



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115464472 B

(45) 授权公告日 2023. 06. 23

(21) 申请号 202211262670.1

B24B 41/00 (2006.01)

(22) 申请日 2022.10.14

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

US 2005032469 A1, 2005.02.10

申请公布号 CN 115464472 A

审查员 刘莫邪

(43) 申请公布日 2022.12.13

(73) 专利权人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市高新园区凌工
路2号

(72) 发明人 张振宇 李玉彪 雷霄霏 孟凡宁
冯俊元

(74) 专利代理机构 大连东方专利代理有限责任
公司 21212

专利代理师 修睿 李洪福

(51) Int. Cl.

B24B 1/04 (2006.01)

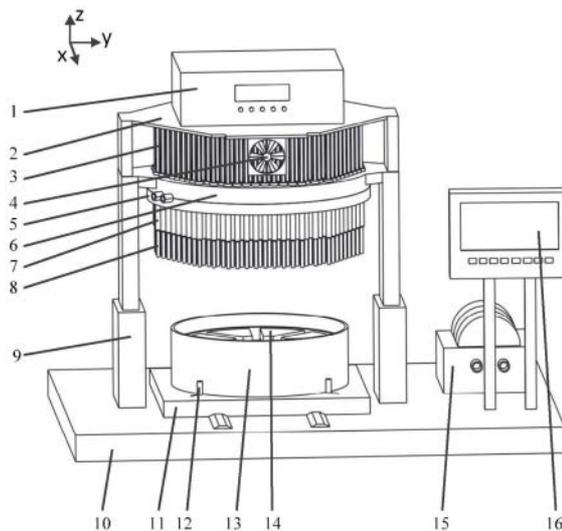
权利要求书2页 说明书6页 附图7页

(54) 发明名称

一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法

(57) 摘要

本发明提供一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法,包括床身和安装在床身内超声发生器、上支架、电缆、风扇、法兰盘、活动支架、换能器、变幅杆、Z轴升降台、平移工作台、定位销、工作池、压缩空气泵、数控系统和气囊。本发明具有形面自适应功能,能随着工件形面凹凸起伏自适应变换贴合,整个过程无需建立模型、无需扫描、无需人工过多干预,能显著降低劳动力。并通过密集部署的超声增强化学机械抛光,整个待加工面同时处理,加工效率高,均匀性好,抛光后表面一致性好,精度高,抛光后轮毂模具表面粗糙度可达Ra 0.446~1.442 μm。同时,其也可以应用于轮毂模具以外的零件,通用性极强。



1. 一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备,其特征在于,包括超声增强装置、Z轴升降装置、床身、平移工作台、工作池、压缩空气泵、数控系统和气囊,所述Z轴升降装置、平移工作台、压缩空气泵、数控系统均设置在床身上,所述平移工作台通过滑轨安装在床身,所述工作池可拆卸地连接在平移工作台上,所述工作池内放置待抛光工件,所述Z轴升降装置与活动支架相连,所述气囊设置在活动支架内部,所述气囊的进、排气口均与压缩空气泵相连,工作状态下,所述气囊超声增强装置进行定位夹持,所述超声增强装置的输出端穿过气囊后与待抛光工件之间存在预设空隙,所述工作池内设有化学机械抛光液,所述超声增强装置用于依靠超声空化作用驱动磨料增强化学机械抛光中的机械去膜作用;

所述Z轴升降装置包括Z轴升降台,所述Z轴升降台与活动支架、上支架、法兰盘共同构成主体支撑结构,所述Z轴升降台可沿Z方向伸缩,提供Z轴自由度,所述活动支架两侧为支柱,安装在Z轴升降台,中间为内凹圆盘形结构,并设有沉孔,圆盘形结构外侧设置了4个半圆管形槽,所述法兰盘与活动支架有相似的内凹圆盘形结构,设有通孔,圆盘形结构外侧设置了4个半圆管形槽,法兰盘安装在活动支架上,法兰盘和活动支架相扣后在中间形成一个圆盘形空腔,所述气囊安装于该圆盘形空腔内,活动支架上的沉孔与法兰盘上的通孔同轴,法兰盘和活动支架上的半圆柱形槽互相拼接成一个圆管;

所述气囊为圆盘形结构,中间开设有通孔,通孔不与气囊内部连通,侧面开设有与中间气腔内连通的气囊进气口和气囊排气口,气囊除气囊进气口和气囊排气口外,其他部位都是密封结构;气囊进气口和气囊排气口安装在法兰盘和活动支架上的半圆柱形槽互相拼接成的圆管内,气囊在充气状态时扩展,通孔缩小,在真空状态时收缩,通孔扩大;气囊的通孔与活动支架的沉孔以及法兰盘的通孔同轴,形成一个管状通道;

所述超声增强装置包括依次相连的超声发生器、换能器和变幅杆,所述换能器为沉头结构,底部安装变幅杆,换能器的外径小于法兰盘的通孔,也小于气囊的通孔,换能器的沉头结构与活动支架的沉孔间隙配合,换能器的长度大于法兰盘与活动支架形成的圆盘腔的外形尺寸,换能器安装在活动支架的沉孔、气囊的通孔、法兰盘的通孔形成的管状通道内,活动支架上的沉孔能够限制换能器在Z负方向的最大位移。

2. 根据权利要求1所述的形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备,其特征在于,所述平移工作台用于承载工作池沿着X方向运动,在X方向最大位移处能够方便工作池内放置工件,放置工件后运动至工作位置,平移工作台设置有定位销安装孔,通过定位销可以固定不同尺寸的工作池。

3. 根据权利要求1所述的形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备,其特征在于,所述上支架安装在活动支架上,上支架底部安装集线器,所述超声发生器安装在上支架顶部,超声发生器与集线器电路相通,电缆一端接在集线器,一端接在换能器,且通过自身重力作用自然垂直,在初始状态时,电缆自然垂直,牵引换能器使其沉头结构恰好位于活动支架的沉孔内。

4. 根据权利要求1所述的形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备,其特征在于,所述压缩空气泵安装在床身,压缩空气泵的排气口通过软管与气囊进气口相通,压缩空气泵的进气口通过软管与气囊排气口相通。

5. 根据权利要求1所述的形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备,其特征在于,上支架侧面的底部安装有用于为超声增强装置的换能器降温的风扇。

6. 根据权利要求1所述的形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备,其特征在于,所述数控系统安装在床身,集成控制Z轴升降台、平移工作台、超声发生器、压缩空气泵和风扇的运行。

7. 一种权利要求1~6任一项所述形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备的工艺方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1、数控系统控制平移工作台向X轴正方向移动,根据待抛光工件的规格选择匹配的工作池,在平移工作台上放置工作池,使用定位销固定工作池,将工件放入工作池,在工作池中加入化学机械抛光液;

步骤2、平移工作台移动至原点,Z轴升降台和活动支架联动下降,下降至变幅杆与工件充分接触,此时所有变幅杆与工件表面自适应贴合;

开启压缩空气泵,气囊为充气状态,恒压;气囊夹紧换能器,然后Z轴升降台和活动支架联动上升,上升至变幅杆与工件存在1~15mm间隙,间隙大小根据实际情况确定,可根据抛光效果实时调整间隙距离;

步骤3、超声发生器开启,风扇开启,根据抛光效果调整超声功率;

步骤4、抛光完成时,超声发生器关闭,Z轴升降台和活动支架联动上升,上升至最大高度,压缩空气泵关闭,气囊为真空状态,气囊松开换能器,换能器处于自然垂落状态;

步骤5、平移工作台向X轴正方向移动,从工作池中取出工件,待换能器冷却后关闭风扇。

一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法

技术领域

[0001] 本发明涉及机械加工设备技术领域,尤其涉及一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法。

背景技术

[0002] 随着生活质量的逐步提高,乘用车保有量爆发式增长。早期,用户购车时注重车辆行驶性能和乘坐舒适性。现阶段用户在兼顾机械性能的同时更加注重审美,从而衍生出汽车轮毂文化,即便同款车型车厂也推出了不同的轮毂造型。目前汽车轮毂生产工艺主要依靠锻造和铸造。轮毂模具的精密抛光可以改善模具的表面质量,提高模具型腔和合模面的精度,防止出现毛边,有利于降低熔融液的流动阻力,提高加工效率,同时有助于提高铸造后轮毂外观的美学要求。现有的轮毂模具精密抛光通常以手工操作为主,一般使用油石、砂纸、抛光膏、羊毛轮等,对轮毂模具的型腔表面进行打磨抛光。但是,手工磨抛劳动强度大、效率低、质量不稳定,还容易使操作者吸入粉尘造成职业病。

[0003] 化学机械抛光是集成电路制造中获得全局平坦化的一种重要手段,能够获得平坦又无划痕的超光滑表面,其可简单归结为工件表面材料与抛光液中的氧化剂、光亮剂等发生化学反应,生成一层相对容易去除的软质层,然后在抛光液中的磨料、抛光机的抛光垫以及施加在工件上的垂直正压力共同提供的机械作用下去除软质层,使工件表面重新裸露出来,然后再进行化学反应,这样在化学作用过程和机械作用过程的交替进行中完成工件表面抛光。使用化学机械抛光平面时相对简单,抛光液中的化学成份提供化学作用,抛光液中的磨料、抛光机上的抛光垫以及施加在工件上的垂直正压力共同提供机械作用,化学作用和机械作用达到平衡时,抛光效果最佳。而使用化学机械抛光曲面时存在较大困难,由于各类曲面形状复杂,无法在曲面上提供均匀的机械作用力。例如,不能提供完全贴合曲面的抛光垫,不能在较大范围的曲面上提供正压力。这些因素都制约了化学机械抛光应用于轮毂模具等曲面零件抛光。

[0004] 超声波是一种机械波,它依靠介质进行传播,无法存在于真空中。当超声波在介质的传播过程中,存在一个正负的交变周期,在正相位时,超声波对介质分子挤压,改变介质原来的密度,使其增大;在负压相位时,使介质分子稀疏,进一步离散,介质的密度减小,当用足够大强度的超声波作用于液体介质时,介质分子间的平均距离会超过使液体介质保持不变的临界分子距离,液体介质就会发生断裂,形成微泡。这些小空洞迅速胀大和闭合,会使液体微粒之间发生猛烈的撞击作用,从而产生几千到上万个大气压的压强。微粒间这种剧烈的相互作用,起到了很好的搅拌作用。这种由超声波作用在液体中所引起的各种效应称为超声波的空化作用。通过在抛光液中引入超声波,依靠超声空化作用驱动磨料可增强化学机械抛光中的机械去膜作用。这将显著提高化学机械抛光的材料去除率,提高化学机械抛光技术在曲面抛光时的效果。

[0005] 形面自适应可以应对不同的表面形状,能满足各种款式的轮毂表面抛光加工,且

能轻松处理凹槽位置,表面贴合度高,通用性强。

[0006] 因此,开发一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法有助于提高轮毂模具的表面质量和表面精度,减少人工工作量,提升加工效率。

发明内容

[0007] 根据上述提出的技术问题,而提供一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法,可以实现一次夹装就能加工制造出表面粗糙度 $Ra1\mu m$ 的轮毂模具。解决了现有轮毂模具表面质量差,抛光只能依靠手工磨抛而导致的环保不达标,产品质量一致性差,型面精度低的问题。本发明采用的技术手段如下:

[0008] 一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备,包括超声增强装置、Z轴升降装置、床身、平移工作台、工作池、压缩空气泵、数控系统和气囊,所述Z轴升降装置、平移工作台、压缩空气泵、数控系统均设置在床身上,所述平移工作台通过滑轨安装在床身,所述工作池可拆卸地连接在平移工作台上,所述工作池内放置待抛光工件,所述Z轴升降装置与活动支架相连,所述气囊设置在活动支架内部,所述气囊的进、排气口均与压缩空气泵相连,工作状态下,所述气囊超声增强装置进行定位夹持,所述超声增强装置的输出端穿过气囊后与待抛光工件之间存在预设空隙,所述工作池内设有化学机械抛光液,所述超声增强装置用于依靠超声空化作用驱动磨料增强化学机械抛光中的机械去膜作用。

[0009] 进一步地,所述平移工作台用于承载工作池沿着X方向运动,在X方向最大位移处能够方便工作池内放置工件,放置工件后运动至工作位置。平移工作台设置有定位销安装孔,通过定位销可以固定不同尺寸的工作池。

[0010] 进一步地,所述Z轴升降装置包括Z轴升降台,所述Z轴升降台与活动支架、上支架、法兰盘共同构成主体支撑结构。所述Z轴升降台可沿Z方向伸缩,提供Z轴自由度。所述活动支架两侧为支柱,安装在Z轴升降台,中间为内凹圆盘形结构,并设有沉孔,圆盘形结构外侧设置了4个半圆管形槽。所述法兰盘与活动支架有相似的内凹圆盘形结构,设有通孔,圆盘形结构外侧设置了4个半圆管形槽。法兰盘安装在活动支架,法兰盘和活动支架相扣后在中间形成一个圆盘形空腔,且活动支架上的沉孔与法兰盘上的通孔同轴,法兰盘和活动支架上的半圆柱形槽互相拼接成一个圆管。

[0011] 进一步地,所述气囊为圆盘形结构,中间开设有通孔,通孔不与气囊内部连通,侧面开设有与中间气腔内连通的气囊进气口和气囊排气口,气囊除气囊进气口和气囊排气口外,其他部位都是密封结构,不漏气。气囊安装于法兰盘和活动支架之间的圆盘形空腔内,气囊进气口和气囊排气口安装在法兰盘和活动支架上的半圆柱形槽互相拼接成的圆管内。气囊在充气状态时扩展,通孔缩小,在真空状态时收缩,通孔扩大。气囊的通孔与活动支架的沉孔以及法兰盘的通孔同轴,形成一个管状通道。

[0012] 进一步地,所述超声增强装置包括依次相连的超声发生器、换能器和变幅杆,所述换能器为沉头结构,底部安装变幅杆,换能器的外径小于法兰盘的通孔,也小于气囊的通孔。换能器的沉头结构与活动支架的沉孔间隙配合。换能器的长度大于法兰盘与活动支架形成的圆盘腔的外形尺寸。换能器安装在活动支架的沉孔、气囊的通孔、法兰盘的通孔形成的管状通道内。活动支架上的沉孔限制换能器在Z负方向的最大位移。

[0013] 进一步地,所述上支架安装在活动支架,上支架底部安装集线器。所述超声发生器

安装在上支架顶部,超声发生器与集线器电路相通。电缆一端接在集线器,一端接在换能器,且通过自身重力作用自然垂直。在初始状态时,电缆自然垂直,牵引换能器使其沉头结构恰好位于活动支架的沉孔内。

[0014] 进一步地,所述压缩空气泵安装在床身,压缩空气泵的排气口通过软管与气囊进气口相通,压缩空气泵的进气口通过软管与气囊排气口相通。

[0015] 进一步地,上支架侧面的底部安装有用于为换能器降温的风扇。

[0016] 进一步地,所述数控系统安装在床身,集成控制Z轴升降台、平移工作台、超声发生器、压缩空气泵和风扇的运行。

[0017] 本发明还公开了基于上述形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备的工艺方法,包括如下步骤:

[0018] 步骤1、数控系统控制平移工作台向X轴正方向移动,根据待抛光工件的规格选择匹配的工作池,在平移工作台上放置工作池,使用定位销固定工作池,将工件放入工作池,在工作池中加入化学机械抛光液。

[0019] 步骤2、平移工作台移动至原点,Z轴升降台和活动支架联动下降,下降至变幅杆与工件充分接触,此时所有变幅杆与工件表面自适应贴合。开启压缩空气泵,气囊为充气状态,恒压。气囊夹紧换能器,然后Z轴升降台和活动支架联动上升,上升至变幅杆与工件存在1~15mm间隙,间隙大小根据实际情况确定,可根据抛光效果实时调整间隙距离。

[0020] 步骤3、超声发生器开启,风扇开启,根据抛光效果调整超声功率。

[0021] 步骤4、抛光完成时,超声发生器关闭,Z轴升降台和活动支架联动上升,上升至最大高度,压缩空气泵关闭,气囊为真空状态,气囊松开换能器,换能器处于自然垂落状态。

[0022] 步骤5、平移工作台向X轴正方向移动,从工作池中取出工件,待换能器冷却后关闭风扇。

[0023] 本发明具有以下优点:

[0024] 1. 本发明提供了一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法,其具有形面自适应功能,能随着工件形面凹凸起伏自适应变换贴合,整个过程无需建立模型、无需扫描、无需人工过多干预,能显著降低劳动力。同时,其也可以应用于轮毂模具以外的零件,通用性极强。

[0025] 2. 本发明提供了一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法,其通过密集部署的超声增强化学机械抛光,整个待加工面同时处理,加工效率高,均匀性好,抛光后表面一致性好,精度高。

[0026] 3. 本发明提供了一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法,其整个过程不会产生粉尘,不会产生职业病,对人体无伤害,对环境无危害。

附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图做以简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0028] 图1为本发明实施例中装置的三维总装结构示意图。

- [0029] 图2为本发明实施例中装置在工作状态的示意图。
- [0030] 图3为本发明实施例中装置局部截面示意图。
- [0031] 图4为本发明实施例中磨料机械作用原理图。
- [0032] 图5为本发明实施例中轮毂模具三维结构示意图。
- [0033] 图6为本发明实施例中气囊三维结构示意图。
- [0034] 图7为本发明实施例中压缩空气泵示意图。
- [0035] 图8为本发明实施例中活动支架三维结构示意图。
- [0036] 图9为本发明实施例中法兰盘三维结构示意图。
- [0037] 图10为本发明实施例中换能器和变幅杆组装后的三维结构示意图。
- [0038] 图11为本发明实施例中所述抛光工件的原始表面及粗糙度测量图。
- [0039] 图12为本发明实施例中所述抛光工件抛光后的表面及粗糙度测量图
- [0040] 图中:1、超声发生器;2、上支架;3、电缆;4、风扇;5、法兰盘;6、活动支架;7、换能器;8、变幅杆;9、Z轴升降台;10、床身;11、平移工作台;12、定位销;13、工作池;14、工件;15、压缩空气泵;16、数控系统;17、气囊;17.1、气囊进气口;17.2、气囊排气口。

具体实施方式

[0041] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0042] 如图1~10所示,本发明实施例公开了一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备,包括超声发生器1、上支架2、电缆3、风扇4、法兰盘5、活动支架6、换能器7、变幅杆8、Z轴升降台9、床身10、平移工作台11、定位销12、工作池13、压缩空气泵15、数控系统16和气囊17,所述Z轴升降台9、平移工作台11、压缩空气泵15、数控系统16均设置在床身10上,所述工作池13可拆卸地连接在平移工作台11上,所述工作池内放置待抛光工件14。

[0043] 具体地,所述平移工作台11用于承载工作池13沿着X方向运动,在X方向最大位移处可以方便工作池13内放置工件14,放置工件14后运动至工作位置。平移工作台11四周以中心为圆心在不同半径处设置有定位销12安装孔,可以固定不同尺寸的工作池13。

[0044] 具体地,所述Z轴升降台9与活动支架6、上支架2、法兰盘5共同构成主体支撑结构。所述Z轴升降台9可沿Z方向伸缩,提供Z轴自由度。所述活动支架6两侧为支柱,安装在Z轴升降台9,中间为内凹圆盘形结构,并设有沉孔,圆盘形结构外侧设置了4个半圆管形槽。所述法兰盘5与活动支架6有相似的内凹圆盘形结构,设有通孔,圆盘形结构外侧设置了4个半圆管形槽。法兰盘5安装在活动支架6,法兰盘5和活动支架6相扣后在中间形成一个圆盘形空腔,且活动支架6上的沉孔与法兰盘5上的通孔同轴,法兰盘5和活动支架6上的半圆柱形槽互相拼接成一个圆管。

[0045] 所述气囊17为圆盘形结构,中间开设有通孔,通孔不与气囊内部连通,侧面开设有与中间气腔内连通的气囊进气口17.1和气囊排气口17.2,气囊17除气囊进气口17.1和气囊排气口17.2外,其他部位都是密封结构,不漏气。气囊17安装于法兰盘5和活动支架6之间的圆盘形空腔内,气囊进气口17.1和气囊排气口17.2安装在法兰盘5和活动支架6上的半圆柱

形槽互相拼接成的圆管内。气囊17在充气状态时扩展,通孔缩小,在真空状态时收缩,通孔扩大。气囊17的通孔与活动支架6的沉孔以及法兰盘5的通孔同轴,形成一个管状通道。

[0046] 所述换能器7为沉头结构,底部安装变幅杆8,换能器7的外径小于法兰盘5的通孔,也小于气囊17的通孔。换能器7的沉头结构与活动支架6的沉孔间隙配合。换能器7的长度大于法兰盘5与活动支架6形成的圆盘腔的外形尺寸。换能器7安装在活动支架6的沉孔、气囊17的通孔、法兰盘5的通孔形成的管状通道内。活动支架6上的沉孔限制换能器7在Z负方向的最大位移。

[0047] 所述上支架2安装在活动支架6上,上支架2底部安装集线器。所述超声发生器1安装在上支架2顶部,超声发生器1与集线器电路相通。所述电缆3一端接在集线器,一端接在换能器7,且通过自身重力作用自然垂直。在初始状态时,电缆3自然垂直,牵引换能器7使其沉头结构恰好位于活动支架6的沉孔内。

[0048] 所述压缩空气泵15安装在床身10,压缩空气泵15的排气口通过软管与气囊进气口17.1相通,压缩空气泵15的进气口通过软管与气囊排气口17.2相通。

[0049] 所述风扇4安装在上支架2侧面的底部,为换能器7降温。

[0050] 所述数控系统16安装在床身10,集成控制Z轴升降台9、平移工作台11、超声发生器1、压缩空气泵15和风扇4的运行。

[0051] 本实施例抛光时采用的工件14如图11所示,其为乘用车轮毂模具,直径约700mm,抛光前整体表面氧化层较厚,表面发黑(图11左上角附图),表面质量较差。经测量辐板处表面粗糙度为Ra 3.304 μm (图11右上角附图),螺栓孔处表面粗糙度为Ra 2.833 μm (图11右下角附图),边缘处表面粗糙度为Ra 3.230 μm (图11左下角附图)。采用本实施例抛光后,整体表面氧化层被均匀去除,表面光亮,半镜面(图12左上角附图),表面质量高。经测量辐板处表面粗糙度降低至Ra 0.900 μm (图12右上角附图),螺栓孔处表面粗糙度降低至Ra 1.442 μm (图12右下角附图),边缘处表面粗糙度降低至Ra 0.480 μm (图12左下角附图)。因此,本实施例对轮毂模具抛光具有十分优异的效果。

[0052] 一种形面自适应超声化学机械抛光轮毂模具的装备与工艺方法,包括如下步骤:

[0053] 步骤1、数控系统16控制平移工作台11向X轴正方向移动,根据待抛光工件14的规格选择对应的工作池13,在平移工作台11上放置工作池13,使用定位销12固定工作池13,将工件14放入工作池13,在工作池13中加入化学机械抛光液。

[0054] 步骤2、平移工作台11移动至原点,Z轴升降台9和活动支架6联动下降,下降至变幅杆8与工件14充分接触,此时所有变幅杆8与工件14表面自适应贴合(如图3所示)。开启压缩空气泵15,气囊17为充气状态,恒压。气囊17夹紧换能器7,然后Z轴升降台9和活动支架6联动上升,上升至变幅杆8与工件14存在1~15mm间隙,间隙大小根据实际情况确定,可根据抛光效果实时调整间隙距离。

[0055] 步骤3、超声发生器1开启,风扇4开启,根据抛光效果调整超声功率。

[0056] 步骤4、抛光完成时,超声发生器1关闭,Z轴升降台9和活动支架6联动上升,上升至最大高度,压缩空气泵15关闭,气囊17为真空状态,气囊17松开换能器7,换能器7处于自然垂落状态。

[0057] 步骤5、平移工作台11向X轴正方向移动,从工作池13中取出工件14,待换能器7冷却后关闭风扇4。

[0058] 最后应说明的是：以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

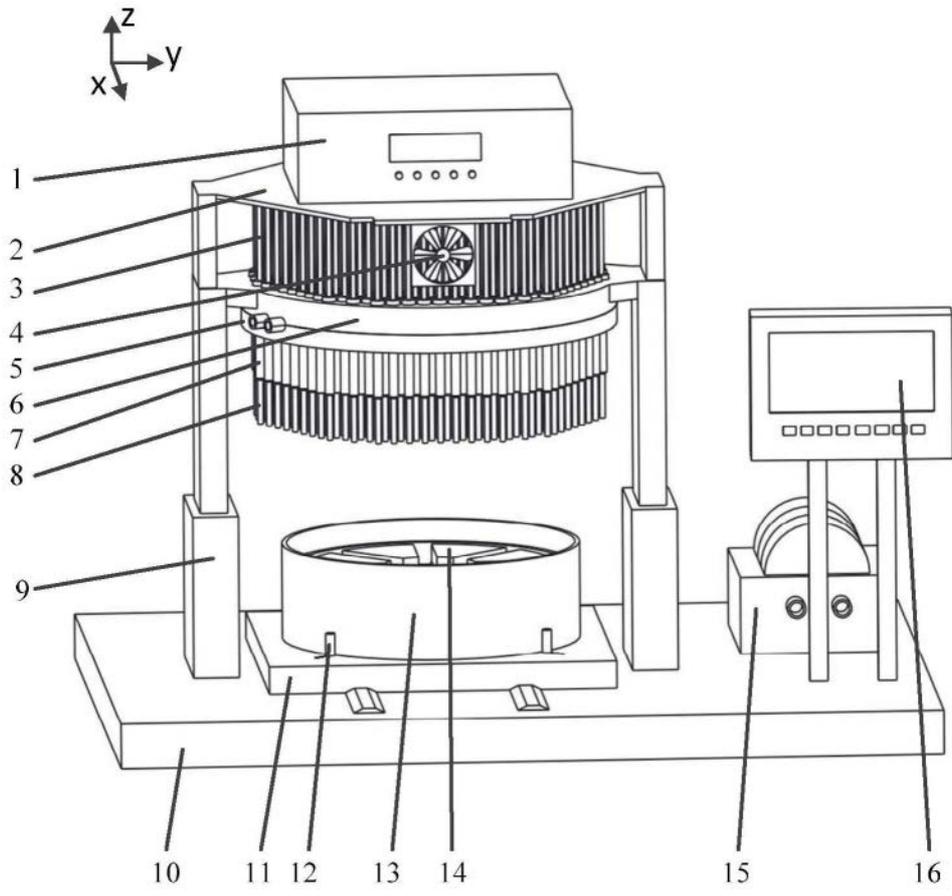


图1

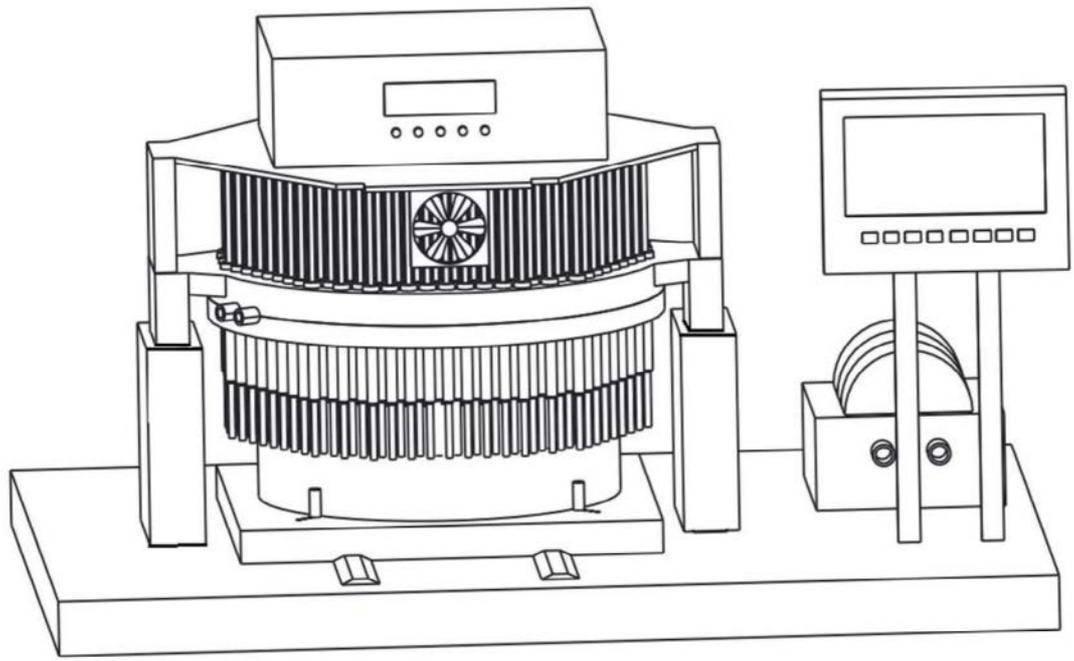


图2

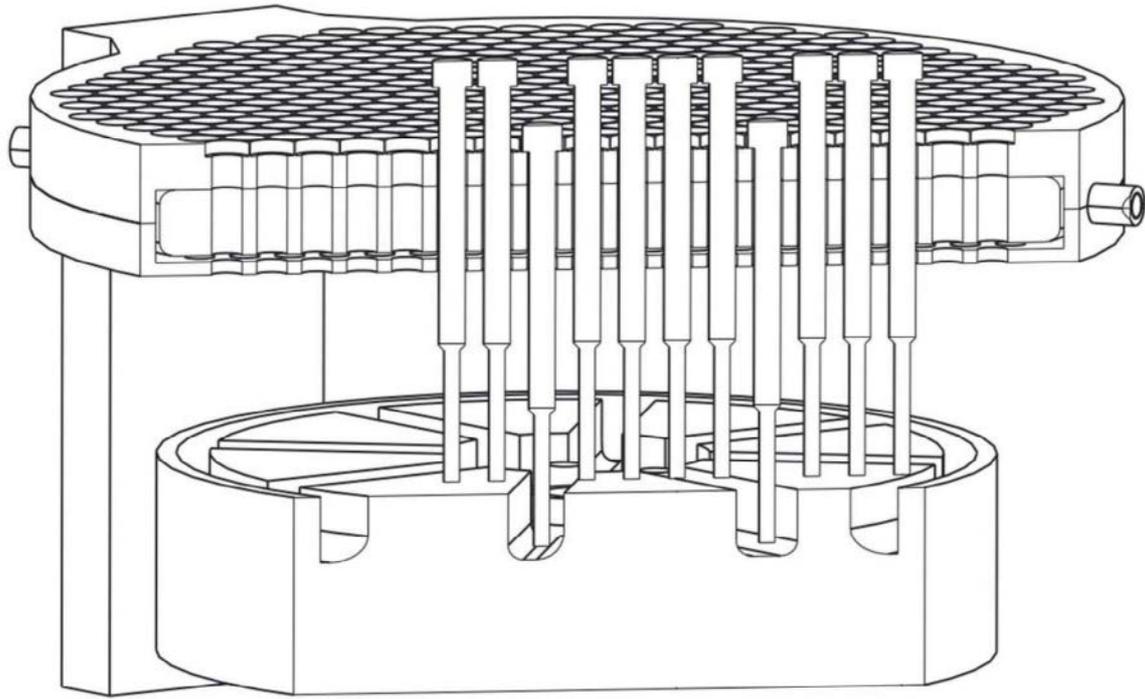


图3

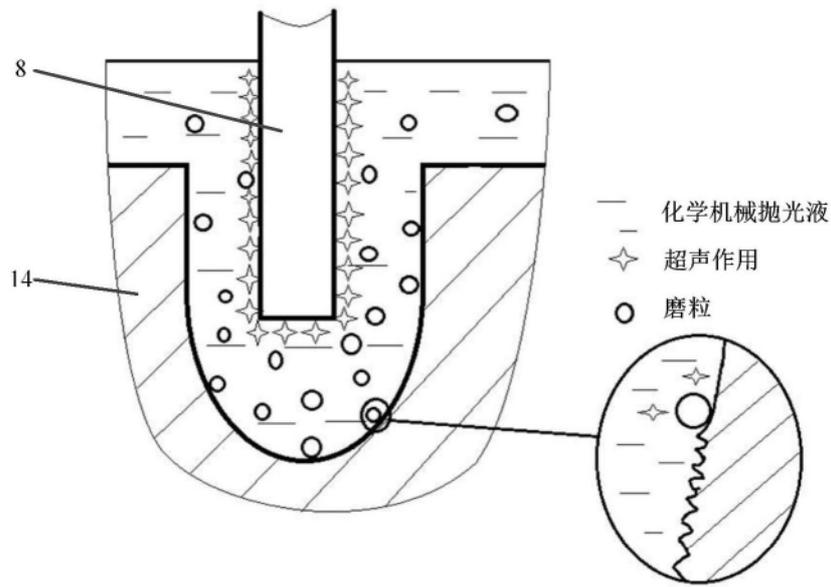


图4

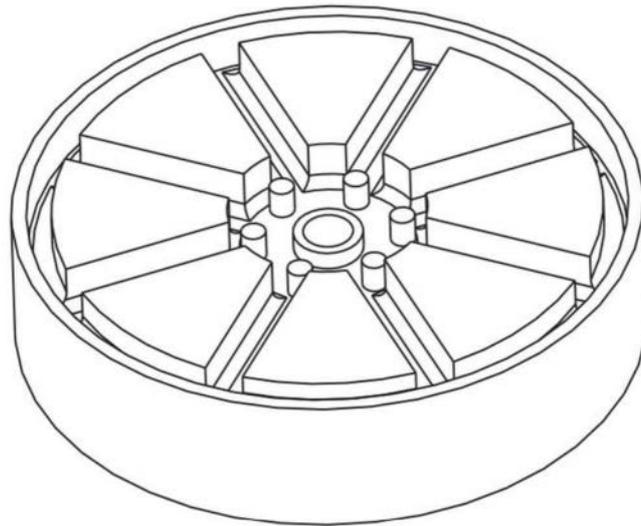


图5

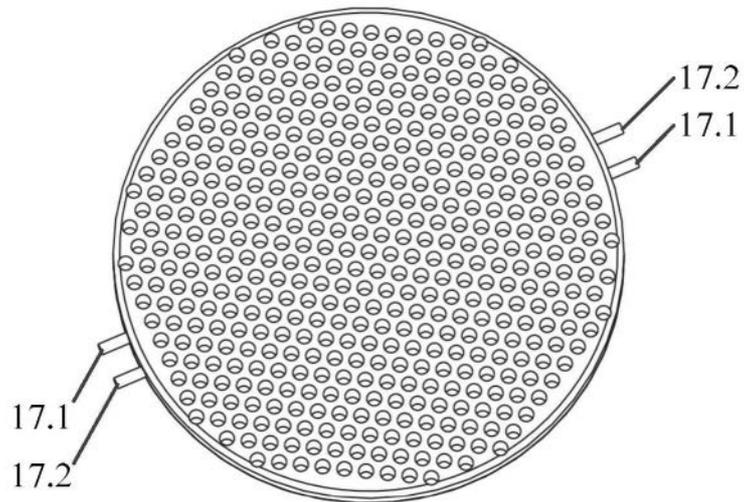


图6

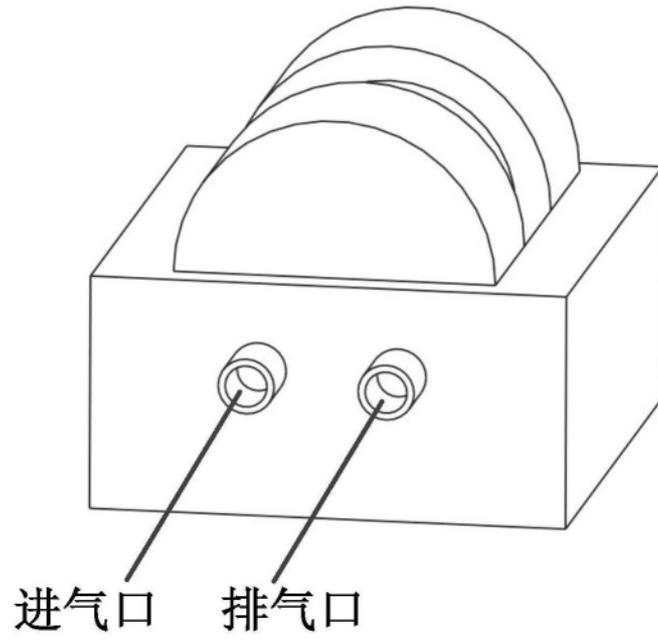


图7

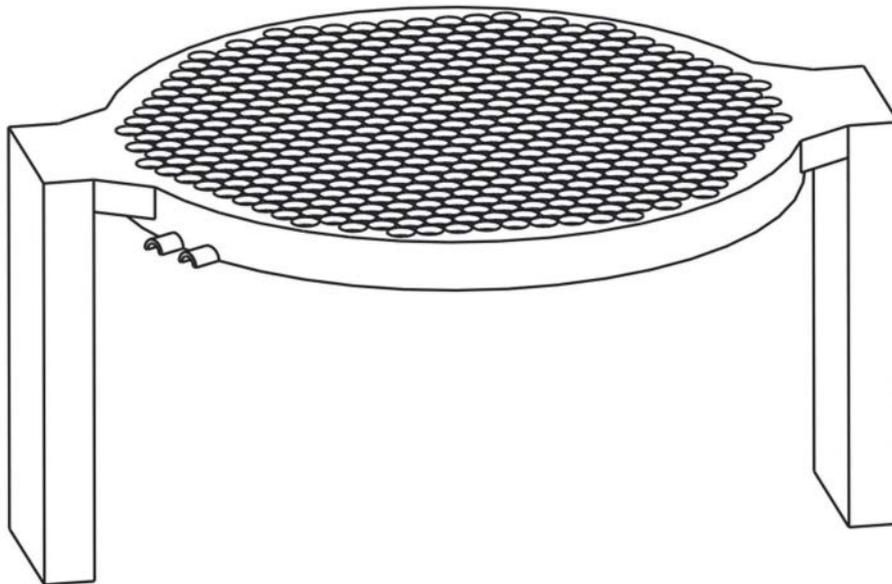


图8

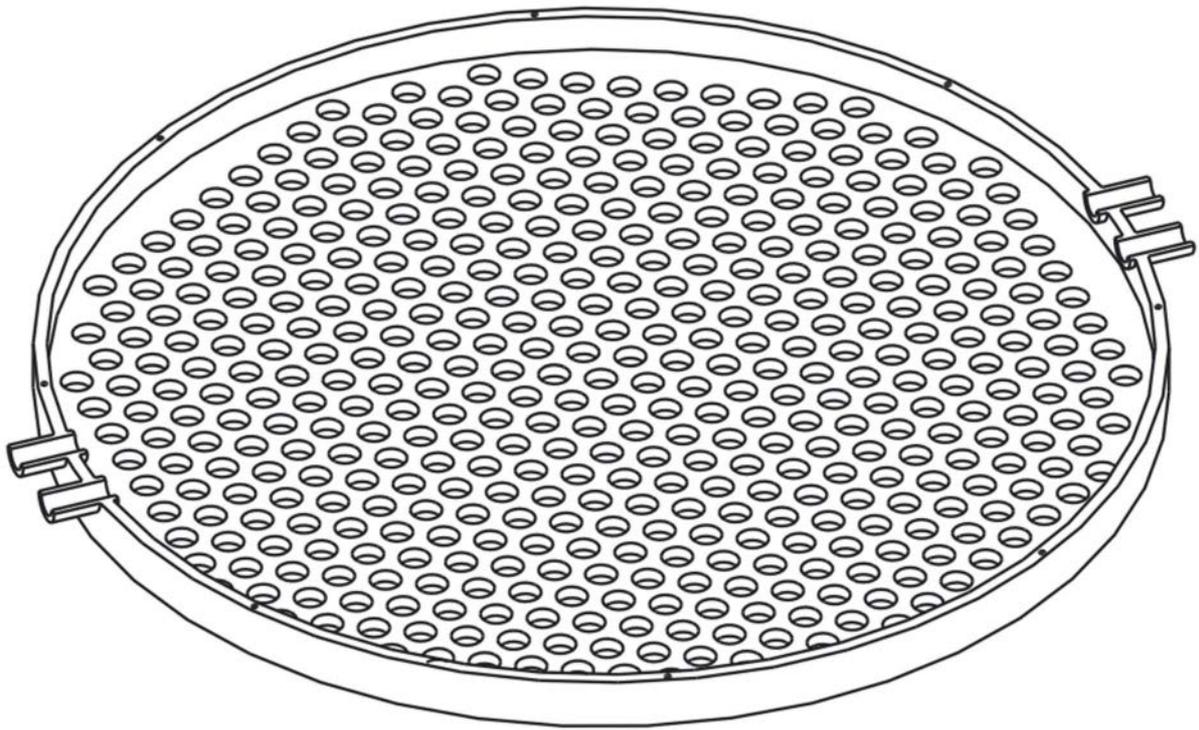


图9

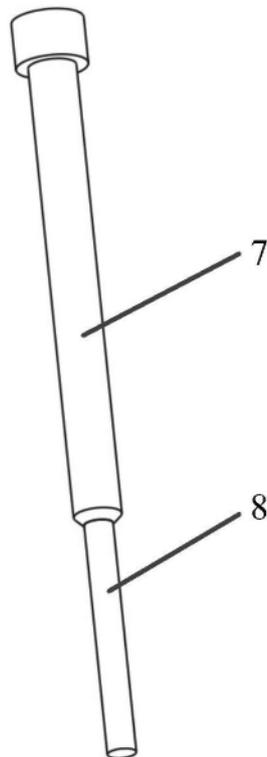


图10



图11



图12