

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102305785 A

(43) 申请公布日 2012.01.04

(21) 申请号 201110216820.0

(22) 申请日 2011.07.29

(71) 申请人 中国科学院安徽光学精密机械研究  
所

地址 230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路  
350 号

(72) 发明人 王静鸽 王琦 董凤忠 陈兴龙  
倪志波 梁云仙 吴边

(74) 专利代理机构 安徽合肥华信知识产权代理  
有限公司 34112

代理人 余成俊

(51) Int. Cl.

G01N 21/71 (2006.01)

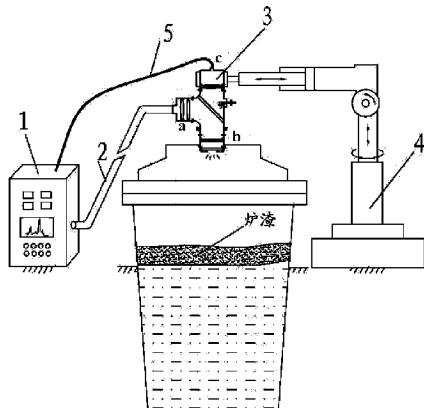
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 3 页

(54) 发明名称

熔融炉渣成分实时在线监测装置

(57) 摘要

本发明公开了一种熔融炉渣成分实时在线监测装置，包括激光导光臂、光学检测探头、多点驻留测量机械臂、信号发生与采集处理部分与后端控制系统。激光导光臂分别与信号发生与采集处理部分和光学检测探头相连接；光学检测探头为T形三通结构，内部固定有扩束准直透镜组、45°入射激光波长高反180~900nm高透镜、透镜阵列和聚焦透镜，并配置有光纤耦合接口，外部装有激光测距仪；信号发生与采集处理部分包括调Q激光器、光谱仪、增强型电荷耦合器件及微处理器等；后端控制系统主要完成激光测距仪、多点驻留测量机械臂以及冷却气体流量等的控制。本发明具有分析速度快、无需取样的特点，能在高温恶劣环境下同时实现熔融炉渣中多种成分的实时在线监测。



1. 熔融炉渣成分实时在线监测装置,其特征在于:包括有激光导光臂、光学检测探头、多点驻留测量机械臂、信号发生与采集处理部分以及后端控制系统,其特征在于:所述激光导光臂为多关节激光导光臂,激光导光臂一端接入信号发生与采集处理部分,另一端接入光学检测探头中;

所述光学检测探头为 T 型三通结构,三个管口分别位于竖向顶面、竖向底面、水平侧面,其中竖向顶面的管口中设置有中心轴竖直的聚焦透镜,竖向底面的管口中从上至下依次设置有分别与聚焦透镜中心轴重合的透镜阵列、玻璃窗口,水平侧面的管口中设置有中心轴水平的扩束准直透镜组,三个管口中心轴交汇处还倾斜设置有反射面朝向水平侧面的管口及竖向底面的管口的 45° 入射激光波长高反 180–900nm 高透镜,竖向底面的管口外侧壁上还对称安装有激光测距仪,所述激光导光臂的接入端连接至光学检测探头水平侧面的管口处,所述光学检测探头竖向底面的管口朝向待检测熔融炉渣液面;

所述多点驻留测量机械臂为多关节机械臂,其执行末端与所述光学检测探头连接为一体,多关节机械臂带动光学检测探头在竖直方向升降、水平方向平移,以及在水平面内转动、在竖直面内调整俯仰角;

所述信号发生与采集处理部分包括调 Q 激光器、光谱仪、增强型电荷耦合器件及微处理器,调 Q 激光器向激光导光臂的接入端发射激光脉冲,通过激光导光臂将激光脉冲从光学检测探头水平侧面的管口送入光学检测探头中,所述光学检测探头竖向顶面的管口与光谱仪输入端之间连接有传导光纤束,所述光谱仪输出端接入增强型电荷耦合器件信号输入端,增强型电荷耦合器件信号输出端接入微处理器中;所述激光脉冲从光学检测探头水平侧面的管口入射,经过光学检测探头中的扩束准直透镜组后入射至所述 45° 入射激光波长高反 180–900nm 高透镜,被 45° 入射激光波长高反 180–900nm 高透镜反射后依次通过透镜阵列、玻璃窗口后从光学检测探头竖向底面的管口出射至待检测熔融炉渣,各个激发点上的炉渣被烧蚀汽化,形成高温高密度的等离子体,等离子体辐射出炉渣组分元素所对应的特征光谱信号,所述光谱信号入射至光学检测探头竖向底面的管口中,依次经过玻璃窗口、透镜阵列后,再透射过所述 45° 入射激光波长高反 180–900nm 高透镜并入射至光学检测探头竖向顶面管口中的聚焦透镜,经过聚焦透镜后从光学检测探头竖向顶面管口出射至传导光纤束,所述传导光纤束将光谱信号传送至光谱仪,光谱仪对接收到的光谱信号进行分光,并将光谱信号耦合至增强型电荷耦合器件,通过增强型电荷耦合器件将光谱信号转化为电信号后传送至微处理器进行处理。

2. 根据权利要求 1 所述的熔融炉渣成分实时在线监测装置,其特征在于:所述透镜阵列由中心轴竖直的光学基底,以及设置在光学基底顶面的多片六边形透镜构成。

3. 根据权利要求 1 所述的熔融炉渣成分实时在线监测装置,其特征在于:光学检测探头侧壁上设置有供惰性气体进入的进气口,沿光学检测探头内壁设置多个供惰性气体流出的气道。

4. 根据权利要求 1 所述的熔融炉渣成分实时在线监测装置,其特征在于:所述多点驻留测量机械臂为由三个测量臂、三个机械臂关节、底座、立柱、执行末端构成的三关节机械臂,所述立柱竖向连接在底座上,第一个测量臂竖直设置,且第一个测量臂与立柱之间通过滑动配合来实现其在水平面内的旋转和竖直方向的升降运动,第二个测量臂水平设置,且第二个测量臂一端通过在竖直平面内摆动的第二个机械臂关节与第一个测量臂连接,第三

一个测量臂水平设置，第三个机械臂关节为可在水平方向伸缩的液压式关节，且第三个测量臂一端通过液压式关节与第二个测量臂连接，第三个测量臂另一端连接有作为执行末端的卡环，所述卡环卡接在光学检测探头竖向顶面管口外部。

5. 根据权利要求 1 所述的熔融炉渣成分实时在线监测装置，其特征在于：所述信号发生与采集处理部分与后端控制系统集成在一个集成机柜中。

## 熔融炉渣成分实时在线监测装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及熔融炉渣成分光学分析装置领域,具体为一种熔融炉渣成分实时在线监测装置。

### 背景技术

[0002] 炉渣是冶炼过程中的重要产物之一,它是由原料中的杂质与造渣材料在熔炼时形成的高温熔渣。在冶炼过程中,炉渣的化学成分影响着产品的质量,其组分必须加以控制,对其常见组分的快速准确分析尤为重要。

[0003] 目前,对炉渣成分的测量分析均采用离线方式,主要包括化学法、原子吸收光谱法、X射线荧光光谱法和电感耦合等离子体原子发射谱法等。

[0004] 采用传统的化学分析方法分析炉渣成分时,各种元素的测定都需要溶解样品,且溶样方法各不相同,预处理相对繁琐,速度慢,费时费力。

[0005] 原子吸收光谱法无法实现多元素的同时测量,并且在测定高浓度的元素时,存在其他干扰元素不易去除的缺点,因此有很多元素的测定灵敏度还达不到要求。

[0006] 炉渣具有粘滞系数较大、凝固过程选分结晶严重、固体渣片的不同区域成分差别较大、基体成分较复杂等特点,采用X射线荧光光谱分析法、电感耦合等离子体发射光谱法等对其进行定量分析时,对样品要求严格,须将固态炉渣样品进行制样,先压成粉末混合均匀压制成为平整光洁的熔片或压片后,才能送入分析仪进行成分分析,其一个测量周期大约需要10~15min,不能满足炉渣成分的动态实时调控要求。

[0007] 熔渣的组分和性质在熔炼过程中不断变化,上述离线、非连续的炉渣成分分析方式与冶炼过程严重脱节,造成熔渣组分调控不及时,直接影响产品最终的质量。

[0008] 激光诱导击穿光谱技术(LIBS)从提出到现在已经应用到很多领域,具有简便、快速,对样品尺寸、形状及物理性质要求不严格,无须烦琐的样品预处理过程等优点,可应用于冶炼工艺流程中的各个环节,如高炉炉气分析、炉渣分析、钢液分析、钢材缺陷分析、成品钢材材料筛选等。近年来随着光纤技术的迅速发展,LIBS技术可在恶劣环境下实现远程多组分、原位、在线、实时、痕量检测,为熔融炉渣成分实时在线监测和动态控制冶炼工艺奠定了基础。

### 发明内容

[0009] 本发明目的是提供一种熔融炉渣成分实时在线监测装置,以解决现有的熔融炉渣检测装置和方法分析时间过长、灵敏度低的问题。

[0010] 为了达到上述目的,本发明所采用的技术方案为:

熔融炉渣成分实时在线监测装置,其特征在于:包括有激光导光臂、光学检测探头、多点驻留测量机械臂、信号发生与采集处理部分以及后端控制系统,其特征在于:所述激光导光臂为多关节激光导光臂,激光导光臂一端接入信号发生与采集处理部分,另一端接入光学检测探头中;

所述光学检测探头为 T 型三通结构，三个管口分别位于竖向顶面、竖向底面、水平侧面，其中竖向顶面的管口中设置有中心轴竖直的聚焦透镜，竖向底面的管口中从上至下依次设置有分别与聚焦透镜中心轴重合的透镜阵列、玻璃窗口，水平侧面的管口中设置有中心轴水平的扩束准直透镜组，三个管口中心轴交汇处还倾斜设置有反射面朝向水平侧面的管口及竖向底面的管口的 45° 入射激光波长高反 180–900nm 高透镜，竖向底面的管口外侧壁上还对称安装有激光测距仪，所述激光导光臂的接入端连接至光学检测探头水平侧面的管口处，所述光学检测探头竖向底面的管口朝向待检测熔融炉渣液面；

所述多点驻留测量机械臂为多关节机械臂，其执行末端与所述光学检测探头连接为一体，多关节机械臂带动光学检测探头在竖直方向升降、水平方向平移，以及在水平面内转动、在竖直面内调整俯仰角；

所述信号发生与采集处理部分包括调 Q 激光器、光谱仪、增强型电荷耦合器件及微处理器，调 Q 激光器向激光导光臂的接入端发射激光脉冲，通过激光导光臂将激光脉冲从光学检测探头水平侧面的管口送入光学检测探头中，所述光学检测探头竖向顶面的管口与光谱仪输入端之间连接有传导光纤束，所述光谱仪输出端接入增强型电荷耦合器件信号输入端，增强型电荷耦合器件信号输出端接入微处理器中；所述激光脉冲从光学检测探头水平侧面的管口入射，经过光学检测探头中的扩束准直透镜组后入射至所述 45° 入射激光波长高反 180–900nm 高透镜，被 45° 入射激光波长高反 180–900nm 高透镜反射后依次通过透镜阵列、玻璃窗口后从光学检测探头竖向底面的管口出射至待检测熔融炉渣，各个激发点上的炉渣被烧蚀汽化，形成高温高密度的等离子体，等离子体辐射出炉渣组分元素所对应的特征光谱信号，所述光谱信号入射至光学检测探头竖向底面的管口中，依次经过玻璃窗口、透镜阵列后，再透射过所述 45° 入射激光波长高反 180–900nm 高透镜并入射至光学检测探头竖向顶面管口中的聚焦透镜，经过聚焦透镜后从光学检测探头竖向顶面管口出射至传导光纤束，所述传导光纤束将光谱信号传送至光谱仪，光谱仪对接收到的光谱信号进行分光，并将光谱信号耦合至增强型电荷耦合器件，通过增强型电荷耦合器件将光谱信号转化为电信号后传送至微处理器进行处理。

[0011] 所述的熔融炉渣成分实时在线监测装置，其特征在于：所述透镜阵列由中心轴竖直的光学基底，以及设置在光学基底顶面的多片六边形透镜构成。

[0012] 所述的熔融炉渣成分实时在线监测装置，其特征在于：光学检测探头侧壁上设置有供惰性气体进入的进气口，沿光学检测探头内壁设置多个供惰性气体流出的气道。

[0013] 所述的熔融炉渣成分实时在线监测装置，其特征在于：所述多点驻留测量机械臂为由三个测量臂、三个机械臂关节、底座、立柱、执行末端构成的三关节机械臂，所述立柱竖向连接在底座上，第一个测量臂竖直设置，且第一个测量臂与立柱之间通过滑动配合来实现其在水平面内的旋转和竖直方向的升降运动，第二个测量臂水平设置，且第二个测量臂一端通过在竖直平面内摆动的第二个机械臂关节与第一个测量臂连接，第三个测量臂水平设置，第三个机械臂关节为可在水平方向伸缩的液压式关节，且第三个测量臂一端通过液压式关节与第二个测量臂连接，第三个测量臂另一端连接有作为执行末端的卡环，所述卡环卡接在光学检测探头竖向顶面管口外部。

[0014] 所述的熔融炉渣成分实时在线监测装置，其特征在于：所述信号发生与采集处理部分与后端控制系统集成在一个集成机柜中。

[0015] 本发明对熔融炉渣成分分析的原理建立在激光诱导击穿光谱理论之上。原子和离子光谱的波长与特定元素相对应，而且光谱信号强度与对应元素的含量具有一定的量化关系。基于这种关系，激光诱导击穿光谱技术利用高功率激光与物质相互作用产生瞬态等离子体，并采用光学系统对等离子体中的原子和离子发射光谱进行收集，进而实现对物质化学元素的定性和定量分析。

[0016] 本发明工作过程为：由信号发生与采集处理部分发出能量  $>500\text{mJ}$  的激光脉冲经过激光导光臂传输至光学检测探头，通过透镜阵列将激光脉冲聚焦在炉渣液面上不同的点上，各个激发点上的炉渣被烧蚀汽化，形成高温高密度的等离子体。等离子体辐射出炉渣组分元素所对应的特征光谱，光谱信号经光学检测探头由传导光纤束收集并耦合进光谱仪，由增强型电荷耦合器件转换为电信号送入微处理器中进行数据处理与成分分析，最后通过分析的组分数据进行渣系成分的实时调控。

[0017] 本发明有如下优点：

1. 分析速度快，无须取样，可以同时实现熔渣组分中多元素的实时在线测量；
2. 系统各部分集成封装，采用非接触测量，可以适应冶炼现场恶劣环境；
3. 采用透镜阵列和多点驻留测量机械臂实现多点同时测量，降低熔渣液面成分不均匀的影响，提高了测量精度。

## 附图说明

[0018] 图 1 为本发明整体装置结构原理图。

[0019] 图 2 为本发明光学检测探头整体结构示意图，其中：

图 2a 为光学检测探头结构示意图；图 2b 为光学检测探头剖面结构图。

[0020] 图 3 为本发明透镜阵列结构示意图，其中：

图 3a 为透镜阵列结构立体图；图 3b 为透镜阵列结构俯视图；图 3c 为透镜阵列结构侧视图；图 3d 为透镜阵列聚焦焦斑示意图。

[0021] 图 4 为多点驻留测量机械臂结构示意图。

## 具体实施方式

[0022] 如图 1 所示，本发明包括集成机柜 1，激光导光臂 2，耐高温的光学检测探头 3，多点驻留测量机械臂 4，传导光纤束 5。

[0023] 集成机柜 1 中集成有信号发生与采集处理部分、控制信号发生与采集处理部分、激光测距仪、多点驻留测量机械臂工作以及惰性气体流量的后端控制系统，

激光导光臂 2 通过光耦合器件一端与集成机柜 1 内信号发生与采集处理部分的调 Q 激光器连接，另一端与光学检测探头 3 连接，在多点驻留测量机械臂 4 的控制下可随光学检测探头 3 在自由空间内灵活运动，并能实现激光能量的有效传输。

[0024] 如图 2 所示。光学检测探头 3 由耐高温的金属圆管构成，多段耐高温金属圆管构成 T 形三通结构，各段之间通过螺纹连接，光学检测探头具有竖向顶面的管口 c、竖向底面的管口 b、水平侧面的管口 a，激光导光臂 2 连接至管口 a 处。

[0025] 金属圆管内分别夹持有扩束准直透镜组 6、 $45^\circ$  入射激光波长高反 180–900nm 高透镜 11、透镜阵列 9、玻璃窗口 8、聚焦透镜 13。光学检测探头 3 侧壁上设有进气口 12，由此

通入惰性气体对光学系统进行冷却，并清扫玻璃窗口 8。光学检测探头 3 沿圆管内壁设置有六个气道 14 用于惰性气体的流出。光学检测探头 3 的管口 b 外部装有两个激光测距仪 7、10，管口 c 内的聚焦透镜 13 对准的地方设有光纤接口，用于连接传导光纤束 5。

[0026] 如图 3 所示。透镜阵列 9 由光学基底 15、设置在光学基底 15 上的七个六边形透镜元 16 组合而成，激光束通过七个透镜元 16 被聚焦在炉渣液面不同的点上，透镜阵列 9 在炉渣液面上的焦斑示意图如图 3d 所示。

[0027] 光学检测探头 3 使用时固定在多点驻留测量机械臂 4 的执行末端，在多点驻留测量机械臂 4 的控制下可以实现三维方向内的移动。液面垂直方向与激光测距仪 7、10 配合实现透镜阵列 9 在炉渣中聚焦位置的精确控制，炉渣液面上的扫描可以实现多点测量，以克服其成分不均匀对测量结果的影响。

[0028] 如图 4 所示。多点驻留测量机械臂 4 中，测量臂 401 与安装在底座 407 的竖向立柱 408 之间滑动配合，通过机械臂关节 404 可以实现测量臂 401 相对底座 407 沿 Z 轴的上下移动和绕 Z 轴的旋转，要求其上下移动定位精度在 0.1mm 之内，以保证透镜阵列 16 聚焦位置的精确控制。测量臂 401 绕 Z 轴的旋转用于冶炼过程结束时将整个光学检测探头摆动离开熔炼炉，降低光学检测探头被冶炼中的烟气、灰尘等污染的程度。测量臂 402 一端通过机械臂关节 405 与测量臂 401 连接，机械臂关节 405 可在竖直面内摆动，通过机械臂关节 405 可以实现光学检测探头俯仰角的控制，以适应冶炼工艺中冶炼炉上不同位置的探测窗口。测量臂 403 一端与测量臂 402 另一端通过可水平伸缩的液压式关节 406 连接，实现在 X 轴方向的水平移动，与机械臂关节 404 绕 Z 轴的旋转运动结合实现炉渣液面上的二维扫描多点测量。执行末端卡环 409 固定在机械臂 403 另一端，卡环 409 套在光学检测探头 3 的管口 c 外部。

[0029] 集成机柜 1 中包括信号发生与采集处理部分和后端控制系统。信号发生与采集处理部分主要包括通过调 Q 激光器、光谱仪、增强型电荷耦合器件及微处理器等。后端控制系统主要完成激光测距仪、机械臂位置以及探头冷却气体流量等的控制。集成机柜外部设有人机交互界面。

[0030] 本发明实施的具体过程为：首先向光学检测探头内吹入惰性气体，通过多点驻留测量机械臂 4 将光学检测探头 3 定位于炉渣液面正上方，启动激光测距仪 7、10 测量光学检测探头 3 当前位置下透镜阵列 9 距离炉渣液面的距离，多点驻留测量机械臂 4 根据集成机柜 1 上人机界面显示的距离数据控制光学检测探头 3 沿炉渣液面垂直方向移动，达到透镜阵列 9 焦点位置时，启动集成机柜 1 内的信号发生装置控制 Nd:YAG 激光器发出能量 >500mJ 的激光脉冲，经过激光导光臂 2 传输至光学检测探头 3，由 45° 入射激光波长高反 180~900nm 高透镜 11 反射至透镜阵列 9 并被聚焦至炉渣液面不同的点上，各个点处的炉渣被烧蚀汽化，形成高温高密度的等离子体，等离子体发射光谱信号依次经过玻璃窗口 8、透镜阵列 9，透射过 45° 入射激光波长高反 180~900nm 高透镜 11，经聚焦透镜 13 聚焦至传导光纤束 5 并传输至光谱仪，经增强型电荷耦合器件转化为电信号后被送入微处理器，进行数据处理和炉渣组分分析。

[0031] 炉渣液面一个微区被测量后，多点驻留测量机械臂 4 控制光学检测探头 3 在炉渣液面上二维移动进行多区域测量。最后通过人机交互界面显示的组分数据进行渣系成分的实时在线调控。

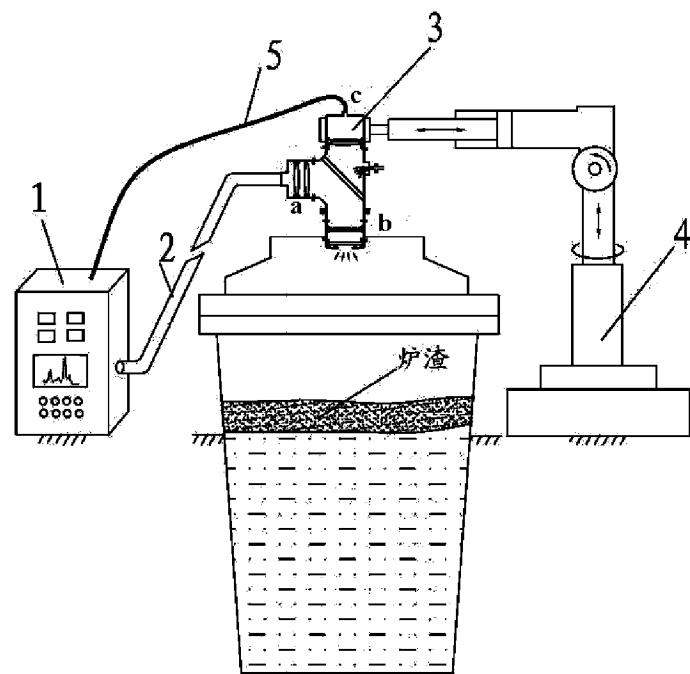


图 1

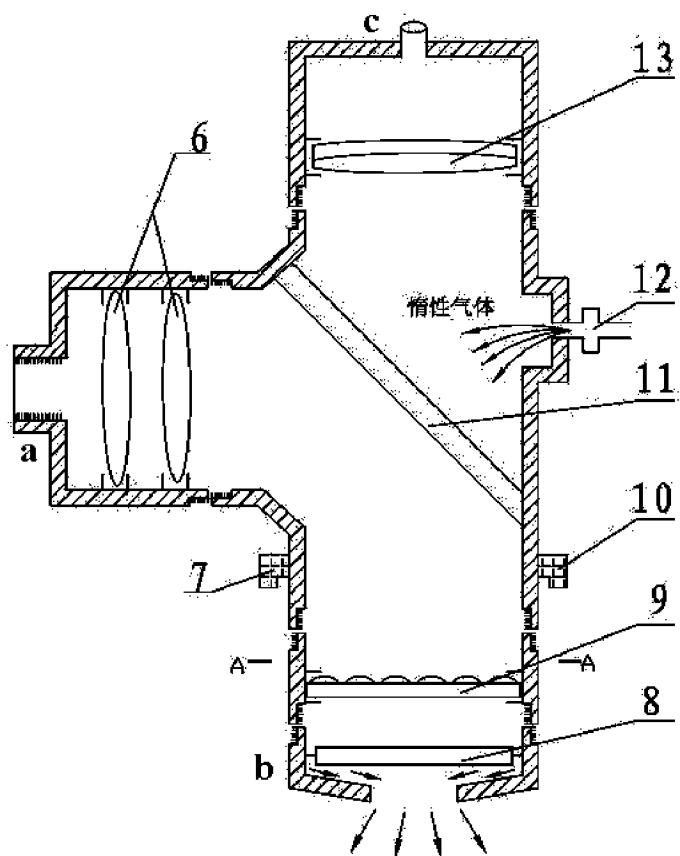


图 2a

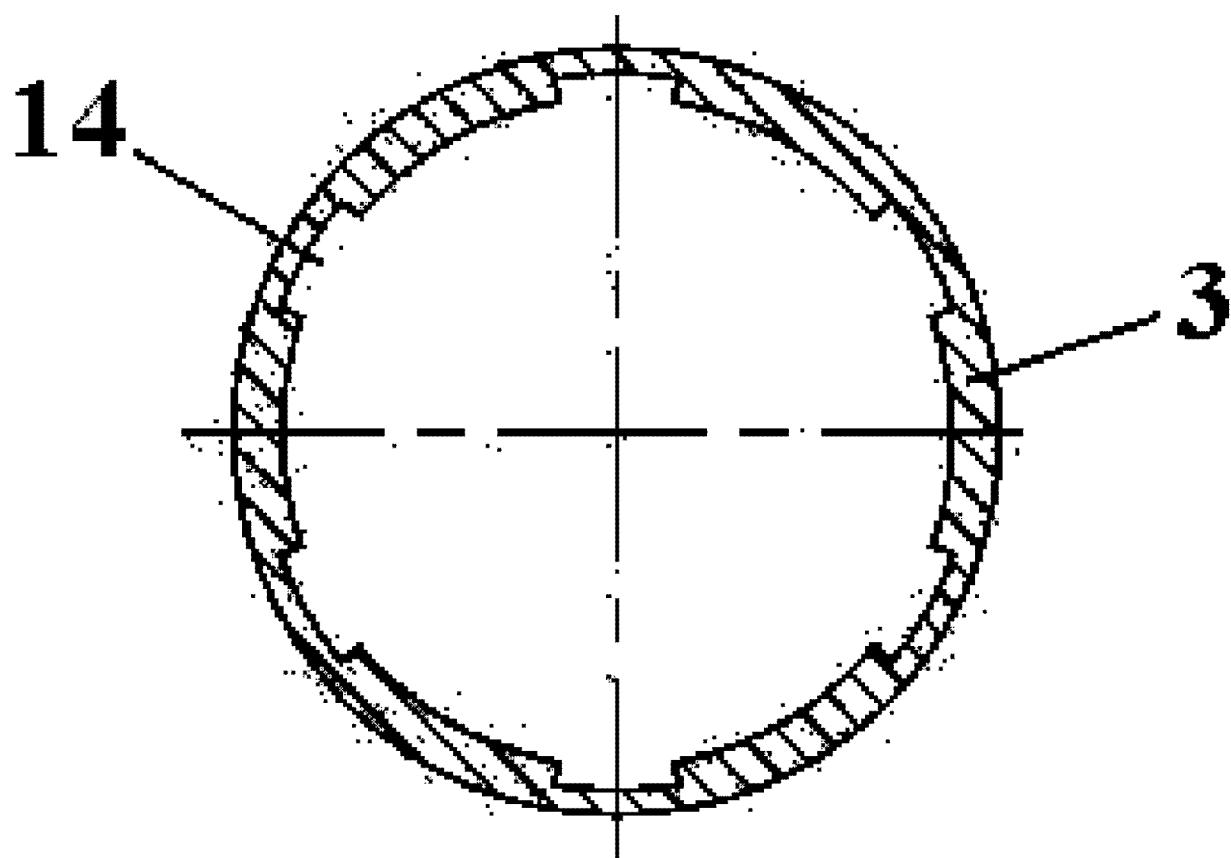


图 2b

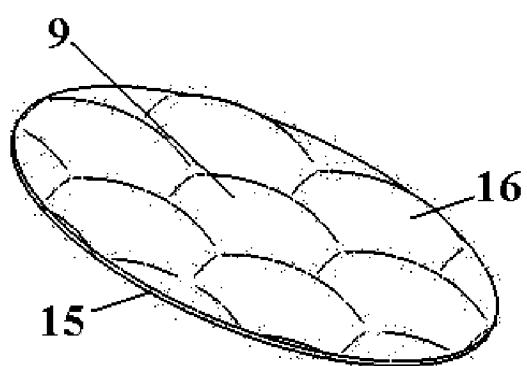


图 3a

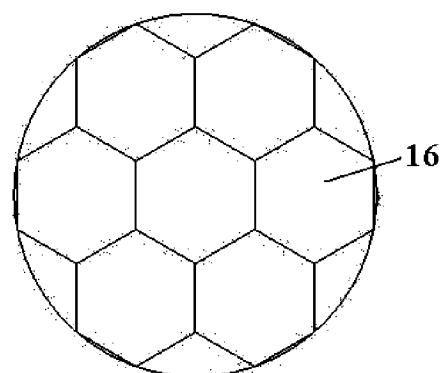


图 3b

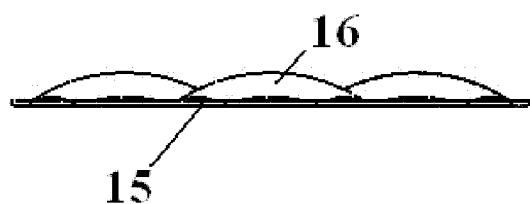


图 3c

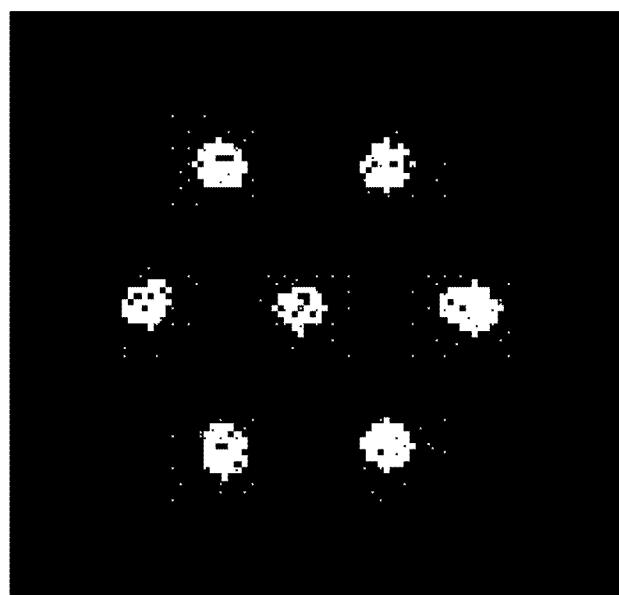


图 3d

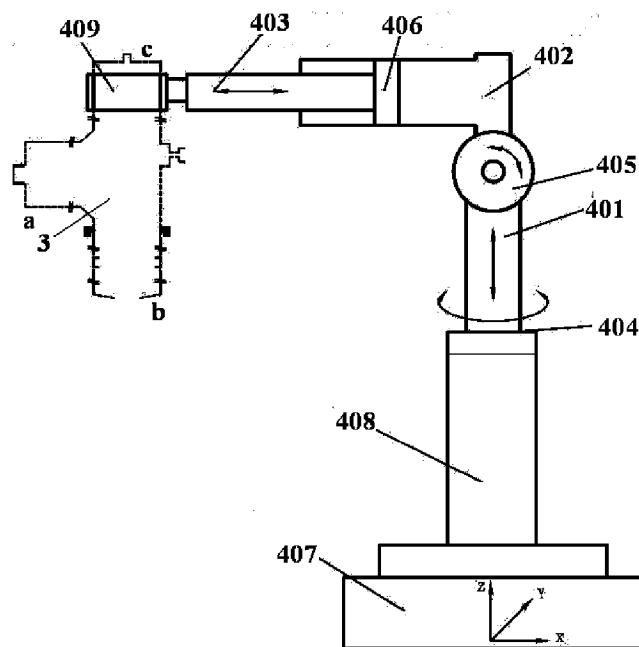


图 4