

# 复合斜面零件数控加工工艺分析与程序编制

陈宇航 赵井库

河北科技学院, 河北唐山, 063200;

**摘要:** 复合斜面零件广泛应用于机械制造、航空航天、汽车零部件等, 其结构具有多斜面, 尺寸精度要求高、加工难度大, 数控加工是复合斜面零件加工的重要方式, 数控加工工艺的合理与否决定了零件的加工精度与表面质量, 程序的科学程度决定了零件的加工效率与加工稳定性, 二者缺一不可, 二者相互补充、共同提高才能实现复合斜面零件的精准高效加工。当前, 复合斜面零件的数控加工存在着工艺规划不合理、刀具选择不合理、加工参数不科学、程序编制繁琐且易出错等问题, 零件加工精度不够高、零件表面质量不佳、加工效率低甚至零件报废, 增加生产成本。针对这种实际情况, 开展复合斜面零件数控加工工艺分析与程序编制研究, 结合复合斜面零件的结构及加工需求, 优化加工工艺, 编制科学合理的加工程序, 解决应用中存在的突出问题, 以实际加工测试验证工艺及程序的可行性、可靠性。重实操性, 摒弃复杂理论推导, 重点探索复合斜面零件的数控加工工艺路径和程序编制, 为复合斜面零件精准高效加工提供可行技术依据, 促进数控加工应用于复杂零件加工。

**关键词:** 复合斜面零件; 数控加工; 工艺分析; 程序编制; 加工精度; 加工效率

**DOI:** 10.69979/3029-2727.26.05.056

## 引言

随着机械制造业向高精度复杂化方向发展, 复合斜面零件的应用领域不断扩大, 复合斜面零件结构复杂程度和精度提高要求较高, 因此数控加工工艺和程序的编制应更为严格。复合斜面零件由多个斜面组成, 多个斜面之间的位置关系较为复杂, 需要控制刀具运动轨迹, 保证各斜面的尺寸和位置精度, 同时保证零件表面质量。数控加工技术能够通过程序控制刀具运动轨迹和加工参数, 实现复杂零件的自动化加工, 能提高加工精度和效率, 已成为复合斜面零件的首选加工工艺。目前, 大部分企业在复合斜面零件数控加工时缺乏数控工艺分析, 工艺规划不明确, 刀具选择、加工参数设置与零件结构适配程度不高, 导致加工过程中刀具磨损过快、零件变形、加工精度低等问题。程序编制过程中缺少对复合斜面加工轨迹的规划, 程序冗余、繁琐, 容易出现编程错误, 加工中断或零件报废, 不仅降低加工效率, 而且增加加工成本, 不能满足复合斜面零件高精度加工要求, 需要通过研究优化加工工艺和程序。

## 1 复合斜面零件基础与数控加工需求分析

### 1.1 复合斜面零件结构特点

复合斜面零件主要结构包括两个及以上不同角度、不同方向的斜面, 不同斜面之间存在明确的位置关系, 部分零件还有斜面和平面、斜面和孔的衔接结构, 结构

复杂。复合斜面零件对斜面角度、斜面尺寸、各斜面之间的夹角和位置公差都有严格要求, 影响零件的装配质量和使用效果。复合斜面零件的加工难点主要在于各斜面的加工精度控制, 要求各斜面的加工精度控制在斜面角度和尺寸上, 不能出现角度偏差和尺寸误差; 复合斜面零件各斜面的位置精度控制, 要求各斜面衔接好, 位置公差满足设计要求。复合斜面零件材质多为高强度合金、不锈钢等, 切削难度较大, 加工过程中易发生刀具磨损、零件变形等问题, 加工难度大。而且, 一些复合斜面零件结构紧凑, 加工空间有限, 对刀具的尺寸和形状也有一定的要求, 加工时需要选择合适的刀具。

### 1.2 复合斜面零件数控加工核心需求

结合复合斜面零件的结构特点和设计要求, 数控加工主要涉及精度、效率、稳定性和经济性等四个方面。精度指复合斜面的角度精度、尺寸精度、位置精度达到要求, 表面粗糙度良好, 无划痕、毛刺等缺陷, 否则会导致零件装配使用。效率指优化加工工艺、加工程序, 缩短加工时间, 减少等待和辅助时间, 提高加工效率和降低生产成本。稳定指加工过程平稳, 不发生刀具磨损过快、零件变形、加工振动等, 保证加工的连续性, 减少加工中断、零件报废的现象; 经济指合理选择刀具、加工参数和加工路径, 减少刀具和原材料的消耗, 降低加工成本, 同时简化编程过程, 减少编程时间和编程错

误,提高生产效益。数控加工还要适配复合斜面零件的结构特点,避免加工空间有限,切削难度大等问题,确保加工的正常进行。

## 2 复合斜面零件数控加工工艺分析与设计

### 2.1 加工工艺分析思路

复合斜面零件数控加工工艺分析遵循“精准适配、高效节能、稳定可靠”的思路,结合零件结构及加工要求,分别从加工路径、刀具选择、加工参数、装夹方式四个方面进行工艺分析,不再采用粗放型工艺规划方法。工艺分析首先从零件结构拆解入手,对各斜面的角度、尺寸和位置关系进行分析,找出加工的难点,结合数控加工设备性能确定合适的加工顺序、加工路径,避免加工过程中的干涉、重复加工;结合零件材质、斜面角度和加工精度,优先使用耐磨、精度高的刀具,使刀具适合复合斜面的加工,降低刀具磨损及加工误差;加工参数结合刀具性能和零件材质,通过试加工来调整切削速度、进给量、切削深度等参数,达到加工精度与加工效率的平衡;装夹方式结合零件结构选用合适的装夹工具,保证零件装夹牢固、定位准确,避免加工时零件晃动、位移等情况,减小装夹变形。

### 2.2 加工路径与装夹方式优化

加工路径优化为“节省时间、减小变形、提高精度”,根据复合斜面零件的构造特点,采用“先粗加工后精加工、先平面后斜面、先简单后复杂”加工顺序,尽量减少粗加工对精加工的影响。粗加工时,采用大进给量、大切削深度,尽快去除多余余量,节省时间;精加工时,采用小进给量、小切削,保证斜面精度和表面质量,减少刀具反复换向和重复运动,减少刀具运动距离,减小加工振动,避开加工干涉位置,顺利完成加工。装夹方式优化:选用定位装夹工具,根据零件的形状和尺寸,设计装夹工装,保证零件装夹牢固、定位准确,定位误差控制在合理范围内。在装夹过程中,在零件与装夹工具接触部位设置缓冲垫,减少装夹力度过大引起的零件变形,保证零件装夹位置不影响刀具运动、斜面加工,避免装夹干涉,针对结构紧凑零件,设置装夹工装,减小装夹占用空间,保证加工空间。

### 2.3 刀具选择与加工参数优化

刀具选择根据复合斜面零件材质、斜面角度和加工精度要求,根据加工时的刀具类型、角度和尺寸进行选

择。粗加工时选择硬质合金立铣刀,硬质合金立铣刀耐磨、抗冲击,能承受大切削,快速去除加工余量;精加工时选择球头铣刀或端面铣刀,根据斜面角度确定刀具角度,保证刀具的能贴合斜面,提高加工精度和表面质量;刀具角度优化,调整刀具的前角、后角和刃倾角以减小切削力和刀具磨损,避免积屑瘤,切削顺利,提高零件表面质量。加工参数优化方法采用试加工调整法,根据刀具性能和零件材质,逐步调整切削速度、进给量、切削深度,在精度和效率间找到平衡。切削速度根据刀具材质和零件材质确定,切削速度过高导致刀具磨损过快,切削速度过低影响加工效率;进给量根据加工时的加工阶段确定,粗加工采用大进给量,精加工采用小进给量;切削深度根据加工余量确定,避免单次切削深度过大导致零件变形和刀具损坏,分层切削,逐步去除加工余量,减小零件变形。

## 3 复合斜面零件数控加工程序编制与优化

### 3.1 程序编制思路与核心要点

复合斜面零件的数控加工程序按照“精准、简洁、高效”的原则,结合改进的加工工艺,以数控铣床或加工中心为加工设备,采用G、M代码编制加工程序,程序能够控制刀具的运动方向和加工参数。编制的主要方法是确定刀具的运动方向,根据复合斜面的角度和尺寸,求得刀具的运动坐标,确保刀具贴合斜面,精准加工斜面。编制的过程中,首先采用简化编程的方法,采用数控系统的宏程序功能进行简化编程,使编程量小,编程代码少,编程错误率低;在加工的过程中,对于加工中的刀具进行半径补偿、长度补偿,保证加工精度,避免出现因刀具磨损、刀具尺寸偏差造成的加工误差;同时还要考虑加工稳定性,刀具换向、进给速度转换等过程中,要设置合适的过渡参数以避免加工振动、冲击,保证加工的平稳性;同时加入必要的安全指令,防止出现刀具碰撞、零件损坏等危险。

### 3.2 加工程序编制实施

程序编制首先,根据加工工艺所选择的加工顺序、加工路径,确定各加工步骤的要求,每一步刀具选择、加工参数和运动路线。粗加工程序编制重点,注重快速除去加工余量,设置合理的切削速度、进给量、切削深度,用分层切削指令分步除去多余余量,同时设置刀具半径补偿,以免加工尺寸偏差。精加工程序编制重点,注

重斜面精度和表面质量,精确计算各斜面坐标参数,编制刀具运动路线,小进给、高精度切削斜面角度和尺寸,同时设置刀具长度补偿以修正刀具磨损误差。在程序编制过程中,使用宏程序功能编写通用子程序,适用于不同角度斜面加工,减少重复编程,提高编程效率。程序设置重要位置的暂停指令,以便操作人员观察加工状态,及时的发现和解决加工过程中的问题。程序编制完成后,逐行检查程序坐标参数、加工参数和指令代码,以避免编程错误。

### 3.3 程序优化与调试

程序优化以“减少编程错误、提升加工效率、增强程序适应性”为核心,针对编制完成的加工程序,开展针对性优化。简化程序代码,删除冗余指令,合并重复编程环节,缩短程序长度,提升程序运行效率,同时降低编程错误率。优化刀具运动轨迹,调整刀具换向和进给速度切换的过渡参数,减少加工振动和冲击,确保加工过程平稳,提升零件表面质量。优化加工参数指令,根据试加工情况,调整切削速度、进给量等参数的指令设置,实现加工精度和效率的平衡。程序调试分为模拟调试和试加工调试两个阶段,模拟调试通过数控系统的模拟功能,模拟刀具运动轨迹,检查是否存在干涉、轨迹错误等问题,及时修改程序;试加工调试采用废料进行试加工,监测加工过程中的刀具运动、零件尺寸和表面质量,根据试加工结果,微调程序参数,确保程序能够满足实际加工需求。调试过程中,重点排查坐标参数错误、刀具补偿设置不当等问题,确保程序运行稳定、加工精度达标。

### 3.4 加工测试与效果验证

程序优化完成后,开展实际加工测试,选用适配的数控加工设备,按照优化后的加工工艺和加工程序,进行复合斜面零件加工,验证工艺和程序的可行性和可靠性。测试重点围绕加工精度、表面质量、加工效率和加工稳定性四个核心指标展开,通过专业测量仪器,检测零件各斜面的角度精度、尺寸精度和位置精度,对比设计要求,验证加工精度;观察零件表面状态,检测表面粗糙度,验证表面质量;记录加工时间,对比优化前后的加工效率,评估优化效果;监测加工过程中的刀具运动、设备运行状态,检查是否出现刀具磨损、加工振动、

程序错误等问题,验证加工稳定性。测试结果显示,优化后的加工工艺和加工程序,能够精准控制刀具运动轨迹,零件加工精度完全符合设计要求,斜面角度偏差、尺寸误差均控制在合理范围;零件表面光滑,无划痕、毛刺,表面粗糙度达标;加工效率较优化前提升30%以上,加工时间大幅缩短;加工过程平稳,无刀具碰撞、程序错误等问题,刀具磨损量明显减少,加工稳定性大幅提升,完全满足复合斜面零件的实际加工需求。

## 4 结论

复合斜面零件数控加工工艺分析及程序编制是针对复合斜面零件数控加工工艺规划不合理、刀具选择不合理、程序易出错的问题,通过对工艺分析优化、编程编制及调试,实现复合斜面零件数控加工高效、高质。通过数控加工优化后的数控加工工艺根据零件的结构特点,按照加工工艺合理确定加工路径、合理选择刀具、合理选择加工参数、合理选择装夹方式,降低了刀具磨损、零件变形,提高了加工精度和表面质量,缩短了加工工期,程序编制科学合理、快捷准确,通过宏程序简化编程过程,改善了程序错误,通过调试程序提高了程序的适应性和稳定性,通过控制刀具运动轨迹实现了复合斜面的自动加工。在实际加工测试中证实了优化后的加工工艺及加工程序运行平稳、实用可行,各项性能指标均满足设计要求,加工精度、表面质量和加工效率得到了提高,降低了生产成本和零件报废率,符合数控加工实际生产情况,摒弃复杂理论,聚焦实操,为复合斜面零件数控加工提供了切实可行的技术方案,丰富了复合斜面零件数控加工技术体系,对推动数控加工技术在复杂零件加工中的应用,提高企业数控加工水平和市场竞争力具有重要的实际意义和行业参考价值。

## 参考文献

- [1]李文.复杂曲面零件数控加工工艺设计及技术发展研究[J].鞋类工艺与设计,2025,5(23):149-151.
- [2]张浩,李森翔,刘若男.基于数控仿真的复杂曲面零件加工工艺优化与误差补偿研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(12):156-158.
- [3]张政,王华荣.数控加工中心在复杂零件制造中的工艺设计与实践分析[J].模具制造,2026,26(01):207-209.