

# 五轴数控工具磨床虚拟检测及磨削仿真技术的研究

曹翔<sup>1</sup>, 姚斌<sup>1</sup>, 张哲山<sup>1</sup>, 姚博世<sup>2</sup>, 刘红英<sup>2</sup>

<sup>1</sup>厦门大学; <sup>2</sup>陕西省汉江机床有限公司

**摘要:** 给出了可转位刀片在线测量的数学模型,建立了五轴数控工具磨床虚拟检测及虚拟磨削环境,对可转位刀片磨削前和磨削后的测量过程进行了虚拟仿真。最后以带修光刃正方形刀片为例,借助虚拟检测和磨削仿真技术对其进行生产制造的前期验证工作,检验了自动生成数控加工程序的正确性,同时完成了机床干涉判断。整个研究对测量规划可行性及数控程序可靠性的评估分析有较高的参考意义。

**关键词:** 五轴数控工具磨床; 可转位刀片; 磨削; 检测; 虚拟仿真

中图分类号: TG707; TG580; TP319

文献标志码: A

## Research on Virtual Inspection and Grinding Simulation Technology of Five-axis CNC Tool Grinder

Cao Xiang, Yao Bin, Zhang Zheshan, Yao Boshi, Liu Hongying

**Abstract:** The mathematical model of on-line inspection of indexable inserts is given. This paper established a virtual inspection environment and a virtual machining environment for five-axis CNC tool grinder, and conducted the inspection simulation of the indexable inserts. Taking the square inserts as an example, this virtual inspection technology and grinding simulation technology is very adapt to the early verification of manufacturing. The correctness of NC processing commands can be checked and the result can judge the mutual interference of machine tool. The research provides highly reference significance for estimating and analyzing the feasibility of measurement and the reliability of NC commands.

**Keywords:** five-axis CNC tool grinder; indexable inserts; grinding; inspection; virtual simulation

### 1 引言

随着虚拟现实技术的逐渐推广,越来越多的研究人员将其引入到数控加工仿真领域,但是多体现在针对某种单一加工过程的研究中。而数控加工涉及多种不同工艺过程,以可转位刀片成型磨削为例,涵盖了数控代码检验、在线测量仿真和成型磨削仿真等多个过程<sup>[1-2]</sup>。本文以带修光刃正方形可转位刀片的全过程加工仿真为研究突破点,设计了可转位刀片的在线测量方法,并基于NCSIMUL构建了五轴数控工具磨床的虚拟加工环境。在同一个机床加工环境中完成了刀片的虚拟检测及磨削仿真工作,实现了机床对可转位刀片在线测量与成型磨削的一体化。

### 2 可转位刀片测量理论模型

在刀片磨削加工之前,必须对其进行在线测量以确定毛坯的几何尺寸大小及装夹位置<sup>[3]</sup>。测量结果的精确性对于刀片刃磨精度具有重要影响<sup>[4]</sup>。因此,需要对测量过程进行详细规划,设计出最优测

量方法。根据该五轴数控工具磨床的结构特征和可转位刀片的几何特征,设计了如图1所示的刀片在线测量流程。

由上图可以看出,在完成整个测量工作后,可以获得三组测量数据。由这三组测量数据可计算出刀片的内切圆半径 $r$ 及装夹中心与刀片中心的偏心距 $e$ 。其数学模型为

$$r = \left( \frac{u_1 + u_3}{2 \sin \frac{360^\circ}{n}} - u_2 \cot \frac{360^\circ}{n} \right) \cot \frac{360^\circ}{2n}$$

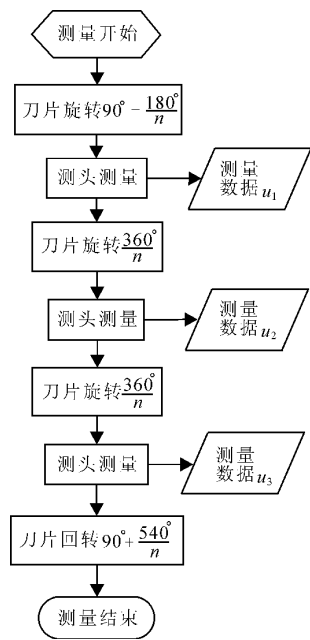
$$e = \sqrt{\left[ \left( \frac{u_1 + u_3}{2 \sin \frac{360^\circ}{n}} - u_2 \cot \frac{360^\circ}{n} \right) \cot \frac{360^\circ}{2n} - u_2 \right]^2 + \left( \frac{u_1 - u_3}{2 \sin \frac{360^\circ}{n}} \right)^2}$$

式中 $n$ 为正多边形可转位刀片的周边数, $u_1$ 、 $u_2$ 、 $u_3$ 为测头测量数据。该测量数学模型的提出为后续的虚拟检测提供了理论依据。

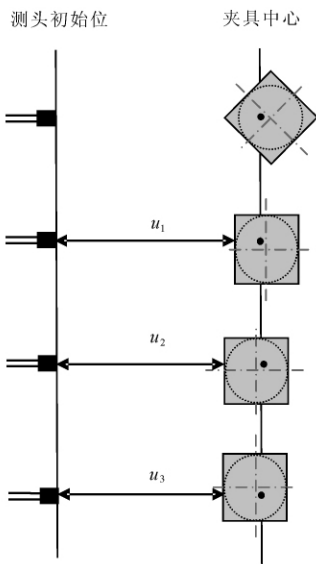
### 3 五轴数控工具磨床仿真设计

通过三维实体仿真技术,对复杂的显示系统经过一定的抽象和简化,可形成系统的模型。在对机床各部件运动关系进行分析的基础上运行此模型,从而可以得到仿真系统的一系列统计性能<sup>[5]</sup>。

基金项目: 国家科技重大专项(2010ZX04001-162)  
收稿日期: 2012年6月



(a)



(b)

图1 可转位刀片测量过程

### 3.1 数控加工仿真过程

五轴数控工具磨床虚拟加工仿真的重点在于对可转位刀片测量过程的虚拟仿真以及对自动生成数控加工程序的检验<sup>[6]</sup>。其关键是要建立机床的虚拟加工环境。通过对机床本体、砂轮、测头 and 夹具、毛坯的建模以及对加工程序的调用等就可以对可转位刀片的整个加工过程进行虚拟仿真。此流程如图2所示。

### 3.2 机床虚拟加工环境的构建

本文在构建机床虚拟加工环境时,将实际的机床按照运动逻辑关系分解成为床身、线性移动轴部件、旋转轴部件、测头和砂轮等模块。并为各部件构

造简化的三维几何模型,然后再将其按照运动逻辑关系进行装配<sup>[7]</sup>。

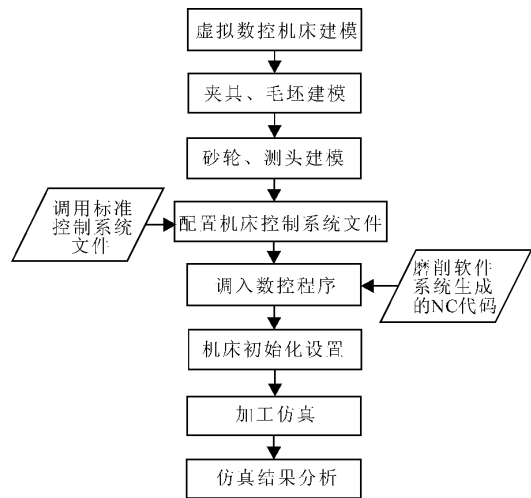


图2 数控加工仿真流程图

根据该五轴数控工具磨床的机床结构和运动特性,按照前述建模方法,建立了两条机床运动链:“床身—砂轮”运动链和“床身—工件”运动链<sup>[8]</sup>。这两条运动链构成了机床的基本模型。并在此基础上构建出机床结构组件树,同时配置运动链上各部件的相对位置和相关尺寸,从而建立了如图3所示的机床运动学模型。

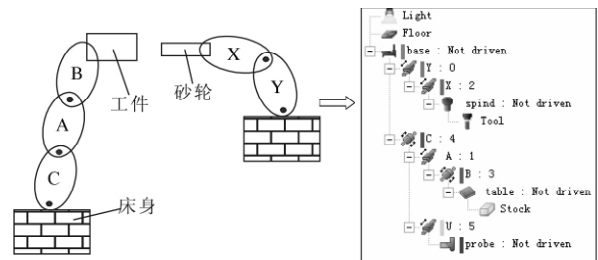


图3 五轴数控工具磨床运动学模型

在机床运动学模型的基础上,依运动链的顺序为每个运动部件添加表示其形状特征的几何模型<sup>[9]</sup>。本文利用CAD/CAM软件系统建立五轴数控工具磨床三维实体模型,并将所建立实体模型的各个组件导出为STL格式。再通过仿真系统所提供的图形转换接口将模型文件导入并进行装配<sup>[10]</sup>。在构建虚拟在线测量环境时,根据前述的可转位刀片测量模型,考虑到测头的测量路径,在仿真系统中建立了接触式平面测头模型,并将其作为独立线性移动轴部件装配于该机床。图4所示为该五轴工具磨床的实体结构图。

## 4 可转位刀片的仿真实现

下面以带修光刃正方形可转位刀片为例,具体参数见图5及表1。对其在线测量及磨削加工过程

进行虚拟仿真。

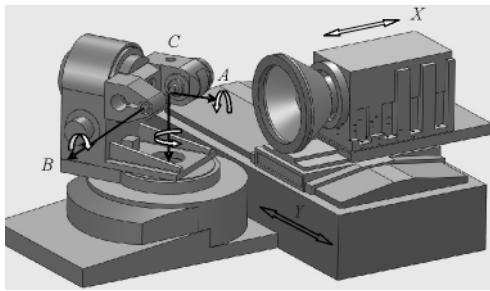


图 4 五轴数控工具磨床三维模型

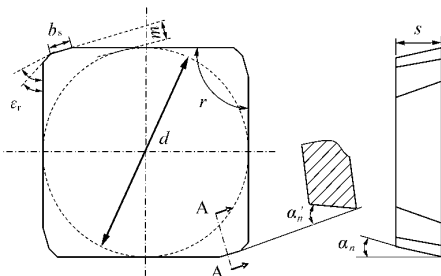


图 5 带修光刃正方形刀片参数图

表 1 带修光刃正方形刀片参数

几何参数	数值	几何参数	数值
$d$	12.7mm	$S$	4.76mm
$\epsilon_r$	90°	$L$	12.7mm
$\alpha_n$	11°	$\sigma$	37.5°
$m$	0.9mm	$k_r$	75°
$b_s$	1.4mm	$\alpha_n'$	15°

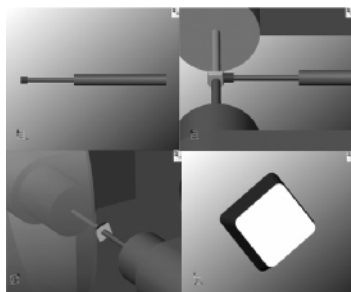


图 6 刀片磨削和在线测量仿真过程及结果

图 6 为可转位刀片在线测量和磨削仿真的过程及结果。在测头对刀片每边进行测量时,为防止测头因高速撞击被测工件而影响测量精度,需要对测头的检测速度进行控制,故测头的运动分两段进行。即在测头初始点与工件待测量点之间设定一减速点。测头从初始点以相对较高的速度靠近待测量点,进入减速点后测头减速并缓慢接近待测点,当测头与工件接触时测量系统便可获得测量点的位置信息。根据前述测量模型,只需对该正方形刀片大端面的三边进行测量,便可计算出内切圆半径  $r$  及装夹中心与工件中心的偏心距  $e$ 。

## 5 结语

本文关注了可转位刀片周边磨削整个加工工艺中的关键加工过程的虚拟实现技术。研究了刀片在线测量的数学模型以及虚拟机床加工环境的建立,在其基础上实现了可转位刀片的在线测量过程仿真与成型磨削仿真。有效地验证了加工代码的正确性,加工工件的过切、欠切情况以及加工过程中的机床干涉等问题,实现了测量过程的可视化。验证了课题组提出的可转位刀片加工工艺方案的正确性,为进一步在实体机床上实现可转位刀片的全自动加工提供了一个解决方案。

## 参考文献

[1]周济,周艳红. 数控加工技术[M]. 北京:国防工业出版社,2002.

[2]韩铁强,范亚平,韩铁平. 数控加工仿真技术研究[J]. 机械,2005(1):30-35.

[3]彭丽文. 可转位刀片周边数控工具磨床全自动控制技术[D]. 厦门:厦门大学硕士论文,2012.

[4]王媛媛,姚斌,张德云,等. 多线型组合平面刀具的自动编程磨削技术[J]. 工具技术,2010,43(3):48-50.

[5]郭成操. 图形仿真加工系统的研究与开发[D]. 成都:四川大学硕士论文,2003.

[6]Jae Hyunkim, Jung Whanpark, Tae Joko. End mill design and machining via cutting simulation[J]. Computer-Aided Design, 2008, 40: 324-333.

[7]Jack Sauls. Application of manufacturing simulation for screw compressor rotors[C]. Werner Soedel. Proceedings of the 2000 International Compressor Engineering Conference at Purdue, West Lafayette: Purdue University, 2000, 877-884.

[8]LU Rusheng, YAO Bin, Li Fei, YAO Boshi. Calculation of grinding wheel profile and 3d simulation for grinding screw rotor flute[J]. The 2010 International Conference on Manufacturing Science and Technology ICMST 2010, 2010, 236-239.

[9]张哲山,姚斌,陆如升,等. 五轴数控工具磨床的虚拟加工仿真技术研究[J]. 工具技术,2011(3):46-49.

[10]晁方,高艳红. NCSIMUL 在航空薄壁零件加工中的应用[J]. 航空制造技术,2009(12):99-101.

第一作者:曹翔,硕士研究生,厦门大学智能装备技术研究所,物理与机电工程学院,361005福建省厦门市  
First Author: Cao Xiang, Postgraduate, School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China