

文章编号: 1006-4710(2015)04-0439-04

# 变位自转双平面研磨轨迹的研究与实验

刘清<sup>1,2</sup>, 张广鹏<sup>1</sup>, 黄玉美<sup>1</sup>, 陈磊<sup>1</sup>, 杨庆超<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048;

2. 陕西工业职业技术学院 数控工程学院, 陕西 咸阳 712000)

**摘要:** 以变位自转双平面研磨机为平台, 仿真下研磨盘三种基本运动情况下变位自转双平面研磨轨迹, 并进行了相应实验; 仿真和实验结果一致表明, 变位自转双平面研磨机具有良好的研磨轨迹和研磨效率。

**关键词:** 变位自转; 研磨; 轨迹; 仿真

**中图分类号:** TH112.5      **文献标志码:** A

## The dynamic simulation and experiment research on displacement-shift-rotation double-side plane lapping track

LIU Qing<sup>1,2</sup>, ZHANG Guangpeng<sup>1</sup>, HUANG Yumei<sup>1</sup>, CHEN Lei<sup>1</sup>, YANG Qingchao<sup>1</sup>

(1. Faculty of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Numerical Control Engineering College, Shaanxi Polytechnic Institute, Xianyang 712000, China)

**Abstract:** With the displacement-shift-rotation double-side plane lapping machine as the platform, Simulation is made of the displacement-shift-rotation double-side plane lapping trace or trajectory in the case of 3 kinds of the below lapping plate, and the corresponding experiments are carried out. The simulation and experiment results are found to be in agreement with the indication that the displacement shift rotation double side plane lapping machine is of good lapping trajectory and lapping efficiency.

**Key words:** displacement-shift-rotation; lapping; track; simulation

研磨是一种重要的精密、超精密加工技术, 几乎适合于各种材料的加工。目前我国仪器、机床、航空以及动力机械等行业的制造、装配和维修工作中应用非常广泛。研磨加工可以得到很高的表面精度, 而研磨装置却相对简单。研磨时, 工件和研具之间的相对运动, 直接影响工件的质量和效率, 直接影响纳米加工技术的推广应用。

目前国内新型研磨加工方法较少, 其中直线式、摇摆式、行星式等研磨方法均是在传统双轴式研磨方法的基础上, 通过增加或改变研磨机构, 合成新的研磨轨迹, 改善工件中心研磨轨迹变性差和表面研磨质量不均匀等问题<sup>[1-3]</sup>。但关键问题是, 增加的运动规律只能使工件与研具的中心距获得周期性的改变, 工件中心的研磨轨迹仍然存在周期性重复的缺点, 并不能从根本上消除时变性差的问题。同时, 增加研磨运动规律意味着研磨机构更加复杂, 使生

产制造及加工成本上升。

变位自转双平面研磨原理, 是指研磨加工过程中, 工件与研具(上、下研磨盘)之间除了具有自身的回转运动外, 其回转中心的相对位置(中心距)在整个加工过程中还将持续发生非周期性变化。本文在变位自转双平面研磨的基础上对三种研磨轨迹进行仿真和实验对比, 指出平面研磨轨迹选取的方向。

## 1 研磨轨迹基本要求

### 1.1 研磨轨迹

在研磨过程中, 研具和工件之间应该是处于弹性浮动状态, 不能受强制的机构控制, 以便保证工件的几何形状精度。所以研磨的精度不完全取决于研磨机的精度, 而主要在于研具、运动和操作方法。最理想的运动轨迹应该不重复, 具有时变性以使工件能够均匀地接触到研具表面的各处, 以利于研具的

收稿日期: 2014-12-31

基金项目: 陕西省教育厅重点实验室科研计划项目(14JS062)。

作者简介: 刘清, 男, 博士生, 研究方向为精密加工技术。E-mail: liuqing2007@126.com。

通讯作者: 张广鹏, 男, 教授, 博导, 研究方向为精密加工技术等。E-mail: gpzhang@xaut.edu.cn。

均匀磨损,有利于提高工件表面精度<sup>[4-6]</sup>。

### 1.2 研磨轨迹基本要求

经过多年研究,人们总结出了一些关于理想平面研磨运动轨迹曲线应满足的要求<sup>[4-11]</sup>,无论使用何种研磨方法都应使轨迹曲线尽可能的满足或接近如下要求。

- 1) 研磨运动轨迹的运动方向应该在每个瞬时都是不断改变的(研磨轨迹的时变性要求),以保证被研工件表面上获得均匀的无主导方向的研磨条纹,使研磨条纹交错多变,有利于降低表面粗糙度值。
- 2) 研磨运动轨迹应该是不重复的,使工件上任意一点的轨迹不出现周期性重复的情况。
- 3) 理想的研磨相对运动应是平面平行运动,并保证工件上各点有相同或相近的研磨最短行程。
- 4) 研磨运动应力求平稳,避免轨迹曲线出现曲率过大的转角。
- 5) 工件的运动轨迹(上述第二类轨迹)应遍及整个研磨盘表面,以利于研磨盘的均匀磨损,保证工件的平面度。

当研磨轨迹曲线更接近理想轨迹曲线要求时,便能获得更高的表面加工质量,换句话说,可以通过分析一种研磨方法的研磨运动轨迹曲线对这种加工方法的优劣进行评判,发现问题并提出改进方案,对加工质量进行预测。

## 2 变位自转双平面研磨轨迹分析

### 2.1 变位自转双平面研磨机理

变位自转双平面研磨加工机构如图 1 所示,研磨的主运动由上、下研磨盘的回转运动提供,同时 Z 轴电机驱动上研磨盘实现 Z 方向的进给运动,为研磨加工提供压力。隔离盘并不带动工件运动,与机床固定连接,在研磨加工中起限制工件运动范围的作用。工件放在下研磨盘上,并套装在隔离盘内,位置关系如图 2 所示。

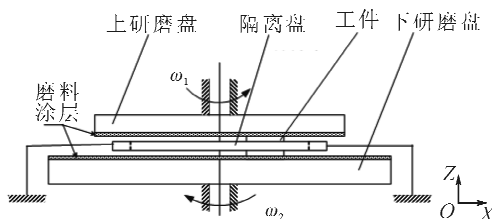


图 1 变位自转研磨机构

Fig. 1 Displacement-shift-rotation lapping mechanism

加工时,上、下研磨盘的回转运动在工件表面产生摩擦力矩,工件产生自转运动。下研磨盘除了回

转运动外,还在 X,Y 两个方向分别具有自由度,随着工作台在 X,Y 方向联动。

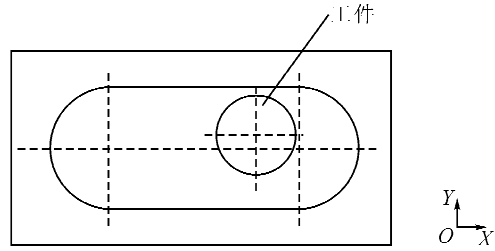


图 2 隔离盘与工件位置

Fig. 2 Position of isolation disk and workpiece

### 2.2 变位自转双平面研磨运动学仿真

通过 ADAMS 软件建立变位自转研磨机构的简易模型。通过定义约束、接触、载荷等关系,正确表达上、下研磨盘、工件及隔离盘之间的变位自转相对运动关系。

仿真初始条件:坐标原点设在上研磨盘中心,上研磨盘以 60 r/min 自转,下研磨盘以 -90 r/min 自转,研磨压力为 100 N,工件中心在 XY 平面的初始坐标为(5,0),仿真时间为 25 s。 $P_1$  为下研磨盘上一点,坐标为(0,20), $P_2$  为上研磨盘上一点,坐标为(0,10)。在下研磨盘上施加不同的运动轨迹,仿真研磨轨迹。

#### 1) 下研磨盘直线往复式轨迹

设下研磨盘在 XY 平面内的直线轨迹为:

$$\begin{cases} x(t) = t & t \in [0, 25) \\ y(t) = 2t & t \in [0, 5) \\ y(t) = 10 - 2(t - 5) & t \in [5, 15) \\ y(t) = -10 + 2(t - 15) & t \in [15, 25) \end{cases}$$

#### 2) 下研磨盘正弦曲线式轨迹

设下研磨盘在 XY 平面内的正弦轨迹为:

$$\begin{cases} x = t \\ y = \sin(2t) \end{cases}$$

#### 3) 下研磨盘平面螺旋线轨迹

根据螺旋线的成型原理可得螺旋线的形成方程为:

$$\begin{cases} x(t) = a \cos(t) + r \cos[(1 + \frac{v}{u})t] \\ y(t) = a \sin(t) + r \sin[(1 + \frac{v}{u})t] \end{cases}$$

令  $a = 10 \text{ cm}$ ,  $r = 5 \text{ cm}$ ,  $v/u = 1.5$ ,则下研磨盘的运动轨迹为:

$$\begin{cases} x(t) = 10 \cos(t) + 5 \cos(2.5t) \\ y(t) = 10 \sin(t) + 5 \sin(2.5t) \end{cases}$$

根据理想研磨运动轨迹曲线的要求,分析表 1、表 2 所对应三种研磨盘运动产生的研磨轨迹可知:

1) 变位自转双平面研磨轨迹的时变性较好,不重复,运动平稳;

生的研磨轨迹相对直线往复、正弦曲线产生的研磨轨迹好。

2) 下研磨盘在平面螺旋线运动控制方式下产

表 1 在三种运动控制下下研磨盘上一点  $P_1$  在 X、Y 方向上的运动轨迹

Tab. 1 The  $P_1$  movement trajectory on the under lapping plate on X and Y direction under 3 kinds of control condition

序号	下研磨盘的运动方程	下研磨盘上点 $P_1$ 的运动轨迹	
		在 X 方向位移	在 Y 方向位移
1	$\begin{cases} x(t) = t & t \in [0, 25) \\ y(t) = 2t & t \in [0, 5) \\ y(t) = 10 - 2(t - 5) & t \in [5, 15) \\ y(t) = -10 + 2(t - 15) & t \in [15, 25) \end{cases}$		
2	$\begin{cases} x = t \\ y = \sin(2t) \end{cases}$		
3	$\begin{cases} x(t) = 10\cos(t) + 5\cos(2.5t) \\ y(t) = 10\sin(t) + 5\sin(2.5t) \end{cases}$		

表 2 在三种运动控制下上研磨盘上一点  $P_2$  在 X、Y 方向上的运动轨迹

Tab. 2 The  $P_2$  movement trajectory on the up lapping plate on X and Y direction under 3 kinds of control condition

序号	下研磨盘的运动方程	上研磨盘上点 $P_2$ 的运动轨迹	
		在 X 方向位移	在 Y 方向位移
1	$\begin{cases} x(t) = t & t \in [0, 25) \\ y(t) = 2t & t \in [0, 5) \\ y(t) = 10 - 2(t - 5) & t \in [5, 15) \\ y(t) = -10 + 2(t - 15) & t \in [15, 25) \end{cases}$		
2	$\begin{cases} x = t \\ y = \sin(2t) \end{cases}$		
3	$\begin{cases} x(t) = 10\cos(t) + 5\cos(2.5t) \\ y(t) = 10\sin(t) + 5\sin(2.5t) \end{cases}$		

### 3 变位自转双平面研磨加工实验

#### 3.1 实验条件

加工实验采用本研究所自主设计制造的固着磨料变位自转 5 轴数控平面研磨机床实验平台,机床实物如图 3 所示。

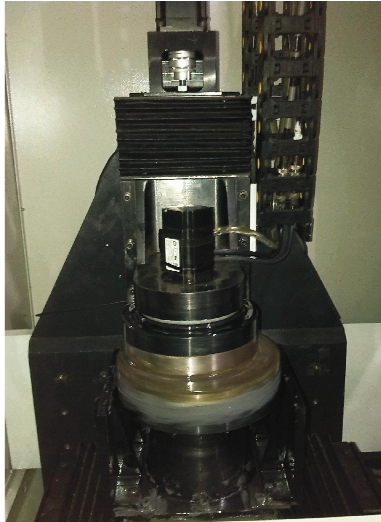


图 3 五轴平面研磨机床照片

Fig. 3 Picture of five-axis lapping machine tool

研磨液为 Castrol Honilo981 油性磨削液;试件材料为 Cr12,热处理后表面硬度为 HRC50~55,尺寸为  $\Phi 40 \times 20$  mm 的圆柱形棒料,外观如图 4 所示。

研磨压力为 0.298 MPa,上、下研磨盘转速分别为 18 r/min 和 -48 r/min,研磨盘磨料采用 CBN 材料,磨料粒度为 W3~6,浓度 100%,气孔率 16%,研磨前的试件见图 4。

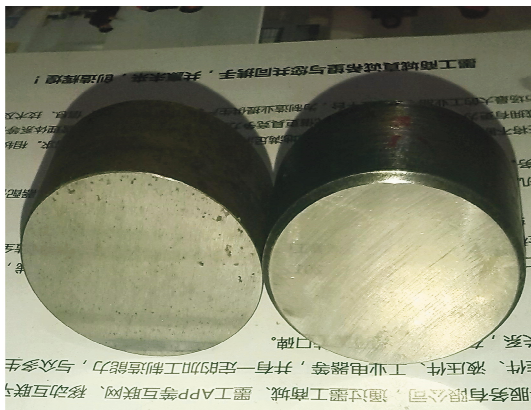


图 4 研磨前试件

Fig. 4 The test piece before lapping

#### 3.2 实验步骤

1) 将 Z 轴电机调至扭矩模式,完成电机的 PID

参数调试;

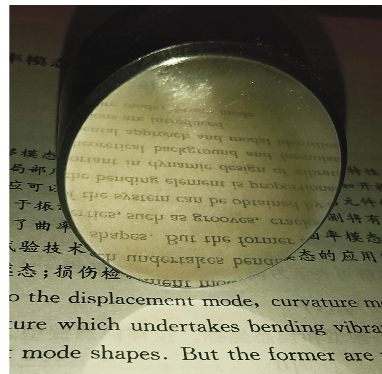
2) 根据扭矩与研磨压力实验测定的函数关系式,将所需研磨压力换算为扭矩值,在数控系统中进行 Z 轴电机扭矩的设置;

3) 设置采集仪,监测 Z 轴扭矩;

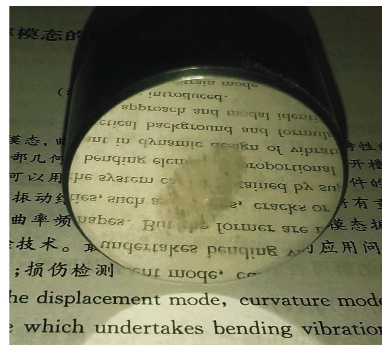
4) 执行程序,开始研磨加工。

#### 3.3 实验结果

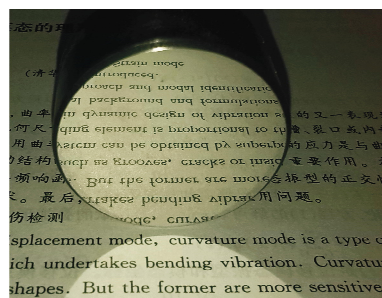
在仿真的基础上,根据对应的条件,选用同等的 3 个试件进行研磨。稿纸上的字在研磨件表面被反映的清晰程度如图 5 所示。由图 5 可看出,下研磨盘采用平面螺旋线研磨的效果最好。



(a) 直线模式效果



(b) 正弦运动模式效果



(c) 平面螺旋线模式效果

图 5 下研磨盘在 3 种模式下的研磨效果  
Fig. 5 The results of lapping under 3 kinds of conditions motion of under lapping plate

(下转第 453 页)

1896.

Chen Cunli, Hu Zaiqiang, Gao Peng. Research on relationship between structure and deformation property of intact loess [J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27 (11): 1891-1896.

- [6] 陈存礼, 高鹏, 胡再强. 黄土的增湿变形特性及其与结构性的关系[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(7): 1352-1360.

Chen Cunli, Gao Peng, Hu Zaiqiang. Moistening deformation characteristic of loess and its relation to structure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(7): 1352-1360.

- [7] 夏旺民. 黄土弹塑性损伤本构模型及工程应用研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2005.

Xia Wangmin. The elasto-plastic damage constitutive model of loess and its engineering application [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2005.

- [8] 冯志焱. 非饱和黄土结构性量化参数与结构性本构关系研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2008.

Feng Zhiyan. Research on soil structural parameters and structural constitutive model of unsaturated loess[D]. Xi'

an: Xi'an University of Technology, 2008.

- [9] 冯志焱, 谢定义. 复杂加载条件下原状黄土结构性量化参数变化全过程分析[J]. 西安理工大学学报, 2009, 25(1): 72-75.

Feng Zhiyan, Xie Dingyi. Quantitative analysis of soil structure variations in whole process under complex loading conditions of intact loess[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2009, 25(1): 72-75.

- [10] 邵生俊, 郑文, 王正泓, 等. 黄土的构度指标及其试验确定方法[J]. 岩土力学, 2010, 31(1): 15-20.

Shao Shengjun, Zheng Wen, Wang Zhenghong, et al. Structural index of loess and its testing method[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(1): 15-20.

- [11] 邵生俊, 王丽琴, 陶虎, 等. 黄土的构度及其与粒度、密度、湿度之间的关系[J]. 岩土工程学报, 2014, 36(8): 1387-1393.

Shao Shengjun, Wang Liqin, Tao Hu, et al. Structural index of loess and its relation with granularity, density and humidity[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, 36(8): 1387-1393.

(责任编辑 周蓓)

(上接第 442 页)

## 4 结 论

变位自转双平面研磨机是在克服双轴式、直线式、行星式双平面等研磨原理缺陷的基础上设计的一种研磨机床。通过对变位自转双平面研磨机研磨轨迹仿真和实验对比可知:①变位自转双平面研磨机从原理和机构上克服了传统研磨机的诸多缺点, 有较好的研磨轨迹和研磨效果;②相比较而言, 下研磨盘在平面螺旋线运动模式下的研磨轨迹好, 研磨质量高。

### 参考文献:

- [1] Zhang Zefang, Yan Weixia, Zhang Lei, et al. Effect of mechanical process parameters on friction behavior and material removal during sapphire chemical mechanical polishing[J]. Microelectronic Engineering, 2011, (88): 3020-3028.
- [2] Takei Yoshinori, Mimura Hidekazu. Effect of focusing flow on stationary spot machining properties in clastic e-

mission machining [J]. Nanoscale Research Letters, 2013, (8): 237-242.

- [3] Sidpara Ajay, Jain V K. Analysis of forces on the free-form surface in magnetorheological fluid based finishing process[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2013, (69): 1-10.

- [4] David A K. Precision fabrication and development of charging and testing methods of fixed-abrasive lapping plates[D]. Raleigh: North Carolina State University, 2003.

- [5] Zhang L, Tam H Y, Yuan C M, et al. An investigation of material removal in polishing with fixed abrasives[J]. Journal of Engineering Manufacture, 2002, 216 (1): 103-112.

- [6] Chiou Y C, Lcc R T, Yau C L. A novel method of composite electroplating on lap in lapping process[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2007, (47): 361-367.

(责任编辑 王卫勋)