

文章编号:1000-582X(2002)02-0004-04

基于新 LOM 原理的分层切片算法

易树平,林利红,范兵,周六刚,艾华

(重庆大学机械工程学院,重庆 400044)

摘要:针对以金属板材为造型材料的分层快速制造方法中存在的问题,提出了新 LOM 方法,指出了新 LOM 方法对分层切片参数的要求,推导出相应的计算公式,实现了新 LOM 方法对造型实体 CAD 模型的分层处理。

关键词:分层实体制造;金属造型材料;功能零件;分层切片

中图分类号:TH 132.1

文献标识码:A

快速原型与制造技术(Rapid Prototyping Manufacturing, 简称 RP/M)经过 10 多年的发展,在制造技术领域获得了重大突破。但现有的 RP/M 技术主要以树脂、塑料、纸张、粉末烧结材料等作造型材料,一般仅适合制造原型零件或功能原型零件,不能直接快速制造功能零件^[1]。为直接快速制造金属零件,以金属为造型材料的功能零件的快速制造成为当今 RP/M 技术的研究热点之一。

利用金属板材作造型材料的 LOM 是实现金属功能零件快速制造的有效方法^[2-3]。带川用 0.2 mm 厚的两面涂覆低熔点合金的薄钢板,通过分层实体制造(LOM)方法快速制造金属零件^[4-5];山崎则直接用 0.5 mm 厚的薄钢板作造型材料,采用 LOM 方法和螺栓加电弧焊连接分层板,快速制造汽车车体模具^[6]。

目前用金属板材作造型材料的 LOM 在技术上尚存在许多应解决的难题,其一是分层材料的堆积成形精度问题。显然,分层板厚度越薄,成形精度越高。现有商品化的 LOM 技术,一般以为纸张、树脂板等做造型材料,其分层板厚度仅为 0.05~0.1 mm^[7]。若采用如此薄的金属板做造型材料,则造型时间长,造型强度也得不到保证。

作者在文献[8-11]中提出以 1.0 mm 数量级的金属板材作造型材料,采用新 LOM 方法,优化分层快速制造金属零件。通过精度分析,表明该技术方案与 0.1 mm 数量级厚的造型材料比较原理误差相同或更低。

本文进一步研究新 LOM 方法,明确新 LOM 方法

对分层切片参数的要求,探索适应新 LOM 方法的分层切片算法。

1 新 LOM 原理及其对分层切片参数的要求

1.1 新 LOM 原理

为了降低现有 LOM 方法的原理加工误差和残留加工量,作者提出了新的分层板切割工艺,即新 LOM 方法:沿分层板中点造型曲面的 Z 向法截线的切线切割分层板^[10]。通过分析影响新 LOM 方法原理加工误差的因素,提出了变分层厚度分层的优化准则:按曲面法线与分层平面的交角 α 和曲面的曲率半径 r ,在 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm 中选择分层板的厚度。

1.2 新 LOM 方法对分层切片参数的要求

分层切片是用一系列平行于 XOY 坐标面的平面截取经过 STL 转换后的三维实体,将数据模型在 Z 方向离散,实现模型分层。

现有的分层切片算法,如胡德洲的基于 STL 模型的分层算法和 STEP 标准的几何模型直接分层处理算法^[12]、刘斌的基于 STL 文件的实时切片算法和基于 CSG 实体数据模型的直接切片算法^[13]、刘爱林等的 STL 文件的容错切片算法^[14]等都不能满足新 LOM 方法的要求:不能解决优化分层问题,不能计算出切片轮廓线任意位置处的曲面特征参数。

根据新 LOM 方法的要求,切片算法除求出造型曲面的 CAD 模型与分层平面的封闭相交曲线外,还应求出相交曲线处造型曲面的曲面特征,即相交曲线任意

• 收稿日期:2001-11-20

基金项目:国家自然科学基金(59875088)和重庆市应用基础项目研究(2000-6062)资助项目

作者简介:易树平(1960-),男,四川省富顺人,重庆大学教授,博士。从事先进制造技术与制造业管理信息系统领域研究。

位置处造型曲面的切平面和法线方向,以及Z向法截线的曲率半径。

2 适应新LOM方法的切片参数计算

2.1 分层切片轮廓线的求解

2.1.1 交点计算

分层切片轮廓线的求解实际上是分层平面与STL文件中部分三角形面片的求交过程。图1为分层平面与其中一个三角形面片的求交处理示意图,分层平面与边12的交点E的坐标由式(1)确定:

$$\begin{aligned} x_E &= x_1 + \frac{h - z_1}{z_1 - z_2}(x_1 - x_2) \\ y_E &= y_1 + \frac{h - z_1}{z_1 - z_2}(y_1 - y_2) \\ z_E &= h \end{aligned} \quad (1)$$

同样的方法可求得分层平面与边13的交点F的坐标。

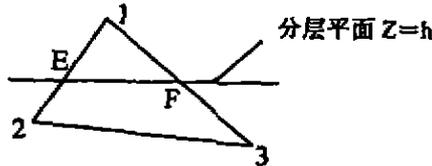


图1 分层平面与三角形面片求交

2.1.2 分层切片轮廓线的生成

将获取的交点首尾相连形成封闭曲线,生成分层切片轮廓线;对有多轮廓线的分层切片还需进行内外轮廓的识别^[12]。

2.2 曲面特征参数的计算

STL文件用三角形网格对任意曲面的CAD模型作小三角形平面近似,也就是所谓的实体的三角形网格化。STL文件中的三角形实际上就是所逼近的曲面切平面的近似平面。只要STL文件的逼近精度足够,就可以认为三角形平面是相应位置处造型曲面的切平面。

设图1所示三角形面片123在STL文件中的法向矢量为 $\vec{n}(x_n, y_n, z_n)$ 。该三角形平面方程为:

$$x_n(X - x_1) + y_n(Y - y_1) + z_n(Z - z_1) = 0 \quad (2)$$

则

$$Z = -\frac{x_n}{z_n}X - \frac{y_n}{z_n}Y + \frac{x_n}{z_n}x_1 + \frac{y_n}{z_n}y_1 + z_1 \quad (3)$$

令 $X = 0$,得到分层板切割加工中绕X轴的转动分量为:

$$A = -\frac{y_n}{z_n} \quad (4)$$

令 $Y = 0$,得到分层板切割加工中绕Y轴的转动

分量为:

$$B = -\frac{x_n}{z_n} \quad (5)$$

过三角形顶点1(x_1, y_1, z_1)的法线方程为:

$$\frac{X - x_1}{x_n} = \frac{Y - y_1}{y_n} = \frac{Z - z_1}{z_n} \quad (6)$$

该法线与分层平面 $Z = h$ 的交角为 α ,计算公式为:

$$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2 + 1}} \quad (7)$$

2.3 基于STL文件的造型曲面Z向法截线及其曲率的计算

在图2中,EF为三角形123与分层平面的相交线。过EF中点P的三角形123的Z向法截面 τ 的方程:

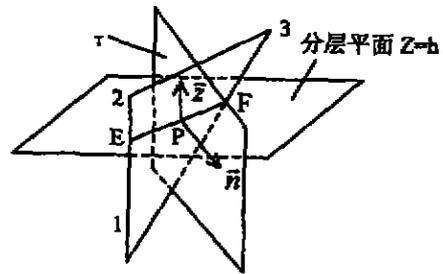


图2 三角形123上P点的Z向法截面 τ

$$y_n(X - x_p) - x_n(Y - y_p) = 0 \quad (8)$$

其中 $\vec{n}(x_n, y_n, z_n)$ 为三角形123的法向矢量。中点P的坐标为:

$$\begin{aligned} x_p &= \frac{1}{2}(x_E + x_F) \\ y_p &= \frac{1}{2}(y_E + y_F) \\ z_p &= h \end{aligned} \quad (9)$$

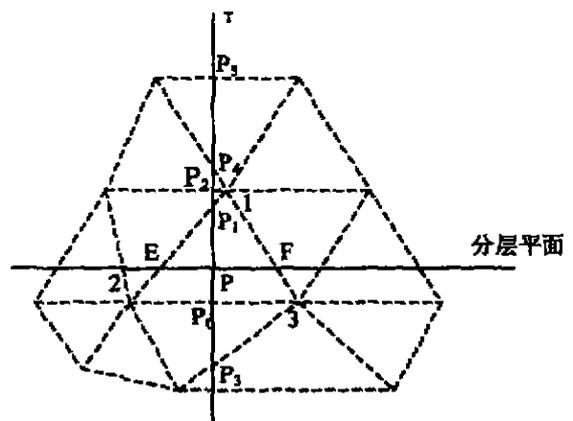


图3 三角形123的邻域三角形在平面 τ 上的交点

图3所示为Z向法截面 τ 与三角形123有邻接关

系(指与123共线或共点的关系,称为 δ 领域)的三角形相交情况。图中有 $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$ 等6个交点。找出与 P 点距离最近的4个交点,假设此处为 P_0, P_1, P_2, P_3 交点,这4个交点都是 r 平面内的点。由这4个交点拟合的曲线可以认为是造型曲面在 δ 领域内 P 点 Z 向法截线的近似曲线。三次Bezier曲线的矩阵表达式:

$$C(t) = TM_r P = TM_r [P_0 \ P_1 \ P_2 \ P_3]^T$$

$$= [t^3 \ t^2 \ t \ 1] \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & z_0 \\ x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix}$$

$$= [x(t) \ y(t) \ z(t)] \quad (10)$$

则

$$C'(t) = [x'(t) \ y'(t) \ z'(t)] \quad (11)$$

$$C''(t) = [x''(t) \ y''(t) \ z''(t)] \quad (12)$$

可以求出造型曲面上 P 点 Z 向法截线的曲率方程 K_r 和曲率半径 r 为:

$$K_r = \frac{|C'(t) \times C''(t)|}{|C'(t)|^3} \quad (13)$$

$$r = \frac{1}{K_r} \quad (14)$$

3 新 LOM 的分层切片算法

应用上述分层切片参数的计算方法,通过对正确的 STL 数据模型的分层,从而求得某高度 Z 处的实体截面的轮廓线,为转换成 NC 加工代码提供数据支持。设 Z 轴轴向为堆积成形方向,零件在 Z 轴上的坐标最大值与最小值分别是 Z_{\max}, Z_{\min} 。新 LOM 切片算法描述过程如下:

- 1) 求出整个 STL 模型的 Z_{\min}, Z_{\max} ;
- 2) 当分层平面 $Z = Z_0$ 且 $Z_0 \in [Z_{\min}, Z_{\max}]$ 时,从面对象表中搜索出能与分层平面相交的三角形面片,按预定规则,过滤掉一部分三角形面片,得到集合 Ω_1 ;
- 3) 设置预切片参数:分层厚度 h ;
- 4) 在集合 Ω_1 中找到一个三角形面片,判别该三角形与分层平面有无交点,若有,则该三角形面为当前面,该面中与分层平面有交点的一条边为当前边;若无,则转7);
- 5) 求出分层平面与当前边的交点,存储此交点;
- 6) 找出当前面中与分层平面有交点的另一条边,若无,则封闭这条折线并转4);若有,则以这条边为当前边,当前边指向的另一个面为当前面,并转5);

7) 此时 Z 截面已是一个或多个封闭轮廓线。获取层面信息 CLI 数据。

8) 求出每层封闭轮廓线任意位置处的曲面特征参数 A, B, α, K ,和 r ;

9) 根据优化准则获取优化分层厚度 t ,转2)开始分层,直到8)结束。

4 结 论

基于造型曲面 CAD 模型的 STL 文件求解分层切片轮廓线及其造型曲面特征参数,再根据变分层厚度分层的优化准则,确定分层厚度,实现了新 LOM 方法对造型实体 CAD 模型的分层处理,为金属零件的快速制造开辟了新的途径。

参考文献:

- [1] KRUTH J P, LEU M C, NAKAGAWA T. Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping[J]. Annals of the CIRP, 1997, 47(2): 525-540.
- [2] 中川威雄,安齐正博.金属制品のラピッドプロトタイプング[J]. Optronics, 1996, 16(4): 114-118.
- [3] NAKAGAWA T, ANZAI M. Rapid Prototyping for Direct Manufacturing of Metallic Parts[J]. Optronics, 1998, 18(4): 671-680.
- [4] OBIKAWA T. Rapid Manufacturing System by Sheet Steel Lamination [A]. Proceedings of 14th International Conference on Computer Aided Production Engineering[C]. Tokyo, Sep. 1998. 265-270.
- [5] 带川利之.薄鋼板を用いたRapid Manufacturing 法の開発(第2報)[A]. 日本機械學會第76期通常總會講演會講演論文集[C]. 仙臺:1998. 295-296.
- [6] 山崎久男.積層金型の大物自動車部品への適用[J]. 型技術, 2000, 15(7): 36-45.
- [7] CHILGS T H C, JUSTER N P. Linear and Geometric Accuracy from Layer Manufacturing[J]. Annals of the CIRP, 1994, 43(1): 163-166.
- [8] 易树平,张根保.提高分层制造精度方法的研究[A]. 全国快速成形与模具快速制造会议[C]. 西安, 1998. 4
- [9] YI SHUPING. Accuracy Study on Laminated Object Manufacturing for the Metallic Functional Parts with Complex Surface [A]. Proceedings of 10th SFF Symposium, Austin of Texas [C]. USA: 1999. 711-718.
- [10] 易树平.复杂形面最终用途零件分层实体快速制造的精度分析[J]. 重庆大学学报, 2000, 23(1): 12-16.
- [11] YI SHUPING. Study on Key Technology of Laminated Object Manufacturing for the Metallic Functional Parts with Complex Surface [A]. Proceedings of AMSMA' 2000 International Conference, Guangzhou [C]. P. R. China: 2000. 603-606.
- [12] 胡德洲.快速成型中 STL 和 STEP 模型的分层处理技术研究[D]. 西安:西安交通大学, 1999.

- [13] 刘斌. 快速原型制造中若干软件关键问题的研究[D]. 武汉: 华中理工大学, 1997.
- [14] 刘爱林. 快速原型制造中实体信息描述与容错切片[J]. 中国机械工程, 2000, 11(4): 427-429.

Slicing Algorithm Based on the New Laminated Object Manufacturing Process

YI Shu-ping, LIN Li-hong, FAN Bing, ZHOU Liu-gang, AI Hua
(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To solve some key problems existing in the manufacturing of metallic functional part via Laminated Object Manufacturing (LOM), the new LOM process is presented. The requirements of the slicing data adapting new LOM process have been put forward, the corresponding calculating expressions have been deduced and the slicing processes of CAD model have been implemented.

Key words: laminated object manufacturing; metallic modeling materials; functional part; slicing

(责任编辑 成孝义)

(上接第 3 页)

Connect Technique of Laminated Object Manufacturing Using Metallic Materials as Modeling Materials

YI Shu-ping¹, HA Jin¹, LIN Li-hong¹, ZHANG Jin²

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Department of Materials Engineering, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: To solve some key problems existed in the manufacturing of metallic functional part via Laminated Object Manufacturing (LOM), a new technique using vacuum solid-state pressure diffusion weld technique to connect the metallic slice sheets is presented in this paper. The following conclusions can be draw from the experiments introduced specially: the size in the stack direction shrink at the rate of less than 1% and the shrinking is owed to regularly error, the atom-diffusion between two combined interface occurred clearly and new crystallites shaped meanwhile, shearing intension of well connected diffusion section is more than 100 MPa and micro hardness of well-knit portion is the same to matrix's. It can be proved from the result above that the vacuum solid-state pressure diffusion technique weld is a perfect technique for connecting metallic slice sheets used in the manufacturing of metallic functional part via LOM.

Key words: laminated object manufacturing; metallic modeling materials; vacuum solid-state pressure diffusion weld technique

(责任编辑 成孝义)