



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103521925 A

(43) 申请公布日 2014. 01. 22

(21) 申请号 201310284778. 5

(22) 申请日 2013. 07. 08

(30) 优先权数据

12005022. 4 2012. 07. 06 EP

(71) 申请人 瑞士路劳曼迪有限公司

地址 瑞士雷兰登

(72) 发明人 C·克鲁姆

(74) 专利代理机构 北京润平知识产权代理有限公司

公司 11283

代理人 施娥娟 董彬

(51) Int. Cl.

B23K 26/36 (2006. 01)

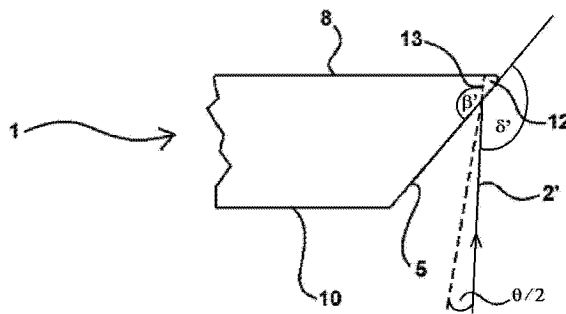
权利要求书2页 说明书8页 附图7页

(54) 发明名称

用于工件加工的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于工件加工的方法,其中使激光束和/或工件相对于彼此运动并且通过利用激光切除实现去除材料而形成切削刃口。此时使工件(1)和/或激光束(2)首次相对于彼此定向。接着利用激光束(2)首次从工件(1)上去除材料。此时从工件(1)上除去第一区域(4)。此后改变工件(1)和激光束(2)相对于彼此的定向。由此实现的第二定向不同于工件(1)和激光束(2)相对于彼此的第一定向。在利用激光束(2', 2'', 2''')从工件(1)上第二次去除材料时,除去工件(1)的第二区域(12, 18, 24)。在第二次去除材料结束时形成切削刃口(16, 23, 29)。



1. 一种用于工件加工的方法,其中使激光束和 / 或工件相对于彼此运动并且通过利用激光切除实现去除材料而在工件上形成切削刃口,其特征在于,所述用于工件加工的方法包括以下方法:使工件(1)和 / 或激光束(2)首次相对于彼此定向,其中激光束(2)对准工件(1)的第一侧面(3);利用激光束(2)首次从工件(1)上去除材料,其中从工件(1)上除去第一区域(4)并形成工件的新的第二侧面(5);使工件(1)和 / 或激光束(2)相对于彼此在工件(1)和激光束(2)相对于彼此的与首次定向不同的位置中第二次定向,此时激光束对准第二侧面(5)或第一侧面(3);利用激光束(2'、2''、2''')从工件(1)上第二次去除材料,其中除去工件(1)的第二区域(12、18、24),所述第二区域小于第一区域(4),并形成新的第三侧面(13、22、28),并且其中在第二次去除材料结束时在第三侧面(13、22、28)上形成的棱边为切削刃口(16、23、19);其中激光器在首次去除材料和第二次去除材料时以所述激光器的光束轴线与去除材料开始的侧面成角度 $\delta < \beta$ 地定向,其中 β 是去除材料开始的侧面与通过去除材料形成的侧面之间的角度。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,对于所述角度 δ 适用 $\delta \leq \beta - \theta/2$,其中 θ 是激光束的张角。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述角度 δ 基本上相当于所述角度 β 和激光束张角的一半之间的差。

4. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,首次利用激光束(2)从工件(1)去除材料开始于所述第一侧面(3)的第一部段(7),在首次去除材料时,去除所述第一侧面(3)的第一部段(7)的第一区域(4)。

5. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,新的第二侧面(5)与所述第一侧面(3)的在去除材料后留下的第二部段(6)相邻

6. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,利用激光束(2'、2''、2''')从工件(1)上第二次去除材料开始于第二侧面(5)的第一部段,并一直持续到所述第一侧面(3)的第二部段(8),或者开始于所述第一侧面(3)的第二部段(8),并一直持续到第二侧面(5)的第一部段。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,在第二次去除材料时,所述第一侧面(3)的第二部段(8)的一部段和第二侧面(5)的第一部段(17、19、25)被去除。

8. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,第三侧面(13、22、28)与在第二次去除材料之后在所述第一侧面(3)上留下的第三部段(14、20、26)相邻,第三侧面(13、22、28)与第二侧面(5)的在第二次去除材料之后留下的第二部段(15、21、27)相邻。

9. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述切削刃口或者作为第三侧面(13、22)与所述第一侧面(3)之间的棱边形成,或者作为第三侧面(28)和第二侧面(5)之间的棱边形成。

10. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,第二侧面(5)和所述第一侧面(3)的第二部段(8)之间的角度大于 45° 且小于 120° 。

11. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,第三侧面(13、22、28)与所述第一侧面(3)的第三部段(14、20、26)之间的角度 α 、 α_1 或 α_2 和 / 或第三侧面(13)与第二侧面(5)的第二区域(27)之间的角度 γ 大于 0° 且小于 180° 。

12. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法通过激光切除逐层

地去除材料。

13. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,激光束(2、2'、2''、2''')通过光束导向装置在工件(1)上运动。

14. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,从第一侧面(3)一直到工件(1)的第四侧面(6)去除材料,以形成第二侧面(5),且所述第四侧面(6)和所述第一侧面(3)没有共同的棱边。

15. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,第三侧面(5、13、22、28)在材料去除时构成为平坦的表面。

16. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,工件(1)在首次去除材料之后以及第二次去除材料之前相对于激光束(2)绕在首次去除材料中基本上平行于激光束(2)的光束轴线的轴线旋转 60° 至 180° 的角度。

17. 根据上述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,与首次去除材料相比,在第二次去除材料中利用激光束去除了较少的材料。

用于工件加工的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于工件加工的方法,其中使激光束和工件相对于彼此运动并且通过去除材料形成切削刃口。

背景技术

[0002] 已知的是,通过短时间强烈的激光脉冲来加工工件。将具有高功率密度的激光光线导致工件表面上的材料被加热。根据功率密度在工件表面上形成等离子体。此时,在工件表面上去除材料。这被称为激光切除(Laserablation)。

[0003] 激光束和工件确定地相对于彼此运动,以便在工件的预先规定的区域内有目的地去除材料并构成确定的工件轮廓。这特别是包括在工件上形成切削刃。所述切削刃也称为工件切削刃。这是一种几何形状上确定的用于分离材料的切削刃,特别是用于切削加工工艺的切削刃。这里通过刀具的切削刃从工件上机械分离切屑形式的材料部分。切削楔的形状和切削刃口的棱边半径通过切削刃的几何形状确定。切削楔优选构造成,使得其稳定性/耐用度尽可能高并优化切屑形成和切屑导出流。

[0004] 切削刃口是切削楔的棱边,所述切削楔通过切削面和自由面构成。切削面和自由面之间的角度称为楔角。楔角通常小于 120° 。

[0005] 为了在工件上形成切削楔,激光束可以对准工件的第一侧面,并在第一侧面的区域内逐层地去除材料。此时形成工件的第二侧面,该第二侧面与第一侧面的没有被去除的部分相邻。第二侧面这里是自由面。第一侧面的没有被去除的部分是切削面。相反地,第二侧面也可以是切削面,而第一侧面的没有被去除的部分是自由面。切削面和自由面限定切割楔。自由面和切削面之间的角度是斜角。通过自由面和切削面形成的棱边是切削刃口。

[0006] 这里已经证明不利的是,这样通过激光切除由第一侧面出发形成的切削刃口具有较大的棱边半径。所述棱边半径与楔角的尺寸无关。切削刃口不具有必要的锋利的结构。

发明内容

[0007] 因此本发明的目的是,提供一种改进的用于工件加工的方法,利用所述方法能够形成具有小的棱边半径和大的刃口锋利度的切削刃口。

[0008] 所述目的利用根据权利要求 1 所述的方法来实现。为此,首先使所述工件和/或激光束第一次(相对于彼此)定向。此时,工件的第一侧面朝向激光束。接着,利用激光束从工件上去除材料。材料这样的首次去除优选在侧面的第一部段中开始。逐层地去除材料。工件的第一区域逐层地被完全除去。此时,优选第一侧面的第一部段以及位于其下面的材料消失。通过材料去除形成的一个新的第二侧面,第一侧面通过材料去除而留下的第二部段可以与所述第二侧面相邻。在这种情况下,第二侧面与第一侧面的第二部段构成共同的棱边。第二侧面与第一侧面的第二部段成角度 β 。

[0009] 在首次去除材料之后,改变工件与激光束相对于彼此的定向。形成工件和/或激光束相对于彼此的第二定向。此时工件与激光束相对于彼此的、按第二定向的位置不同于

按第一定向的位置。为此或者可以改变工件的定向,或者可以改变激光束的定向,或者可以同时改变工件和激光束的定向。工件和激光束这样相互定向,使得工件的第一侧面或第二侧面朝向激光束。接着利用激光束进行对工件的第二次材料去除。所述去除优选或者在第二侧面的第一部段中开始并延伸到第一侧面的第二部段,或者在第一侧面的第二部段开始并一直延伸到第二侧面的第一部段。去除工件的第二区域。此时第二侧面的第一部段、第一侧面的第一部段的一部分以及其下方的材料消失。第一侧面的第二部段中在第二次材料去除后仅保留一个剩余部分,该剩余部分称为第三部段。第二侧面中在第二次材料去除后仅保留一个剩余部分,该剩余部分称为第二侧面的第二部段。

[0010] 在第二次材料去除时,形成一个新的第三侧面,所述第三侧面可以与在第二次材料去除之后保留在第一侧面上的第三部段相邻并可以与第二侧面的第二部段相邻。

[0011] 在首次和第二次去除材料时,激光束以其光轴相对于开始响应的材料去除的表面以角度 $\delta < \beta$ 定向。这里 β 是开始材料去除的侧面与通过材料去除形成的侧面之间的角度。激光束具有中央光束轴线和光束张角。激光束相对于工件侧面的调整基于其中央的光束轴线进行。由于激光束与开始材料去除的侧面成角度 $\delta < \beta$,有利逐层地取出材料并形成新的侧面,所述新的侧面与材料去除开始的侧面成角度 β 。在材料去除时被除去的区域不是截断的而是逐层地被去除。

[0012] 角度 δ 在首次和第二次材料去除时在开始材料去除的侧面上测量。所述角度基于侧面的材料被去除的部分测量。

[0013] 由于激光束的光束轴线在去除材料时相对于要形成的侧面倾斜,与角度 δ 等于角度 β 时相比,所述侧面可以以较大的精度形成。这特别是因为新的侧面不是通过截断工件的一部分形成的,而是通过逐层地完全去除工件的一个部段形成的。

[0014] 在逐层的材料去除时,激光束相对于工件的表面运动,从而工件的一个部段被完全通过激光切除除去。角度 δ 基本上保持不变直至整个部段被除去。

[0015] 在第二次材料去除结束时在第三侧面上构成的棱边是切削刃口。如果第二次材料去除在第二侧面上开始并在第一侧面上结束,则切削刃口是第三侧面和第一侧面之间的棱边,具体而言是第三侧面与第一侧面的第三部段之间的棱边。如果第二次材料去除在第一侧面上开始,则切削刃口是第三侧面和第二侧面之间的棱边,具体而言是第三侧面与第二侧面的第二部段之间的棱边。两个与切削刃口相邻的侧面限定楔角。所述两个侧面之一是切削面,而另一个是自由面。

[0016] 为了进行根据所述方法的加工,工件有利地设置在工件支座上。

[0017] 在根据本发明的方法中,首先利用激光束从工件的第一侧面出发对工件进行加工。这里假定,工件的第一侧面是正面,因此首次材料去除从前面进行。此时形成新的第二侧面,所述第二侧面与第一侧面留下的剩余部分成角度 β 。接着这样来改变工件和/或激光束相对于彼此的定向,使得对工件的加工可以从后面或从侧部进行。所述加工在新的第二侧面上开始并在第一侧面上结束,或者相反。此时,形成新的第三侧面。切削刃口由于从后面或从侧部的加工不是在第二次材料去除开始时而是在第二次材料去除结束时形成。在此与已知的方法中相比所述切削刃口具有明显更小的棱边半径,在所述已知方法中,切削刃口从前面在材料去除时形成。

[0018] 由于切削刃口在第二次材料去除结束时才形成,在第二次材料去除开始时激光束

在第二侧面上的定位中的不精确性、激光束对准第二或第一侧面以及位于其下面的材料的角度的偏差以及光束几何形状的特殊性对于在第三侧面上的切削刃口的位置产生影响。这种效应可以这样来最小化,即,在第二次材料去除时除去的材料比首次材料去除少。

[0019] 通过加工的顺序和从前面形成第二侧面以及接着从后面形成第三侧面不仅可以形成非常锋利的切削刃口。此外还实现了,在精确地预先规定的位置处形成切削刃口。这特别适用于第三侧面垂直于要形成的切削刃口的长度小于第二侧面的垂直于第二侧面和第一侧面的第二部段之间的棱边的长度的情况。第三侧面的该长度可以小于第二侧面的长度的一半,优选小于第二侧面长度的四分之一,特别优选小于第二侧面的长度的八分之一。即使在第三侧面与第二侧面之间或第三侧面与第一侧面之间的角度由小的误差时,也能在预先规定的误差范围内精确地实现切削刃口的位置。

[0020] 根据本发明的一个有利的实施形式,角度 δ 小于或等于角度 β 和角度 $\theta/2$ 之差。这里有 $\delta \leq \beta - \theta/2$ 。其中 β 是开始材料去除的侧面与通过材料去除产生的侧面之间的角度。 θ 是激光束的张角。 θ 这里是光锥的总张角。 θ 通过激光束中央的光束轴线二等分。如果激光束以其光束轴线与工件的开始材料去除的侧面设定成角度 $\delta \leq \beta - \theta/2$,则在调整激光束的光锥的张角时要对此予以考虑。

[0021] 根据本发明的另一个有利的实施形式,角度 δ 基本上等于角度 β 和激光束的张角的一半的差。这里有 $\delta \approx \beta - \theta/2$ 。角度 δ 由此可以等于或略小于或略大于 β 和 $\theta/2$ 的差。该角度也可以在材料去除期间在这个小的范围内变化。

[0022] 根据本发明的一个有利的实施形式,第二侧面和第一侧面的第二部段之间的角度 β 大于 45° 并且小于 120° 。

[0023] 根据本发明的另一个有利的实施形式,第三侧面和第一侧面的第三部段之间的角度 α 、 α_1 或 α_2 或第三侧面与第二侧面的第二部段之间的角度 γ 大于 0° 并小于 180° 。这特别是适用于楔角。如果第二次材料去除在第二侧面上开始并在第一侧面上结束,则得到楔角 α 。在这种情况下,楔角 α 通过第三和第一侧面限定。如果第二次材料去除在第一侧面上开始,并在第二侧面上结束,则得到楔角 γ 。在这种情况下,楔角 γ 通过第三侧面和第二侧面限定。

[0024] 根据本发明的另一个有利的实施形式,材料通过激光切除逐层地去除。为了形成新的侧面从工件上去除的部分不是截断的(abgeschnitten)而是完全地逐层去除的。此外,也可以局部地去除,这些局部不是层。

[0025] 根据本发明的另一个实施形式,激光束通过光束导向装置在工件上运动。所述光束导向装置确保实现在工件上按目的的材料去除。附加于此,工件可以运动。为此,设置有工件的工件支座通过驱动装置运动。

[0026] 根据本发明的另一个有利的实施形式,在首次材料去除时为了形成第二侧面从第一侧面上去除材料,直到工件的第四侧面。这里第四侧面背向工件的第一侧面。就是说,第一和第四侧面没有接触,也不相邻。它们不具有共同的棱边。在首次材料去除时形成的第二侧面从第一侧面延伸到第四侧面。所述第二侧面与第一侧面和第四侧面相邻。第二侧面与第一侧面形成一个棱边。此外第二侧面还与第三侧面形成一个棱边。这两个棱边可以是相互平行的。第四侧面例如可以平行于第一侧面。在这种情况下第四侧面和第二侧面之间的角度对应于 180° 和 β 的差,其中 β 是第一和第二侧面之间的角度。第三侧面不与第四

侧面相邻。因此第三侧面不与第四侧面构成共同的棱边。第三侧面与第一侧面相邻,特别是与第一侧面在首次和第二次材料去除后留下的第三部段相邻。此外,第三侧面与第二侧面在第二次材料去除后留下的第二部段相邻。第二侧面的所述第二部段与第四侧面相邻。第二侧面的所述第二部段和第四侧面构成共同的棱边。在首次材料去除时,去除第四侧面的一部分。在第二次材料去除时不从第四侧面上去除材料。

[0027] 根据本发明的另一个有利的实施形式,第二和第三侧面在材料去除时构成平坦的表面。此外,还存在这样的可能性,第二侧面在首次材料去除时构成弯曲的表面和/或第三侧面在第二次材料去除时构成弯曲的表面。

[0028] 根据本发明的另一个有利的实施形式,工件在首次材料去除之后和在第二次材料去除之前相对于激光束绕基本上垂直于激光束的光束轴线的轴向旋转一个在 60° 和 180° 之间的角度。这导致,工件以第二侧面或第一侧面按在首次材料去除时不同的角度朝向激光束。由此对工件的加工可以从后面进行。在旋转时要注意,激光束不具有平行的形状,而是具有略微成锥形的形状。激光束具有张角 θ ,所述张角在相对于工件表面对激光器进行定向时应予以考虑。

[0029] 根据本发明的另一个有利的实施形式,在第二次材料去除时用激光束去除的材料比在首次材料去除时少。由此第二和第二侧面之间的切削刃口可以精确地定位。在这种情况下,在第二次材料去除时通过激光切除从工件上除去的第一区域小于在首次材料去除时通过激光切除从工件上除去的第一区域。

[0030] 本发明其他的优点和有利的实施形式可以在下面的说明、附图和权利要求中得出。

附图说明

[0031] 在附图中示出本发明的三个实施例。其中:

[0032] 图 1 示出在首次材料去除之前第一实施例的工件和激光束的侧视图,

[0033] 图 2 示出根据图 1 的工件在首次材料去除之后的侧视图,

[0034] 图 3 示出在第二次材料去除之前第一实施例的工件和激光束的侧视图,

[0035] 图 4 示出根据图 3 的工件在第二次材料去除之后的侧视图,

[0036] 图 5 示出根据图 1 的工件在首次材料去除之前的透视图,其中带有第二和第三侧面的标志,

[0037] 图 6 示出根据图 5 的工件的侧视图,

[0038] 图 7 示出根据图 4 的工件在第二次材料去除后的透视图,

[0039] 图 8 示出第二实施例的工件和激光束在首次材料去除之后和第二次材料去除之后的侧视图,

[0040] 图 8a 示出图 8 的局部,

[0041] 图 9 示出第三实施例的工件和激光束在首次材料去除之后和第二次材料去除之后的侧视图,

[0042] 图 10 示出工件和带有光束轴线和光束张角的集光器。

[0043] 附图标记列表

[0044] 1 工件

- [0045] 2 在首次材料去除时的激光束
- [0046] 2' 第一实施例的在第二次材料去除时的激光束
- [0047] 2'' 第二实施例的在第二次材料去除时的激光束
- [0048] 2''' 第三实施例的在第二次材料去除时的激光束
- [0049] 3 工件的第一侧面
- [0050] 4 工件的在首次材料去除时除去区域
- [0051] 5 工件的第二侧面
- [0052] 6 工件的第四侧面
- [0053] 7 第一侧面的第一部段
- [0054] 8 第一侧面的第二部段
- [0055] 9 第四侧面的第一部段
- [0056] 10 第四侧面的第二部段
- [0057] 11 首次材料去除后第一侧面的第一部段与第二侧面之间的棱边
- [0058] 12 工件在第一实施例的第二次材料去除时除去的第二区域
- [0059] 13 工件的第三侧面
- [0060] 14 第一侧面的第三部段
- [0061] 15 第二侧面的第二部段
- [0062] 16 切削刃口
- [0063] 17 第二侧面的第一部段
- [0064] 18 工件在第二实施例的第二次材料去除时除去的第二区域
- [0065] 19 第二侧面的第一部段
- [0066] 20 第一侧面的第三部段
- [0067] 21 第二侧面的第二部段
- [0068] 22 第三侧面
- [0069] 23 切削刃口
- [0070] 24 工件在第三实施例的第二次材料去除时除去的第二区域
- [0071] 25 第二侧面的第一部段
- [0072] 26 第一侧面的第三部段
- [0073] 27 第二侧面的第二部段
- [0074] 28 第三侧面
- [0075] 29 切削刃口
- [0076] 30 激光器
- [0077] 31 光束轴线
- [0078] 32 光束锥

具体实施方式

[0079] 在图 1 至 4 中在第一实施例中示出用于工件加工的方法的不同步骤。图 1 示出在首次材料去除前工件 1 的侧视图。所述工件是坯料。这里工件 1 设置在未示出的工件支座上。激光束 2 对准工件 1。激光束由激光源产生并通过光束导向装置对准工件 1 并在工件

1 上引导。激光源和光束导向装置在附图中没有示出。在图 1 中工件 1 以第一侧面 3 向上定向。侧面 3 对应于工件 1 的正面。激光束 2 以其光束轴线按角度 δ 对准工件 1。这里对于该角度有 $\delta = \beta - \theta/2$ 。B 是开始材料去除的侧面 3 与通过材料去除形成的侧面 5 之间的角度。 Θ 是激光器的光束张角。

[0080] 角度 δ 在首次和第二次材料去除时在开始材料去除的侧面上测得。所述角度基于所述侧面的被去除材料的部分测得。在图 1 中这是第一侧面 3 的第一部段 7。

[0081] 在图 10 中示出具有其光束轴线 31 和张开锥 32 的激光器 30。光束锥的张角是光束张角 θ 。光束轴线在光束锥 31 的中央延伸。 $\theta/2$ 是光束张角的一半。光束锥是正圆锥。底面是圆。中央的光束轴线是延伸通过圆形的底面和锥顶的直线。 $\theta/2$ 对应于光束锥的生成线(Erzeugende)和中央的光束轴线之间的角度。光束锥通过激光器 30 的激光和在图中未示出的透镜或透镜系统产生。所述透镜或透镜系统位于激光器壳体中。所述透镜或透镜系统是激光聚焦到工件 1 的表面上。激光器 30 和工件 1 有利地设置成,使得焦点位于工件的表面上。在取出工件的材料时,补充调整激光束的焦点,使得所述焦点始终位于正在加工的表面上。

[0082] 利用激光束 2 在首次材料去除中除去工件 1 的区域 4,并形成在图 1 中用虚线示出的新的、第二侧面 5。为此,相对于工件 1 引导激光束 2 运动,以便逐层地在第一侧面 3 上开始去除材料直至到达背向第一侧面 3 的第四侧面 6。第四侧面 6 平行于第一侧面 3。所述第四侧面对应于工件 1 的背面。一个第一部段 7 在首次材料去除之后从第一侧面 3 上消失。留下了第一侧面 3 的第二部段 8。在首次材料去除后第一部段 9 从第四侧面 6 上消失。留下了第四侧面的第二部段 10。

[0083] 图 2 示出在首次材料去除后的工件 1。工件 1 的区域 4 被除去。工件 1 具有新的第二侧面 5。在首次材料去除之后,工件的第一侧面 3 中还剩下第二部段 8。在首次材料去除之后,第四侧面 6 还剩下第二部段 10。第二侧面 5 在第一侧面的第二部段 8 中与第一侧面 3 邻接。第二侧面 5 与第一侧面 3 的第二部段 8 构成共同的棱边 11。此外,第二侧面 5 还在第四侧面的第二部段 10 中与第四侧面 6 邻接。第二侧面 5 与第四侧面 6 的第二部段 10 构成共同的棱边,该棱边平行于棱边 11。第二侧面 5 直接与第一侧面 3 和第四侧面 6 相邻。第二侧面 6 和第一侧面 3 的第二部段 8 成角度 β ,该角度小于 90° 。由于第一侧面和第四侧面相互平行,第二侧面 5 和第三侧面 6 的第二部段所成的角度为 180° 减去 β 。由于首次材料去除以激光器在第二侧面 3 上开始,第二侧面 5 与第一侧面 3 的第二部段 8 之间的棱边 11 具有大的棱边半径。棱边 11 因此是倒圆的并不形成锋利的棱边结构。这在图 2 的一个局部中放大示出。

[0084] 在首次材料去除之后,改变工件 1 和 / 或激光束 2 的定向,使得激光束在背向第一侧面 3 的一侧到达工件 1。如图 3 所示,在改变定向之后激光束 2 ‘到达第二侧面 5。激光束 2 ‘以角度 $\delta' = \beta' - \theta/2$ 朝第二侧面 5 定向。这里 β' 是开始第二次材料去除的第二侧面 5 与通过第二次材料去除形成的第三侧面 13 之间的角度。 $\theta/2$ 等于激光束的光束张角的一半。

[0085] 接下来,引导激光束在第二侧面上运动,以便在第二次材料去除中逐层地从工件 1 上除去第二区域 12。此时第二侧面的第一部段 17 消失,第一侧面的第二部段 8 的一部分也消失。由此形成第三侧面 13,第三侧面在图 3 中用虚线示出。在第二次材料去除时从工件

上除去的区域 12 明显小于在首次材料去除时除去的区域 4。

[0086] 图 4 示出在第二次材料去除后的工件 1。第二次材料去除在第二侧面上开始并在第一侧面 3 上结束。在第二次材料去除之后,在工件 1 上留下第一侧面 3 的第三部段 14 和第二侧面 5 的第二部段 15。第三侧面 13 以角度 α 相对于第一侧面 3 倾斜。这里 α 小于 90° 且大于 β 。通过第一侧面 3 的第三部段 14 以及通过第三侧面 13 形成切削楔。A 相当于楔角,第一侧面 3 的第三部段 14 相当于切削面,而第三侧面 13 相当于自由面。第三侧面 13 和第一侧面的第三部段构成共同的棱边。该棱边是切削刃口 16。切削楔的切削棱边 16 具有与在图 2 中示出的第一侧面 3 和第二侧面 5 之间的棱边明显更小的棱边半径。

[0087] 第三侧面 13 和第二侧面 15 的第二部段以两个不同的角度相对于第一侧面倾斜。第一侧面 3 和第三侧面 13 之间的角度 α 这里大于第一侧面 3 与第二侧面 5 之间的角度 β 。第三侧面和第二侧面 5 的第二部段之间的角度为 180° 减去 α 加上 β 。

[0088] 图 5 和 6 示出在首次材料去除的工件 1。其中示出第二侧面 5 和第三侧面 13。

[0089] 在图 7 中示出在第二次材料去除后工件 1 的透视图。

[0090] 图 8 示出所述方法的第二实施例。在首次材料去除方面,第二实施例与第一实施例相同。在图 1 和 2 中示出的关于工件 1 和激光束 2 的第一次定向以及首次材料去除的方法步骤因此在第二实施例中也是相同的。与第一实施例相同的附图标记在图 8 中示出的第二实施例中与第一实施例相同。在首次材料去除时,激光束 2 以其光束轴线相对于第一侧面 3 以角度 $\delta_1 = \beta_1 - \theta/2$ 定向。 β_1 是材料去除开始的侧面 3 和通过材料去除形成的侧面 5 之间的角度。 θ 是激光器的光束张角。第一和第二实施例之间的区别在于工件 1 与激光束之间相对于彼此的第二次定向。在第二次定向之后,激光束 2' 以与第一实施例不同的角度 $\delta_1' = \beta_1' - \theta/2$ 到达第二侧面。第二次材料去除在第二实施例中在第二侧面 5 上开始,并在第一侧面 3 上结束。在第二次材料去除中,从工件 1 上除去第二区域 18。这里第一侧面 3 的第二部段的一部分以及第二侧面 5 的第一部段 19 消失。第一侧面的第三部段 20 和第二侧面 5 的第二部段 21 被留下。此外还形成新的第三侧面 22,第三侧面与第一侧面的第三部段 20 相邻,并与第二侧面 5 的第二部段 21 相邻。第三侧面 22 与第一侧面的第三部段 20 之间的棱边在第二次材料去除结束时形成。该棱边是切削刃口 23。第一侧面 3 和第三侧面 22 之间的角度 α_1 大于 90° 。

[0091] 图 8a 示出图 8 的一个局部。在该局部中示出角度 δ_1' 和 β_1' 。

[0092] 图 9 示出所述方法的第三实施例。在首次材料去除方面,第三实施例与第一实施例和第二实施例相同。在图 1 和 2 中示出的关于工件 1 和激光束 2 的第一定向以及首次材料去除的方法步骤因此在第三实施例中也是相同的。与第一实施例相同的附图标记在图 9 中示出的第三实施例中与第一实施例相同。在首次材料去除时,激光束 2 以其光束轴线相对于第一侧面 3 以角度 $\delta_2 = \beta_2 - \theta/2$ 定向。 β_2 是材料去除开始的侧面 3 和通过材料去除形成的侧面 5 之间的角度。 θ 是激光器的光束张角。第一和第三实施例之间的区别在于工件 1 与激光束之间相对于彼此的第二次定向。在第二次定向之后,激光束 2'' 以角度 $\delta_2' = \beta_2' - \theta/2$ 到达第一侧面 3,具体而言到达第一侧面 3 的第二部段 8。与第一和第二实施例不同,激光束 2'' 在第二次定向之后对准第一侧面 3,而不对准第二侧面 5。第二次材料去除在第三实施例中在第一侧面 3 上开始并在第二侧面 5 上结束。在第二次材料去除中,从工件 1 上除去第二区域 24。这里第一侧面 3 的第二部段 8 的一部分以及第二侧面 5

的第一部段 25 消失。第一侧面的第三部段 26 以及第二侧面 5 的第二部段 27 被留下。此外还形成新的第三侧面 28, 该第三侧面与第一侧面的第三部段 26 以及与第二侧面的第二部段 27 相邻。第三侧面 28 和第二侧面 5 的第二部段 27 之间的棱边在第二次材料去除结束时形成。该棱边是切削刃口 29。切削楔与第一和第二实施例不同通过第三侧面 28 和第二侧面 5 的第二部段 27 形成。第三侧面 28 和第二侧面 5 的该第二部段 27 之间的角度是楔角 γ 。

[0093] 本发明的所有特征可以单独地也可以按相互间任意地构成本发明的实质内容。

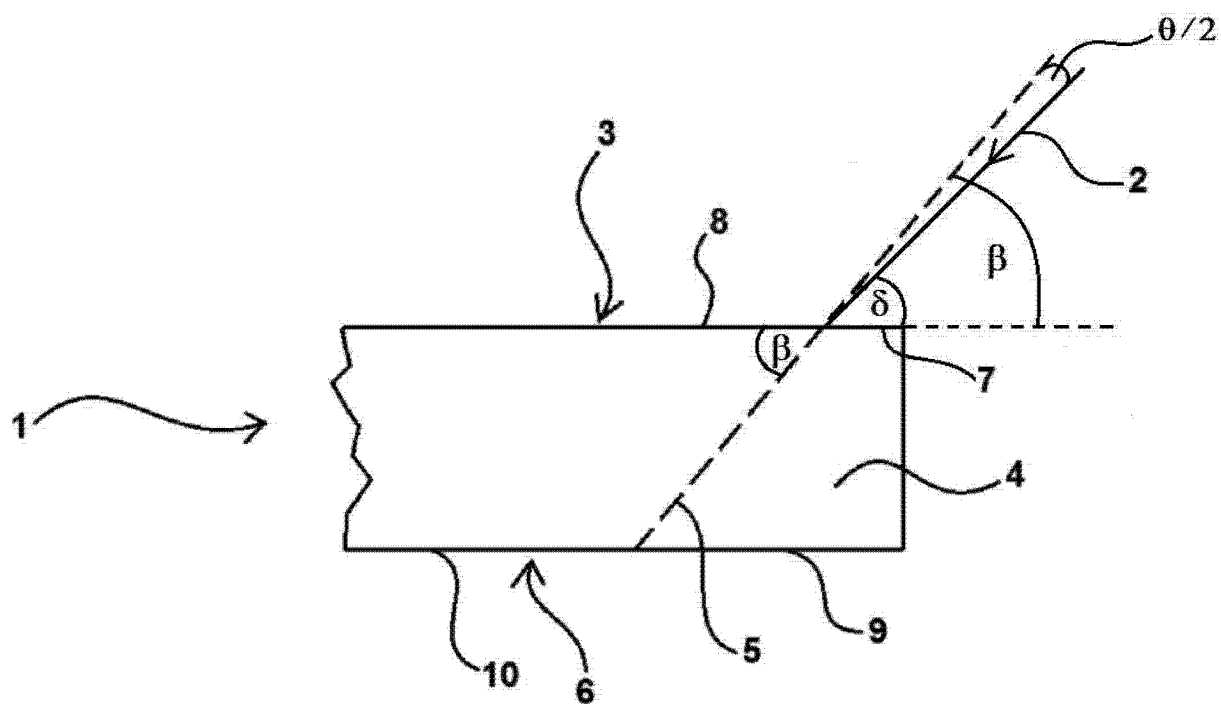


图 1

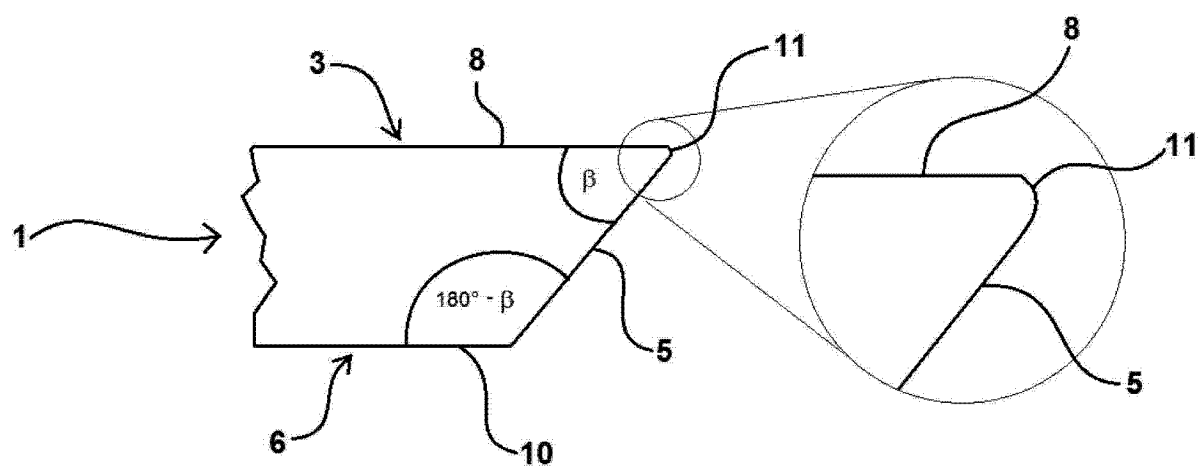


图 2

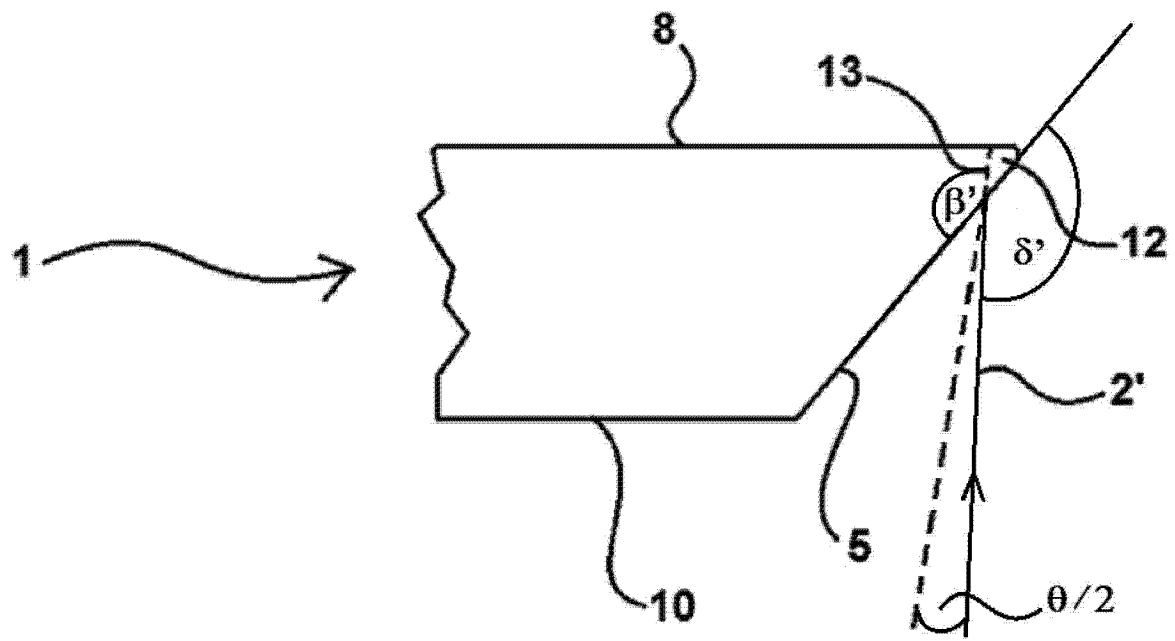


图 3

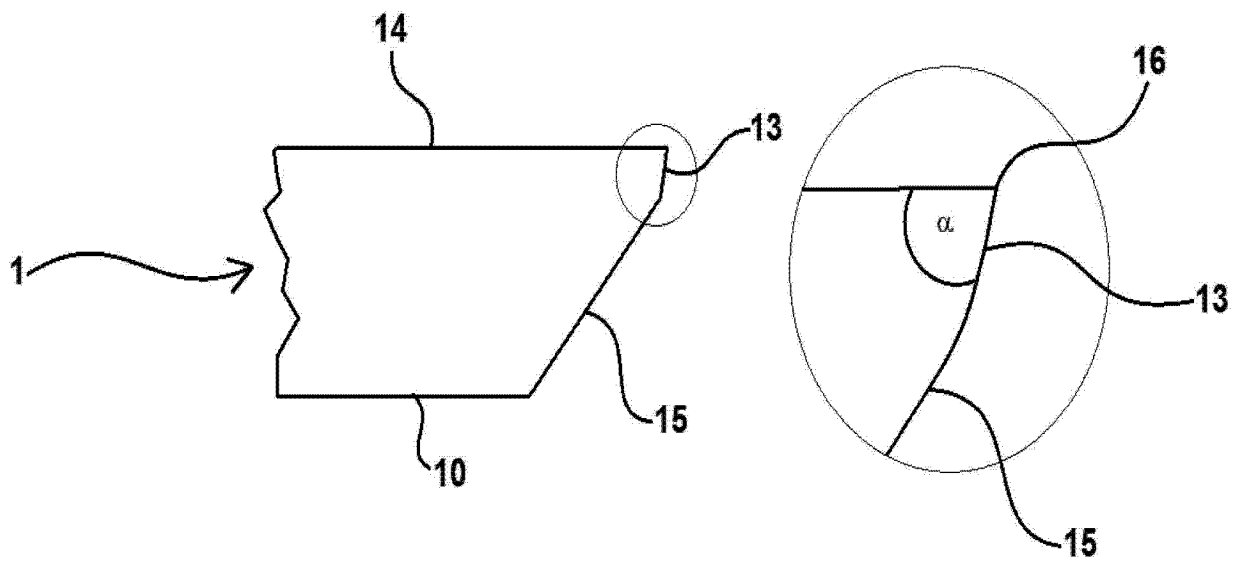


图 4

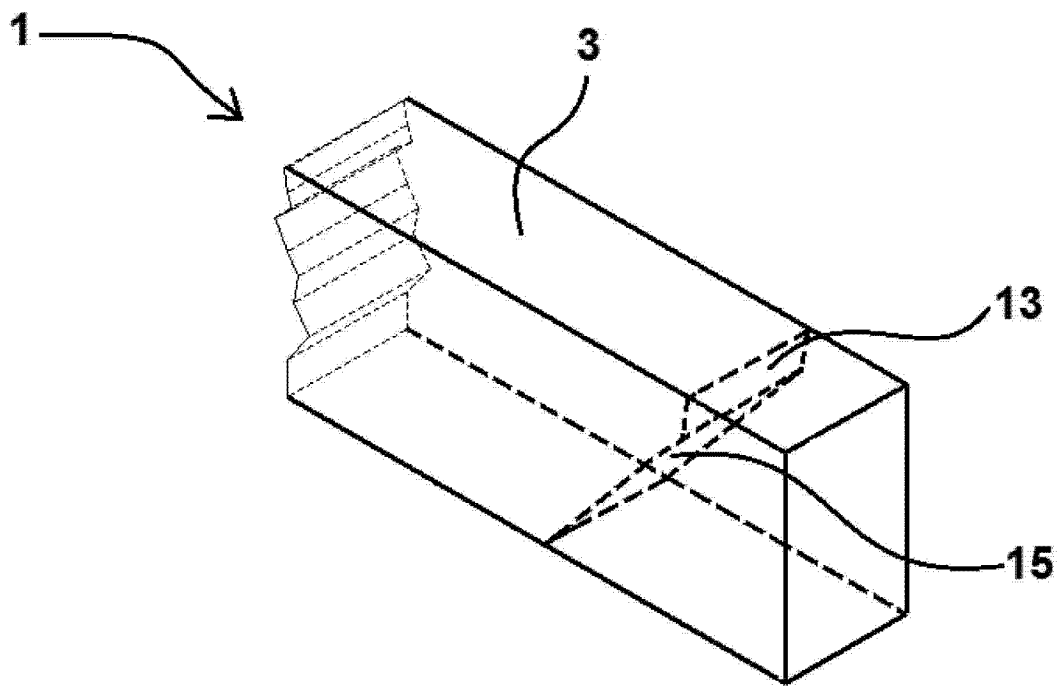


图 5

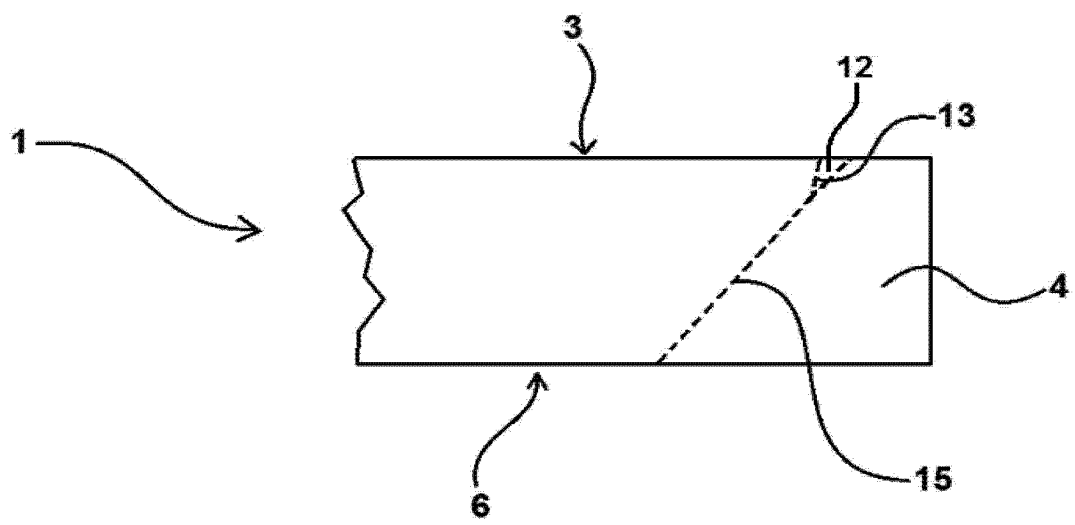


图 6

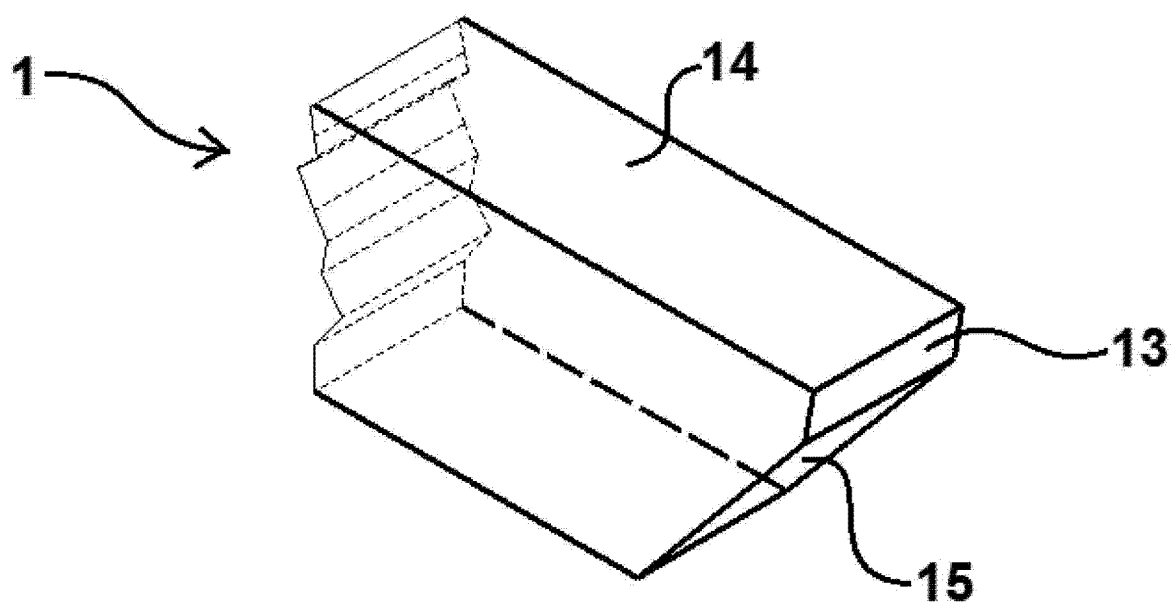


图 7

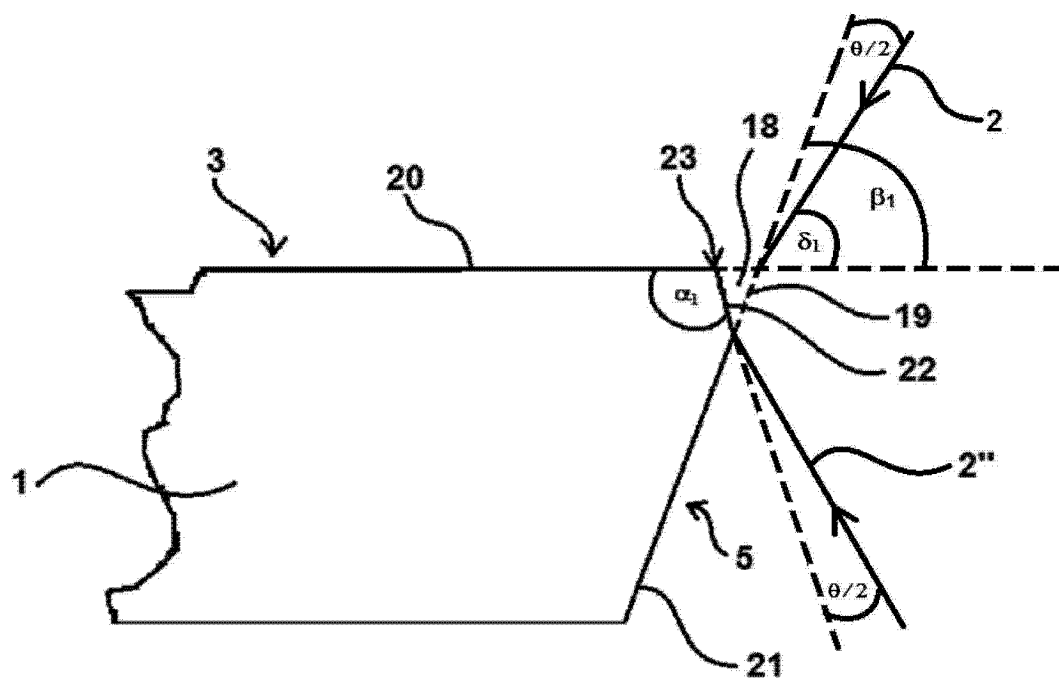


图 8

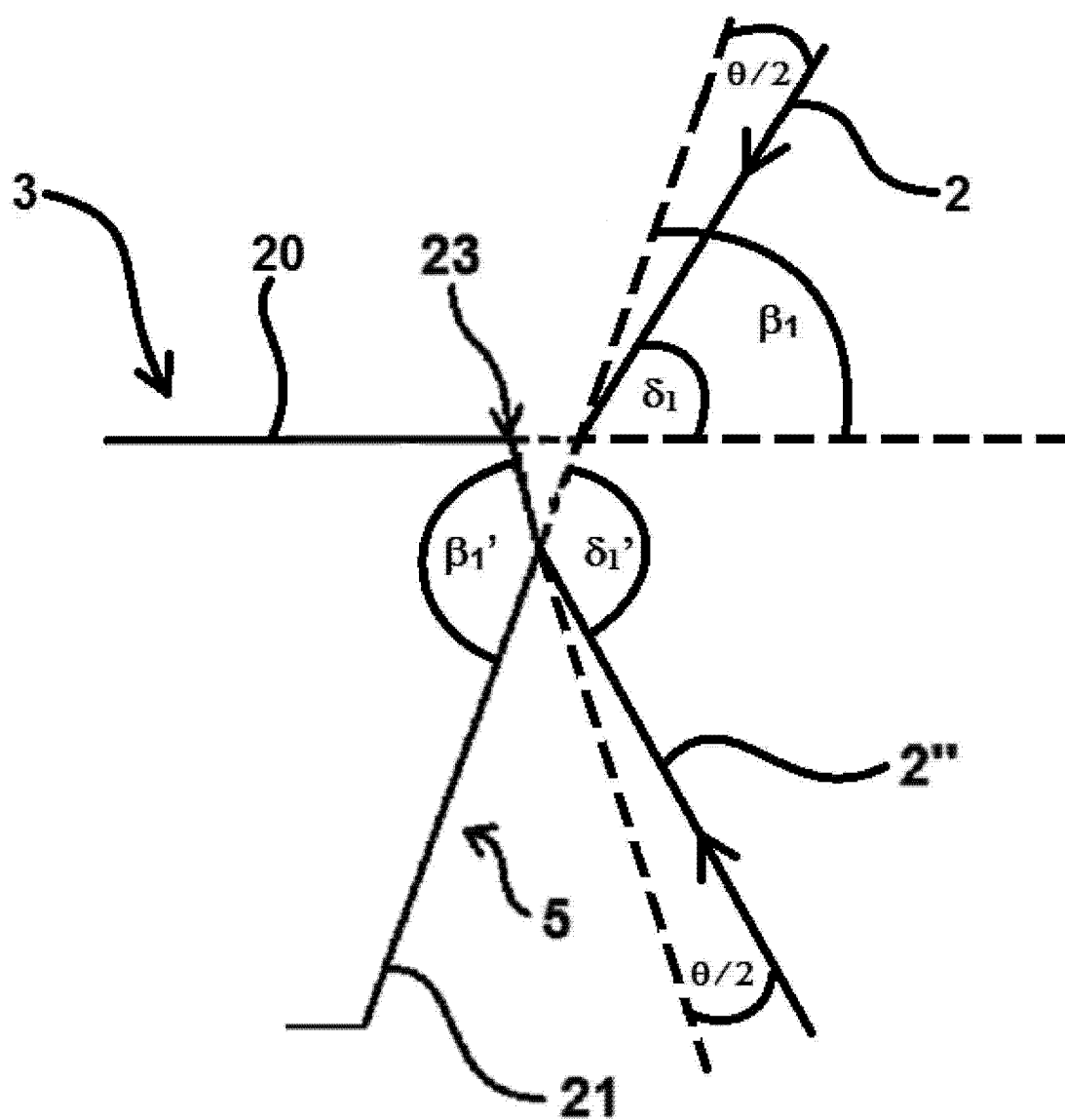


图 8a

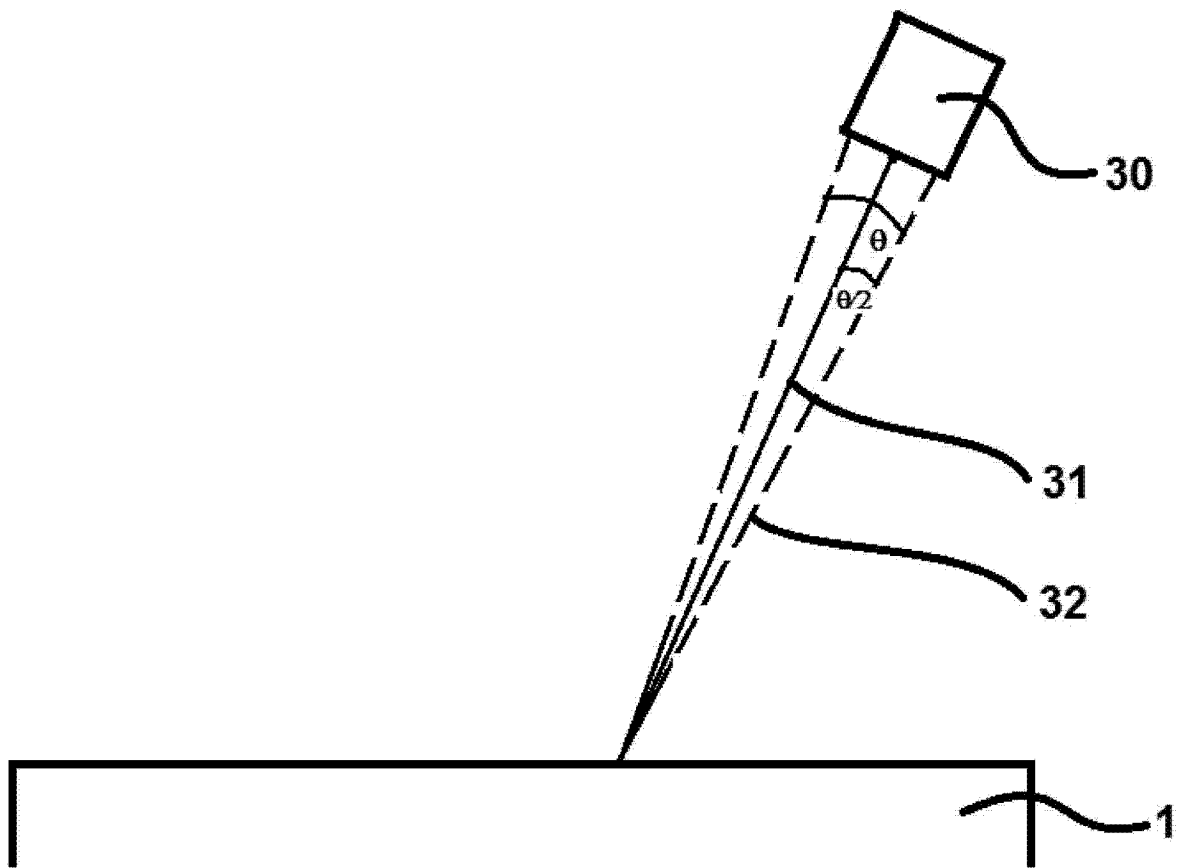


图 10