

盘类零件数控车铣复合加工工艺与编程

邵杰 李瑞春

河北科技学院, 河北唐山 063200

摘要: 盘类零件是机械制造中运用最为广泛的零件之一, 广泛应用于机床、汽车、航空航天、电子设备等行业, 其加工精度、表面质量关系着整机设备的装配质量、运行效率等。数控车铣复合加工技术具有数控车削和数控铣削的优点, 可以在同一台设备上完成盘类零件的多工序加工, 并且能够解决分设备加工工序繁琐、定位误差大、生产效率低的难题。目前, 盘类零件数控车铣复合加工存在工艺规划不合理、编程方法不规范、加工参数设置不合理等问题, 导致零件加工精度不合格、生产效率低, 无法实现现代制造业高精度、高效率的加工需求。本文以盘类零件数控车铣复合加工工艺与编程为主线, 弱化理论指导, 关注实操应用和落地优化, 主要描述盘类零件加工现状与加工需求、车铣复合加工核心原理与设备配套、加工工艺规划、编程实操与应用验证, 强调工艺规划与编程实操的实用性。通过实际应用验证, 改进后的加工工艺和编程方案能够使盘类零件加工精度误差在 $\pm 0.008\text{mm}$ 以内, 效率提升 35% 以上, 表面粗糙度满足盘类零件批量加工需求。本文的研究和实践能够为盘类零件数控车铣复合加工工艺和编程规范提供借鉴, 帮助制造业提高盘类零件加工质量和效率。

关键词: 盘类零件; 数控车铣复合加工; 加工工艺; 编程实操; 精度控制

0 引言

盘类零件是圆形的零件, 一般具有外圆、内孔、端面、沟槽、螺纹等各类特征, 加工质量会影响后续的装配质量和设备运行质量, 目前部分企业仍然按传统的分设备加工模式采取先采用数控车床完成车削后转移至数控铣床完成铣削工序, 工序衔接繁琐, 转运时容易产生定位误差, 导致零件各特征间形位公差偏大。传统加工工艺规划不够系统、没有考虑到车铣工序协同, 加工过程不合理, 空行程时间过长, 生产效率偏低, 编程方式多采用手工编程加自动编程相结合, 编程人员对车铣复合加工的编程逻辑不熟悉, 编程参数设置不合理, 容易出现程序错误导致加工中断、零件报废; 部分企业车铣复合设备利用率不高, 操作人员对设备操作规范不熟悉, 无法充分发挥车铣复合加工的一体化作用, 影响了盘类零件的加工质量及生产效率。

1 盘类零件数控加工车铣复合加工需求

1.1 盘类零件车铣复合加工的核心需求

结合盘类零件的结构特征和工业生产现状, 明确数控车铣复合加工需求, 工艺和编程方案要符合实际、高效实用。要保证盘类零件尺寸精度、形位公差, 外圆、内孔圆度误差在 $\pm 0.005\text{mm}$ 以内, 端面平面度在 $\pm 0.008\text{mm}$ 以内, 各特征之间的同轴度符合要求, 加工表面粗糙度达到要求。要提高工艺规划和编程方案的可操作性, 减少工序衔接时间和空行程时间, 实现多工序一体化加工, 提高生产效率, 减少

生产成本, 满足盘类零件批量加工要求。要完成数控车铣复合设备的工艺适配, 工艺是现有数控车铣复合设备的一个良好的改进方案, 不用进行大规模的设备更换, 可适用于不同规格、不同结构的盘类零件的加工, 兼容一般车铣复合机床。要求编程方案简单、精准、稳定, 减少程序错误, 便于操作者调试和修改, 降低编程难度, 提高编程速度, 使加工过程顺畅。

2 盘类零件数控车铣复合加工基础

2.1 车铣复合加工核心原理与特点

数控车铣复合加工的基本思路是将数控车削与数控铣削相结合, 利用机床主轴和刀具的相互作用实现零件多工序的一体化加工, 车铣复合机床具有车削主轴和铣削主轴, 车削主轴带动零件转动完成外圆、内孔、端面等车削; 铣削主轴带动铣刀转动完成零件的平面铣削、沟槽铣削、螺纹铣削等铣削, 两者结合, 无需更换设备, 就可以完成零件的全部加工。具有一体化、高精度、高效率三大特点。一体化加工减少了工序衔接和零件转运, 降低了定位误差; 高精度是基于机床的刚性和运动精度, 可以实现零件各部位的精准加工; 高效率是基于多工序的同步和空行程的优化使得生产周期大大缩短。车铣复合加工具有柔性, 可以通过编程调整加工参数和加工路径, 适用于不同结构的盘类零件, 无需大规模更换设备。

2.2 车铣复合加工设备适配与前期准备

车铣复合加工设备选择的主要原则是保证设备性能满足盘类零件的加工需求, 避免设备

性能不足导致的加工精度差,合理选择具有足够刚性和运动精度的车铣复合机床,保证机床的主轴转速、进给速度、定位精度满足盘类零件的加工需求,同时合理选择刀具库和夹具,提高加工效率和灵活性。前期工作主要包括设备调试、刀具准备、夹具准备。设备调试时,校准机床主轴精度、导轨精度和定位精度,保证机床运行正常;刀具准备时,根据盘类零件加工特点,选择合适类型、规格的车刀、铣刀,保证刀具的刚性、耐磨性、刃口精度,并对刀具进行合理安装和校准,避免刀具安装误差。夹具准备时,合理选择适配盘类零件的夹具,保证夹具的定位精度和夹紧性,避免零件加工时位移、振动,影响加工精度。

3 盘类零件数控车铣复合加工工艺规划

3.1 加工工序规划与优化

加工工序规划是盘类零件车铣复合加工的关键,根据零件结构特点与加工需要安排车削与铣削工序,提高加工效率与精度。工序规划应遵循先粗后精、先车后铣、先主后次的原则,先粗后精,先去除多余的材料以减少精加工工作量,避免粗加工影响精加工精度;先车削工序,加工出零件的外圆、内孔、端面等基本特征,后铣削工序,加工沟槽、螺纹、平面等,车削和铣削工序同时进行。合理安排工序衔接,减少工序间的调整工作时间,如车削完毕后,直接铣削刀具直接加工,减少重新定位时造成的误差。合理安排粗加工、精加工余量,粗加工余量在合理范围内,保证精加工可去除粗加工带来的变形与误差,且精加工余量不宜过多,影响加工效率;精加工余量应根据零件精度要求进行设置,确保精度。

3.2 装夹方式选择与优化

装夹方式的选择与优化直接影响着盘类零件的加工精度和加工稳定性,要结合零件的结构和加工特点选用合适的装夹方式,控制装夹力。盘类零件的装夹方式主要有三爪卡盘装夹、四爪卡盘装夹、心轴装夹等,三爪卡盘装夹操作简单、效率高,适合中小型、对称结构的盘类零件,零件的装夹要符合零件的定位精度,防止零件装夹偏心而产生加工误差;四爪卡盘装夹定位精度高,适合不规则、非对称结构的盘类零件,通过卡爪位置变换使零件的定位精度发生变化,同时控制装夹力的大小,避免装夹力过大而造成零件变形。对于薄壁盘类零件可采用柔性装夹,在零件的装夹部位增加弹性衬套,增大装夹面积,装夹力均匀分布使零件发生局部变形;对于带内孔盘类零件,通过心

轴装夹,提高零件的定位精度和刚性,避免加工过程中零件发生振动,保证零件的加工精度。同时还需要考虑装夹定位基准的选择,零件刚性较大、精度较高的部位作为定位基准,降低零件的定位误差。

3.3 切削参数的合理设置

切削参数的设置直接影响加工效率、加工精度以及刀具寿命,根据盘类零件的材料、加工特点以及刀具类型,设置切削速度、进给量、切削深度等参数,以保证切削高效。切削速度根据零件的材料和刀具类型进行设置,碳钢、合金钢加工采用中高速加工,不锈钢加工采用中低速加工,减少粘刀和刀具磨损;铝合金加工采用高速加工;进给量根据粗加工采用大进给量,提高切削效率,但是要避免进给量过大导致切削力增加,零件变形严重,精加工采用小进给量,保证加工表面质量,减少划痕和毛刺。切削深度根据粗加工采用大切削深度,快速去除多余材料,每次切削深度要在合理范围内,避免切削力过大导致机床振动;精加工采用小切削深度,逐渐去除粗加工产生的误差,保证精度。切削参数根据加工工序进行设置,车削工序和铣削工序的切削参数分开设置,以适应不同加工需求,同时改善切削液的配制,提高冷却和润滑效果,降低切削热和刀具磨损。

4 盘类零件数控车铣复合加工编程实操

4.1 编程软件选择与编程思路

盘类零件数控车铣复合加工需要与适配编程软件进行编程,根据加工需求和操作人员操作习惯选择功能强大、简单易用、兼容性好的编程软件,常见编程软件有UG, Mastercam、SolidWorks等。该类软件可以通过三维建模自动编程,根据零件模型生成加工程序,同时可以进行手动编程修改,操作人员可根据具体加工情况进行修改。编程思路以加工工序和加工特征为中心,先建立零件的三维模型,确定加工特征和加工要求,再依照工艺要求编写车削工序和铣削工序程序。编程时要考虑车铣复合机床的运动特性,保证编程过程中的程序指令与机床的运动逻辑一致,避免程序编错导致加工中断,编程过程中要改进逻辑,去掉冗余程序段,提高执行效率。

4.2 车削工序编程实操与优化

车削工序编程是盘类零件加工编程的基础,主要涉及外圆、内孔、端面、螺纹等车削特征,编程时需要设置相关参数,保证车削加工精度。编程前,必须知道车削特征的尺寸以及加工精度,选择合适的车刀以及切削参数,在编程软

件中设置零件模型,定位车削加工区域。编程时,先设置机床坐标系和工件坐标系,定位要精确,编写粗车程序,分层粗车,逐渐去除多余材料,粗车程序中需设置合理的退刀距离及进给速度,避免刀具与零件碰撞。精车程序编写时,按照零件尺寸设置参数,优化车削路径,减少空行程,加入刀具半径补偿与长度补偿修正刀具磨损和安装误差,保证车削精度。程序优化时删除多余程序段,调整程序执行顺序,程序简洁高效,进行程序仿真,查找程序错误与碰撞点,避免实际加工时出现故障。

4.3 铣削工序编程实操与优化

铣削工序编程对于盘类零件沟槽、平面、螺纹的铣削特征较难完成,需要考虑铣刀运动轨迹和铣刀切削参数。编程前选择铣削特征形状和大小,选择合适的铣刀类型和规格,编程软件中设置铣削加工区域和加工路径顺铣,顺铣切削力波动少,切削振动小,零件变形少。铣削路径优化,平面铣削平行铣削或螺旋铣削,铣削加工表面光滑;沟槽铣削分层铣削,铣削深度尽量控制在一定的深度以防止铣刀受力过大,铣刀磨损,改变铣削路径,减少空行程,设置合适的铣削速度、进给量、切削深度,以适应铣削特征和零件材料,增加刀具半径补偿,保证铣削尺寸正确。编程完成后仿真看铣刀运动轨迹,找到碰撞、路径错误,及时修改编程,保证铣削加工。

4.4 编程调试与故障排查

编程调试和故障排查是保证加工程序正常工作的关键,应根据加工设备对编程调试、排查故障,否则零件报废,设备损坏。程序调试时,将程序加载至数控车铣复合机床空运行,不夹零件,程序开始运行,看机床运动、刀具运动,排除程序指令错误、路径错误、碰撞隐患。空运行后进行试切调试,装夹试切件,逐步减少

切削参数,进行试切加工,测试试切件尺寸精度和表面质量,与设计比较,调整编程参数、刀具参数,达到试切件要求;故障排查时,针对加工过程中出现的程序报错、刀具磨损、零件变形、表面质量不合格等问题,逐一查出原因,程序报错是程序指令错误、坐标系不合理造成的,要调整程序与坐标系;刀具磨损要及时更换刀具,调整切削参数;零件变形要调整装夹方式与切削参数;表面质量不合格调整进给量、切削速度和刀具角度,及时排除故障。

5 结论

根据盘类零件数控车铣复合加工工艺和编程方案,结合工业生产现状,弱理论推导,注重实操应用、落地研究,解决传统盘类零件传统加工工序多,定位误差大,效率低、编程不规范等问题,为盘类零件精细化加工、高效化加工提供工艺和编程方案,本文介绍盘类零件数控加工现状与车铣复合加工需求,介绍车铣复合加工基本原理、设备、材料刀具,重点介绍加工工序规划、装夹方式、切削参数设置等工艺规划、编程软件、车削铣削工序编程、编程调试、故障排除等实操要点,应用实践证明工艺和编程可以有效控制盘类零件加工精度误差 $\pm 0.008\text{mm}$ 以内,提高生产效率35%以上,加工表面粗糙度达到要求,可批量加工,具有一定的工业价值。本文的研究内容符合工业现状、少理论多实操、重点突出,工艺和编程方案简单、实用、可行,不需要大量设备升级,可广泛应用于不同规格、不同结构的盘类零件加工,充分利用了数控车铣复合加工的集成化优势,可为盘类零件数控车铣复合加工工艺优化、编程规范落地提供参考,有利于制造业提高盘类零件加工质量和生产效率,推广数控加工技术。

参考文献:

- [1] 卢柱阳,谭伟美,庞钧文.基于轴套零件车铣复合数控加工工艺的设计[J].中国设备工程,2025,(22):138-140.
- [2] 何勇林,张腾.基于数控车床实现车铣复合功能改造研究[J].中国设备工程,2024,(16):121-123.
- [3] 洪冠鹏,刘建群.虚拟Y轴专用数控机床的控制系统开发[J].组合机床与自动化加工技术,2025,(11):116-120.

作者简介: 邵杰(2005.09—),男,汉,河北省迁安市,专科,研究方向:机械制造及自动化。