补偿.

2.3.2 分层厚度对成形精度的影响 由于分层都有一定的厚度,会在成形后的实体表面产生“台阶”的现象,这将直接影响成形后实体的尺寸误差及表面粗糙度.对 FDM 工艺而言,完全消除“台阶”现象是不可能的,这是由于 FDM 的分层堆积成形原理决定的.一般来说,分层厚度越小,实体表面产生的“台阶”越小,成形实体的表面质量越高,但分层处理及成形的时间越长,加工效率低.相反,分层厚度大,实体表面产生的“台阶”越大,成形实体的表面质量越差,分层处理及成形加工时间较少,加工效率较高.为了提高表面质量,可在实体成形后进行打磨、抛光等后处理.

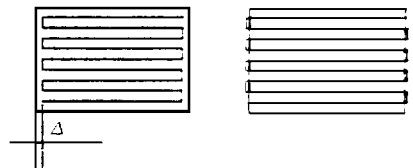
2.3.3 丝的宽度对成形精度的影响 FDM 工艺是靠喷嘴挤出细丝堆积成实体的,细丝有一定直径,一般在 0.3~2.0 mm 之间选取.细丝被挤压堆积后就有一定的宽度,这一宽度也直接影响成形实体的精度.细丝的宽度(W)与原始丝的直径(d)、层厚(δ)、进丝速度($V_{\text{进丝}}$)及扫描速度($V_{\text{扫描}}$)有关,其关系可表示为 $W = V_{\text{进丝}} \pi d^2 / 4 V_{\text{扫描}} \delta$.为了克服丝的宽度对成形精度的影响,可在 CAD 造型时,根据丝的宽度进行补偿计算,使造型精度达到满意的效果.

2.4 填充速度及出丝速度对成形质量的影响

填充速度应与出丝速度匹配,填充速度比出丝速度快,则材料填充不足,难以成形.相反,填充速度比出丝速度慢,熔丝堆集在喷头,使成形面材料分布不均匀,表面会有疙瘩,而且越堆疙瘩越多,影响造型质量.

2.5 填充偏置对成形质量的影响

填充偏置(Δ)指的是内部填充线到轮廓线之间的距离,如图 4(a)所示.填充偏置的大小直接影响到实体的成形质量.填充偏置(Δ)过大($\Delta > W/2$),会使内部填充线与轮廓线分离,难于成形;若填充偏置(Δ)过小($\Delta < W/2$),则内部填充线会超出轮廓线,使成形有表面产生“突痕”(图 4b),影响表面质量.填充偏置(Δ)宜控制在 $W/2$ 和 W 之间.



(a) (b)

图4 填充偏置

2.6 网格间距对成形质量的影响

填充网格的间距也直接影响成形实体的质量.间距过疏,每层填充的时间就短,成形后实体不结实,过软;间距过密,每层填充的时间就长,工作效率低.经过反复实验,网格间距一般可在 1.0~2.0 mm 之间选取.

2.7 实例

图5是以聚丙烯为挤出材料用FDM工艺所堆积的实体的照片. 在没有经过任何后处理的情况下, 经检测其尺寸精度为 $+0.3$, 表面粗糙度(R_a)为12.5. 该尺寸精度和表面粗糙度已完全满足在新产品开发中作为原形使用, 若经过后处理还可得到更为满意的效果.



图 5 FDM 工艺所堆积的实体照片

3 结论

综上所述, 影响FDM工艺的因素一般可归纳为如下几方面. (1) 喷嘴温度应控制在230左右. (2) 每层的成形时间不能太短. 成形时间过短(< 28 s), 则应在成形过程中加吹冷风, 使其强烈冷却, 以加速材料固化, 或者选择慢的填充速度, 防止造型时产生塌陷现象. (3) 为了消除内应力, 防止实体产生翘曲变形, 可在工作台的垫板上用材料相同、底面略大的薄层底座, 然后在底座上造型, 可得到满意的效果. (4) 为了提高所造的实体的精度, 可在设计时考虑材料的收缩率及丝的宽度对精度的影响, 而进行尺寸补偿计算. (5) 填充偏置过大, 会使填充线与轮廓线分离, 难以成形; 填充偏置过小, 会在实体表面上产生“突痕”. 一般填充偏置控制在 $W/2$ 和 W 之间. (6) 填充速度应与出丝速度相匹配. (7) 网格间距应适当, 一般在1.0~2.0 mm之间选取. 间距过疏, 成形后的实体不结实; 间距过密, 填充时间长, 工作效率低.

参 考 文 献

- 1 江开勇, 刘道远. 快速成形制造实体分层软件设计. 华侨大学学报(自然科学版), 1998, 19(1): 65~69
- 2 洪 军, 胡德州, 卢秉恒. RP技术在产品研制开发中的应用. 机械工程师, 1998, (4): 16~17
- 3 廖 果, 曾 刚, 王艳军等. AUTO CAD 13从入门到精通. 成都: 成都出版社, 1996. 349~421

Process Control of Rapid Modeling by Fused Deposition

Xiao Qi Jiang Kaiyong

(Dept. of Electron. Mech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract A modified polypropylene material for modeling is developed and its rapid modeling by fused deposition is studied. Experiment and analysis are conducted on various parameters influencing this technology. These included jettemperature performance of material layer thickness, filling speed, outgoing speed, filling offset and netork spaces. On this basis, a series of measures are put forward for improving the accuracy of material solid and surface quality of rapid modeling, which have led to satisfactory results. The present method of experimental study is of similar reference value to the exploration of the general rule of fused deposition modeling as a technology.

Keywords rapid modeling, mold, material solid, CAD