



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104768698 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 08

(21) 申请号 201380058362. X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 11. 08

B23K 26/00(2014. 01)

(30) 优先权数据

B23K 26/064(2014. 01)

102012110971. 0 2012. 11. 14 DE

B28D 5/00(2006. 01)

61/726, 065 2012. 11. 14 US

B23K 26/08(2014. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

B23K 26/38(2014. 01)

2015. 05. 07

B23K 26/402(2014. 01)

C03B 33/02(2006. 01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/073329 2013. 11. 08

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/075995 DE 2014. 05. 22

(71) 申请人 肖特公开股份有限公司

地址 德国美因兹

(72) 发明人 安德烈亚斯·奥特纳

安德烈亚斯·哈比克

克劳斯·格斯特纳

格奥尔格·哈泽尔霍斯特

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

代理人 梁晓广 关兆辉

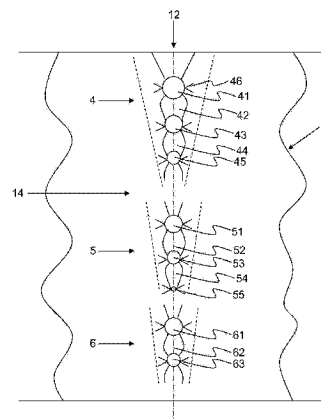
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

用于通过超短聚焦脉冲激光束制造线状成列的破坏部位的方法;用于借助超短聚焦激光束在使用保护气体环境的情况下分离工件的方法和设备

(57) 摘要

本申请尤其涉及一种对透明工件 (2) 进行分离准备的方法。借助超短激光脉冲 (12) 沿着预定断裂线产生横向穿过工件 (2) 延伸的、彼此成列的长丝结构 (4、5、6)。在随后的步骤中实施对工件 (2) 的分离。



1. 一种用于在透明工件 (2) 中制造线状成列的破坏部位 (14) 的方法, 所述方法具有下列步骤:

a) 提供激光加工设备 (1), 所述激光加工设备具有超短脉冲激光器 (10) 和聚焦光学器件 (11), 其中, 激光束的波长处在所述工件 (2) 的透射范围内;

b) 提供工件台 (3) 和移动装置, 用于在所述工件 (2) 中制造破坏部位 (14) 期间将所述聚焦光学器件 (11) 定位到所述工件 (2) 上, 并且在此之后用于在聚焦光学器件 (11) 与工件台 (3) 之间沿着所述破坏部位 (14) 的列的线 (20) 逐步地相对移动;

c) 在所述聚焦光学器件 (11) 在每个破坏部位 (14) 上定位期间, 在两个或多个彼此相继的周期中发出激光脉冲, 其中, 所述激光脉冲在每个周期中的能量被确定为用于在所述透明工件 (2) 中形成相应的长丝结构 (4、5、6), 并且横向穿过所述工件 (2) 延伸的、相继成列的长丝结构 (4、5、6) 在所述彼此相继的激光脉冲周期中产生。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 每个长丝结构都具有珠串状地横向于板状的工件延伸的多个聚焦部位和散焦部位。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其中, 聚焦光学器件 (11) 相对工件 (2) 的相对移动的步长处在所述长丝结构 (4、5、6) 沿着所述线状成列的破坏部位的侧向尺寸的大小范围内。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任意一项所述的方法, 其中, 根据所述工件的局部厚度来确定在一个破坏部位 (14) 处的彼此相继的激光脉冲周期的数量。

5. 根据权利要求 1 至 4 中任意一项所述的方法, 其中, 所述聚焦光学器件 (11) 产生具有以下横截面的辐射光束 (12), 所述横截面在所述线状成列的破坏部位 (14) 的方向上比在横向于所述线状成列的破坏部位 (14) 的方向上延展更宽。

6. 根据权利要求 5 所述的方法, 其中, 所述聚焦光学器件 (11) 能在更宽的辐射光束横截面延展尺寸上进行调节, 并且较大的横截面延展尺寸的方向根据所述线状成列的破坏部位的走向进行调整。

7. 根据权利要求 1 至 6 中任意一项所述的方法, 其中, 所述工件 (2) 在制造所述线状成列的破坏部位期间被保持在中性气体环境下, 以便避免过早地沿着所述线状成列的破坏部位断裂。

8. 一种用于分离和分裂工件的方法, 其中, 在该方法之前实施了根据权利要求 1 至 6 中任意一项所述的用于制造线状成列的破坏部位的方法作为准备步骤。

9. 根据权利要求 8 所述的方法, 其中, 为了有助于所述工件 (2) 的分离和分裂, 给所述破坏部位 (14) 供应具有 OH 离子份额的气体。

10. 一种用于借助聚焦的激光辐射分离工件的方法, 所述方法包括以下步骤:

- 给所述工件施加第一保护气体环境;
- 将超短脉冲激光对准所述工件, 其中, 所述工件在激光辐射的波长范围中是透明的;
- 通过激光辐射, 在所述工件的预定体积中产生到达深处的长丝状的材料改性;
- 在激光辐射后, 给所述工件施加具有较高的 OH 离子份额的第二气体环境作为保护气体环境;
- 沿着通过材料改性确定的分离区域分裂所述工件。

11. 根据权利要求 10 所述的用于分离工件的方法, 其中, 所述工件包括预加应力的玻

璃或玻璃陶瓷。

12. 一种用于借助聚焦的激光辐射分离工件、特别是预加应力的玻璃或玻璃陶瓷的设备,所述设备包括:

- 用于容纳所述工件的工件空间;
- 用于将工件供应到所述工件空间中的供应装置;
- 超短脉冲激光源,以便通过激光辐射在所述工件的预定体积中产生到达深处的长丝状的材料改性;
- 用于使所述工件和 / 或所述激光源相对彼此运动的设备;
- 用于将湿蒸汽供应到所述工件空间中的湿蒸汽供应装置;以及
- 用于沿着通过材料改性确定的分离线来分离所述工件的分离设备。

用于通过超短聚焦脉冲激光束制造线状成列的破坏部位的方法 ;用于借助超短聚焦激光束在使用保护气体环境的情况下分离工件的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明涉及用于借助超短脉冲激光分离工件和基材的准备。使用特别是预加应力的玻璃或玻璃陶瓷作为工件材料。本发明也涉及工件的分离。

背景技术

[0002] 由 WO 2012/006736 A2 公开了通过克尔效应会导致在玻璃中形成长丝 (Filament) 形式的不可逆的破坏。这些在玻璃中的彼此串联的破坏能够实现分离透明基材。长丝通过超短激光脉冲生成。在此,激光辐射在玻璃内部由于克尔效应而自聚焦,直至能量密度在一个点高至点燃等离子。发生等离子爆炸,其中,玻璃在这些等离子生成部位周围遭受不可逆的破坏。其他自聚焦且在等离子爆炸中结束的光束从那里发出。这种效应视强度而定地重复多次。能量在整个玻璃厚度上减小,因此第一等离子点具有最大的能量并且也产生了最大的破坏。此外,等离子点是圆形的,这导致沿所有方向发散的缺陷统计分布地出现。

[0003] 对于具有压入的应力的玻璃、例如对于以化学方式预加应力的玻璃,可以发生自发的自断裂。这正好显著影响了较大玻璃板的加工。由于断裂导致玻璃板的位置改变。无法进行进一步的精加工。

[0004] 专利文件 DE 103 13 044 B3 说明了一种切割材料或给材料钻孔的方法。在此,也充分利用了由于高强度超短激光脉冲而出现的非线性光学效应,以便借助激光辐射的交替的聚焦和散焦产生长丝。因此,长丝是通过高强度激光光束产生的小直径的通道。

[0005] 此外,文献 DE 10 2006 042 280 A1 说明了一种通过激光加工透明材料的方法。根据 DE 10 2006 042 280 A1,采用超短激光脉冲,以便不仅在材料上产生表面沟纹而且在材料的体积内产生一个或多个激光改性的区域。最终导致分离的裂口在表面划痕结构上实现,并且向下穿过基材材料地进一步扩展。在表面沟纹过于平的情况下,裂口易于发生迁移。对具有保持不变的高品质的断裂棱边的产生并没有进行说明。

[0006] DE 10 2007 028 042 B2 也说明了一种对透明材料进行激光加工的方法,其中,使用在纳秒范围内的脉冲激光束。根据 DE 10 2007 028 042 B2,给出的光束强度范围,其中,出现了材料改变,而没有出现等离子辉光。

[0007] 总之,公知有不同方法,它们能够实现借助超短脉冲激光束在材料的体积中对区域进行改性,并且进而提供分离方法的组成部分。但例如对于分割以这种方式改性的基材所需的分离和分裂,迄今还没有可用的充分工业化的工艺。该问题特别是针对包括预加应力的玻璃和玻璃陶瓷在内的基材提出,这是因为这种基材在其通过超短脉冲激光束加工时,由于预加应力更易于不受控地分裂。

[0008] 但是,针对工业化的应用,不仅针对在基材中或上产生分离线需要精确控制,而且针对分离或者说分裂也需要精确控制,以便能产生带有保持不变的高品质的断裂棱边,并

且保障该过程的稳定性和可靠性。这特别是在预加应力的玻璃的情况下是非常困难的,因为通过激光束造成的材料改性可能导致裂纹不受控地出现以及扩展,从而使精确地控制分离变得非常困难。

[0009] 下面列出了问题所在:

[0010] 1) 借助形成长丝来进行分离/钻孔:由于工艺导致不均匀地构造出长丝:在产生长丝的激光辐射的进入侧上,由于高的起始能量密度,与随后的处在工件更深处的等离子点相比,点燃了相对更大的等离子体积,也就是说,破坏的通道(即构造出的长丝结构)在工件中锥状地延伸。造成的破坏(微裂纹)因此在激光辐射的进入侧上明显比在射出侧上更强。定向的强度试验(四点弯曲等)表明:在0.7mm的玻璃厚度的情况下就已经在棱边强度上产生了明显的区别。

[0011] 2) 等离子生成部位的空间几何结构:通过自聚焦产生的等离子生成部位基本上拥有具有球对称的能量分布的球对称形式,其导致与方向无关的以统计分布形式围绕等离子体积的微裂纹。由此,裂纹也伸入之后的断裂棱边中并且起降低强度的作用。

[0012] 3) 自发断裂:在被施加以压力的脆性材料形成长丝时,在该过程期间发生不受控的自发断裂,这导致废品率提升。此外,通过自发断裂还发生工件的位置偏移,这使自动化的过程变得困难或者甚至完全阻碍了自动化的过程。

发明内容

[0013] 本发明应当尤其是提高了所产生的棱边的品质。

[0014] 对本发明在独立权利要求中进行了限定。本发明的优选实施方式和改进方案从各从属权利要求中得出。

[0015] 通过本发明改进了针对脆硬材料的分离过程。

[0016] 1) 多长丝化(Multifilamentierung):相对于现有技术,作为分开工件的分离准备不仅通过产生单独的锥状延伸的长丝结构来实现,而且还通过使多个长丝结构的彼此串联来实现。与利用单独的贯穿工件的长丝结构的分离过程相比,这些长丝结构中的每一个单独的长丝结构都是比较窄的,并且产生了明显更少的横向于长丝结构的微裂纹。这种单独的长丝结构的较小锥度(=长丝+微裂纹)在整体上产生了加工通道的更高的几何准确性以及在分离工件之后断裂棱边的较高的边沿强度。

[0017] 单独的长丝结构通过皮秒/飞秒脉冲产生,其由激光辐射的射出侧开始被划分开并且在时间上错开,并被引入工件中。可以通过多个脉冲序列在相同的激光功率下,在相应地降低切割速度的情况下实现更大的切割深度。

[0018] 2) 等离子体的空间几何形状可以通过特种光学元件来影响。产生了激光辐射光束的细长形状的横截面,例如披针形的、椭圆形的或者水滴形的横截面。由此,获得了通过等离子体爆炸产生的破坏/裂纹的能够控制的优选方向。

[0019] 激光辐射光束的横截面在倒圆或方向变换处应当以其在工件分离方向上的纵向延伸尺寸来调整/改变。

[0020] 3) 在保护气体环境下的长丝制造尤其是一种机械制造的概念,其中,制造设备被设计为使得实现了对环绕待加工的工件的气体环境的限定的调节。

[0021] 通过有针对性地进行调整的气体环境,可以阻止或防止工件的自发断裂。

[0022] 本发明还涉及一种借助聚焦的激光束分离基材的方法,其包括以下步骤:

[0023] - 给基材施加保护气体环境,

[0024] - 将超短脉冲激光束定向到基材上,其中,基材在激光束的波长范围中是透明的,

[0025] - 通过激光辐射,在基材的预定体积中产生到达深处的、长丝状的材料改性,

[0026] - 沿着通过材料改性而确定的分离线分裂基材。

[0027] 通过脉冲的超短激光束可以在透明材料中导致两种非线性光学效应。一个是光学克尔效应,另一个是激光辐射在等离子泡中的散焦效应。这些效应是已经公知的并且因此应仅简要地概述。

[0028] 克尔效应描述的是:透明材料(在激光束的波长范围中是透明的)的光学性依赖于施加或出现的电场强度的改变。随着激光辐射,在透明材料中出现电场,其强度依赖于激光束光强。电场导致改变被辐射的材料的光学性能,其中包括提高折射率。这又导致激光束的自聚焦。

[0029] 由于自聚焦以及由此导致的光束横截面变小,与面积相关的功率密度强烈地增大,因此光束强度强烈地增大并且可以达到非常高的值。由此,电场进一步加强,这导致多光子离子化。在分子或原子的情况下,离子化指的是电荷分离以及在聚焦点处的等离子形成。在任何情况下,在聚焦点处都产生对基质材料的破坏,其在之后也被称为材料改性并且表现为等离子泡。

[0030] 在局部出现等离子泡的区域中,发生激光辐射的散焦,下一激光辐射聚焦又与该散焦紧挨着。以这种方式,可以在基材材料中产生一种珍珠链,其由多个彼此相继成列的聚焦区域和散焦区域组成并且被称为长丝。

[0031] 通过聚焦和散焦导致基材材料中的激光辐射的扩展,其中,材料在深处经受一种穿孔。对于加工例如玻璃的透明材料,这种效应是公知的并被利用以便例如通过基材相对于激光束的运动而在基材中产生一种穿孔的线作为预定断裂部位或者说分离线。

[0032] 通过更高的激光功率,可以实现相应更深的穿孔,其使得在穿孔区域中进行分离变容易。

[0033] 但是,有问题的是在预加应力的玻璃(也就是说在起始状态下已经具有提升的内应力的材料)的情况下使用更深的穿孔。如在 W02010/006736 A2 中所描述的那样,由于提升的内应力,可能会在被穿孔的区域中产生自发出现的裂纹形成和裂纹扩展。特别是在较高的激光功率下,在该过程期间就可能已经发生基材断裂。因此,工业化的应用明显变得更难,这是因为该分离过程无法被可靠地掌握和控制。

[0034] 本发明人发现:当在激光辐射基材期间,在工件上的特定的气体环境占支配地位时,可以减少或甚至完全阻止自发的裂纹形成。因此,当在激光辐射期间 OH 离子很少或不含 OH 离子的保护气体环境占支配地位时,明显地减少了或延缓了裂纹形成。

[0035] 通过在激光辐射期间施加氮气气体环境,可以在穿孔部位的区域中充分地延长直至出现自发断裂裂纹的时间间隔。

[0036] 以这种方式可以实现在基材出现自发断裂裂纹之前并且因此在基材断裂之前,结束激光辐射基材的过程。因此,基材在暴露在超短脉冲激光束下期间暴露在 OH 离子很少或不含 OH 离子的保护气体环境下。为此,可以采用相应地气密的空间,该基材在激光辐射期间被保持在该空间中。

[0037] 在其水含量小于 0.2 体积%、优选小于 0.1 体积%的保护气体环境下,得到了特别好的效果。

[0038] 通过激光辐射,可以由此在基材的预定体积中产生到达深处的、长丝状的材料改性,这与穿孔类似。基材的预定体积指的是如下特定的分离区域,应当沿着该分离区域产生穿孔并由此形成稍后的分离部位,或者说在基材表面形成分离线。

[0039] 特别有利的是,基材或激光辐射可以相对彼此移动,以便能够以这种方式沿着分离线在基材深处实现穿孔。在这种情况下,基材通常是可以移动的,例如可以通过 X-Y 轴调整装置移动,该 X-Y 轴调整装置能够在相对激光束保持间距不变的情况下实现基材的二维运动。该装置还可以额外地与 Z 轴装置相组合,以便能够调整基材与激光辐射之间的间距。

[0040] 在此,基材材料具有至少在激光束的波长范围中的光学透明度。在此,光学透明度在上述范围中为至少 80% /cm、优选至少 85% /cm,并且特别优选至少 90% /cm。由此,激光束可以进入材料中。

[0041] 在此,基材可以包括如下材料,该材料选自玻璃、蓝宝石或金刚石的组。令人惊讶的是,根据本发明的激光辐射还可以用于预加应力的玻璃,例如公知可以用于显示器,或者也可以在平板玻璃中使用。同样令人惊讶的是,还可以加工由玻璃陶瓷制成的材料。

[0042] 在基材中产生的沿路径到达深处的穿孔沿着分离线延展,应当在该分离线处进行基材的分离。在此,分离线可以是直线状的,但是也可以是非直线状的或者是弯曲的。因此,分离线例如还可以具有非常小的半径,以便能够实现大致与钻孔类似的材料分离。

[0043] 穿孔可以垂直地从基材表面到达深处。但是,它也可以相对表面成特定的角度地产生,以便例如在基材上产生倾斜的分离棱边。在这种情况下,激光辐射不是垂直的,而是以预定的角度对准基材表面。

[0044] 随后,沿着被穿孔的分离线进行材料分离。为此,需要通过穿孔产生的材料改性(等效于材料破坏)到达特定的范围,以便能够实现分离,该分离具有分离棱边在表面光洁度方面的特定的品质以及已分开的基材在强度方面的特定的品质。

[0045] 已证明,在穿孔到达基材材料厚度的至少 40%、优选至少 50% 并且特别优选至少 55% 时,可以在分离线处实现好的可分离性。在此,长丝彼此间应当具有间距,该间距处在约 200 μm 至 800 μm 的范围中。在此,长丝可以具有在约 15 μm 至 250 μm 的范围中的横截面。

[0046] 以这种方式,随后可以沿着分离线产生对基材材料的足够大的预破坏,其导致好的可分离性。通过沿着分离线分离材料可以构造出分离棱边,其中,这样产生的分离棱边的品质出人意料地好。

[0047] 分离棱边通常在穿孔的区域中具有带并排平行长丝的结构,并且在处于其下的分离棱边区域中具有珠串状的断裂结构。可以实现分离棱边的处在 $Ra < 100 \mu\text{m}$ 的范围中的粗糙度值。

[0048] 所产生的分离棱边的棱边强度也是高品质的。其借助 4 点弯曲试验而获知。在预加应力的玻璃的情况下,可以实现至少 120MPa 的强度平均值。

[0049] 激光源与波长范围相应地选择,基材在该波长范围中具有透明度。发射的光束的波长范围落入基材的透射范围内。

[0050] 激光辐射可以在空间上以高斯强度分布聚焦,以便实现足够高的强度。在这种情

况下,第一焦点处在基材内,也就是说处在基材体积中。如果激光脉冲出现在基材体积中的该点处,那么在那里可以发生等离子形成并由此发生材料改性。由于紧接着的散焦效应和进一步的聚焦效应可以在基材体积中产生长丝状的穿孔,其包括多个聚焦点。

[0051] 在例如透明玻璃中的聚焦点经常具有球状的接近对称的形状。但是借助特种光学元件也可以在预加应力的玻璃中产生具有非球状的空间构造的聚焦点。因此,例如可以产生具有椭圆的、披针形的或水滴状的形状的聚焦点。聚焦点的这种结构使得裂纹形成变容易,特别是通过从一个聚焦点到下一个聚焦点的改进的裂纹延展使得裂纹形成变容易,由此还可以实现分离棱边的更好的品质。

[0052] 根据本发明的合适的激光源以处在 10kHz 至 120kHz 之间的、优选处在 30kHz 至 110kHz 之间的并且特别优选处在 35kHz 至 105kHz 之间的重复率工作。

[0053] 在此,激光脉冲的合适的脉冲持续时间处在小于 100 皮秒、优选小于 10 皮秒并且特别优选小于 1 皮秒的范围中。激光源的功率在此特别有利地处在约 7 瓦至 12 瓦的范围中。

[0054] 针对在预加应力的玻璃上产生在深处穿孔的分离线,可以借助这种激光束实现非常好的结果。

[0055] 激光功率的提升特别是在预加应力的玻璃的情况下导致更易于自发的裂纹形成,但在未预加应力的玻璃的情况下可以实现更密的穿孔,这又改进了可分离性。

[0056] 此外,本发明还涉及一种用于借助聚焦的激光辐射分离基材,特别是预加应力的玻璃或玻璃陶瓷的设备,其包括:

[0057] - 用于容纳基材的气密空间,

[0058] - 超短脉冲激光源,

[0059] - 用于使基材和 / 或激光源相对彼此运动的设备,其中,

[0060] - 给基材施加保护气体环境,

[0061] - 将超短脉冲激光束对准基材,其中,基材在激光束的波长范围中是透明的,

[0062] - 在基材的预定体积中通过激光辐射产生到达深处的、长丝状的材料改性,

[0063] - 沿着通过材料改性确定的分离线进行分离。

[0064] 本发明还涉及一种由预加应力的玻璃或玻璃陶瓷制成的物品,其至少在一侧通过根据本发明的方法被加工。

[0065] 在用于借助聚焦的激光辐射分离基材、特别是预加应力的玻璃或玻璃陶瓷的方法的改进方案中,在沿着稍后的分离部位完成基材穿孔之后,将基材暴露在第二气体环境下。该第二气体环境与保护气体环境(即第一气体环境)的不同之处在于其 OH 离子含量。因此,第二气体环境的 OH 离子含量高于第一气体环境的 OH 离子含量。

[0066] 本发明人发现,OH 离子的份额增加可以有助于沿着被穿孔的分离线的工件分离或断裂。因此,通过施加富集了 OH 离子的气体环境(例如湿蒸汽)可以支持并进而控制裂纹形成。以这种方式,还可以有针对性地影响用于产生材料分裂的断裂的过程步骤,从而实现了简单的工业化的可应用性。特别是可以阻止自发断裂裂纹的出现。

[0067] 通过具有至少 1.4 体积%、优选至少 2 体积%的 OH 离子含量的第二气体环境,产生了特别好的效果。

[0068] 因此,也可以特别有利的是,用于容纳基材的空间气密地构造,从而可以用简单的

方式调整出 OH 离子很少的气体环境。此外,也可以特别有利的是,该空间还被构造成用于给基材施加富集 OH 离子的气体环境。

[0069] 但是,该设备同样可以包括两个分开的空间,它们分别被构造成用于施加第一或第二气体环境。

[0070] 本发明的其他细节由对所示实施例的说明以及所附的权利要求得出。

附图说明

[0071] 结合附图对本发明的实施例进行说明。在附图中:

[0072] 图 1 示出在对工件台上的工件进行加工期间的激光加工设备;

[0073] 图 2 示出图 1 中的放大的细节;

[0074] 图 3 示出激光加工设备的椭圆形的光束横截面;

[0075] 图 4 示出披针形的光束横截面;并且

[0076] 图 5 示出水滴状的光束横截面。

具体实施方式

[0077] 图 1 示出在工件 2 之上的激光加工设备 1,该工件放置在工件台 3 上。该激光加工设备具有超短脉冲激光器 10 和聚焦光学器件 11,以便发出聚焦的辐射光束 12,其焦点 13 大致位于工件 2 的顶侧。在工件 2 上示出了分割线或断裂线 20,应当沿着其将工件分割或分裂开。焦点 13 可以沿着该线 20 行进,这可以通过在两个坐标方向 21、22 上对台进行调节来实现。采用了非常小的调节步长。

[0078] 超短脉冲激光器 10 可以在两个或多个相继的周期中发出激光脉冲。光束的波长选择为使该波长处于工件 2 的透射范围内。激光脉冲的能量确定为使得分别形成横向于工件 2 表面的线状的破坏部位 14。通过使聚焦光学器件 11 沿着预设的断裂线 20 行进,在工件 2 中产生一系列破坏部位 14,它们在一定程度上限定出预设的断裂面。本发明涉及这种线状成列的破坏部位 14 的制造。

[0079] 图 2 示意性示出横向穿过工件 2 的破坏部位 14。在所示实施例中,破坏部位 14 包括三个在一条线上对齐的长丝结构 4、5 和 6。这些长丝结构中的每个都通过超短激光脉冲产生。在长丝结构 4 的情况下,通过激光辐射光束 12 的自聚焦,这导致产生等离子部位 41,工件材料在该等离子部位转变为等离子相,这伴随有射出的光束 42,该光束通过自聚焦导致另一等离子部位 43,并且该过程继续进行直至激光脉冲的能量耗尽。由于热膨胀,在等离子形成部位 41、43、45 处在一定程度上发生等离子爆炸,其主要是沿着在工件内部形成的空隙导致裂纹形成,这是期望的,但如通过裂纹 46 示意性示出的那样,还与该通道横向地导致裂纹形成。这些横向裂纹 46 是不期望的并且在本发明中应当保持尽可能小。

[0080] 为了这个目的,在多个阶段中来制造破坏部位 14。这通过在两个或多个相继的周期中发出激光脉冲实现。在此,激光脉冲在周期期间的能量选择成使得在发射周期期间仅产生小且少的等离子爆炸部位那么小。由此,大幅减小了破坏性的侧向裂纹 46 的形成。沿着长丝结构 4 构造出空隙和空隙裂纹,它们预示了迟些时候在工件中会发生断裂。

[0081] 在第二脉冲周期中,长丝结构 5 以与长丝结构 4 相似的方式产生。在此,形成了等离子泡 51、53、55 和散焦-聚焦部位 52、54;类似地,在第三脉冲周期中形成了等离子泡 61、

63 和散焦 - 聚焦部位 62。由于之前在破坏部位的方向上形成的空隙和空隙裂纹,达到了较大的深度延伸,其在某种程度上提供了用于第二激光脉冲周期和后续激光脉冲周期的引导通道。相继的激光脉冲周期的数量根据工件 2 的厚度来确定。

[0082] 为了有助于在断裂面 20 的方向上的空隙形成,适宜的是:选定激光辐射光束的横截面形状,其在期望的断裂方向上具有延展尺寸。

[0083] 这些横截面在图 3、图 4 和图 5 中示出。椭圆形的横截面形状可以通过组合的柱面透镜由激光辐射的原先为圆形的横截面形状来获得。

[0084] 辐射横截面在图 4 中示出的披针形状和在图 5 中示出的水滴形状可以通过特种透镜来获得。在这些形状的情况下,有助于形成在期望的断裂线 20 的方向上的空隙裂纹和空隙。

[0085] 如所示那样,当断裂线具有曲线形状时,激光辐射光束必须被调整为使得较大的横截面延展尺寸指向期望的断裂方向。

[0086] 在加工脆性材料时存在以下危险,即,当沿着预设的断裂线 20 的所有破坏部位还没有全部完成时,就发生材料的自发断裂。为了降低或者完全避免这种危险,加工在“中性的”气体环境下实施,例如在氮气中实施。这样获得了预备好用于分离或分裂的工件。最终的分离或分裂于是借助将机械压力施加到工件上并且在水蒸气或其他含羟基 OH 的气体环境下进行。

[0087] 要注意的是,线状成列的破坏部位 14 的间距选择得越紧密,在分离平面中的断裂就越细微。该间距与破坏部位的直径处于同一数量级。

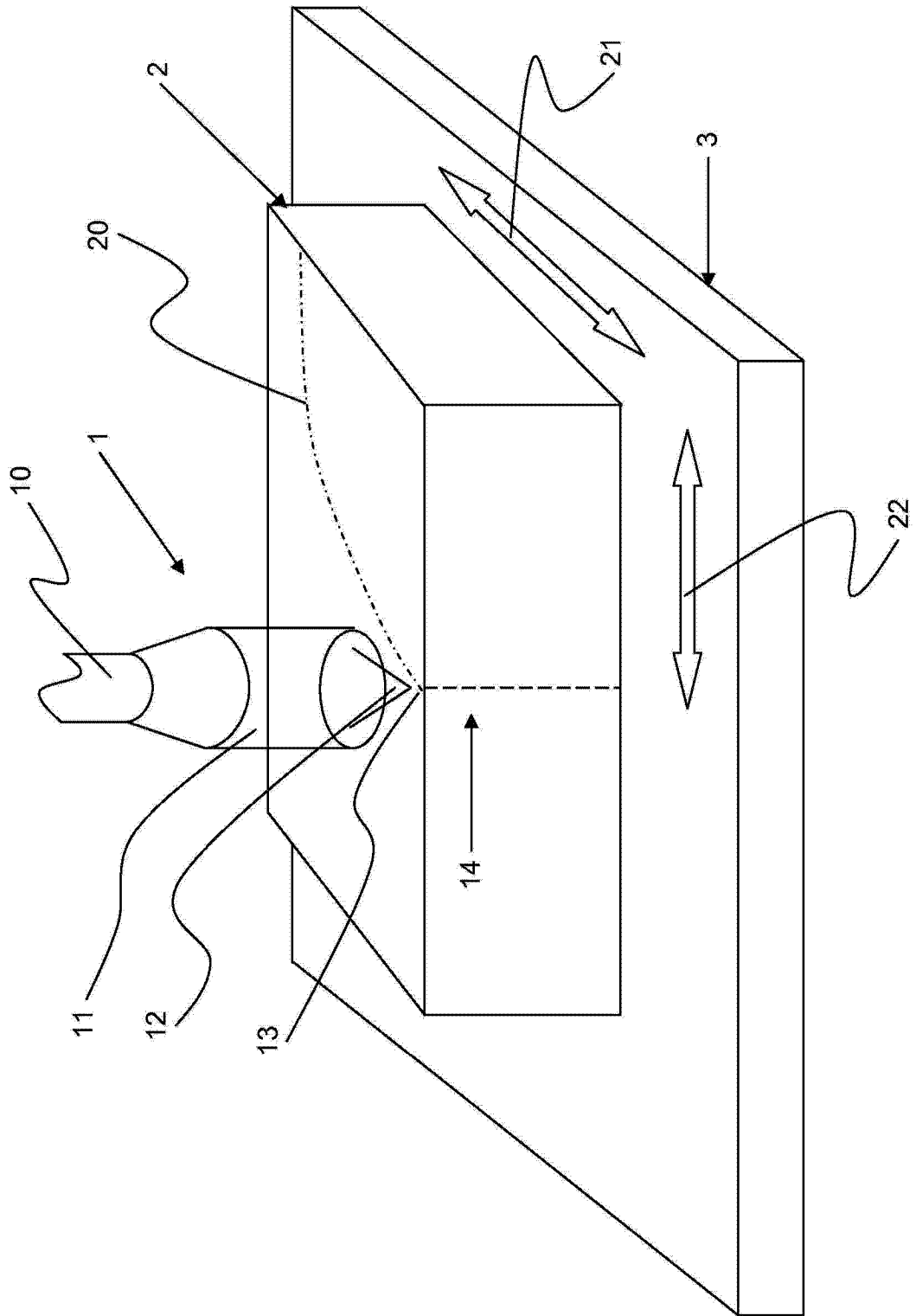


图 1

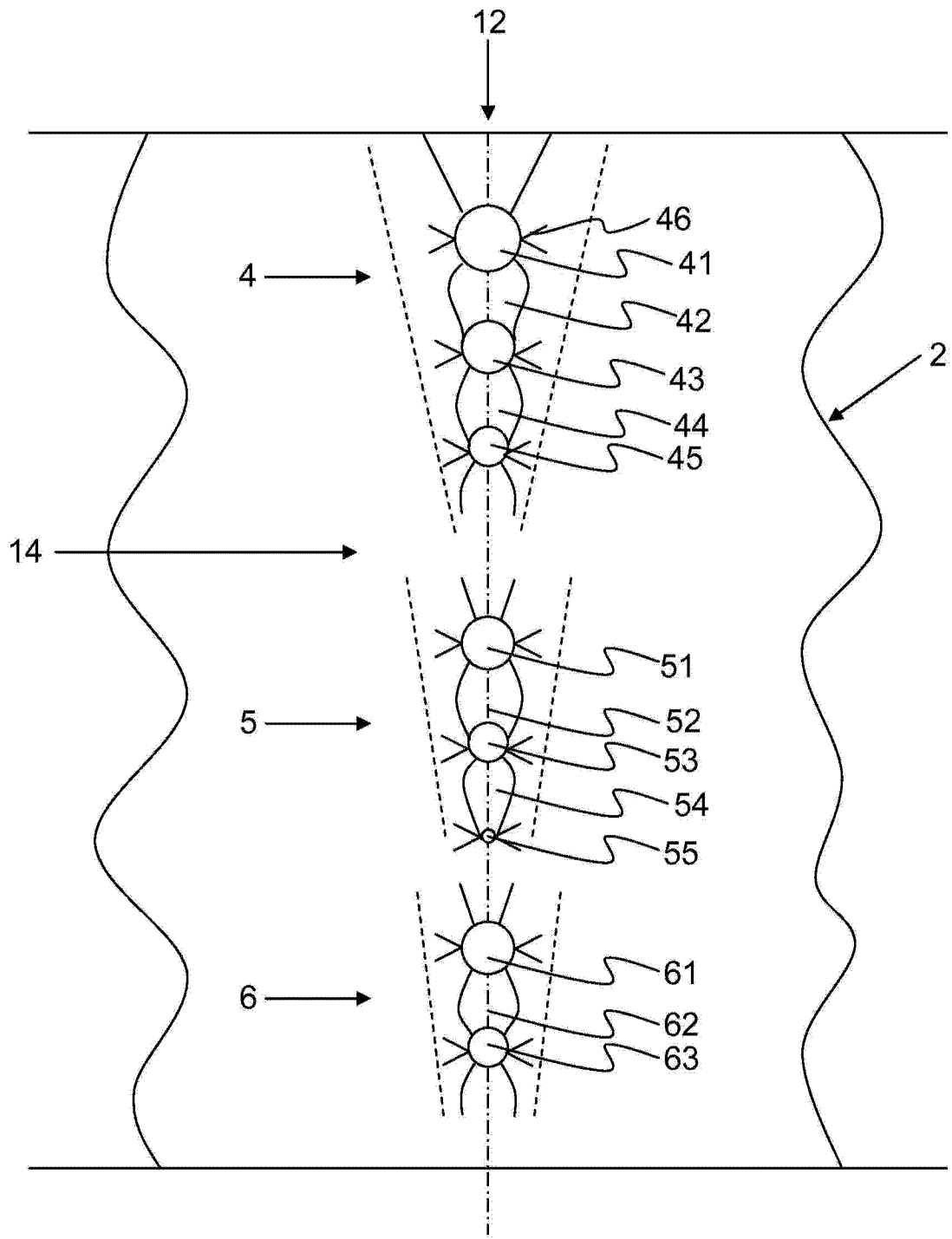


图 2

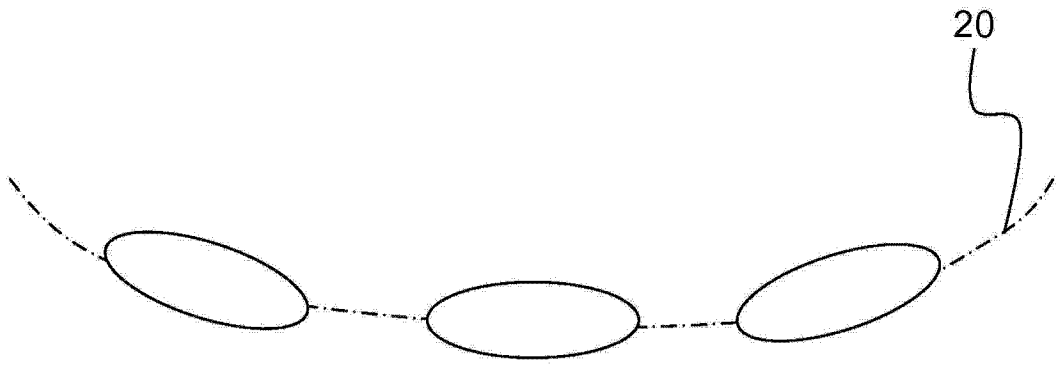


图 3

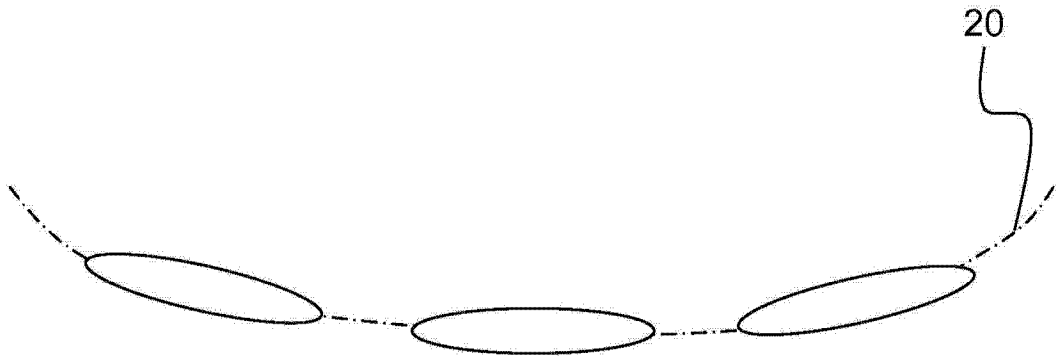


图 4

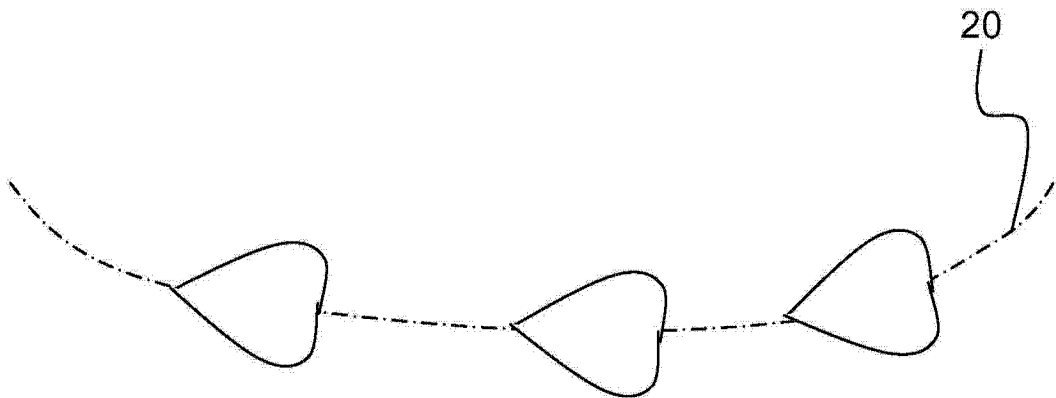


图 5