(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108581204 A
(43)申请公布日 2018.09.28

(21)申请号 201810413570.1

(22)申请日 2018.05.03

(71)申请人 温州职业技术学院
地址 325000 浙江省温州市瓯海经济开发区东方南路38号温州市国家大学科技园孵化器

(72)发明人 魏鑫磊

(74)专利代理机构 北京中北知识产权代理有限公司 11253
代理人 陈孝政

(51)Int.Cl.
B23K 26/282(2014.01)
B23K 26/12(2014.01)
B23K 26/70(2014.01)
B23K 37/04(2006.01)
G01M 3/08(2006.01)
B23K 101/14(2006.01)

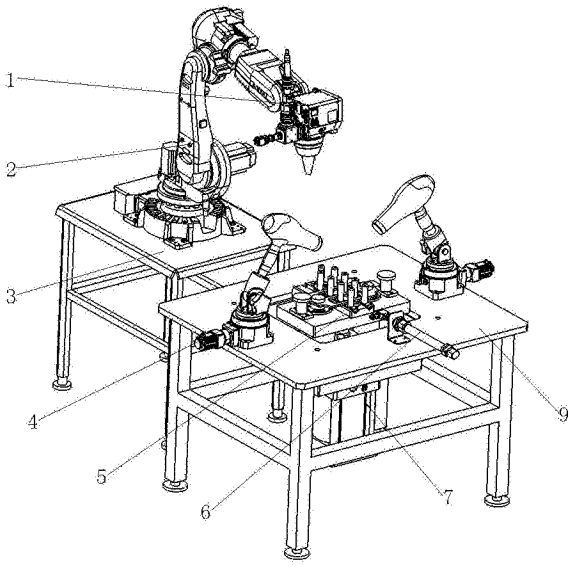
权利要求书2页 说明书6页 附图7页

(54)发明名称

一种冷凝管的激光焊接测试一体化装置

(57)摘要

本发明提供了一种冷凝管的激光焊接测试一体化装置，包括激光加工头、多自由度机械手、机器人定位架、烘干组件、升降仿形夹具组件、吹气组件、水槽组件、工件和工作台；激光加工头安装在多自由度机械手上，由多自由度机械手控制其运动；多自由度机械手安装在机器人定位架上；所述升降仿形夹具组件设置在工作台的贯穿通槽内；升降仿形夹具组件包括移动定位块、模槽安装板、仿形模槽、压板、两个球锁轴套件、定位套安装板和两个直线轴承；所述仿形模槽固定设置在模槽安装板的矩形凹槽内，所述仿形模槽上设置有与U形管外轮廓匹配的仿形凹槽。本发明解决了该类零部件长期以来自动化焊接、焊缝质量在线自动化测试的技术难题，大大提高了生产效率。



CN 108581204 A

1.一种冷凝管的激光焊接测试一体化装置，其特征在于，包括激光加工头(1)、多自由度机械手(2)、机器人定位架(3)、烘干组件(4)、升降仿形夹具组件(5)、吹气组件(6)、水槽组件(7)、工件(8)和工作台(9)；

所述激光加工头(1)安装在多自由度机械手(2)上，由多自由度机械手(2)控制其运动；所述多自由度机械手(2)安装在机器人定位架(3)上；

所述工作台(9)的中心位置设置有一贯穿通槽，所述升降仿形夹具组件(5)设置在所述贯穿通槽内，并可沿竖直方向上下升降运动；

所述烘干组件(4)为两个，两个烘干组件(4)对称安装在工作台(9)上；所述烘干组件(4)包括烘干机(401)、定位套筒(402)、双耳定位架(403)、锁紧螺栓把手(404)、步进电机(405)和电动转台(406)；所述烘干机(401)与定位套筒(402)同轴紧固装配，所述定位套筒(402)上端呈圆筒状，下端呈U形并开有通孔用于与双耳定位架(403)同轴配合，所述锁紧螺栓把手(404)用于将定位套筒(402)锁紧在双耳定位架(403)上；步进电机(405)用于驱动电动转台(406)，双耳定位架(403)设置在电动转台(406)上，由电动转台(406)带动其旋转；

所述升降仿形夹具组件(5)包括移动定位块(501)、模槽安装板(502)、仿形模槽(503)、压板(504)、两个球锁轴套件(505)、定位套安装板(506)和两个直线轴承(507)；

所述模槽安装板(502)呈凸字形，中部设有矩形凹槽(5021)，左右两侧对称分布有定位槽(5022)和安装孔(5023)；两个直线轴承(507)分别安装在左右两个安装孔(5023)内；

模槽安装板(502)的前端开有凹槽(5024)和阶梯槽(5025)，移动定位块(501)通过与凹槽(5024)和阶梯槽(5025)的配合卡装在模槽安装板(502)上；

所述仿形模槽(503)固定设置在模槽安装板(502)的矩形凹槽(5021)内，所述仿形模槽(503)上设置有与U形管(802)外轮廓匹配的仿形凹槽(5031)；

所述压板(504)用于将冷凝管工件与仿形凹槽(5031)压紧固定；所述压板(504)两侧设有通孔，用于分别与两个球锁轴套件(505)同轴配合；

所述球锁轴套件(505)包括球锁轴(5051)、定位套(5052)和正面接受套(5053)，定位套(5052)安装在定位套安装板(506)上，正面接受套(5053)安装在定位槽(5022)内，球锁轴(5051)依次穿过压板(504)、定位套(5052)后与设置在其正下方的正面接受套(5053)固定装配，继而通过压板(504)将U形管(802)固定在仿形模槽(503)中的仿形凹槽内；

所述水槽组件(7)设置在升降仿形夹具组件(5)下方；所述水槽组件(7)包括水槽(701)、导向杆(702)、密封导向套筒(703)和升降气缸(704)；所述水槽(701)的开口端设置在工作台(9)的贯穿通槽下方，并与工作台(9)的台面固定在一起；水槽(701)的开口端要能够包围升降仿形夹具组件(5)的外部轮廓，使得升降仿形夹具组件(5)向下运动时恰好可以浸入水槽(701)内；

所述导向杆(702)为一对，分别与升降仿形夹具组件(5)中的两个直线轴承(507)同轴配合安装；所述升降气缸(704)设置在水槽(701)的底部外侧，升降气缸(704)的活塞杆穿过水槽(701)的底面向上与升降仿形夹具组件(5)的模槽安装板(502)固定；所述密封导向套筒(703)安装在水槽(701)底部上表面，并与升降气缸(704)的活塞杆同轴装配；

所述气路导向组件(6)包括导向气缸(601)、导向气缸安装板(602)、快插(603)、气路转接块(604)和气嘴(605)，导向气缸(601)通过导向气缸安装板(602)定位在工作台(9)上，导向气缸(601)的活塞杆与气路转接块(604)通过螺纹实现装配，气路转接块(604)内部设有

弧形通孔，弧形通孔两侧分别设有快插(603)与气嘴(605)。

一种冷凝管的激光焊接测试一体化装置

技术领域

[0001] 本发明属于激光加工领域，具体涉及一种冷凝管的激光焊接测试一体化装置。

背景技术

[0002] 目前，冰块在水产、食品、超市、乳品、医药、化学、蔬菜保鲜运输、海洋捕捞等行业得到广泛应用，随着社会的发展和人民生产水平不断提高，用冰的行业越来越多，对冰的质量要求越来越高，进而对制冰设备的高性能、低故障率、卫生性等要求越来越迫切。

[0003] 制冰机是一种将水通过蒸发器由制冷系统冷却制冰的机械设备。制冰机制冷系统由压缩机、冷凝器、干燥过滤器、膨胀阀毛细管和蒸发器组成。制冰机工作原理为压缩机将低温低压的制冷剂蒸汽压缩成高温高压蒸汽，再排入冷凝器。在冷凝器中制冷剂不断向周围空间放热，逐步凝结成低温高压液体。这些高压液体通过膨胀阀毛细管节流降压后流入蒸发器，在蒸发器里连续不断地汽化，吸热降温，变成低温低压的气体后经过回气管再次回到压缩机，形成制冷循环。同时水泵将水从水槽中吸上去，流水在冰板上结冰，厚度传感器感知冰厚并结束制冰周期，冷凝风机和水泵停止运转，开始脱冰周期，压缩机排出的高温高压制冷剂蒸汽经过电磁阀进入蒸发器，通过对蒸发器加热，使冰板表面的冰融化，冰依靠自身的重力作用，滑落到储冰箱内，形成一个完整的制冰、脱冰工作过程。

[0004] 根据蒸发器的原理和生产方式的不同，制冰器制作的冰块形状也不同。冷凝管是蒸发器应用过程中，不可缺少的一个配件之一。冷凝管主要由立柱管、U形管和隔片组成，需要通过焊接的方式将三者固定在一起。传统的焊接方式以火焰喷焊为主，在焊接过程中需要不断摆动和旋转工件或者将火焰围绕着工件移动，用于保持结合面温度一致且达到焊接温度。由于火焰喷焊的焊接位置精度不高，导致焊缝较宽，易产生气孔、微裂纹等缺陷，焊缝强度不高，难以保障冷凝管在长期压力工作下的密封性，且焊接工艺操作难度大，难以实现焊接过程自动化，也尚未实现后续焊缝质量的在线自动化测试。

发明内容

[0005] 本发明针对上述现有技术的不足，提供了一种冷凝管的激光焊接测试一体化装置。

[0006] 本发明是通过如下技术方案实现的：

[0007] 一种冷凝管的激光焊接测试一体化装置，包括激光加工头、多自由度机械手、机器人定位架、烘干组件、升降仿形夹具组件、吹气组件、水槽组件、工件和工作台；

[0008] 所述激光加工头安装在多自由度机械手上，由多自由度机械手控制其运动；所述多自由度机械手安装在机器人定位架上；

[0009] 所述工作台的中心位置设置有一贯穿通槽，所述升降仿形夹具组件设置在所述贯穿通槽内，并可沿竖直方向上下升降运动；

[0010] 所述烘干组件为两个，两个烘干组件对称安装在工作台上；所述烘干组件包括烘干机、定位套筒、双耳定位架、锁紧螺栓把手、步进电机和电动转台；所述烘干机与定位套筒

同轴紧固装配，所述定位套筒上端呈圆筒状，下端呈U形并开有通孔用于与双耳定位架同轴配合，所述锁紧螺栓把手用于将定位套筒锁紧在双耳定位架上；步进电机用于驱动电动转台，双耳定位架设置在电动转台上，由电动转台带动其旋转；

[0011] 所述升降仿形夹具组件包括移动定位块、模槽安装板、仿形模槽、压板、两个球锁轴套件、定位套安装板和两个直线轴承；

[0012] 所述模槽安装板呈凸字形，中部设有矩形凹槽，左右两侧对称分布有定位槽和安装孔；两个直线轴承分别安装在左右两个安装孔内；

[0013] 模槽安装板的前端开有凹槽和阶梯槽，移动定位块通过与凹槽和阶梯槽的配合卡装在模槽安装板上；

[0014] 所述仿形模槽固定设置在模槽安装板的矩形凹槽内，所述仿形模槽上设置有与U形管外轮廓匹配的仿形凹槽；

[0015] 所述压板用于将冷凝管工件与仿形凹槽压紧固定；所述压板两侧设有通孔，用于分别与两个球锁轴套件同轴配合；

[0016] 所述球锁轴套件包括球锁轴、定位套和正面接受套，定位套安装在定位套安装板上，正面接受套安装在定位槽内，球锁轴依次穿过压板、定位套后与设置在其正下方的正面接受套固定装配，继而通过压板将U形管固定在仿形模槽中的仿形凹槽内；

[0017] 所述水槽组件设置在升降仿形夹具组件下方；所述水槽组件包括水槽、导向杆、密封导向套筒和升降气缸；所述水槽的开口端设置在工作台的贯穿通槽下方，并与工作台的台面固定在一起；水槽的开口端要能够包围升降仿形夹具组件的外部轮廓，使得升降仿形夹具组件向下运动时恰好可以浸入水槽内；

[0018] 所述导向杆为一对，分别与升降仿形夹具组件中的两个直线轴承同轴配合安装；所述升降气缸设置在水槽的底部外侧，升降气缸的活塞杆穿过水槽的底面向上与升降仿形夹具组件的模槽安装板固定；所述密封导向套筒安装在水槽底部上表面，并与升降气缸的活塞杆同轴装配；

[0019] 所述气路导向组件包括导向气缸、导向气缸安装板、快插、气路转接块和气嘴，导向气缸通过导向气缸安装板定位在工作台上，导向气缸的活塞杆与气路转接块通过螺纹实现装配，气路转接块内部设有弧形通孔，弧形通孔两侧分别设有快插与气嘴。

[0020] 本发明具有如下有益效果：

[0021] 1、本发明根据蒸发器核心部件U形冷凝管的特殊结构原理，设计了U形管、立柱管、分隔片的精密部件装配、仿形焊接工位装夹、在线焊缝气密性及极限承压测试、在线焊接缺陷修复紧密集成的激光焊接测试一体化方法和装置，实现了U形冷凝管的集成化、自动化激光焊接与测试、在线焊接缺陷修复，操作简易，解决了该类零部件长期以来自动化焊接、焊缝质量在线自动化测试的技术难题，大大提高了生产效率，具有极好的经济效益。

[0022] 2、本发明根据蒸发器结构的特殊性及焊接工艺要求，优化设计了气路导向组件，由外部引入N_2或者Ar_2等气体，通过气路转接块与气嘴将气体引入U形管中，选用由内部吹保护气体，可防止焊接过程发生氧化，保证焊接熔池的良好冶金效应；U形管增压的设计使得这种薄壁零件的焊缝成形得到有效控制，避免了焊缝塌陷；U形管流动气流的设计，使得焊接过程中焊接部位加快冷却，其他部分良好预热，大大减小了温度不均匀性，降低了焊接热应力变形。

[0023] 3、本发明采用相同进气、出气口设置，不但实现了如上第2点所述的焊接工艺过程优异效果，还实现了焊后对焊接质量的在线测试、在线焊接缺陷修复和极限承压能力测试，一种设置多种用途，降低了生产成本，提高了生产效率。

[0024] 4、本发明采用激光作为焊接热源工具，利用激光的高度可控性，针对蒸发器结构的特殊性及焊接工艺要求，在焊接过程中采用变参数焊接方法，当光路接近隔片、立柱管、U形管三者交界位置时，激光功率增大；在其他位置激光功率变为正常，通过如此变参数焊接，实现了三体同时焊成；激光焊接精度高、焊缝窄、强度高，解决了传统焊接方法在此方面的不足。还可以通过对分隔片与立柱管装配接触面的补充激光焊接，大大增强分隔片与立柱管的结合强度。

[0025] 5、本发明设计了与U形管底部轮廓相同的升降仿形夹具组件，仿形凹模槽与U形管的接触面为耐磨的光滑陶瓷面，如此设置一方面以防止升降仿形夹具组件的接触面磨损，经久耐用，另一方面不会因焊接区导热产生U形管与凹槽接触面的粘结与热变形，解决了传统冷凝管工件焊接夹具难拆卸问题。

附图说明

[0026] 图1为冷凝管的结构图；

[0027] 图2为立柱管与分隔片的结构图；

[0028] 图3为激光焊接测试一体化装置的整体结构图；

[0029] 图4为激光加工头的结构图；

[0030] 图5为升降仿形夹具组件的结构图；

[0031] 图6为移动定位块的结构图；

[0032] 图7为模槽安装板的结构图；

[0033] 图8为仿形模槽的结构图；

[0034] 图9为球锁轴套件安装后的结构图；

[0035] 图10为烘干组件的结构图；

[0036] 图11为定位套筒的结构图；

[0037] 图12为吹气组件的结构图；

[0038] 图13水槽组件的结构图。

具体实施方式

[0039] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步详细的说明。

[0040] 如图1-13所示，本发明所述冷凝管8由U形管802和多个立柱管801组成；所述立柱管801为内部空心、一端封闭、另一端开口的圆筒形结构，筒壁厚为0.2mm～2mm，在立柱管801内部中间设置有分隔片803，从而将立柱管801内部空间分为两部分；所述分隔片803的厚度为0.2mm～2mm，宽度比立柱管801的内径大0.005mm～0.05mm，即当分隔片803的长度方向沿立柱管801轴向进行装配时(即分隔片803的宽度方向与立柱管801的径向平行)，长度方向的两侧边与立柱管801的管壁为紧密的过盈配合；所述分隔片803的顶端与立柱管801的顶端(封闭端)之间有供气体或液体流过的间隙，所述分隔片803的底端为弧形与U形管802的内部径向轮廓一致，即实现当已经装配有分隔片803的立柱管801底端(开口端)与U形

管802装配完成时，立柱管801的分隔片803恰好将U形管802的管路封闭，迫使U形管802内流动的气流或液流从分隔片803的顶端与立柱管801的顶端(封闭端)之间间隙流过以到达分隔片803另一侧的U形管802管路中；

[0041] 所述U形管802内部空心，管壁厚0.2mm～2mm，其U形两端分别设置有进气口804和排气口805；U形管802的上表面设置有多个立柱管安装孔，孔数量与立柱管801的数目一致，所述立柱管安装孔的孔径比立柱管801的外径小0.005mm～0.05mm，使得将每个立柱管安装孔插入一个装配有分隔片803的立柱管801(开口端插入)，两者过盈配合。本发明所述的方法和装置的目的就在于将U形管802与多个立柱管801，以及立柱管801与分隔片803通过激光焊接的方式连接固定在一起。

[0042] 本发明提供了一种冷凝管的激光焊接测试一体化方法，具体包括如下步骤：

[0043] 1)按照如上所述冷凝管8的组件结构及装配原理，将带有N个立柱管安装孔的U形管802、N个立柱管801、N个分隔片803进行装配，形成待焊接的冷凝管工件；N为大于2的偶数；

[0044] 所述装配，要求使得分隔片803能自持且能够承受后续工作时的气流而不会变动装配方位；要求立柱管组件中的分隔片803所在的平面与U形管802的轴线垂直；

[0045] 2)将待焊接的冷凝管工件放置在升降仿形夹具组件5上装夹固定；

[0046] 所述升降仿形夹具组件5上设置有与U形管802外轮廓匹配的仿形凹槽5031，且设置有用于将冷凝管工件与仿形凹槽5031压紧固定的压板504；所述仿形凹槽5031与U形管802的接触面为耐磨的光滑陶瓷面，如此设置一方面以防止升降仿形夹具组件的接触面磨损，经久耐用，另一方面不会因焊接区导热产生U形管802与凹槽接触面的粘结与热变形，从而易于冷凝管工件的装卸。

[0047] 3)从已装夹固定好的冷凝管工件的U形管802的一个开口端(进气口)向U形管802内通入保护气体(比如N_2等)，另一个开口端(排气口)开放；保护气体的流量和压力要求不会使分隔片803发生位移。

[0048] 4)将激光加工头移动至任意一个立柱管801与U形管802的接缝处(即立柱管安装孔轮廓)；

[0049] 5)调节激光加工头的空间方位与姿态，使得激光加工头输出的激光束以一定角度(光束与立柱管801的轴线夹角为1～60度之间)入射并聚焦于接缝处表面；输出焊接激光束，通过多自由度机械手控制激光加工头移动，使得聚焦激光束沿着U形管802与立柱管801的接缝位置扫描一圈，即沿立柱管安装孔轮廓形成完整的环形焊缝；扫描过程中，实时调节激光功率，当扫描到分隔片803所在位置时，增大激光功率(增大10％～50％)；扫描结束后，U形管802、分隔片803与立柱管801三者实现熔融焊合，从而获得激光环焊缝；

[0050] 优选的，可以通过多自由度机械手控制激光加工头移动，使得激光加工头输出的激光束以一定角度(光束与立柱管801的轴线夹角为1～60度之间)，沿分隔片803与立柱管801的装配接触线(即分隔片803的两个长度边)进行扫描(扫描过程中激光束聚焦于立柱管801的外壁面)，从而分隔片803与立柱管801二者实现紧密的熔融焊合；由于冷凝管8的工作原理并不要求分隔片803与立柱管801装配接触面、分隔片803与U形管802装配接触面之间保持绝对的密封，因此此操作只作为优选，可大大增强分隔片与立柱管的结合强度。

[0051] 6)将激光加工头移动至下一个未焊接的立柱管801与U形管802的接缝处；

[0052] 7)重复执行步骤5)至步骤6)，直至完成所有立柱管801与U形管802的焊接；

[0053] 8)通过自动升降装置，将焊接完成后的冷凝管工件浸入水中，迅速冷却，并将其排气口封闭，进气口施加标准测试气压，测试其在标准测试气压下的气密性，当发现漏焊点(有气泡处)时，记录漏焊点所在位置，进入步骤9)；否则，转入步骤10)；

[0054] 优选的，本步骤中若未发现漏焊点，还可以通过不断增加进气口输入气体压力，直至冷凝管发生变形或出现新的气泡逸出点，依次检测焊后冷凝管的极限承压能力。

[0055] 9)通过自动升降装置，使冷凝管自动从水中升高露出，采用热风吹干后，通过机械手控制激光加工头移动至漏焊点所在位置，输出焊接激光束焊接漏焊点；焊接完成后，转入步骤8)；

[0056] 10)通过自动升降装置，使冷凝管从水中升高露出，采用热风吹干后，松开升降仿形夹具组件的压板，取下冷凝管工件，完成冷凝管的焊接和测试过程。

[0057] 本发明提供了一种冷凝管的激光焊接测试一体化装置，包括激光加工头1、多自由度机械手2、机器人定位架3、烘干组件4、升降仿形夹具组件5、吹气组件6、水槽组件7、工件8和工作台9。

[0058] 所述激光加工头1安装在多自由度机械手2上，由多自由度机械手2控制其运动。所述多自由度机械手2安装在机器人定位架3上。

[0059] 所述工作台9的中心位置设置有一贯穿通槽，所述升降仿形夹具组件5设置在所述贯穿通槽内，并可沿竖直方向上下升降运动。

[0060] 所述烘干组件4为两个，两个烘干组件4对称安装在工作台9上；所述烘干组件4包括烘干机401、定位套筒402、双耳定位架403、锁紧螺栓把手404、步进电机405和电动转台406。所述烘干机401与定位套筒402同轴紧固装配，所述定位套筒402上端呈圆筒状，下端呈U形并开有通孔用于与双耳定位架403同轴配合，然后通过锁紧螺栓把手404将定位套筒402以一定角度锁紧在双耳定位架403上；步进电机405用于驱动电动转台406，双耳定位架403设置在电动转台406上，由电动转台406带动其旋转。

[0061] 所述升降仿形夹具组件5包括移动定位块501、模槽安装板502、仿形模槽503、压板504、两个球锁轴套件505、定位套安装板506和两个直线轴承507。

[0062] 所述模槽安装板502呈凸字形，中部设有矩形凹槽5021，左右两侧对称分布有定位槽5022和安装孔5023。两个直线轴承507分别安装在左右两个安装孔5023内。

[0063] 模槽安装板502的前端开有凹槽5024和阶梯槽5025，移动定位块501通过与凹槽5024和阶梯槽5025的配合卡装在模槽安装板502上。

[0064] 所述仿形模槽503固定设置在模槽安装板502的矩形凹槽5021内，所述仿形模槽503上设置有与U形管802外轮廓匹配的仿形凹槽5031。

[0065] 所述压板504用于将冷凝管工件与仿形凹槽压紧固定。所述压板504两侧设有通孔，用于分别与两个球锁轴套件505同轴配合。

[0066] 所述球锁轴套件505包括球锁轴5051、定位套5052和正面接受套5053，定位套5052安装在定位套安装板506上，正面接受套5053安装在定位槽5022内，球锁轴5051依次穿过压板504、定位套5052后与设置在其正下方的正面接受套5053固定装配，继而通过压板504将U形管802固定在仿形模槽503中的仿形凹槽内。

[0067] 所述水槽组件7设置在升降仿形夹具组件5下方。所述水槽组件7包括水槽701、导

向杆702、密封导向套筒703和升降气缸704。所述水槽701的开口端设置在工作台9的贯穿通槽下方，并与工作台9的台面固定在一起；水槽701的开口端要能够包围升降仿形夹具组件5的外部轮廓，使得升降仿形夹具组件5向下运动时恰好可以浸入水槽701内。

[0068] 所述导向杆702为一对，分别与升降仿形夹具组件5中的两个直线轴承507同轴配合安装。所述升降气缸704设置在水槽701的底部外侧，升降气缸704的活塞杆穿过水槽701的底面向上与升降仿形夹具组件5的模槽安装板502固定。所述密封导向套筒703安装在水槽701底部上表面，并与升降气缸704的活塞杆同轴装配，以防止气缸内进水。

[0069] 所述气路导向组件6包括导向气缸601、导向气缸安装板602、快插603、气路转接块604和气嘴605，导向气缸601通过导向气缸安装板602定位在工作台9上，导向气缸601的活塞杆与气路转接块604通过螺纹实现装配，气路转接块604内部设有弧形通孔，弧形通孔两侧分别设有快插603与气嘴605。

[0070] 本发明所述冷凝管的激光焊接测试一体化装置的具体工作过程如下：

[0071] 将待焊接的冷凝管8放置在仿形模槽503中的仿形凹槽5031内，通过球锁轴5051穿过压板504和定位套5052后与正下方的正面接受套5053固定，从而将U形管802固定装夹在仿形模槽503内。

[0072] 启动气路导向组件6，从已装夹固定好的冷凝管工件的U形管802的一个开口端(进气口804)向U形管802内通入保护气体(比如N2等)，另一个开口端(排气口805)开放；保护气体的流量和压力要求不会使分隔片803发生位移。

[0073] 启动多自由度机械手2，将激光加工头1移动至任意一个立柱管801与U形管802的接缝处(即立柱管安装孔轮廓)；调节激光加工头的空间方位与姿态，使得激光加工头输出的激光束以一定角度(光束与立柱管801的轴线夹角为1～60度之间)入射并聚焦于接缝处表面；输出焊接激光束，通过多自由度机械手2控制激光加工头移动，使得聚焦激光束沿着U形管802与立柱管801的接缝位置扫描一圈，即沿立柱管安装孔轮廓形成完整的环形焊缝；扫描过程中，实时调节激光功率，当扫描到分隔片803所在位置时，增大激光功率(增大10%～50%)；扫描结束后，U形管802、分隔片803与立柱管801三者实现熔融焊合，从而获得激光环焊缝；

[0074] 将激光加工头移动至下一个未焊接的立柱管801与U形管802的接缝处；重复执行步骤5)至步骤6)，直至完成所有立柱管801与U形管802的焊接；

[0075] 控制升降气缸704动作，使升降仿形夹具组件5向下运动，将焊接完成后的冷凝管工件自动浸入水槽701中，迅速冷却，并将其排气口805封闭，进气口804施加标准测试气压，测试其在标准测试气压下的气密性，当发现漏焊点(有气泡处)时，记录漏焊点所在位置；否则，控制升降气缸704动作，使升降仿形夹具组件5向上运动，使冷凝管自动从水中升高露出，启动烘干组件4吹出热风，待冷凝管工件吹干后，松开升降仿形夹具组件5中的压板，取下冷凝管工件，完成冷凝管的焊接和测试过程。

[0076] 本发明可改变为多种方式对本领域的技术人员是显而易见的，这样的改变不认为脱离本发明的范围。所有这样的对所述领域的技术人员显而易见的修改，将包括在本权利要求的范围之内。

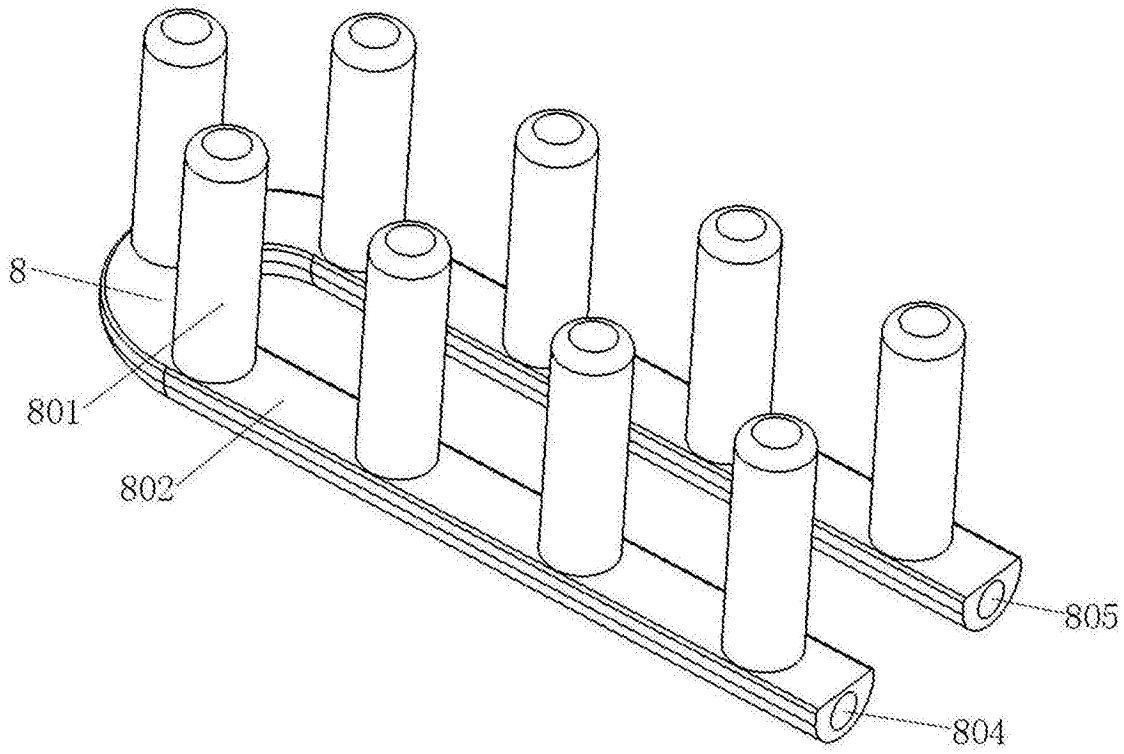


图1

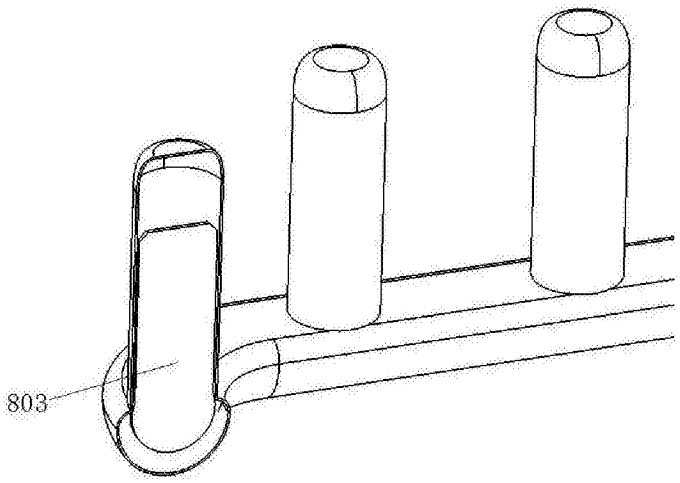


图2

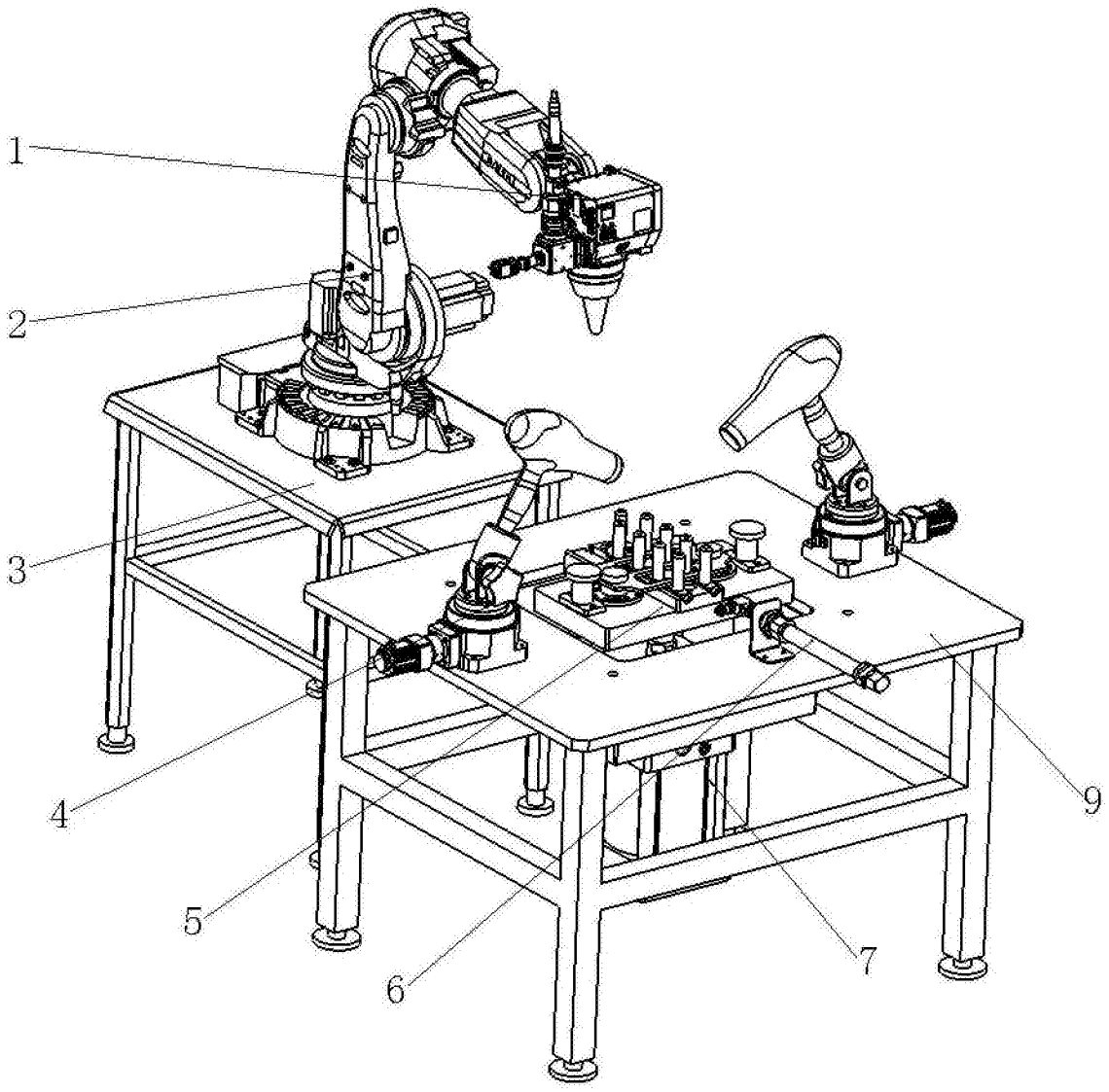


图3

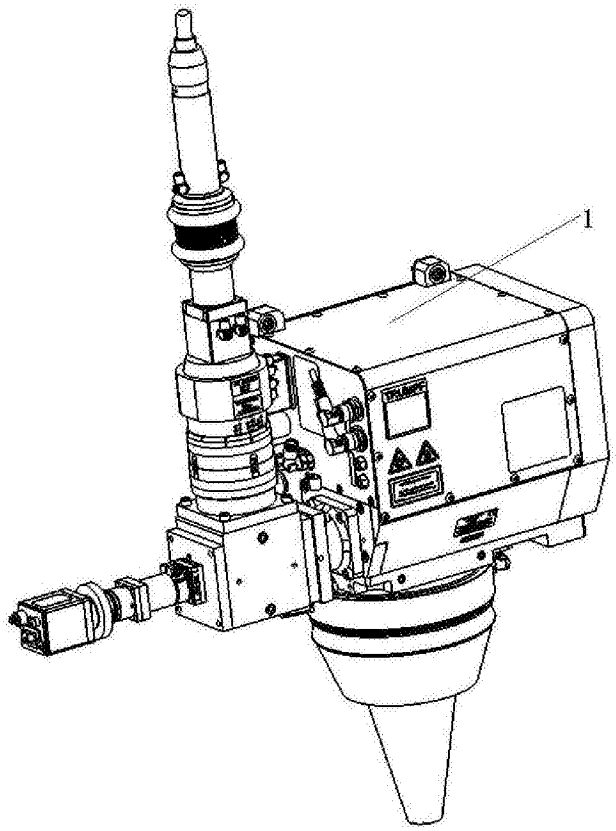


图4

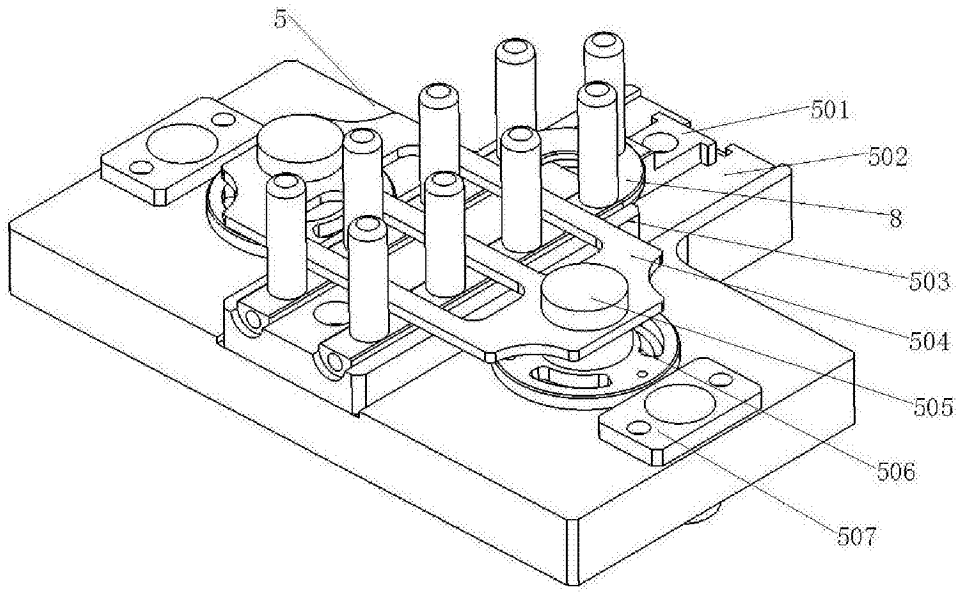


图5

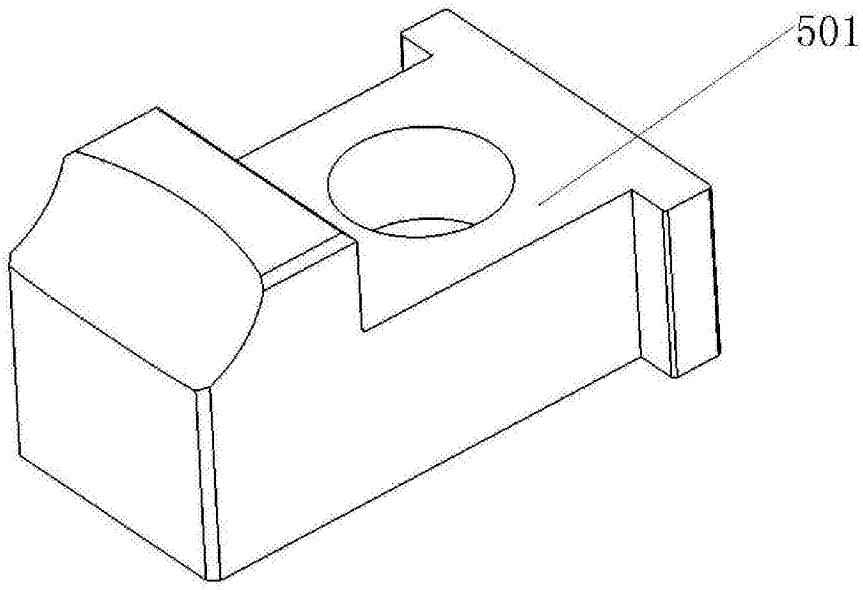


图6

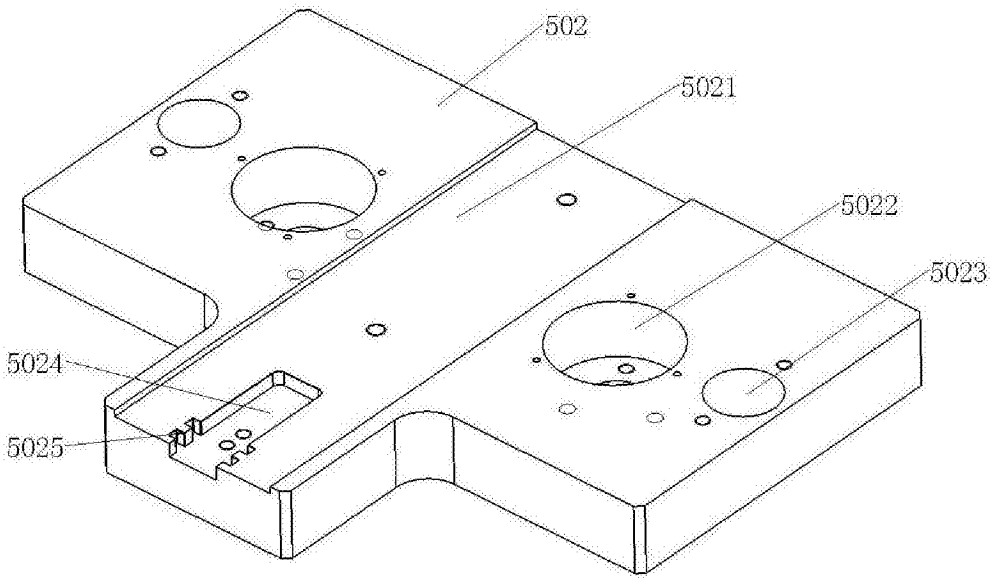


图7

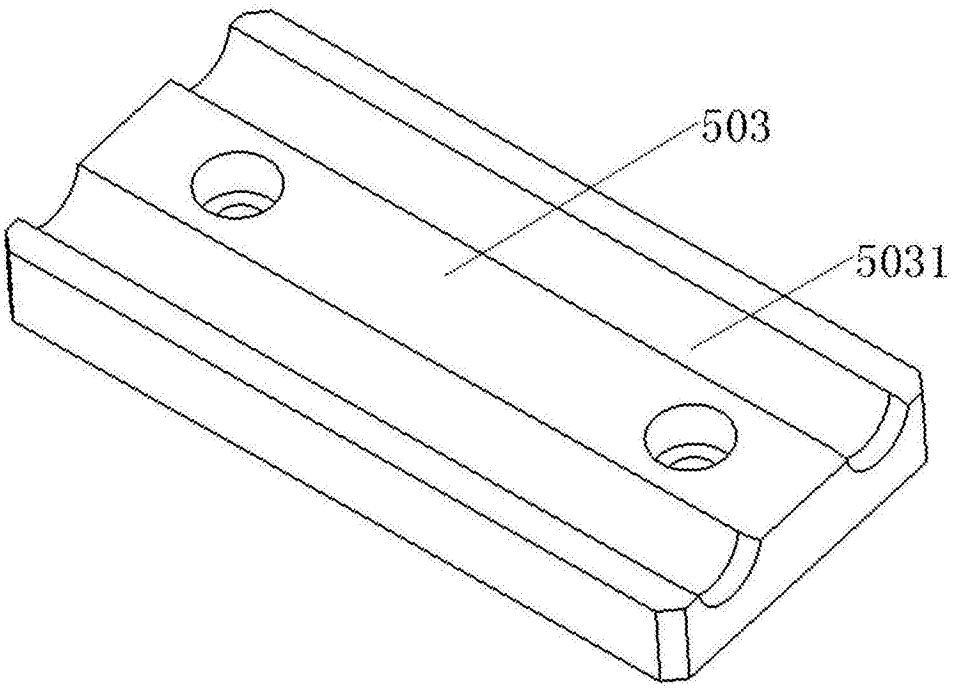


图8

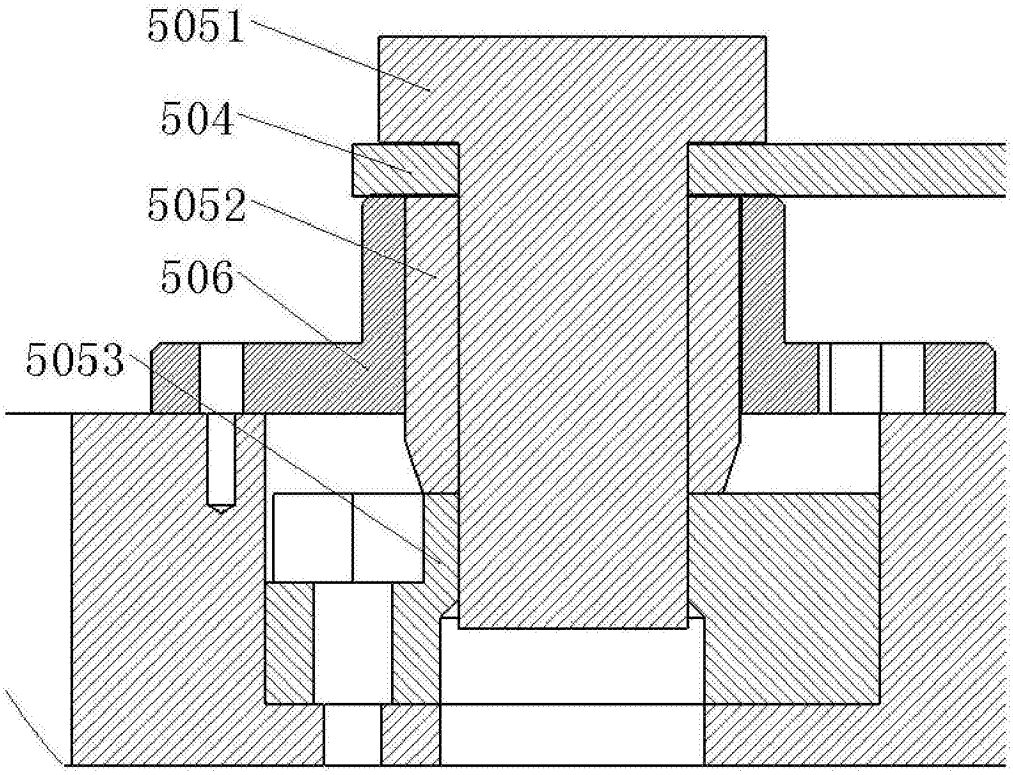


图9

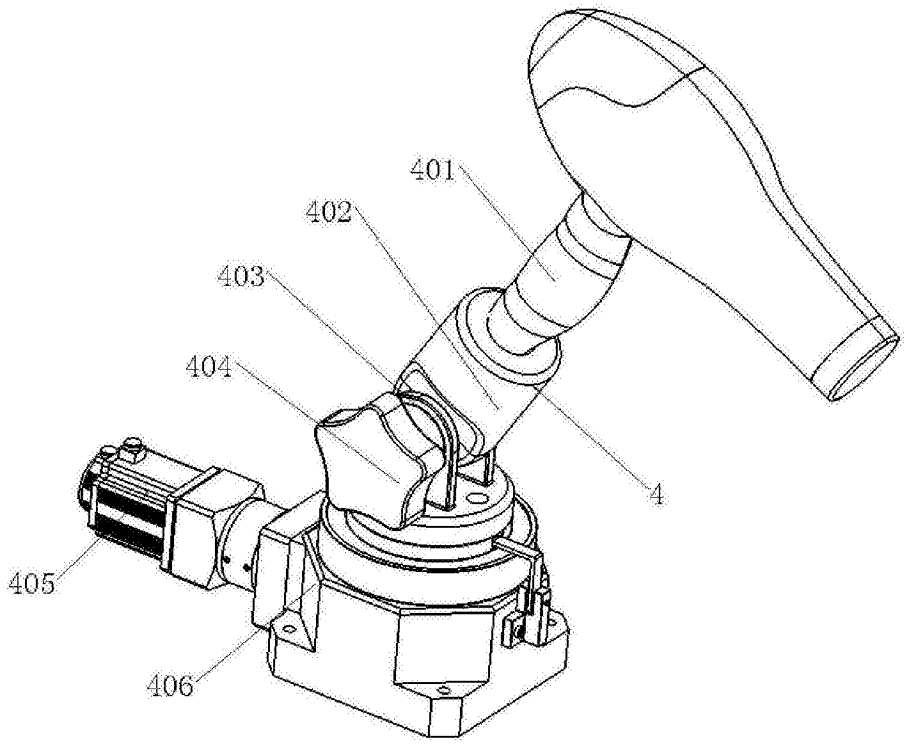


图10

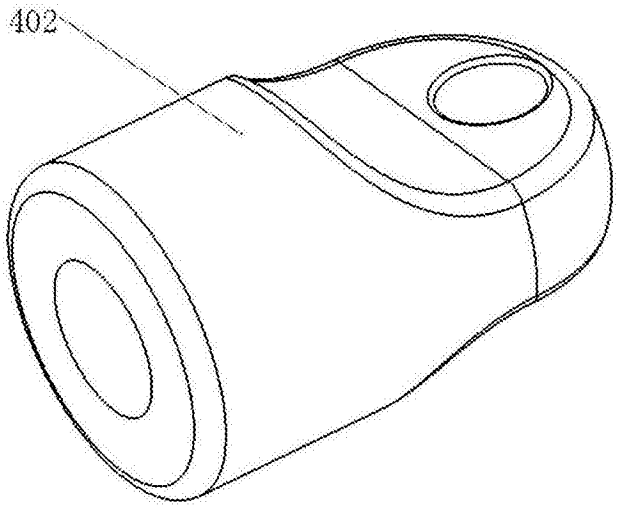


图11

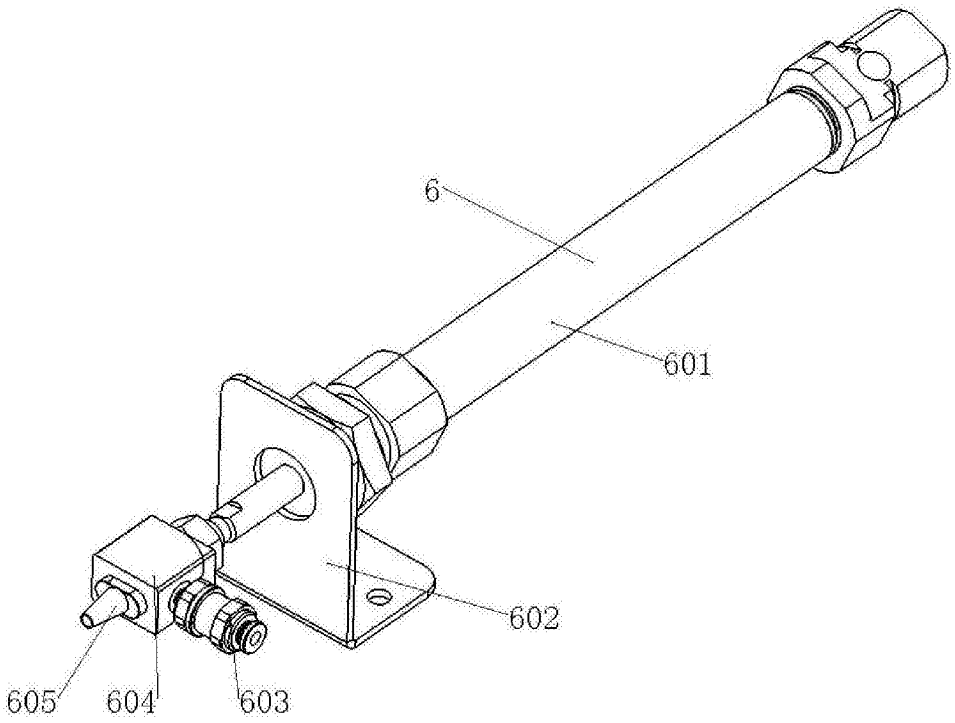


图12

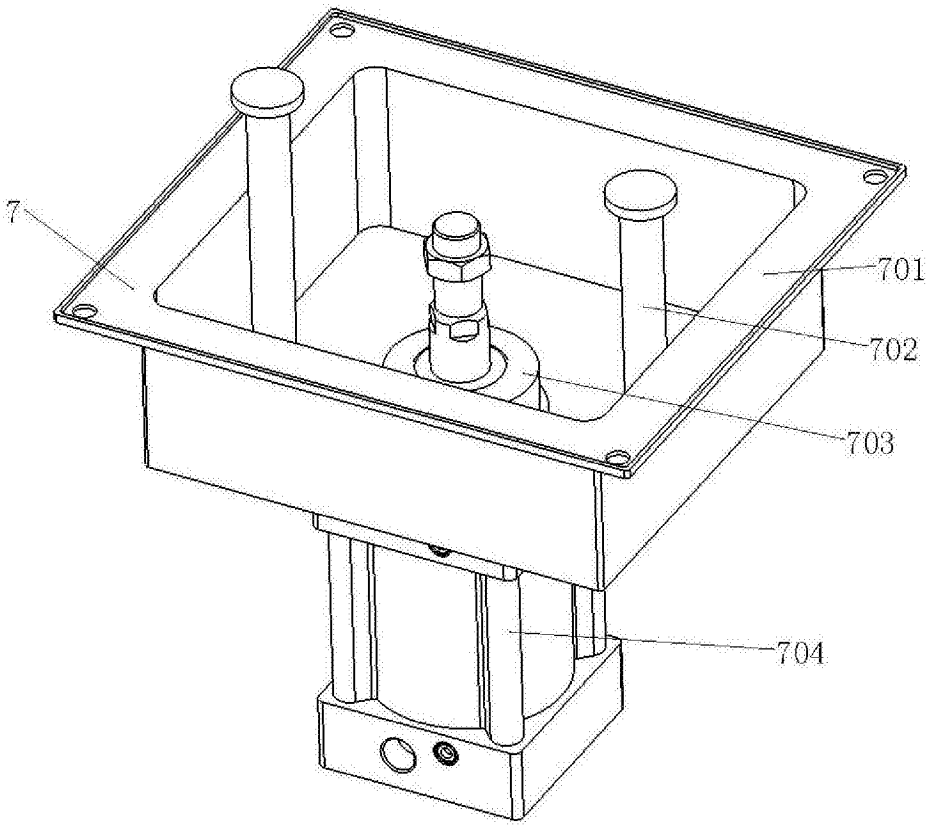


图13