



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101249588 B

(45) 授权公告日 2011. 01. 05

(21) 申请号 200810019757. X

审查员 黄蓓

(22) 申请日 2008. 03. 14

(73) 专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市学府路 301 号江苏大学内

(72) 发明人 姜银方 张永康 姚红兵 叶云霞 任旭东 石朝阳

(74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207 代理人 汪旭东

(51) Int. Cl.

B23K 26/18 (2006. 01)

B23K 26/04 (2006. 01)

B23K 26/08 (2006. 01)

B21D 11/20 (2006. 01)

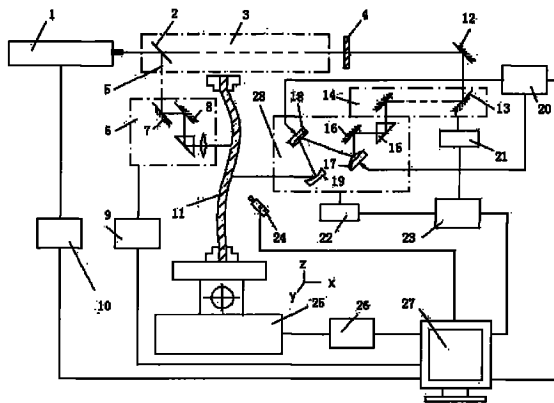
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种基于激光冲击波效应的板材双面精密成形方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及激光加工制造领域,特指一种激光冲击精密成形方法及装置,装置包括激光器,外光路系统,激光冲击头系统 A、带激光冲击头系统 B 的飞行光学加工系统,试样体系,检测反馈系统,多轴联动机床及工装夹具系统,中央控制处理器、控制系统。激光器发出的激光束通过外光路系统分光分别传输到工件正反表面,对双面带能量吸收层和约束层的工件正反表面进行激光诱导的冲击波作用;根据板料形状和成形规律的要求,两面的激光冲击头,可进行同时、不同时,对冲、错位冲,等同、不同能量冲击等,使板料产生一定的塑性变形和应力场分布而成形,并使板料表面形成一定的残余压应力。本发明可实现定量精确成形,重复性好、成形效率高、易实现自动化生产。



1. 一种基于激光冲击波效应的板材双面精密成形方法,其特征在于采用大功率脉冲激光器,由激光器(1)发出的激光束通过外光路系统分两路分别传输到安装在夹具中的板材正反表面,通过改变激光脉宽、能量、光束直径来调整冲击压力的大小,对双面带能量吸收层和约束层的板材正反表面进行照射,产生激光诱导的冲击波作用使板材成形。

2. 根据权利要求1所述的一种基于激光冲击波效应的板材双面精密成形方法,其特征在于由激光器发出的脉冲宽度为4ns~10ns的激光束,经外光路系统分别传到激光冲击头系统A、B(6、28),然后作用于试样体系(11),检测反馈系统(24)检测试样体系(11)的板材成形信息,反馈给中央控制处理器(27),由控制系统(9、10、20、23、26)执行,控制多轴联动机床及工装夹具系统(25)和激光冲击头系统A、B(6、28)。

3. 根据权利要求1所述的一种基于激光冲击波效应的板材双面精密成形方法,其特征在于所述的激光脉宽4ns~10ns、能量0~100J、光束直径0.2~20mm。

4. 根据权利要求2所述的一种基于激光冲击波效应的板材双面精密成形方法,其特征在于对双面冲击时激光冲击头系统A、B(6、28)采取同时冲、不同时冲、对冲、错位冲、相同或不同能量的冲击方式。

5. 为实施权利要求1所述的一种基于激光冲击波效应的板材双面精密成形方法的装置,其包括激光器(1),外光路系统(3、5),激光冲击头系统A(6)、带激光冲击头系统B(28)的飞行光学加工系统,试样体系(11),检测反馈系统(24),多轴联动机床及工装夹具系统(25),中央控制处理器(27)、控制系统(9、10、20、23、26),其特征在于激光器(1)经外光路系统(3、5),分别连接到激光冲击头系统A、B(6、28),再将激光作用于试样体系(11),检测反馈系统(24)经中央控制处理器(27)与控制系统(9、10、20、23、26)相连,试样体系(11)位于多轴联动机床及工装夹具系统(25)上。

6. 根据权利要求5所述的装置,其特征在于试样体系(11)由成形板材和板材正反表面贴设柔性贴膜构成一体式的透明约束层和能量吸收层组成,透明约束层或采用流水。

7. 根据权利要求5所述的装置,其特征在于设有所述飞行光学加工系统,该飞行光学加工系统包括第一全反射镜(12),第二全反射镜(13),转换为Y轴向的导光系统(14),激光冲击头系统B(28),液压系统(20),步进电机A(21),步进电机B(22),所述控制系统中的运动控制系统(23);激光束经由第一全反射镜(12)到第二全反射镜(13)进入导光系统(14),经由导光系统(14)转换为Y轴向,在Y轴向经第三全反射镜(15)传给激光冲击头系统B(28);激光冲击头系统B(28)由Y轴向所述第三全反射镜(15)、第四全反射镜(16)、自适应压力凸面变形镜(17)、自适应压力凹面变形镜(18)、聚焦镜(19)组成,各组成依次相联;液压系统(20)控制自适应压力凸面变形镜(17)、自适应压力凹面变形镜(18),步进电机A、B(21、22)分别与导光系统(14)和激光冲击头系统B(28)相联,运动控制系统(23)与步进电机A(21)和步进电机B(22)相联。

8. 根据权利要求5所述的装置,其特征在于激光冲击头系统A、B(6、28)可以互换,且激光冲击头系统A(6)和B(28)分别作用板材的正反面,或单独采用激光冲击头系统A(6)或B(28)同时作用板材的正反面,激光冲击头系统A(6)和B(28)或由两台激光器分别驱动。

## 一种基于激光冲击波效应的板材双面精密成形方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及机械制造领域,特指一种激光冲击精密成形方法及装置,其适用于大型金属板料的高效率、复杂精密成形,也适用于金属板料的细微结构成形,特别适合于常规方法难以成形或根本无法成形的材料成形,如钛合金、镁合金材料等。

### 背景技术

[0002] 金属板料塑性成形作为板材成形加工主要方法,已在整个国民经济中占有十分重要的地位,广泛应用于航空航天、船舶工业、汽车覆盖件、电子、仪表等生产行业。目前,国内外用于金属薄板塑性成形方法颇多,包括冲压、爆炸成形、喷丸成形、激光热应力成形和激光冲击成形等。传统的模具冲压成形是将金属板材置于模具上,在压力机作用下,在板材内部产生使之变形的内力,当内力的作用达到一定程度时,就获得一定的形状的零件,虽然操作简单,生产效率高,但是生产准备时间长,加工柔性差,模具费用大,制造成本高等不足,且模具冷冲压成形仅适用于低碳钢薄板(如 10F, 20, 1Cr18Ni9Ti 等)、铝合金(如 LY12M, LY12C 等)以及铜等塑性好的材料,但也受成形极限限制。

[0003] 经检索有美国加州大学 HACKEL LLOYD 和 HARRIS FRITZ 申请的专利“CONTOUR FORMING OF METALS BY LASER PEENING”专利号:W00105549,该专利提出用激光锤击金属板材表面产生残余应力,再利用残余应力释放产生微曲度进行的微变形成形,通过各点每次锤击的微曲度的累积或在同一点实施多次冲击,就可取得更大尺寸的弯曲。其缺点如下:(1) 由于是利用残余压应力发生的应变而产生弯曲,所以变形量小;(2) 通过逐点锤击产生的应力分布来控制大面积的弯曲,这在实际应用中很困难;(3) 成形材料和工艺单一,只是对金属材料锤击的弯曲成形和杆件校形。

[0004] 国内江苏大学张永康等人申请的发明专利“一种激光冲击精密成形方法及装置”,专利授权号:01134063.0,该专利采用高性能激光冲击精密成形技术,它直接利用强脉冲激光束冲击工件表面的柔性贴膜,使其表层气化电离并形成冲击波,由于产生的冲击波压力峰值超过材料动态屈服强度,这使成形材料发生明显塑性变形。此发明专利为金属薄板成形提供了一个很好的思路。其缺点如下:(1) 其在激光冲击成形过程中,板料每次塑性变形量小,对于高强度合金钢和较厚板材,变形量更小,主要适用于薄板的成形。(2) 由于板料每次塑性变形量小,对于大面积的成形效率较低;大面积的成形方面,仅仅靠每次产生塑性变形完成成形过程,会产生变形间的不均匀性,因此表面光滑度受到影响。(3) 由于冲击成形过程,不可避免地会发生激光能量等参数的波动等因素的影响,产生成形量如过量等问题无法进行修正。(4) 因为(3)的原因,也很难完成复杂工件的冲击成形,要进行精密成形也非常困难。(5) 其装置较难完成大型复杂精密工件成形的要求。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种能克服上述缺点,可实现使各种常用金属成形材料,特别是常规方法难以成形的激光冲击双面精密成形方法及装置,实现三维立体复杂成形,提

高成形效率,并使板料表面形成一定的残余压应力。

[0006] 本发明是按下述技术方案实现的:

[0007] 采用大功率脉冲激光器,由激光器发出的激光束通过外光路系统分两路分别传输到安装在夹具中的工件正反表面,通过改变激光脉宽、能量、光束直径来调整冲击压力的大小,对双面带能量吸收层和约束层的工件正反表面进行照射,产生激光诱导的冲击波作用使工件成形。

[0008] 其中由激光器发出的脉冲宽度为 4ns ~ 10ns 的激光束,经外光路系统分别传到激光冲击头系统,然后作用于试样体系,检测反馈系统检测试样体系的试样成形信息,反馈给中央控制处理器,由控制系统执行,控制多轴联动机床及工装夹具系统和激光冲击头系统等,并通过改变激光脉宽 (4ns ~ 10ns)、能量 (0 ~ 100J)、光束直径 (0.2 ~ 20mm) 等激光参数来调整冲击压力的大小,对双面带能量吸收层和约束层的工件正反表面进行激光诱导的冲击波作用,使工件产生快速的塑性变形。

[0009] 根据板料形状和成形规律的要求,两面的激光冲击头(系统)进行同时、不同时,对冲、错位冲,相同、不同能量冲击等,使板料产生一定的塑性变形和应力场分布而获得精确的工件轮廓和提高成形效率,并使板料表面形成一定的残余压应力,改善材料的表面性能。也适用于金属板料的细微结构成形,特别是由于改变成形应力状态而适合于常规方法难以成形或根本无法成形的材料成形。

[0010] 且设置带位移测量装置的检测反馈系统,在冲击过程中位移测量装置把位置信号反馈中央控制处理器,由中央控制处理器发出指令,调节激光冲击头的焦距;检测反馈系统通过测量冲击点的变形量,并把信息反馈给中央控制处理器,并与计算机里的数字化工件成形形状数据进行对比,给出反馈指令给工艺过程中的各参数的控制系统,调节冲击工艺参数,实现板料精确的局部成形或整体成形。

[0011] 且根据优化的冲击参数,计算机控制系统自动选择激光脉冲参数、光束变换装置及光学参数,控制各控制执行系统,夹载试样体系的工作台和激光冲击头系统 A、激光冲击头系统 B 按数控指令向待冲击位置作三维运动,完成双面冲击,实现金属板料的精密成形。

[0012] 实施上述方法的装置包括激光器,外光路系统,激光冲击头系统 A、带激光冲击头系统 B 的飞行光学加工系统,试样体系,检测反馈系统,多轴联动机床及工装夹具系统,中央控制处理器、控制系统,其特征在于激光器)经外光路系统,分别连接到激光冲击头系统 A, B,再将激光作用于试样体系,检测反馈系统经中央控制处理器与控制系统相连,试样体系位于多轴联动机床及工装夹具系统上。

[0013] 试样体系由成形工件和工件正反表面贴设柔性贴膜构成一体式的透明约束层和能量吸收层组成,透明约束层也可采用流水。

[0014] 激光冲击头系统 A、B 具有灵活移动和自动调焦系统,适用于大型金属板料的复杂精密成形。激光冲击头系统 A 内设有由聚焦镜、可旋转反射镜、三棱镜组成的聚焦镜组,可旋转反射镜由控制系统根据需要进行调整;

[0015] 飞行光学加工系统包括全反射镜,转换为 Y 轴向的导光系统,激光冲击头系统 B,液压系统,步进电机 A、B,运动控制系统。激光冲击头系统 B 是飞行光学加工系统的一部分,经由全反射镜转换为可沿着 Z 轴向运动的导光系统,导光系统把光束转换 Y 轴向,经由全反射镜传给激光冲击头系统,冲击头系统 B 相对导光系统可在 Y 向移动,而冲击头系统 B 和导

光系统一起相对全反射镜作 Z 轴向运动。由导光系统在 Y 轴向经由全反射镜,到全反射镜、自适应压力凸面变形镜、自适应压力凹面变形镜、聚焦镜,把激光束打到工件系统。液压系统控制自适应压力凸面变形镜、自适应压力凹面变形镜,步进电机 A、B 分别控制导光系统和冲击头系统 B 的运动。可实现 Y 轴和 Z 轴方向的较大范围的移动,对飞行光束聚焦特性进行自适应调控,使光束参数和聚焦特性控制在误差范围内变化不大,提高激光加工的质量和稳定性。激光冲击头系统 A、B 可以互换,且激光冲击头系统 A 和 B 分别作用双面的正反面,或单独采用激光冲击头系统 A 或 B 同时作用双面,激光冲击头系统 A 和 B 或由两台激光器分别驱动。

[0016] 本发明具有如下技术优势:

[0017] (1) 本发明兼有冲击塑性变形成形和应力场成形的双重特征,可根据板料形状和成形规律的要求,两面的激光冲击头(系统),可进行同时、不同时,对冲、错位冲,相同、不同能量冲击等,使板料产生一定的塑性变形和应力场分布而成形。

[0018] (2) 通过改变激光脉宽(4ns ~ 10ns)、能量(0J ~ 100J)、光束直径(0.2mm ~ 20mm)等激光参数来调整冲击压力(冲击波峰压达数 Gpa)的大小,对双面带能量吸收层和约束层的工件正反表面进行激光诱导的冲击波作用。

[0019] (3) 本发明能灵活的实现三维立体冲击,可实现小曲率大型板材成形,又可实现大曲率局部微细板材全塑性成形。可解决 01134063.0 专利由于冲击成形过程不可避免地会发生激光能量等参数的波动等因素的影响,而产生成形量如过量等无法进行修正,很难完成复杂工件的冲击成形和精密成形等问题。

[0020] (4) 本发明可解决 01134063.0 专利由于板料每次塑性变形量小,对于大面积的成形效率较低,以及在大面积的成形方面,仅仅靠每次产生塑性变形完成成形过程,会产生变形间的不均匀性,影响表面光滑度等问题。

[0021] (5) 激光单面冲击,因入射压缩波与反射波相遇产生拉伸波而引起层裂现象,采用激光双面冲击有利于改变应力波的性质,提高材料成形性,以适应难成形材料的成形。

[0022] (6) 生产准备时间短,加工柔性化,模具费用小,制造成本低。由于激光冲击波作为板料成形力源,在优化控制激光冲击成形工艺参数的条件下,可以无模具非接触式成形。

[0023] (7) 本发明除了可对薄板冲压成形外,还可对厚达 20mm 的金属厚板弯曲成形。此外还可实现难成形材料的成形,如高强度结钢、钛合金、镁合金、塑料及复合材料等多种材料冷冲压成形,甚至对脆性材料弯曲成形,实现脆塑的动态转变,这些特殊的用途是其它成形方法无法替代。

[0024] (8) 本发明可解决机械喷丸成形工件表面变粗糙、参数多而难以精确控制问题。可解决双面喷丸成形技术的速度和流量难匹配和控制,效果差的问题。而且本发明的激光冲击效果在冲击表面强化方面,其残余应力深度、疲劳寿命、耐高温性能等参数是机械喷丸的数倍。

[0025] (9) 本发明可解决激光热应力成形热过程中产生的有害拉应力,板材的表面仍保持压应力状态。

[0026] (10) 激光冲击头系统内设有飞行光学加工系统,具有灵活移动和自动调焦系统,适用于大型金属板料的复杂精密成形。可实现 Y 轴和 Z 轴方向的较大范围的移动,对飞行光束聚焦特性进行自适应调控,使光束参数和聚焦特性控制在误差范围内变化不大,提高

激光加工的质量和稳定性。本发明能进行大板的复杂成形,并可实现定量精确成形,重复性好、成形效率高、易实现自动化生产。

### 附图说明

[0027] 图 1 激光冲击波效应的板材双面精密成形方法及装置示意图

[0028] 图 2 工件体系与局部细微结果错位冲击成形示意图

[0029] 图 3 激光双面对冲击应力场成形示意图

[0030] 图 4 激光分层逐点冲击成形与正反精修成形示意图

[0031] (1) 激光发生器, (2) 分光透镜, (3) 导光与分光系统, (4) 挡光板, (5) 光学透镜组, (6) 激光冲击头系统 A, (7) 可调全反射镜, (8) 可调全反射镜, (9) 可调全反射镜控制器, (10) 激光器控制器, (11) 双面带能量吸收层和约束层工件, (12) 全反射镜, (13) 全反射镜, (14) 转换为 Y 轴向的导光系统, (15) Y 轴向全反射镜, (16) 全反射镜, (17) 自适应压力凸面变形镜, (18) 自适应压力凹面变形镜, (19) 聚焦镜, (20) 液压系统, (21) 步进电机 A, (22) 步进电机 B, (23) 运动控制系统, (24) 检测反馈系统, (25) 五轴联动机床及工作台和工夹具, (26) 机床控制系统, (27) 中央控制处理器, (28) 激光冲击头系统 B, (29) 水流装置, (30) 铝箔胶带, (31) 夹具, (32) 工件, (33) 微细结构, (34) 冲击第一层, (35) 冲击第 n 层。

### 具体实施方式

[0032] 下面结合图 1、图 2 详细说明本发明提出的具体装置的细节和工作情况。

[0033] 图 1 所示,所述的激光冲击双面精密成形装置包括激光器 (1), 外光路系统 (3、5), 激光冲击头系统 A、B (6、28), 试样体系 (11), 检测反馈系统 (24), 多轴联动机床及工装夹具系统 (25), 中央控制处理器 (27)、控制系统 (9、10、20、23、26), 其特征在于激光器 (1) 经外光路系统 (3、5), 分别连接到激光冲击头系统 A、B (6、28), 再将激光作用于试样体系 (11), 检测反馈系统 (24) 经中央控制处理器 (27) 与控制系统 (9、10、20、23、26) 相连, 试样体系 (11) 位于多轴联动机床及工装夹具系统 (25) 上。

[0034] 由激光器 (1) 发出激光脉宽为 4ns ~ 10ns 的激光, 分光透镜 (2) 把激光分为两路。一路经外光路系统 (3) 到全反射镜 (12), 全反射镜 (12) 到全反射镜 (13), (12) 与 (13) 之间在 Z 轴方向可作较大范围的移动, 以实现导光系统 (14) 和激光冲击头系统 B (28) 一起在 Z 轴方向可作较大范围的移动, 以满足激光冲击头系统 B (28) 完成 Z 轴方向的冲击调整的需要。激光经由全反射镜 (13) 等导光系统 (14) 转换为 Y 轴向, 再转向全反射镜 (15), 导光系统 (14) 通过反射镜 (15) 可实现导光系统 (14) 与激光冲击头系统 B (28) 之间的 Y 轴方向的较大范围的相对移动。Z 轴方向和 Y 轴方向的移动可由步进电机 A (21) 和 B (22) 通过运动控制系统 (23) 来实现。激光冲击头系统 B (28) 内设有反射镜 (15)、激光全反射镜 (16)、自适应压力凸面变形镜 (17)、自适应压力凹面变形镜 (18)、聚焦镜 (19), 外加液压系统 (20)、步进电机 B (22)、运动控制系统等。冲击过程中, 检测反馈系统 (24) 包括位移测量反馈装置和工件轮廓扫描系统等, 在冲击过程中位移测量装置把位置信号反馈中央控制处理器, 由中央控制处理器发出指令, 通过液压系统 (20) 控制凸面变形镜 (17) 和凹面变形镜 (18) 来调节激光冲击头的焦距; 工件轮廓扫描系统通过测量冲击点的变形量, 并把信息反

馈给中央控制处理器,并与计算机里的数字化工件成形形状数据进行对比,给出反馈指令给工艺过程中的各参数的某些控制系统,调节冲击工艺参数,实现板料精确的局部成形或整体成形。

[0035] 另一路经外光路系统(5)到激光冲击头系统(6),其内设有由聚焦镜、可旋转反射镜、三棱镜组成的聚焦镜组,可旋转反射镜(7)和(8)由控制系统(9)根据需要进行调整;激光冲击头系统A(6)和B(28)可以互换,或双面同时都采用激光冲击头系统A(6)或B(28);激光冲击头系统A(6)和B(28)也可由两台激光器分别驱动,以更方便地适应各自冲击能量的需要。

[0036] 图2为工件体系与局部细微复杂结构错位冲击成形。试样体系11由成形工件32和工件正反表面贴设柔性贴膜能量吸收层(如:铝箔胶带(30))和透明约束层(如:流水(水流装置29))组成,工件(11)安装在夹具(31)上。采用激光冲击波效应的板材双面精密冲击成形装置,通过改变能量(0~50J)、光束直径(0.2mm~5mm)、重复频率等激光参数来调整冲击压力的大小,激光错位冲分别同时冲击工件凹和凸正反表面,并通过计算机和控制系统,调整工件的位置,控制两激光冲击头的运动轨迹,完成工件凹凸细微结构形状的塑性成形,并且工件两面都形成残余压应力。

[0037] 图3为激光双面对冲击应力场成形。试样体系11还是由成形工件32和工件正反表面贴设柔性贴膜能量吸收层(如:铝箔胶带30)和透明约束层(如:流水(水流装置29))组成,激光双面冲击系统图1结构,也可采用两台激光器驱动,通过改变能量(0~100J)、光束直径(1mm~20mm)、重复频率等激光参数来调整冲击压力的大小,激光冲击头同时或不同时、相同或不同能量对冲、错位冲,通过优化工艺和成形规律,分别同时冲击工件凹和凸正反表面,通过计算机和控制系统,调整工件的位置,控制两激光冲击头的运动轨迹和工艺参数,使工件正反表面形成一定的应力场,适度分布的应力场形态对应着一定曲率的板材形状,通过控制应力场分布形式,实现板材的精密成形,并且工件两面都形成残余压应力,激光双面对冲击应力场易于形成和方便控制。激光单面冲击,因入射压缩波与反射波相遇产生拉伸波而引起层裂现象,采用激光双面冲击有利于改变应力波的性质,提高材料成形性,以适应难成形材料的成形。

[0038] 图4为激光分层逐点冲击成形。试样体系(11)由成形工件32和工件正反表面贴设柔性贴膜能量吸收层(如:铝箔胶带30)和透明约束层(如:流水)组成。采用激光冲击波效应的板材双面精密冲击成形装置,夹载试样体系(11)的工作台和激光冲击头(6)、(28)可按数控指令向待冲击位置作三维运动。根据优化的冲击参数,计算机控制系统自动选择激光脉冲参数、光束变换装置及光学参数等,编制NC加工程序用于计算机控制系统以控制各控制执行系统,完成冲击。成形件分别采用粗冲成形和精冲成形保证。粗冲成形采用分层制造的思想,在将复杂的三维型面根据被冲击材料的塑性变形量分解成一系列的二维等高线断面层(34,35)的基础上,采用逐层冲击成形。本案例也可进行正反精修成形,激光双面冲击头分别同时冲击工件凹和凸正反表面,沿搭接区上各离散点法向矢量进行冲击,完成工件凹凸细微形状的修正。

[0039] 更多的成形事例不胜枚举,控制方式和冲击形式的变化都可能实现不同的成形方式,这里仅阐明它的技术方案和部分实施例子。

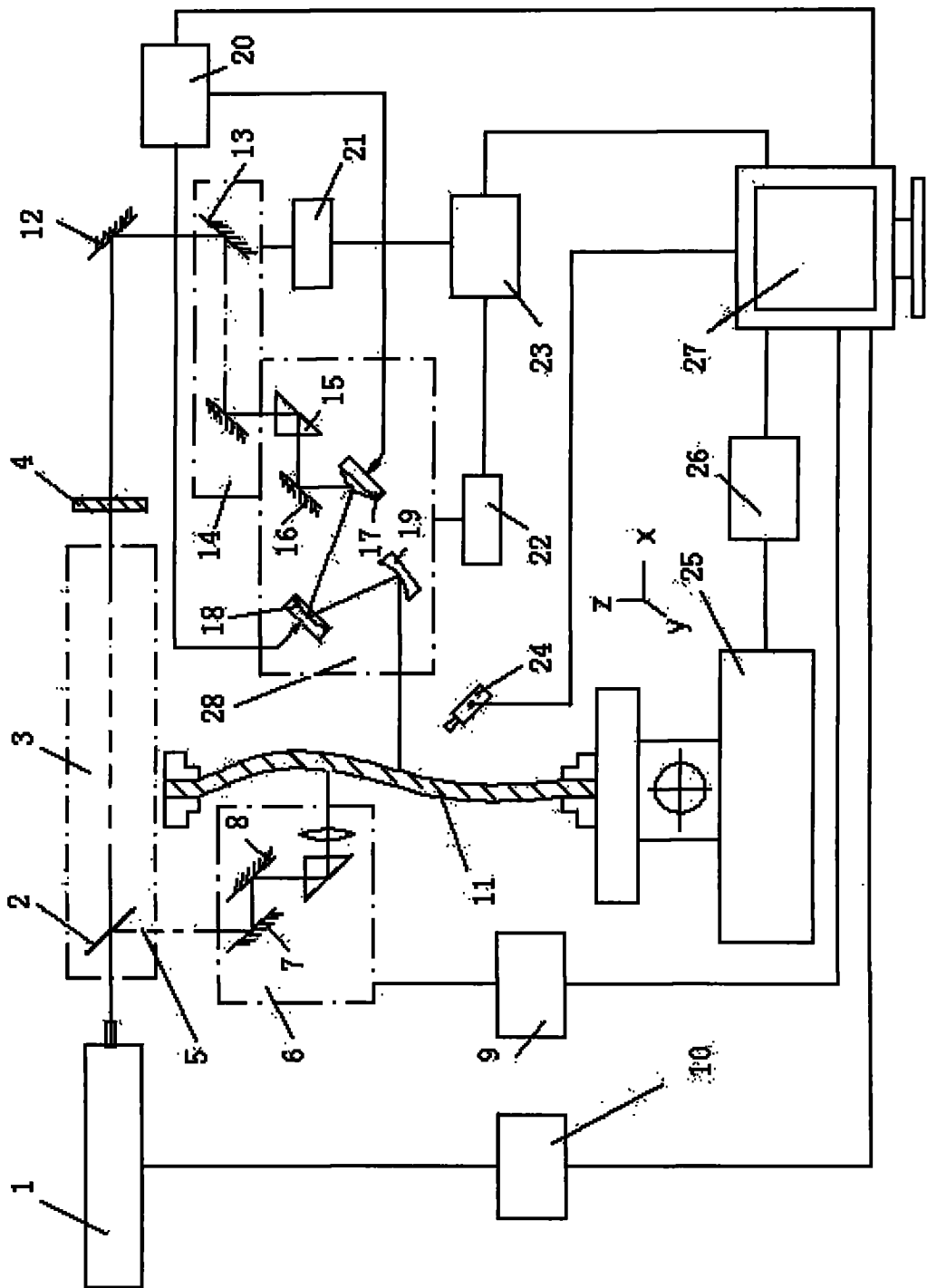


图 1



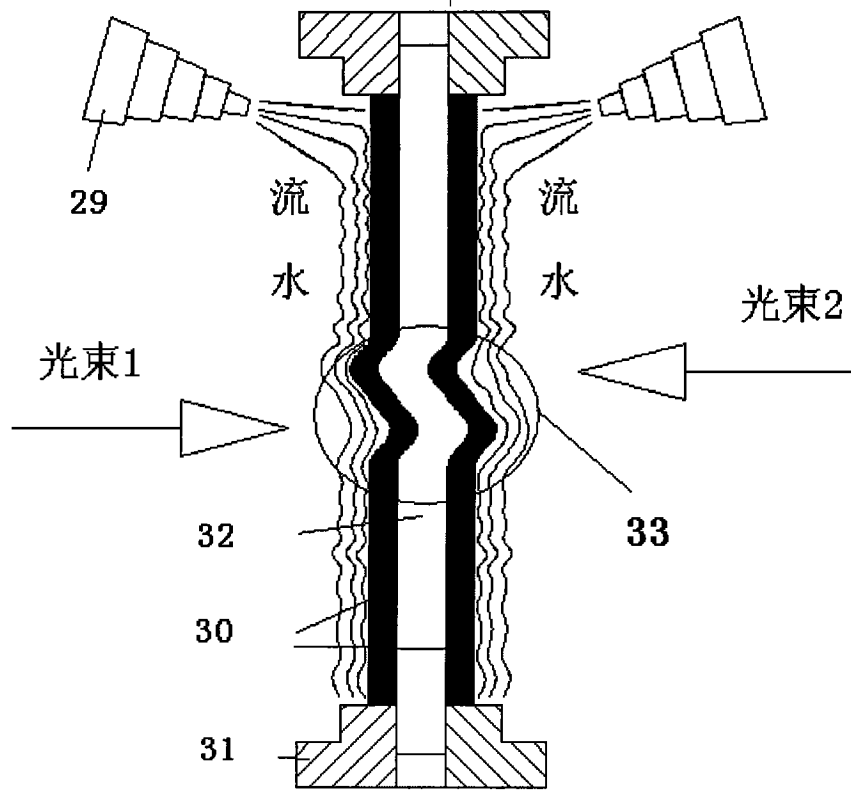


图 2

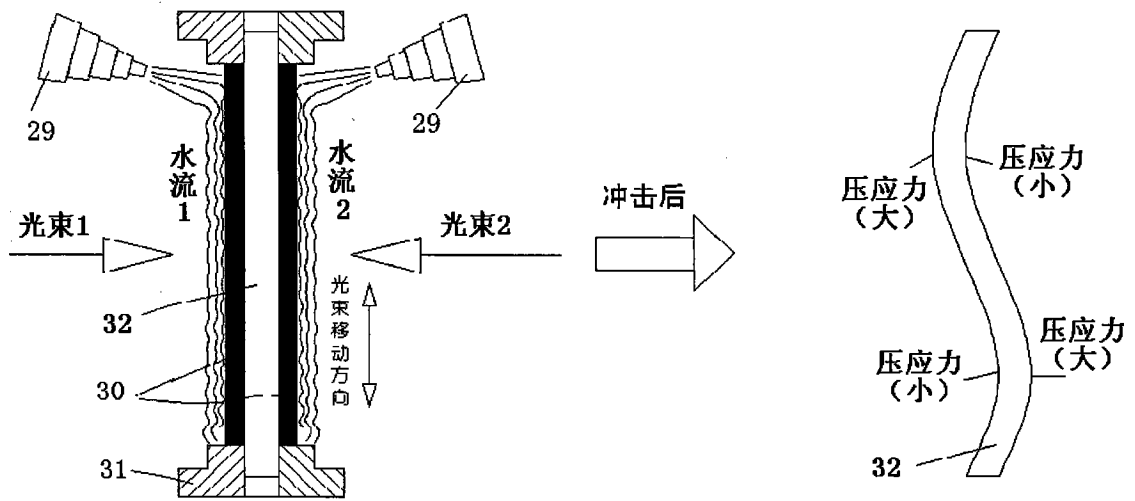


图 3

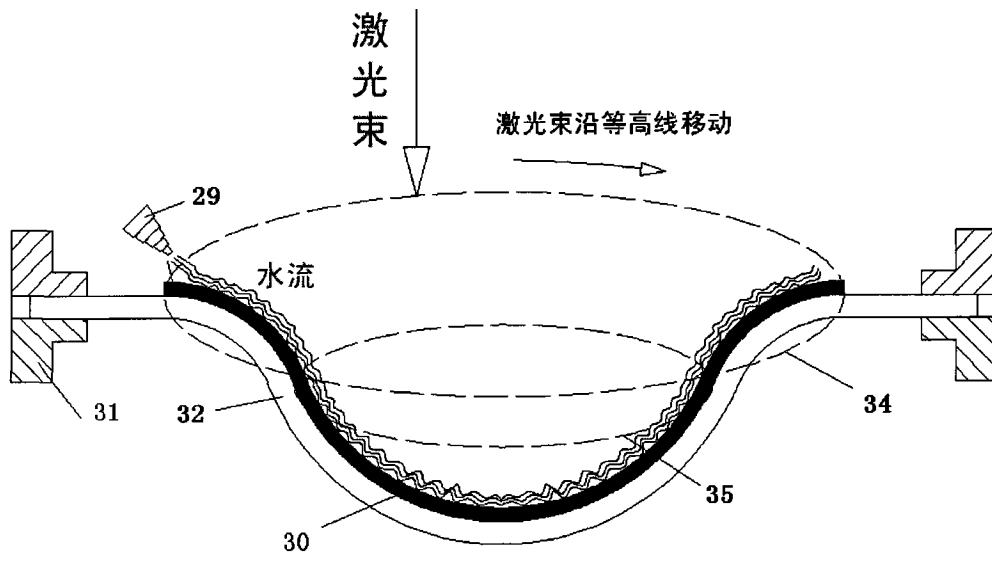


图 4