

基于 VERICUT 的低温上装式球阀阀体多工序加工仿真的研究

金泽宇¹, 孟祥柏²

(1. 杭州杭氧工装泵阀有限公司, 浙江 杭州 311300; 2. 杭氧集团股份有限公司, 浙江 杭州 311300)

摘要: 本文以上装式球阀阀体试制为例, 基于 UG、Mastercam 软件和 VERICUT 数控加工仿真技术, 先进行了加工工艺规划, 然后完成了数控加工仿真环境的搭建, 并进行了虚拟加工仿真, 最后将仿真得到的切削模型与设计模型进行自动比较, 通过仿真分析的结果, 验证了加工工艺和数控程序的正确性, 最后进行了实际加工, 成功地一次生产出了合格产品, 该研究为实际加工提供了便捷, 缩短从设计到加工的工期, 保证了数控加工的质量和效率。

关键词: 上装式球阀; VERICUT; UG; Mastercam; 数控加工仿真

中图分类号: TG659 **文献标志码:** A

1 引言

低温上装式球阀产品具有密封性能可靠、启闭灵活、使用寿命长和泄漏点少等优点, 因而被广泛地应用于各种低温装备, 如在液化天然气、液化石油气、液氧、液氮及空分装置等行业中起着十分重要的作用^[1], 但由于阀体形状复杂、精度要求较高, 且两端均为内大外小的倒扣台阶孔结构, 实际加工中需要用到大量的专用刀具、工装夹具和量具, 还需要花费较长时间来调试数控机床的程序避免发生碰撞, 严重影响了生产效率。

VERICUT 软件是目前国际应用较为广泛的一款数控加工仿真软件, 由多个模块构成, 例如程序验证模块、刀具管理模块、程序优化模块和分析比较模块等模块, 可以对数控车床、铣床、多轴加工中心等设备进行加工

过程的仿真模拟, 也可以在软件内进行刀具切削参数和材料的设置, 以及刀具实体的建模, 还能对加工程序进行优化, 提高加工效率, 对加工结束后的模型与设计模型进行分析比较, 确认加工工序和程序的正确性^[2]。

经知网检索, 国内目前暂无球阀阀体数控加工工艺及仿真方面的研究, 针对这些现象, 本文提出了在实际加工前, 使用 Mastercam 软件进行编程, 再用 VERICUT 仿真软件进行模拟加工, 这样既可以直观地展现加工过程, 还可以检验加工程序的正确性, 有利于程序的优化。

本文使用 UG 和 VERICUT 软件构建了模拟加工仿真平台, 能够精确地模拟出加工过程, 并对最终结果进行检查, 验证加工结果的正确性, 提前发现加工程序的错误, 极大地缩短了生产调试时间, 保证了数控加工的质量和效率^[3-4]。

2 阀体的数控加工工艺研究

2.1 加工工艺分析

阀体尺寸图如图 1 所示，三维模型如图 2 所示，材料为 06Cr19Ni10 不锈钢，毛坯经由铸造加工而成，后续需机加工部位均留有 4~5mm 余量。

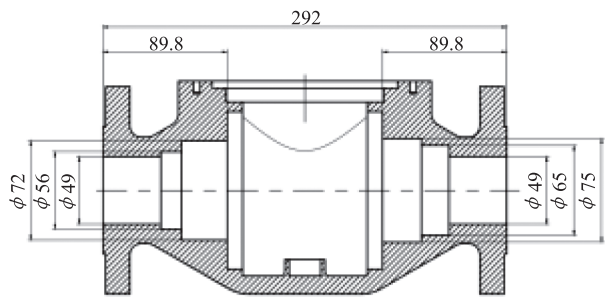


图 1 阀体尺寸图

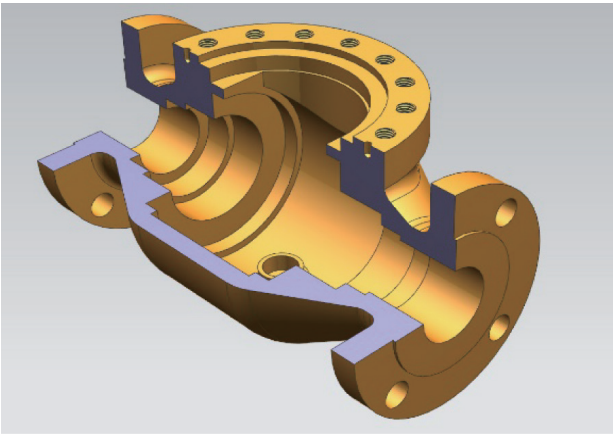


图 2 阀体实体建模

阀体加工的主要问题：一是由于阀体两端阀座孔在安装好阀座后需要与阀芯配合密封，同轴度要求较高，且呈内大外小的倒扣结构，并且在加工过程中不便于观察和测量，需要使用定制专用内孔车刀进行加工，使用定制的专用量具进行测量；二是阀体局部余量较多，且冷却液不容易进入，随着加工尺寸的不断增加，加工温度也不断增加，导致单个部位一次加工到位后，再对其他部位进行粗加工，容易造成已加工部位产生尺寸变形，导致零件报废；三是零件需要多次装夹加工，三个面的位置度较难保证。

目前根据阀体的结构特点，采用车削中心 + 卧式加工中心的加工方案，两端阀座孔和法兰采用车削中心车削加工，上端阀芯安装面采用卧式加工中心铣削加工。

由于阀体两端同轴度较高，使用带液压自定心中心架的车削中心，采用统一基准加工两端阀座孔，能够得到较好的同轴度。

2.2 加工工艺规程设计

为保证零件的加工精度，设计的阀体的加工工艺：铸造 - 车 - 铣 - 车 A 端 - 车 B 端 - 测量 - 铣 - 测量 - 车 - 钻 - 测量 - 打磨。具体的加工工艺规程见表 1。

表 1 加工工艺规程

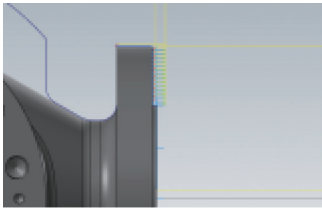
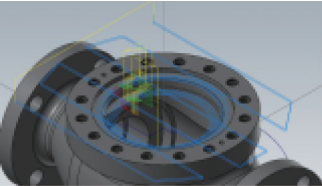
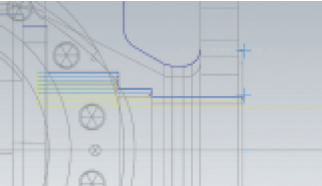
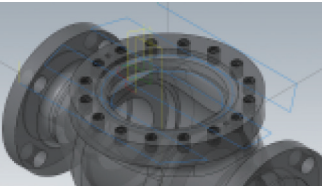
序号	工序名称	说明
1	铸造毛坯	加工部留 3~4mm 余量
2	数控车	双顶毛坯两端，一刀车出两端法兰外圆、端面，保证两外圆同轴，倒角
3	数控铣	工件摆放在工作台上，粗铣阀芯安装面、孔，保证各处均见光，放 1mm 余量
4	数控车 A 端	三爪卡盘夹 B 端、液压中心架抱 A 端法兰外圆，粗精车阀座孔至尺寸
5	数控车 B 端	三爪卡盘夹 A 端、液压中心架抱 B 端法兰外圆，粗精车阀座孔至尺寸
6	三坐标测量	按要求测量
7	数控铣	工件摆放于工装上，粗精铣阀芯安装面、孔至尺寸，钻阀芯安装面各孔、螺纹、销孔至尺寸
8	三坐标测量	按要求测量
9	普车	车两端法兰水纹线
10	钳工钻孔	钳工钻两端法兰各孔至尺寸
11	人工测量	按要求测量
12	打磨去毛刺	保证零件表面无毛刺

2.3 数控加工程序设计

由于 VERICUT 软件不具有进行生成加工轨迹和生成数控加工程序的功能，需要由其他 CAM 软件来进行加工程序的生成，然后将生成的 NC 代码输入到 VERICUT 软件当中，模拟仿真系统才能够按照程序来完成该零件的模拟加工过程，本文采用的是一款集成车、铣、多轴加工中心编程等功能集成为一体的 CAM 软件 Mastercam 来完成零件的加工轨迹生成及数控加工程序生成。

通过分析上述的加工工艺规程，利用 Mastercam 的车削、铣削编程模块，对阀体加工过程中每道数控加工工序的加工策略、加工参数、加工刀具等进行详细的设计，生成相应的数控加工轨迹，见表 2，由于数控加工轨迹较多，所以仅列出部分加工轨迹。

表 2 阀体部分数控加工轨迹

序号	加工内容	部分数控加工轨迹
1	车法兰	
2	粗铣阀芯安装面	
3	车阀座孔	
4	精铣阀芯安装面、孔	

生成的数控加工轨迹，可以在 Mastercam 自带的仿真加工功能中模拟刀具的走刀路径，实现加工前对刀具的选用、刀具路径是否合理等的仿真验证。

通过 Mastercam 软件自带的后置处理程序，将数控加工轨迹转换为 FANUC 系统对应的 NC 代码。

3 VERICUT 仿真与实际加工检验

3.1 VERICUT 虚拟仿真环境构建

数控加工仿真是基于计算机建立实际机床向虚拟机床的映射，所建立的虚拟机床需要与实际机床的结构、关键参数、数控系统、刀具和夹具等具有高度一致性，保证了虚拟加工仿真结果对实际加工的指导意义^[5]。目前能够进行数控加工仿真的软件有许多种，其中 VERICUT 是一款专为制造业设计的数控加工仿真和优化的软件，该软件不仅能够模拟各类包括车床、铣床、加工中心、车铣复合等加工设备的加工过程，同时能够对数控程序进行优化，缩短切削加工时间^[6-9]。虚拟加工仿真步骤如图 3 所示。

1) 构建机床部件模型。利用 CAD 软件，我们可以创建一个与实际加工机床完全一致的机床部件模型，并且精确地配置各轴的运动关系，从而获得更准确、更真实的仿真过程和结果。基于实际加工机床的结构，我们可以提取出它的主要机械结构，确定它们之间的位置关系和运动关系。接着创建机床模型，首先是三维模型，然后是系统参数的设定，最终完成机床的部件模拟，以达到最佳的加工效果。在进行机床干涉检查、确定初始位置、更改刀具位置、调整行程和安排运动轴之后，将其保存下来。

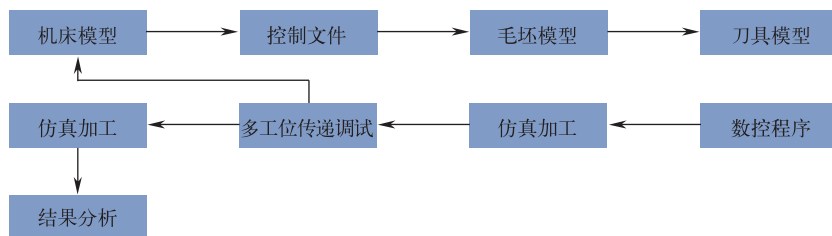


图 3 虚拟加工仿真步骤

2) 设置毛坯模型。在设置完机床部件模型后，就需要在机床工作台上放置夹具和零件毛坯，首先需要对实际毛坯尺寸进行测绘，构建实际的毛坯模型，在 VERICUT 系统中，可以使用软件自带的建模模块创建长方体、正方体等形状简单的夹具和零件毛坯，也可以通过其他三

维建模软件建立模型，再通过接口导入到 VERICUT 中。本文使用 UG 软件建立的毛坯模型如图 4 所示，在导入完零件毛坯后，需要根据实际加工中零件的放置位置，将零件移动到正确的位置。

3) 创建机床刀具库。可以利用 VERICUT 系统的刀

具管理器功能，建立所需的刀具库。创建刀具库可以通过调用软件自带刀具文件中的刀具，也可以使用 VERICUT 软件自带的刀具建模功能进行刀具的创建。通过该功能，几乎可以创建任何形状的刀具，例如平底铣刀、球头刀、钻头 etc。如果需要定义非标形状的刀具，还可以在 CAD 软件中创建好模型，然后通过接口直接导入软件中。通过这两种方法，在 VERICUT 刀具管理器中依次创建所需要的刀柄和刀具，在创建完成后按照 NC 程序中的刀具顺序对所有刀具编号，并设置每把刀具的装夹点和对刀点，创建完成的刀具库如图 5 所示。

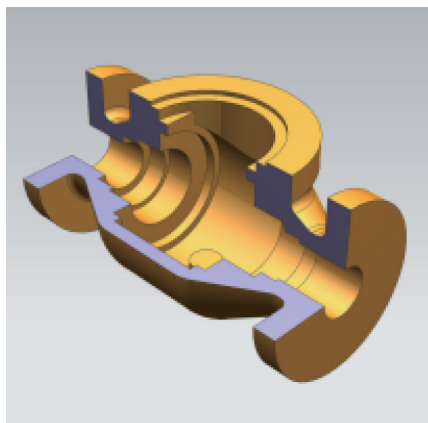


图 4 阀体毛坯模型

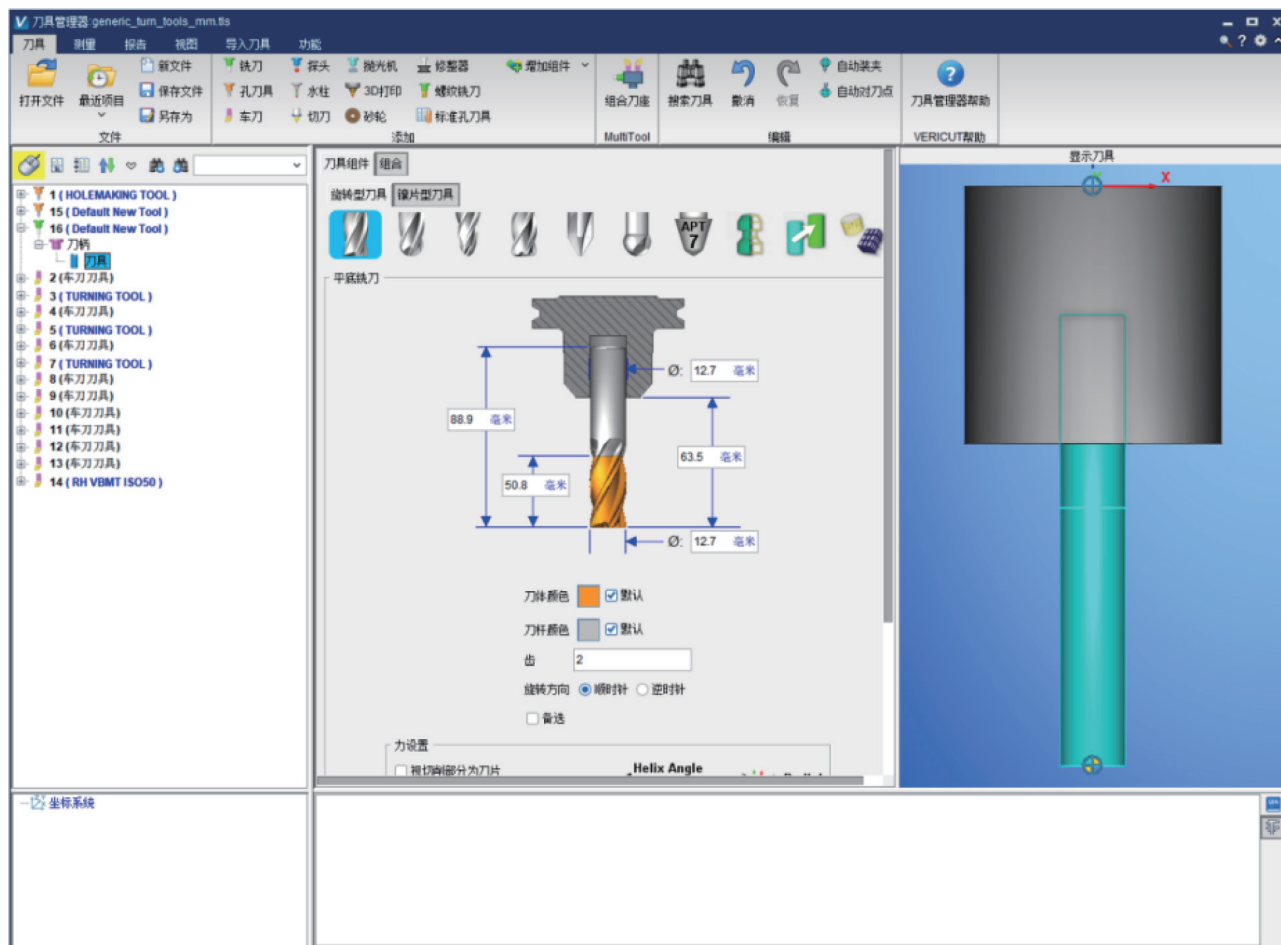


图 5 刀具库

4) 配置坐标系统和 G 代码偏置。系统默认的加工坐标系是与机床坐标系原点重合的，在放置完成工件毛坯后，需要将加工坐标系放置在与编程软件中所设定的加工坐标系相同的位置上，所以就需要在 VERICUT 软件中

添加 CSYS 坐标系，并配置好相应的偏置，保证加工坐标与编程坐标相统一。

最终根据虚拟加工仿真步骤建立完成的项目结构树如图 6 所示。



图6 项目结构树

3.2 VERICUT 虚拟加工仿真与分析

1) 第一工位仿真。启动 VERICUT 仿真软件, 首先添加机床模型文件, 选择与实际加工匹配的控制系统文件, 将设计模型、毛坯模型及夹具模型分别添加到“design”和“stock”目录下, 打开实现建立好的刀具库, 配置好相应的刀位号和刀具长度补偿, 将添加好的毛坯、设计、夹具模型放置到正确的位置上, 配置好坐标系和相应的 G 代码偏置参数, 对应为编程的 G54、G55、G56 等坐标系, 将加工坐标与编程坐标设置重合, 添加 NC 程序, 将先前由 Mastercam 软件后处理的 NC 程序导入 VERICUT 软件中, 以上全部设置完毕后, 点击软件控制栏中的复位按钮, 使虚拟加工环境进行一次初始化, 点击开始仿真, 对第一工序整体加工进行仿真, 加工完成后查看加工效果, 观察是否有过切、欠切和碰撞报错信息, 一工位仿真结束后, 保存加工过程文件。

2) 后续工位仿真。双击下一工位目录, 将上一工位仿真结束后的切削结果模型导入到第二工位的“stock”目录下, 其余步骤与第一工位的配置方法相同, 依次完成各个工位的仿真设置后, 复位毛坯模型, 并从第一工位开始, 重新点击仿真到末端, 虚拟仿真后的加工结果如图 7 所示。

3) 仿真结果分析。虚拟仿真加工完成后, 如果在加工过程中出现任何错误情况, 例如机床撞刀、超程、夹具干涉等现象, 系统将以鲜艳的红色标记出来, 同时还将在界面右侧的信息窗口发布警告, 告诉用户当前的故

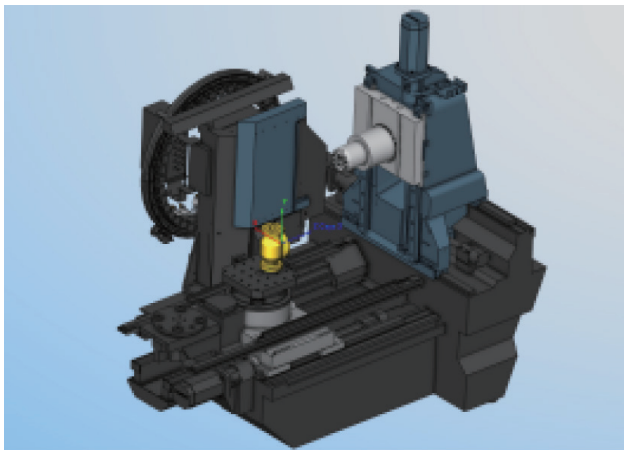


图7 切削仿真结果

障状态, 更快地解决问题。

如果仿真结束后没有提示任何报错信息, 显示仿真成功完成后, 就可以通过软件自带的尺寸测量功能对零件切削结束后的模型进行测量, 或使用对比分析功能对加工后的结果模型进行过切与欠切分析。相比较而言对比分析功能更直观, 所以本文采用对比分析功能对零件加工结束后的切削模型进行分析, 分析后得出的零件过切与欠切的余量数值和颜色对照图如图 8 所示。由图可知阀体整体颜色不存在与对比表中的 0.01 范围的颜色相同的颜色, 表示图中零件加工误差在 0.01mm 以内, 软件给出的仿真结论为完全相同, 通过仿真结果表明了加工工艺与加工程序的正确性。

3.3 VERICUT 数控程序优化

VERICUT 仿真软件不仅具有数控加工虚拟仿真功能, 还具有数控程序再优化的功能。由 VERICUT 软件通过保持最大切削体积的原理, 优化进给速率, 实现加工效率的提升, VERICUT 软件还提供了程序对比功能、力图表显示功能、节省计算器功能^[10]。

优化切削加工轨迹首先要创建一个刀路文件, 其次需要对刀具在各种切削参数下的加工参数进行设定, 对于同一把刀具, 还可以设定不同的切削深度、切削宽度下的转速和进给速度值, 用户可以根据自身的实际加工经验对这些参数进行不断的调整和优化。

优化前后的加工时间对比见表 3, 根据表中情况可以得知, 程序优化缩短了加工时间, 尤其是铣削工序的优化率达到了 24.43%, 提升了空刀区域的进给速率, 从而提高了加工效率。

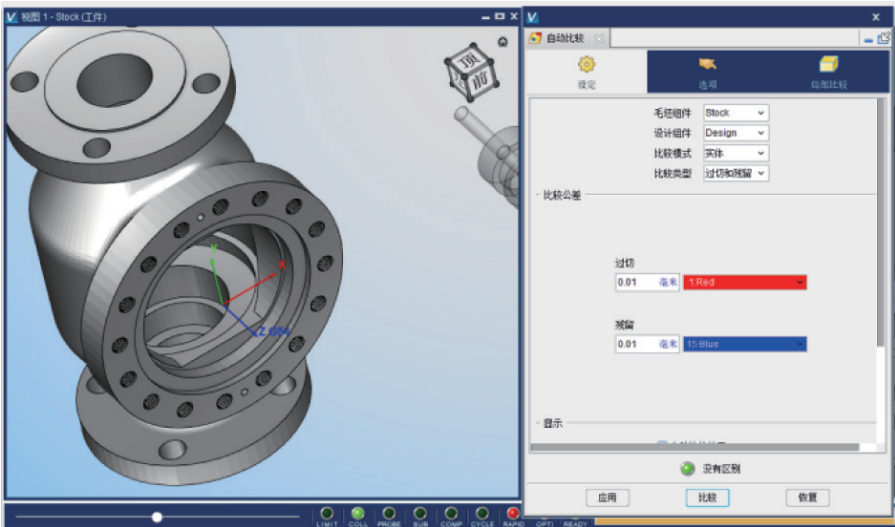


图 8 仿真结果分析

表 3 加工时间对比

工序	原加工时间 / min	优化时间 / min	优化提升率 (%)
车法兰	8.6	8.1	5.81
粗铣侧面孔	17.6	13.3	24.43
粗精车两端 阀座孔	25.4	22.1	12.99
精铣侧面孔	5.6	5.4	3.57

4 结束语

本文通过 VERICUT 软件，对低温上装式球阀阀体的加工工艺进行了加工仿真和加工程序优化，最后进行实际加工验证，对加工后的零件进行测量，各项尺寸均在合格范围内。通过仿真加工避免了因 NC 代码错误导致碰撞或干涉等问题，验证了数控程序的正确性，减少了试切时间，通过 VERICUT 数控程序优化功能，减少了零件的总的加工周期，提高了产品生产效率。虚拟仿真结合实践验证，有利于企业降低新产品研发及试制的成本，提高企业经济效益。同时，该研究还可为其他复杂零件的数控仿真加工提供一定参考。

参考文献

[1] 单思宇, 赵庆轩, 谭宏博, 等. 液化天然气超低温球阀的密封技术研究综述 [J]. 化工设备与管道, 2017, 54 (6) : 38-42.

[2] 郭金山. 基于 UG 和 VERICUT 槽轮类 4 轴加工的仿真分析 [J]. 机械研究与应用, 2023, 36 (6) : 125-127, 132.

[3] 姚运萍, 王素梅. 基于 VERICUT 的虚拟机床建模与复杂曲面加工的研究 [J]. 新技术新工艺, 2010 (1) : 37-39.

[4] 郎永兵. NX 与 VERICUT 在多轴多工位环境下的智能化应用技术 [J]. 金属加工 (冷加工), 2021 (4) : 14-18.

[5] 陈杰, 宁初刚, 包敏杰, 等. 基于 VERICUT 的车削中心仿真系统研究 [J]. 工具技术, 2021, 55 (6) : 82-85.

[6] 孙芹. 复杂曲面的 UG 建模、加工与 Vericut 虚拟仿真 [J]. 制造业自动化, 2013, 35 (13) : 19-21.

[7] 刘永平, 董志强, 董长斌. 基于 VERICUT 的非圆齿轮四轴联动数控插齿加工仿真 [J]. 机械设计, 2021, 38 (S2) : 95-98.

[8] 黄帅, 王晓丽. 基于 VERICUT 软件的滚刀车铣复合仿真加工技术研究 [J]. 工具技术, 2022, 56 (10) : 98-100.

[9] 佛新岗. 基于 UG 和 VERICUT 的机床建模与数控加工 [J]. 工具技术, 2021, 55 (6) : 86-89.

[10] 刘禹, 孟冬. VERICUT 程序优化在某安装槽加工中的应用 [J]. 新技术新工艺, 2020 (11) : 11-15.

收稿日期: 2024-05-07

汽车摇动牵引式浮动夹具设计与仿真

张增堂¹, 冯可新¹, 韩继超¹, 王晓语², 刘洪豪^{3*}

(1. 泰安大源机械有限公司, 山东 泰安 271000; 2. 山东农业大学机械与电子工程学院, 山东 泰安 271000; 3. 泰山学院机械工程学院, 山东 泰安 271000)

摘要: 针对我国汽车差盖生产线夹具在加工过程中柔性化程度较低且易出现变形磨损等问题, 设计了一种面向汽车差盖生产线的液压摇动牵引式浮动夹具。首先, 分析确定了汽车零部件生产线所需夹具的特殊要求, 分析设计夹具关键零部件, 使得夹具可在工件表面两个方向旋转达到 5° , 从而确保夹紧力均衡。设计特定夹具卡爪, 可以强力夹持锥形工件, 夹持部位最大允许脱模斜度为 10° ; 然后计算夹具切削力, 分析夹紧力, 进而建立夹具三维模型; 最后对夹具工作的三个工况进行了静力学仿真分析, 验证设计的浮动夹具优良性和合理性, 能够满足汽车差盖生产线精度需求, 为汽车零部件精准加工注入新动力。

关键词: 摇动牵引式浮动夹具; 浮动卡盘; 参数设计; 仿真分析

中图分类号: TG75 **文献标志码:** A

1 引言

汽车制造所用夹具在汽车生产中起着至关重要的作用, 也是数控机床在制造生产过程中的核心部件^[1-2]。汽车差盖是汽车工业加工生产中的关键零部件, 其市场需求量大且加工精度、安全性能要求比较高^[3]。目前, 我国传统汽车差盖夹具结构存在柔性化程度较低、夹具易磨损变形等问题; 此外采用传统人工经验式装夹工艺已不适应现代机械加工制造系统。因此为满足高标准生产需求, 设计出柔性化程度高、不易变形磨损的汽车夹具至关重要^[4-6]。

国内外研究学者不断从事高精度夹具研究。Raghu^[7]

等通过对夹具的夹紧过程和 CNC 铣削过程仿真, 获得了夹具在夹紧过程中的重要的形变数据。由于不同车型零部件型生产需要更换不同夹具, 王强^[8]等针对传统焊接夹具装夹定位精度不够, 更换夹具成本高等不足, 研究了一种柔性化夹紧焊接平台, 具有快速移动定位特点。Li^[9]等通过建立工件-夹具接触模型, 并计算出机加工件的接触刚度, 最后对夹具的夹紧力进行设计与优化, 实现工件-夹具系统的设计与改进。秦国华^[10]等总结产生夹紧变形的两大因素, 一是夹紧副变形引起的工件位置误差; 二是夹紧力引起的工件变形, 以工件位置误差最

基金项目: 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目 (2023TSGC0595); 泰安市科技型中小企业创新能力提升工程项目 (2023TATSGC020)

* 通信作者: 刘洪豪