



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110370099 B

(45) 授权公告日 2021.01.29

(21) 申请号 201910462798.4

B24B 49/12 (2006.01)

(22) 申请日 2019.05.30

B24B 47/22 (2006.01)

B24B 47/20 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110370099 A

(43) 申请公布日 2019.10.25

(73) 专利权人 浙江工业大学

地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖六区

(72) 发明人 赵军 黄金锋 王睿 吕经国

(74) 专利代理机构 浙江千克知识产权代理有限公司 33246

代理人 吴辉辉

(56) 对比文件

CN 108581648 A, 2018.09.28

CN 104816203 A, 2015.08.05

CN 205342683 U, 2016.06.29

CN 101104244 A, 2008.01.16

CN 206614346 U, 2017.11.07

CN 1613605 A, 2005.05.11

CN 103042438 A, 2013.04.17

JP 2003048152 A, 2003.02.18

CN 105479275 A, 2016.04.13

CN 105364641 A, 2016.03.02

审查员 陈志红

(51) Int. Cl.

B24B 1/04 (2006.01)

B24B 1/00 (2006.01)

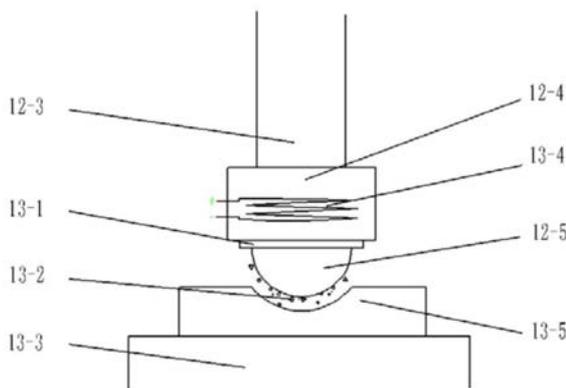
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法

(57) 摘要

本发明公开了旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法。通过导线线圈绕组在工具头前端产生强旋转磁场，旋转装置带动超声工具头高速水平旋转。通过高导磁材料铁镍合金球体将磁场约束在工具头前端，磁性磨粒被强磁吸附在铁镍合金球体表面，工具头接收给定的频率和振幅带动被约束在前端的铁镍合金球体高速高频振动，激发磁性磨粒将其发射出去冲击衬底材料，其间通过磁性磨粒对衬底材料的机械冲击、剪切、抛磨、加工液的空化现象和高速旋转的铁镍合金球体带动磁性磨粒对衬底材料的多级研抛作用去除材料，获得理想几何性质的微半球凹模阵列。本发明能够快速批量制备高形状精度、高表面质量的半球体凹模。



1. 一种旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法,其特征在于:包括研抛模平台,所述研抛模平台包括:换能器、旋转超声磁力工具头、变幅杆、定位基板、镀层铁镍合金球体、工件,换能器连接高频可调超声发射装置,变幅杆上装有可拆卸式旋转超声磁力工具头,所述镀层铁镍合金球体尺寸小于固定基板通孔直径且能够将镀层铁镍合金球体嵌入其中,固定基板和镀层铁镍合金球体间充满粘结剂,镀层铁镍合金球体被固定于工具头前端;

通过导电线圈绕组在工具头前端产生强旋转磁场,旋转装置带动超声工具头高速水平旋转,镀层铁镍合金球体将磁场约束在工具头前端,磁性磨粒被强磁吸附在镀层铁镍合金球体表面,工具头接收给定的频率和振幅带动被约束在前端的镀层铁镍合金球体高速高频振动,激发磁性磨粒将其发射出去冲击工件材料,通过磁性磨粒对衬底材料的机械冲击、剪切、抛磨、加工液的空化现象去除材料,获得微半球凹模阵列;

所述镀层铁镍合金球体为软磁材料表面CVD沉积有超硬耐磨陶瓷材料的球体。

2. 如权利要求1所述的一种旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法,其特征在于,使用软磁材料将线圈绕组产生的强磁场约束在镀层铁镍合金球体内部,将镀层铁镍合金球体产生强磁性吸附磁性磨粒于表面,使磁性磨粒包覆镀层铁镍合金球体。

3. 如权利要求1所述的一种旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法,其特征在于,使用可拆卸式旋转工具头,通过旋转装置中的线圈绕组带动变幅杆在水平基面上转动,同时轴向限位装置稳定旋转装置的变幅杆在竖直方向上不产生除超声振动外的抖动。

4. 如权利要求1所述的一种旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法,其特征在于,磁性磨粒在旋转磁场中呈圆周分布,同时镀层铁镍合金球体旋转方向与圆周方向一致。

5. 如权利要求1所述的一种旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法,其特征在于,所述镀层铁镍合金球体镀层硬度>磁性磨粒硬度>衬底材料硬度。

旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及超精密加工领域,尤其涉及旋转超声加工结合磁力研磨加工 微半球凹模阵列的方法。

背景技术

[0002] 半球谐振陀螺(Hemispherical Resonator Gyro,简称HRG),是利用半 球谐振子 在高频振动时产生的哥氏效应制成的一种角运动检测装置。因为不同于机械转子在高速 转动时动量矩对空间位置产生的变化的 原理,HRG能够极大的减小陀螺体积,且具有较强的 抗冲击能力。具有精度高、体积小、可靠度高、寿命长、低功耗、启动时间短、断 电后能继续工作15Min的特性,在与MEMS(微机电系统)技术结合起 来,制备成的微半球谐振陀螺技术(μ HRG)被广泛的运用在航天航 空,国防军工上,是导弹、航空器等飞行单位惯性测量单元和姿态稳 定控制的关键部件。

[0003] 目前高精度高质量的HRG的主要被美国、法国和俄罗斯所垄断。因为半 球谐振陀 螺的品质因数对振子的几何物理精度上具有很高要求,目前的HRG 谐振子制造方法都是首 先获得一个高回转精度和高表面质量的半球凹模,然后 利用各种沉积方法在凹模表面沉 积出一个半球空腔,再经过一系列工步,最终 实现谐振子的装配。目前技术的难点在于获 得高回转精度和高表面质量的半球 凹模,国际上现有的在硬脆材料上加工半球凹模的传 统加工方法主要有:微电 火花加工,高能束加工,超声加工等。

[0004] 微电火花加工(Electro Discharge Meching,EDM),是利用两极间高强度火 花放 电的电蚀现象来蚀除材料的方法。高能束加工,常用的如激光加工,利用 产生的高温使非 金属硬脆材料表面融化气化并伴随爆炸来达到去除材料的目 的。传统的超声加工又称悬 浮磨粒超声冲击加工,利用超声的高能冲击磨粒对 材料进行机械去除。他们在加工半球凹 模时都要致命的缺点,微电火花加工效 率低,又难以获得较好的形状精度;激光加工还会 使材料热应力集中,产生裂 纹和热变形,影响加工形状精度和表面质量。超声加工中工具 头磨损严重,加 工效率低且加工硬脆材料时加工表面常会出现“崩豁”现象,严重影响加工 表 面质量。

发明内容

[0005] 本发明的旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法,能够 克服传 统微细加工的的缺点,高效率批量制备更高表面质量,更高形状精度的 半球凹模阵列。

[0006] 为了实现以上目的,本发明采用以下技术方案:

[0007] 一种旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的方法,包括研抛模 平台, 所述研抛模平台包括:换能器、旋转超声磁力工具头、变幅杆、定位基 板、镀层铁镍合金铁 镍合金球体、工件,换能器连接高频可调超声发射装置, 变幅杆上装有可拆卸式旋转超声 磁力工具头,所述镀层铁镍合金铁镍合金球体 尺寸小于固定基板通孔直径且能够将铁镍 合金球体嵌入其中,固定基板和铁镍 合金球体间充满粘结剂,铁镍合金球体被固定于工具

头前端；

[0008] 通过导电线圈绕组在工具头前端产生强旋转磁场，旋转装置带动超声工具头高速水平旋转，高导磁材料铁镍合金球体将磁场约束在工具头前端，磁性磨粒被强磁吸附在铁镍合金球体表面，工具头接收给定的频率和振幅带动被约束在前端的铁镍合金球体高速高频振动，激发磁性磨粒将其发射出去冲击工件材料，通过磁性磨粒对衬底材料的机械冲击、剪切、抛磨、加工液的空化现象去除材料，获得微半球凹模阵列。

[0009] 进一步的，使用软磁材料将线圈绕组产生的强磁场约束在铁镍合金球体内，将铁镍合金球体产生强磁性吸附磁性磨粒于表面，使磁性磨粒包覆铁镍合金球体。

[0010] 进一步的，使用可拆卸式旋转工具头，通过旋转装置中的线圈绕组带动变幅杆在水平基面上转动，同时轴向限位装置稳定旋转装置的变幅杆在竖直方向上不产生除超声振动外的抖动。

[0011] 进一步的，所述铁镍合金球体为软磁材料表面CVD沉积有超硬耐磨陶瓷材料的球体。

[0012] 进一步的，磁性磨粒在旋转磁场中呈圆周分布，同时铁镍合金球体旋转方向与圆周方向一致。能够获得更好圆度和表面质量的半球凹模。

[0013] 进一步的，在工具头旁设置有工业摄像头，工业摄像头捕捉工具头前端铁镍合金球体位置，当Z向滑台带动工具头前端铁镍合金球体到达工件表面上方1mm，控制中心发射信号控制Z轴电机停止向下进给，工具头到达加工位置。与此同时，工具头上的励磁线圈绕组在控制中心的控制下通电，产生强磁场，吸附滴加在衬底材料上的磁性磨粒。

[0014] 进一步，到达加工位置的超声工具头以一定速率旋转，同时变幅杆带动工具头前端的铁镍合金球体边旋转边做超声震动，激发磁性磨粒冲击衬底材料，伴随超声空化、磁性磨粒剪切、锤击，实现微半球凹模的材料去除。随着二级精密平台的微小向下进给，逐渐实现半球凹模的加工。

[0015] 进一步的，工业摄像头捕捉铁镍合金球体的位置，停止二级平台的进给，同时减小超声发生器的频率的振幅，实现前一阶段为加工速率较快的脆性破坏转变为后一阶段的加工速率较慢的塑性加工。前一阶段克服了超声加工速度慢的缺点，实现对衬底材料的粗加工，得到一个具有一定形状精度但表面质量不佳的半球凹模。后一阶段实现对半球凹模的精加工，利用脆性材料塑性加工的原理能在微量去除量的条件下，显著降低在加工过程中对硬脆材料（单晶硅）的表面破坏，减少其裂纹数量和规模，由此得到更好的表面粗糙度。

[0016] 进一步的，所述旋转超声磁力工具头能在超声震动的同时径向高速旋转，两个方向共同作用，可及时排除碎屑，避免碎屑划伤已加工表面，提高加工效率和加工精度。同时，因为超声加工中的回转运动的存在，能够保证微半球凹模能有较好的圆度

[0017] 进一步的，所述铁镍合金球体为软磁材料（铁镍合金、铁硅合金、铁钴合金等）表面镀或CVD沉积超硬耐磨陶瓷材料。能够约束强磁场并且不易被磁性磨粒磨损。所述磁性磨粒为铁磁相固结硬质相形成的复合相磨粒，能够被磁化并能受到足够强的磁场力作用，其表面有散布许多硬的质点颗粒作为剪切研磨相。

[0018] 进一步的，所述铁镍合金球体镀层硬度>磁性磨粒硬度>衬底材料硬度。

[0019] 采用本发明技术方案，本发明的有益效果为：与现有技术相比，本发明用线圈绕

组产生的强磁场控制磁性磨粒的分布,使其依附于铁镍合金球体表面,提高超声加工的精度和质量,通过控制工具头旋转转速和超声频率实现分级多域可控,缩短加工时间,提高加工表面质量,在此之上该方法能够低成本批量制造半球凹模。对半球谐振子的批量制造、降低制造成本具有重大意义。

附图说明

- [0020] 图1是本发明提供的一种超声研抛实验台结构图。
[0021] 图2是本发明提供的一种旋转超声工具头组结构图。
[0022] 图3是本发明提供的一种化学-超声去除法批量制备微半球球壳方法的原理图。
[0023] 图4是本发明提供的磨抛液制备原理图。

具体实施方式

[0024] 结合附图对本发明具体方案具体实施例作进一步的阐述。

[0025] 如图所示,一种旋转超声加工结合磁力研磨制备微半球凹模阵列的装置,所述研抛模平台包括Z向进给滑台1、大理石机架2、X进给滑台3、研抛模底座4、控制中心(普通PC机)5、Z向精密二级平台6、工具头组7、工业用摄像头8、水平工作台9、y向进给滑台10、超声发生装置11。所述工具头组7包括工具头夹具7-1,旋转超声磁力工具头7-2又可分为换能器12-1、旋转装置12-2、变幅杆12-3、磁场装置12-4、定位基板13-2、铁镍合金球体12-5。

[0026] 所述Z向进给滑台1通过螺栓固定于大理石机架2的顶端中央,Z向进给滑台1能够实现Z向快速进给,Z向二级精密平台6通过螺钉固定于Z向进给滑台1上,能够随着Z向进给滑台1移动的同时,实现精密的二级Z向进给,主要负责加工时的进给,其精度能够达到 $1\mu\text{m}$,保证加工精度。工具头夹具7-1被螺钉固定于Z向二级精密平台6上,超声工具头7-2通过台阶和螺钉与工具头夹具7-1固定。所述超声工具头7-2包括换能器12-1、旋转装置12-2、变幅杆12-3、磁场装置12-4、铁镍合金球体12-5。换能器12-1接受来自超声发生装置11的高频电流脉冲,与变幅杆12-3共同作用,将电流脉冲转换成高频的机械振动,带动被固结于变幅杆12-3上的旋转装置12-2、固定基板13-2和铁镍合金球体12-5高频纵向振动。变幅杆12-3和换能器12-1通过旋转装置12-2间接连接,能够保证超声振动传导的同时实现旋转运动。所述固定基板13-2上打有光滑通孔,尺寸略小于铁镍合金球体12-5,能够将铁镍合金球体12-5嵌入其中,固定基板13-2和铁镍合金球体12-5间充满粘结剂,铁镍合金球体12-5被固定于旋转超声磁力工具头7-2的前端。

[0027] 所述定位基板13-1上打有光滑通孔,尺寸略小于铁镍合金球体12-5,能够将铁镍合金球体12-5嵌入其中,定位基板13-1和铁镍合金球体12-5间充满粘结剂,铁镍合金球体12-5被固定于变幅杆12-3前端。固定铁镍合金球体12-5的时候先将旋转工具头7-2固定然后将其嵌入涂满粘接剂的定位基板13-1内,接着通过调整Z向工作平台1向下进给,直到所有铁镍合金球体12-5接触大理石调水平装置13-3,大理石调水平装置13-3安装于水平工作台9上,等到粘结剂凝固后得到水平度完全高度一致的工具头组件。(各铁镍合金球体下表面接触点的垂直距离误差 $<3\mu\text{m}$)。

[0028] 加工原理如图4旋转超声加工结合磁力研磨加工微半球凹模阵列的原理图所示,变幅杆13-1前端装有磁力装置12-4,磁力装置中装有励磁线圈绕组13-4,固定基板13-1通

过螺钉被固定于磁力装置12-4上,当励磁线圈12-4 通电后能够产生强大旋转磁场,通过高导磁材料铁镍合金球体12-5将磁场约束在工具头前端,磁性磨粒13-2被强磁吸附在铁镍合金球体12-5表面。因为变幅杆12-3带动铁镍合金球体做高频振动和高速旋转运动,高频振动的铁镍合金球体12-5撞击被吸附的磁性磨粒13-2并将其激发,利用磁性磨粒13-2对工件13-5的机械冲击、剪切、抛磨、加工液的空化现象和高速旋转的铁镍合金球体带动磁性磨粒13-2对工件的研抛作用去除材料。

[0029] 所述铁镍合金球体12-5为软磁材料(铁镍合金、铁硅合金、铁钴合金等)表面CVD沉积有超硬耐磨陶瓷材料的球体。使用软磁材料将线圈绕组产生的强磁场约束在铁镍合金球体内部,将铁镍合金球体产生强磁性吸附磁性磨粒于表面,使磁性磨粒包覆铁镍合金球体。能够约束强磁场并且不易被磁性磨粒磨损。所述磁性磨粒为铁磁相固结硬质相形成的复合相磨粒,能够被磁化并受到够强的磁场力作用,其表面有散布许多硬的质点颗粒作为剪切研磨相。因为在半球空腔在沉积的过程中对半球凹模对圆经线方向的粗糙度的要求远远大于纬线方向的粗糙度,磁性磨粒在旋转磁场中呈圆周分布,能够极大的降低呈经线方向的切削损伤,提高半球凹模的沉积质量。

[0030] 未解决工具头前端铁镍合金球体12-5在加工过程中产生的磨损问题,采用高硬度和高耐磨性的陶瓷材料作为铁镍合金球体的材料,具体硬度MOHS陶瓷镀层>MOHS磁性磨粒磨粒>MOHS工件。

[0031] 本发明包括以下步骤,

[0032] 超声发生装置产生电流脉冲传递到换能器12-1,其将高频电脉冲转换成高频震动,频率为20kHz-50kHz,幅度为20 μ m-50 μ m。通过振幅和频率控制磨粒的能量,实现前一阶段为加工速率较快的脆性破坏。

[0033] 传递到变幅杆12-3上带动被固定于工具头前端的铁镍合金球体12-5高频振动。同时旋转装置12-2带动变幅杆12-3高速转动,使得旋转超声磁力工具头7-2在高频超声震荡的同时高速转动。

[0034] 工业摄像机8捉工具头组7前端铁镍合金球体11-2离工件表面13-5的距离,将其传递到控制中心5,控制中心5控制Z向工作滑台向下进给,当铁镍合金球体11-2到达工件表面13-5上方1-2mm时Z向工作滑台1停止进给。这时磁场装置12-4上的励磁线圈绕组13-4在控制中心的控制下通电,产生强磁场,控制中心5控制二级精密工作平台6以微小进给向下运动(10 μ m/s),带强磁场的铁镍合金球体12-5吸附滴加在工件表面13-5上的磁性磨粒13-2,同时高频振动的铁镍合金球体12-5激发吸附在铁镍合金球体表面的磁性磨粒对衬底材料的机械冲击、剪切、抛磨、加工液的空化现象和高速旋转的铁镍合金球体12-5带动磨粒对衬底材料的研抛作用去除材料。

[0035] 通过超声加工的多域可控法,通过控制中心5控制超声发生装置11的电脉冲,使得旋转超声磁力工具头的振幅为1 μ m-4 μ m,频率为6kHz-10kHz,具体振幅大小取决于发射球体的质量以及磨粒的平均粒径、质量和硬度,实现前一阶段为加工速率较快的脆性破坏,后一阶段为加工速率较慢的塑性加工。前一阶段克服了超声加工速度慢的缺点,实现对衬底材料的粗加工,得到一个具有一定形状精度但表面质量不佳的半球凹模。后一阶段实现对半球凹模的精加工,利用脆性材料塑性加工的原理能在微量去除量的条件下,显著降低在加工过程中对(工件)硬脆材料的表面破坏、豁崩等等,减少其裂纹的数量和规模,

由此得到更好的表面粗糙度。

[0036] 当工业摄像机8捕捉到铁镍合金球体12-5到达加工结束位置的时候,控制中心5控制其停止进给的同时关闭工具头7-2的超声震荡,依靠旋转运动带动磁性磨粒13-2对工具表面13-6进行柔性材料去除,通过多级研磨进一步减小半球凹模表面的表面粗糙度($Sa < 20nm$),最后控制中心控制精密二级平台上升,完成半球凹模阵列的加工。

[0037] 本发明方法加工的零件表面粗糙度和传统电火花加工零件的表面粗糙度对比如表1所示,芬顿效应下的微超声加工法所加工的半球凹模表面质量远远优于微电火花加工法所加工的半球凹模。

| | Sa1 | Sa2 | Sa3 | Sa4 | Sa4 | 平均 Sa |
|----------------|------|------|------|------|------|--------|
| [0038] 微电火花加工法 | 75nm | 96nm | 86nm | 93nm | 72nm | 68.4nm |
| 旋转超声加工结合磁力研磨加工 | 21nm | 16nm | 17nm | 14nm | 15nm | 16.6nm |

[0039] 表1

[0040] 注意,上述仅为本发明的较佳实施例及所运用技术原理。本领域技术人员会理解,本发明不限于这里所述的特定实施例,对本领域技术人员来说能够进行各种明显的变化、重新调整和替代而不会脱离本发明的保护范围。因此,虽然通过以上实施例对本发明进行了较为详细的说明,但是本发明不仅仅限于以上实施例,在不脱离本发明构思的情况下,还可以包括更多其他等效实施例,而本发明的范围由所附的权利要求范围决定。

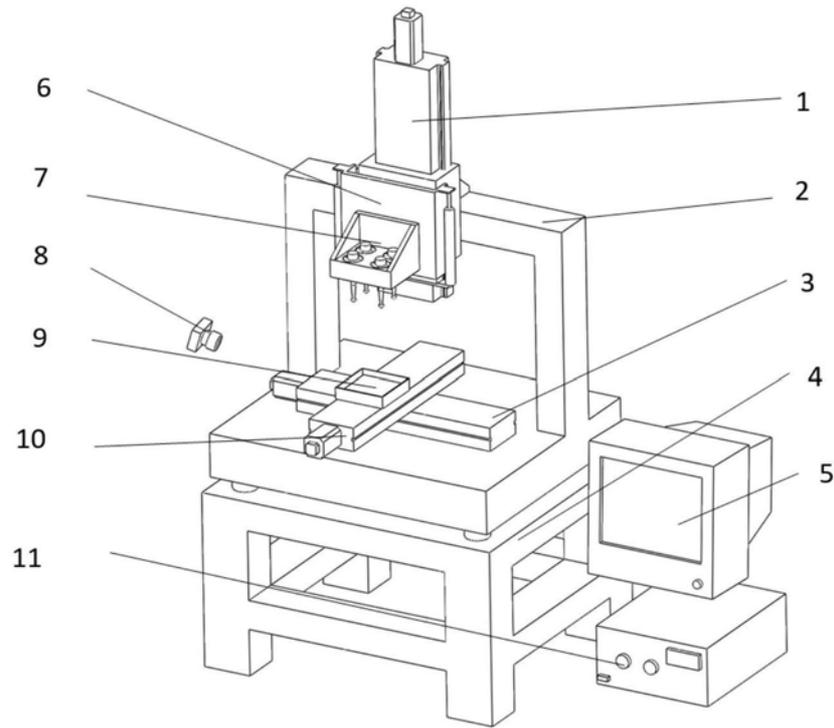


图1

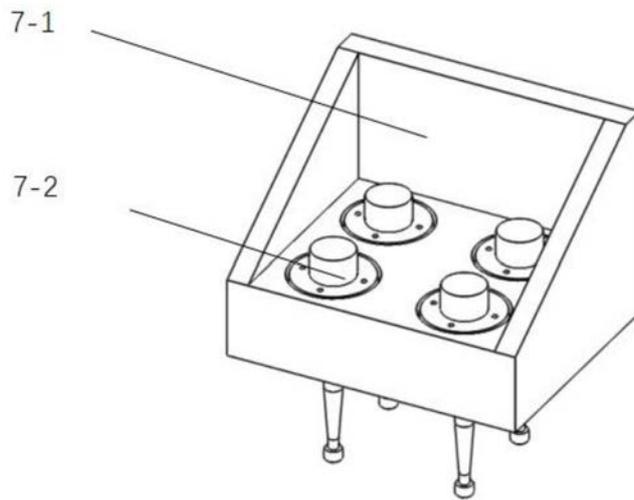


图2

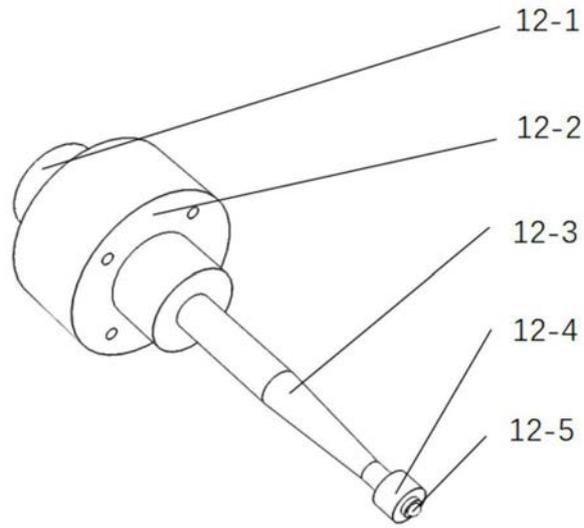


图3

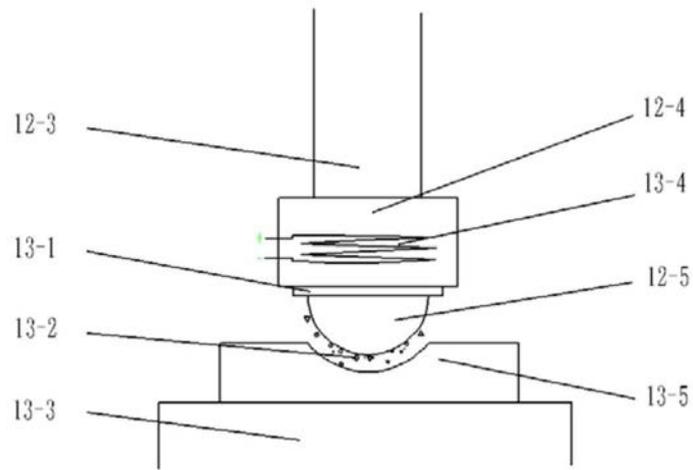


图4