

基于刀触点路径截面线法的不规则曲面锯切加工算法研究

吴玉厚^{1,2}, 赵德宏^{*1,2}, 闫广宇²

(1. 大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116024;

2. 沈阳建筑大学 机械工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘要: 为获得更高的不规则曲面加工效率, 研究了一种基于刀触点路径截面线法的锯切加工算法. 该算法在点云数据的基础上, 通过截面产生截交线; 通过调整锯片直径、步长满足截面线最小曲率要求, 拟合产生刀触点路径, 计算刀位点路径. 仿真实验表明, 加工效率可提高4倍左右; 而在实际加工实验中加工效率提高了5倍. 3D-Z轴定向模型分析表明, 实际加工模型最大偏差4.005 mm, 平均偏差0.929 mm, 模型中不存在过切区域, 满足工业生产要求, 但存在一定量的欠切区域. 研究结果为后续研究奠定了良好基础.

关键词: 锯切加工; 不规则曲面; 点云数据; 截面线法; 刀触点路径; 最小曲率; 锯片直径

中图分类号: TH164

文献标识码: A

doi:10.7511/dllgxb201704004

0 引言

在工业生产中, 对于花岗石、玉石等超硬材料异型工艺品的加工, 由于工艺造型复杂、材料去除量大、材料硬度高、刀具磨损严重等问题, 一直以手工加工为主, 制约了工业自动化的实现^[1]. 圆锯片锯切加工, 由于能够在较低的转速下获得较高的切削线速度, 被广泛应用于型材、钢板、木工、石材等材料的切断工艺, 具有机械结构简单、加工效率高的特点. 但由于圆锯片通常只有前切削刃, 以径向切除为主. 近年来, Yamada 等研究应用一种碗状圆盘锯对碳纤维增强塑料进行曲线加工^[2]; 山东大学张进生教授所带领的团队研究使用圆锯片进行异型石材线条的加工^[3]; 华侨大学徐西鹏等开发了石材线条自动加工软件系统^[4].

但已往研究主要是针对单一曲线和样条线的加工, 对于更加复杂的不规则曲面, 则需要多轴联动才能够实现, 需要有更好的工艺算法^[5-6], 但目前尚无相关研究报道. 为了提高石材加工效率, 本文研究应用圆锯片进行复杂不规则曲面的锯切加

工算法, 在 STL 点云数据的基础上, 通过使用刀触点路径截面线法, 进行刀具路径规划, 计算刀位点, 生成机床 G 代码, 从而为石材等难加工材料提供一种高效的粗切加工工艺.

1 截面线法的基本原理

刀触点路径截面线法, 通过将刀具与被加工曲面的刀触点一直保证在另外一组曲面中, 用一组约束曲面与被加工曲面的截交线作为刀具接触点路径来生成刀具轨迹^[7]. 约束面一般是平面和柱面(包括圆柱面或曲线沿 Z 轴方向延伸出来的柱面)^[8], 如图 1 所示. 在曲面加工中, 约束面一般

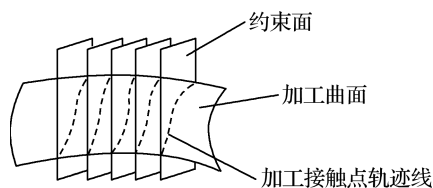


图1 截面线法

Fig. 1 Intersection line method

收稿日期: 2016-11-24; 修回日期: 2017-05-22.

基金项目: 教育部创新团队发展计划资助项目(IRT15R45); 辽宁省自然科学基金资助项目(2014020069); 沈阳市科技计划项目(F16234708).

作者简介: 吴玉厚(1955-), 男, 教授, 博士生导师, E-mail: wuyh@sjzu.edu.cn; 赵德宏*(1980-), 男, 副教授, E-mail: jtjxzd@sjzu.edu.cn.

均垂直于 XOY 坐标平面,但在用平面作为约束面时,约束面也可垂直于 Z 坐标轴,这种方法称为等高线法。

设任意约束面的方程为 $\mathbf{r}_{st} = \mathbf{r}_{st}(\mathbf{u}_{st}, \mathbf{v}_{st})$, 则刀触点路径截面线法生成的刀具轨迹可表达为

$$\mathbf{r}_m(t) = \mathbf{r}_m(\mathbf{u}(t), \mathbf{v}(t)) \big|_{\mathbf{r}_{st} = \mathbf{r}_{st}(\mathbf{u}_{st}, \mathbf{v}_{st})} \quad (1)$$

式中: $\mathbf{r}_m$ 为刀位点 m 的位矢, $\mathbf{r}_{st}$ 为刀具位矢; $\mathbf{u}_{st}$ 、 $\mathbf{v}_{st}$ 分别为刀位点沿 u 线和 v 线位矢分量; $\mathbf{u}(t)$ 、 $\mathbf{v}(t)$ 为沿 u 线和 v 线加工位置参数。

刀触点路径截面线法对走刀路线的控制比较灵活,所生成的刀具轨迹分布均匀,从而具有较高的加工效率,适合于参数线分布不均匀的曲面加

工、型腔加工及复杂组合曲面的加工^[9-10]。

通常使用刀触点路径截面线法生成刀具路径,首先需要拟合加工曲面,然后生成与工件曲面对应的刀具偏置面,通过偏置面和约束面求截交线,获得刀具路径。由于工艺制品的曲面过于复杂,使用该方法计算量过大,所以并不适用。

本文研究通过 STL 点云数据,使用逐点迭代算法,直接在约束面上计算刀具和工件表面相切的一系列刀位点,然后连接生成刀位点轨迹,不需要先生成工件曲面对应的刀具偏置面^[11],从而简化计算过程,其工艺算法流程图如图 2 所示。

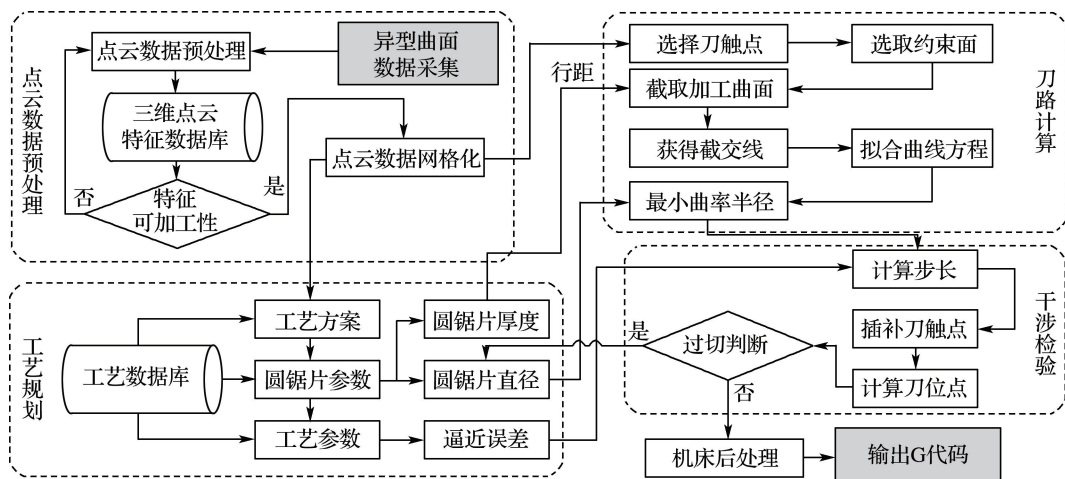


图 2 基于截面线法的不规则曲面锯切算法流程图

Fig. 2 Flow chart of irregular curve surface sawing algorithm based on intersection line method

(1)点云数据预处理. 对点云数据进行去噪、差值补面等预处理,提取典型特征,去除深孔等通过锯切加工无法获得的表面特征,最后对点云数据进行网格化处理。

(2)工艺规划. 根据不规则曲面点云数据,在工艺数据库确定工艺方案、初定圆锯片参数(圆锯片厚度、直径)、确定工艺参数(行距、切削用量、进给速度)和逼近误差。

(3)刀路计算. 计算刀触点,确定约束面;根据约束面、工件曲面和圆锯片厚度,截取加工曲面;使用逼近原则,获取截交线,并进行曲线拟合,获得最小曲率半径;结合逼近误差,计算步长,插补实际刀触点,计算刀位点。

(4)干涉检验. 进行干涉检验与过切判断,匹配最小曲率半径和圆锯片直径,修正拟合曲面。

最后由获得的刀位点曲线,经机床专用后处理器处理后,生成机床 G 代码,进行实际加工。

2 锯切工艺参数分析

2.1 圆锯片结构参数

锯切石材的过程可以分为磨削和动载冲击铣削两种状态. 如图 3 所示,每个锯齿与工件一开始接触的部分是铣削作用,而锯齿的圆弧表面(L_p)对工件就是磨削作用. 如图 4 所示,锯切过程可用 $\epsilon = \Delta + \delta$ 表示,其中 ϵ 表示每个锯齿的进给量, Δ 表示锯齿铣削作用获得的进给量, δ 表示锯齿磨

削作用获得的进给量^[12].

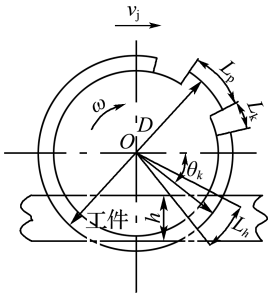


图 3 锯切过程参数

Fig. 3 The sawing process parameters

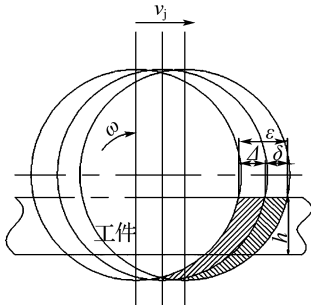


图 4 圆锯片锯切进给量

Fig. 4 Circular blade sawing feed

设 L_h 为工件加工厚度 h 内相应的锯片(半径 $R=D/2$)圆弧长度, θ_k 为锯齿的外圆弧与工件厚度平分面交点的相位角,则有

$$L_h = R[\arcsin(\sin \theta_k + h/2R) - \arcsin(\sin \theta_k - h/2R)] \quad (2)$$

式中: L_h 为锯片圆弧长度, mm; h 为工件厚度, mm; R 为锯片半径, mm.

当圆锯片以转速 ω 和进给速度 v_f 进行锯切时,各个特征的进给量可以近似表示为

$$\Delta = (v_f/R\omega)L_k \quad (3)$$

式中: Δ 为铣削进给量, mm/min; v_f 为进给速度, mm/min; L_k 为槽宽, mm.

$$\delta = (v_f/R\omega)L_p \quad (4)$$

式中: δ 为磨削进给量, mm/min; v_f 为进给速度, mm/min; L_p 为齿宽, mm.

已有研究表明,当 $L_h = K(L_k + L_p)$ 时, K 为正整数,此时锯片振动最小,稳定性最佳.

在 θ_k 一定的情况下,增大锯片的直径 D ,可以增大 L_h ,提高切削效率;但锯片直径过大,则容易发生干涉和过切,因此锯片直径 D 的选择还需

要考虑曲面、曲线的最小曲率半径和加工精度要求.

2.2 锯片的转速 ω 和进给速度 v_f

由式(3)、(4)可见,在锯切加工时,虽然进给速度 v_f 增大同时铣削量 Δ 也增大了,但同时磨削用量 δ 也增大,这必然会增加磨块的负荷以及恶化加工条件.所以增大 v_f 的时候应当适当地增大 ω ,这样可以提高磨块的线速度,使得单位时间内参加磨削的磨粒数变大.然而在 ω 增大而驱动功率一定的情况下,圆锯片承受的最大锯切力变小了,这样的话经常发生“卡死”情况.此外锯切工件的强度有限制,磨料的抗冲击强度一般都比抗静压强度小得多,如果线速度过大,还会加剧锯片的振动,可能会引起锯片的偏摆,会影响加工质量和刀具寿命.所以,保证 v_f 增大的同时,也要考虑锯床电机功率和磨具结合剂强度的限制;在保证 v_f 一定的情况下,应选择刚好达到锯切平衡性条件的 ω .

3 刀具路径规划

3.1 刀触点计算

为了描述方便,本文取 Y 方向为进给方向、 Z 方向为下刀方向、 X 方向为刀路方向建立坐标系^[11].由于锯切的特殊工艺,在加工中圆锯片只能在 XZ 平面进行锯切运动,然后根据行距对锯片进行抬刀偏移 Y 方向继续进行锯切运动,所以平面特征的锯切运动可以简化为二维曲线的锯切运动.

本文选取半径为 R 、厚度为 m 的圆锯片作为刀具进行实验,使用一组平行的约束曲面(一般使用 XOZ 平面作为约束平面)将被加工的曲面按照行距划分的二维曲线作为刀触点的轨迹.按照刀触点截面线法得到三维曲面和截平面的交线,通过二维曲线拟合的方法拟合曲线,即可得到每条刀路的曲线方程.

截取出来的二维曲线就是该刀路的走刀路径.按照截取的二维曲线求取刀具轨迹的步骤如下:

(1)建立坐标系,根据上述方法使用 XOZ 平面截取二维曲线,设曲线方程为 $f(t) = (x(t),$

$z(t)$),按式(5)求解曲率.

$$K = \frac{|f''(t)|}{(1+[f'(t)]^2)^{3/2}} \quad (5)$$

按照步长计算方法计算得到此刀路的最大步长 L_i .

(2)按照最大步长 L_i 对曲线进行离散,设离散点集为 $P_i = \{P^1, P^2, \dots, P^n\}$. 使用离散点集 P_i 进行插补得到这条刀具轨迹.

(3)按照双向加工模式的规划,选取下一行的刀具曲线,直到加工到边界为止.

3.2 步长和行距计算

(1)步长的确定

同一条刀具轨迹上相邻两点刀位之间的距离称为走刀步长. 本文使用弦线法计算走刀步长:使用直线去逼近加工表面所分割的曲线. 所以插补误差主要来源于弓高误差,通过逼近求出满足插补误差下的最大步长. 按照石材加工精度指标弓高误差定量计算最大步长 L_i .

设步长的逼近误差为 e ,此处刀位的法曲率半径为 R_i ,走刀步长为 L_i . 按照拟合生成的曲线方程求取曲线最大的曲率 κ ,得到最小的曲率半径

$$R_i = \min(1/\kappa) \quad (6)$$

则可求得刀位的最大步长

$$L_i = \sqrt{8R_i e - e^2} \quad (7)$$

式中: e 为允许的加工误差,mm; R_i 为曲线的最小曲率半径,mm.

(2)行距的确定

由于锯切加工的特性,行距就是相邻两条刀具轨迹之间的距离,一般情况下,行距与残留高度、刀具有效切削半径、曲面的局部曲率半径、曲面的局部形态(凸曲面、凹曲面、平面)密切相关. 由于锯切加工工艺特性,在行距曲面交接处,需要抬刀偏移并没有加工,不存在曲率变化引发过切的情况^[8].

设行间距为 d ,相邻刀路的残留高度为 h ,圆锯片的有效切削半径为 r ,得到行间距 d 的方程为

$$d = \sqrt{8rh} \quad (8)$$

3.3 刀位点计算

本文采用圆锯片的圆心作为刀位点,根据刀触点来计算出对应的刀位点,由刀位点按一定顺序连接而成的轨迹为刀具路径,刀具运动轨迹就是对于平面自由曲线轮廓的加工. 设被加工的曲面的参数方程为 $f(u)$,加工采用的圆锯片半径为 R . 刀位点示意图如图 5 所示.

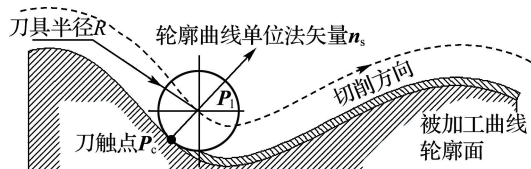


图5 刀位点示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the cutter location

已知曲面上任一刀触点 $P_c = f(u)$,加工采用的圆锯片半径为 R . 根据曲线方程可以求得点 P_c 处的单位法矢量为

$$n_s = ((r' \times r'') \times r') / \| (r' \times r'') \times r' \| \quad (9)$$

式中: r' 、 r'' 分别为 X 轴和 Y 轴的方向矢量. 则刀位点 P_1 可以表示为

$$P_1 = P_c + \text{sgn}(\det(r', r'')) \times R \times n_s = P_c + \text{sgn}(\det(r', r'')) \times R \times \frac{(r' \times r'') \times r'}{\| (r' \times r'') \times r' \|} \quad (10)$$

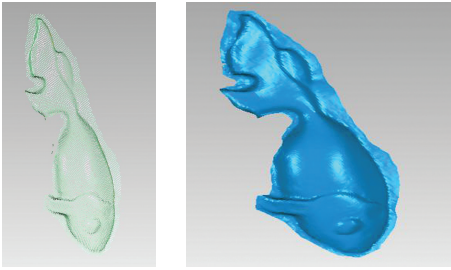
其中在锯切中单位法矢量 n_s 是 Z 轴方向的固定向量. $\text{sgn}(\det(r', r''))$ 根据刀具左右偏置的情况来确定,当刀具进行锯切时, $\text{sgn}(\det(r', r''))$ 为 1.

4 仿真与实验研究

4.1 数值分析与计算

本文以典型浮雕制品“荷塘月色”为例,通过灰度图由 ArtCAM 软件转换为浮雕,设置浮雕高度 8 mm. 经三角网格化,设置网格化公差 0.05 mm,输出成 STL 格式文件,导入 Geomagic Studio 修补,获得点云数据. 为表述方便,如图 6 所示,取其中一条鱼的模型为例. 在 UG 中对点云数据进行适当分割后,导入 MATLAB 进行加工路径的模拟.

为保证曲面的光滑程度,对曲面进行插值法处理,得到适合于锯切加工的曲面. 如图 7 所示.



(a) 点云数据图 (b) 面片数据图

图 6 鱼的数据模型图

Fig. 6 Model diagram of fish

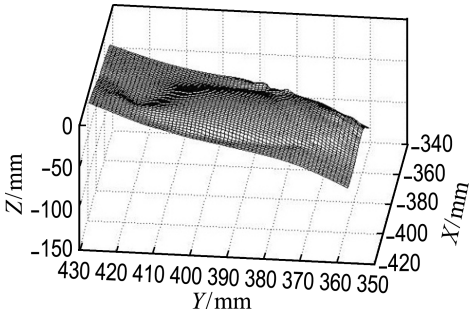


图 7 鱼的曲面

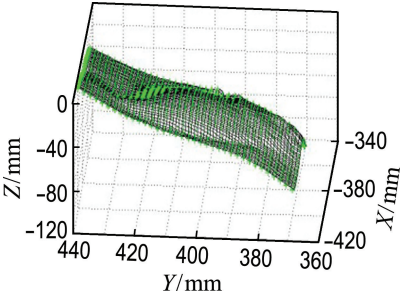
Fig. 7 Curve surface of fish

按照上文的情况分析,这里对鱼的曲面按照行距为 2 mm 对曲面进行分割,分割所得如图 8 所示,从鱼头部起,共得出 42 条分割线,绿色的线段即曲面所分割的刀路.通过曲线拟合可以得到这条刀路上的加工曲线方程.

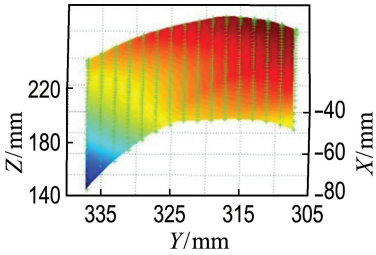
使用截面线法得到的不是完整的刀具路径,机床并不能识别这种数据,需要对这些点数据进行拟合.这里选择图 8 中第 1 条截交线为例对截交线进行 8 阶曲线方程拟合,拟合后的图像如图 9 所示.

同法对所有截交线进行拟合,得到的曲率分布如图 10 所示,可以看出曲线的曲率基本上在 0.035 以下,所得到的加工刀路最大曲率 κ 为 0.035,最小曲率半径 $R_{\min}$ 为 22.147 1 mm.因此选取半径为 25 mm、厚度为 4 mm 的圆锯片,恒定切削深度 8 mm,进行锯切加工.

由于锯切主要用于粗切加工,并不要求过高的加工精度,分别按照逼近误差为 0.10 mm、0.05 mm 进行插补,获得刀触点曲线如图 11 所示,计算获得最大步长 $L_{1,0.10} = 2.271\ 4\ \text{mm}$, $L_{1,0.05} = 1.606\ 9\ \text{mm}$.



(a) 行距为 2 mm 的分割曲面



(b) 行距为 2 mm 的刀路分割图

图 8 鱼的曲面分割图

Fig. 8 Image of fish surface segmentation

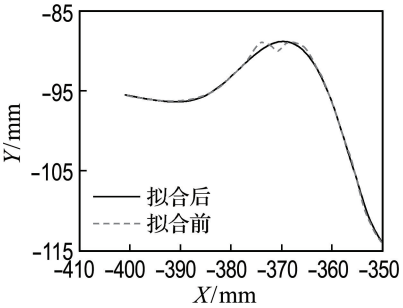


图 9 第 1 条截交线拟合曲线图

Fig. 9 Simulated curve image of the first intersection line

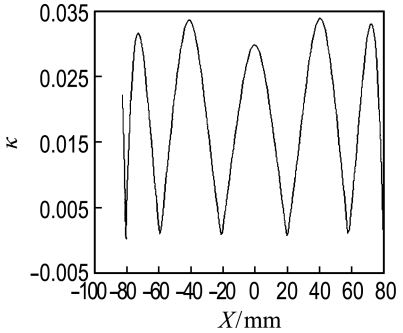


图 10 调整后鱼的曲率分布图

Fig. 10 Distribution image of the adjusted curvature of the fish

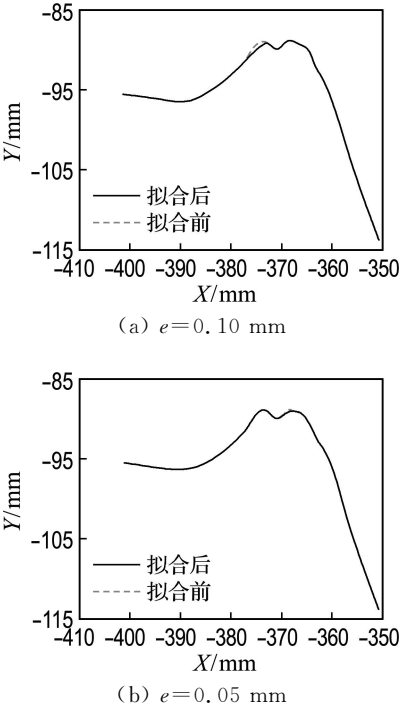


图 11 刀触点曲线图

Fig. 11 Cutter contact curve image

该模型属于典型的浮雕制品,选择双向走刀加工策略,依次对每条分割曲线进行插补计算,获得刀触点路径,偏置后即可获得刀位点路径。

4.2 锯、铣加工工艺对比分析

为切实了解锯切加工对提高不规则曲面制品加工效率的意义,这里选择加工效率较高的铣削加工作为对比对象。以同样的鱼模型为例,在 ArtCAM 软件中,采用相同的往返走刀策略,球头铣刀直径取与锯片宽度相同 2 mm,刀间距分别取 2 mm 和 4 mm,最大切削深度 2 mm,逼近误差 0.1 mm,残留高度 0.05 mm,进行刀路计算,与相同加工策略下的锯切工艺算法获得的刀路长度进行对比。同时将曲率半径变化相对较小,介于第 6 条至第 16 条截交线之间的鱼腹部分,和曲率半径变化相对较大,介于第 18 条至第 28 条截交线之间的鱼尾部分,作分析对比,获得数据如表 1 所示。

根据表 1 所得数据,从刀具路径长度上可以看出：

(1)对于该模型,锯切加工效率约为铣削加工效率的 5 倍。这主要是由于铣削受切削深度的影响,最大切削深度只能达到 2 mm,必须分层切

表 1 刀具路径长度对比

Tab. 1 Contrast of cutting tool path length

模型	铣削加工刀具 路径长度/mm	行距/mm	锯切加工刀具 路径长度/mm	缩短率/%
鱼	76 825.0	2	16 460.0	78.57
	39 190.0	4	7 925.0	79.78
鱼腹	3 992.5	2	836.0	79.06
	2 242.5	4	412.0	81.63
鱼尾	11 667.0	2	2 963.1	74.60
	5 283.5	4	1 384.6	73.79

削;而锯切加工可以直接加工到模型最大深度,所以效率显著提高。对于花岗石等超硬材料,锯切进给速度可以达到 2 000 mm/min,切削线速度可以达到 78.5 m/min。综合计算,锯切加工效率可以达到铣削加工效率的 10 倍左右。

(2)对于较平顺的鱼腹部分,曲率变化较小,锯切加工的优势更加明显。

(3)虽然增大行距,对于铣削、锯切都能够显著提高加工效率,但行距的改变并不能显著影响锯切相对铣削的加工效率增加量,而行距与叠刀率是对应的,需要根据模型和加工要求确定。

4.3 实验分析

按照本文所述刀触点路径截面线法,对典型浮雕制品“荷塘月色”进行工艺计算。加工材料选择天然汉白玉大理石,莫氏硬度 3;模型尺寸 1 m×2 m,浮雕深度 8 mm。

为提高制品加工精度,实际加工中分别沿 X 轴和 Y 轴定义行距为 0.1 mm 的截交面,获取截交线。经数据拟合计算,半径为 25 mm、厚度为 4 mm 的圆锯片,恒定切削深度 8 mm,进行锯切加工。

定义锯切加工切削深度 8 mm,切削线速度 78.5 m/min。在异型石材锯铣加工中心 (HTM50200)上进行加工,获得如图 12 所示“荷塘月色”浮雕制品,用时 4 h,相比传统铣削加工工艺用时 24 h,锯切加工效率提高 5 倍。

以相同方法加工的“八骏图”,经过扫描后获得的点云数据,与从 ArtCAM 软件生成的原始模型,经 Qualify 软件 3D-Z 轴定向比较后,获得如图 13 所示比较模型。检测结果显示最大偏差 4.005 mm,平均偏差 0.929 mm,基本达到了工艺

制品质量要求. 偏差区域主要为图形过渡区域的欠切余量, 未见过切加工现象.



图 12 “荷塘月色”实物加工模型
Fig. 12 Actual process model of *Pond of Lotus*

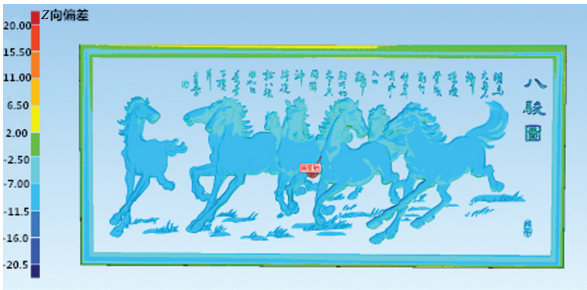


图 13 Z 向偏差分析
Fig. 13 Deviation analysis in Z-direction

5 结 语

实验加工表明,应用本文所述刀触点路径截面线法,在点云数据的基础上,通过截面面产生截面线,调整锯片直径、步长满足截面线最小曲率要求,拟合产生刀触点路径,进而计算刀位点路径,能够应用于异型制品的锯切加工.

应用本文所述锯切加工算法进行异型制品的粗切加工,能显著提高制品的加工效率,仿真实验表明加工效率提高了 4 倍左右. 对天然汉白玉浮雕制品加工实验表明,实际加工效率提高了 5 倍.

增大行距,虽然能够显著提高铣削、锯切加工效率,但行距的改变并不能显著影响锯切相对铣削的加工效率增加量.

应用该算法进行异型制品的锯切加工工艺计算,其锯切刀具往往需要定制,不符合现有工业生产技术的实际需求,尚需对锯片参数进行标准化.

参考文献:

[1] 吴玉厚,赵德宏. 异型石材数控加工装备与技

术[M]. 北京:科学出版社, 2011.
WU Yuhou, ZHAO Dehong. **NC Machining Equipment and Technology of Special Shaped Stone** [M]. Beijing: Science Press, 2011. (in Chinese)
[2] YAMADA Y, OSUMI N, TAKASUGI A, *et al.* Curved-line cutting using a flexible circular saw [J]. **Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing**, 2012, **6**(6):971-978.
[3] 郑春英,张进生,王 志,等. 金刚石圆锯片锯解花岗石切削力及参数优化的实验研究[J]. 工具技术, 2010, **44**(7):12-16.
ZHENG Chunying, ZHANG Jinsheng, WANG Zhi, *et al.* Experimental study on cutting force and parameter optimization of sawing granite with diamond circular saw [J]. **Tool Engineering**, 2010, **44**(7):12-16. (in Chinese)
[4] 黄国钦,谢明红,徐西鹏. 圆锯片数控加工异型石材线条的自动编程系统开发[J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2005(4):33-37.
HUANG Guoqin, XIE Minghong, XU Xipeng. Automatic programming system of stone lines NC machining with circular saw blade [J]. **Diamond and Abrasives Engineering**, 2005 (4): 33-37. (in Chinese)
[5] 肖顺根,宋萌萌,钟小倩. 数控切削性能的 Fuzzy-PID 控制算法的设计与仿真[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2011(12):73-77.
XIAO Shungen, SONG Mengmeng, ZHONG Xiaoqian. Design and simulation of fuzzy-PID control algorithm for NC machinability [J]. **Modular Machine Tools and Automatic Manufacturing Technique**, 2011 (12): 73-77. (in Chinese)
[6] YADAV P S, SHARMA P, YADAV D K P. Implementation of RSA algorithm using elliptic curve algorithm for security and performance enhancement [J]. **International Journal of Scientific & Technology Research**, 2012, **1**(4):102-105.
[7] LIN Zhiwei, FU Jianzhong, HE Yong, *et al.* A robust 2D point-sequence curve offset algorithm with multiple islands for contour-parallel tool path [J]. **Computer-Aided Design**, 2013, **45** (3): 657-670.

[8] BOLAÑOS G S, BEDI S, MANN S. A topological-free method for three-axis tool path planning for generalized radiused end milled cutting of a triangular mesh surface [J]. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2014, **70**(9/10/11/12):1813-1825.

[9] MIKAEIL R, HAGHSHENAS S S, HAGHSHENAS S S, *et al.* Performance prediction of circular saw machine using imperialist competitive algorithm and fuzzy clustering technique [J]. **Neural Computing and Applications**, 2016:1-10.

[10] LIN Zhiwei, FU Jianzhong, SHEN Hongyao, *et al.* A generic uniform scallop tool path generation method for five-axis machining of freeform surface [J]. **Computer-Aided Design**, 2014, **56**:120-132.

[11] KIM Y J, ELBER G, BARTO M, *et al.* Precise gouging-free tool orientations for 5-axis CNC machining [J]. **Computer-Aided Design**, 2015, **58**:220-229.

[12] PENG Fangyu, WANG Wei, YAN Rong, *et al.* Variable eccentric distance-based tool path generation for orthogonal turn-milling [J]. **Frontiers of Mechanical Engineering**, 2015, **10**(4):352-366.

Research on sawing process algorithm of irregular curve surface
based on cutter contact path intersection line method

WU Yuhou^{1,2}, ZHAO Dehong^{*1,2}, YAN Guangyu²

(1. School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. School of Mechanical Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: In order to achieve higher efficiency in irregular curve surface processing, a kind of sawing process algorithm is studied based on cutter contact path intersection line method. In this algorithm, based on the point cloud data, intersection line is generated from intersection surface; then the blade diameter and step length are adjusted to meet the requirement of the minimum intersection line curvature, cutter contact path is simulated, and cutter site path is calculated. Simulation experiments show that machining efficiency can be improved about 4 times, which is 5 times in the machining experiments actually. The analysis on 3D-Z axis orientation model shows that the maximum deviation of the actual process model is 4.005 mm, the average deviation is 0.929 mm and there is no over cutting area in the model which meet the requirements of industrial production, but there is a certain amount of owe cutting area. The study results lay a good foundation for further research.

Key words: sawing process; irregular curve surface; point cloud data; intersection line method; cutter contact path; minimum curvature; saw blade diameter