

流体二维振动超光滑表面加工技术*

于兆勤 杨忠高 黄志刚 黄小舟 郭钟宁
(广东工业大学 广东 广州 510090)

摘要 针对超光滑表面的需求,提出了一种基于流体二维振动的超光滑表面加工方法。该方法用流体代替传统的抛光盘,并附加二维振动作为抛光作用力对工件进行抛光,工件在流体中的缓慢复杂平面运动与流体的相对振动产生“冲击研磨”效应,通过实验证明了该方法的有效性。

关键词 超精密加工 超光滑表面 抛光 超声振动

Study on Ultra - smooth Surface Polishing Based on Liquid Two - dimension Vibration

YU Zhaoqin , YANG Zhonggao , HUANG Zhigang , HUANG Xiaozhou , GUO Zhongning
(Guangdong University of Technology ,Guangzhou 510090 , CHN)

Abstract In this paper , a novel polishing technique based on two - dimension vibration of fluid is put forward to obtain ultra - smooth surface. It uses a liquid to replace a polishing pad and supply two - dimension high - frequency vibration as a power of polishing. The impact and grinding effect can be produced by means of the vibration of fluid and the relative motion of workpiece. The experiments have proved that this polishing technique is feasible and efficient.

Keywords : Ultra - precision Machining ; Ultra - smooth Surface ; Polishing ; Ultrasonic Vibration

随着光学与微电子技术等的不断发展,对关键零件表面精度的要求越来越高,需要达到纳米甚至原子级。相应地,如何实现零件的超光滑表面已经成为精密加工的一个重要研究课题,越来越受到重视。近年来国内外的许多学者对高精度表面加工方法进行了研究,创造了很多新的超光滑表面抛光工艺。目前的超光滑表面制备方法,按材料的去除机理大致可分为以下几类:机械、化学、特种工艺和复合加工等方法^[1-2]。

(1)机械方法 机械抛光主要以抛光工具和磨料颗粒对工件进行加工,以达到材料去除的目的。多数机械超光滑抛光是由传统研磨抛光方法发展而来,如浴法抛光、浮法抛光、Teflon 抛光、P - MAC (Polishing Machine)法、延展性磨削以及冰盘抛光等。

(2)化学抛光 主要依靠材料间的化学作用达到加工的目的。目前关于超光滑化学抛光的研究主要包括湿式化学抛光、干式化学抛光、滑水板式抛光以及化学动力抛光等。

(3)特种抛光和复合抛光方法 在超光滑抛光加工中,由于涉及微观作用,而且材料去除量极少,一些非传统的加工手段在某些方面具有先天的优势,因此

越来越受到重视。很多研究人员对此进行了相关的研究,创造或改进了一些特种抛光技术,并利用多种原理的复合作用进行抛光。如中性离子束抛光、弹性发射加工 EEM (Elastic Emission Machining)、电泳磨削抛光、化学机械复合抛光等。

在传统的抛光中,抛光盘是一个关键的部件。抛光盘的表面精度对工件的抛光质量和精度有着直接的影响,因此对抛光盘的要求很高,同时其制作也很复杂,并且其表面精度不可能无限地提高,所以工件表面粗糙度值的减小也会受到限制。另外在抛光过程中,因为存在抛光盘的跳动以及外界的振动等因素,很难控制这些因素引起的抛光盘对工件的冲击,进而难以控制工件材料的去除量,最终会影响工件的表面质量。为此我们提出了一种新的超光滑表面加工方法——流体二维振动超光滑表面加工技术。

1 加工原理

在流体二维振动加工技术中,摒弃了传统抛光加工的抛光盘和抛光垫,以流体代替传统的抛光盘,并附加二维振动作为抛光作用力对工件进行抛光。工件在

* 国家自然科学基金 (No. 50375029)和广东省自然科学基金 (No. 04009486)资助项目

流体中的缓慢复杂平面运动与流体的相对振动产生“冲击研磨”效应,利用流体分子(或悬浮在流体中的微细粒子)和工件原子(分子)间的物理-化学作用完成材料去除。因为用流体取代了抛光垫,消除了任何可能的机械接触损伤。由于液体的自适应性,可以极大地降低加工的控制难度,而且将加工与清洗合二为一有效防止工件表面污染,而对设备没有特殊的要求。在流体二维振动超光滑表面加工技术中,是利用超声装置使流体产生振动。超声波在液体介质中传播时,在界面上产生的强烈冲击和空化现象,强化了加工过程的进行。超声波发生器发出的高频振荡信号,通过换能器转换成高频机械振荡而传播到液体介质中,在液体中,超声波以“纵波”模式在工作液中疏密相间地向前辐射,会使液体流动而产生数以万计的微小气泡。这些气泡在超声波纵向传播形成的负压区形成、生长,而在正压区迅速闭合(破裂),这种现象称为“空化效应”。超声波的气泡闭合(破裂)时最大可形成超过1000个气压的瞬间高压,这种由无数细小的空化气泡破裂而连续不断地产生瞬间高压的脉冲冲击波不断地冲击工件表面,从而有利于加工的进行。

为了提高加工效率,加工时可在工作液中加入适当比例的精细磨料。水平方向和垂直方向的二维高频振动能在工作液内形成稳定的振动场,使流体分子或微细磨料粒子能以一定的速度不断冲击工件表面,提供抛光作用力。这种高频振动也能降低工件表层原子的原子结合能,使材料更容易去除。另外超声振动可以破坏磨料微粒之间的键联,并有助于抛光时微细粒子在抛光液内的均匀混合。

2 加工装置及工作原理

加工设备是实现流体二维振动超光滑表面加工的基础,为此我们设计制作一个实验装置,其机构及工作原理如图1所示。

该装置由以下几部分组成:

(1)传动机构 该部分是由一套行星机构组成,由电动机通过减速器及行星机构带动工件安装盘作行星运动。由于工件是放在盛液槽中进行加工,而在液体中的超声强度并不是均匀的,为了使工件的运动尽可能复杂,保证工件表面加工的均匀一致,在加工时,将预加工好的工件固定在随行星轮同步运动的安装盘上,在盛液槽中作缓慢行星运动。电动机采用变频调

速电动机,可根据加工需要调整行星轮的转速。本装置工件加工时其转速在8~25 r/min范围内可调。

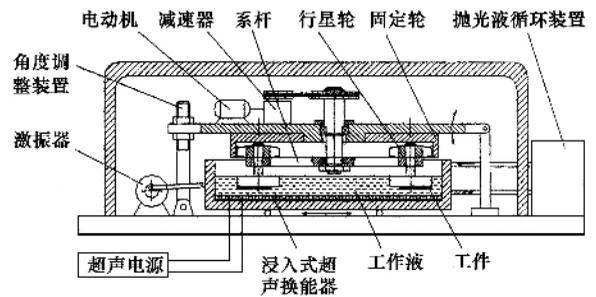
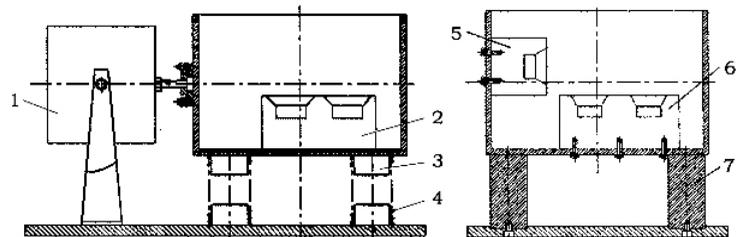


图1 加工原理图

(2)振源 这是本装置的核心部分,由它来实现二维流体振动。我们将二维振动方向设计成水平方向和垂直方向。在垂直方向施加超声振动,由位于工件下方的超声换能器提供,振动频率为20~40 kHz,振幅为几微米到十几微米可调。在水平方向施加振动方式有两种(图2),一种是与垂直方向相同的超声振动,另一种是高频振动,由左侧的激振器提供,振动频率为10~4000 Hz,振幅为0~5 mm可调。



1—激振器; 2、6—垂直振盘; 3—固定柱; 4—弹簧; 5—水平振盘; 7—支承柱。

图2 振源结构

(3)调整机构 为了适应不同尺寸的工件,本装置采用螺旋机构来完成工件的升降。通过对两个螺旋升降支撑进行调节,使其形成一定的高度差,从而使工件加工表面与水平面成一定微小的角度,通过改变这个角度,可以改变流体对工件表面的冲击角和剪切力。

3 实验研究

利用上述装置我们对硅片进行了实验研究。由于施加的是二维振动,在不同的振动参数时,流场的振动状态不同。当水平方向和垂直方向的振动频率一致时,则耦合后流场是稳定的;当振动频率不同时,耦合后的流场并不稳定,流场的振动状态会对抛光效果产生影响。同时工件的安装方式对加工表面质量有着很大的影响,是抛光加工中需要考虑的因素。我们分别在不同的流场状态下对工件采用水平安装方式和垂直

安装方式进行抛光实验。

首先在水平方向和垂直方向的压电陶瓷输入电压 220 V ,选择氧化铝磨料 (W0.5) 进行抛光实验。抛光液浓度为 6% ,抛光时间为 60 min。样件抛光加工后使用超声波清洗,然后在扫描电镜下观察加工后的样件表面。

图 3 为样件 1 采用水平安装方式抛光后的表面形貌的扫描电镜照片。可以看到,加工后工件表面存在凹坑等缺陷。图 4 为样件 2 采用垂直安装方式抛光后的表面形貌的扫描电镜照片。由照片可以观察到在垂直安装方式下,样件表面呈光滑形貌,没有出现凹坑和沟痕等缺陷。实验表明在稳定场中采用垂直安装方式可以获得较好的表面。

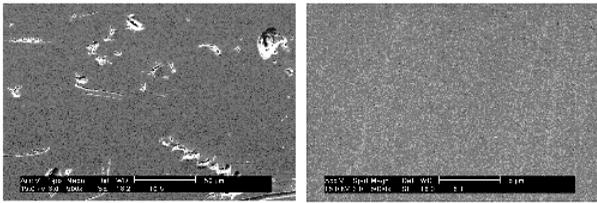


图3 样件1加工表面的SEM图 图4 样件2加工表面的SEM图

其次在水平方向输入电压为 220 V ,垂直方向输入电压 150 V ,其它条件同上。图 5 为样件 3 采用水平安装方式抛光后的表面形貌的扫描电镜照片。图 6 为样件 4 采用垂直安装方式抛光后的表面形貌的扫描电镜照片。从图中可以观察到,加工后工件表面存在不同程度的凹坑等缺陷。

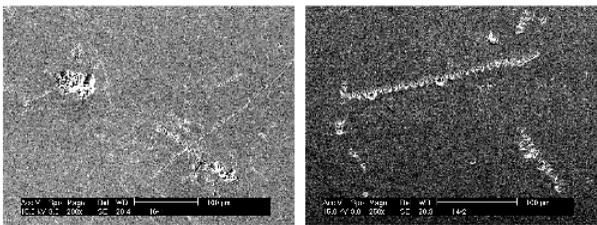


图5 样件3加工表面的SEM图 图6 样件4加工表面的SEM图

通过流场分析知道,在稳定场中,流体的轨迹与水平方向形成一个较大的夹角,抛光液在振动耦合作用下,在垂直方向的速度分量比较大,水平方向的速度比较小。当工件采用水平方式安装时,由于抛光液中磨料在垂直方向速度大,冲击能量也大,因此在磨料的不断撞击下,最终在工件表面形成凹坑等缺陷。而垂直安装方式中,水平方向的速度分量较小,磨料粒子对工件表面的撞击能量也比较小,其撞击能量并不能对工件表面产生破坏,而流体垂直方向的速度分量较大,且与工件表面相平行,通过不断的冲击能够把工件表面

突起的地方去除,最终得到光滑表面。

在非稳定场中,流体的轨迹随着时间不断地变化,因此对于水平安装和垂直安装方式,由于流体轨迹的复杂,使得不同时刻磨料粒子对工件的撞击角度不同,撞击的能量也是在不断变化,最终使得两种安装方式上面都发现了磨料撞击后形成的凹坑等缺陷。

可以看出,在稳定流场的情况下,工件采用垂直安装的方式,加工效果比较好。

图 7 和图 8 给出了加工后的表面轮廓曲线,从图中可以看出,通过采用该工艺方法进行加工,工件的表面粗糙度值减小。

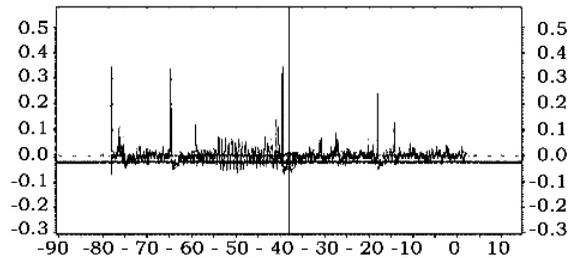


图7 加工前表面形貌

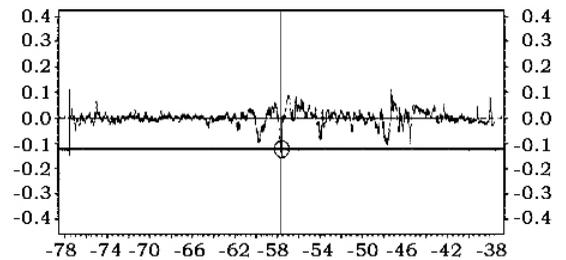


图8 加工后的表面形貌

4 结语

本文提出了一种新的获得超光滑表面的加工方法——流体二维振动超光滑表面加工技术,并对这种加工新技术进行了系统的介绍。通过实验结果表明,该方法具有较好的加工效果。该加工方法所涉及的影响因素很多,如振动频率、振幅、添加剂及比例、振动传递的方向等,所以还有很多需要探讨。通过我们不断地进行研究和探索,将会获得最佳的加工工艺。

参 考 文 献

- 1 高宏刚等. 超光滑表面及其制造技术的发展. 物理, 2000 (10) 610 ~ 614
- 2 李锡善, 戈鹤忠. 超光滑表面加工技术. 激光与光电子学进展, 1998 (11) 1 ~ 9

第一作者:于兆勤,男,1960年生,副教授,主要研究方向:超精密加工、CAD/CAM,发表论文 20 余篇。

(编辑 汪 艺) (收稿日期 2006-05-16)

文章编号 7530

如果您想发表对本文的看法,请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。