

# 异型结构壳体内腔直角铣头加工方法

刘星,周井文,丁霖,任培强,陈龙,赵坚伟,樊英杰

上海航天精密机械研究所

**摘要:** 外形和内腔均为偏心且内腔极其复杂的异形结构壳体零件,其铸件毛坯余量大且不均匀,材料去除量大,内腔干涉现象严重,给零件的加工定位装夹、编程和加工效率的提升带来挑战。基于 UGCAM 模块对内腔进行编程,采用加长杆直角铣头加工内腔,同时利用 VERICUT 模拟加工过程解决干涉问题,提高加工效率。

**关键词:** 异形偏心结构;UGCAM;直角铣头;干涉;效率

中图分类号: TG292;TH162

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2020.03.015

## Machining Method of Right Angle Milling Head for Inner Cavity of Special-shaped Shell

Liu Xing, Zhou Jingwen, Ding Lin, Ren Peiqiang, Chen Long, Zhao Jianwei, Fan Yingjie

**Abstract:** For special-shaped shell parts with eccentric shape and inner cavity, extremely complex inner cavity, large and uneven blank allowance, large amount of material removal and serious interference of inner cavity bring great challenges to the part's processing, positioning, clamping, programming and processing efficiency. The inner cavity is programmed based on UGCAM module, and the inner cavity is processed by right-angle milling head with elongated rod. At the same time, VERICUT is used to simulate the processing process to solve the interference problem, and the processing efficiency is improved.

**Keywords:** irregular eccentric structure;UGCAM;right-angle milling head;interference;efficiency

### 1 引言

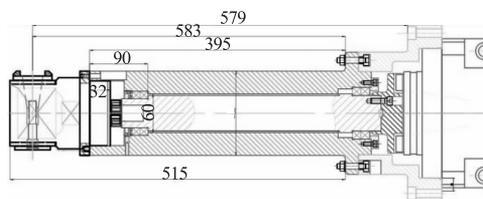
随着武器装备技术的快速发展,为了提高自主巡航飞行器在接近目标过程中的生存和突防能力<sup>[1]</sup>,越来越多的型号在研制过程中采用非圆形截面外形来提高其隐身性能,使得飞行器的结构设计变得复杂,给结构件的加工带来了一定的挑战。

本文基于 UGCAM 软件,利用自制的专机设备和加长杆直角铣头,对内腔结构复杂、干涉现象严重、毛坯余量大且不均匀的壳体零件进行编程和加工,同时利用 VERICUT 几何仿真软件对程序进行干涉检查,以提升加工效率。

加工设备和加长直角铣头见图 1。结合生产需求,设计专用工装,基于 UG 软件四轴加工模块,对零件内腔进行编程,采用加长杆直角铣头加工内腔,同时利用 VERICUT 模拟加工过程以解决干涉问题。



(a)



(b)

图 1 加工设备和加长直角铣头结构

### 2 确定定位装夹方法

被加工零件外形为异形曲面形状,无规则圆柱特征,无法采用传统的三爪卡盘夹持或内撑外圆对零件进行装夹,因此结合零件结构特征设计了专用工装。利用机床上三爪卡盘夹住工装  $\phi 350 \pm 0.05$  的外圆,并利用百分表校正工装外圆使工装外圆与机床主轴同轴。为防止加工过程中的振动造成工装脱落,利用 3 个 M16 的螺钉将工装锁死在卡盘上,对其进行进一步的加固。工装上有两个  $\phi 8_{+0.015}$  的定位销孔,零件上也有两个位置与之对应的定位销孔,为防止过定位,通过圆柱销和菱形销将零件定位在工装上,使用螺钉和压板压在零件一端的内法兰上,使零件牢牢固定在工装上,保证零件中心轴线与工装外圆始终重合。因零件内部结构复杂存在干涉现象,所以需实行两次装夹。同样采用端面定位销孔进行定位,可保证两次

装夹的基准统一(见图2)。

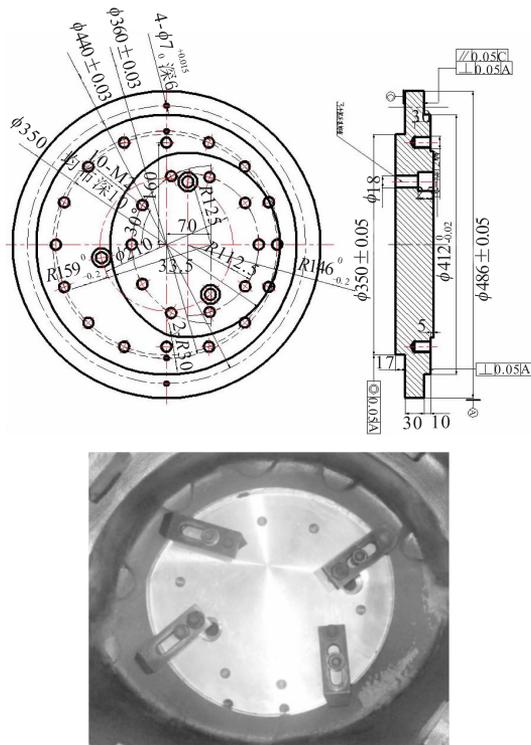


图2 工装设计和零件定位装夹

### 3 基于UG软件的零件内腔加工编程方法

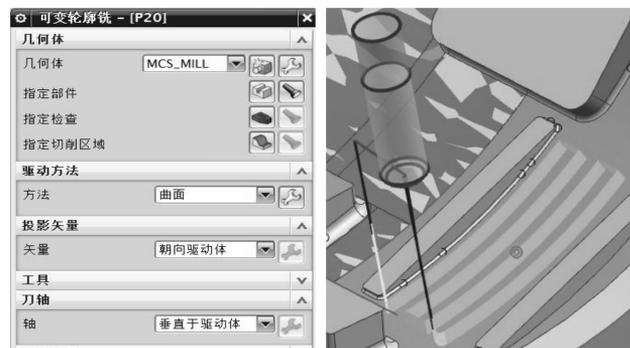
因零件内腔为回转体曲面,必须采用四轴加工方式。UG软件提供了较好的四轴编程模块,刀路设置选项主要包括驱动方法、刀轴的控制和投影矢量的选择等。

通过利用UG中“可变轮廓铣”策略对零件内腔进行加工,“几何体”选择不带部件的MCS\_MILL铣削,“指定部件”选择加工区域曲面。切削区域无需检测,“驱动方法”中选择曲面驱动方法,可指定驱动几何体、切削方向、切削模式和公差等进行设置。在非切削移动选项卡转移快速中,可设置每次的进退刀距离,选择公共安全设置中的圆柱,分别指定点、矢量和半径。经过前期的摸索,“投影矢量”选择朝向驱动体或者远离直线,两种投影方式分别对应“刀轴”中的垂直于驱动体或四轴垂直于驱动体,可获得光滑的刀路轨迹,图3a和图3b分别为可变轮廓铣策略参数编辑界面和生成的刀轨图。

### 4 解决加长直角铣头干涉碰撞问题

由于零件内腔结构呈异形不规则形状,空间狭小且分布不规则凸台,采用加长直角铣头进行加工,在进退刀过程中稍有不慎则会造成撞机,导致工件过切报废。因零件内腔极其复杂,程序代码繁多,实

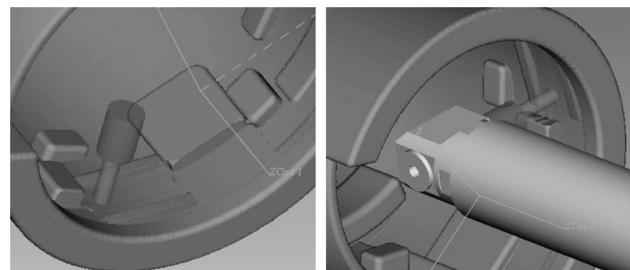
际加工中若依赖人工检查,不仅劳动强度大以及效率低,而且很容易因疏忽导致机床发生碰撞干涉时未能及时停机。为解决该问题,利用VERICUT几何仿真软件,通过对自制非标四轴机床设备VERICUT仿真系统一比一模型的搭建、规定刀柄及刀长、加工坐标系的建立及程序的导入,对加工程序进行模拟。在模拟过程出现碰撞时,软件会自动停止并定位到发生碰撞的语句,手动对碰撞的语句进行修改,再重新进行模拟。循环进行该过程,直到整个程序无碰撞发生方可上机运行,以避免在实际加工中出现此类问题。



(a) 多轴加工策略

(b) 刀路轨迹

图3



(a) 刀具过切

(b) 刀杆碰撞

图4 仿真干涉检查

### 5 加长直角铣头加工参数及切削方法的确定

由于设备条件有限,零件悬伸长度为467mm,加长刀杆悬长约为470mm。在加工过程中,若切削参数选择不当,刀杆和零件振动现象就会非常严重,造成断刀甚至损伤已加工零件表面。此外,零件毛坯为铸件,加工参数的设定必须予以考虑铸件表面的沙层。

针对上述情况,从以下两方面进行解决:①切削加工刀具路径应尽量由外向里切削,使切削力方向与夹紧力方向保持一致,减少切削振动;②主轴转速及进给速度做匹配降低,通过切削声音及零件振动的变化,验证调整参数的效果,避免刀具转速过高、

# 强化研磨加工中喷射角度对 GCr15 轴承钢板塑性变形的影响

刘晓初,段伟建,梁忠伟,廖俊杰,萧金瑞

广州大学;广东省强化研磨高性能微纳加工工程技术研究中心

**摘要:** 利用 ABAQUS 有限元仿真软件研究不同喷射角度强化研磨加工 GCr15 轴承钢板过程的塑性变形,得到不同喷射角度与等效塑性应变沿真实路径距离的关系,并通过拉伸试验进行验证。喷射角度为 90° 的强化研磨加工伸长率为 1.4%,相比未经过强化研磨加工的伸长率数值缩减了 2.0%。断口收缩率由空白组的 4.9% 降低到喷射角为 90° 的 2.2%。结合仿真和试验可知,强化研磨加工中喷射角度越大,塑性变形能力越低,材料加工越难。

**关键词:** 强化研磨;喷射角度;塑性变形;GCr15 轴承钢

中图分类号: TG580.68;TH161.3 文献标志码: A DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2020.03.016

## Effect of Injection Angle on Plastic Deformation of GCr15 Bearing Steel Plate During Reinforced Grinding

Liu Xiaochu, Duan Weijian, Liang Zhongwei, Liao Junjie, Xiao Jinrui

**Abstract:** The ABAQUS simulation software is used to explore the plastic deformation of different injection angles during enhanced grinding, and to find out the relationship between different injection angles and equivalent plastic strain along the real path distance. It is verified by tensile experiment that the elongation of reinforced grinding with injection angle of 90° is 1.4%, which is reduced by 2.0% compared with that without reinforced grinding. The fracture shrinkage is from 4.9% of blank group to 2.2% of injection angle of 90°, and the decrease value is 2.7%. According to the simulation and experiment, the higher of the injection angle is, the lower the plastic deformation capacity is, and the more difficult it is to further process the material.

**Keywords:** enhanced abrasive; injection angle; plastic deformation; GCr15 bearing steel

## 1 引言

轴承表面强化研磨加工技术是由高压气体驱动固体(钢珠和研磨粉)和液体(强化研磨改性液)在高压管道内混合均匀,形成多相混流,由高压喷头喷出射流,对轴承或者轴承钢进行加工,形成三层复合结构(见图 1)。

收稿日期: 2019 年 8 月

强化研磨加工 GCr15 轴承钢产生形变强化<sup>[1]</sup>是指采用一定速度的强化研磨料冲击轴承钢板,由于高速瞬间冲击,使材料受到瞬时压力而发生塑性变形,随着塑性变形程度的增加,金属材料的强度随之提高,但材料的塑性指标会下降。目前,工业上常采用形变强化的相关工艺来提高金属材料强度,特别是对于纯金属材料,能显著强化金属。形变强化属于冷加工工艺,钢珠冲击轴承钢板给予钢板很大的压力,使晶格被挤压畸变,晶粒间更加

进给量低时导致的磨刀,同时也要避免刀具转速过低、进给量高时导致的啃刀,最终确定主轴转速为 200~600r/min,进给速度为 50~100mm/min,通过调整切削参数适当缓解振刀程度,使加工稳定进行。

## 6 结语

本文采用加长直角铣头,解决异形结构壳体零件内腔加工的问题,从工装设计、UG 软件四轴内腔编程、检查干涉碰撞和设定切削参数等方面进行了阐述,通过加工实践,解决了复杂异形壳体零件内腔加工的难题,达到了良好的预期效果。

## 参考文献

- [1] 徐超. 非圆截面导弹复合材料结构分析与优化设计[D]. 西安:西北工业大学,2005.
- [2] 吴松. 壳体内腔大深度 T 型刀加工方案分析[J]. 航空精密制造技术,2017,53(5):48-51.  
第一作者:刘星,硕士,助理工程师,工艺师,上海航天精密机械研究所结构件加工事业部,201600 上海市  
First Author: Liu Xing, Master, Assistant Engineer, Technologist, Manufacturing Plant, Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute, Shanghai 201600, China