



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108411102 A

(43)申请公布日 2018.08.17

(21)申请号 201810325591.8

(22)申请日 2018.04.12

(71)申请人 佛山市南海区广工大数控装备协同  
创新研究院

地址 528200 广东省佛山市南海高新区佛  
高科技智库中心A座4楼

申请人 广东镭奔激光科技有限公司

(72)发明人 卢国鑫 张永康

(74)专利代理机构 广州胜沃园专利代理有限公  
司 44416

代理人 黄健仪

(51)Int. Cl.

G21D 10/00(2006.01)

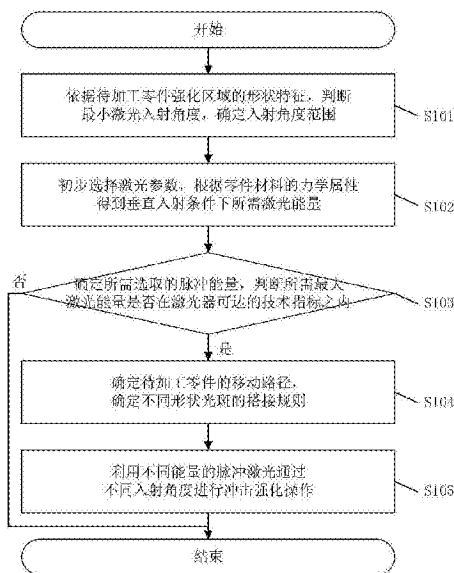
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种变入射角度的激光冲击强化方法

(57)摘要

本发明提供了一种变入射角度的激光冲击强化方法,包括以下步骤:S101、依据待加工零件强化区域的形状特征,判断最小激光入射角度,确定入射角度范围;S102、初步选择脉冲宽度、光斑尺寸等激光参数,根据零件材料的力学属性得到垂直入射条件下所需激光能量;S103、确定不同激光入射角度所需选取的对应脉冲能量,并判断最小入射角度条件所需激光能量是否在激光器可达的技术指标之内;S104、若是,则确定待加工零件的移动路径,确定不同形状光斑的搭接规则;S105、利用不同能量的脉冲激光通过不同入射角度进行冲击强化操作。本发明可实现涡轮盘榫槽等小空间结构的脉冲激光冲击强化处理,能够在强化过程中保持激光冲击强度的一致性,提升残余压应力分布的均匀性。



1. 一种变入射角度的激光冲击强化方法,其特征在于,包括以下步骤:

S101、依据待加工零件强化区域的形状特征,判断最小激光入射角度,确定入射角度范围;

S102、初步选择脉冲宽度、光斑尺寸等激光参数,根据零件材料的力学属性得到垂直入射条件下所需激光能量;

S103、确定不同激光入射角度所需选取的对应脉冲能量,并判断最小入射角度条件所需激光能量是否在激光器可达的技术指标之内;

S104、若最小入射角度条件所需最大激光能量在激光器可达技术指标内,则确定待加工零件的移动路径,确定不同形状光斑的搭接规则;

S105、利用不同能量的脉冲激光通过不同入射角度进行冲击强化操作。

2. 如权利要求1所述的变入射角度的激光冲击强化方法,其特征在于:所述步骤S101中激光光束分别从待加工零件两端面入射到待强化区域进行加工,且从两端面入射的最小激光入射角度相等,保证在对整个待强化区域进行处理时所选取的最小激光入射角度是最大值。

3. 如权利要求1所述的变入射角度的激光冲击强化方法,其特征在于:所述步骤S103中可以通过对斜入射冲击强化区域进行激光能量补偿以达到垂直入射条件下的加工强度,通过公式 $E=E_0/\sin\alpha$ ,可确定不同激光入射角度 $\alpha$ 所需选取的对应脉冲能量。

4. 如权利要求1所述的变入射角度的激光冲击强化方法,其特征在于:所述步骤S103中若最小入射角度所需最大激光能量超过激光器可达的技术指标,可以在激光参数可选范围内重新选择适用于待加工零件的脉冲宽度、光斑尺寸以及垂直入射条件下激光能量,最终使得用于最小入射角度强化位置的最大激光能量在激光器的允许使用区间之内。

5. 如权利要求1所述的变入射角度的激光冲击强化方法,其特征在于:所述步骤S104中确定待加工零件的移动路径包括激光冲击处理起始于待加工区域的最小入射角度位置,而后以不断提高的入射角度分别向两端面方向进行,在完成自激光入射起始位置至一侧端面的强化处理后,需重新调整待加工零件与激光光束的相对位置,完成自激光的最小入射角度位置至另一侧端面的强化处理。

6. 如权利要求1所述的变入射角度的激光冲击强化方法,其特征在于:所述步骤S104中确定不同形状光斑的搭接规则包括将相邻光斑交点连线的长度与椭圆形辐照面的短轴的长度之比定义为光斑搭接率,所述光斑搭接率在变入射角度的激光冲击强化过程中保持不变。

## 一种变入射角度的激光冲击强化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及材料表面强化处理领域,具体涉及一种变入射角度的激光冲击强化方法。

### 背景技术

[0002] 激光冲击是一种利用强激光诱导的冲击波来强化金属的新技术,能够大幅度增强金属材料的耐久性。由于激光具有较好的可达性,激光冲击强化技术特别适合于壁薄且型面复杂的航空发动机叶片等零件。航空发动机涡轮盘的榫槽部位在工作过程中受到离心应力与振动应力等的叠加作用极易发生疲劳断裂失效,对先进表面强化技术的需求日益提高。榫槽结构复杂且由于榫齿等部位相互干涉而存在齿根等无法实现激光光束垂直入射的待强化区域,对具有明显应力集中效应齿根区域的强化需合理选择入射角度以及脉冲宽度等激光参数,以保证强化区域具有平衡的应力分布以及相对一致的强化效果。

[0003] 如中国专利CN201410143616.4一种涡轮盘榫槽结构的激光冲击强化方法公开了包括清洁零件、设置吸收层、设置约束层、零件装夹、调整激光冲击强化角度、确定激光冲击工艺参数、进行激光冲击等步骤,但该专利对于入射角度的选择过于局限,且无法保证冲击强化的均匀性,榫槽结构的加工质量得不到保障。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术的不足,本发明提供了一种变入射角度的激光冲击强化方法,能够实现涡轮盘榫槽等小空间结构的表面强化处理,提升强化效果在冲击区域分布的均匀性。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 一种变入射角度的激光冲击强化方法,包括以下步骤:

[0007] S101、依据待加工零件强化区域的形状特征,判断最小激光入射角度,确定入射角度范围;

[0008] S102、初步选择脉冲宽度、光斑尺寸等激光参数,根据零件材料的力学属性得到垂直入射条件下所需激光能量;

[0009] S103、确定不同激光入射角度所需选取的对应脉冲能量,并判断最小入射角度条件所需激光能量是否在激光器可达的技术指标之内;

[0010] S104、若最小入射角度条件所需激光能量在激光器可达技术指标内,则确定待加工零件的移动路径,确定不同形状光斑的搭接规则;

[0011] S105、利用不同能量的脉冲激光通过不同入射角度进行冲击强化操作。

[0012] 进一步的,所述步骤S101中激光光束分别从待加工零件两端面入射到待强化区域进行加工,且从两端面入射的最小激光入射角度相等,保证在对整个待强化区域进行处理时所选取的最小激光入射角度是最大值。

[0013] 进一步的,所述步骤S103中可以通过对斜入射冲击强化区域进行激光能量补偿以达到垂直入射条件下的加工强度,通过公式 $E = E_0 / \sin\alpha$ ,可确定不同激光入射角度 $\alpha$ 所需选

取的对应脉冲能量。

[0014] 进一步的,所述步骤S103中若最小入射角度所需激光能量超过激光器可达的技术指标,可以在激光参数可选范围内重新选择适用于待加工零件的脉冲宽度、光斑尺寸以及垂直入射条件下激光能量,最终使得用于最小入射角度强化位置的最大激光能量在激光器的允许使用区间之内。

[0015] 进一步的,所述步骤S104中确定待加工零件的移动路径包括激光冲击处理起始于待加工区域的最小入射角度位置,而后以不断提高的入射角度分别向两端面方向进行,在完成自激光入射起始位置至一侧端面的强化处理后,需重新调整待加工零件与激光光束的相对位置,完成自激光的最小入射角度位置至另一侧端面的强化处理。

[0016] 进一步的,所述步骤S104中确定不同形状光斑的搭接规则包括将相邻光斑交点连线的长度与椭圆形辐照面的短轴的长度之比定义为光斑搭接率,所述光斑搭接率在变入射角度的激光冲击强化过程中保持不变。

[0017] 本发明提供的一种变入射角度的激光冲击强化方法的有益效果在于:

[0018] 基于加工位置实时改变激光入射角度,通过激光能量调整对斜入射位置的加工强度进行补偿,解决涡轮盘榫槽等小空间结构的部分待强化区域无法实现激光垂直入射的技术问题,同时能够在强化榫齿齿根等难加工区域的过程中,保持激光冲击强度的一致性,提升残余压应力分布的均匀性。

## 附图说明

[0019] 图1为本发明的方法流程图;

[0020] 图2为实际应用中需进行激光冲击强化处理的涡轮盘榫槽齿根区域示意图;

[0021] 图3为本发明实施例所提供的一种轮盘轴向平行的榫槽类结构待强化区域最小激光入射角度的选取方法示意图;

[0022] 图4为本发明实施例所提供的一种与轮盘轴向不平行的榫槽类结构待强化区域最小激光入射角度的选取方法示意图;

[0023] 图5为本发明实施例所提供的一种涡轮盘类零件榫槽特征区域进行变入射角度激光冲击强化时的移动路径示意图;

[0024] 图6为本发明实施例所提供的一种光斑搭接率定义示意图;

[0025] 图7为本发明实施例所提供的一种涡轮盘榫槽齿根区域在变入射角度激光冲击处理过程中的运动轨迹示意图。

## 具体实施方式

[0026] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整的描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。本领域普通人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,均属于本发明的保护范围。

[0027] 实施例:一种变入射角度的激光冲击强化方法。

[0028] 一种变入射角度的激光冲击强化方法,具体步骤包括:

[0029] S101:依据待加工零件强化区域的形状特征,判断最小激光入射角度 $\alpha_{\min}$ ,确定入

射角度范围 $\alpha_{\min} \leq \alpha < 90^\circ$ ;

[0030] 其中,本步骤的目的是测试待强化区域的形状参数,判定邻近部位对光束入射的影响程度,获得最大的最小激光入射角度 $\alpha_{\min}$ ,从而确定激光入射角度的变化范围。举例来讲,通常榫槽结构在涡轮盘圆周方向的分布方式有两种,即榫槽与轮盘轴向平行(与端面垂直)以及不平行,两种类型轮盘的榫槽齿根在选择最小激光入射角度时具有不同的途径。

[0031] 图2是涡轮盘榫槽齿根区域示意图,由于榫齿间过渡圆弧半径较小,该部位具有严重的应力集中现象。在对榫槽齿根区域进行激光冲击强化的过程中,假定只存在相对部位对激光入射产生的遮挡,则最小激光入射角度的选取如图3、4所示。图3、4中榫槽分别具有与轮盘轴向平行以及不平行的特征,1、6是轮盘端面,2、7是待强化区域,3、8是对激光入射产生遮挡影响的待强化区域相对部位,4、9是激光入射光束,5、10是针对待强化部位结构特征选取的最大的最小激光入射角度。

[0032] 可以理解的是,本步骤中激光光束分别从轮盘两端面入射到待强化区域进行加工,且从两端面入射的最小激光入射角度相等,这样保证了在对整个待强化区域进行处理时所选取的最小激光入射角度是最大值。

[0033] S102:初步选择脉冲宽度、光斑尺寸等激光参数,根据零件材料的力学属性得到垂直入射条件下所需激光能量 $E_0$ ;

[0034] 其中,对待强化区域来说,默认存在脉冲宽度、光斑尺寸等激光参数的可选范围(本方案默认使用圆形光斑),参数的取得基于形状结构特征以及材料力学属性等。由于只有当激光诱导冲击波可导致材料表面的塑性变形时,激光冲击表面强化效果才会出现,因此可以根据材料的力学性质等得到所需激光参数的理论范围。本步骤中激光能量等参数的获取可以通过理论计算或者技术人员对激光冲击强化的实际经验获得,此处不进行具体限定。

[0035] S103:通过公式 $E = E_0 / \sin \alpha$ ,确定不同激光入射角度 $\alpha$ 所需选取的对应脉冲能量,并判断最小入射角度条件所需激光能量是否在激光器可达的技术指标之内;若是,则进入S104;若否,则结束流程;

[0036] 其中,本步骤建立在S101、S102已获得待强化区域的激光最小入射角度 $\alpha_{\min}$ 以及垂直入射时所需激光能量 $E_0$ 的基础上。默认可以通过对斜入射冲击强化区域进行激光能量补偿以达到垂直入射条件下的加工强度。需使用最小入射角度进行加工的待强化区域激光辐照面积最大且能量损失最多,是最大激光能量的作用位置。通过公式进行理论计算获得的最大激光能量处于激光冲击强化系统中激光器的可达范围之内,才能实现待加工零件的全区域强化。

[0037] 值得注意的是,本步骤中提到的最大激光能量若超出激光器可达的技术指标,可以在S102提到的激光参数可选范围内重新选择适用于待加工零件的脉冲宽度、光斑尺寸以及垂直入射条件下激光能量,最终使得用于最小入射角度强化位置的最大激光能量在激光器的允许使用区间之内。

[0038] S104:确定待加工零件的移动路径,确定不同形状光斑的搭接规则;

[0039] 其中,本步骤提供一种用于涡轮盘类零件榫槽特征区域的激光冲击强化的变入射角度移动路径。在所述移动路径中,激光冲击处理起始于榫槽齿根等待加工区域的最小入射角度位置,而后以不断提高的入射角度分别向两端面方向进行。图5是采用变入射角度进

行激光冲击强化时,涡轮盘类零件榫槽特征区域的移动路径示意图,11是激光相对待强化区域的运动路线,12是实现所述运动路线所要求的待加工零件的移动路径,13是待强化区域在所述零件移动路径条件下所获得的激光辐照形状。

[0040] 值得注意的是,在完成自激光入射起始位置至一侧端面的强化处理后,需重新调整待加工零件与激光光束的相对位置,完成自激光的最小入射角度位置至另一侧端面的强化处理。

[0041] 另外,基于在所述待加工零件的移动路径条件下获得的待加工区域的激光辐照形状,本步骤还提供了一种不同辐照形状光斑的搭接规则。激光光束斜入射到待加工区域时其辐照形状由圆形改变为被拉长的椭圆形,其中椭圆形辐照面的短轴的长度等于激光垂直入射时圆形辐照面的直径。为保持待强化区域加工强度的一致,降低激光冲击处理表面的粗糙程度以及提高残余应力分布的均匀性,本发明通过控制相邻光斑搭接区域中两相交点的连线的长度制定一种适用于不同辐照形状光斑的搭接规则,以相邻光斑交点连线的长度与椭圆形辐照面的短轴的长度之比在变入射角度的激光冲击强化过程中保持不变作为光斑搭接依据。举例说明,图6示出了激光光束以不同角度入射到待强化区域时的辐照面的形状,其中a为椭圆形辐照面的短轴的长度,a'为相邻光斑两相交点的连线的长度,光斑搭接率 $\eta$ 的数值可通过控制a'与a的比例来确定,即 $\eta = (a'/a) \times 100\%$ 。

[0042] S105:利用不同能量的脉冲激光通过不同入射角度进行冲击强化操作。

[0043] 其中,本步骤要求已通过S104所述方法确定了待加工零件的移动路径以及不同角度入射的激光光斑的搭接率,并且在满足所述光斑搭接率的条件下待强化区域所需的每一激光光束的入射角度也已得到。

[0044] 值得注意的是,本步骤还默认存在编程设定强化工艺的操作,对于激光冲击强化系统来说,所述脉冲激光参数、机械臂携带待加工零件的运动轨迹等需要在零件装夹后进行程序设定,最后依照设定程序,系统自动完成冲击过程。此处的强化工艺更多地指将定量选择的激光脉冲参数等条件在具体零件上实施的程序设定。

[0045] 对于激光冲击强化的整个过程来说,还存在冲击强化操作前待强化区域吸收层与约束层的涂覆过程,本步骤默认待强化区域已完成相关预处理,吸收层与约束层的材料选择以及施加工艺在此处不进行具体的限定。

[0046] 可以理解的是,本步骤使用机械臂携带待加工零件移动进行待强化区域不同位置的激光冲击处理时,采用机械臂移动一下激光冲击一下的方式进行(即逐点加工)。

[0047] 图7为在实际应用中采用变入射角度的方法进行涡轮盘榫槽齿根区域的激光冲击处理时,涡轮盘运动轨迹的示意图。图中,激光光束对齿根区域的入射起始于轮盘两端面之间的位置,机械臂携带涡轮盘以近似顺时针旋转的路径进行运动,完成自激光入射起始位置至一侧端面的强化处理。

[0048] 以上所述为本发明的较佳实施例而已,但本发明不应局限于该实施例和附图所公开的内容,所以凡是不脱离本发明所公开的精神下完成的等效或修改,都落入本发明保护的范围。

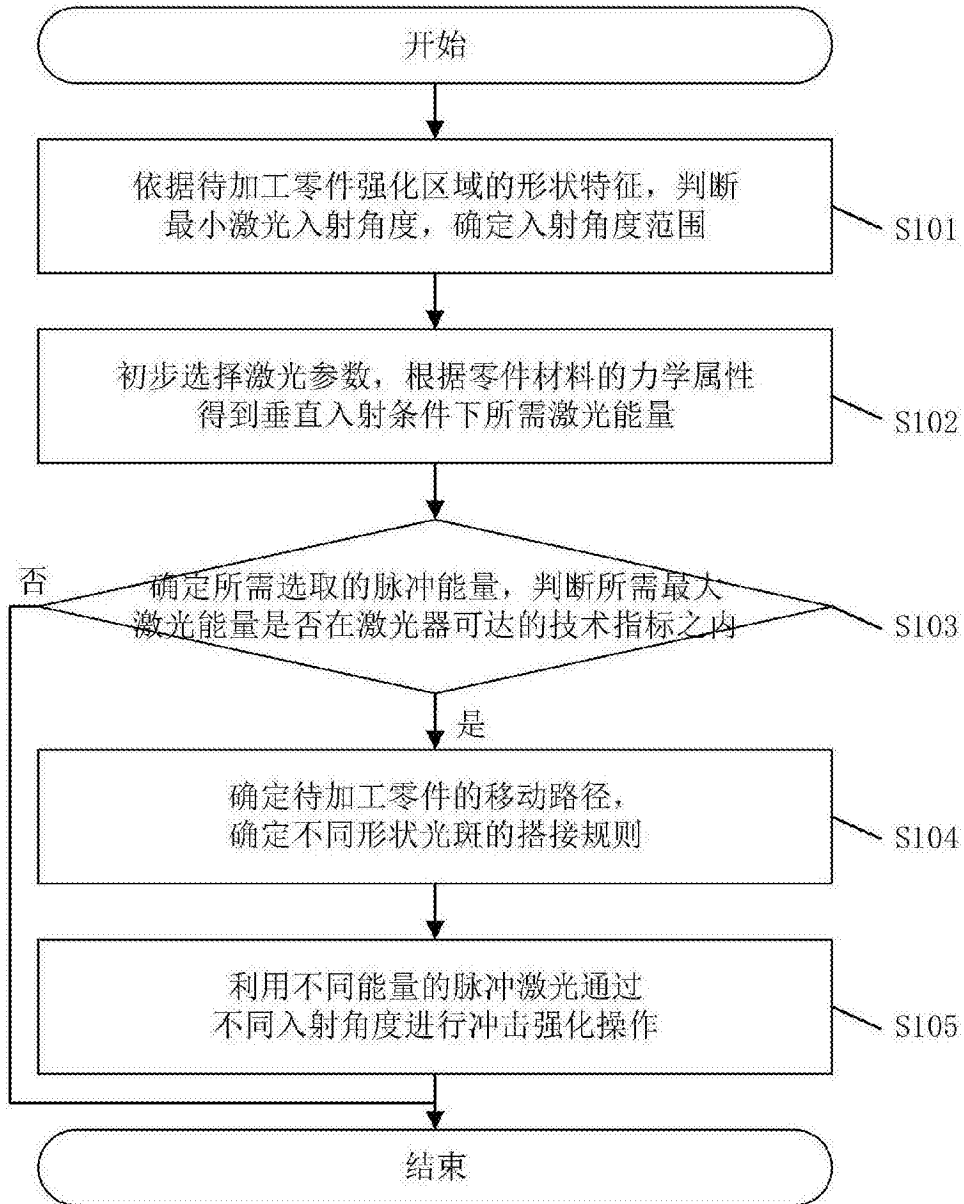


图1

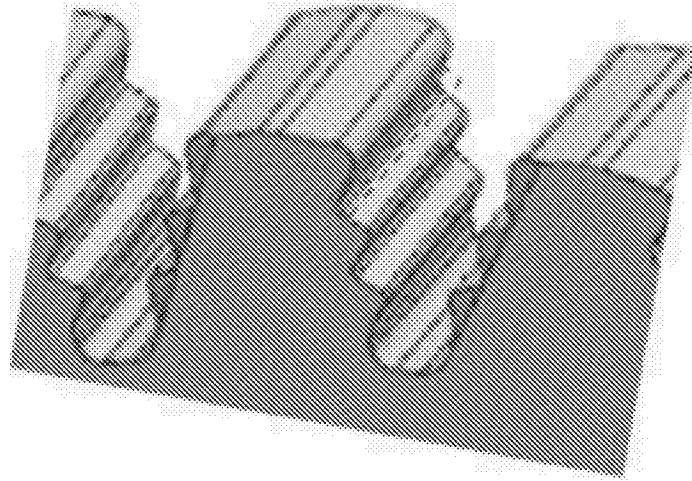


图2

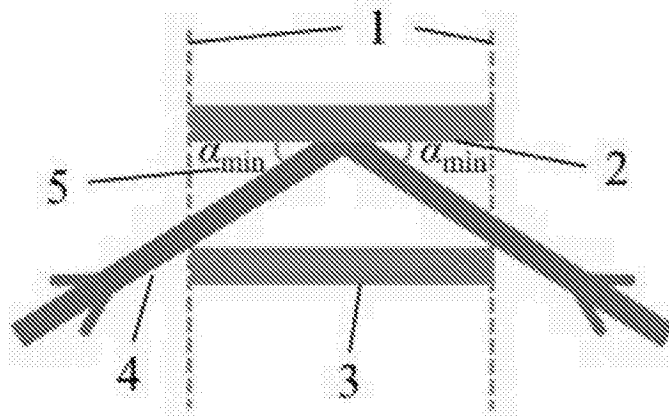


图3

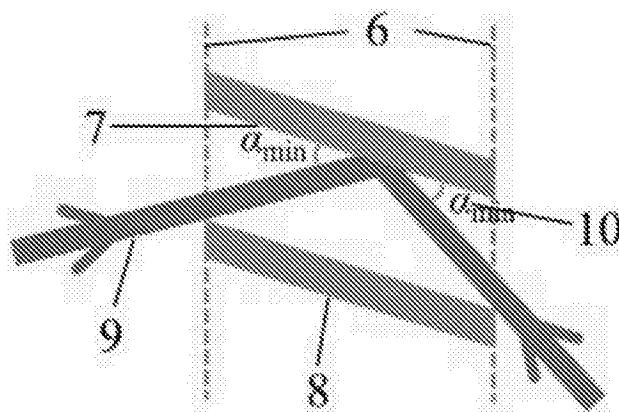


图4



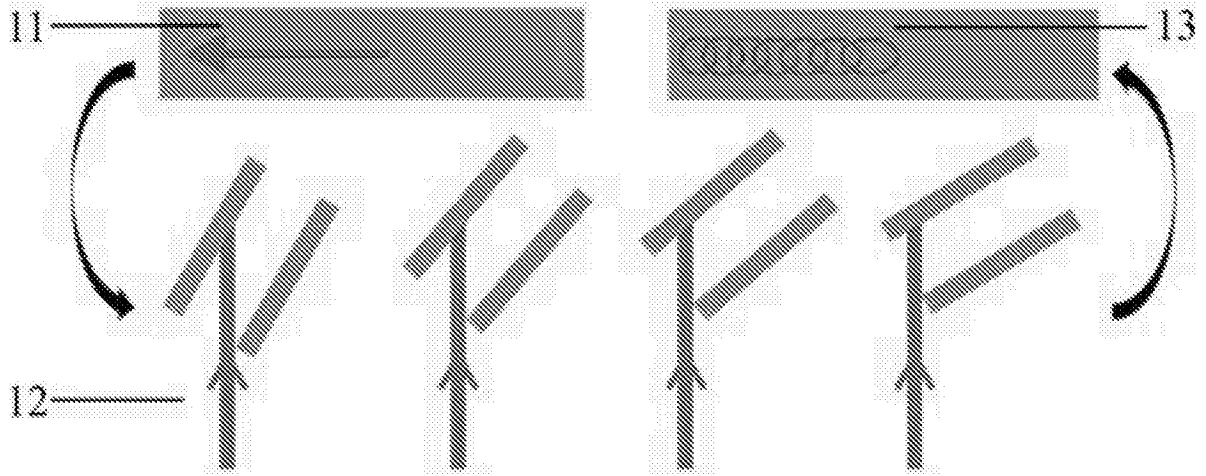


图5

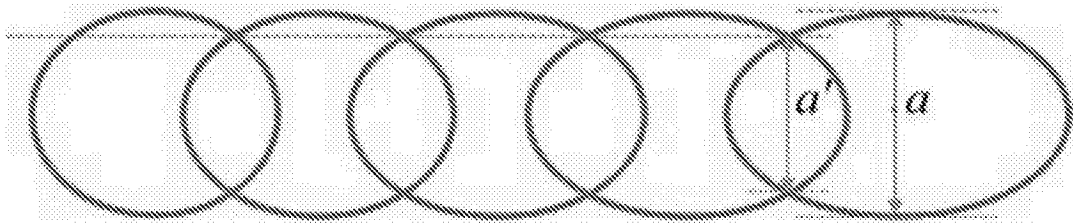


图6

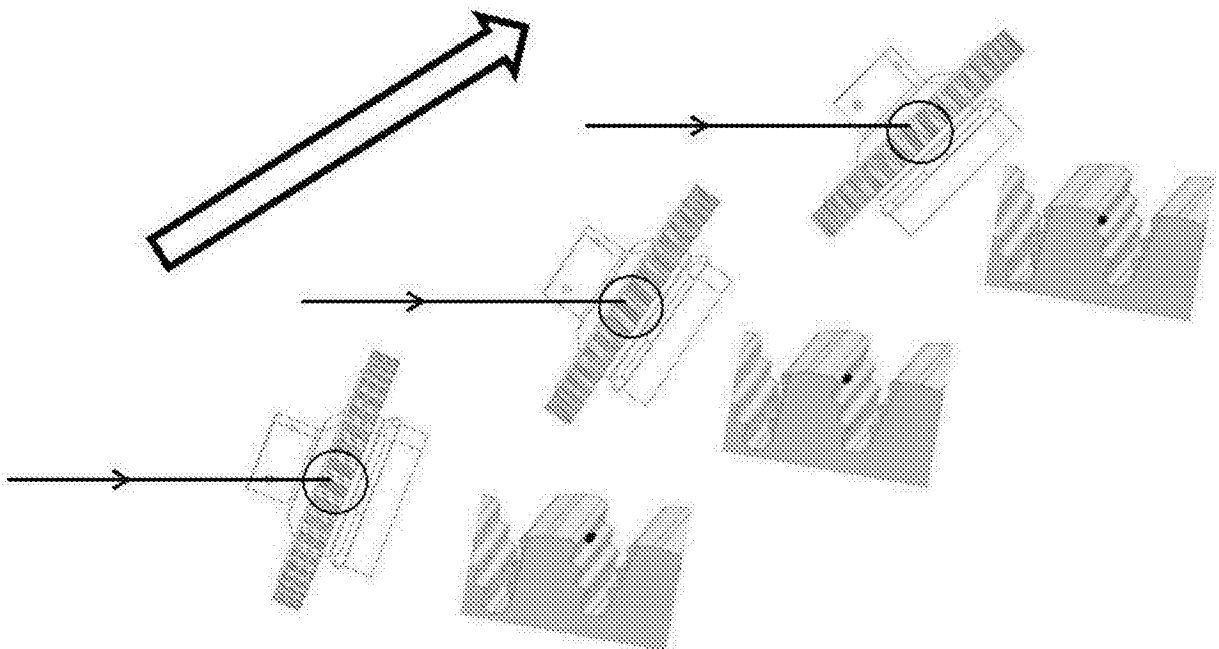


图7