

铝合金缸盖管道曲面数控加工技术

胡伟锋，刘建光，朱小明，江丽珍，梁秋芬

广州城市理工学院 广东广州 510800

摘要：在五轴数控机床上加工单缸铝合金缸盖管道曲面时，切削量设置不合理会直接影响加工效率和表面质量，容易造成管道曲面精度、表面粗糙度不均匀的问题。根据产品结构及管道曲面的特点，通过计算刀具的切削量，结合PowerMill软件特有的管道加工策略，通过不同切削参数的对比，设置合理的加工参数，有利于保证加工时切削力的均匀，避免刀具因不合理的加工参数设置而产生跳动，导致切削力产生波动变化，影响加工效率及切削效果，从而获得更安全、更高效的数控加工程序，提高铝合金缸盖零件管道曲面的加工质量和效率。

关键词：缸盖；管道曲面；切削参数；PowerMill；铝合金

1 序言

单缸铝合金缸盖零件经过低压铸造成型后，一些表面粗糙度值较大，达不到使用要求，管道曲面内壁的表面粗糙度、光滑程度直接影响发动机进、排气流动的顺畅程度以及动力输出效果。因此对于缸盖零件的凹槽、管道曲面及管道孔的侧平面等表面精度要求较高的位置，还需通过数控机床进行加工，以保证其精度要求。单缸铝合金缸盖零件如图1所示，该零件的外形尺寸约为180mm×140mm×105mm，经过低压铸造成型的铝合金缸盖零件已包含了前期的制造成本，该零件定位精度要求高，进排气管道曲面加工难度较大，采用五轴联动数控加工中心机床可以保证单缸铝合金缸盖零件在一次装夹后，完成该零件不同位置多个工序的精密加工，减少缸盖零件因多次装夹定位加工而造成的误差。

五轴机床编程的切削参数设定和刀具的受力情况必须经过严谨可靠的分析和验证，以防因切削参数的不合理而导致切削失败。根据缸盖零件管道曲面的特点，结合PowerMill软件特有的管道加工策略制定合理的加工工艺，同时通过理论计算切削步距大小对刀具的影响情况，根据模拟结果合理地设置

加工参数，优化切削条件，从而保证切削力稳定，避免因切削力波动过大造成加工表面不均匀或干涉等现象的发生。

2 单缸铝合金缸盖加工工艺方案及分析

单缸铝合金缸盖是发动机的关键部件，其加工质量对发动机的整体性能有着重要影响。如果管道曲面不光滑，则难以最大化地保证进、排气的顺畅。因此在数控加工时需科学严谨地制定加工工艺方案，并设置合理的参数，确保加工质量，减少数控加工环节过程由不合理的加工参数设置导致的切削失败和废品，从而降低生产成本。缸盖零件数控加工工艺流程如图2所示。

2.1 产品结构、材料特点

单缸铝合金缸盖属于典型的箱体类零件，零件结构紧凑、复杂，缸盖管道曲面、定位孔等特征的表面精度要求较高^[1]。缸盖零件的材质为A356铝合金，强度和熔点较低，加工过程中容易因切削参数或加工工艺的不合理而导致切削过程中出现零件局部温度过热变形甚至报废的情况。因此需要结合零件的特征、加工位置及零件的精度要求等具体情况进行分析，制定工艺方案、设置合理的切削参数，

基金项目：①2022年度广东省本科高校在线开放课程研究课题，项目编号：2022ZXKC594。②2023年度广东省普通高校特色创新类项目(自然科学)，项目编号：2023KTSCX210。

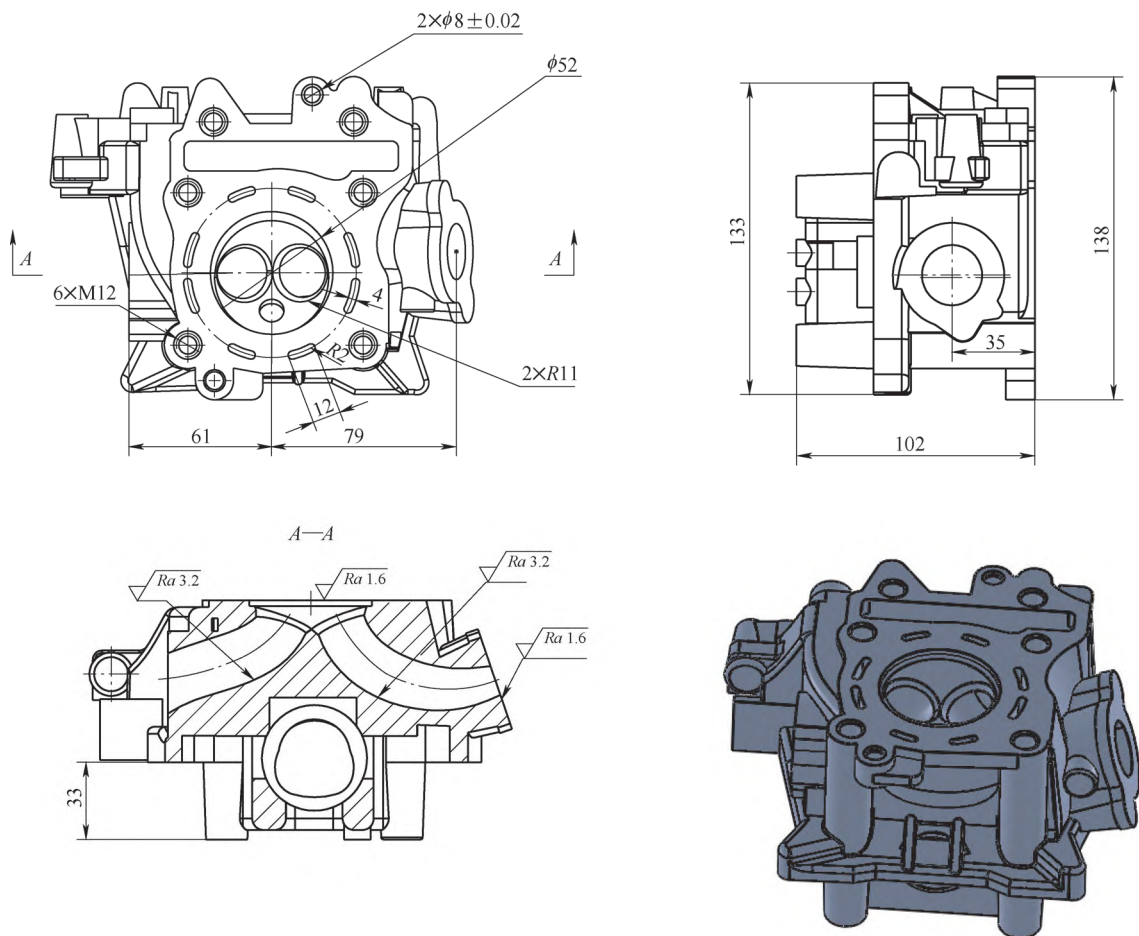


图1 单缸铝合金缸盖零件

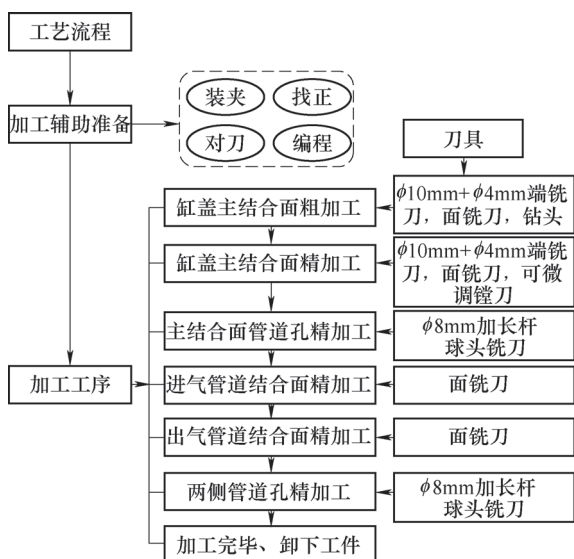


图2 单缸铝合金缸盖零件数控加工工艺流程

且不断进行优化,以确保能加工出符合精度及质量要求的缸盖零件。

2.2 零件的装夹及机床的选用

由于缸盖零件存在多个表面、定位孔和管道曲面部位需要加工,所以为了避免在不同的机床上重复装夹、校正和对刀而产生定位误差,采用摇篮式五轴数控加工中心对缸盖零件相应位置进行加工。选用旋转工作台直径为600mm、Z轴最大行程为500mm的中小型数控五轴机床,机床的5个轴分别为X轴、Y轴、Z轴和A轴、C轴。这样的机床结构可以在一次装夹中完成对缸盖零件不同部位的加工,确保加工精度。

铝合金的强度低于钢材,工件装夹时应注意设置适当的夹紧力。如果夹紧力过大,那么在加工完成后装夹装置松开的瞬间,工件可能会因夹紧力的释放而变形;但是若夹紧力不足,则工件在机床加工过程中容易发生松动或位移,影响加工效果。根据工件结构,采用专用的夹具(见图3)将工件安装到旋转工作台上^[2],工件通过底部3个圆柱表面紧靠

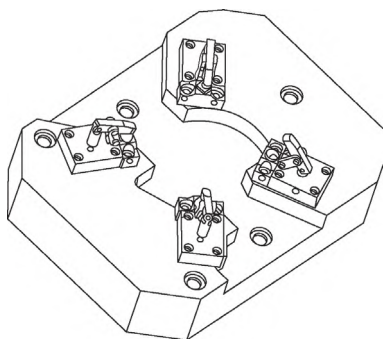


图3 专用夹具

夹具设定的3个面进行定位装夹，工件与夹具之间压紧贴合牢固，保证加工中的刚性。

3 管道曲面的特征分析及编程策略应用

缸盖的管道孔几何特征与PowerMill软件的管道加工策略相似，采用管道加工策略能快速生成高效、稳定的加工路径轨迹。为了避免刀杆在加工过程中与孔壁碰撞，影响加工过程，选用专用于铝合金材质的60°球头铣刀对管道孔的曲面进行加工^[3]，刀具中部设有避空位置，如图4所示。



图4 球头铣刀

对于缸盖管道曲面编程策略的选用，PowerMill软件有3种专用于管道加工的策略，其中管道区域清除策略适合较大余量管道孔铣削加工，管道插铣精加工和管道螺旋精加工适合较小余量管道孔加工，只需要根据策略设置相应的参数即可快速生成合理的加工轨迹，减少了编程时间。此外，PowerMill软件特别提供了很实用的刀具回退动作，确保了加工过程的安全。由于缸盖零件毛坯为低压铸造成型，管道孔的余量较少，所以采用管道螺旋精加工策略，分半精加工及精加工二次进行，以便产生稳定的加工轨迹，保证管道曲面的加工质量。

管道螺旋精加工策略的参数设置中，最重要

的参数设置便是球头铣刀的进给步距值大小，其影响着管道曲面的加工质量，即便是熟练的技术编程人员，对球头铣刀的进给步距值设定也会时常感到困惑，大多时候需要依赖自己的经验进行设置。实际上除了进给步距值之外，刀具的切削速度、振动幅度和切屑等因素都可能对缸盖管道曲面的表面粗糙度产生影响^[4]。在这些因素中，进给步距值的影响最大，这主要是球头铣刀的加工特点所致。球头铣刀会随着加工曲面位置的变化调整切削点，但无论设定的步距多小，在任何相邻的两条刀具路径之间均会产生残留，这些残留则是影响曲面表面粗糙度的主要因素^[5]。下面将从表面粗糙度形成分析入手，结合缸盖管道曲面的几何特征及PowerMill软件管道螺旋精加工策略参数设置要求，通过建立数学模型以及公式来计算加工时所需的进给步距值。

球头铣刀在管道曲面上的等距加工如图5所示。球头铣刀在加工铝合金缸盖进排气管道曲面时，若采用等步距的加工方式，相当于等角度步进加工，假设每次进刀的角度增量值为 α ，在相邻的两个加工位置之间会留下高度 EF ，导致刀具无法加工到位，从而形成加工残留面积。

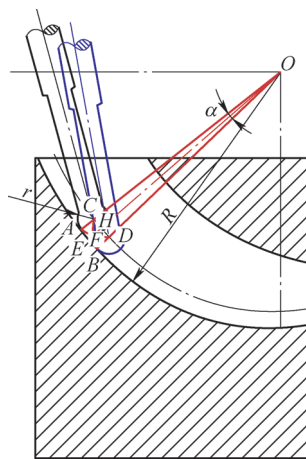


图5 球头铣刀在管道曲面上的等距加工示意

图5中的各几何关系尺寸的计算公式为

$$OH = (R - r) \cos(\alpha/2) \quad (1)$$

$$CH = (R - r) \sin(\alpha/2) \quad (2)$$

$$HF = [r^2 - (R - r)^2 \sin^2(\alpha/2)]^{1/2} \quad (3)$$

$$EF = OE - OH - HF \quad (4)$$

式中， α 为等角度加工的角度增量（°）； R 为管道曲面半径（mm）； r 为所选用拱形圆弧球头铣刀的半径（mm）。

根据上述公式可得残留高度 EF 计算公式为

$$EF = R - (R - r) \cos(\alpha/2) - [r^2 - (R - r)^2 \sin^2(\alpha/2)]^{1/2} \quad (5)$$

式(5)所计算的残留高度 EF 是表示表面粗糙度的理论高度值^[6],是在不考虑切削速度大小以及刀具加工时产生的振动、切屑和积屑瘤等因素对表面质量影响的前提下计算出的理论高度值。在运用公式计算时,可根据已知的缸盖管道曲面的表面粗糙度要求以及加工时的刀具直径大小等数据,求得合适的进给步距值。缸盖零件的管道曲面半径约为50mm,加工刀具的直径为8mm,管道曲面的表面粗糙度值 Ra 为 $3.2\mu\text{m}$,将数值代入式(5)可得

$$3.2 \times 10^{-3} = 50 - (50 - 4) \cos(\alpha/2) - [4^2 - (50 - 4)^2 \sin^2(\alpha/2)]^{1/2}$$

计算可得: $\sin(\alpha/2) \approx 3.34 \times 10^{-3}$ 。因为PowerMill软件管道加工策略采用等步距的方式计算,与式(5)的等角度计算存在差异,所以为了便于计算,将角度换算成圆心角为 α 的弦长,即步距 $h = 2R \sin(\alpha/2) \approx 0.334\text{mm}$ 。

根据上述计算出来的进给步距值,在编程时取值为 0.3mm ,虽然步距值设置越小,曲面的加工效果越好,但其加工时间会更长,具体数据见表1。在相同编程参数条件下,采用不同的步距值,PowerMill软件生成的路径轨迹所需的理论加工时间相差较大。

表1 不同步距值编程理论加工时间统计

步距值/mm	编程理论加工时间/min
0.10	116
0.15	80
0.20	60
0.30	40

通过对比,若步距设置 $<0.3\text{mm}$,则加工时间较长,加工效率较低;若步距设置 $>0.3\text{mm}$,则管道曲面的表面质量达不到要求。从零件的加工效率和效果考虑, 0.3mm 的步距值最为合适,将其代入PowerMill软件刀具路径参数设置中,主要的参数设置如图6所示,产生的路径轨迹预览如图7所示。将生成的刀具路径轨迹进行后置处理生成NC程序代码后,在机床上试切加工,加工质量满足设计要求。

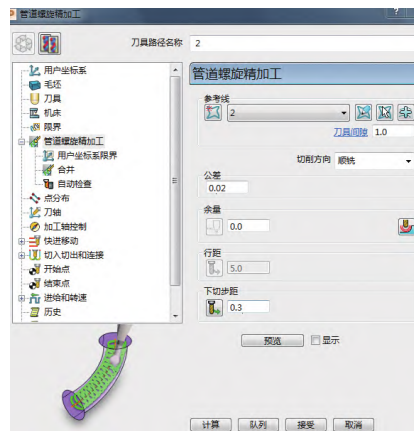


图6 缸盖管道曲面编程参数设置

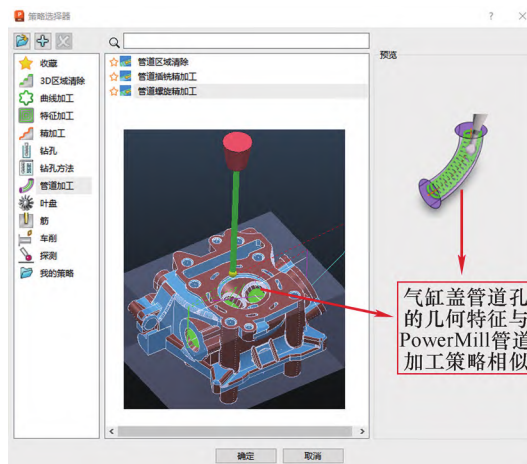


图7 刀具路径轨迹预览

4 结束语

通过对单缸铝合金缸盖进行编程优化及试切加工,得到以下结论。

1) 针对管道曲面五轴数控编程,运用PowerMill软件独特的管道加工策略,能快速、便捷地产生更高效、稳定的加工轨迹,提高加工效率,确保管道曲面的加工质量。

2) 采用球头铣刀加工复杂曲面表面时,建立加工表面粗糙度计算公式,通过科学的计算能提高参数设置的准确度,可较好地解决球头铣刀铣削曲面时进给步距参数值的设定问题,解决编程人员在进给步距参数设置方面的难题。

3) 随着多轴高精度机床的迅速发展,汽车发动机的加工方法越来越丰富,运用多轴高精度机床对其进行加工,有利于提高零件的加工精度,提高进、排气管道表面质量,有利于提高发动机的燃烧输出动力。

西门子840D数控系统在机测量技术在柔性生产线上的应用

张永岩, 方芳, 杨双, 李福春

航空工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 黑龙江哈尔滨 150066

摘要: 针对在机测量技术在柔性生产线上的应用, 结合技术研究应用实践, 对西门子840D数控系统在机测量技术应用相关编程及后处理技术进行探索, 总结出了一套安全有效的测量和安全运行控制方法, 为在机测量技术在数控机床和生产线上高效、安全的应用提供了有效的技术途径。

关键词: 西门子; 840D; 在机测量; 数控系统; 后处理

1 序言

随着柔性智能生产线在机械加工领域逐步得到普及应用, 基于在机测量系统的工件自动化找正技术成为生产线准确高效装夹工件、自动基准找正、加工特征尺寸及状态确认等的必备技术。而由于自动化生产线采用的数控设备控制系统有多种选择类型, 所以针对每种数控系统实现专门的找正测量及基准自动计算补偿功能成为生产线是否能够高效运行的技术关键和技术难点。本文结合我公司中小型结构框梁柔性生产线建设应用过程中的在机测量技术开发应用成果, 探讨了西门子840D数控系统在机测量技术在工件找正和测量过程中安全应用的实现方法^[1]。

2 西门子840D数控系统测量功能的实现

在西门子840D数控系统中, 有两种方式可以实

现测量功能: 一种是利用西门子控制系统提供的测量固定循环指令, 其优点是可以直接调用此类指令进行特定特征的测量, 如单点测量、孔径测量、孔心位置测量、圆柱体外径测量、圆柱截面中心位置测量和平面测量等, 缺点是依赖于系统功能, 对测量获得的数据处理灵活性差, 二次开发处理困难; 另一种是通过测头触发控制指令自行定义特征的测量控制过程, 其优点是可以不依赖于西门子数控系统中的测量循环指令, 通过使用系统基础的测量控制指令对测量的每个动作进行定制化定义, 灵活性强, 缺点是对每个测量动作的控制都要精细化设计定义, 并对测量数值进行数据分析和综合处理, 对各类算法的开发能力要求较高。本文针对机加结构件自动化生产线上配置的西门子840D五坐标卧式数控加工中心设备在机找正测量的需求, 采取第二种方式对测量过程实现的方法进行研究和开发应用。

参考文献:

- [1] 谢黎明, 张威, 靳岚. 6061铝合金高速铣削切削参数对表面粗糙度的影响分析[J]. 机械设计与制造工程, 2018, 47 (3): 56-60.
- [2] 程瑞, 吕海霆. 液压泵缸体专用分度转位夹具设计[J]. 制造业自动化, 2018, 40 (1): 108-109, 115.
- [3] 么居标, 曹著明, 孙红梅, 等. 复杂曲面五轴数控加工关键技术研究[J]. 机械设计与制造, 2017 (7): 128-130.

- [4] 陈娟娟, 巨孔亮. 面向表面质量的工艺参数稳定域优化研究[J]. 机械设计与制造工程, 2021, 50 (11): 41-45.
- [5] 晁冰, 牛兴华, 马天柱, 等. 球头刀铣削零件表面扇形残留研究[J]. 现代制造工程, 2020 (7): 46-52.
- [6] 胡运林. 球刀加工表面质量的控制研究[J]. 机床与液压, 2012, 40 (14): 37-38, 4.

MW 20240626