



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102507064 B

(45) 授权公告日 2013. 12. 11

(21) 申请号 201110381076. X

(22) 申请日 2011. 11. 25

(73) 专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路  
301 号

(72) 发明人 冯爱新 曹宇鹏 卢轶 张敏  
聂贵锋 周鹏程 李彬

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限  
公司 32200

代理人 楼高潮

(51) Int. Cl.

G01L 5/00 (2006. 01)

审查员 管士涛

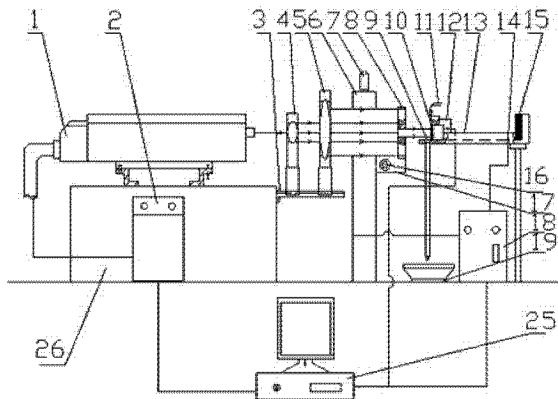
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种激光冲击波压力分布的检测装置

(57) 摘要

本发明涉及激光加工领域,特指一种激光冲击波压力分布的检测装置,主要适用于特定参数下的激光冲击波压力分布,优化激光冲击强化工艺。本发明由工控机控制激光器电源,使激光器按预定参数产生脉冲激光,激光束通过水膜照射在涂有吸收层的试件表面上,吸收层材料气化、电离产生冲击波,冲击波压力作用后试件开始运动,测速系统测量出起始速度,并将数据采集到工控机,通过程序处理显示出冲击波压力。本发明利用动量定理。测量原理以及使用的测量装置简单,在激光器能量稳定的前提下,测量过程稳定、可重复性高,易于实现。



1. 一种激光冲击波压力分布的检测装置,包括位于激光器工作台之上的激光器、激光器电源和工控机,其特征在于:所述装置还设有激光束放大装置、分光工作装置、水膜厚度调节系统和测速系统;所述激光束放大装置由燕尾滑轨、大透镜和小透镜组成,燕尾滑轨固定在激光器安装工作台的靠近激光器出光口的一端,小透镜安装在燕尾滑轨上靠近激光器的一端并能在燕尾滑轨内移动,大透镜安装在燕尾滑轨上远离激光器的一端并能在燕尾滑轨内移动,通过调节小透镜和大透镜间的距离,进而调节光束的大小;所述测速系统由试件、测速装置、电磁铁、电磁铁限位开关和工作台组成,试件放置在工作台的凹槽中,涂有吸收层的一端正对分光工作装置中的分光人字齿轮,测速装置固定在工作台上,位于试件未涂约束层的一端,用于测量冲击波作用后试件的速度,电磁铁固定在工作台的远离激光器的一端,电磁铁限位开关安装在工作台的凹槽中,位于试件和电磁铁之间且紧靠电磁铁,冲击波作用后试件获得一定的速度在工作台的凹槽中运动,触动电磁铁限位开关时,电磁铁通电用于吸附试件,防止试件撞击后反弹;所述分光工作装置由分光系统、2个人字齿轮、伺服电机、水平方向导轨、竖直方向导轨、齿轮箱和电器柜组成,分光系统由分光人字齿轮和2个人字齿轮组成,分光人字齿轮位于2个人字齿轮中间并相互啮合固定,分光齿轮中间设有扇形通孔,在扇形通孔上设有调节通孔透光位置的滑块,分光系统安装在齿轮箱中,分光系统的左侧人字齿轮通过齿轮箱内的联轴器和齿轮由第一伺服电机驱动,第一伺服电机和齿轮箱固定在水平方向导轨上并能沿水平方向导轨移动,水平方向导轨安装在竖直方向导轨上并能沿竖直方向导轨移动,右侧人字齿轮则通过齿轮轴和轴承固定在齿轮箱上,通过伺服电机精确的旋转角度,可将扇形通孔沿分光人字齿轮圆心旋转,因此可以精确的分光;电器柜通过控制水平方向导轨上的第二伺服电机带动齿轮箱和第一伺服电机在水平方向导轨内移动,通过控制竖直方向导轨上的第三伺服电机带动水平方向导轨在竖直方向导轨内移动;所述水膜厚度调节系统由排水龙头、排水孔与水管和水槽组成,排水龙头安装在工作台的靠近分光工作装置的一端,排水孔与水管固定在工作台上,位于排水龙头下方,用于排放约束层的水,水槽位于排水孔与水管的正下方,用于储存排水孔与水管排放的水,水膜厚度由排水龙头控制,水从排水龙头流出在试件涂有吸收层的端面上形成水膜,而后经排水孔与水管进入水槽。

2. 如权利要求1所述的一种激光冲击波压力分布的检测装置,其特征在于:所述测速装置为速度传感器。

3. 如权利要求1所述的一种激光冲击波压力分布的检测装置,其特征在于:所述试件为铁、钴或镍的合金。

4. 如权利要求1所述的一种激光冲击波压力分布的检测装置,其特征在于:所述工控机用于控制激光器电源、测速系统中的测速装置及电气柜。

## 一种激光冲击波压力分布的检测装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及激光加工领域,特指一种激光冲击波压力分布的检测装置,主要适用于特定参数下的激光冲击波压力分布,优化激光冲击强化工艺。

[0002] 发明背景

[0003] 随着绿色能源、航空航天、海洋工程等技术的发展,激光冲击强化得到了广泛的研究和应用。因为激光脉宽很窄,作用时间短(飞秒级、皮秒级),其产生的冲击波有效作用时间也很短,因而在冲击强化中采用约束层技术。用短脉冲高峰值的激光照射金属表面吸收层,吸收层吸收激光能量后发生瞬时的气化蒸发、电离,产生高温高压的等离子气体。由于受到约束层的限制,等离子体会产生高压冲击波作用于基材表面,使之瞬时屈服,并产生应变硬化。

[0004] 美国通用公司在2007年申报了专利:Laser Shock peening System With Time-of-flight Monitoring :Patent Number:US20070119824A1(飞行时间监控的激光冲击强化系统),以及2009年,江苏大学申报的专利:基于激光冲击波波形特征的激光冲击强化在线检测方法和装置。上述两种方法依赖环境,当环境湿度和温度发生变化时,会影响波的传播,进而影响测量结果。

[0005] 与本发明最接近的是水下激光冲击成形中有关参数的测定方法和装置。激光冲击成形水膜厚度对冲击波参数影响的测定装置,包括激光发生器、激光发生器控制系统、水膜厚度调节系统、压力检测系统、约束层及吸收层材料。由控制系统控制激光发生器按预定参数产生激光脉冲,激光束通过约束层照射到涂布在传感器保护膜上的吸收层上,吸收层材料汽化、电离产生冲击波,经保护膜传递到传感器表面,传感器在压力作用下发生变形产生电信号,检测装置检测到这一信号经放大、量值转换后在示波器上显示出冲击波的压力曲线,上述方法,激光加载后吸收层不能全部气化脱落,若能量过大还会损伤传感器等原因,对测试结果的可信度产生了影响。

[0006] 激光光斑内能量分布不均匀,对激光冲击强化有着显著的影响,但目前还没有关于激光辐射光斑内冲击波压力分布检测相关的研究报告及发明专利。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于检测冲击波压力的分布,分别以水、水-透明薄膜以及玻璃-水为约束层,提供一种对加工环境适应性强、稳定可靠、成本较低的检测冲击波压力分布的方法和装置。

[0008] 一种激光冲击波压力分布的检测装置,包括位于激光器工作台之上的激光器、激光器电源和工控机,其特征在于:所述装置还设有激光束放大装置、分光工作装置、水膜厚度调节系统和测速系统;激光束放大装置用于将激光束放大,分光装置用于将放大的激光束分块,测速系统用于检测冲击波压力,工控机用于控制激光器电源、工作台控制系统和测速系统。

[0009] 所述激光束放大装置由燕尾滑轨、大透镜和小透镜组成,燕尾滑轨固定在激光器

安装工作台的靠近激光器出光口的一端,小透镜安装在燕尾滑轨上靠近激光器的一端并能在燕尾滑轨内移动,大透镜安装在燕尾滑轨上远离激光器的一端并能在燕尾滑轨内移动,通过调节小透镜和大透镜间的距离,进而调节光束的大小。

[0010] 所述测速系统由试件、测速装置、电磁铁、电磁铁限位开关和工作台组成,该系统用于测量冲击波作用后试件的速度,由于激光的脉宽已知,试件的质量与速度可测出,由动量定理:试件的质量乘上试件的初始速度再除以3倍的激光脉宽,便可计算得出冲击波压力,试件放置在工作台的凹槽中,涂有吸收层的一端正对分光工作装置中的分光人字齿轮,测速装置固定在工作台上,位于试件未涂约束层的一端,用于测量冲击波作用后试件的速度,电磁铁固定在工作台的远离激光器的一端,电磁铁限位开关安装在工作台的凹槽中,位于试件和电磁铁之间且紧靠电磁铁,冲击波作用后试件获得一定的速度在工作台的凹槽中运动,触动电磁铁限位开关时,电磁铁通电用于吸附试件,防止试件撞击后反弹。

[0011] 所述分光工作装置由分光系统、2个人字齿轮、伺服电机、水平方向导轨、竖直方向导轨、齿轮箱和电器柜组成,分光系统由分光人字齿轮和2个人字齿轮组成,分光人字齿轮位于2个人字齿轮中间并相互啮合固定,分光齿轮中间设有扇形通孔,在扇形通孔上设有调节通孔透光位置的滑块,分光系统安装在齿轮箱中,分光系统的左侧人字齿轮通过齿轮箱内的联轴器和齿轮由第一伺服电机驱动,第一伺服电机和齿轮箱固定在水平方向导轨上并能沿水平方向导轨移动,水平方向导轨安装在竖直方向导轨上并能沿竖直方向导轨移动,右侧人字齿轮则通过齿轮轴和轴承固定在齿轮箱上,通过伺服电机精确的旋转角度,可将扇形通孔沿分光人字齿轮圆心旋转,因此可以精确的分光;电器柜通过控制水平方向导轨上的第二伺服电机带动齿轮箱和第一伺服电机在水平方向导轨内移动,通过控制竖直方向导轨上的第三伺服电机带动水平方向导轨在竖直方向导轨内移动,实现工作台的二维平面运动。

[0012] 所述水膜厚度调节系统由排水龙头、排水孔与水管和水槽组成,排水龙头安装在工作台的靠近分光工作装置的一端,排水孔与水管固定在工作台上,位于排水龙头下方,用于排放约束层的水,水槽位于排水孔与水管的正下方,用于储存排水孔与水管排放的水,水膜厚度由排水龙头控制,水从排水龙头流出在试件涂有吸收层的端面上形成水膜,而后经排水孔与水管进入水槽。

[0013] 所述测速装置为速度传感器。

[0014] 所述试样为铁、钴或镍的合金。

[0015] 所述工控机用于控制激光器电源、测速系统中的测速装置及电气柜。

[0016] 由工控机控制激光器电源,使激光器按预定参数产生脉冲激光,激光束通过水膜照射在涂有吸收层的试件表面上,吸收层材料气化、电离产生冲击波,冲击波压力作用后试件开始运动,测速系统测量出起始速度,并将数据采集到工控机,通过程序处理显示出冲击波压力。

[0017] 本发明的实施过程如下:

[0018] 1、在光滑的圆柱形试件的端面涂布吸收层材料;

[0019] 2、将试件安装在工作台上;

[0020] 3、打开激光电源、工控机、测速装置、电器柜,在工控机操作系统平台打

[0021] 开处理软件,并检测工控机与激光电源、工控机与测速装置和工控机与电器柜的

通信状况,确定通信状况良好;

- [0022] 4、由工控机控制激光器电源,使激光器按要求的能量和一定范围内的光斑
- [0023] 直径,发出激光脉冲,激光束通过透镜将激光束直径放大;
- [0024] 5、直径放大的激光束通过分光装置,其中一小束激光从分光装置射出;
- [0025] 6、激光束约束层照射在吸收层上,吸收层材料气化、电离产生冲击波,冲
- [0026] 击波压力作用后试件开始运动,测速系统测量出起始速度,并将数据采集到工控机;
- [0027] 7、信息处理软件根据采集到的数据进行处理并显示出冲击波压力;
- [0028] 8、调节分光装置分光人字轮通孔透光位置的滑块,使通光孔换一个位置,
- [0029] 并重复步骤4-7得出第2个位置的冲击波压力,再次重复,直至将扇形孔位置的激光冲击波压力测出。
- [0030] 9、分光人字齿轮转一个角度,重复步骤4-8直至将激光束所有位置的冲击
- [0031] 波压力测出,即可得出激光冲击波压力分布。
- [0032] 本发明的优点:
- [0033] 1、在以液体作为约束层的激光冲击检测中,水膜的厚度不易控制,本装置采用标准系列、固定液体出口厚度的龙头罩,进而精确控制水膜厚度,对冲击波参数的影响,进而优化工艺;
- [0034] 2、采用透镜将激光束放大,并将放大后的激光分块,进而可以精确的确定激光冲击波压力的分布,对于冲击工艺的优化具有重要意义;
- [0035] 3、利用动量定理。测量原理以及使用的测量装置简单,在激光器能量稳定的前提下,测量过程稳定、可重复性高,易于实现。

#### 附图说明

- [0036] 本发明装置结构附图说明如下:
- [0037] 图1是激光冲击波压力分布检测装置示意图;
- [0038] 图2是水膜厚度调节系统结构示意图;
- [0039] 图3是激光束分光装置结构示意图;
- [0040] 图4是分光人字齿轮结构示意图;
- [0041] 1、激光器;2、激光器电源;3、燕尾滑轨;4、小透镜;5、大透镜;6、竖直方向导轨;7、第三伺服电机;8、分光人字齿轮;9、排水孔与水管;10、试件;11、排水龙头;12、测速装置;13、工作台;14、电磁铁限位开关;15、电磁铁;16、第二伺服电机;17、水平方向导轨;18、电器柜;19、水槽;20、人字齿轮;21、人字齿轮;22、第一伺服电机;23、联轴器;24、滑块;25、工控机;26、激光器安装工作台;27、轴承;28、齿轮箱;29、齿轮轴。

#### 具体实施方式

- [0042] 以下实施例用于说明本发明,但不是用来限制本发明。
- [0043] 一种激光冲击波压力分布的检测装置包括激光器1、激光器电源2、工控机25,其特征在于:所述装置还设有激光束放大装置、分光工作装置、水膜厚度调节系统和测速系统,激光束放大装置用于将激光束放大,分光装置用于将放大的激光束分块,测速系统用于

检测激光冲击压力。

[0044] 激光束放大装置由燕尾滑轨 3、大透镜 5 和小透镜 4 组成；燕尾滑轨 3 固定在激光器安装工作台 26 的靠近激光器 1 出光口的一端；小透镜 4 安装燕尾滑轨 3 上并靠近激光器 1 部分，并能在燕尾滑轨 3 内移动；大透镜 5 安装燕尾滑轨 3 上远离激光器 1 部分，并能在燕尾滑轨 3 内移动；通过调节小透镜 4 和大透镜 5 间的距离，调节光束至适合的大小。

[0045] 分光工作装置由分光人字齿轮 8、人字齿轮 20、人字齿轮 21、第一伺服电机 22、水平方向导轨 17、竖直方向导轨 6、齿轮箱 28 和电器柜 18 组成，分光人字齿轮 8 由在同一条直线上的人字齿轮 20、人字齿轮 21 啮合固定，位于分光装置的中间，其两侧为人字齿轮 20 和人字齿轮 21，左侧人字齿轮 21 通过齿轮箱 28 内的联轴器 23 和齿轮轴 29 由第一伺服电机 22 驱动，右侧人字齿轮则通过齿轮轴 29 和轴承 27 固定在齿轮箱 28 上，第一伺服电机 22 和齿轮箱 28 安装在水平方向导轨 17 上，分光人字齿轮 8 中间有一块扇形通孔，在该分光人字齿轮 8 的扇形通孔处有调节通孔透光位置的滑块 24，第一伺服电机 22 和齿轮箱 28 安装在水平方向导轨 17 上并能沿水平方向导轨 17 移动，水平方向导轨 17 安装在竖直方向导轨 6 上并能沿竖直方向导轨 6 移动，电器柜 18 通过控制第二伺服电机 16 带动第一伺服电机 22 和齿轮箱 28 在水平方向导轨 17 内移动，通过控制第三伺服电机 7 带动水平方向导轨 17 在竖直方向导轨 6 内移动，实现工作台的二维平面运动。

[0046] 分光工作装置是本装置的关键之一，直径放大的激光束辐射在分光装置中的分光人字齿轮 8 上，由于分光人字齿轮只有一个扇形孔且在孔上还安装了用于调节孔大小的滑块 24，因此只有激光束中的一小束激光从分光装置射出，每输出一个激光脉冲，第一伺服电机 22 通过联轴器 23 带动齿轮轴 29 转动人字齿轮 21，由于人字齿轮 21 与分光人字齿轮 8 啮合固定，从而带动分光人字齿轮 8 旋转得到不同的扇形通孔的位置，还可调节分光人字齿轮 8 通孔透光位置的滑块 24，改变扇形通孔的透光位置，也可得到不同的冲击位置，并得到每一个新位置的冲击波压力，直至将扇形孔位置的激光冲击波压力测出，当该位置的激光冲击波压力测出后，工控机 25 通过安装在工控机和电器柜 18 里的运动控制卡控制第一伺服电机 22 转一个角度，使分光人字齿轮 8 的扇形孔随之转一个角度到达新的位置，重复先前办法，直至将激光束所有位置的冲击波压力测出，即可得出激光冲击波压力分布。

[0047] 水膜厚度调节系统由排水龙头 11、排水孔与水管 9 和水槽 19 组成，排水龙头 11 安装在工作台 13 的靠近激光器 1 的一端，排水孔与水管 9 固定在工作台 13 上，位于排水龙头 11 下方，用于排放约束层的水，水槽 19 位于排水孔与水管 9 的正下方，用于储存排水孔与水管 9 排放的水，水膜厚度由排水龙头 11 控制，水从排水龙头 11 流出在试件 10 涂有吸收层的端面上形成水膜，而后由排水孔与水管 9 进入水槽 19。

[0048] 测速系统由试件 10、测速装置 12、电磁铁 15、电磁铁限位开关 14 和工作台 13 组成，该系统用于测量冲击波作用后试件的速度，由于激光的脉宽已知，试件的质量与速度可测出，由动量定理：试件 10 的质量乘上试件的初始速度再除以 3 倍的激光脉宽，便可计算出冲击波压力，试件 10 放置在工作台 13 的凹槽中，涂有吸收层的一端正对激光器 1，测速装置 12 固定在工作台 13 上，位于试件 10 未涂约束层的一端，用于测量冲击波作用后试件的速度，电磁铁 15 固定在工作台 13 的远离激光器 1 的一端，电磁铁限位开关 14 安装在工作台 13 的凹槽中，位于试件 10 和电磁铁 15 之间并紧靠电磁铁 15，冲击波作用后试件 10 获得一定的速度在工作台 13 的凹槽中运动，触动电磁铁限位开关 14 时，电磁铁 15 通电，有一定

的吸附力,用于吸附试件 10,防止试件 10 撞击后反弹。

[0049] 工控机 25 控制激光器电源 2,使激光器 1 按预定参数产生脉冲激光,激光束经过放大、分光,通过水膜照射在涂有吸收层的试件 10 端面上,吸收层材料气化、电离产生冲击波,冲击波压力作用后试件 10 开始运动,测速装置 12 测量出起始速度,并将数据采集到工控机 25,通过程序处理显示出冲击波压力。

[0050] 具体操作过程:

[0051] 打开激光电源 2、工控机 25、测速装置 12,并检测工控机 25 与激光电源 2、工控机 25 与测速装置 12 通信状况,确定通信状况良好,将端面涂布吸收层的光滑试件 10 安装在工作台 13 上,由工控机 25 控制激光器电源 2,使激光器 1 按要求的能量和一定范围内的光斑直径,发出脉冲激光束,激光束通过大透镜 5、小透镜 4 将激光束放大,直径放大的激光束通过分光人字齿轮 8,其中一小束激光从分光人字齿 8 轮射出,通过水膜照射在吸收层上,吸收层材料气化、电离产生冲击波,冲击波作用后试件 10 开始运动,测速装置 12 测量出起始速度,并将数据采集到工控机 25,通过程序处理显示出冲击波压力,调节分光人字轮 8 通孔透光位置的滑块 24,将通光孔换一个位置,并得到每一个新位置的冲击波压力,直至将扇形孔位置的激光冲击波压力测出,当该位置的激光冲击波压力测出后,工控机 25 通过安装在工控机和电器柜 18 里的运动控制卡控制伺服电机 22 转一个角度,使分光人字齿轮 8 的扇形孔随之转一个角度到达新的位置,重复先前办法,直至将激光束所有位置的冲击波压力测出,即可得出激光冲击波压力分布。

## 实施例

[0052] 采用本发明的原理及装置对 7075-T651 铝合金进行单点,分别测量激光光斑中心、光斑半径中部、光斑边缘的能量作用时试样的初始速度,计算出激光冲击波在各个位置的冲击波压力,如表 1 所示;具体实验条件为:试样的总质量(试样和铝箔)为 40 克, Gaia-R 系列高能量脉冲灯泵浦 YAG 激光器,激光脉冲能量分别为 10J、11 J、12 J,冲击光斑直径 3mm,激光波长 1064nm,脉宽 10ns,根据激光能量与功率密度的关系计算得对应激光功率密度分别为  $14 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$ 、 $16 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$ 、 $17 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$ ,激光冲击时采用 0.1mm 的美国 3M 公司专用铝箔(其中一面为粘贴剂,与试样表面粘贴)作为激光能量吸收层,水作为约束层。

[0053] 表 1

[0054]

测点位置 功率密度	光斑中心		光斑半径中部		光斑边缘	
	速度 (mm/s)	压强 (GPa)	速度 (mm/s)	压强 (GPa)	速度 (mm/s)	压强 (GPa)
$14 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$	18.6	3.48	16.8	3.14	10.5	1.96
$16 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$	19.1	3.57	17.6	3.29	11.6	2.17
$17 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$	19.9	3.72	1.77	3.31	12	2.24

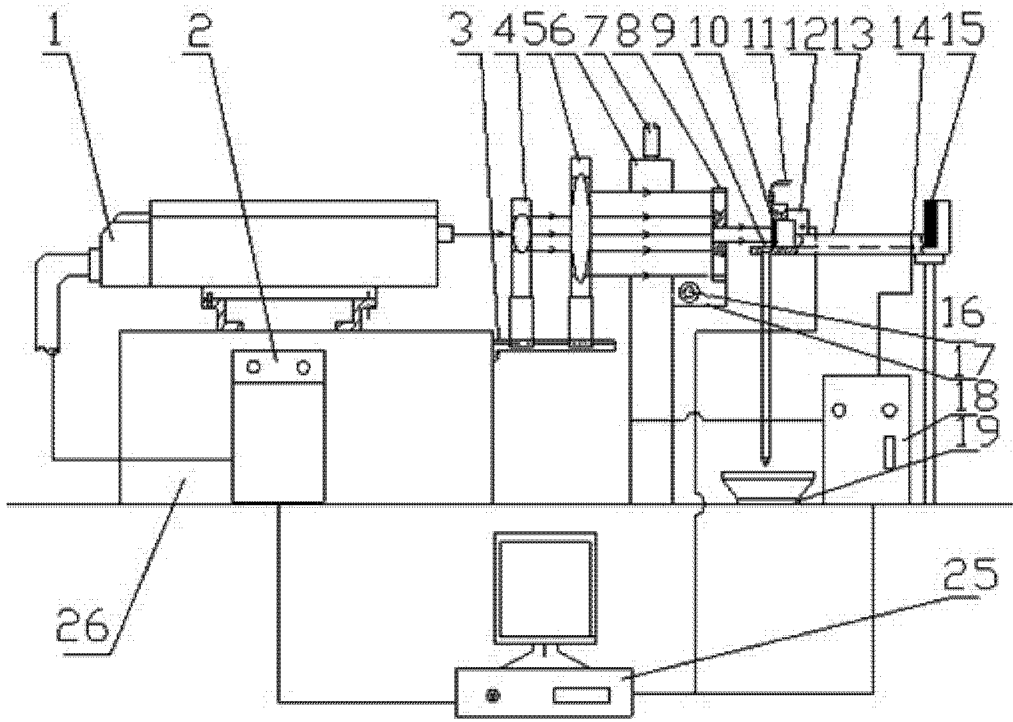


图 1

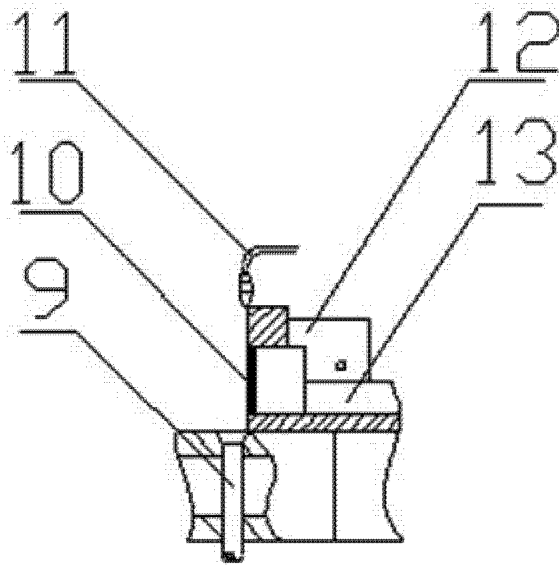


图 2



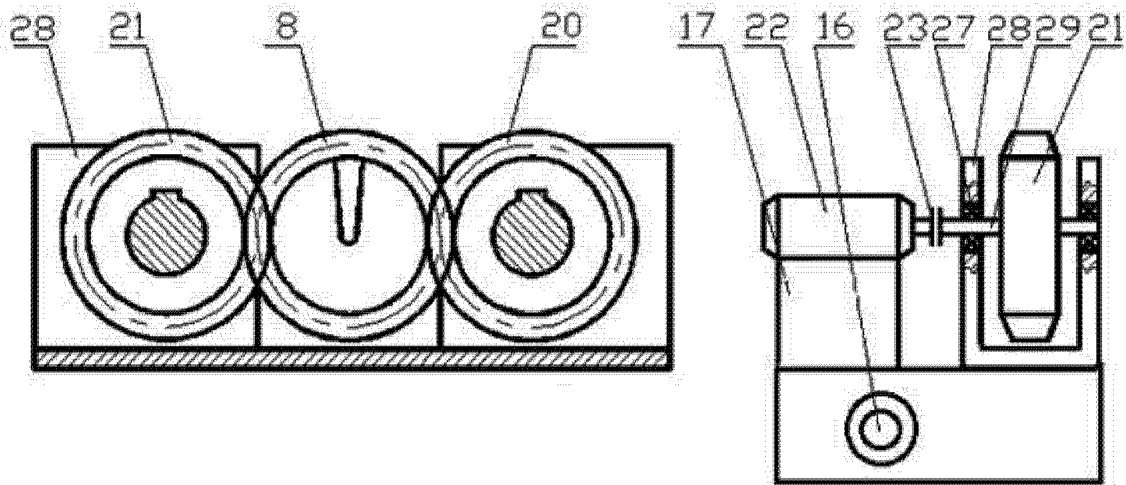


图 3

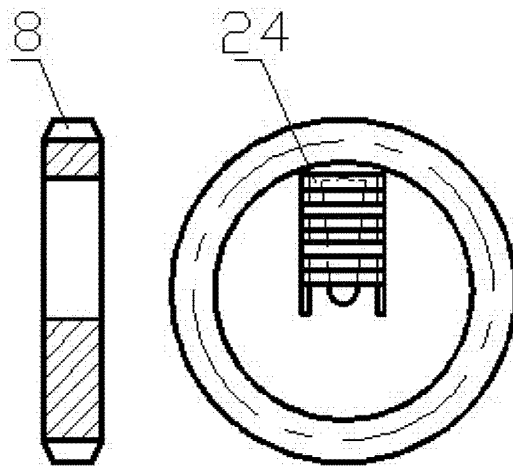


图 4