



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115608991 A

(43) 申请公布日 2023. 01. 17

(21) 申请号 202211600790.8

(22) 申请日 2022.12.14

(71) 申请人 太原理工大学

地址 030024 山西省太原市迎泽西大街79号

(72) 发明人 季策 王涛 黄庆学 任忠凯

刘文文 陈鹏 刘元铭 韩建超

(74) 专利代理机构 太原倍智知识产权代理事务

所(普通合伙) 14111

专利代理师 张宏

(51) Int. Cl.

B22F 7/08 (2006.01)

B22F 3/105 (2006.01)

B22F 3/093 (2006.01)

B22F 5/10 (2006.01)

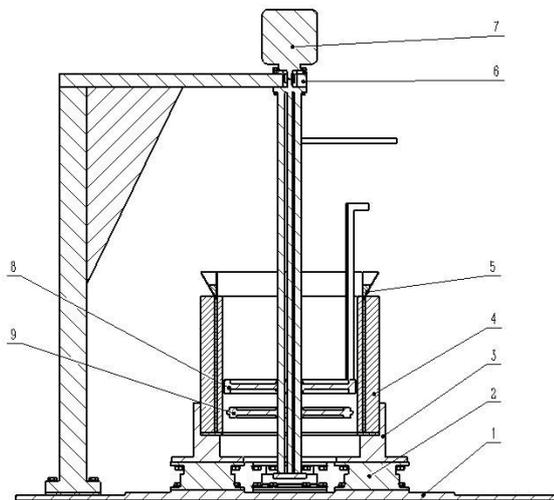
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种大型双金属筒节柔性复合设备及其方法

(57) 摘要

本发明属于大型筒节成形技术领域,具体涉及一种大型双金属筒节柔性复合设备及其方法,设备包括固定底座、振动器、振动底座、预制复合坯料、感应加热器和水雾冷却器,所述振动器安装在固定底座上,所述振动底座安装在振动器上,所述预制复合坯料安装在振动底座上,所述粉末布料器安装在预制复合坯料上,所述支撑梁安装在固定底座上,所述直线升降机构安装在支撑梁上,所述感应加热器和水雾冷却器安装在直线升降机构上,本发明可以通过电磁感应加热熔化中间金属粉末,使熔化后的中间金属粉末与外层筒节和内层筒节之间形成固-液界面,通过调控扩散温度和扩散时间,配合控制冷却速度,最终实现复合界面柔性连接与冶金结合。



1. 一种大型双金属筒节柔性复合设备,其特征在于:包括固定底座(1)、振动器(2)、振动底座(3)、预制复合坯料(4)、粉末布料器(5)、支撑梁(6)、直线升降机构(7)、感应加热器(8)和水雾冷却器(9),所述振动器(2)安装在固定底座(1)上,所述振动底座(3)安装在振动器(2)上,所述预制复合坯料(4)安装在振动底座(3)上,所述粉末布料器(5)安装在预制复合坯料(4)上,用于向预制复合坯料(4)内部加入中间金属粉末,所述支撑梁(6)安装在固定底座(1)上,且位于振动底座(3)的一侧,所述直线升降机构(7)安装在支撑梁(6)上,且其位于振动底座(3)的轴线方向上,所述感应加热器(8)和水雾冷却器(9)安装在直线升降机构(7)上,且可在直线升降机构(7)的带动下沿预制复合坯料(4)轴线方向进行升降,从而对预制复合坯料(4)进行加热和冷却;

所述预制复合坯料(4)包括外层筒节(401)、内层筒节(402)和定位圆环(403),所述定位圆环(403)安装在振动底座(3)上,所述外层筒节(401)和内层筒节(402)安装在定位圆环(403)上,所述外层筒节(401)、内层筒节(402)和定位圆环(403)的轴线与振动底座(3)的轴线相重合,在所述外层筒节(401)和内层筒节(402)之间形成预留间隙(404),所述预留间隙(404)与粉末布料器(5)的下料口相连通。

2. 根据权利要求1所述的一种大型双金属筒节柔性复合设备,其特征在于:所述振动器(2)至少有四个,且呈圆周均匀排列设置在固定底座(1)上,所述振动器(2)为电磁振动器或机械振动器。

3. 根据权利要求1所述的一种大型双金属筒节柔性复合设备,其特征在于:所述中间金属粉末的熔点低于外层筒节(401)和内层筒节(402),所述中间金属粉末的熔点为500~1200℃,所述中间金属粉末为纳米级或微米级的钎焊材料。

4. 根据权利要求1所述的一种大型双金属筒节柔性复合设备,其特征在于:所述直线升降机构(7)为丝杠升降机构。

5. 根据权利要求1所述的一种大型双金属筒节柔性复合设备,其特征在于:所述外层筒节(401)和/或内层筒节(402)的材质为可通过电磁感应加热方式进行加热的材质。

6. 根据权利要求1所述的一种大型双金属筒节柔性复合设备,其特征在于:所述外层筒节(401)和内层筒节(402)之间的厚度差大于8倍。

7. 根据权利要求1所述的一种大型双金属筒节柔性复合设备,其特征在于:所述感应加热器(8)和水雾冷却器(9)之间的间距为50-500mm。

8. 根据权利要求1所述的一种大型双金属筒节柔性复合设备,其特征在于:所述水雾冷却器(9)由环形水管(901)、用于固定环形水管(901)的固定杆(902)和均匀分布在环形水管(901)上的喷头(903)组成,所述固定杆(902)与直线升降机构(7)连接。

9. 一种基于权利要求1-8任一项所述大型双金属筒节柔性复合设备的复合方法,其特征在于:包括以下步骤:

1) 根据目标规格的预制复合坯料(4),选择合适的预留间隙(404),连接固定底座(1)、振动器(2)、振动底座(3)、预制复合坯料(4)和粉末布料器(5),并通过粉末布料器(5)向预制复合坯料(4)的预留间隙(404)填充中间金属粉末,且所述粉末布料器(5)内预留的中间金属粉末不高于粉末布料器(5)的上端,安装支撑梁(6)、直线升降机构(7)、感应加热器(8)和水雾冷却器(9),并调整感应加热器(8)和水雾冷却器(9)之间的距离H至合适间距;

2) 开启振动器(2),带动振动底座(3)、预制复合坯料(4)、粉末布料器(5)和中间金属粉

末以固定频率 f 进行直线振动；

3) 开启感应加热器(8)对预制复合坯料(4)进行加热,将预留间隙(404)内的中间金属粉末熔化,熔化后的中间金属粉末与预制复合坯料(4)的外层筒节(401)和内层筒节(402)进行高温固-液扩散；

4) 开启直线升降机构(7),带动感应加热器(8)和水雾冷却器(9)以相同的速度 v 缓慢上升,使预留间隙(404)内的中间金属粉末从下往上逐渐熔化,熔化前固态的中间金属粉末在振动器(2)作用下实现连续填充,熔化后的中间金属粉末在振动器(2)和水雾冷却器(9)的共同作用下进行快速凝固,实现外层筒节(401)和内层筒节(402)的柔性复合。

10. 根据权利要求9所述的一种大型双金属筒节柔性复合方法,其特征在于:通过对所述感应加热器(8)的电流频率、电源功率、加热时间进行控制,实现对中间金属粉末熔化温度的调整,通过对振动器(2)振动频率 f 、振动幅值 A 以及水雾冷却器(9)的冷却水量、冷却水温、喷嘴结构进行控制,实现熔化后的中间金属粉末凝固组织性能调控;通过对感应加热器(8)和水雾冷却器(9)的上升速度 v 以及二者之间的距离 H 进行控制,实现对熔化后的中间金属粉末与预制复合坯料(4)之间固-液界面扩散时间的调整。

一种大型双金属筒节柔性复合设备及其方法

技术领域

[0001] 本发明属于大型筒节成形技术领域,具体涉及一种大型双金属筒节柔性复合设备及其方法。

背景技术

[0002] 大型筒节是核电、火箭、石化等装备中的关键组成部分,由于长期工作在高温、高压和腐蚀的环境中,所以对其综合性能要求极高。目前,大型筒节主要为单质金属,由于体积庞大,整体加热过程长达数十小时,并且大型筒节壁厚较大,成形过程中温降显著,需要进行多次补热,大大增加了能源消耗和生产周期。

[0003] 大型双金属筒节是一种兼具刚度、强度和耐蚀、耐磨等综合性能的结构和功能材料,基体和覆层之间通过特殊变形和连接技术形成紧密结合,极大发挥了各组元金属的优势,克服了单一金属的性能缺陷,可以显著降低应用成本,具有优异的综合性能和经济效益,在核电、石油化工、海洋工程、电力电子、机械制造、建筑装饰等领域具有广阔的应用前景。

[0004] 大型双金属筒节直径可达10余米,外层筒节与内层筒节分别承担结构作用和功能作用,并且厚比差异悬殊,如果界面实现冶金结合,则可广泛用于我国核电、石化、风力发电、航空航天等重要经济领域基础装备的关键零部件。近年来,辗环、锻造等大型单金属筒节制备技术日趋成熟,但是由于尺寸大、自重大、精度控制难,两个大型筒节的机械套装过程本身面临极大挑战,传统单道次小变形成形工艺无法实现复合界面冶金结合。此外,爆炸复合、轧制复合、挤压复合、铸轧复合等双金属复合技术仅适用于小口径双金属复合管或复合板带生产,同样无法满足大型双金属筒节生产需求。

[0005] 随着我国核电能源、航空航天、冶金与石油化工等行业的高速发展,对大型双金属筒节的需求日益增大,且目标规格需要个性化定制,对企业制造能力提出了更高的要求,亟待开发一种满足用户规格需求的高效、节能、降耗的柔性复合设备与方法。

发明内容

[0006] 本发明针对上述问题提供了一种大型双金属筒节柔性复合设备及其方法。

[0007] 为达到上述目的本发明采用了以下技术方案:

一种大型双金属筒节柔性复合设备,包括固定底座、振动器、振动底座、预制复合坯料、粉末布料器、支撑梁、直线升降机构、感应加热器和水雾冷却器,所述振动器安装在固定底座上,所述振动底座安装在振动器上,所述预制复合坯料安装在振动底座上,所述粉末布料器安装在预制复合坯料上,用于向预制复合坯料内部加入中间金属粉末,所述支撑梁安装在固定底座上,且位于振动底座的一侧,所述直线升降机构安装在支撑梁上,且其位于振动底座的轴线方向上,所述感应加热器和水雾冷却器安装在直线升降机构上,且可在直线升降机构的带动下沿预制复合坯料轴线方向进行升降,从而对预制复合坯料进行加热和冷却;

所述预制复合坯料包括外层筒节、内层筒节和定位圆环,所述定位圆环安装在振动底座上,所述外层筒节和内层筒节安装在定位圆环上,所述外层筒节、内层筒节和定位圆环的轴线与振动底座的轴线相重合,在所述外层筒节和内层筒节之间形成预留间隙,所述预留间隙与粉末布料器的下料口相连通。

[0008] 进一步,所述振动器至少有四个,且呈圆周均匀排列设置在固定底座上,所述振动器为电磁振动器或机械振动器。

[0009] 再进一步,所述中间金属粉末的熔点低于外层筒节和内层筒节,所述中间金属粉末的熔点为500~1200℃,所述中间金属粉末为纳米级或微米级的钎焊材料。

[0010] 更进一步,所述直线升降机构为丝杠升降机构。

[0011] 更进一步,所述外层筒节和/或内层筒节的材质为可通过电磁感应加热方式进行加热的材质。

[0012] 更进一步,所述外层筒节和内层筒节之间的厚度差大于8倍。

[0013] 更进一步,所述感应加热器和水雾冷却器之间的间距为50-500mm。

[0014] 更进一步,所述水雾冷却器由环形水管、用于固定环形水管的固定杆和均匀分布在环形水管上的喷头组成,所述固定杆与直线升降机构连接。

[0015] 一种大型双金属筒节柔性复合方法,包括以下步骤:

1)根据目标规格的预制复合坯料,选择合适的预留间隙,连接固定底座、振动器、振动底座、预制复合坯料和粉末布料器,并通过粉末布料器向预制复合坯料的预留间隙填充中间金属粉末,且所述粉末布料器内预留的中间金属粉末不高于粉末布料器的上端,安装支撑梁、直线升降机构、感应加热器和水雾冷却器,并调整感应加热器和水雾冷却器之间的距离H至合适间距;

2)开启振动器,带动振动底座、预制复合坯料、粉末布料器和中间金属粉末以固定频率f进行直线振动;

3)开启感应加热器对预制复合坯料进行加热,将预留间隙内的中间金属粉末熔化,熔化后的中间金属粉末与预制复合坯料的外层筒节和内层筒节进行高温固-液扩散;

4)开启直线升降机构,带动感应加热器和水雾冷却器以相同的速度v缓慢上升,使预留间隙内的中间金属粉末从下往上逐渐熔化,熔化前固态的中间金属粉末在振动器作用下实现连续填充,熔化后的中间金属粉末在振动器和水雾冷却器的共同作用下进行快速凝固,实现外层筒节和内层筒节的柔性复合。

[0016] 进一步,通过对所述感应加热器的电流频率、电源功率、加热时间进行控制,实现对中间金属粉末熔化温度的调整,通过对振动器振动频率f、振动幅值A以及水雾冷却器的冷却水量、冷却水温、喷嘴结构进行控制,实现熔化后的中间金属粉末凝固组织性能调控;通过对感应加热器和水雾冷却器的上升速度v以及二者之间的距离H进行控制,实现对熔化后的中间金属粉末与预制复合坯料之间固-液界面扩散时间的调整。

[0017] 与现有技术相比本发明具有以下优点:

本发明针对大型筒节直径尺寸大、自身重量大、精度控制难等问题,通过在外层筒节与内层筒节之间填充中间金属粉末,可以实现二者之间柔性套装组坯,避免了传统组坯过程中对同轴度、直线度、配合精度等要求高的问题;

本发明可以通过电磁感应加热熔化中间金属粉末,使熔化后的中间金属粉末与外

层筒节和内层筒节之间形成固-液界面,通过调控扩散温度和扩散时间,配合控制冷却速度,最终实现复合界面柔性连接与冶金结合;

本发明通过振动能够场能够实现中间金属粉末的连续填充,避免了以空洞为代表的填充不充分问题,并且配合快速冷却可以实现中间层金属凝固组织与综合性能调控,实现晶粒细化,显著提高生产效率、提升产品性能和缩短工艺流程,可以满足用户规格个性化定制需求;

本发明针对大型双金属筒节复合过程中整体加热设备大、耗时长等突出问题,通过局部电磁感应加热和冷却控制,实现中间金属粉末的熔化与凝固,能够实现节能降耗和近净成形。

附图说明

[0018] 图1为本发明的结构示意图;

图2为本发明预制复合坯料的结构示意图;

图3为本发明水雾冷却器的结构示意图;

图中,固定底座—1、振动器—2、振动底座—3、预制复合坯料—4、粉末布料器—5、支撑梁—6、直线升降机构—7、感应加热器—8、水雾冷却器—9、外层筒节—401、内层筒节—402、定位圆环—403、预留间隙—404、环形水管—901、固定杆—902、喷头—903。

具体实施方式

[0019] 为了进一步阐述本发明的技术方案,下面通过实施例对本发明进行进一步说明。

[0020] 实施例1

如图1至图3所示,一种大型双金属筒节柔性复合设备,包括固定底座1、振动器2、振动底座3、预制复合坯料4、粉末布料器5、支撑梁6、直线升降机构7、感应加热器8和水雾冷却器9,所述振动器2至少有四个,且呈圆周均匀排列设置在固定底座1上,所述振动器2为电磁振动器或机械振动器,所述振动底座3安装在振动器2上,所述预制复合坯料4安装在振动底座3上,所述粉末布料器5安装在预制复合坯料4上,用于向预制复合坯料4内部加入中间金属粉末,所述支撑梁6安装在固定底座1上,且位于振动底座3的一侧,所述直线升降机构7为丝杠升降机构,所述直线升降机构7安装在支撑梁6上,且其位于振动底座3的轴线方向上,所述感应加热器8和水雾冷却器9安装在直线升降机构7上,且可在直线升降机构7的带动下沿预制复合坯料4轴线方向进行升降,从而对预制复合坯料4进行加热和冷却,所述感应加热器8和水雾冷却器9之间的间距为50-500mm;

所述预制复合坯料4包括外层筒节401、内层筒节402和定位圆环403,所述定位圆环403安装在振动底座3上,所述外层筒节401和内层筒节402安装在定位圆环403上,所述外层筒节401和/或内层筒节402的材质为可通过电磁感应加热方式进行加热的材质,所述外层筒节401和内层筒节402之间的厚度差大于8倍,所述外层筒节401、内层筒节402和定位圆环403的轴线与振动底座3的轴线相重合,在所述外层筒节401和内层筒节402之间形成预留间隙404,所述预留间隙404与粉末布料器5的下料口相连通,所述中间金属粉末的熔点低于外层筒节401和内层筒节402,所述中间金属粉末的熔点为500~1200℃,所述中间金属粉末为纳米级或微米级的钎焊材料;

所述水雾冷却器9由环形水管901、用于固定环形水管901的固定杆902和均匀分布在环形水管901上的喷头903组成,所述固定杆902与直线升降机构7连接。

[0021] 一种大型双金属筒节柔性复合方法,包括以下步骤:

1) 根据目标规格的预制复合坯料4,选择合适的预留间隙404,连接固定底座1、振动器2、振动底座3、预制复合坯料4和粉末布料器5,并通过粉末布料器5向预制复合坯料4的预留间隙404填充中间金属粉末,且所述粉末布料器5内预留的中间金属粉末不高于粉末布料器5的上端,安装支撑梁6、直线升降机构7、感应加热器8和水雾冷却器9,并调整感应加热器8和水雾冷却器9之间的距离H至合适间距;

2) 开启振动器2,带动振动底座3、预制复合坯料4、粉末布料器5和中间金属粉末以固定频率f进行直线振动;

3) 开启感应加热器8对预制复合坯料4进行加热,通过对所述感应加热器8的电流频率、电源功率、加热时间进行控制,实现对中间金属粉末熔化温度的调整,将预留间隙404内的中间金属粉末熔化,熔化后的中间金属粉末与预制复合坯料4的外层筒节401和内层筒节402进行高温固-液扩散;

4) 开启直线升降机构7,带动感应加热器8和水雾冷却器9以相同的速度v缓慢上升,使预留间隙404内的中间金属粉末从下往上逐渐熔化,熔化前固态的中间金属粉末在振动器2作用下实现连续填充,熔化后的中间金属粉末在振动器2和水雾冷却器9的共同作用下进行快速凝固,实现外层筒节401和内层筒节402的柔性复合,其中,通过对振动器2振动频率f、振动幅值A以及水雾冷却器9的冷却水量、冷却水温、喷嘴结构进行控制,实现熔化后中间金属粉末凝固组织性能调控;通过对感应加热器8和水雾冷却器9的上升速度v以及二者之间的距离H进行控制,实现对熔化后的中间金属粉末与预制复合坯料4之间固-液界面扩散时间的调整。

[0022] 实施例2

制备Q420低合金高强度结构钢/SA508-III超低碳不锈钢双金属筒节;

1) 所述外层筒节401为Q420低合金高强度结构钢,外径5000mm、壁厚300mm、高度2000mm,内层筒节402为SA508-III超低碳不锈钢,外径4350mm、壁厚50mm、高度2000mm,外层筒节401与内层筒节402之间的预留间隙404为25mm,中间金属粉末为微米级高纯铜粉,熔点1083℃,感应加热器8为不锈钢专用数字型电磁加热器,带有自我保护功能,最大加热温度可达1600℃,连接固定底座1、振动器2、振动底座3、预制套装坯料4、粉末布料器5,并通过粉末布料器5向预制复合坯料4的预留间隙404填充中间金属粉末,且所述粉末布料器5内预留的中间金属粉末不高于粉末布料器5的上端,连接固定底座1、支撑梁6、直线升降机构7、感应加热器8和水雾冷却器9,设定感应加热器8与水雾冷却器9之间的距离H=100mm;

2) 开启振动器2,带动振动底座3、预制套装坯料4、粉末布料器5和中间金属粉末以固定频率f=50Hz进行振幅为A=1mm的往复直线振动;

3) 开启感应加热器8对预制套装坯料4进行电磁感应加热,内层筒节402温度达到1120℃,将预留间隙404内的低熔点中间金属粉末熔化,熔化后的中间金属粉末与预制套装坯料4的外层筒节401和内层筒节402进行高温固-液扩散;

4) 开启直线升降机构7,使感应加热器8和水雾冷却器9以相同速度v=10mm/s缓慢上升,感应加热器8上方未熔化的固态中间金属粉末在振动器2的振动作用下实现连续填

充,感应加热器8下方熔化后的中间金属粉末在振动器2和水雾冷却器9共同作用下进行快速振动凝固,实现外层筒节401和内层筒节402的柔性复合;

熔化后的中间金属粉末与外层筒节401和内层筒节402之间高温固-液扩散温度为1120℃,根据感应加热器9与水雾冷却器10之间的距离 $H=100\text{mm}$ 和相同缓慢上升速度 $v=10\text{mm/s}$ 可知固-液界面扩散时间为10s,在固定频率 $f=50\text{Hz}$ 和振幅为 $A=1\text{mm}$ 的振动能场辅助作用下,化为液态的中间金属粉末凝固后组织致密且性能优良,熔化、凝固后的中间金属粉末与外层筒节401和内层筒节402之间的界面剪切强度达到凝固后纯铜基体强度,实现Q420低合金高强度结构钢/SA508-III超低碳不锈钢双金属筒节柔性复合与近净成形。

[0023] 实施例3

制备Q420低合金高强度结构钢/TC4钛合金双金属筒节;

1)所述外层筒节401为Q420低合金高强度结构钢,外径8000mm、壁厚300mm、高度1500mm,内层筒节402为TC4钛合金,外径7300mm、壁厚80mm、高度1500mm,外层筒节401与内层筒节402之间的预留间隙404为50mm,中间金属粉末为微米级铝基钎焊材料A1-7.5Si,钎焊温度560~600℃,感应加热器8为钛合金专用数字型电磁加热器,带有自我保护功能,最大加热温度可达1200℃,连接固定底座1、振动器2、振动底座3、预制套装坯料4、粉末布料器5,并通过粉末布料器5向预制复合坯料4的预留间隙404填充中间金属粉末,且所述粉末布料器5内预留的中间金属粉末不高于粉末布料器5的上端,连接固定底座1、支撑梁6、直线升降机构7、感应加热器8和水雾冷却器9,设定感应加热器8与水雾冷却器9之间的距离 $H=150\text{mm}$;

2)开启振动器2,带动振动底座3、预制套装坯料4、粉末布料器5和中间金属粉末以固定频率 $f=25\text{Hz}$ 进行振幅为 $A=0.5\text{mm}$ 的往复直线振动;

3)开启感应加热器8对预制套装坯料4进行电磁感应加热,内层筒节402温度达到600℃,将预留间隙404内的低熔点中间金属粉末熔化,熔化后的中间金属粉末与预制套装坯料4的外层筒节401和内层筒节402进行高温固-液扩散;

4)开启直线升降机构7,使感应加热器8和水雾冷却器9以相同速度 $v=5\text{mm/s}$ 缓慢上升,感应加热器8上方未熔化的固态中间金属粉末在振动器2的振动作用下实现连续填充,感应加热器8下方熔化后的中间金属粉末在振动器2和水雾冷却器9共同作用下进行快速振动凝固,实现外层筒节401和内层筒节402的柔性复合;

熔化后的中间金属粉末与外层筒节401和内层筒节402之间高温固-液扩散温度为600℃,根据感应加热器9与水雾冷却器10之间的距离 $H=150\text{mm}$ 和相同缓慢上升速度 $v=5\text{mm/s}$ 可知固-液界面扩散时间为30s,在固定频率 $f=25\text{Hz}$ 和振幅为 $A=0.5\text{mm}$ 的振动能场辅助作用下,化为液态的中间金属粉末凝固后组织致密且性能优良,熔化、凝固后的中间金属粉末与外层筒节401和内层筒节402之间的界面剪切强度达到凝固后铝基钎焊材料A1-7.5Si基体强度,实现Q420低合金高强度结构钢/TC4钛合金双金属筒节柔性复合与近净成形。

[0024] 以上显示和描述了本发明的主要特征和优点,对于本领域技术人员而言,显然本发明不限于上述示范性实施例的细节,而且在不背离本发明的精神或基本特征的情况下,能够以其他的具体形式实现本发明。因此,无论从哪一点来看,均应实施例看作是示范性的,而且是非限制性的,本发明的范围由所附权利要求而不是上述说明限定,因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本发明内。

[0025] 此外,应当理解,虽然本说明书按照实施方式加以描述,但并非每个实施方式仅包

含一个独立的技术方案,说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见,本领域技术人员应当将说明书作为一个整体,各实施例中的技术方案也可以经适当组合,形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

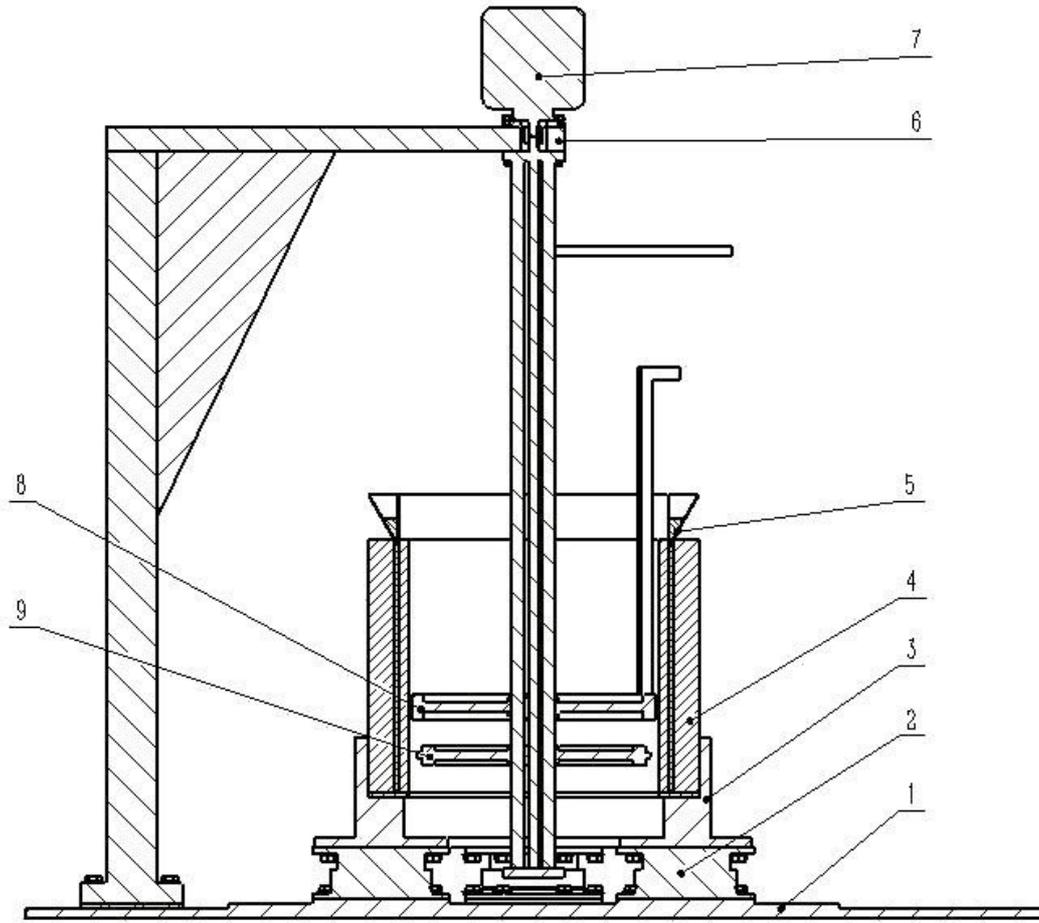


图1

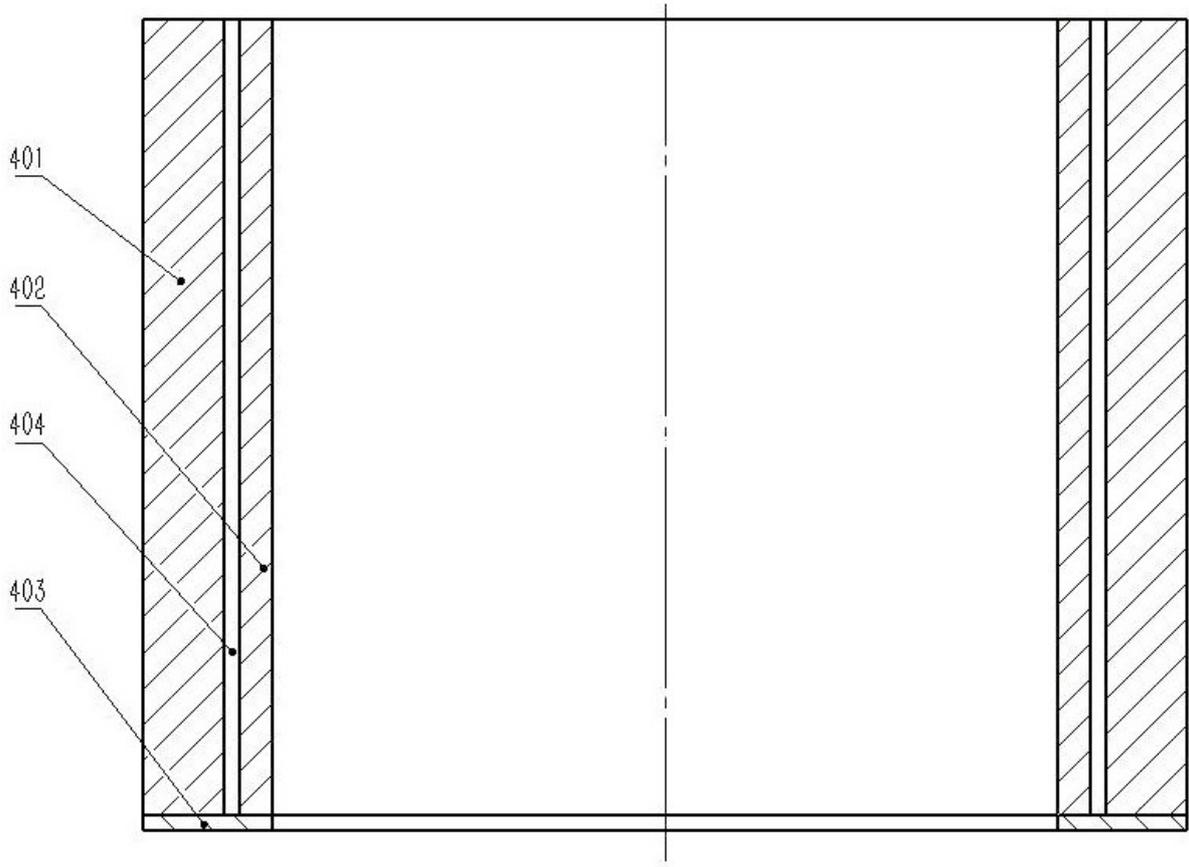


图2

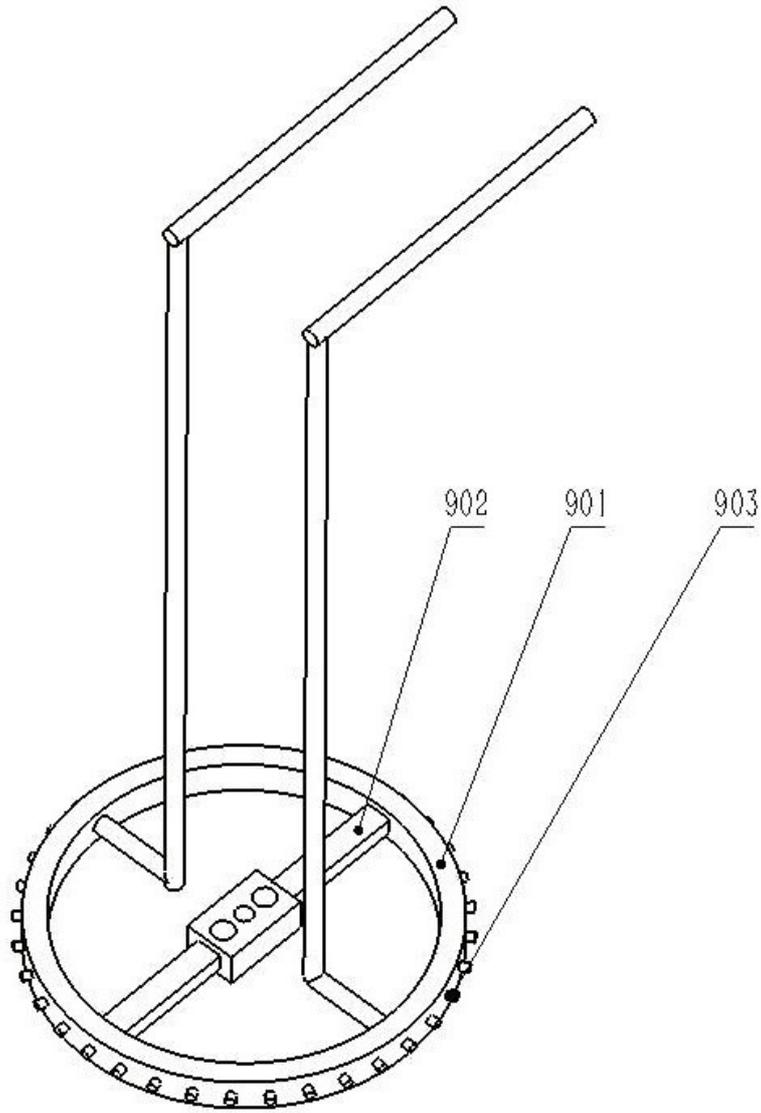


图3