



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103882188 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 25

(21) 申请号 201210566152. 9

(22) 申请日 2012. 12. 24

(71) 申请人 中国科学院沈阳自动化研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街
114 号

(72) 发明人 乔红超 刘伟军 赵吉宾 于彦凤

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限
公司 21002

代理人 周秀梅 许宗富

(51) Int. Cl.

G21D 1/09 (2006. 01)

G21D 10/00 (2006. 01)

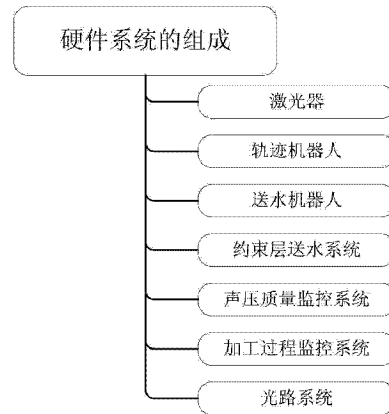
权利要求书6页 说明书18页 附图16页

(54) 发明名称

整体叶盘激光冲击强化设备

(57) 摘要

本发明属于叶盘激光冲击强化技术领域,具体地说是整体叶盘激光冲击强化设备。包括上位机与轨迹机器人、激光器、光路系统、激光头、送水系统、送水机器人系统、监控系统连接;叶盘通过夹具与轨迹机器人手臂末端连接,激光器射出的激光经光路系统传输后通过激光头照射到叶盘表面的加工区域,送水系统的软管与送水机器人系统送水机器人手臂末端的喷嘴连接,喷嘴射出水至叶盘表面的加工区域。本发明具有结构简单、使用方便、安全可靠、加工效率高等优点,在提高生产效率的同时,保证了冲击强化质量的均匀性和稳定性。



1. 整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于包括:上位机(112)与轨迹机器人(106)、激光器(102)、光路系统(103)、激光头(109)、送水系统(101)、送水机器人系统(105)、监控系统(104)连接;叶盘(107)通过夹具(108)与轨迹机器人(106)手臂末端连接,激光器(102)射出的激光经光路系统(103)传输后通过激光头(109)照射到叶盘(107)表面的加工区域,送水系统(101)的软管与送水机器人系统(105)的送水机器人(110)手臂末端的喷嘴(111)连接,喷嘴(111)射出水至叶盘(107)表面的加工区域。

2. 按权利要求1所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述夹具包括异形螺母(1)、连接法兰(3)、锥体支撑件(5)、等分锥体(6)、开口胀圈(7)、压盖(10)、拉杆(12)及周向定位装置,其中异形螺母(1)安装于连接法兰(3)的一端,所述连接法兰(3)的另一端与锥体支撑件(5)一端的端面连接,所述等分锥体(6)套装于锥体支撑件(5)的另一端,所述开口胀圈(7)套装与等分锥体(6)的外侧,叶盘(8)套装于开口胀圈(7)的外侧,叶盘(8)排气侧的端面与锥体支撑件(5)一端的端面相配合,所述压盖(10)设置于等分锥体(6)的上端,所述拉杆(12)穿过压盖(10)、锥体支撑件(5)及连接法兰(3)与异形螺母(1)螺纹连接,在旋紧拉杆(12)的过程中,开口胀圈(7)不断向外膨胀,实现叶盘(8)的轴向定位和径向定位;所述周向定位装置与锥体支撑件(5)和叶盘(8)连接。

3. 按权利要求2所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述周向定位装置包括销钉(13)、连接板(14)及锥形销钉(15),其中连接板(14)的一端通过销钉(13)与锥体支撑件(5)的另一端连接,连接板(14)的另一端通过锥形销钉(15)与叶盘(8)的外圆周连接。

4. 按权利要求3所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述销钉(13)和锥形销钉(15)与连接板(14)之间采用过盈配合。

5. 按权利要求2所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述压盖(10)与叶盘(8)之间设有胶垫(9)。

6. 按权利要求2所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述锥体支撑件(5)和等分锥体(6)相配合的锥面的锥度为7:24。

7. 按权利要求2所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述等分锥体(6)比锥体支撑件(5)轴向长4.5mm,旋紧拉杆(12)后,等分锥体(6)的下端与锥体支撑件(5)一端的端面之间有间隙,锥体支撑件(5)的另一端与压盖(10)之间有间隙。

8. 按权利要求2所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述拉杆(12)和压盖(10)之间设有平垫(11)。

9. 按权利要求2所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述锥体支撑件(5)和锥形销钉(15)采用硬铝合金材料,所述连接法兰(3)采用不锈钢材料,胀圈(7)采用铜材料。

10. 按权利要求2所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述连接法兰(3)与轨迹机器人法兰盘的连接定位。

11. 按权利要求1所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述送水系统(101)包括:储水箱(624)的箱体上部连接有进水管(617)和溢流管(620);进水管(617)上连接有进水电磁阀(618),进水电磁阀(618)与上位机(112)连接,进水管(617)末端通过水阀(616)与水源(615)连接;溢流管(620)末端与下水连接;储水箱(624)底部安装球阀A

(621), 球阀 A (621) 通过排污管 (622) 与下水连接; 储水箱 (624) 的箱体外表面下部设置有水位传感器 (623), 水位传感器 (623) 与上位机 (112) 连接; 储水箱 (624) 的箱体下部连有出水管 (628), 出水管 (628) 上连接有球阀 B (625), 出水管 (628) 末端与水泵 (627) 进水口连接, 出水口通过水流传感器 (626) 与软管 (629) 连接。

12. 按权利要求 1 所述的整体叶盘激光冲击强化设备, 其特征在于: 所述激光头 (109) 包括数控转台 (905)、摆臂 (906)、激光头末端 (907)、大聚焦镜 (511)、小聚焦镜 (912)、小反射镜 (914) 及小反射镜镜座 (917); 其中: 数控转台 (905) 和大聚焦镜 (511) 分别通过螺钉和镜架安装在光学平台 (515) 上, 摆臂 (906) 的一端固定安装在数控转台 (905) 上; 摆臂 (906) 的另一端与激光头末端 (907) 相连接, 小反射镜镜座 (917) 固定在激光头末端 (907) 的端部, 小反射镜 (914) 镶嵌在小反射镜镜座 (917) 的槽中, 激光头末端 (907) 的端部侧面上设置出光 (918), 小聚焦镜 (912) 固定在激光头末端 (907) 的出光 (918) 处; 小反射镜镜座 (917) 与出光 (918) 设置的位置使得照射到小反射镜 (914) 上的入射光与通过小反射镜 (914) 反射出的反射光之间夹角为 $30\text{--}34^\circ$ 。

13. 按权利要求 12 所述的整体叶盘激光冲击强化设备, 其特征在于: 所述摆臂 (906) 由连接板 (910)、连接管 (909) 和导光管 (908) 组成; 其中: 连接板 (910) 与数控转台 (905) 之间通过螺钉固定; 连接板 (910) 与连接管 (909) 之间通过轴肩定位, 并由锁紧螺钉固定; 导光管 (908) 与连接管 (909) 之间通过轴肩定位, 并由锁紧螺钉固定。

14. 按权利要求 13 所述的整体叶盘激光冲击强化设备, 其特征在于: 所述连接板 (910) 与数控转台 (905) 固定前在其之间垫一层胶垫保证摆臂水平; 所述导光管 (908) 与连接管 (909) 连接前, 在连接管 (909) 内转动导光管 (908), 用于调整激光头末端 (7) 的出光 (918) 处输出激光的方向, 然后再拧紧螺钉进行固定。

15. 按权利要求 13 所述的整体叶盘激光冲击强化设备, 其特征在于: 所述摆臂 (906) 的导光管 (908) 与激光头末端 (907) 之间通过轴肩定位, 并由锁定螺钉 A (916) 紧固。

16. 按权利要求 12 或 13 所述的整体叶盘激光冲击强化设备, 其特征在于: 在数控转台 (905) 上通过螺钉安装有配重块 (911), 用于平衡摆臂 (906) 的重量, 摆臂 (906)、激光头末端 (907) 和小反射镜镜座 (917) 均采用铝合金材料, 配重块 (911) 采用不锈钢材料。

17. 按权利要求 12 所述的整体叶盘激光冲击强化设备, 其特征在于: 所述小反射镜镜座 (917) 通过 M3 的平头螺钉 (915) 固定在激光头末端 (907) 的端部; 其中: 小反射镜镜座 (917) 采用沉头孔结构设计; 拧紧平头螺钉 (915) 之前, 在螺钉 (915) 螺纹处、小反射镜镜座 (917) 与激光头末端 (907) 的端部的结合面处涂一层紫外固化胶, 拧紧螺钉后, 放入紫外固化箱中固化 30s, 对结合面进行密封。

18. 按权利要求 12 所述的整体叶盘激光冲击强化设备, 其特征在于: 所述小反射镜 (914) 镀高反射膜, $R > 99.8@1064\text{nm}$; 损伤阈值为脉冲 $25\text{J}/\text{cm}^2$, 10ns、2Hz, 入射角为 $\alpha = 16 \pm 2^\circ$, 波长 532nm 及 1064nm 激光在其上的 $16 \pm 2^\circ$ 角反射率达到 99.5% 以上。

19. 按权利要求 12 所述的整体叶盘激光冲击强化设备, 其特征在于: 所述小聚焦镜 (912) 通过锁定螺钉 B (913) 固定在激光头的末端 (907) 的出光 (918) 处, 采用轴肩定位的方式进行定位; 其中: 拧紧锁定螺钉 B (913) 之前, 在锁定螺钉 B (913) 螺纹处、小聚焦镜 (912) 边缘与激光头末端 (907) 出光 (918) 处的结合面处涂一层紫外固化胶, 拧紧锁定螺钉 B (913) 后, 放入紫外固化箱中固化 30s, 对结合面进行密封。

20. 按权利要求 12 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述小聚焦镜(912)的镜片损伤阈值:脉冲 $25\text{J}/\text{cm}^2$ 、 10ns 、 2Hz ,波长 532nm 及 1064nm 激光在其上的透射率达到 99.5% 以上。

21. 按权利要求 12 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:用于将大聚焦镜(511)固定在光学平台(902)上的镜架其装调机构均采用 4 维调整机构,大聚焦镜(511)的镜片损伤阈值:脉冲 $25\text{J}/\text{cm}^2$ 、 10ns 、 2Hz ,波长 532nm 及 1064nm 激光在其上的透射率达到 99.5% 以上。

22. 按权利要求 1 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述送水机器人系统(105)包括送水机器人(110)及支架(315)、流量阀(311)、电磁阀(312)和喷嘴(111);送水机器人(110)底座固定于支架(315)末端,流量阀(311)和电磁阀(312)固定于支架(315)上,送水系统(101)的软管(629)依次通过流量阀(311)、电磁阀(312)与送水机器人(110)末端固定的喷嘴(111)进水口连接;流量阀(311)、电磁阀(312)与上位机(112)连接。

23. 按权利要求 1 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述监控系统(104)包括声压质量监控系统(316)和加工过程监控系统(313);声压质量监控系统(316)与上位机(112)连接,固定在送水机器人系统(105)的支架(315)上,并与加工的叶盘(107)同等高度,用于接收叶盘(107)加工时的声波信息;加工过程监控系统(313)与上位机(112)连接并固定于送水机器人系统(105)的支架(315)末端,用于接收叶盘(107)加工的视频信息。

24. 按权利要求 1 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述声压质量监控系统(316)采用声音传感器;加工过程监控系统(313)采用摄像机。

25. 按权利要求 1 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述光路系统包括:安装在光学平台(515)上的光路一与光路二切换滑台(501)、光路三与光路四切换滑台(514)以及出光口滑台(517);安装在激光器(102)内部用于光路切换的数控滑台(521);安装在光学平台(515)上的光路三转台(509)和光路一转台(506);安装在光学平台(515)上的光路三与光路四校验滑台(526)和光路一与光路二校验滑台(531);安装在光学平台(515)上的光路二反射镜(502)、光路四反射镜(512)、反射镜 A(516)和反射镜 B(523);安装在光学平台(515)上的光路一聚焦镜(505)、光路三聚焦镜(511)、光路二聚焦镜(525)和光路四聚焦镜(532),安装在光学平台(515)上的光路二匀光镜片(524)和光路四匀光镜片(533),所述光路二聚焦镜(525)和光路二匀光镜片(524)组成光路二匀光聚焦镜组(504),所述光路四聚焦镜(532)和光路四匀光镜片(533)组成光路四匀光聚焦镜组(510);分别安装在光路一转台(506)和光路三转台(509)上的光路一摆臂(528)和光路三摆臂(529);分别安装在光路一摆臂(528)末端和光路三摆臂(529)末端的光路一小反射镜(507)和光路三小反射镜(508);分别安装在光路一与光路二切换滑台(501)和光路三与光路四切换滑台(514)上的光路一反射镜(503)和光路三反射镜(513);安装在出光口滑台(517)上的反射镜 C(518)和反射镜 D(522);安装在数控滑台(521)上的反射镜 E(520);安装在激光器(102)内部的合束镜(537);分别安装在光路三与光路四校验滑台(526)和光路一与光路二校验滑台(531)上的光路三与光路四校验能量计(527)和光路一与光路二校验能量计(30);安装在光学平台(515)上的防护板(534)、防护罩(535)和导光管(536)。

26. 按权利要求 25 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述反射镜 E

(520) 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在数控滑台(521)上滑动;激光器上设置出光口 A 和出光口 B;当反射镜 E (520)处在出光口 A 正前方时,激光束 A 经反射镜 E (520)反射至合束镜(537),再经合束镜(537)反射出的激光与激光束 B 均由出光孔 B 输出;当反射镜 E (520)处在出光口 A 和出光口 B 之间的位置时,激光束 A 和激光束 B 分别从出光口 A 和出光口 B 输出。

27. 按权利要求 26 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述反射镜 C (518)和反射镜 D (522)在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够同时在出光口滑台(517)上滑动;A 出光口和 B 出光孔同时出光时,当反射镜 C (518)和反射镜 D (522)分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的正后方时,A 出光孔输出的激光经反射镜 C (518)的反射能够反射到反射镜 C (518)左方的反射镜 A (516)上,B 出光孔输出的激光经反射镜 D (522)的反射能够反射到反射镜 D (522)右方的反射镜 B (523)上;只有 B 出光孔出光时,当反射镜 C (518)和反射镜 D (522)分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 D (522)的反射可以反射到反射镜 D (522)右方的反射镜 B (523)上;只有 B 出光孔出光时,当只有反射镜 C (518)正处于出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 C (518)的反射可以反射到反射镜 C (518)左方的反射镜 A (516)上。

28. 按权利要求 27 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述光路一反射镜(503)在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路一与光路二切换滑台(501)上滑动;当反射镜 B (523)上有激光束反射出来时,光路一反射镜(503)正处于反射镜 B (523)反射光路的正后方时,反射镜 B (523)反射来激光经光路一反射镜(503)反射到光路一反射镜(503)左方的光路 1 聚焦镜(505)上;当反射镜 B (523)上有激光束反射出来时,光路一反射镜(503)不处于反射镜 B (523)反射光路的正后方时,反射镜 B (523)反射来激光经光路二反射镜(502)反射到光路二反射镜(502)左方的光路二匀光聚焦镜组(504)上。

29. 按权利要求 27 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述光路三反射镜(513)在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路三与光路四切换滑台(514)上滑动;当反射镜 A (516)上有激光束反射出来时,光路三反射镜(513)正处于反射镜 A (516)反射光路的正后方时,反射镜 A (516)反射来的激光经光路三反射镜(513)反射到光路三反射镜(513)右方的光路三聚焦镜(511)上;当反射镜 A (516)上有激光束反射出来时,光路三反射镜(513)不处于反射镜 A (516)反射光路的正后方时,反射镜 A (516)反射来的激光经光路四反射镜(512)反射到光路四反射镜(512)右方的光路四匀光聚焦镜组(510)上。

30. 按权利要求 28 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述光路一摆臂(528)在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机旁的旋钮,能够围绕光路一转台(506)的轴线转动;当光路一聚焦镜(505)有激光输出时,光路一摆臂(528)摆至光路一小反射镜(507)正好处于光路一聚焦镜(505)输出光路的正左方时,光路一小反射镜(507)将经光路一聚焦镜(505)输出的激光反射到工件表面,形成直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑;当不需光路一工作时,光路一摆臂(528)顺时针旋转至光学平台上。

31. 按权利要求 29 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述光路三摆臂(529)在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机旁的旋钮,能够围绕光路三转台(509)的

轴线转动;当光路三聚焦镜(511)有激光输出时,光路三摆臂(529)摆至光路三小反射镜(508)正好处于光路三聚焦镜(511)输出光路的正右方时,光路三小反射镜(508)将经光路三聚焦镜(511)输出的激光反射到工件表面,形成直径为2-5mm的光强均匀的圆形光斑;当不需光路三工作时,光路三摆臂(529)逆时针旋转至光学平台上。

32. 按权利要求28所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:当光路二匀光聚焦镜组(504)有激光束输入时,光路二聚焦镜(525)输出的激光照射到工件表面,形成边长为2-5mm的光强均匀的方形光斑。

33. 按权利要求29所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:当光路四匀光聚焦镜组(510)有激光束输入时,光路四聚焦镜(532)输出的激光照射到工件表面,形成边长为2-5mm的光强均匀的方形光斑。

34. 按权利要求25所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述光路一与光路二校验能量计(530)在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路一与光路二校验滑台(531)上滑动;光路一摆臂(528)和光路三摆臂(529)均处于不工作状态,校验光路一的完好性时,光路一与光路二校验能量计(530)移动到光路一聚焦镜(505)的正后方,选择从光路一中输出激光,测量光路一输出的能量,与激光器输出的能量做对比;校验光路二的完好性时,光路一与光路二校验能量计(530)移动到光路二聚焦镜(525)的正后方,选择从光路二中输出激光,测量光路二输出的能量,与激光器输出的能量做对比;当对工件进行冲击强化加工时,光路一与光路二校验能量计(530)移动到不遮挡光路的地方。

35. 按权利要求25所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述光路三与光路四校验能量计(527)在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路三与光路四校验滑台(526)上滑动;光路一摆臂(528)和光路三摆臂(529)均处于不工作状态,校验光路三的完好性时,光路三与光路四校验能量计(502)移动到光路三聚焦镜(511)的正后方,选择从光路三中输出激光,测量光路三输出的能量,与激光器输出的能量做对比;校验光路四的完好性时,光路三与光路四校验能量计(527)移动到光路四聚焦镜(532)的正后方,选择从光路四中输出激光,测量光路四输出的能量,与激光器输出的能量做对比;当对工件进行冲击强化加工时,光路一与光路二校验能量计(527)移动到不遮挡光路的地方。

36. 按权利要求30-33任一所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:当只由出光口B出光时,当输入波长为1064nm、单脉冲能量为3-20J、脉宽为8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路一或光路三能够输出激光光斑直径为2-5mm的光强均匀的圆形光斑;当只由出光口B出光时,当输入波长为1064nm、单脉冲能量为3-20J、脉宽为8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路二或光路四能够输出激光光斑为边长2-5mm的光强均匀的方形光斑。

37. 按权利要求30-33任一所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:当出光口A和出光口B同时出光时,当输入波长为1064nm、单脉冲能量为3-20J、脉宽为8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路一和光路三能够输出激光光斑直径为2-5mm的光强均匀的圆形光斑;当出光口A和出光口B同时出光时,当输入波长为1064nm、单脉冲能量为3-20J、脉宽为8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路二和光路

四能够输出激光光斑为边长 2-5mm 的光强均匀的方形光斑。

38. 按权利要求 30-33 任一所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路一和光路三的能量损失 $< 6\%$;当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路二和光路四的能量损失 $< 10\%$ 。

39. 按权利要求 1 所述的整体叶盘激光冲击强化设备,其特征在于:所述激光器(102)产生脉宽 8 ~ 25ns 的短脉冲、频率 0 ~ 10Hz、光束直径 $< 27\text{mm}$ 、单脉冲能量 $< 25\text{J}$ 的激光。

整体叶盘激光冲击强化设备

技术领域

[0001] 本发明属于航空发动机整体叶盘叶片强化处理领域,具体地说是一种用于航空发动机整体叶盘的激光冲击强化设备。

背景技术

[0002] 叶片是发动机中能量转换的主要部件,是航空发动机最为核心和关键的零件之一,被誉为“心脏中的心脏”。叶片在高温、高速、高压及腐蚀等条件下服役,已远远超出了大多数材料的耐受极限。为了防止在高温、高速、高压及腐蚀介质等环境下工作的发动机叶片因表面局部损坏而报废,提高叶片的可靠性、安全性,延长使用寿命,世界各国都在积极研究和应用叶片的表面处理技术。

[0003] 整体叶盘把叶片和轮盘设计为一个零件,代替通常叶片榫齿与轮盘榫槽再加锁片的连接结构,提高了发动机的气动效率、推重比及可靠性。单个叶片的传统强化技术是喷丸强化,喷丸强化对表面不规则部件实施困难,容易引起薄壁件的变形,对表面粗糙度和尺寸可能产生影响。激光冲击强化可以克服喷丸强化的不足,尤其适用于结构形状复杂的整体叶盘。

[0004] 激光冲击强化技术是利用强激光束产生的等离子冲击波,提高金属材料的抗疲劳、耐磨损和抗腐蚀能力的一种高新技术。由于它与现有的冷挤压、喷丸等金属材料表面强化手段相比,具有非接触、无热影响区、可控性强以及强化效果显著等突出优点,自产生之日起就得到了广泛的关注和研究。

[0005] 针对航空发动机整体叶盘激光冲击强化相关的生产设备还不成熟、生产效率低、工艺参数难以选择等问题,本发明开发的航空发动机整体叶盘激光冲击强化设备,可以大幅度提高航空发动机叶盘的抗疲劳和抗拉应力腐蚀等性能指标。本成套装备的应用,对于解决飞机发动机叶轮疲劳断裂问题,提高其可靠性将具有重大意义。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种航空发动机整体叶盘激光冲击强化设备。该航空发动机整体叶盘激光冲击强化设备能够有效地在叶片表面引入压应力层,提高航空发动机叶盘的抗疲劳和拉应力腐蚀等性能指标。

[0007] 本发明的目的是通过以下技术方案来实现的:整体叶盘激光冲击强化设备,包括:上位机与轨迹机器人、激光器、光路系统、激光头、送水系统、送水机器人系统、监控系统连接;叶盘通过夹具与轨迹机器人手臂末端连接,激光器射出的激光经光路系统传输后通过激光头照射到叶盘表面的加工区域,送水系统的软管与送水机器人系统的送水机器人手臂末端的喷嘴连接,喷嘴射出水至叶盘表面的加工区域。

[0008] 所述夹具包括异形螺母、连接法兰、锥体支撑件、等分锥体、开口胀圈、压盖、拉杆及周向定位装置,其中异形螺母安装于连接法兰的一端,所述连接法兰的另一端与锥体支撑件一端的端面连接,所述等分锥体套装于锥体支撑件的另一端,所述开口胀圈套装与等

分锥体的外侧,叶盘套装于开口胀圈的外侧,叶盘排气侧的端面与锥体支撑件一端的端面相配合,所述压盖设置于等分锥体的上端,所述拉杆穿过压盖、锥体支撑件及连接法兰与异形螺母螺纹连接,在旋紧拉杆的过程中,开口胀圈不断向外膨胀,实现叶盘的轴向定位和径向定位;所述周向定位装置与锥体支撑件和叶盘连接。

[0009] 周向定位装置包括销钉、连接板及锥形销钉,其中连接板的一端通过销钉与锥体支撑件的另一端连接,连接板的另一端通过锥形销钉与叶盘的外圆周连接。

[0010] 所述销钉和锥形销钉与连接板之间采用过盈配合。

[0011] 所述压盖与叶盘之间设有胶垫。

[0012] 所述锥体支撑件和等分锥体相配合的锥面的锥度为 7:24。

[0013] 所述等分锥体比锥体支撑件轴向长 4.5mm,旋紧拉杆后,等分锥体的下端与锥体支撑件一端的端面之间有间隙,锥体支撑件的另一端与压盖之间有间隙。

[0014] 所述拉杆和压盖之间设有平垫。

[0015] 所述锥体支撑件和锥形销钉采用硬铝合金材料,所述连接法兰采用不锈钢材料,胀圈采用铜材料。

[0016] 所述连接法兰与轨迹机器人法兰盘的连接定位。

[0017] 所述送水系统包括:储水箱的箱体上部连接有进水管和溢流管;进水管上连接有进水电磁阀,进水电磁阀与上位机连接,进水管末端通过水阀与水源连接;溢流管末端与下水连接;储水箱底部安装球阀 A,球阀 A 通过排污管与下水连接;储水箱的箱体外表面下部设置有水位传感器,水位传感器与上位机连接;储水箱的箱体下部连有出水管,出水管上连接有球阀 B,出水管末端与水泵进水口连接,出水口通过水流传感器与软管连接。

[0018] 所述激光头包括数控转台、摆臂、激光头末端、大聚焦镜、小聚焦镜、小反射镜及小反射镜镜座;其中:数控转台和大聚焦镜分别通过螺钉和镜架安装在光学平台上,摆臂的一端固定安装在数控转台上;摆臂的另一端与激光头末端相连接,小反射镜镜座固定在激光头末端的端部,小反射镜镶嵌在小反射镜镜座的槽中,激光头末端的端部侧面上设置出光口,小聚焦镜固定在激光头末端的出光口处;小反射镜镜座与出光口设置的位置使得照射到小反射镜上的入射光与通过小反射镜反射出的反射光之间夹角为 30-34°。

[0019] 所述摆臂由连接板、连接管和导光管组成;其中:连接板与数控转台之间通过螺钉固定;连接板与连接管之间通过轴肩定位,并由锁紧螺钉固定;导光管与连接管之间通过轴肩定位,并由锁紧螺钉固定。

[0020] 所述连接板与数控转台固定前在其之间垫一层胶垫保证摆臂水平;所述导光管与连接管连接前,在连接管内转动导光管,用于调整激光头末端的出光口处输出激光的方向,然后再拧紧螺钉进行固定。

[0021] 所述摆臂的导光管与激光头末端之间通过轴肩定位,并由锁定螺钉 A 紧固。

[0022] 在数控转台上通过螺钉安装有配重块,用于平衡摆臂的重量,摆臂、激光头末端和小反射镜镜座均采用铝合金材料,配重块采用不锈钢材料。

[0023] 所述小反射镜镜座通过 M3 的平头螺钉固定在激光头末端的端部;其中:小反射镜镜座采用沉头孔结构设计;拧紧平头螺钉之前,在螺钉螺纹处、小反射镜镜座与激光头末端的端部的结合面处涂一层紫外固化胶,拧紧螺钉后,放入紫外固化箱中固化 30s,对结合面进行密封。

[0024] 所述小反射镜镀高反射膜, $R > 99.8@1064\text{nm}$; 损伤阈值为脉冲 $25\text{J}/\text{cm}^2$, 10ns 、 2Hz , 入射角为 $\alpha = 16 \pm 2^\circ$, 波长 532nm 及 1064nm 激光在其上的 $16 \pm 2^\circ$ 角反射率达到 99.5% 以上。

[0025] 所述小聚焦镜通过锁定螺钉 B 固定在激光头的末端的出光口处, 采用轴肩定位的方式进行定位; 其中: 拧紧锁定螺钉 B 之前, 在锁定螺钉 B 螺纹处、小聚焦镜边缘与激光头末端出光口处的结合面处涂一层紫外固化胶, 拧紧锁定螺钉 B 后, 放入紫外固化箱中固化 30s , 对结合面进行密封。

[0026] 所述小聚焦镜的镜片损伤阈值: 脉冲 $25\text{J}/\text{cm}^2$ 、 10ns 、 2Hz , 波长 532nm 及 1064nm 激光在其上的透射率达到 99.5% 以上。

[0027] 用于将大聚焦镜固定在光学平台上的镜架其装调机构均采用 4 维调整机构, 大聚焦镜的镜片损伤阈值: 脉冲 $25\text{J}/\text{cm}^2$ 、 10ns 、 2Hz , 波长 532nm 及 1064nm 激光在其上的透射率达到 99.5% 以上。

[0028] 所述送水机器人系统包括送水机器人及支架、流量阀、电磁阀和喷嘴; 送水机器人底座固定于支架末端, 流量阀和电磁阀安装在支架上, 送水系统的软管依次通过流量阀、电磁阀与送水机器人末端固定的喷嘴进水口连接; 流量阀、电磁阀、以及安装在送水机器人关节处的位置传感器均与上位机连接。

[0029] 所述监控系统包括声压质量监控系统和加工过程监控系统; 声压质量监控系统与上位机连接, 并固定在送水机器人系统的支架上, 并与加工的叶盘同等高度, 用于接收叶盘加工时的声波信息; 加工过程监控系统与上位机连接并固定于送水机器人系统的支架末端, 用于接收叶盘加工的视频信息。

[0030] 所述声压质量监控系统采用声音传感器; 加工过程监控系统采用摄像机。

[0031] 所述光路系统包括: 安装在光学平台上的光路一与光路二切换滑台、光路三与光路四切换滑台以及出光口滑台; 安装在激光器内部用于光路切换的数控滑台; 安装在光学平台上的光路三转台和光路一转台; 安装在光学平台上的光路三与光路四校验滑台和光路一与光路二校验滑台; 安装在光学平台上的光路二反射镜、光路四反射镜、反射镜 A 和反射镜 B; 安装在光学平台上的光路一聚焦镜、光路三聚焦镜、光路二聚焦镜和光路四聚焦镜, 安装在光学平台上的光路二匀光镜片和光路四匀光镜片, 所述光路二聚焦镜和光路二匀光镜片组成光路二匀光聚焦镜组, 所述光路四聚焦镜和光路四匀光镜片组成光路四匀光聚焦镜组; 分别安装在光路一转台和光路三转台上的光路一摆臂和光路三摆臂; 分别安装在光路一摆臂末端和光路三摆臂末端的光路一小反射镜和光路三小反射镜; 分别安装在光路一与光路二切换滑台和光路三与光路四切换滑台上的光路一反射镜和光路三反射镜; 安装在出光口滑台上的反射镜 C 和反射镜 D; 安装在数控滑台上的反射镜 E; 安装在激光器内部的合束镜; 分别安装在光路三与光路四校验滑台和光路一与光路二校验滑台上的光路三与光路四校验能量计和光路一与光路二校验能量计; 安装在光学平台上的防护板、防护罩和导光管。

[0032] 所述反射镜 E 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮, 能够在数控滑台上滑动; 激光器上设置出光口 A 和出光口 B; 当反射镜 E 处在出光口 A 正前方时, 激光束 A 经反射镜 E 反射至合束镜, 再经合束镜反射出的激光与激光束 B 均由出光孔 B 输出; 当反射镜 E 处在出光口 A 和出光口 B 之间的位置时, 激光束 A 和激光束 B 分别从出光口 A 和

出光口 B 输出。

[0033] 所述反射镜 C 和反射镜 D 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够同时在出光口滑台上滑动;A 出光口和 B 出光孔同时出光时,当反射镜 C 和反射镜 D 分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的正后方时,A 出光孔输出的激光经反射镜 C 的反射能够反射到反射镜 C 左方的反射镜 A 上,B 出光孔输出的激光经反射镜 D 的反射能够反射到反射镜 D 右方的反射镜 B 上;只有 B 出光孔出光时,当反射镜 C 和反射镜 D 分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 D 的反射可以反射到反射镜 D 右方的反射镜 B 上;只有 B 出光孔出光时,当只有反射镜 C 正处于出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 C 的反射可以反射到反射镜 C 左方的反射镜 A 上。

[0034] 所述光路一反射镜在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路一与光路二切换滑台上滑动;当反射镜 B 上有激光束反射出来时,光路一反射镜正处于反射镜 B 反射光路的正后方时,反射镜 B 反射来激光经光路一反射镜反射到光路一反射镜左方的光路 1 聚焦镜上;当反射镜 B 上有激光束反射出来时,光路一反射镜不处于反射镜 B 反射光路的正后方时,反射镜 B 反射来激光经光路二反射镜反射到光路二反射镜左方的光路二匀光聚焦镜组上。

[0035] 所述光路三反射镜在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路三与光路四切换滑台上滑动;当反射镜 A 上有激光束反射出来时,光路三反射镜正处于反射镜 A 反射光路的正后方时,反射镜 A 反射来的激光经光路三反射镜反射到光路三反射镜右方的光路三聚焦镜上;当反射镜 A 上有激光束反射出来时,光路三反射镜不处于反射镜 A 反射光路的正后方时,反射镜 A 反射来的激光经光路四反射镜反射到光路四反射镜右方的光路四匀光聚焦镜组上。

[0036] 所述光路一摆臂在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机旁的旋钮,能够围绕光路一转台的轴线转动;当光路一聚焦镜有激光输出时,光路一摆臂摆至光路一小反射镜正好处于光路一聚焦镜输出光路的正左方时,光路一小反射镜将经光路一聚焦镜输出的激光反射到工件表面,形成直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑;当不需光路一工作时,光路一摆臂顺时针旋转至光学平台上。

[0037] 所述光路三摆臂在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机旁的旋钮,能够围绕光路三转台的轴线转动;当光路三聚焦镜有激光输出时,光路三摆臂摆至光路三小反射镜正好处于光路三聚焦镜输出光路的正右方时,光路三小反射镜将经光路三聚焦镜输出的激光反射到工件表面,形成直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑;当不需光路三工作时,光路三摆臂逆时针旋转至光学平台上。

[0038] 当光路二匀光聚焦镜组有激光束输入时,光路二聚焦镜输出的激光照射到工件表面,形成边长为 2-5mm 的光强均匀的方形光斑。

[0039] 当光路四匀光聚焦镜组有激光束输入时,光路四聚焦镜输出的激光照射到工件表面,形成边长为 2-5mm 的光强均匀的方形光斑。

[0040] 所述光路一与光路二校验能量计在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路一与光路二校验滑台上滑动;光路一摆臂和光路三摆臂均处于不工作状态,校验光路一的完好性时,光路一与光路二校验能量计移动到光路一聚焦镜的正后方,选择从光路一中输出激光,测量光路一输出的能量,与激光器输出的能量做对比;校验光路

二的完好性时,光路一与光路二校验能量计移动到光路二聚焦镜的正后方,选择从光路二中输出激光,测量光路二输出的能量,与激光器输出的能量做对比;当对工件进行冲击强化加工时,光路一与光路二校验能量计移动到不遮挡光路的地方。

[0041] 所述光路三与光路四校验能量计在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路三与光路四校验滑台上滑动;光路一摆臂和光路三摆臂均处于不工作状态,校验光路三的完好性时,光路三与光路四校验能量计移动到光路三聚焦镜的正后方,选择从光路三中输出激光,测量光路三输出的能量,与激光器输出的能量做对比;校验光路四的完好性时,光路三与光路四校验能量计移动到光路四聚焦镜的正后方,选择从光路四中输出激光,测量光路四输出的能量,与激光器输出的能量做对比;当对工件进行冲击强化加工时,光路一与光路二校验能量计移动到不遮挡光路的地方。

[0042] 当只由出光口 B 出光时,当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路一或光路三能够输出激光光斑直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑;当只由出光口 B 出光时,当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路二或光路四能够输出激光光斑为边长 2-5mm 的光强均匀的方形光斑。

[0043] 当出光口 A 和出光口 B 同时出光时,当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路一和光路三能够输出激光光斑直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑;当出光口 A 和出光口 B 同时出光时,当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路二和光路四能够输出激光光斑为边长 2-5mm 的光强均匀的方形光斑。

[0044] 当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路一和光路三的能量损失 $< 6\%$;当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 $< 27\text{mm}$,发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束时,光路二和光路四的能量损失 $< 10\%$ 。

[0045] 所述激光器 102 产生脉宽 8 ~ 25ns 的短脉冲、频率 0 ~ 10Hz、光束直径 $< 27\text{mm}$ 、单脉冲能量 $< 25\text{J}$ 的激光。

[0046] 本发明的优点与积极效果为:

[0047] 1. 本发明采用 6 自由度轨迹机器人带动叶盘运动,在满足运动加工的同时,大大简化了设备的复杂性,同时增加了设备的柔性,不但可以加工航空发动机整体叶盘,还可以加工其他结构形式的零件。

[0048] 2. 本发明采用 6 自由度送水机器人和自动控制的送水系统,能够适应复杂零件的加工,保证工件加工区域表面的约束层厚度在 1 ~ 2mm 内可调、厚度均匀。

[0049] 3. 本发明采用声压质量监控系统,实现加工质量的在线无损检测,大大降低了质量检测的成本。

[0050] 4. 本发明能够实现车间内无人化工作,保证了人员和设备的安全。

[0051] 5. 本发明具有结构简单、使用方便、安全可靠、加工效率高等优点,在提高生产效率的同时,保证了冲击强化质量的均匀性和稳定性。

附图说明

- [0052] 图 1 为本发明的设备总体方案图；
- [0053] 图 2 为设备布局示意图；
- [0054] 图 3 为图 2 中局部放大的送水机器人系统 105 结构示意图；
- [0055] 图 4 为图 2 中局部放大的光路系统 103 和激光头 109 的结构示意图；
- [0056] 图 5 为轨迹机器人 106 的工作示意图；
- [0057] 其中,107 为叶盘,111 为喷嘴,115 为激光束；
- [0058] 图 6 为送水系统 101 的结构示意图；
- [0059] 图 7 为硬件组成示意图；
- [0060] 图 8 为本发明的夹具结构示意图；
- [0061] 图 9 为本发明中夹具连接法兰的俯视图；
- [0062] 图 10 为图 9 的 A-A 剖视图；
- [0063] 图 11 为本发明中夹具锥体支撑件的结构示意图；
- [0064] 图 12 为本发明中夹具开口胀圈的结构示意图；
- [0065] 图 13 为图 12 的俯视图；
- [0066] 图 14 为本发明中夹具等分锥体的俯视图；
- [0067] 图 15 为图 14 的 A-A 剖视图；
- [0068] 图 16 为本发明中夹具压盖的结构示意图；
- [0069] 图 17 为本发明中夹具异形螺母的结构示意图；
- [0070] 图 18 为图 17 的俯视图；
- [0071] 其中:1 为异形螺母,2 为螺钉,3 为连接法兰,4 为螺钉,5 为锥体支撑件,6 为等分锥体,7 为开口胀圈,8 为叶盘,9 为胶垫,10 为压盖,11 为平垫,12 为拉杆,13 为销钉,14 为连接板,15 为锥形销钉；
- [0072] 图 19 为本发明的安装激光头的光路系统结构图；
- [0073] 图 20 为本发明的安装于光路系统中的激光头结构示意图；
- [0074] 图 21 为本发明的激光头部分光路系统光路示意图；
- [0075] 图 22 为激光头末端结构示意图；
- [0076] 图 23 为小反射镜镜座示意图；
- [0077] 其中:102 为激光器,515 为光学平台,903 为导光管 A,511 为大聚焦镜,905 为数控转台,906 为摆臂,907 为激光头末端,908 为导光管,909 为连接管,910 为连接板,911 为配重块,912 为小聚焦镜,913 为锁定螺钉 B,914 为小反射镜,915 为平头螺钉,916 为锁定螺钉 A,917 为小反射镜镜座,918 为出光口；
- [0078] 图 24 为本发明的设备工作原理图；
- [0079] 图 25 为本发明的光路系统简图；
- [0080] 图 26 为本发明的光路系统俯视图；
- [0081] 图 27 为本发明的光路系统立体图；
- [0082] 图 28 为光学平台结构简图；
- [0083] 图 29 为光路传输的激光束效果图；
- [0084] 其中:501 为光路一与光路二切换滑台,502 为光路二反射镜,503 为光路一反射镜,504 为光路二匀光聚焦镜组,505 为光路一聚焦镜,506 为光路一转台,507 为光路一小反

射镜,508 为光路三小反射镜,509 为光路三转台,510 为光路四匀光聚焦镜组,511 为光路三聚焦镜,512 为光路四反射镜,513 为光路三反射镜,514 为光路三与光路四切换滑台,515 为光学平台;516 为反射镜 A,517 为出光口滑台,518 为反射镜 C,102 为激光器,520 为反射镜 E,521 为数控滑台,522 为反射镜 D,523 为反射镜 B,524 为光路二匀光镜片,525 为光路二聚焦镜,526 为光路三与光路四校验滑台,527 为光路三与光路四校验能量计,528 为光路一摆臂,529 为光路三摆臂,530 为光路一与光路二校验能量计,531 为光路一与光路二校验滑台,532 为光路四聚焦镜,533 为光路四匀光镜片,534 为防护板,535 为防护罩,903 为导光管 A,537 为合束镜。

具体实施方式

[0085] 下面结合附图对本发明作进一步详述。

[0086] 本发明的结构和布局如图 2 所示,送水系统 101 与送水机器人系统 110 连接,实现按照指定方向和大小将水送至叶盘 107 的加工区域;激光器 102 发出的激光束,通过安装在激光器 102 正前方的光路系统 103 直接传输到叶盘 107 的加工区域或者通过光路系统 103 和激光头 109 传输到叶盘 107 的加工区域,其中激光器 102 的出光口与光路系统 103 的入光口对齐;声压质量监控系统 316 安装在支架 105 上并与叶盘 107 加工区域同高,用于监测叶盘的加工质量;安装在支架 105 上加工过程监控系统 313 用于监控设备的运行状态,叶盘 107 通过夹具 108 安装在轨迹机器人 106 手臂末端上,由轨迹机器人带动其运动,激光器 102 通过激光器控制器 113 与上位机 112 连接,送水机器人 110 和轨迹机器人通过机器人控制器 114 与上位机连接,所述的送水系统 101、激光器 102、质量监控系统 104、送水机器人 110、轨迹机器人 106、光路系统 103 由上位机 112 统一控制。

[0087] 如图 1-7 所示,本发明包括激光器 102、夹持叶盘 107 沿指定轨迹相对于激光束运动的轨迹机器人 106、夹持喷嘴 111 沿指定轨迹运动将水送至加工区域的送水机器人 110、控制水量大小以及自动启停的约束层送水系统(包括送水系统 101 和送水机器人系统 105)、实时在线监测加工质量的声压质量监控系统 104、监测和控制设备正常运行的加工过程监控系统 313、将激光器 102 发出的激光束整形并传输至加工位置的光路系统 103。

[0088] 其中:激光器 102 用于产生脉宽 8 ~ 25ns 的短脉冲、频率 0 ~ 10Hz、光束直径 < 27mm、单脉冲能量 < 25J 的激光,经后续的光路系统聚焦,能够产生高峰值功率密度(> 109w/cm²) 的激光,从而在金属靶材和约束层之间形成等离子体。

[0089] 将工件(叶盘)固定在轨迹机器人 106 的末端夹具 108 上,依靠机器人的带动使工件运动进入加工空间,并且根据强化加工轨迹不断地调整工件的位置和姿态,从而实现工件不同位置的激光冲击强化。同时,在机器人的末端夹具上还实现叶盘的分度旋转运动,从而实现叶盘上不同叶片的激光冲击强化加工。

[0090] 将喷嘴 111 安装在送水机器人 110 末端的法兰上,依靠机器人的带动使喷嘴 111 运动进入加工空间,并且根据强化加工轨迹不断地调整喷嘴的位置和姿态,从而实现加工区域的水流稳定均匀。

[0091] 约束层送水系统由水箱 624、水泵 627、电磁阀 618、流量阀 311、液位传感器(水位传感器)623、流量传感器(水流传感器)626、集水箱 314 等组成。通过液位传感器 626 和电磁阀 312 监测控制水箱 624 里的去离子水的储水量,水量不足时自动补水,水量超过设定

值时自动关闭电磁阀 312 停止补水 ; 恒压水泵 627 从水箱 624 里将去离子水抽送至流量阀 311, 保证流量阀 311 进水口处的压力恒定 ; 通过恒压水泵 627 调整喷嘴 111 处的流量大小 ; 通过流量传感器 626 监测水泵出口处有没有去离子水流通 ; 通过喷嘴 111 前的电磁阀 312 控制水流的通断。

[0092] 声压质量监控系统 316 通过监测激光冲击的冲击波能量表征激光冲击处理的效果, 在叶盘加工过程中, 每冲击加工一次都记录相应的数据, 为工艺参数的调整提供参考。

[0093] 加工过程监控系统 313 对激光冲击的加工过程参数进行实时监测预控, 实现送水机器人和轨迹机器人运动实时监测, 激光器 102 运行状态实时监测, 实现车间内无人化、远程监控。

[0094] 光路系统 103 将激光传输到指定位置, 并整形成所需大小形状的光斑, 同时可以实现单双面加工任意切换、圆形光斑与方形光斑任意切换。

[0095] 如图 1-5 所示, 整体叶盘激光冲击强化设备, 包括可以输出激光束的激光器 102、带动叶盘沿指定轨迹相对于激光束运动的轨迹机器人 106、夹持喷头沿指定轨迹运动将水送至加工区域的送水机器人系统 104、控制水量大小以及自动启停的约束层送水系统 101、实时在线监测加工质量的声压质量监控系统 316、监测和控制设备正常运行的加工过程监控系统 313、将激光器发出的激光束整形并传输至加工位置的光路系统 103。激光器 102 发出的激光通过光路系统 103 引到工件的表面, 激光器 102 的出光孔和光路系统的进光孔配合, 保证激光束完全垂直进入光路系统 103。送水系统 101 将水送到喷嘴 111 处, 送水机器人 110 带动喷嘴 111, 将水喷到工件 107 的加工位置处, 过程监控系统 313 时刻监测和控制系统的运行状态和运行方式, 声压质量监控系统 316 检测工件的加工质量, 并反馈给工控机, 来调整工艺参数, 使得加工质量达到最优。上述各子系统的紧密配合和软件的协作, 组成激光冲击强化设备, 实现叶盘的激光冲击强化处理, 提高工件的疲劳寿命。

[0096] 本发明的激光器功能如下 :

[0097] 输出激光束的激光器 102 可以输出波长为 532nm、直径为 3mm, 光强为 $0.1-2\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的引导光, 用于观察激光束和光斑的位置, 同时可以输出波长 1064nm、直径为 27mm、单脉冲能量 25J、频率为 0-5Hz、脉宽为 8-25nns 的脉冲激光, 用于激光冲击强化。

[0098] 激光器 102 输出的波长 532nm 的激光束和波长 1064nm 的激光束同轴度 $< 0.5\text{mrad}$ 。

[0099] 激光器 102 的工作方式为单台双路且可单路工作, 即激光器有两个出光孔 A 和 B, A 出光孔和 B 出光孔可以同时输出激光, 也可以只从 B 出光孔输出激光。选择 A、B 出光孔同时出光时, A、B 出光孔最大可同时输出波长 1064nm、直径为 27mm、单脉冲能量 12.5J、频率为 0-5Hz、脉宽为 8-25nns 的脉冲激光, 同时可以输出波长为 532nm、直径为 3mm, 光强为 $0.1-2\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的引导光 ; 选择只从 B 出光孔出光时, B 出光孔最大可同时输出波长 1064nm、直径为 27mm、单脉冲能量 25J、频率为 0-5Hz、脉宽为 8-25nns 的脉冲激光, 同时可以输出波长为 532nm、直径为 3mm, 光强为 $0.1-2\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的引导光。

[0100] 激光器 102 的两个出光孔 A 和 B 的中心距为 231mm, B 出光孔的中心距激光器左侧边缘 250mm。A 和 B 出光孔在同一水平面上, 距地面高度为 895mm。

[0101] 激光器 102 上 A 出光孔、B 出光孔同时出光或只有 B 出光孔出光的切换方式 : 可以手动滑动 A 出光孔前的 45° 全反射镜, 也可数控滑台驱动 A 出光孔前的 45° 全反射镜切入

或切出光路实现。

[0102] 激光器 102 的尺寸大小为 2400mm×1200mm×1300mm。

[0103] 本发明的采用的机器人包括：

[0104] 轨迹机器人 106 夹持叶盘 107 沿指定轨迹相对于激光束运动的。轨迹机器人 106 为 6 自由度机器人、型号为 RX270,最大负载为 250Kg、可达距离为 2900mm、重复定位精度为 ±0.09mm,防护等级为 IP65。

[0105] 送水机器人 110 夹持喷头沿指定轨迹将水送至加工区域。送水机器人 110 为 6 自由度机器人、型号为 TX40,最大负载为 2Kg、可达距离为 500mm、重复定位精度为 ±0.02mm,防护等级为 IP65。

[0106] 本发明的送水系统结构及功能如下：

[0107] 如图 6 所示,控制水量大小以及自动启停的约束层送水系统将去离子水送至喷嘴 111。约束层送水系统由水源 615、水阀 616、进水管 617、进水电磁阀 618、溢流口 619、溢流管 620、球阀 A621、排污管 622、水位传感器 623、储水箱 624、球阀 B625、水流传感器 626、水泵 627、流量阀 311、电磁阀 312、喷嘴 111 组成。水阀 616 连接在水源 615 上,实现水源与进水管 617 之间的水流的通断,进水电磁阀 618 安装在进水管 617 和储水箱 624 之间,溢流管 620 安装在溢流口 619 上,排污管 622 通过球阀 A621 连接在储水箱 624 上,水位传感器 623 安装在储水箱的底部。球阀 B625 安装在储水箱 624 的底部并与水泵 627 通过水管连接在一起。水流传感器 626 安装在水泵 627 的出口端,用水管将水流传感器 626 出口处的水引到流量阀 311 上,电磁阀 312 控制流量阀 311 出水口的通断,用水管将电磁阀 312 和喷嘴 111 连接起来。从而实现将水源 615 处的水送到喷嘴 111 处。喷嘴 111 喷出的水通过集水箱 624 收集起来,和溢流管 620、排污管 622 出来的水一起送入水处理厂。

[0108] 通过进水电磁阀 617 和水位传感器 623 和工控机相互协作,实现储水箱 624 自动补水,保证储水箱 624 里的水量始终保持在储水箱 624 总容量的 30%-80%。同时,由于安装了溢流管 620,使得送水系统更加安全可靠。

[0109] 通过进水流传感器 626、恒压水泵 627、流量阀 311、电磁阀 312 控制喷嘴 111 中流量的大小,并能实时控制。

[0110] 通过约束层送水系统、送水机器人 110 控制喷嘴 111 中流量的大小、喷嘴的位置和姿态,使得加工区域叶盘表面的水层厚度为 1-2mm,且均匀稳定,连续可调。

[0111] 本发明的监控系统结构及功能如下：

[0112] 声压质量监控系统 316 对激光冲击强化的加工质量进行实时监测,获得加工效果的数据。声压质量监控系统为 3 通道声发射传感器、通过连接放大器与工控机(上位机)的数据采集卡连接,工控机内还插有 PCI-1780 定时计数卡,ET-3000TIL 激光探测器固定在激光器的出光口处;定时计数卡保证激光器 102 和声压质量监控系统 316 在同一时钟下工作,当激光 102 器发出激光时,激光探测器探测到激光,探测器发送信号至工控机,工控机开启数据采集卡进行数据采集,将声发射传感器的获得信号存储,工控机对采集的信号进行分析,判断加工质量的好坏。

[0113] 监测和控制设备正常运行包括:加工过程监控系统 313 的摄像头与上位机连接,用来监控航空发动机整体叶盘的加工情况;安装在激光器 102 内部的温度传感器与上位机连接,用来监控激光器是否正常工作;安装在送水机器人 110 和轨迹机器人 106 关节处的位

置传感器和编码器与上位机连接,用来监控轨迹机器人、送水机器人的位置;安装在光路系统内出光口的光电传感器与上位机连接,用来监控光路系统是否正常工作;送水系统 101 的压力传感器(水位传感器)与上位机连接,监测储水箱内的水位是否正常,上位机对整个设备实时进行控制,通过数据线将他们联为一个整体。

[0114] 本发明的工作原理如下:

[0115] 如图 24 所示,上位机的功能主要由机器人运动规划、加工过程仿真、加工过程监控、加工质量监控、工艺数据库和系统协调控制等组成,在上位机的控制下,送水系统产生水流并输送至喷头,送水机器人系统控制水流量的大小、通断,并带动喷头运动将水送至叶盘指定的加工区域,在指定位置形成约束层;轨迹机器人带动装在夹具上的叶盘按照指定加工路径运动;激光器输出激光,传输至光路系统中,从光路系统中出来的激光照射在叶盘加工区域的表面或者经过激光头照射在加工区域的表面;监控系统中的质量监控系统和视频/报警监控系统分别监测叶盘激光冲击强化的质量和系统运行状态。上述系统的协调配合实现整个叶盘的激光冲击强化加工,提高叶盘的疲劳寿命和抗应力腐蚀性能。

[0116] 光路系统 103 将激光器发出的激光束整形并传输至加工位置。光路系统 103 包括数控滑台、数控转台、反射镜、聚焦镜、匀光镜、摆臂组成。从激光器 102 输出的激光束进入光路系统 103,可以从光路系统输出方形光斑或圆形光斑,其中,输出方形光斑的光路有 2 套组成,且结构上相对称,输出圆形光斑的光路有 2 套组成,且结构上相对称。4 套光路可以根据加工需要,任意切换为其中的一套光路工作,也可以切换为 2 套相对称的输出方形光斑的光路同时工作。

[0117] 当选择激光器 102 的 A、B 出光孔同时出光时,A、B 出光孔输出同时输出波长 1064nm、直径为 27mm、单脉冲能量 0-12.5J、频率为 0-5Hz、脉宽为 8-25ns 的脉冲激光,输出波长为 532nm、直径为 3mm,光强为 0.1-2mJ/cm² 的引导光,选择 2 套相对称的输出方形光斑的光路同时工作时,可在工件表面形成边长约 2-4mm 的方形光斑。

[0118] 当选择激光器 102 只有 B 出光孔出光时,B 出光孔输出输出波长 1064nm、直径为 27mm、单脉冲能量 0-25J、频率为 0-5Hz、脉宽为 8-25ns 的脉冲激光,输出波长为 532nm、直径为 3mm,光强为 0.1-2mJ/cm² 的引导光,选择 2 套相对称的输出方形光斑的光路任意一套光路工作时,可在工件表面形成边长约 2-4mm 的方形光斑。

[0119] 当选择激光器 102 只有 B 出光孔出光时,B 出光孔输出输出波长 1064nm、直径为 27mm、单脉冲能量 0-25J、频率为 0-5Hz、脉宽为 8-25ns 的脉冲激光,输出波长为 532nm、直径为 3mm,光强为 0.1-2mJ/cm² 的引导光,选择 2 套相对称的输出圆形光斑的光路任意一套光路工作时,可在工件表面形成直径约 2-4mm 的圆形光斑。

[0120] 激光冲击强化设备可以加尺寸 < 1000mm×1000mm×400mm,重量 < 250Kg 的高温合金、钢、铝合金等材料的整体叶盘或结构件。

[0121] 激光冲击强化设备的软件系统包括机器人运动轨迹规划模块、加工过程仿真模块、加工过程监控模块、加工质量监控模块、工艺数据库管理模块、系统集成模块,保证加工路径最优,最安全、最可靠。

[0122] 本发明的工件加工过程为:

[0123] 使用时,首先将整体叶盘 107 安装在夹具 108 上;接着将夹具 108 安装在轨迹机器人 106 末端的法兰上;接着,在整体叶盘 107 的待加工区域粘贴一层吸收层,用于吸收激光

能量；接着，将选择任意一套光路或 2 套输出方形光斑的光路处于工作状态；接着，轨迹机器人带着整体叶盘进入加工位置；接着，送水机器人 110 带着喷头 111 进入加工位置；接着开启送水系统 101，在叶盘加工区域的表面形成一层均匀、稳定、厚度为 1-2mm 的去离子水；接着，开启激光器 102；最后，轨迹机器人 106 和送水机器人 110 按照事先制定的轨迹运动，实现航空发动机整体叶盘的激光冲击强化。

[0124] 夹具的结构具体如下：

[0125] 如图 8-18 所示，本发明的夹具包括异形螺母 1、连接法兰 3、锥体支撑件 5、等分锥体 6、开口胀圈 7、胶垫 9、压盖 10、平垫 11、拉杆 12、周向定位装置及螺钉 2，其中周向定位装置包括销钉 13、连接板 14 和锥形销钉 15，销钉 13 和锥形销钉 15 分别安装在连接板两端的销孔中，销钉 13 和锥形销钉 15 与连接板 14 之间采用过盈配合，既保证在拆装叶盘 8 的过程中销钉 13、锥形销钉 15 和连接板 14 始终为一体，又保证定位可靠。异形螺母 1 通过螺钉 2 安装在连接法兰 3 的一端，锥体支撑件 5 一端的端面通过螺钉 4 和销钉定位安装在连接法兰 3 的另一端。等分锥体 6 套装在锥体支撑件 5 的另一端外侧，等分锥体 6 的下端沿圆周方向均布开设多个豁口，各豁口均沿锥体母线方向开设，使等分锥体 6 具有弹性。开口胀圈 7 套装在等分锥体 6 的外侧，叶盘 8 套装在开口胀圈 7 的外侧，叶盘 8 排气侧的端面与锥体支撑件 5 一端的端面相配合。胶垫 9 通过螺钉固定在压盖 10 上，保证在加紧的过程中对叶盘 8 无划伤。压盖 10 设置于等分锥体 6 的上端。转动叶盘 8，将锥形销钉 15 和销钉 13 分别插入叶盘 8 和锥体支撑件 5 的销孔中；在压盖 10 的外侧放上平垫 11，保证在加紧的过程中对压盖 10 受力均匀。拉杆 12 穿过平垫 11、压盖 10、锥体支撑件 5 及连接法兰 3 与异形螺母 1 螺纹连接。在旋紧拉杆 12 的过程中，开口胀圈 7 不断向外膨胀，实现叶盘 8 轴向定位和径向定位、加紧固定。连接法兰 3 通过螺钉和定位销实现与机器人法兰盘的连接、定位。

[0126] 锥体支撑件 5 和等分锥体 6 相配合的锥面的锥度为 7:24，等分锥体 6 比锥体支撑件 5 轴向长 4.5mm，加紧后，等分锥体 6 的下端面距锥体支撑件 5 一端的端面始终有间隙，锥体支撑件 5 的另一端与压盖 10 之间始终有间隙，保证相配合的锥面加紧可靠，叶盘 8 加紧可靠。

[0127] 胀圈 7 采用铜材料，锥体支撑件 5 和锥形销钉 15 采用硬铝合金材料，保证对叶盘 8 无划伤。连接法兰 3 采用不锈钢材料，保证整体夹具的刚性。

[0128] 本发明的夹具工作过程是：

[0129] 使用时，首先，将异形螺母 1 通过螺钉 2 安装在连接法兰 3 上，连接法兰 3 和锥体支撑件 5 通过销钉和螺钉 4 安装在一起，胶垫 9 和压盖 10 通过螺钉安装在一起，销钉 13 和锥形销钉 15 与连接板 14 安装在一起；接着，将连接法兰 3 通过螺钉和定位销和机器人法兰盘安装在一起；接着，将等分锥体 6 套装在锥体支撑件 5 的外侧；接着，将开口胀圈 7 套装在等分锥体 6 的外侧；接着，将叶盘 8 套装在开口胀圈 7 的外侧，叶盘 8 的排气端端面与锥体支撑件 5 的端面贴合，实现端面定位；接着，旋转叶盘 8，将销钉 13 和销钉 15 分别安装在叶盘 8 的定位孔和锥体支撑件 5 的定位孔内，实现叶盘 8 周向定位；接着，将平垫 11 套在拉杆 12 上，且靠近螺母的一端的光轴上；接着，将拉杆 12 通过螺纹旋入异形螺母 1 中；最后，不断的拧紧拉杆 12，此时，压盖 10 不断向叶盘 8 方向移动，锥体支撑件 5 和等分锥体 6 接触面积越来越大，不断驱使开口胀圈 7 向外膨胀，胀紧叶盘 8，实现轴心定位，同时，压盖 10 通过

胶垫 9 不断压紧在叶盘 8 的端面上,实现加紧。

[0130] 当加工完成后,拆卸叶盘 8 时,旋掉拉杆 12,取下平垫 11,取下连接在一起的销钉 13、连接板 14 和锥形销钉 15,取下压盖 10,便可取下叶盘 8。

[0131] 本发明的夹具通过拉杆对叶盘进行夹紧定位,夹紧定位过程快速简单,拆装叶盘时间不超过 2 分钟; ;能够实现装载最大重量约 100kg 的整体叶盘;采用销轴、端面和胀芯定位的方法,重复定位精度高,且定位可靠;夹紧定位可靠,极大地提高了叶盘激光冲击强化的质量和生产效率;具有结构简单、质量轻、使用方便、成本低等优点,在提高生产效率的同时,保证了冲击强化质量的均匀性和稳定性;与叶盘接触的部位采用了胶垫、铜和铝合金材料,夹具主体采用不锈钢材料,保证了对叶盘无划伤,夹具在浸在水里的工作情况下不生锈。

[0132] 激光头结构具体如下:

[0133] 本发明整体叶盘遮蔽部位激光冲击强化用激光头结构如图 19-23 所示,该激光头包括数控转台 905、摆臂 906、激光头末端 907、大聚焦镜 511、小聚焦镜 912、小反射镜 914 及小反射镜镜座 917;其中:数控转台 905 和大聚焦镜 511 分别通过螺钉和镜架安装在光学平台 515 上,摆臂 906 的一端固定安装在数控转台 905 上,通过手动或自动的方式可以使摆臂 906 进入工作位和离开工作位;摆臂 906 的另一端与激光头末端 907 相连接,小反射镜镜座 917 固定在激光头末端 907 的端部,小反射镜 914 镶嵌在小反射镜镜座 917 的槽中,激光头末端 907 的端部侧面上设置出光口 918,小聚焦镜 912 固定在激光头末端 907 的出光口 918 处;小反射镜镜座 917 与出光口 918 设置的位置使得照射到小反射镜 914 上的入射光与通过小反射镜 914 反射出的反射光之间夹角为 $30-34^{\circ}$ 。

[0134] 所述摆臂 906 由连接板 910、连接管 909 和导光管 908 组成;其中:连接板 910 与数控转台 905 之间通过螺钉固定,连接板 910 与数控转台 905 之间通过垫一层胶垫保证摆臂水平;连接板 910 与连接管 909 之间通过轴肩定位,并由锁紧螺钉固定;导光管 908 与连接管 909 之间通过轴肩定位,并由锁紧螺钉固定;导光管 908 与连接管 909 连接前,可事先在连接管 909 内转动导光管 908,调整激光头末端 907 输出激光的方向,本发明中是通过转动导光管 908 用来保证出光口处激光水平方向输出,然后再拧紧螺钉进行固定防止转动。

[0135] 所述摆臂 906 的导光管 908 与激光头末端 907 之间通过轴肩定位,并由锁定螺钉 A916 紧固。

[0136] 在数控转台 905 上通过螺钉安装有配重块 911,用于平衡摆臂 906 的重量,保证数控转台 905 正常工作,同时为了减轻摆臂 906 的重量,摆臂 906、激光头末端 907 和小反射镜镜座 917 均采用铝合金材料,配重块 911 采用不锈钢材料,在保证重量的同时,防止在潮湿空气中生锈。数控转台(905)与电机同轴连接,电机由上位机(112)控制,电机的编码器与上位机(112)连接。

[0137] 所述小反射镜镜座 917 通过 M3 的平头螺钉 915 固定在激光头末端 907 的尾部;其中:小反射镜镜座 917 采用沉头孔结构设计;拧紧平头螺钉 915 之前,在平头螺钉 915 螺纹处、小反射镜镜座 917 与激光头末端 907 的尾部的结合面处涂一层紫外固化胶,拧紧螺钉后,放入紫外固化箱中固化 30s,对结合面进行密封,防止激光冲击强化加工过程中,有水进入激光头内部损坏镜片。

[0138] 大小为 $10\text{mm}\times 9\text{mm}\times 2\text{mm}$ 的小反射镜 914 镶嵌在小反射镜镜座 917 上大小为

10mm×9mm×2mm 的槽中。其中,小反射镜:镀高反射膜,反射膜 $R > 99.8@1064\text{nm}$,损伤阈值为脉冲 $25\text{J}/\text{cm}^2$ 、10ns、2Hz;入射角为 $\alpha = 16 \pm 2^\circ$,波长 532nm 及 1064nm 激光在其上的反射率均可达到 99.5% 以上。

[0139] 小聚焦镜 912 通过锁定螺钉 B913 固定在激光头的末端 907 的出光口 918 处,采用轴肩定位的方式进行定位;其中:拧紧锁定螺钉 B913 之前,在锁定螺钉 B913 螺纹处、小聚焦镜 912 边缘与激光头末端 907 出光口 918 处的结合面处涂一层紫外固化胶,拧紧锁定螺钉 B913 后,放入紫外固化箱中固化 30s,对结合面进行密封,防止激光冲击强化加工过程中,有水进入激光头内部损坏镜片;小聚焦镜 912 的镜片损伤阈值:脉冲 $25\text{J}/\text{cm}^2$ 、10ns、2Hz,波长 532nm 及 1064nm 激光在其上的透射率均可达到 99.5% 以上。

[0140] 大聚焦镜 511 通过镜架固定在光学平台 515 上。其中:用于将大聚焦镜 511 固定在光学平台 515 上的镜架其装调机构均采用 4 维调整机构,具有锁紧功能,可以实现两个方向的水平移动及两个方向的转动,从而能够调整激光束正好垂直从大聚焦镜的中心穿过;大聚焦镜 511 的镜片损伤阈值:脉冲 $25\text{J}/\text{cm}^2$ 、10ns、2Hz,波长 532nm 及 1064nm 激光在其上的透射率均可达到 99.5% 以上。

[0141] 小聚焦镜 912 的直径为 10mm,焦距为 10mm,厚度为 7mm。

[0142] 大聚焦镜 511 的直径为 50mm,焦距为 1300mm,厚度为 4mm。

[0143] 摆臂 906 安装在数控转台 905 上,通过自动控制或手动的方式控制数控转台在 90° 范围内转动,激光头可以切入工作位和离开工作位。

[0144] 激光头末端 907 端部的大小为 $23 \times 21 \times 19\text{mm}$,保证其在叶片间运动自如,和叶片无碰撞。

[0145] 当有光束直径 $< 27\text{mm}$ 、波长为 1064nm、发散角 $< 3\text{mrad}$ 、脉宽 8-25ns、频率 0-5Hz 的激光束进入激光头,在距激光头出光孔 2mm 处形成直径大小约为 3mm、平顶分布的圆形光斑。

[0146] 上述激光头在使用时,首先通过自动控制或手动控制的方式使数控转台 905 旋转工作,将摆臂 906 和激光头末端 907 进入工作位,即让激光头进入工作位置。当有光束直径 $< 27\text{mm}$ 、波长为 1064nm、发散角 $< 3\text{mrad}$ 的激光束垂直入射到直径为 50mm、焦距为 1300mm 的大聚焦镜上时,大聚焦镜将光束聚焦到大小为 $10\text{mm} \times 9\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的小反射镜上,通过小反射镜的反射,将激光束进入直径为 10mm、焦距为 10mm 的小聚焦镜中,通过小聚焦镜将光束聚焦在叶片表面,叶片距镜片外表面为 2mm,在叶片表面形成直径大小约为 3mm、平顶分布的圆形光斑。从而实现整体叶盘遮蔽部位的激光冲击冲击强化。

[0147] 本发明的激光头能够对航空发动机整体叶盘遮蔽部位进行激光冲击强化,解决了航空发动机整体叶盘遮蔽部位不能被加工的难题;结构小巧,安全可靠,加工位置调整方便;输出的激光束均匀,保证了加工质量的均匀可靠;使用方便、加工效率高。

[0148] 光路系统的结构具体如下:

[0149] 如图 25-29 所示,本发明整体叶盘单/双面激光冲击强化光路系统包括:安装在光学平台 515 上的光路一与光路二切换滑台 501、光路三与光路四切换滑台 514 以及出光口滑台 517;安装在激光器 102 内部用于光路切换的数控滑台 521;安装在光学平台 515 上的光路三转台 509 和光路一转台 506;安装在光学平台 515 上的光路三与光路四校验滑台 526 和光路一与光路二校验滑台 531;安装在光学平台 515 上的光路二反射镜 502、光路四反射

镜 512、反射镜 A516 和反射镜 B523 ;安装在光学平台 515 上的光路一聚焦镜 505、光路三聚焦镜 511、光路二聚焦镜 525 和光路四聚焦镜 532,安装在光学平台 515 上的光路二匀光镜片 524 和光路四匀光镜片 533,所述光路二聚焦镜 525 和光路二匀光镜片 524 组成光路二匀光聚焦镜组 504,所述光路四聚焦镜 532 和光路四匀光镜片 533 组成光路四匀光聚焦镜组 510 ;分别安装在光路一转台 506 和光路三转台 509 上的光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 ;分别安装在光路一摆臂 528 末端和光路三摆臂 529 末端的光路一小反射镜 507 和光路三小反射镜 508 ;分别安装在光路一与光路二切换滑台 501 和光路三与光路四切换滑台 514 上的光路一反射镜 503 和光路三反射镜 513 ;安装在出光口滑台 517 上的反射镜 C518 和反射镜 D522 ;安装在数控滑台 521 上的反射镜 E520 ;安装在激光器 102 内部的合束镜 537 ;分别安装在光路三与光路四校验滑台 526 和光路一与光路二校验滑台 531 上的光路三与光路四校验能量计 527 和光路一与光路二校验能量计 530 ;安装在光学平台 515 上的防护板 534、防护罩 535 和导光管 A903。数控滑台的电机由上位机进行控制。

[0150] 所述防护板 534 是用于防止加工过程中的水溅射到光路三与光路四校验能量计 527、光路一与光路二校验能量计 530、光路三与光路四校验滑台 526 和光路一与光路二校验滑台 531 上 ;所述防护罩 535 和导光管 A903 是用来防止车间内的灰尘污染光路系统里的光学镜片。

[0151] 所述反射镜 E520 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在数控滑台 521 上滑动 ;激光器上设置出光口 A 和出光口 B ;当反射镜 E520 处在出光口 A 正前方时,激光束 A 经反射镜 E520 反射至合束镜 537,再经合束镜 537 反射出的激光与激光束 B 均由出光孔 B 输出 ;当反射镜 E520 处在出光口 A 和出光口 B 之间的位置时,激光束 A 和激光束 B 分别从出光口 A 和出光口 B 输出。

[0152] 所述反射镜 C518 和反射镜 D522 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够同时在出光口滑台 517 上滑动 ;A 出光口和 B 出光孔同时出光时,当反射镜 C518 和反射镜 D522 分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的正后方时,A 出光孔输出的激光经反射镜 C518 的反射能够反射到反射镜 C518 左方的反射镜 A516 上,B 出光孔输出的激光经反射镜 D522 的反射能够反射到反射镜 D522 右方的反射镜 B523 上 ;只有 B 出光孔出光时,当反射镜 C518 和反射镜 D522 分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 D522 的反射可以反射到反射镜 D522 右方的反射镜 B523 上 ;只有 B 出光孔出光时,当只有反射镜 C518 正处于出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 C518 的反射可以反射到反射镜 C518 左方的反射镜 A516 上。

[0153] 所述光路一反射镜 503 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路一与光路二切换滑台 501 上滑动 ;当反射镜 B523 上有激光束反射出来时,光路一反射镜 503 正处于反射镜 B523 反射光路的正后方时,反射镜 B523 反射来激光经光路一反射镜 503 反射到光路一反射镜 503 左方的光路 501 聚焦镜 505 上 ;当反射镜 B523 上有激光束反射出来时,光路一反射镜 503 不处于反射镜 B523 反射光路的正后方时,反射镜 B523 反射来激光经光路二反射镜 502 反射到光路二反射镜 502 左方的光路二匀光聚焦镜组 504 上。

[0154] 所述光路三反射镜 513 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路三与光路四切换滑台 514 上滑动 ;当反射镜 A516 上有激光束反射出来时,光路三反射镜 513 正处于反射镜 A516 反射光路的正后方时,反射镜 A516 反射来的激光经光路三

反射镜 513 反射到光路三反射镜 513 右方的光路三聚焦镜 511 上 ;当反射镜 A516 上有激光束反射出来时,光路三反射镜 513 不处于反射镜 A516 反射光路的正后方时,反射镜 A516 反射来的激光经光路四反射镜 512 反射到光路四反射镜 512 右方的光路四匀光聚焦镜组 510 上。

[0155] 所述光路一摆臂 528 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机旁的旋钮,能够围绕光路一转台 506 的轴线转动 ;当光路一聚焦镜 505 有激光输出时,光路一摆臂 528 摆至光路一小反射镜 507 正好处于光路一聚焦镜 505 输出光路的正左方时,光路一小反射镜 507 将经光路一聚焦镜 505 输出的激光反射到工件表面,形成直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑 ;当不需光路一工作时,光路一摆臂 528 顺时针旋转至光学平台上。

[0156] 所述光路三摆臂 529 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机旁的旋钮,能够围绕光路三转台 509 的轴线转动 ;当光路三聚焦镜 511 有激光输出时,光路三摆臂 529 摆至光路三小反射镜 508 正好处于光路三聚焦镜 511 输出光路的正右方时,光路三小反射镜 508 将经光路三聚焦镜 511 输出的激光反射到工件表面,形成直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑 ;当不需光路三工作时,光路三摆臂 529 逆时针旋转至光学平台上。

[0157] 当光路二匀光聚焦镜组 504 有激光束输入时,光路二聚焦镜 525 输出的激光照射到工件表面,形成边长为 2-5mm 的光强均匀的方形光斑。

[0158] 当光路四匀光聚焦镜组 510 有激光束输入时,光路四聚焦镜 532 输出的激光照射到工件表面,形成边长为 2-5mm 的光强均匀的方形光斑。

[0159] 所述光路一与光路二校验能量计 530 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路一与光路二校验滑台 531 上滑动 ;光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 均处于不工作状态,校验光路一的完好性时,光路一与光路二校验能量计 530 移动到光路一聚焦镜 505 的正后方,选择从光路一中输出激光,测量光路一输出的能量,与激光器输出的能量做对比 ;校验光路二的完好性时,光路一与光路二校验能量计 530 移动到光路二聚焦镜 525 的正后方,选择从光路二中输出激光,测量光路二输出的能量,与激光器输出的能量做对比 ;当对工件进行冲击强化加工时,光路一与光路二校验能量计 530 移动到不遮挡光路的地方。

[0160] 所述光路三与光路四校验能量计 527 在伺服电机的驱动下或手动旋转伺服电机后端的旋钮,能够在光路三与光路四校验滑台 526 上滑动 ;光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 均处于不工作状态,校验光路三的完好性时,光路三与光路四校验能量计 502 移动到光路三聚焦镜 511 的正后方,选择从光路三中输出激光,测量光路三输出的能量,与激光器输出的能量做对比 ;校验光路四的完好性时,光路三与光路四校验能量计 527 移动到光路四聚焦镜 532 的正后方,选择从光路四中输出激光,测量光路四输出的能量,与激光器输出的能量做对比 ;当对工件进行冲击强化加工时,光路一与光路二校验能量计 527 移动到不遮挡光路的地方。

[0161] 当只由出光口 B 出光时,当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 < 27mm,发散角 < 3mrad 的激光束时,光路一或光路三能够输出激光光斑直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑 ;当只由出光口 B 出光时,当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 < 27mm,发散角 < 3mrad 的激光束时,光路二或光路四能够输出激光光斑为边长 2-5mm 的光强均匀的方形光斑。

[0162] 当出光口 A 和出光口 B 同时出光时,当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 < 27mm,发散角 < 3mrad 的激光束时,光路一和光路三能够输出激光光斑直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑;当出光口 A 和出光口 B 同时出光时,当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 < 27mm,发散角 < 3mrad 的激光束时,光路二和光路四能够输出激光光斑为边长 2-5mm 的光强均匀的方形光斑。

[0163] 当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 < 27mm,发散角 < 3mrad 的激光束时,光路一和光路三的能量损失 < 6%;当输入波长为 1064nm、单脉冲能量为 3-20J、脉宽为 8-25ns、光束直径 < 27mm,发散角 < 3mrad 的激光束时,光路二和光路四的能量损失 < 10%。

[0164] 上述光路系统使用时:

[0165] 1、当光路三摆臂 529 不处在工作位置,当反射镜 E520 处在出光口 A 正前方时,激光束 A 经反射镜 E520 反射,至合束镜 537,再经合束镜 537 反射出的激光与激光束 B 均由出光孔 B 输出,同时当反射镜 C518 和反射镜 D522 分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的正后方时,出光孔 B 输出的激光经反射镜 D522 的反射反射到反射镜 D522 右方的反射镜 B523 上,同时当光路一反射镜 503 正处于反射镜 B523 反射光路的正后方时,反射镜 B523 反射来激光经光路一反射镜 503 反射到光路一聚焦镜 505 上,同时当光路一摆臂 528 摆至光路一小反射镜 507 正好处于光路一聚焦镜 505 输出光路的正左方时,光路一小反射镜 507 将经光路一聚焦镜 505 输出的激光反射到工件表面,形成直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑,加工航空发动机叶盘的叶盆前缘区域。

[0166] 2、当光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 均不处在工作位置,当反射镜 E520 处在出光口 A 正前方时,激光束 A 经反射镜 E520 反射,激光束 A 和激光束 B 将全部由出光孔 B 输出,同时当反射镜 C518 和反射镜 D522 分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 D522 的反射反射到反射镜 D522 正右方的反射镜 B523 上,同时当光路一反射镜 503 不处于反射镜 B523 反射光路的正后方时,反射镜 B523 反射来激光经光路二反射镜 502 反射到光路二匀光聚焦镜组 504 上,形成边长 2-5mm 的光强均匀的方形光斑,加工航空发动机叶盘的叶背前缘区域和叶背叶尖边缘区域。

[0167] 3、当光路一摆臂 528 不处在工作位置,当反射镜 E520 处在 A 出光口正前方时,激光束经反射镜 E520 反射,激光束将全部由 B 出光孔输出,同时当反射镜 C518 正处于出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 C518 的反射可以反射到反射镜 C518 左方的反射镜 A516 上,同时当光路三反射镜 513 正处于反射镜 A516 反射光路的正后方时,反射镜 A516 反射来激光经光路三反射镜 513 反射到光路三聚焦镜 511 上,光路三摆臂 529 摆至光路三小反射镜 508 正好处于光路三聚焦镜 511 输出光路的正右方时,光路三小反射镜 508 将经光路三聚焦镜 511 输出的激光反射到工件表面,形成直径为 2-5mm 的光强均匀的圆形光斑,加工航空发动机叶盘的叶背后缘区域。

[0168] 4、当光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 均不处在工作位置,当反射镜 E520 处在 A 出光口正前方时,激光束经反射镜 E520 反射,激光束将全部由 B 出光孔输出,同时当反射镜 C518 正处于出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 C518 的反射可以反射到反射镜 C518 左方的反射镜 A516 上,同时当光路三反射镜 513 不处于反射镜 A516 反射光路的正后方时,反射镜 A516 反射来激光经光路四反射镜 512 反射到光路四匀光聚焦镜组 510 上,

形成边长 2-5mm 的光强均匀的方形光斑,加工航空发动机叶盘的后缘区域和叶盆叶尖边缘区域。

[0169] 5、当光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 均不处在工作位置,当反射镜 E520 处在 A 出光口和出光口 B 中间的位置时,出光口 A 和出光口 B 均输出激光束,同时当反射镜 C518 和反射镜 D522 分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的后方时,A 出光孔输出的激光经反射镜 C518 的反射可以反射到反射镜 C518 左方的反射镜 A516 上,B 出光孔输出的激光经反射镜 D522 的反射可以反射到反射镜 D522 右方的反射镜 B523 上,同时当光路一反射镜 503 不处于反射镜 B523 反射光路的正后方时,反射镜 B523 反射来激光经光路二反射镜 502 反射到光路二匀光聚焦镜组 504 上,同时当光路三反射镜 513 不处于反射镜 A516 反射光路的正后方时,反射镜 A516 反射来激光经光路四反射镜 512 反射到光路四匀光聚焦镜组 510 上,形成边长 2-5mm 的光强均匀的方形光斑,可以同时加工航空发动机叶盘的“叶盆进气边和叶盆叶尖边缘区域”与“叶背排气边和叶背叶尖边缘区域”。

[0170] 6、当反射镜 E520 处在 A 出光口正前方时,激光束经反射镜 E520 反射,激光束将全部由 B 出光孔输出,同时当反射镜 C518 和反射镜 D522 分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 D522 的反射反射到反射镜 D522 右方的反射镜 B523 上,同时当光路一反射镜 3 正处于反射镜 B523 反射光路的正后方时,反射镜 B523 反射来激光经光路一反射镜 503 反射到光路一聚焦镜 505 上,同时光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 不处在工作位置,激光束照射到光路一与光路二校验能量计 530 上,对光路一进行校验。

[0171] 7、当反射镜 E520 处在 A 出光口正前方时,激光束经反射镜 E520 反射,激光束将全部由 B 出光孔输出,同时当反射镜 C518 和反射镜 D522 分别正处于出光孔 A 和出光孔 B 的正后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 D522 的反射反射到反射镜 D522 右方的反射镜 B523 上,同时当光路一反射镜 503 不处于反射镜 B523 反射光路的正后方时,反射镜 B523 反射来激光经光路二反射镜 502 反射到光路二匀光聚焦镜组 504 上,同时光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 不处在工作位置,激光束照射到光路一与光路二校验能量计 530 上,对光路二进行校验。

[0172] 8、当反射镜 E520 处在 A 出光口正前方时,激光束经反射镜 E520 反射,激光束将全部由 B 出光孔输出,同时当反射镜 C518 正处于出光孔 B 的正后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 C518 的反射可以反射到反射镜 C518 左方的反射镜 A516 上,同时当光路三反射镜 513 正处于反射镜 A516 反射光路的正后方时,反射镜 A516 反射来激光经光路三反射镜 513 反射到光路三聚焦镜 511 上,同时光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 不处在工作位置,激光束照射到光路三与光路四校验能量计 527 上,对光路三进行校验。

[0173] 9、当反射镜 E520 处在 A 出光口正前方时,激光束经反射镜 E520 反射,激光束将全部由 B 出光孔输出,同时当反射镜 C518 正处于出光孔 B 的后方时,B 出光孔输出的激光经反射镜 C518 的反射可以反射到反射镜 C518 左方的反射镜 A516 上,同时当光路三反射镜 513 不处于反射镜 A16 反射光路的正后方时,反射镜 A516 反射来激光经光路四反射镜 512 反射到光路四匀光聚焦镜组 510 上,同时光路一摆臂 528 和光路三摆臂 529 不处在工作位置,激光束照射到光路三与光路四校验能量计 527 上,对光路四进行校验。

[0174] 本发明的光路系统结构简单,使用方面,在提高生产效率的同时,保证了激光冲击强化质量的均匀性和稳定性;设计的四套光路,可以根据需要,任意选择一套光路或者两套

光路工作,可以适应多种结构形状的工件加工;提供的方形光斑对于加工平面等结构简单的工件,尤为适用,在方便路径规划的同时,能够保证加工质量均匀稳定,同时效率较高;提供的圆形光斑对于加工结构复杂、被工件其他部位遮挡的加工区域尤为适用,使得难加工、不能加工的区域变得能够被加工;提供的光路校验,能够快速有效的检查光路的完好性,能够快速诊断光路系统运行是否正常;提供的防护板、防护罩、导光管能够有效的防止水、灰尘污染能量计和镜片,从而保证了设备长期稳定的运行。

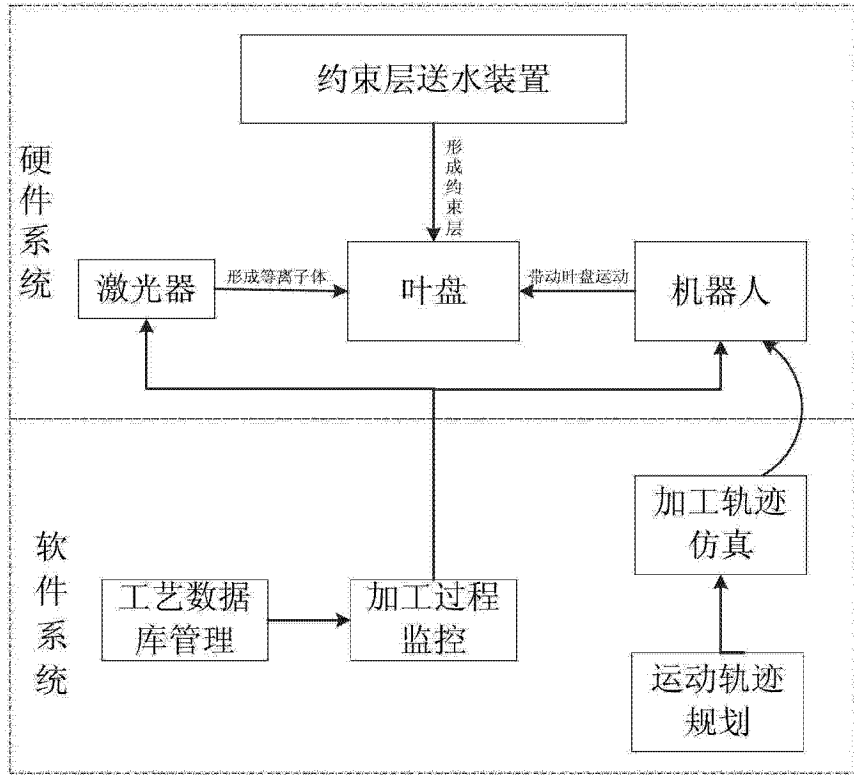


图 1

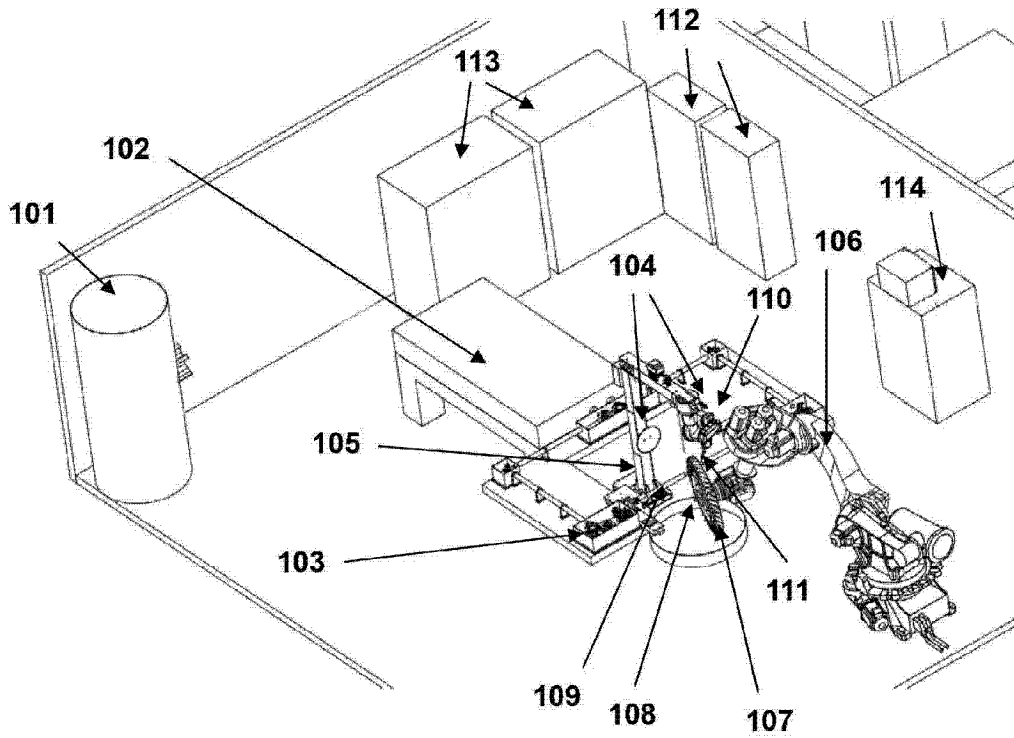


图 2

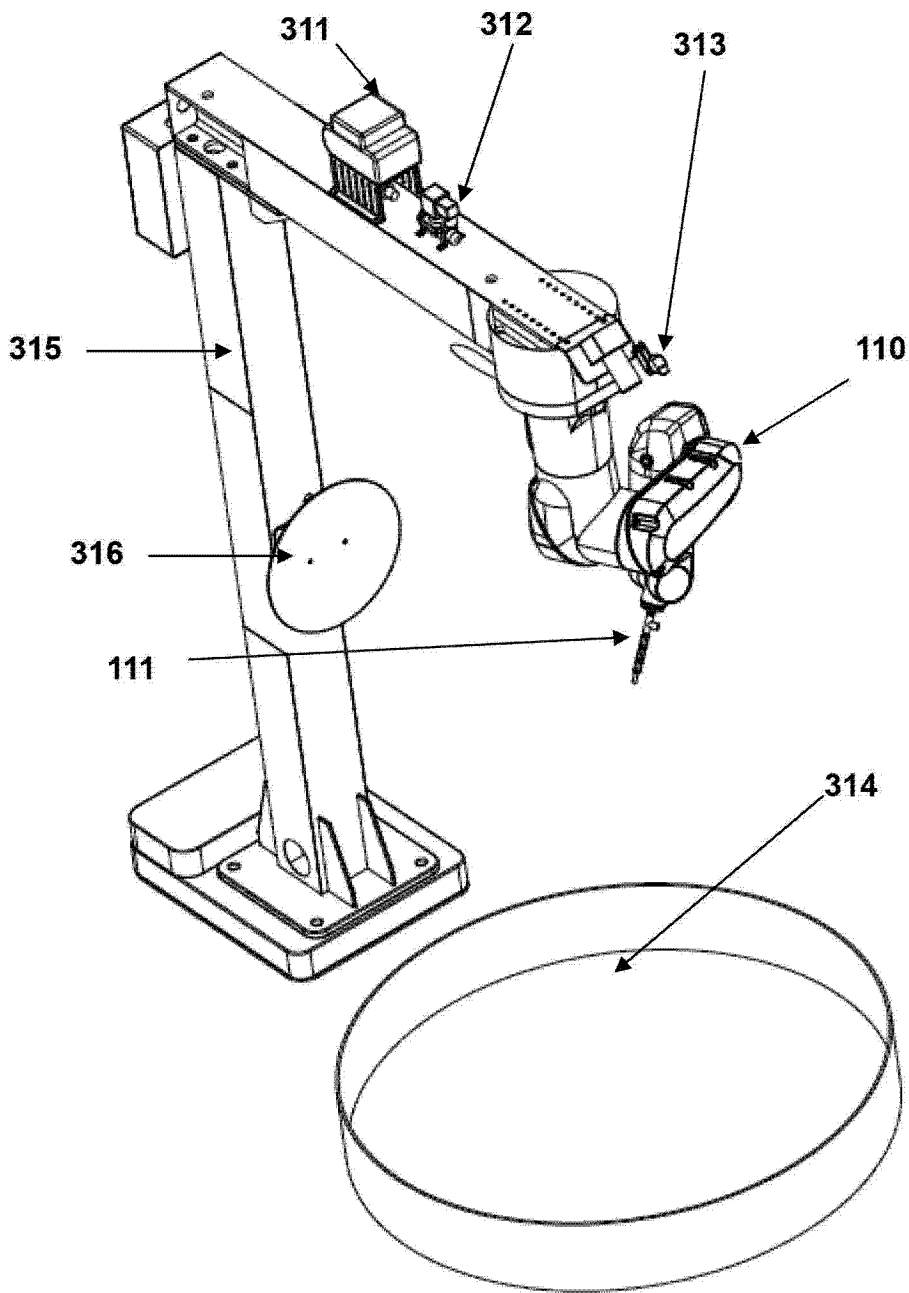


图 3

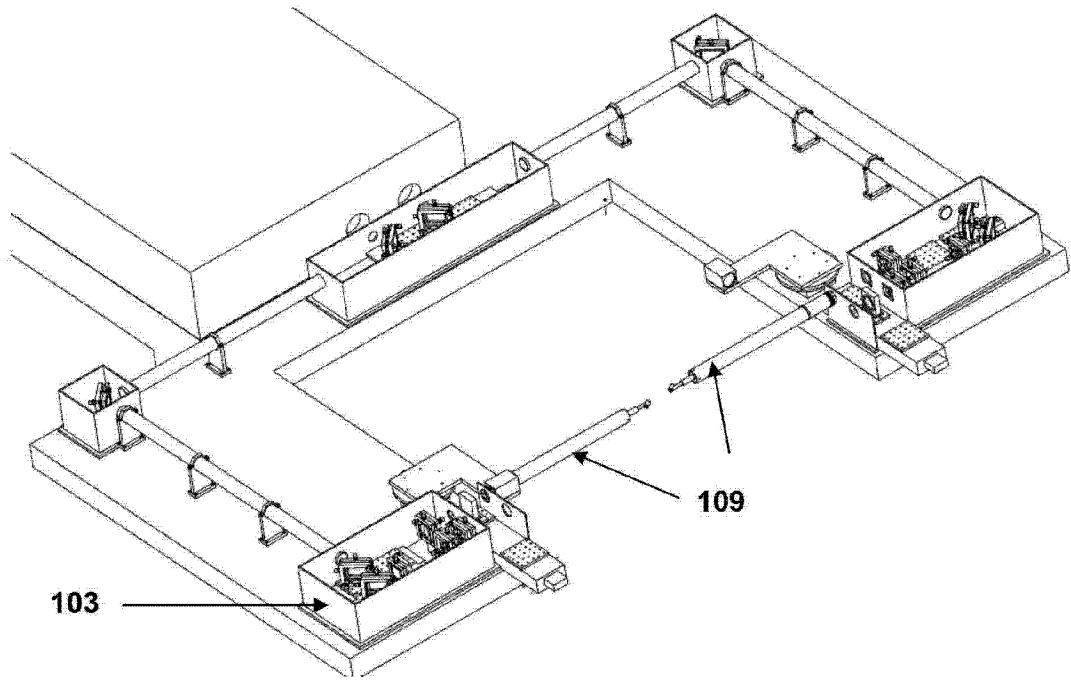


图 4

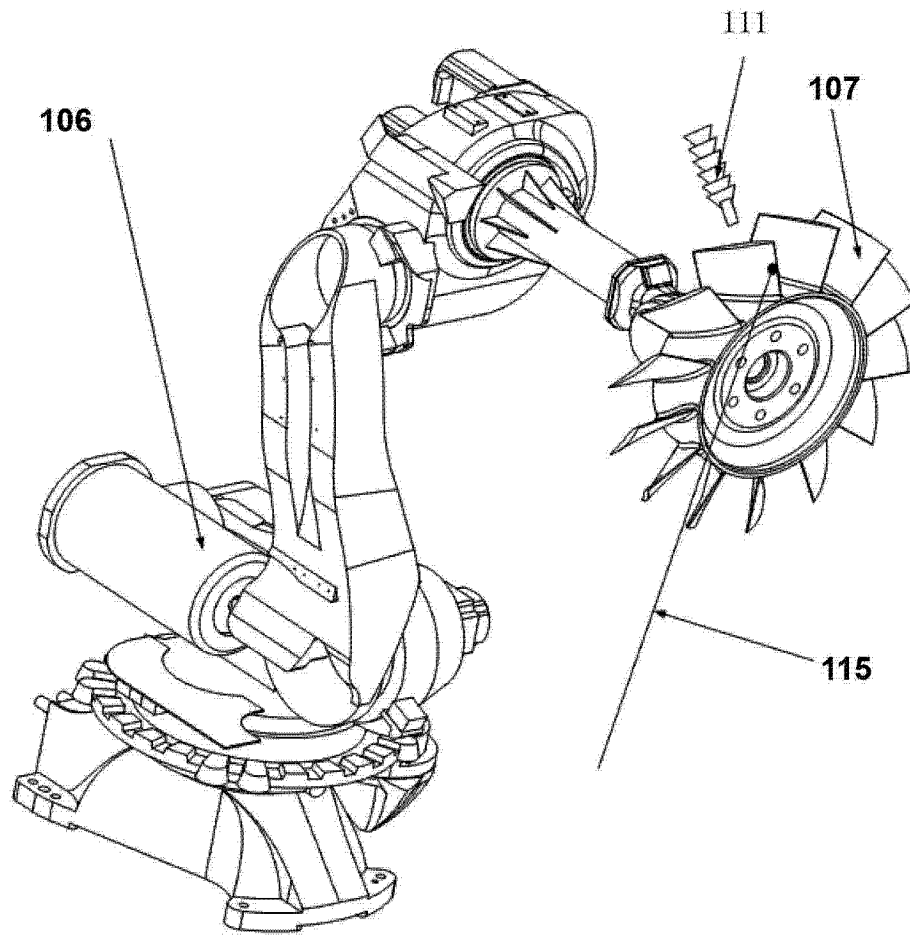


图 5

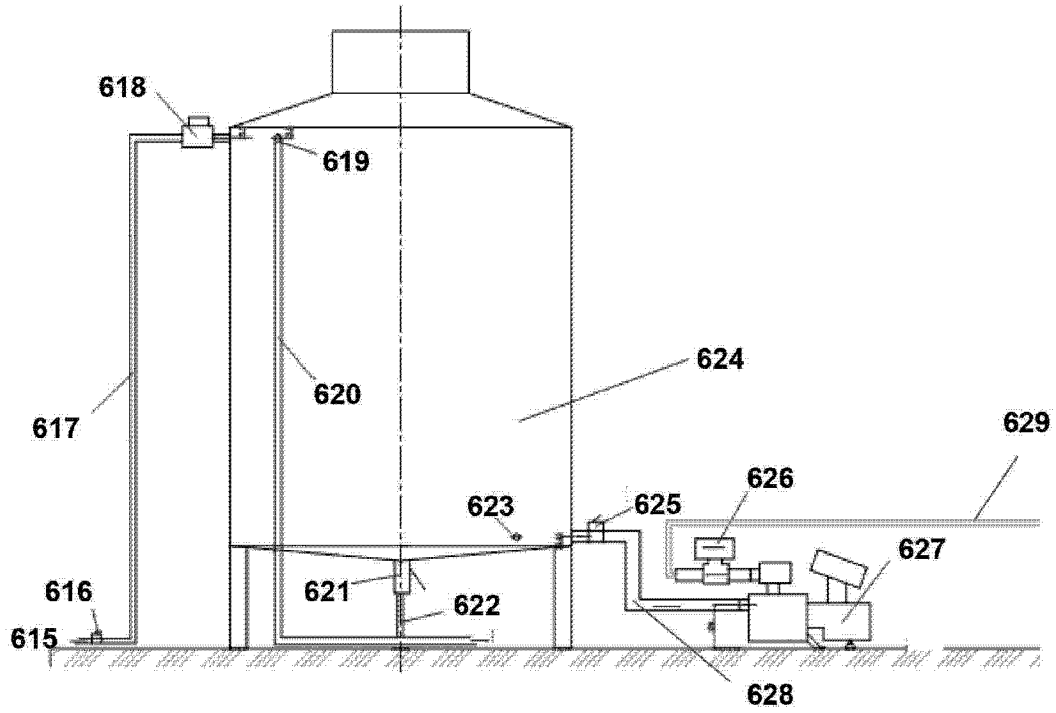


图 6

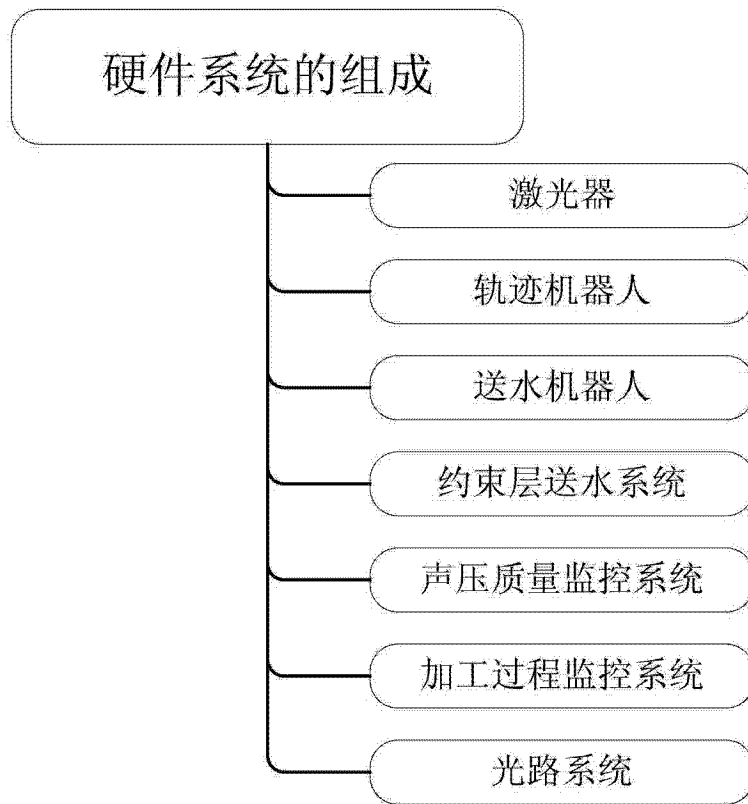


图 7

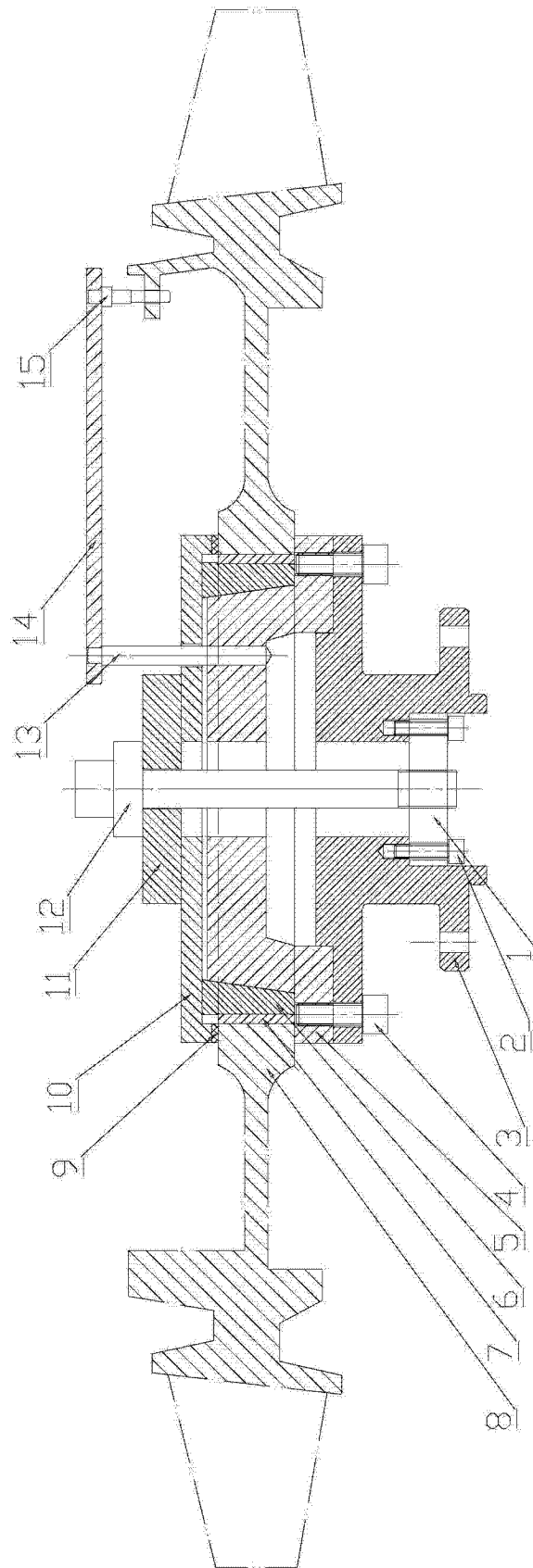


图 8

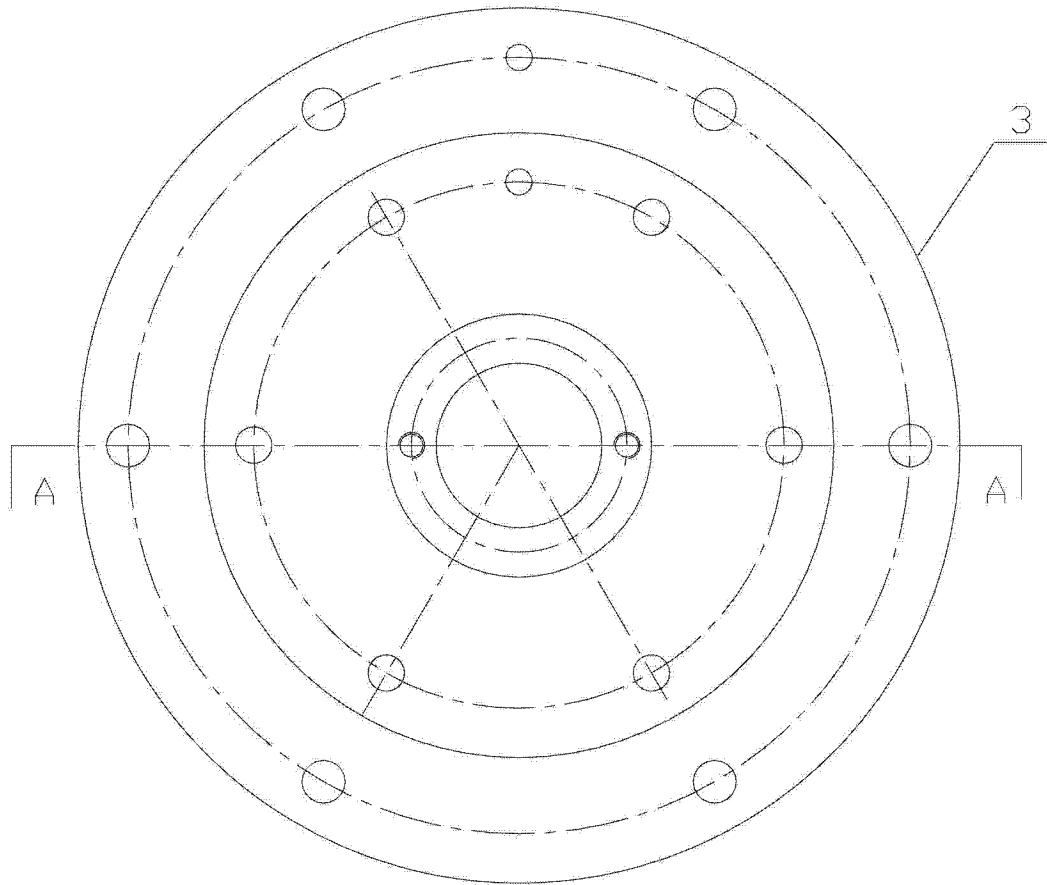


图 9

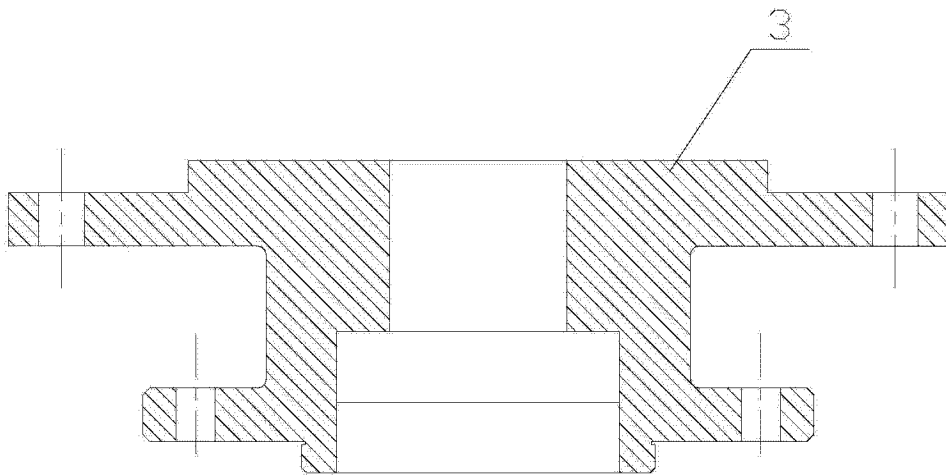


图 10

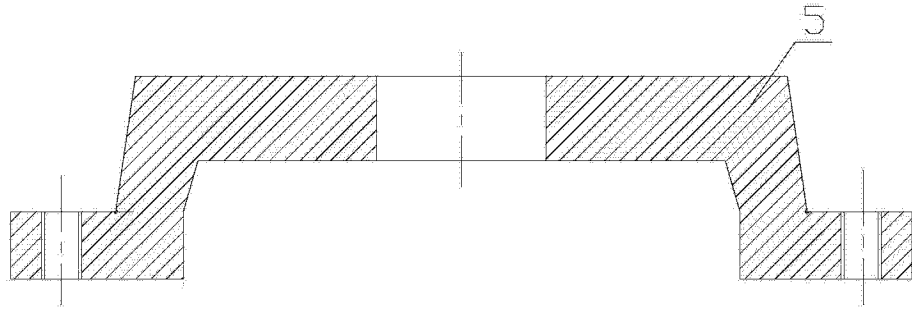


图 11

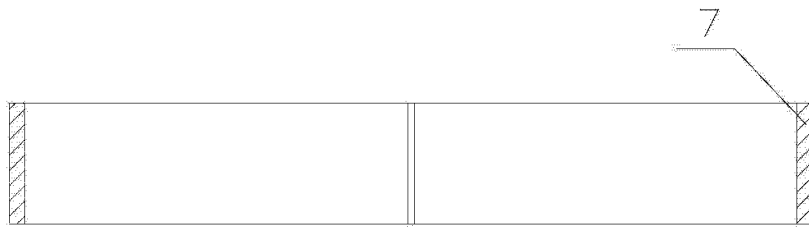


图 12

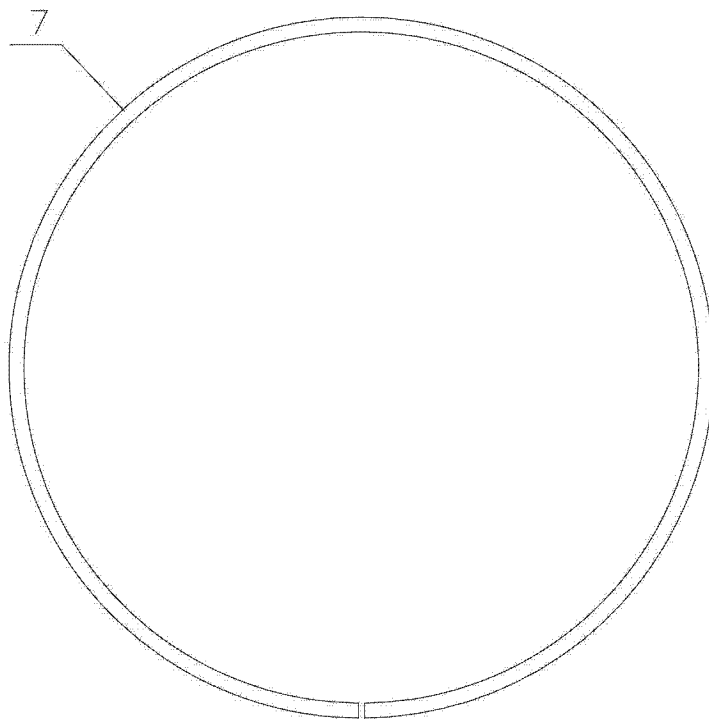


图 13

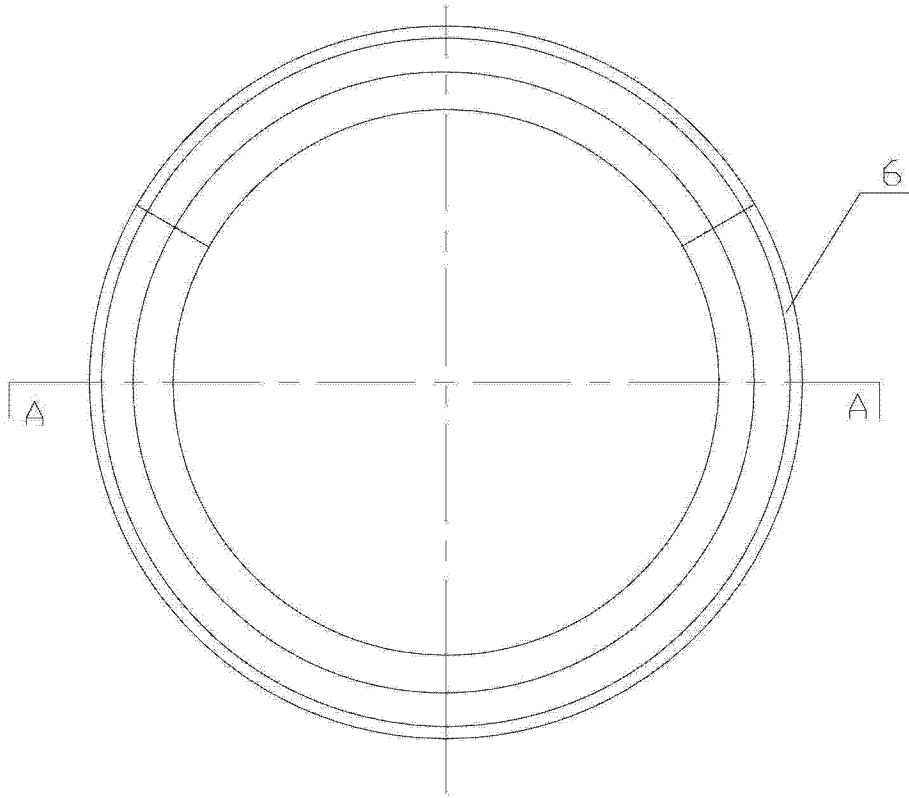


图 14

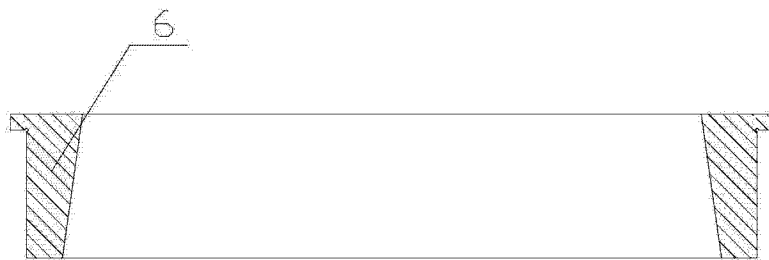


图 15

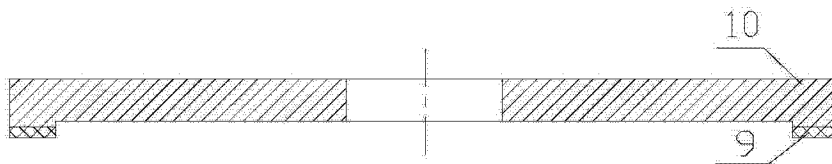


图 16

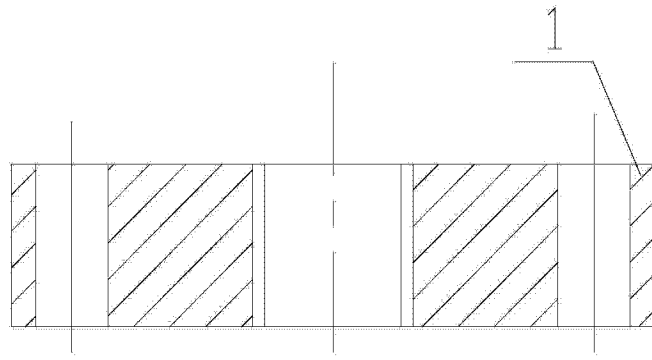


图 17

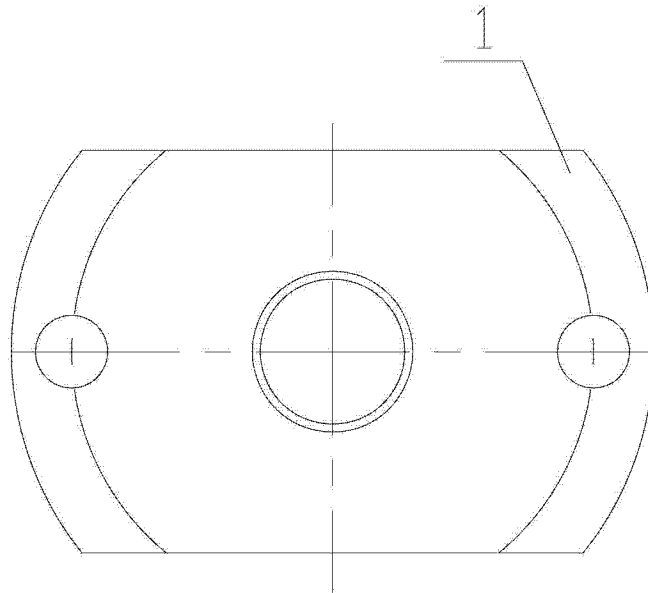


图 18

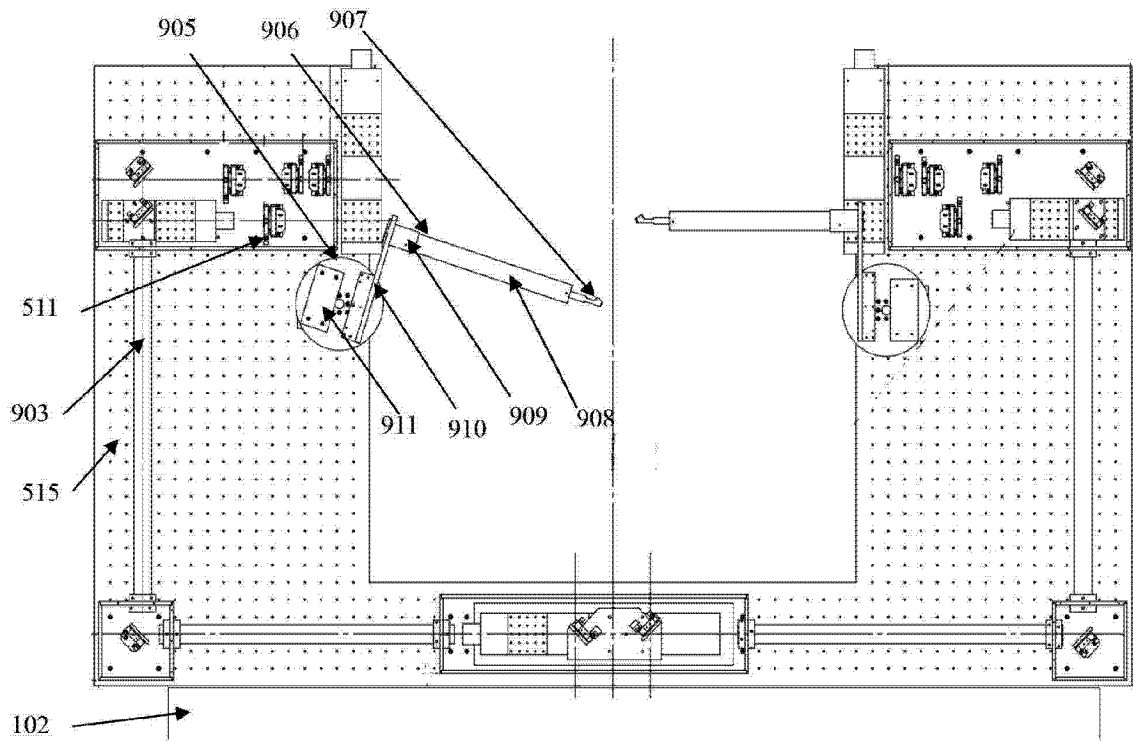


图 19

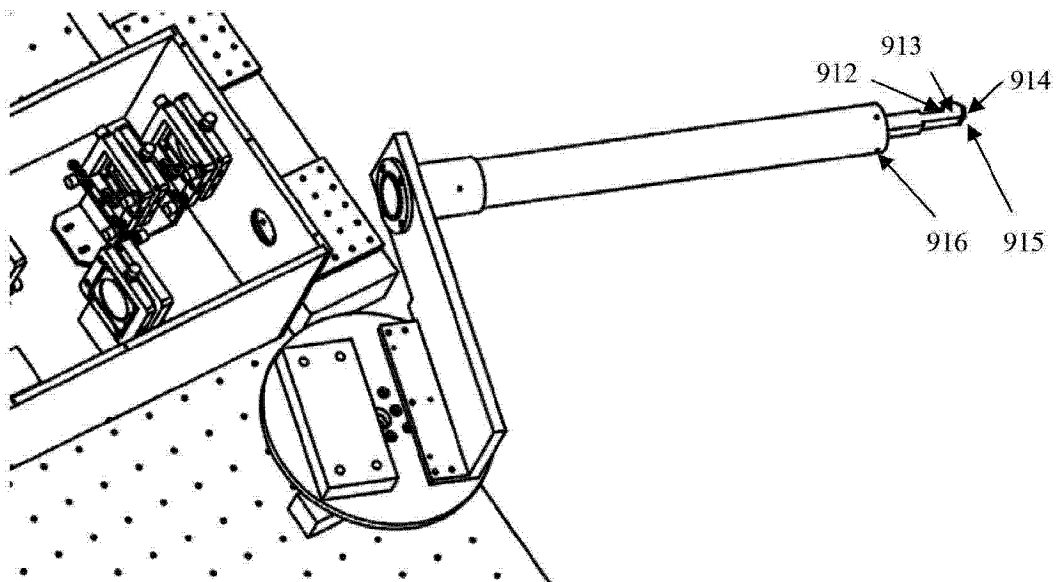


图 20

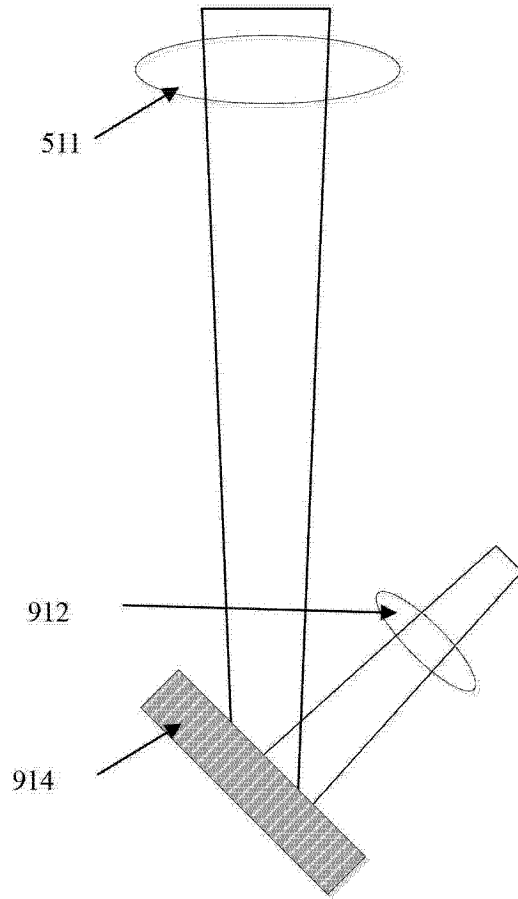


图 21

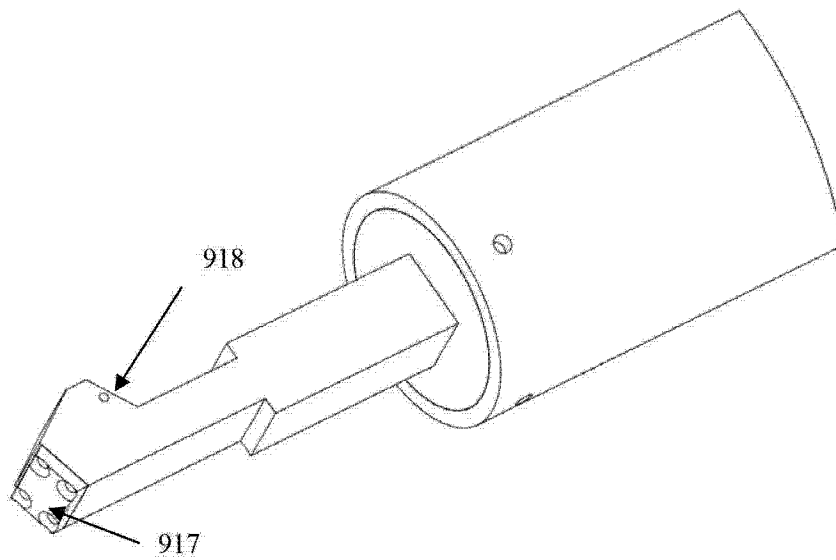


图 22

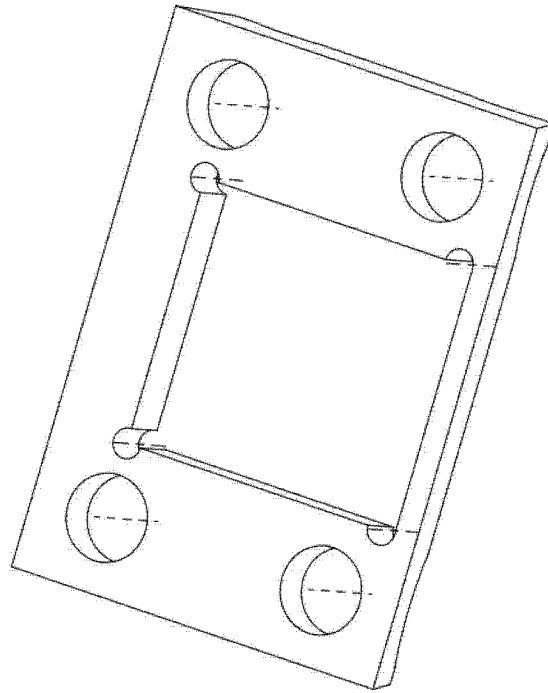


图 23

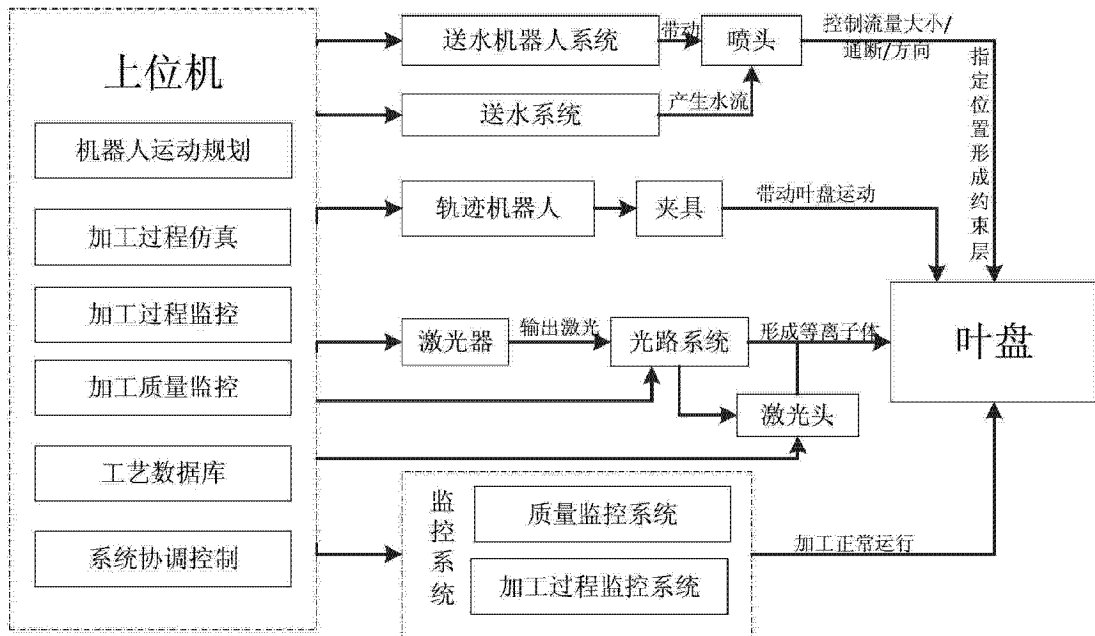


图 24

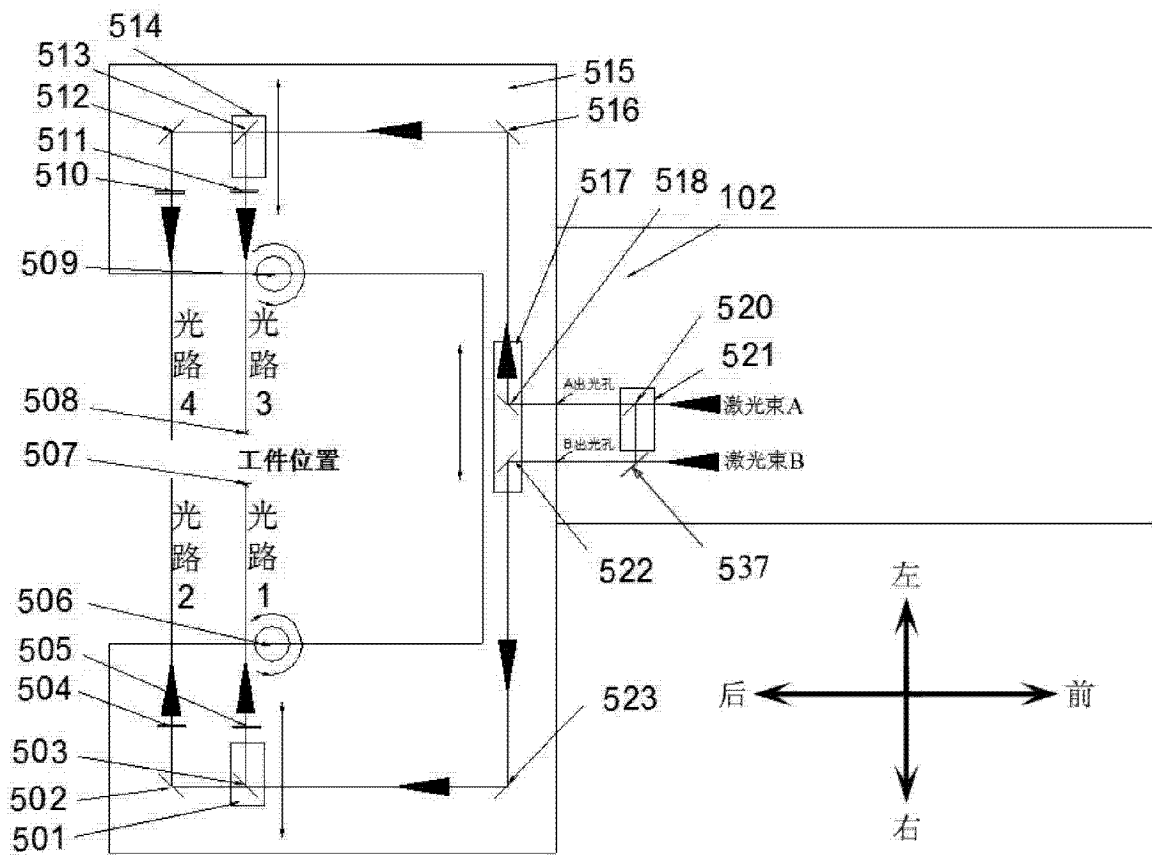


图 25

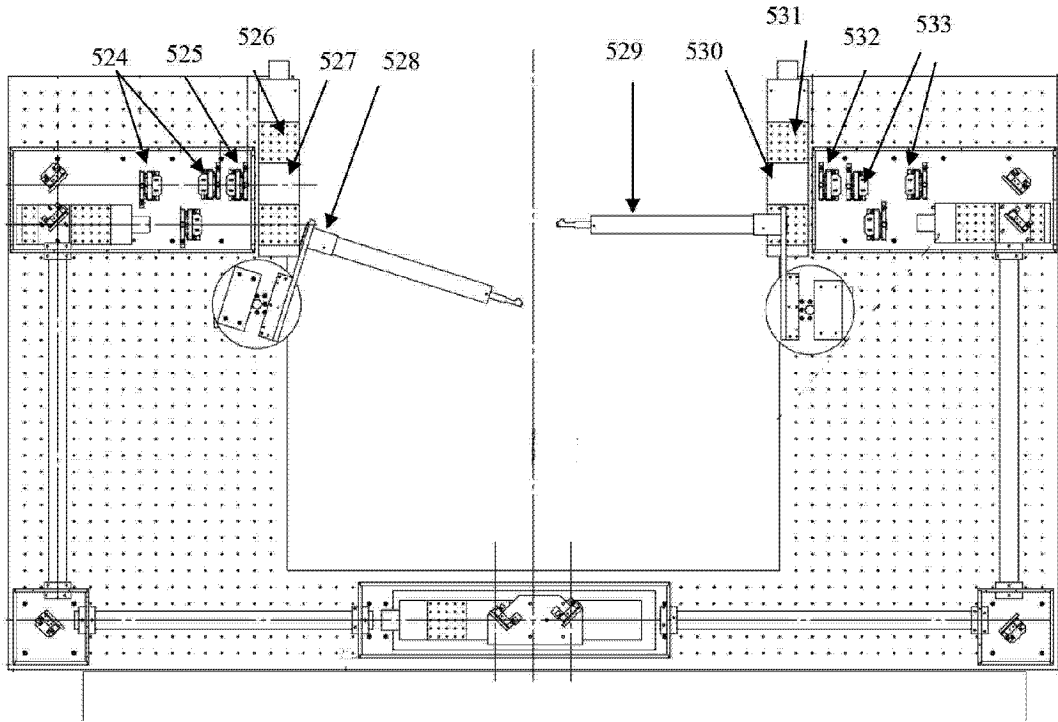


图 26

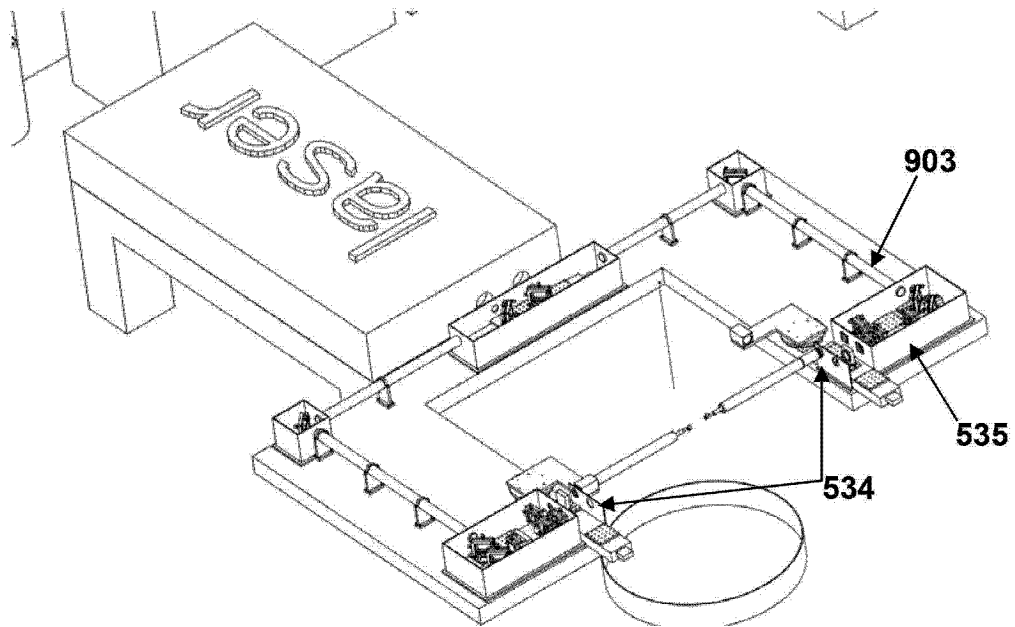


图 27

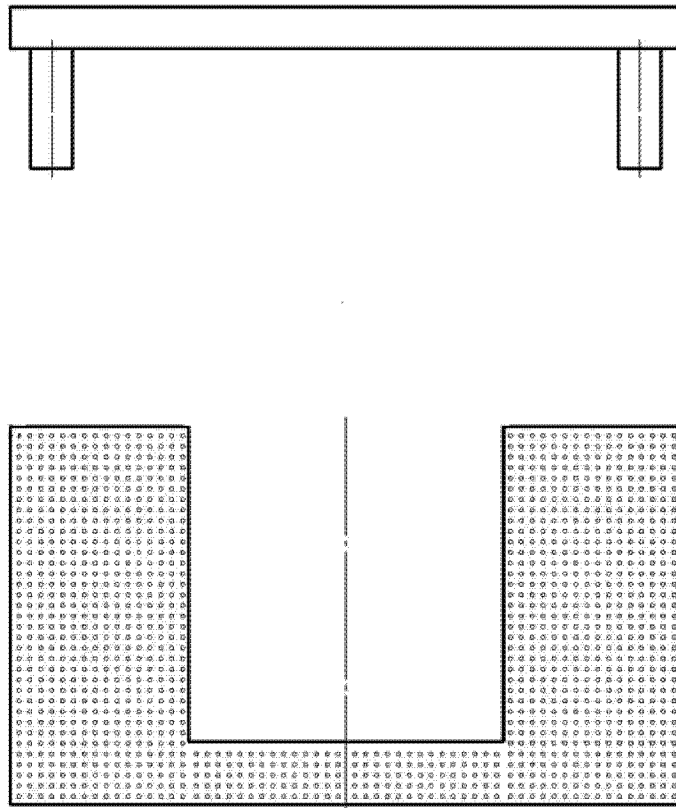


图 28

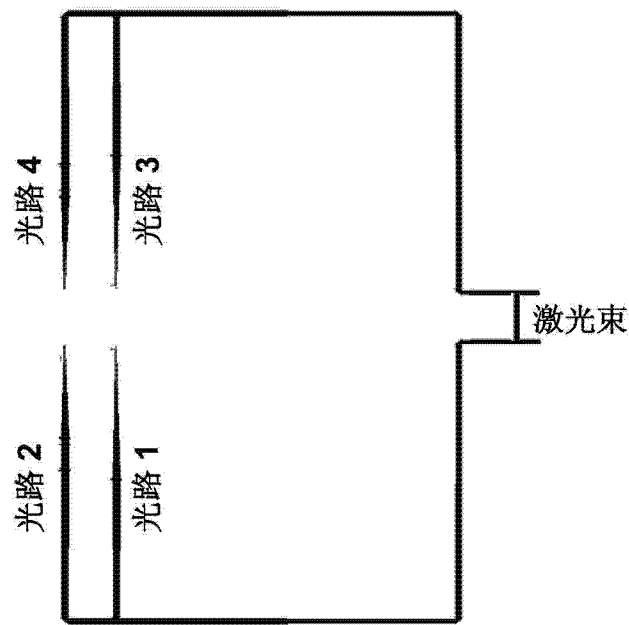


图 29