

五轴数控可转位刀片磨床 在线检测系统开发

朱健¹, 姚斌¹, 林祖文¹, 彭明军¹, 曹翔¹, 张政武²

(1. 厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005; 2. 陕西理工学院, 陕西 汉中 723003)

摘要: 五轴可转位刀片磨床具有高速、高精的特点, 为了使所磨的刀片符合精度要求, 需要针对刀片的尺寸开发一种在线检测系统。本文所介绍的在线检测系统主要由两方面构成: 一是在磨床数控系统中将测头伸缩时发出的电压信号转换为测量值; 二是建立刀片尺寸的加工模型。在线检测系统通过调用系统的测量宏程序, 获取刀片测量值, 将此测量值输入到加工模型中, 得到所加工刀片的指导尺寸。通过实验, 得到了刀片的指导尺寸和测量时间, 验证了此在线检测系统是可行并且可靠的。

关键词: 可转位刀片; 在线检测; 系统开发

中图分类号: TP274+.5

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1006-0316.2014.04.016

文章编号: 1006 - 0316 (2014) 04 - 0062 - 04

The development of online detecting system of five-axis CNC grinding machine for indexable insert

ZHU Jian¹, YAO Bin¹, LIN Zu-wen¹, PENG Ming-jun¹, CAO Xiang¹, ZHANG Zheng-wu²

(1. Dept. of Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Fujian 361005, China;

2. Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723003, China)

Abstract: The five-axis CNC grinder of indexable insert is characterized by high-speed and high-precision, in order to meet the accuracy requirements of grinding blades, needed an online detection system developed for the size of the blade. The online detection system described in this article consists of two aspects: First, the voltage signal that when the probe telescopes will be converted to the measured value; Second, establishing the process model of the blade size. The online detection system will get the blade measurements by calling the measure macro, then the measured value input into the process model, obtaining the guidance blade size. Through the experiment, verifying this online detection system is feasible and reliable by the obtained guidance blade size and the measuring time.

Key words: the indexable inserts; the online detecting; developed

在可转位刀片刃磨过程中, 为了高效、精
确实现可转位刀片加工过程的自动检测, 就需
要开发机床在线检测模块, 该技术使得刀片加

工与检测均在机床上完成, 避免了多次装夹、
重复误差及辅助时间长等问题。而且, 其检测
过程由数控程序来控制, 实现了检测的无人自

收稿日期: 2013 - 10 - 15

基金项目: 国家“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项资助(2010ZX04001 - 162)

作者简介: 朱健(1990 -), 男, 江苏扬州人, 硕士研究生, 主要研究方向为复杂曲面成形; 姚斌(1963 -), 河南洛阳人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为复杂曲面成形及其智能装备技术。

动化。更为重要的是，在刀片加工完成之前也可以对刀片进行在线测量，根据得到的数据计算出刀片毛坯尺寸与成品尺寸的差值，然后机床自动做出相应的磨削余量调整使得刀片再磨削后更加接近成品刀片尺寸，因此大大提高了刀片全自动智能化加工的质量。

1 测头的选择

根据五轴数控工具磨床的结构特点、可转位刀片的几何特征和磨削工艺要求，机床在线检测系统对刀片采用接触式的测量方法。本检测系统选用了德国 HEIDENHAIN SPECTO 3087 型号的接触式平头测头。测量触头长 5 mm，直径 4.8 mm，材料为硬质合金+涂层。图 1 为机床结构示意图，图 2 为测头位置示意图。

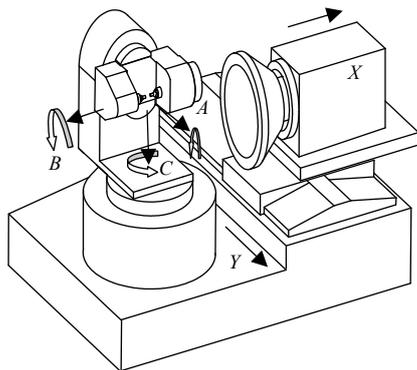


图 1 机床结构示意图

2 基于机床数控系统的在线检测系统开发

该在线检测系统是结合机床数控系统和测量系统完成的。开发思路：根据不同类型刀片的几何特征建立被测刀片的理论模型，通过对测量过程的控制，进行刀片的尺寸测量以及装夹位置偏心的测量，完成测量数据采集后，计算分析测量数据并将最终分析结果输入至磨削刀片的刀位计算模块中。

2.1 在线检测系统工作原理

本文所介绍的五轴联动数控工具磨床的在线检测系统主要由机床本体、数控系统、伺服系统、测头和计算机系统组成，系统结构如图 3 所示。本机床中，测头水平安装于 C 轴转台内，垂直于 B 轴轴线并与 A 轴轴线重合。此安装位置使得测量时测头轴线与刀片端面在同一平面内，完全符合阿贝测量原则。在线检测系统以数控系统为控制平台，实现测头自动测量控制，测量数据采集、分析和计算。

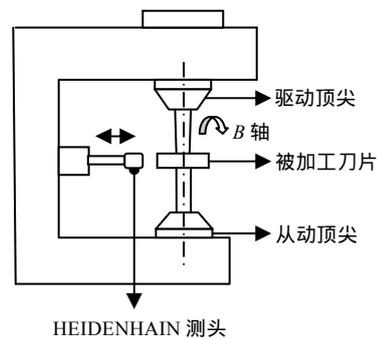


图 2 测头位置示意图

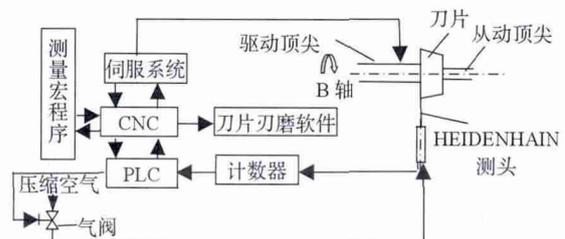


图 3 机床在线检测系统结构图

当机床在线检测系统开始工作时，数控系统按照测量宏程序控制 B 轴的驱动顶尖带动被测刀片旋转至测量位置后向 PLC 发出测量命令，此时 PLC 相应数字输出口有效，开启压缩空气的气阀，测量触头在压缩空气的驱动下向前伸出直至接触到被测刀片。在测头向前伸出的过程中，一直向系统计数器输出 1Vpp 正弦波电压信号，计数器对测头输出信号进行模数转换后由 PLC 对测量值进行读取。由于测量时测头处于运动状态，所以 PLC 读取的值是变化量，直到测头接触到刀片后所读值不再变化。为了确保测头接触刀片时候测量值的准确读

取，在 PLC 中对每次读到的测量值进行比较，其最大值便为测头与刀片接触时的测量值。将该测量值存储在系统的变量里（P 参数）以方便在整个测量工作结束后对测量结果的分析计算。将测头测量值存储在变量后，气阀关闭并打开排气阀，测头在内部拉簧的作用下回到初始位置。到此，测头对刀片周边第一边的测量结束，按顺序依次开始进行下一个测量动作，对刀片周边的第二边进行测量，其测量原理与测量第一边相同。在完成所有测量动作后，系统对所有测量数据进行分析计算，将最终计算结果输入到刀片刃磨软件中。

2.2 可转位刀片在线测量理论模型

由 SPECTO 3087 型接触式测头的测量原理可知，测头完成测量后得到的是直线位移量，所以需要对这些数据进行分析计算转换为可转位刀片的内切圆半径和刀片在顶尖夹具上的装夹位置的偏心距。计算结果的准确性对于刀片刃磨精度具有重要影响。因此，需要对测量过程进行详细规划，设计出最优测量方案。根据刀片形状的不同，可分为对可转位刀片周边进行三边测量或四边测量。为此，设计了如图 4 所示的正五边形刀片测量流程。

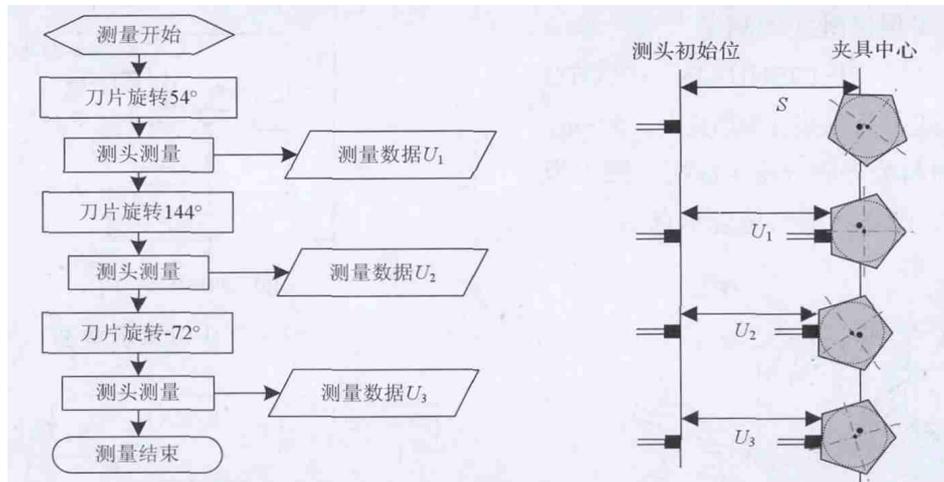


图 4 正五边形刀片测量流程图

由图 4 可以看出，在完成整个测量工作后，可以获得三组或四组测量数据。由这几组数据可计算出正五边形刀片的内切圆半径以及装夹中心与刀片几何中心的偏心距。由此建立了国标规定的十一种类型刀片的测量数学模型。为了确定刀片装夹后的精确位置，结合机床坐标，以夹具顶尖中心为原点 O ，建立了二维直角坐标系，如图 5 所示。

在右图中 l_1 、 l_2 和 l_3 分别为正五边形刀片被测第一边、第二边和第三边的直线， l_4 和 l_5 为刀片另两边。如图 4 所示，假设测头对每边的测量数据为 U_1 、 U_2 和 U_3 ，测头初始位到 B 轴轴线距离为 S ，则：

$$\overline{OA} = S - U_1 = a$$

$$\overline{OB} = S - U_2 = b$$

$$\overline{OC} = S - U_3 = c$$

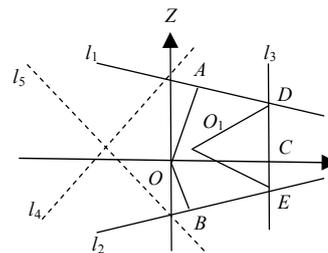


图 5 正五边形刀片装夹位置图

由正五边形几何特征可知：

$$\angle AOC = \angle BOC = \frac{360}{5} = 72^\circ$$

因此可求出 l_1 、 l_2 和 l_3 的直线方程为：

$$l_1 : z = -\cot 72^\circ x + \frac{a}{\sin 72^\circ} \tag{1}$$

$$l_2: z = \cot 72^\circ x - \frac{b}{\sin 72^\circ} \quad (2)$$

$$l_3: x = c \quad (3)$$

l_1 和 l_3 相交于 D 点, l_2 和 l_3 相交于 E 点, 则正五边形边长为:

$$\overline{DE} = \frac{a+b}{\sin 72^\circ} - 2c \cot 72^\circ \quad (4)$$

点 D 、 E 坐标可知, 即正五边形的 DE 边位置可知, 边长也已知, 则可确定正五边形刀片的几何中心 O_1 点坐标。由此可算出刀片的内切圆半径以及装夹中心与刀片几何中心的偏心距为:

$$r = \left(\frac{a+b}{2\sin 72^\circ} - c \cot 72^\circ \right) \cot 36^\circ \quad (5)$$

$$\Delta x = \left(\frac{a+b}{2\sin 72^\circ} - c \cot 72^\circ \right) \cot 36^\circ - c \quad (6)$$

$$\Delta z = \frac{a-b}{2\sin 72^\circ} \quad (7)$$

在实际检测过程中, 只需调用系统的测量宏程序, 即可完成测头对刀片尺寸的测量, 从而根据这些计算公式得到刀片的精确尺寸并在机床上显示出来。其他的正三角形、正方形等刀片的测量计算不再赘述。

3 实际验证

为了验证机床在线检测系统实际运行的可

行性以及测量数学模型的准确性, 需要在机床上对可转位刀片进行在线实测验证。

表 1 为多种可转位刀片测量数据表。由表 1 可以看出, 经过对多种类型刀片的实际测量, 机床在线测量结果与实际结果比较后最大误差为 $5 \mu\text{m}$, 刀片三边测量和刀片四边测量的整个测量过程用时分别为 24 s 和 29 s, 完全符合机床加工工艺要求。

4 结语

论文介绍了五轴数控工具磨床在线自动检测系统的开发, 该检测系统是合了机床数控系统和测量系统完成的, 通过测头测量、获取数据和结合数学理论模型计算, 最终得到刀片所需的内切圆直径。最后通过实际验证, 发现精度是符合要求的, 因此该系统是切实可行的。在高精度磨削领域, 能否获取精确的数据是非常关键的, 只有根据这些数据才能进行问题分析。通过该在线检测系统, 可以精确的获取这些数据, 从而有助于分析刀片磨削中所遇到的问题, 并找出相应的解决方案, 提高加工质量。因此该在线自动检测系统对实现高精度、高效率可转位刀片的全自动加工具有重大意义。

表 1 多种可转位刀片测量数据表

刀片类型	实际内切圆直径/mm	第一次测量/mm	第二次测量/mm	第三次测量/mm	用时/s
正三角形	12.7	12.7049	12.7021	12.6984	24
正四边形	14.75	14.7546	14.7538	14.7536	24
等边不等角形	9.525	9.5281	9.5236	9.5238	24
菱形	12.7	12.6968	12.7011	12.7036	29

参考文献:

[1]郭力, 李波, 刘大任, 等. 新世纪初机械制造业的发展趋势[J]. 精密制造与自动化, 2002, 150(4): 4-6.
[2]赵炳桢. 切削技术与刀具工业的新时代[J]. 工具技术, 2004(9): 24-27.
[3]张晓峰. 数控机床在线检测技术[J]. CAD/CAM 与制造业信息

化, 2005(12): 69-71.
[4]孙芳芳. 精密零件加工在线检测系统关键技术实现[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
[5]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, 2012.