

Research on Optimization of Processing Technology for Aluminum Alloy Curved Surface Parts Based on Three-axis CNC Milling Machine

Yongli Wang Yulong Dai

School of Intelligent Manufacturing, Sichuan Vocational and Technical College of Mechanical and Electrical Engineering (Pangang Party School), Panzhihua, Sichuan, 617000, China

Abstract

This paper analyzes the characteristics, structural requirements and process routes of curved surface parts, discusses the technical features and process schemes of curved surface parts processing, optimizes the tool path and cutting parameters on CAM software, and conducts actual processing verification on a three-axis CNC milling machine to produce parts that meet the structural and precision requirements of the parts. With numerical control technology as the core support, combined with tool dynamics optimization, path planning and digital tools, efficient and high-precision processing can be achieved. In the future, it is necessary to further explore adaptive processing strategies and intelligent parameter adjustment technologies to meet the more complex requirements of curved surface manufacturing. Formulating and implementing reasonable processing techniques is an important means to enhance the efficiency and quality in the numerical control machining process. The data analysis and operation process analysis in the text are not comprehensive.

Keywords

Cutting method; parameter optimization; milling processing

基于三轴数控铣床的铝合金曲面零件加工工艺优化研究

王永力 代玉龙

四川机电职业技术学院(攀钢党校)智能制造学院, 中国·四川攀枝花 617000

摘要

针对曲面零件的特点、结构要求及工艺路线等进行分析,讨论曲面零件加工技术特点和工艺方案,在CAM软件上对走刀路线和切削参数进行优化,在三轴数控铣床上进行实际加工验证,制作出满足零件结构及精度要求的零件。数控技术为核心支撑,结合刀具动力学优化、路径规划与数字化工具,可实现高效高精度加工。未来需进一步探索自适应加工策略与智能参数调整技术,以应对更复杂的曲面制造需求。制定并实施合理的加工工艺是提升数控加工过程中效率与质量的重要手段。文中的数据分析和操作过程解析并非面面俱到。

关键词

切削方法; 参数优化; 铣削加工

1 引言

1.1 零件实例

由于圆滑的设计有很多的优点,工业上许多的零件设计都会包含曲面,而曲面加工相对难度要大一些^[1]。在机械加工领域,手工编程加工曲面效率低且易出错,因此使用CAM软件编程优化刀轨路径,模拟加工过程,预测加工过程中的问题并及时调整从而节省时间和成本。本文从装夹工艺、切削参数和加工路径规划等方面提出优化策略,通过加工工艺方案分析及判定,择优使用方案,完成零件的制作并达标。

【作者简介】王永力(1990-),男,中国四川绵阳人,高级技师,从事数控加工等课程的教学工作研究。

1.2 结构分析

图一所示为一个等比例缩小的类齿轮箱上盖的零件,壁厚比例适中,不属于薄壁件。外表面有四个用于与齿轮箱体相配合的螺钉孔,包含两个台阶孔,四个端盖配合孔,螺钉孔与内腔相较整体布局呈不对称状态。整体规整简单无异形结构,但相切曲面较多,可供选择的装夹位置较少。

1.3 精度要求

零件底面有平面度 $\leq 0.04\text{mm}$ 的要求,内腔表面粗糙度为 $\text{Ra}3.2\mu\text{m}$,其余表面粗糙度为 $\text{Ra}6.3\mu\text{m}$,未注尺寸公差按GB/T 1804-2000标准执行,精度要求合理。

1.4 设备选择

该零件为箱体类零件,可采用铣削和磨削方法完成零

(4) 钳工工序使用整形锉对所有的锐边进行倒棱, 并使用游标卡尺和千分尺检验尺寸公差和技术要求是否合格。

根据所使用的刀具、材料特性和机床性能, 优化后的工艺参数见表二。

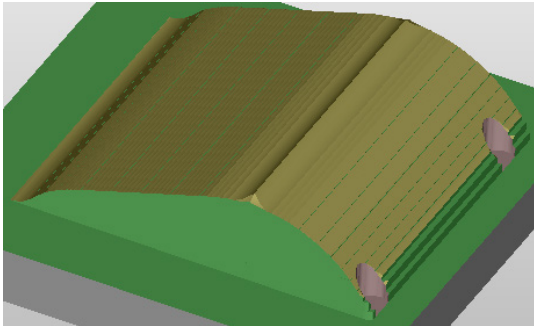
表二 工艺优化后的切削参数

刀具		D10	D6	D6R3	D2
转速 (r/min)		S6000	S6000	S6000	S6000
进给 (mm/min)		F3500/F1000	F2500	F1000	F450
步距 (mm)	XY	2	1	0.1	/
	Z	20	0.5	0.3	0.1
余量 (mm)	侧面	0.3	0.2	0	0
	底面	0.3	0.2	0	0

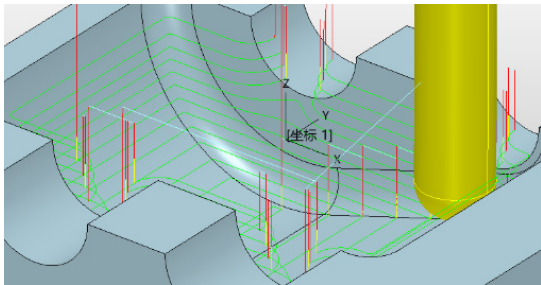
5 工艺比较

5.1 方案一

先铣出一平面作为基准来装夹定位, 以确保侧面与下底面的垂直度, 翻面装夹定位依靠垫片找平, 其平行度依赖于虎钳夹持顶面精度和垫片精度。如图五、六所示, 上曲面、内腔与其四个端盖配合半圆面与内腔曲面因使用优化前工艺的等高线切削方法, 导致表面残留高度较高, 无法满足图纸要求。使用等高线切削方法生成的刀轨在加工时, 球头铣刀处于贴合曲面逐层下刀的状态。多用到球头铣刀以提高刀具与曲面的拟合度, 这时在选择进刀方式时应避免垂直进刀。



图五 等高线仿真切削效果 (其一)

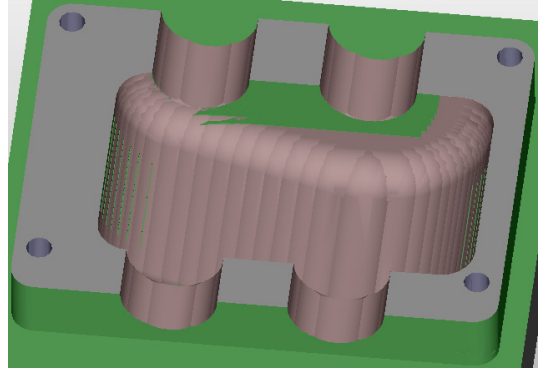


图六 等高线仿真切削效果 (其二)

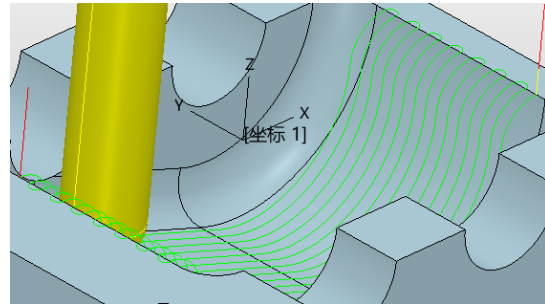
5.2 方案二

与方案一类似, 先加工出零件底平面使得翻面装夹时有了现成的精基准定位平面, 底面垫片支承与虎钳夹持限制

了零件的四个方向的自由度, 装夹可靠, 从而保证了上曲面与下底面的平行度。两次对刀找正即可完成零件加工。平行铣削方法生成的刀轨直接沿曲面曲率方向进行切削。如图七、八所示, 后者相比前者可以在使用相同刀具的前提下, 增大切削步距且依然能够保证表面质量与尺寸精度。最为重要的是切削参数在 CAM 辅助下, 最大限度发挥机床性能。



图七 等高线切削刀轨



图八 平行铣削刀轨

5.3 零件上曲面部分加工程序

```

N1 G40 G17 G94 G49 G90 G21 G54
N2 G91 G28 Z0.0
N3 G28 X0.0 Y0.0
N4 S6000
N5 M03
N6 G05.1 Q1
N7 M08
N8 S6000
N9 G05.1 Q1
N10 G90 G00 X15.191 Y-17.599
N11 Z20.0
N12 Z4.988
N13 G01 Z2.988 F500.0
N14 X15.187 Y-17.593 Z2.834 F1500.0
N15 X15.175 Y-17.588 Z2.681
N16 X15.156 Y-17.583 Z2.528
N17 X15.128 Y-17.578 Z2.376
N18 X15.093 Y-17.573 Z2.226
    
```

- N19 X15.05 Y-17.568 Z2.078
- N20 X14.999 Y-17.563 Z1.932
- N21 X14.941 Y-17.558 Z1.79
- N22 X14.876 Y-17.554 Z1.65
- N23 X14.803 Y-17.549 Z1.514
- N24 X14.724 Y-17.545 Z1.382
- N25 X14.638 Y-17.54 Z1.254
- N26 X14.546 Y-17.536 Z1.13
- N27 X14.447 Y-17.532 Z1.012
- N28 X14.342 Y-17.529 Z.899
- N29 X14.232 Y-17.525 Z.791

5.4 时间与质量

加工效率方面的差距见图九、十，可见使用合理的编程方法和工艺参数对降本增效有着重要作用。经比较，方案二工艺简单，加工效率相对高，可以满足精度要求，如图八所示，由于采用了更加合理的切削参数和平行铣削精加工方法，加工效率得到提升，表面光洁无残留余量，满足了图纸要求。因此采用方案二进行该零件的铣削加工。

工序		
>	VoluMill3x 1	✓
>	VoluMill3x 2	✓
>	二维偏移粗加工 2	✓
>	等高线切削 1	✓
>	斜面切削 2	✓
>	VoluMill3x 3	✓
>	VoluMill3x 4	✓
>	二维偏移粗加工 1	✓
>	等高线切削 2	✓
>	斜面切削 1	✓
🕒	总时间: 89.66m	

图九工艺优化前加工总时间

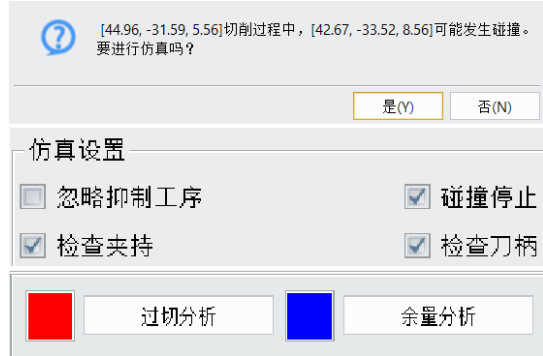
工序		
>	VoluMill3x 1	✓
>	VoluMill3x 2	✓
>	二维偏移粗加工 1	✓
>	平行铣削 1	✓
>	斜面切削 1	✓
>	VoluMill3x 3	✓
>	VoluMill3x 4	✓
>	二维偏移粗加工 2	✓
>	平行铣削 2	✓
>	斜面切削 2	✓
🕒	总时间: 26.47m	

图十工艺优化后加工总时间

6 过程优化要点

6.1 技术辅助

如图十所示，通过 CAM 软件进行虚拟仿真加工，优化切削参数和加工路径，可以减少空行程时间、切削过程中的残留高度，并能够更精确地控制刀具的运动轨迹，从而显著提高曲面零件的加工效率和精度^[4]。



图十 CAM 仿真加工优势

6.2 粗精基准的选择

选择零件底面作为粗基准，因为底面相对平整，且与其他主要加工表面有一定的位置关系。采用互为基准的方式将已加工表面作为精基准，如此减少定位误差。

6.3 整体工艺

在实际生产当中提倡采用工序集中方法，可以减少零件的装夹次数，有利于保证加工精度，提高生产效率。并通过优化切削参数，有目的性的分配粗、精加工节拍，以减少进给时间，降低加工成本。且选用何种材料、设备、刀具、夹具以及 CAM 软件来进行加工都是影响加工质量与效率的主要因素，需根据实际情况去系统的考虑^[5]。

7 结语

曲面加工的合格需要使用球头铣刀和使残留高度最小化的走刀路线。文中的数据分析和操作过程解析并非面面俱到。希望此文能为学习者、从业者带来启发。

参考文献

- [1] 彭发金.加工中心高速切削技术在复杂曲面加工中的应用探索[J].产业创新研究,2024,(18).
- [2] 李丹.基于五轴数控机床的复杂曲面加工研究[J].现代制造技术与装备,2024,60(10).
- [3] 华茂发.数控机床加工工艺[M].机械工业出版社,2000.
- [4] 李蓓华.铣工(数控铣工).三级[M].中国劳动社会保障出版社,2019.
- [5] 廖德建,王令其,顾雪艳.CAM中曲面加工方法的选择[J].机械设计与制造,2001,(05).