(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102137733 B
(45)授权公告日 2015.07.29

(21)申请号 200980134000.8
(22)申请日 2009.06.26
(30)优先权数据
102008030783.1 2008.06.28 DE
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2011.02.28
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/DE2009/000891 2009.06.26
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2009/155908 DE 2009.12.30
(73)专利权人 通快机床两合公司
地址 德国迪琴根
(72)发明人 C·伯特歇尔 W·迪尔格
P·德梅尔 J-M·魏克
(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司 72002
代理人 曾立
(51)Int.Cl.
B23K 26/042(2014.01)
B23K 26/046(2014.01)
B23K 26/38(2014.01)
审查员 孙建

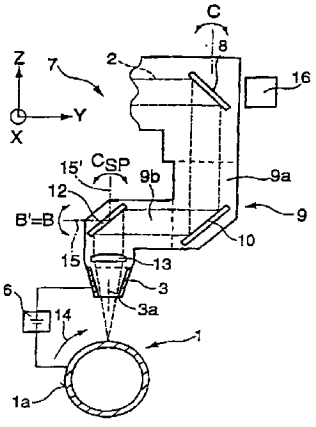
权利要求书3页 说明书10页 附图4页

(54)发明名称

用于使激光切割射束相对于喷嘴轴线偏心地定向和用于斜切的方法、相应的激光加工头和激光加工机

(57)摘要

本发明涉及一种用于使经聚焦的激光切割射束(2)相对于切割气体喷嘴(3)的喷嘴轴线(3a)定向的方法，包括：使在激光切割射束(2)的射束路径中布置在切割气体喷嘴(3)前面的转向镜(12)围绕相对于所述喷嘴轴线(3a)同轴的方向(Csp)和/或围绕相对于所述喷嘴轴线(3a)垂直的、与入射到所述转向镜(12)射束入射方向相应的方向(B′)扭转。所述切割气体喷嘴(3)和所述转向镜(12)在此特别是布置在激光加工头(9)的第二结构单元(9b)中，所述第二结构单元能够围绕与射束入射方向相应的方向(B)相对于第一结构单元(9a,9a′)扭转地被支承。本发明还涉及一种基于所述用于使激光切割射束(2)定向的方法对工件(1)进行激光射束斜切的方法以及一种用于执行所述方法的激光加工头(7)和激光加工机(9)。



CN 102137733 B

1. 一种用于使经聚焦的激光切割射束 (2) 相对于切割气体喷嘴的喷嘴轴线 (3a) 偏心地定向的方法，包括：

使在激光切割射束 (2) 的射束路径中被布置在切割气体喷嘴前面的转向镜 (12，12') 围绕相对于所述喷嘴轴线 (3a) 同轴的方向 (Csp) 和 / 或围绕相对于所述喷嘴轴线 (3a) 垂直的、与入射到所述转向镜 (12，12') 上的射束入射方向相一致的方向 (B') 进行扭转；

其中，为了偏心地定向，所述转向镜 (12，12') 以一个旋转角度 (α') 从静止位置中转出，其中在所述静止位置中所述激光切割射束 (2) 的射束出射方向相对于所述喷嘴轴线 (3a) 同轴地延伸，同时所述转向镜 (12，12') 与所述切割气体喷嘴一起以相同的旋转角度 (α') 围绕与所述射束入射方向相一致的方向 (B) 反向地旋转；

其中，所述切割气体喷嘴和所述转向镜 (12，12') 布置在激光加工头 (9，9') 的第二结构单元 (9b，9b') 中，所述第二结构单元能够围绕与所述射束入射方向相一致的方向 (B) 相对于第一结构单元 (9a，9a') 扭转地被支承。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述激光切割射束 (2) 聚焦在布置在转向镜 (12) 与切割气体喷嘴之间的透镜元件 (13) 上。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述激光切割射束 (2) 聚焦在构造为凹面镜的转向镜 (12') 上。

4. 根据权利要求 1-3 中任一项所述的方法，其中，在切割气体喷嘴上借助于透镜元件 (13) 和 / 或借助于压力窗产生超声波切割气体流 (4)。

5. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的方法，其中，在构造为环形间隙喷嘴的切割气体喷嘴上产生超声波切割气体流 (4)。

6. 一种用于对工件 (1) 进行激光切割射束斜切的方法，其中，从切割气体喷嘴排出的超声波切割气体流 (4) 相对于工件表面 (1a) 以一个斜切角度 (α) 定向，其中工件 (1) 和激光切割射束 (2) 在超声波切割气体流斜切时彼此相对运动，所述斜切角度 (α) 相对于进给方向 (Y) 成直角延伸，在相对运动期间所述激光切割射束 (2) 在工件表面 (1a) 上的位置 (P) 借助于权利要求 1 至 5 中任一项所述的用于使经聚焦的激光切割射束 (2) 相对于切割气体喷嘴的喷嘴轴线 (3a) 偏心地定向的方法调节，从而所述激光切割射束 (2) 在在所述超声波切割气体流 (4) 内部形成的高压区域 (5) 中碰到工件表面 (1a) 上。

7. 根据权利要求 6 所述的方法，其中，在所述激光切割射束斜切期间确定所述切割气体喷嘴与所述工件 (1) 的工件表面 (1a) 之间的距离 (a) 以调节所述激光切割射束 (2) 在工件表面 (1a) 上的位置 (P)。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其中，为了确定所述切割气体喷嘴与工件 (1) 的工件表面 (1a) 之间的距离 (a)，测量切割气体喷嘴与工件 (1) 之间的电容，在确定所述距离 (a) 时考虑所述斜切角度 (α) 对电容的影响。

9. 根据权利要求 7 或 8 所述的方法，其中，根据切割气体喷嘴与工件 (1) 的工件表面 (1a) 之间的距离 (a) 以及喷嘴开口 (3b) 的直径 (d) 确定所述激光切割射束 (2) 在工件表面 (1a) 上的位置 (P)。

10. 根据权利要求 6 至 8 中任一项所述的方法，其中，所述激光切割射束 (2) 在所述工件表面 (1a) 下方以超过所述工件 (1) 的厚度 (D) 的 50％的距离聚焦。

11. 一种激光加工机 (7)，其包括用于借助于激光切割射束 (2) 对工件 (1) 进行切割的

激光加工头 (9,9')，所述激光加工头包括：

用于使所述激光切割射束 (2) 从第一方向 (C) 转向到第二方向 (B) 的第一结构单元 (9a,9a')，

以及固定在所述第一结构单元 (9a,9a') 上的、能够围绕所述第二方向 (B) 旋转地被支承的第二结构单元 (9b,9b')，该第二结构单元具有用于产生超声波切割气体流的切割气体喷嘴，

其中，在所述第二结构单元 (9b,9b') 中设置用于使所述激光切割射束 (2) 相对于切割气体喷嘴转向的转向镜 (12,12')，

其中，所述转向镜 (12,12') 能够围绕所述第二方向 (B) 和 / 或围绕喷嘴轴线 (3a) 的轴线方向 (Csp) 旋转地支承在所述第二结构单元 (9b,9b') 中，以便使激光切割射束 (2) 在切割气体喷嘴的喷嘴开口 (3b) 中相对于喷嘴轴线 (3a) 偏心地定向；

所述激光加工机还包括用于使所述激光切割射束 (2) 在所述切割气体喷嘴的喷嘴开口 (3b) 中通过所述转向镜 (12,12') 围绕所述第二方向 (B) 和 / 或围绕所述喷嘴轴线 (3a) 的轴线方向 (Csp) 的扭转而相对于所述喷嘴轴线 (3a) 偏心地定向的控制装置 (16)；

其中，所述控制装置 (16) 能够使得为了偏心地定向使所述转向镜 (12,12') 以一个旋转角度 (α') 从静止位置中转出并且使所述第二结构单元 (9b,9b') 同步地以相同的旋转角度 (α') 围绕所述第二方向 (B) 反向地旋转，在所述静止位置中所述激光切割射束 (2) 的射束出射方向相对于喷嘴轴线 (3a) 同轴地延伸。

12. 根据权利要求 11 所述的激光加工机，其中，在所述第二结构单元 (9b,9b') 中在所述转向镜 (12,12') 与所述切割气体喷嘴之间布置聚焦透镜 (13)。

13. 根据权利要求 11 或 12 所述的激光加工机，其中，所述转向镜 (12') 构造为凹面镜。

14. 根据权利要求 13 所述的激光加工机，其中，所述切割气体喷嘴构造为环形间隙喷嘴。

15. 根据权利要求 11 所述的激光加工机，还包括用于使工件 (1) 和激光切割射束 (2) 延伸的斜切角度 (α) 彼此相对运动的运动装置 (11a,14)，所述切割气体喷嘴的喷嘴轴线 (3a) 相对于所述工件 (1) 的工件表面 (1a) 以所述斜切角度 (α) 定向。

16. 根据权利要求 15 所述的激光加工机，其中，所述控制装置 (16) 调节所述激光切割射束 (2) 在所述工件表面 (1a) 上的位置 (P)，使得所述激光切割射束 (2) 在所述使工件 (1) 和激光切割射束 (2) 彼此相对运动时保留在一个在所述超声波切割气体流 (4) 内部形成的高压区域 (5) 中。

17. 根据权利要求 11 至 12 中任一项所述的激光加工机，还包括用于测量所述切割气体喷嘴与所述工件 (1) 的工件表面 (1a) 之间的距离的距离测量装置 (6)。

18. 根据权利要求 15 或 16 所述的激光加工机，其中，所述距离测量装置 (6) 用于测量所述切割气体喷嘴与所述工件 (1) 的工件表面 (1a) 之间的电容并且在考虑所述斜切角度 (α) 对所述电容的影响的情况下确定所述切割气体喷嘴与工件 (1) 的工件表面 (1a) 之间的距离 (a)。

19. 根据权利要求 17 所述的激光加工机，其中，所述控制装置 (16) 用于根据所述切割气体喷嘴与工件 (1) 的工件表面 (1a) 之间的距离 (a) 以及喷嘴开口 (3b) 的直径 (d) 来确定所述激光切割射束 (2) 在工件表面 (1a) 上的位置 (P)。

20. 根据权利要求 11 所述的激光加工机，其中所述激光加工机对工件 (1) 进行斜切。

21. 根据权利要求 11 所述的激光加工机，其中所述激光加工机借助于激光切割射束 (2) 对工件 (1) 进行斜切。

22. 根据权利要求 11 所述的激光加工机，其中第二方向 (B) 与第一方向垂直。

23. 根据权利要求 15 所述的激光加工机，其中所述运动装置 (11a，14) 使工件 (1) 和激光切割射束 (2) 相对于进给方向 (Y) 成直角延伸。

24. 根据权利要求 6 至 8 中任一项所述的方法，其中，所述激光切割射束 (2) 在所述工件表面 (1a) 下方以超过所述工件 (1) 的厚度 (D) 的 70％的距离聚焦。

用于使激光切割射束相对于喷嘴轴线偏心地定向和用于斜切的方法、相应的激光加工头和激光加工机

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于使激光切割射束相对于切割气体喷嘴的喷嘴轴线偏心地定向的方法、用于激光射束斜切的方法、用于切割工件的激光加工头以及具有这种激光加工头的激光加工机。

背景技术

[0002] 为了使两个尤其管状的工件在形成例如 90° 角的情况下相互连接，可以首先以 45° 的角度倾斜地分割这些工件并且接下来在切割棱边处将这些工件相互焊接。为了焊接，切割棱边应当尽可能面状地相互贴靠，然而当激光切割射束在切割过程中垂直于工件表面的面法线定向时这是不可能实现的，因为在这种情况下在分割过程中产生扭曲的切割面。为了避免扭曲的切割面，在所谓的激光射束斜切中，激光切割射束和支持激光切割的超声波切割气流相对于面法线以一个角度、即所谓的斜切角度倾斜。如果斜切角度在切割过程期间变化，则也可以在斜切口的情况下在管上产生一个平的切割面，从而例如显著地简化切割棱边的焊接。可以理解的是，斜切不仅可以在管状的工件上进行，而且可以尤其在厚的、板状的工件上进行，以便能够在这些在斜切中形成的斜的切割棱边上更容易地将这些工件相互焊接。

[0003] 但是，上述的激光射束斜切工艺到目前为止绝对不占优势，也就是说与具有垂直于工件表面定向的激光切割射束的激光切割相比该激光射束斜切必须以明显的进给减小（在 45° 斜切角度时高达 70％）和明显的质量损失为代价。尤其地，在激光射束斜切中产生的切割棱边根据斜切角度具有不同的表面品质，其中，在一个切割棱边上观察到强烈的毛刺形成，而在另一个切割棱边上观察到粗糙的表面组织。

[0004] 由 J.Willach 等人的论文“Melt Expulsion by a Coaxial Gas Jet in Trepanning of CMSX-4 with Microsecond Nd:YAG Laser Radiation”，Proceedings of the SPIE，5063 卷，435-440 页公知，在涡轮叶片中开微型钻孔时使相对于工件以斜切角度定向的激光切割射束和平行于激光切割射束定向的超声波切割气流或者说切割气体喷嘴侧向地相对彼此移动，以将超声波切割气流的速滞压力点或者说高压区域直接定位在钻孔上方。以这种方式应当阻止气压和硬化的熔液的厚度周期性地沿着钻孔的壁变化，在气流和激光射束轴线同轴定向时就是这种情况。应当通过侧向偏差抑制该振荡并且增加通过钻孔的气流及由此使熔液在钻孔的底面上更容易排出。为了增大通过开孔获得的钻孔，在该钻孔旁边放置一个另外的具有重叠部的钻孔，其中，这些钻孔之间的重叠部在 50％至 80％之间的范围中已被证明是特别有利的。

[0005] 在其他的应用中、例如在快速切割时为了提高切割气体速度有利的是，激光切割射束和切割气体流的中央彼此偏移地碰到工件表面上。为了产生这种偏移，需要使激光切割射束相对于喷嘴轴线或相对于喷嘴中心偏心地定向。

发明内容

[0006] 本发明的任务是，提供用于使经聚焦的激光切割射束相对于切割气体喷嘴的喷嘴轴线或喷嘴中部偏心地定向的方法、一种基于其建立的用于激光射束斜切的方法以及一种激光加工头和用于执行所述方法的激光加工机，它们可以特别简单地被控制，从而特别是在斜切时在高进给速度的情况下允许高质量的切割。

[0007] 根据本发明，所述任务通过一种用于使经聚焦的激光切割射束相对于切割气体喷嘴的喷嘴轴线偏心地定向的方法解决，包括：使在激光切割射束的射束路径中布置在切割气体喷嘴前面的转向镜围绕相对于所述喷嘴轴线同轴的方向和/或围绕相对于所述喷嘴轴线垂直的、与入射到所述转向镜上的射束入射方向相应的方向扭转。通过使激光射束在喷嘴开口中偏心地定向，激光射束在待加工工件上的碰撞点的位置相对于从喷嘴排出的切割气体流的中央期望地偏移。所述期望的偏移必须在控制激光加工头（所述切割气体喷嘴设置在该激光加工头中）时被考虑，从而使得激光切割射束在正确的位置上碰在工件上。

[0008] 激光切割射束以上述方式通过转向镜的扭转实现的偏心定向可以在控制技术方面特别简单地被考虑，其方式是，所述转向镜以一个旋转角度从静止位置中转出，所述静止位置中所示激光切割射束的射束出射方向相对于所述喷嘴轴线同轴地延伸，同时，所述转向镜与所述切割气体喷嘴一起以相同的旋转角度围绕与射束入射方向相应的方向减少地或反向地旋转。通过转向镜的旋转轴线与反正已经存在的用于使切割气体喷嘴相对于工件定向的旋转轴线的这种控制技术方面的耦合，激光切割头（在激光加工头中设置喷嘴和转向镜）的宏运动的控制可这样进行，就像激光加工射束始终相对于喷嘴轴线同轴地定向那样。

[0009] 为了使所述激光切割射束聚焦在工件上，在转向镜与切割气体喷嘴之间设置透镜元件，所述透镜元件也用于使切割气体升压，从而通过所述喷嘴可产生超声波切割气体流。体地阿迪，为了使所述激光切割射束聚焦，所述转向镜构造为凹面镜、特别是构造为抛物线镜。在这种情况下，为了使切割气体升压可设置压力窗、例如平板形式的压力窗，或者所述切割气体喷嘴可构造为环形间隙喷嘴。

[0010] 在所述方法的一个变型中，所述切割气体喷嘴和所述转向镜布置在激光加工头的第二结构单元中，所述第二结构单元能够围绕与射束入射方向相应的方向相对于第一结构单元扭转地被支承。在这种情况下，为了使切割气体喷嘴相对于工件定向或角度调节所需的旋转轴线可用作补偿轴线。

[0011] 上述用于使激光切割射束偏心地定向的方法可以在不同的应用中有利地被采用，例如在快速切割时采用（在所述快速切割中所述激光切割射束沿进给方向相对于超声波切割气体流的中央偏移）或者在斜切时采用（在所述斜切时激光切割射束与切割气体流之间相对于进给方向成直角的偏移是有利的）。下面详细描述这种斜切方法。

[0012] 本发明的一个观点涉及一种用于对工件进行激光射束斜切的方法，其中，从切割气体喷嘴排出的超声波切割气体流相对于工件表面以一个斜切角度定向，其中，所述工件和所述激光切割射束在所述激光气体斜切中彼此相对运动，所述斜切角度相对于进给方向基本上成直角延伸，在所述相对运动期间所述激光切割射束在工件表面上的位置借助于上述用于使激光切割射束偏心地定向的方法这样滴调节，使得所述激光切割射束在一个在所述超声波切割气体流内部形成的高压区域中碰到工件表面上。

[0013] 所述高压区域在所述超声波切割气体流内部的位置在此与必要时在激光切割期间改变的斜切角度有关。对于激光切割射束不垂直于工件表面定向时的角度，高压区域及由此激光切割射束在工件表面上的位置相对于切割气体喷嘴的喷嘴轴线偏移，喷嘴轴线对应于超声波切割气流的中央。

[0014] 发明人已经认识到，激光切割射束与超声波切割气流的中央之间的偏差不仅在产生钻孔（开孔）时是有利的，而且在激光射束斜切中、即在工件与激光切割射束之间的进给运动中也是有利的，因为在这种情况下切割气体动力学是限制因素：大部分切割气体在相对于超声波切割气流倾斜延伸的工件表面上流走，并且由此不再可供切割过程使用。在喷嘴处于中央时产生的静态压力水平在切割缝隙中降低并且在切割缝隙的壁上产生先前所述的压力脉冲，所述压力脉冲导致切割结果很差。

[0015] 通过在激光切割气体束与超声波切割气流的中央之间产生希望的偏差（偏心距）能够将切割缝隙移动到在流动技术上更有利的区域中。在此，激光切割射束或者切割缝隙的移动与进给方向成直角地且以一个与（可变的）斜切角度有关的确定值进行。以这种方式改进地将超声波切割气流耦合输入到切割缝隙中的结果是，切割缝隙中的静态压力水平增加多个数量级。示例性的数值的流计算与目前的方法变型相比得到约 350％的提升。切割缝隙中的静态压力水平的提高已经被证明导致改善的熔液排出，这又阻止了切割缝隙由于金属熔液的淤积而被过加热。因此，熔液的这样优化的排出能力可以直接转化为进给增加。最大地实现的进给在此与在传统激光射束切割中能够达到的与片厚度有关的进给几乎没有区别。也允许在两个侧面上的切割棱边处产生可以与在垂直的激光射束切割时产生的棱边和表面质量相比的棱边和表面质量。

[0016] 斜切角度的变化在此尤其在管的斜切中是必需的，因为为了在 45° 切口的情况下在管上产生平的切割面，斜切角度必须垂直于进给方向例如在 -45° 至 45° 之间变化。在相对工件垂直定向（斜切角度 0° ）的情况下，工件上的高压区域这时位于超声波切割气流的中央，在非直角定向的情况下，高压区域的位置不同于此并且随着斜切角度变化，使得必须跟踪激光射束在工件上的位置，以保证激光射束在斜切期间留在高压区域中。

[0017] 在一种有利的变型中，为了调节激光切割射束的位置，在激光射束斜切期间确定切割气体喷嘴与工件之间的距离。切割气体喷嘴与工件之间的距离通常在斜切过程期间随着斜切角度的变化而变化。因为高压区域在工件上的位置也取决于切割气体喷嘴与工件之间的距离，所以有利的是在斜切过程期间尽可能连续地检测该距离并且将检测到的距离用于调节或匹配激光切割射束的位置。

[0018] 在一种扩展方案中，为了确定所述距离，测量切割气体喷嘴与工件之间的电容，其中，在确定所述距离时考虑斜切角度对所述电容的影响。工件与切割气体喷嘴之间的距离的电容测量在原理上是公知的并且可以如在申请人的EP 0 873 813 B1或者EP 1 684 046 A1 中那样实现，这些文献在这个方面通过引用作为本申请的内容。在斜切角度的变化过程中，切割气体喷嘴相对于工件的定向改变，这导致切割气体喷嘴与工件之间的电场线改变并且由此在距离不变的情况下随之导致电容变化。因此，对于距离测量而言必须考虑电容随着斜切角度的变化，以便对于一个相应的斜切角度获得一个相应修正的距离值。

[0019] 在一种另外的变型中，根据切割气体喷嘴与工件表面之间的距离 a 以及喷嘴开口的直径 d 来确定激光切割射束的位置。超声波切割气流的中央与平行于该超声波切割气流

定向的激光切割射束（该激光切割射束在其理想的切割缝隙位置中被设置在高压区域的中心）之间的距离 e 允许根据三个参数 α、a 和 d 如下地确定：

[0020] $e = \sin(\alpha)(a+(d/2)\sin(\alpha))$

[0021] 如下面进一步详细所示。因为瞬态的斜切角度 α、喷嘴直径 d 以及距离 a（必要时通过距离测量）对于机器控制器是已知的，在其上执行该方法的激光加工机可以自动地确定偏心距 e 并且在激光射束斜切期间适当地适配该偏心距 e。在此尤其可以已经在数控装置（“numerical control”）的机器代码中已经预给定所有必须的参量。可以理解的是，喷嘴直径并不一定被理解为圆形喷嘴开口的直径，而是在必要时也可使用具有其它几何形状、例如具有椭圆形状的喷嘴开口的切割气体喷嘴。在这种情况下，喷嘴开口的直径指的是喷嘴开口垂直于进给方向的瞬态的（最大的）膨胀尺寸。

[0022] 在一种另外的变型中，激光切割射束在工件表面下方以超过所述工件的厚度的 50％、优选超过所述工件的厚度的 70％的距离聚焦。发明人已经发现，在传统的激光切割过程中焦点聚焦在工件表面上或者在工件的上三分之一或者上半部中，以获得漏斗形的切割缝隙，与传统的激光切割过程不同的是，在本应用中，为了保证激光切割过程的高质量，在工件的下半部中、甚至在工件底面下方的聚焦是有利的。

[0023] 作为切割气体可以选择惰性气体，尤其是氮。超声波切割气流通常用惰性气体执行，即不发生由反应气体例如氧导致的附加的能量引入。切割气体在此位于超过 10 巴的高压之下，该高压典型地为约 15 巴、必要时也为 20 巴或更高。

[0024] 本发明的另一观点涉及一种用于借助于激光切割射束对工件进行切割、特别是用于进行斜切的激光加工头，包括：用于使所述激光切割射束从第一方向转向到第二方向、优选与第一方向垂直的方向中的第一结构单元，以及固定在所述第一结构单元上的、能够围绕所述第二方向旋转地被支承的第二结构单元，该第二结构单元具有用于产生超声波切割气体流的切割气体喷嘴，其中，在所述第二结构单元中设置用于使所述激光射束相对于切割气体喷嘴转向的转向镜，其中，所述转向镜能够围绕所述第二方向和 / 或围绕所述喷嘴轴线的轴线方向旋转地支承在所述第二结构单元中，以便激光切割射束在所述切割气体喷嘴的喷嘴开口中相对于喷嘴轴线偏心地定向。所述第二结构单元围绕其转动的轴线在此应用于补偿所述转向镜的旋转，如上面详细阐述的那样。由此也进行切割棱边的角度偏差的校正。

[0025] 所述激光加工头可具有一个布置在所述转向镜与所述切割气体喷嘴之间的聚焦透镜以使激光切割射束聚焦，所述聚焦透镜也用于所述升压。替代或附加地，所述转向镜可构造为凹面镜，该凹面镜也允许聚焦。在后一种情况下，可产生压力气体的升压，其方式是，在第二结构单元中设置压力窗。替代地，所述升压也能够以其他方式进行，例如其方式是，将所述切割气体喷嘴构造为环形间隙喷嘴。

[0026] 本发明的另一观点涉及一种激光加工机，特别是用于对工件进行斜切，包括：如上所述的激光加工头，以及用于使所述激光切割射束在所述切割气体喷嘴的喷嘴开口中通过所述转向镜围绕所述第二方向和 / 或围绕所述喷嘴轴线的轴线方向的扭转而相对于所述喷嘴轴线偏心地定向的控制装置。所述激光加工机在此特别是可被设计用于实施围绕多轴的宏运动、例如沿着 X、Y 或 X 轴的线性运动或围绕 B 轴、必要时也围绕 C 轴的旋转运动。

[0027] 在一个进一步方案中，所述控制装置被这样设计，使得为了偏心地定向使所述转

向镜以一个旋转角度从静止位置中转出，在所述静止位置中所述激光切割射束的射束出射方向相对于喷嘴轴线同轴地定向。所述控制装置在此附加地这样设计，使得所述第二结构单元以相同的旋转角度围绕所述第二方向减少地旋转。通过这种控制技术上的耦合可以实现的是，用于使激光加工头宏运动的轴线的控制能够像激光加工射束始终相对于喷嘴轴线同轴地定向一模一样的方式进行。

[0028] 所述激光加工机特别是包括用于使工件和激光切割射束以一个特别是相对于进给方向成直角延伸的斜切角度彼此相对运动的运动装置，所述切割气体喷嘴的喷嘴轴线相对于所述工件的工件表面以所述斜切角度定向。所述激光加工机特别是可以被设计用于对管状工件进行激光射束切割。但是可以理解的是，必要时也应可以在另外的、特别是板状的工件上进行斜切，在所述斜切时所述斜切角度必要时在所述激光射束斜切期间保持恒定。

[0029] 在另一实施方式中所述控制装置被设计用于这样地调节所述激光切割射束在所述工件表面上的位置，使得所述激光切割射束在所述相对运动时保留在一个在所述超声波切割气体流内部形成的高压区中。这能够以上面结合用于斜切的方法所述的方式进行。

[0030] 在一个实施方式中，所述激光加工机包括用于测量所述切割气体喷嘴与所述工件之间的距离的距离测量装置。所述距离测量例如能够光学地或机械地进行。借助于所述距离测量装置可这样地调节所述距离，使得所述距离一方面达到足以避免切割气体喷嘴接触到所述工件上或接触到从所述工件突出的部分上，另一方面小到足以允许将切割气体射束良好地耦合输入到工件中。

[0031] 在另一实施方式中，所述距离测量装置被设计用于测量所述切割气体喷嘴与所述工件之间的电容并且在考虑所述斜切角度对所述电容的影响的情况下确定切割气体喷嘴与工件表面之间的距离。为此目的，可以在距离测量装置中存放这样的特征曲线，这些特征曲线定义了在各种斜切角度（例如0°、15°、30°、45°等）的情况下电容与距离之间的关系。这些特征曲线在此可以通过刻度测量获得，其中在倾切割角度固定的情况下改变切割气体喷嘴与工件表面之间的（已知的）距离。

[0032] 在一个实施方式中，控制装置被设计成根据切割气体喷嘴与工件表面之间的距离以及喷嘴开口的直径来确定激光切割射束的与斜切角度适配的位置。这能够以特别简单的方式通过以上给出的公式实现。

[0033] 本发明的另一观点还涉及一种计算机程序产品，该计算机程序产品具有用于建立加工程序的代码单元，当所述加工程序在激光加工机的控制装置上运行时，所述加工程序适合用于执行上述方法的所有步骤。该计算机程序产品可以例如是软盘或者其它的数据载体，其上存储有作为代码单元的程序代码，该程序代码适合根据由使用者通过适当的操作表面预给定的关于期望的斜切过程的数据（工件类型、轮廓类型等）建立加工程序。该加工程序可以在加工工件之前很长时间就建立并且在即将加工时才借助计算机可读取的媒介或者借助其它数据传输形式传输到控制装置上。

附图说明

[0034] 本发明的另外的优点由说明书和附图得出。同样，以上所述的和尚待进一步说明的特征可以各自应用或者成组地以任意组合应用。所示的和所述的实施方式不应理解为穷尽性的列举，而是具有用于描述本发明的很多示例性的特征。附图中：

[0035] 图 1a，b 示出具有激光加工头的激光加工机的示意图，所述激光加工头具有聚焦透镜或抛物线镜以便使切割气体射束聚焦，

[0036] 图 2 示出图 1a 的（沿 Y 方向观察）激光加工机的激光加工头的示意性外视图，

[0037] 图 3a，b 示出具有平坦切割面的 45° 切口的管状工件的示意图 (a)，以及用于借助于相对于超声波切割气体流偏心地定向的激光切割射束产生这种切口的激光射束斜切过程的示图 (b)，

[0038] 图 4a-c 示出在斜切角度为 0°、30° 或者 45° 时在工件与传感的切割气体喷嘴之间的电场强度的示意图，

[0039] 图 5a，b 示出本发明的激光加工机在加工板状工件时的部分区域的示意图 (a)，以及激光射束的用于在激光切割射束与超声波切割气体流之间产生侧向偏移的角度歪斜的聚焦。

具体实施方式

[0040] 图 1a 示出激光加工机 7 的部分区域，该激光加工机被设计用于借助于激光切割射束 2 对管状工件 1 进行切割加工。在所述激光加工机 7 中，所述激光切割射束 2 借助于未详细示出的射束导向装置转向到转向镜 8 上并且随后进入到激光加工头 9 的结构单元 9a 中，在所述激光加工头中设有一个另外的转向镜 10。这些转向镜 8、10 可构造为自适应性镜。

[0041] 激光加工头 9 的第二结构单元 9b 可借助于（未示出的）马达驱动器围绕第二方向 (B 轴）相对于第一结构单元 9a 转动地支承在所述第一结构单元 9a 上。设置在第一结构单元 9a 中的转向镜 10 导致所述激光射束 2 从第一方向 C 转向到相对于该第一方向垂直的第二方向 B 中。所述第一结构单元 9a 在此能够可转动地支承在激光加工机 7 上，从而该第一结构单元 9a 可借助于马达驱动器围绕第一方向 (C 轴）扭转；但是这不是强制必须的。

[0042] 在所述第二结构单元 9b 中设置一个另外的转向镜 12，该另外的转向镜使激光射束 2 从第二方向 B 朝聚焦透镜 13 并且从那里进一步转向到工件 1 或工件表面 1a 上。所述激光射束 2 的焦点位置在此可通过所述自适应转向镜 10 在一定限度内改变，其方式是，其形状例如借助于压电元件或通过用流体在其背面加载压力而适当改变。所述激光加工机 7 具有卡盘 14 作为使工件 1 在 ZY 平面中运动的运动装置（通过箭头示出）所述卡盘 14 用于产生工件 1 的旋转运动，其中，借助于所述卡盘 14 也可同时实现工件 1 在 X 方向上的运动。可以理解的是，必要时激光加工头 9 也可借助于传统的滑移或旋转单元附加地在另一方向上滑移或旋转。

[0043] 切割气体喷嘴 3 的喷嘴轴线 3a 相对于 C 轴在倾斜角度 α 下的定向（参见图 2）通过第二结构单元 9b 围绕所述 B 轴的扭转实现。在第二结构单元 9b 相对于第一结构单元 9a 扭转时，布置在第二结构单元 9b 中的转向镜 12 也一同扭转，从而该转向镜与所述倾斜角度 α 无关地保持与喷嘴轴线 3a 同轴地定向。

[0044] 激光切割射束 2 相对于切割气体喷嘴 3 的喷嘴轴线 3a 的偏心的定向或定位对于不同的应用是有利的，下面进行详细阐述。为了实现激光射束 2 与喷嘴轴线 3a 之间的侧向偏移形式的这种定向，转向镜 12、例如水冷铜镜借助于伺服马达 15（图 1a 用虚线示出）形式的数控驱动器附加地以选中角度 α′ 围绕第二方向 B 扭转，也就是说，驱动器 15 形成独立的 B′ 轴，其相对于已经存在的 B 轴同轴地延伸。通过这种方式，激光射束 2 相对于切割

气体喷嘴 3 的喷嘴中心的偏心定向或定位能够与所述斜切角度 α 的设定无关地进行。因此所述斜切角度 α 相应于围绕 B 轴的旋转角度 B，旋转角度 α′ 相应于围绕 B′ 轴的旋转角度 B′ 。

[0045] 图 1a 和 2 中所示的激光加工头 9 的特征是特别稳固的结构。此外，在第二结构单元 9b 的旋转轴线 B 和转向镜 12 的旋转轴线 B′ 同轴地布置的激光加工头 9 中，能够以特别简单的控制技术的方式将激光射束 2 相对于喷嘴轴线 3a 的对于应用如斜切所需的偏心距借助于 B 轴修正到激光射束 2 在工件 1 上的期望位置中。

[0046] 这可以通过以下方式实现，即，设置控制装置 16，所述控制装置控制所述伺服马达 15，以便使所述转向镜 12 在所述旋转角度 α′ 下从其静止位置（在所述静止位置中激光器切割射束 2 的射束出射方向相对于喷嘴轴线 3a 同轴地延伸）中扭转，同时第二结构单元 9b 以反方向以相同的旋转角度 α′ 围绕 B 轴（减少地）扭转，使得聚焦的激光射束 2 在工件 1 上的侧向偏移（该侧向偏移通过切割气体喷嘴 3 中的激光射束 2 的偏心定向引起）得到补偿，从而实现致力于达到的工具中心点 (TCP)。通过两个同轴的轴 B 和 B′ 的所述控制技术的（强制）耦合可这样地进行激光加工头 9 的宏运动的控制并且特别是斜切角度 α 的改变，就像激光加工射束 2 始终相对于喷嘴轴线 3a 同轴地定向。

[0047] 可以理解的是，对于使转向镜 12 围绕 B′ 轴扭转的可能性替代或附加地，转向镜 12 也可以围绕相对于喷嘴轴线 3a 同轴的轴 Csp 扭转，为此，可以在激光加工头 9 的第二结构单元 9b 中设置一个另外的数控驱动器 15′ ，如图 1a 中所示的那样。在任何情况下通过设置附加的平行于激光射束 2 在转向镜 12 上的入射方向延伸的 (B′ 轴）或平行于激光射束 2 的出射方向延伸的 (Csp 轴）的旋转轴线可以即使在控制单元 16 中的切割气体喷嘴 3 上的激光切割射束 2 的偏心定向的情况下进行激光射束 2 在工件 1 上的特别简单的数控。

[0048] 在图 1b 中示出激光加工机 7，其具有激光加工头 9′ ，该激光加工头与图 1a 中所述的激光加工头 9 的区别在于，平坦的转向镜 12 通过具有近似抛物线几何结构的凹面镜 12′ 来代替。所述凹面镜 12′ 用于所述激光切割射束 2 的聚焦，从而可不用在激光加工头 9′ 中设置聚焦透镜。因为不再具有用于使切割气体升压的聚焦透镜，所以切割气体喷嘴 3′ 构造为环形间隙喷嘴，其允许所述升压，其方式是，给该环形间隙喷嘴供应切割气体。可以理解的是，激光加工头 9′ 中的升压也能够以其他的方式进行，例如通过在第二结构单元 9b 中设置压力窗，该压力窗可构造为透明的光学元件、特别是以平板的形式。偏心距借助于聚焦透镜 13 的产生在这里所使用的典型地小于 1° 、特别是小于 0.5° 的旋转角度 α′ 的情况下在结果方面与借助于凹面镜 12′ 进行的聚焦没有重大区别。所述旋转角度 α′ 不允许选择得太大，因为否则激光切割射束 2 将会碰到切割气体喷嘴 3 的喷嘴开口的内壁上。

[0049] 下面详细描述一个斜切过程作为对于图 1a、b 和 2 中所示的激光加工头 9、9′ 或激光加工机 7 的可能应用。可以理解的是，激光加工头 9、9′ 也能够在其他的应用中有利地被采用，例如用于快速切割，在所述快速切割中进行激光切割射束在进给方向上的调节。

[0050] 图 3a 示出图 1a、b 的管状工件 1，在该工件上形成具有平坦切割面 1b 的 45° 切口，所述切割面可与具有平坦切割面的另一（未示出的）管状工件在形成 90° 角度的情况下沿着连接所述切割面的薄焊缝焊接。为了产生平坦的切割面 1b，需要在所述管状工件 1 上执行斜切过程，在该斜切过程中，斜切角度 α（参见图 2）在 -45° 与 45° 之间的范围内变化，因为在传统的具有恒定斜切角度 α 的切割过程中会产生扭曲的切割面。

[0051] 图3b示出在斜切角度α约为20°时管状工件1上的这种激光射束斜切过程的瞬态图，在该斜切角度下激光切割射束2以它的射束轴线2a相对于工件表面1a上的面法线定向。切割气体喷嘴3的喷嘴轴线3a平行于激光切割射束2定向，超声波切割气流4由切割气体喷嘴排出并且指向工件表面1a。在此，超声波切割气流4在工件表面1a上构成一个高压区域5，该高压区域相对于切割气体喷嘴3的喷嘴轴线3a偏移并且该高压区域相对于喷嘴轴线3a的位置除了取决于斜切角度α外也取决于切割气体喷嘴3的直径d和切割气体喷嘴3的喷嘴开口3b的边缘与工件表面1a之间的距离a。

[0052] 为了将激光切割射束2定位在工件表面1a上的高压区域5中，激光切割射束2的射束轴线2a和由此还有切缝1c在激光射束斜切过程中相对于喷嘴轴线3a偏移一个距离（偏心距）e。为了根据参数α、d和a确定偏心距e，下面使用一个简单的几何模型，该模型基于动量守恒定律：最高压力和由此高压区域5的中心位于这样的位置，在该位置处超声波切割气流4的原子基本上垂直地碰撞到工件表面1a上。假设气体分子几乎同心地从喷嘴开口3b排出，则该位置P通过工件表面1a上的这样一个点来确定，该点直接位于喷嘴开口3b中心点M下方并且与该中心点相距长度L地位于工件表面1a上。

[0053] 如由图3b直接可见，适用：$e = L \sin(\alpha)$。如可由图3b同样直接看出，对于长度适用 $L = a+d/2 \sin(\alpha)$。因此，总体上对于激光切割射束2的射束轴线2a与切割气体喷嘴3的喷嘴轴线3a之间的偏心距得到以下关系：

[0054] $e = \sin(\alpha)(a+(d/2)\sin(\alpha))$

[0055] 在给定的、在整个斜切期间恒定的喷嘴直径d以及预给定的、在切割气体喷嘴3与工件表面1a之间的可变距离a和斜切角度α的情况下，由以上公式可以确定偏心距e，当管状工件1在斜切角度α变化的情况下沿着XYZ坐标系的进给方向Y旋转时（如在图3b中通过箭头表示），为了使激光切割射束2留在高压区域5中，必须调节偏心距。为了能够在管状工件1上产生在图3a中所示的45°切口，这样的进给是必须的。当斜切角度α在X方向上、即与进给方向Y成直角地在-45°至45°之间的范围内变化时，为了使激光切割射束2留在高压区域5中，必须相应地跟踪激光切割射束2的位置P。

[0056] 为此有利的是，在斜切过程期间监控并且必要时调节切割气体喷嘴3与工件1之间的距离a。为此目的，如在图4a-c中所示，可以设置一个电容式距离测量装置6，该距离测量装置可以如在开头引用的EP 1 684 046 A1或EP 0 873 813 B1中那样构造，因此该距离测量装置的工作原理在此不详细描述。距离测量装置6在切割气体喷嘴3的金属的喷嘴体与同样金属的工件1之间产生电势差，使得在两者之间构成一个电场E，该电场的电场线在图4a-c中对于0°、30°和45°的斜切角度α示出。

[0057] 根据在切割气体喷嘴3与金属的工件1之间测得的电容，电场线E的位置改变，因此工件1与切割气体喷嘴3之间的电容改变。为了求得在给定的斜切角度α下电容与距离a之间的关系，可以例如在图4a-c中所示的三个斜切角度α下在可变的、已知的距离时分别进行电容测量，以获得在斜切角度恒定时距离随电容变化的特征曲线。对于在斜切角度α（对该斜切角度没有确定这样的特征曲线）下的距离测量，可以在已知的特征曲线之间进行插补。在此，电容式测得的距离a′在切割气体喷嘴3的外棱边与工件1之间确定，而在图1b中所示的距离a在喷嘴开口3b的棱边与工件1之间定义。可以理解的是，在切割气体喷嘴3的喷嘴几何形状已知时，可以在距离测量装置6中将电容式测得的距离a′换

算成喷嘴开口 3b 的棱边与工件 1 之间的距离 a，以便将后者用到上面给出的公式中。

[0058] 如在图 4a-c 中同样可见，在不同的斜切角度 α 下，激光切割射束 2 的射束轴线 2a 相对于喷嘴轴线 3a 以不同的距离 e 定向，以使激光切割射束 2 保留在高压区域 5 中。此外，激光切割射束 2 不在工件表面 1a 上聚焦，而是在工件表面下方聚焦，确切地说在与工件的工件表面 1a 相距一个超过工件 1 的厚度 d 的 50％的距离聚焦。通过这样的聚焦可以在斜切时附加地提高切割棱边的质量。在此，该聚焦也可以在与工件顶面 1a 相距超过工件 1 的厚度的 70％的距离上实现；激光切割射束 2 根据过程条件也可以在工件 1 底面下方聚焦。

[0059] 图 1a、b 所示的控制装置 16 在此用于这样地控制轴线 B′ 或 Csp，使得激光切割气体束 2 在 X 方向上与（在图 1a、b 中未示出的）超声波切割气射束 4 相距期望距离地定向。以上给出的用于偏心距 e 的公式在此可以存储在激光加工机 1 的机器控制器中，使得控制装置 16 能够自动地计算最佳的偏心距。

[0060] 可以理解的是，图 1a、b 的激光加工机 7 也可以设计用于板状工件 1 的斜切，如在图 5a 中所示，其中进给方向在 X 方向上延伸。在这种情况下也能够以上述方式或者必要时以其它方式调节激光切割射束 2 与喷嘴轴线 3a 之间的偏心距 e。尤其是在图 5a 所示的对板状工件的切割中，斜切角度并不一定要在激光射束切割期间变化。斜切角度也可以取一个恒定值，以至于在工件 1 上构成一个平的、倾斜的切割棱边。当在例如 90° 的角度下沿着两个倾斜的切割棱边连接两个这样的板状工件时，这些切割棱边面状地相互贴靠，使得这两个板状的工件可以更容易被相互焊接。可以理解的是，在板状工件上也可以切割出更复杂的几何形状，这些几何形状要求在激光射束切割期间改变斜切角度。

[0061] 此外可以理解的是，为了在激光切割射束 2 的射束轴线 2a 与超声波切割气流 4 或喷嘴轴线 3a 之间产生偏移，存在不同于上述方案的其他可能性，例如也可以通过使光学元件、例如转向镜 12a、12b 相对于喷嘴中心移动或翻转来产生期望的偏心距 e。可以理解的是，因为在斜切过程中激光射束轴线 2a 不是一定必须平行于喷嘴轴线 3a 定向，所以也可能的是，通过凹面镜 12′ 的旋转或通过聚焦透镜 13 上的角度歪斜的聚焦在工件表面 1a 上产生偏心距 e，如下面根据图 5a 所示的那样。

[0062] 为了角度歪斜地聚焦，第一转向镜 12 可以借助图 1a、b 中所示的旋转驱动器 15a、15b 扭转，使得激光切割射束 2 不是垂直地、而是相对于喷嘴轴线以角度 α′ 碰到聚焦透镜 13 上并且在此以其激光射束轴线 2a 相对于聚集透镜 13 的光学轴 13a 以距离 e_L 沿 X 方向偏移地碰到聚焦透镜 13 上。为了在工件 1 上产生期望的偏心距 e 所需的翻转角 α′ 在此可以通过简单的几何思考确定。可以理解的是，为了角度歪斜地聚焦不是一定需要产生聚焦透镜 13 的光学轴 13a 与激光射束轴线 2a 之间的距离 e_L，而是激光射束轴线 2a 理想地在聚焦透镜的光学轴 13a 中心与聚集透镜 13 相交。

[0063] 为了获得用于斜切过程的适当的过程条件，作为切割气体使用惰性气体、例如氮，切割气体在典型地超过 10 巴的高切割气体压力下位于激光加工头 9 的（未示出的）压力室中，该压力室连接到切割气体喷嘴 3 上，或者供应给所述激光加工头 9′ 的环形喷嘴 3′。此外，切割气体喷嘴 3、3′ 与工件表面 1a 之间的距离应当选择得尽可能小，以便获得最佳的切割结果。此外对于在例如 45° 的大斜切角度时的斜切有利的是，切割气体喷嘴 3 的（内）直径选得大，例如 2mm 或者更大，其中，不一定必须选择圆形的喷嘴横截面。

[0064] 用于激光射束斜切的上述基本过程与被加工材料以及该材料的厚度很大程度上

无关并且可以尤其用于切割优质钢、结构钢或铝。可以理解的是，斜切过程不限于分割管状工件，而是能够以上述方式借助激光切割射束例如在板状工件上切割任意的轮廓。在所有情况下，不仅能够实现在分割中产生的切割棱边的高质量，而且能够实现这样的进给速度，所述进给速度在有效切割深度方面比得上在垂直的激光射束切割中的进给速度。

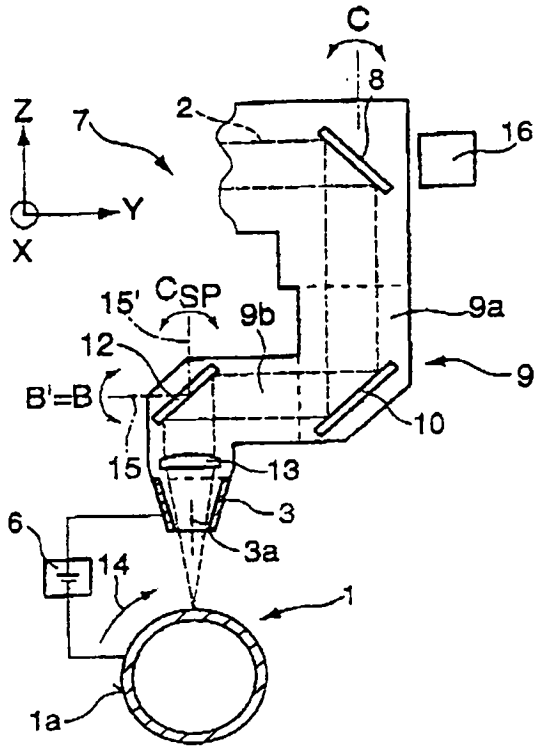

C
8
Z
7
2
16
Y
X
15'
CSP
9b
9a
12
9
B'=B
10
15
13
3
6
3a
14
1
1a

图 1a

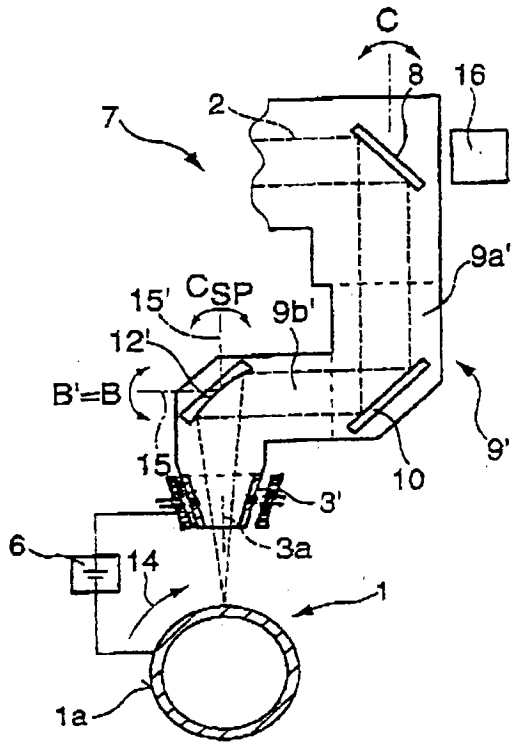

C
8
16
7
2
9a'
15'
CSP
9b'
12'
B'=B
9'
15
10
3'
6
3a
14
1
1a

图 1b

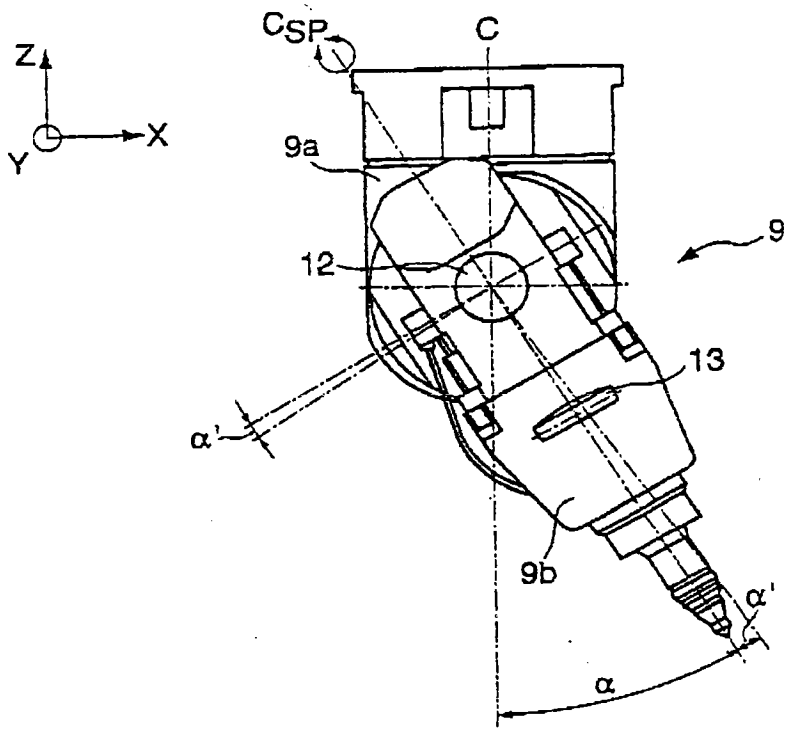

CSP
C
Z
X
Y
9a
9
12
13
α'
9b
α'
α

图 2

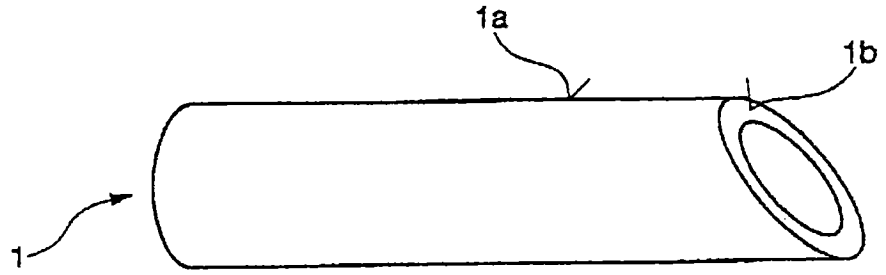


图 3a

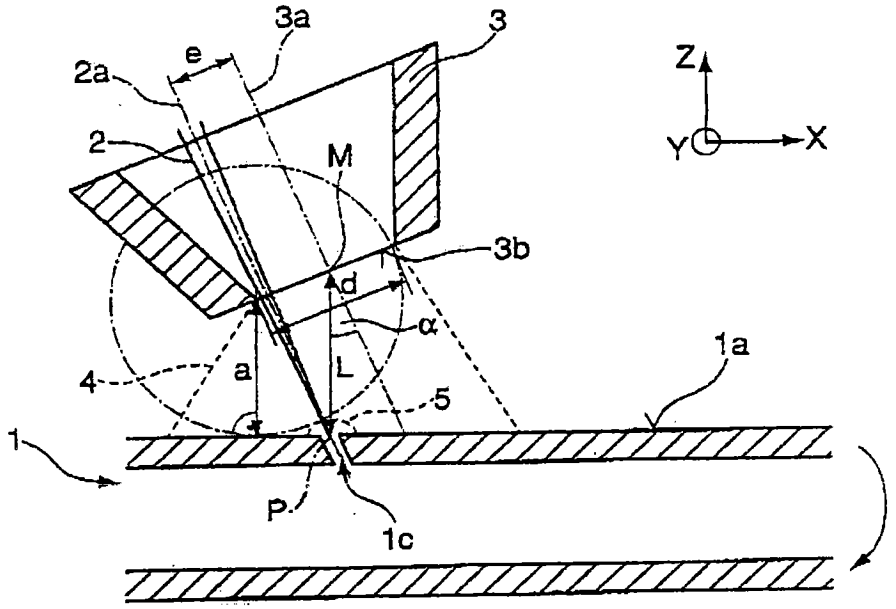


图 3b

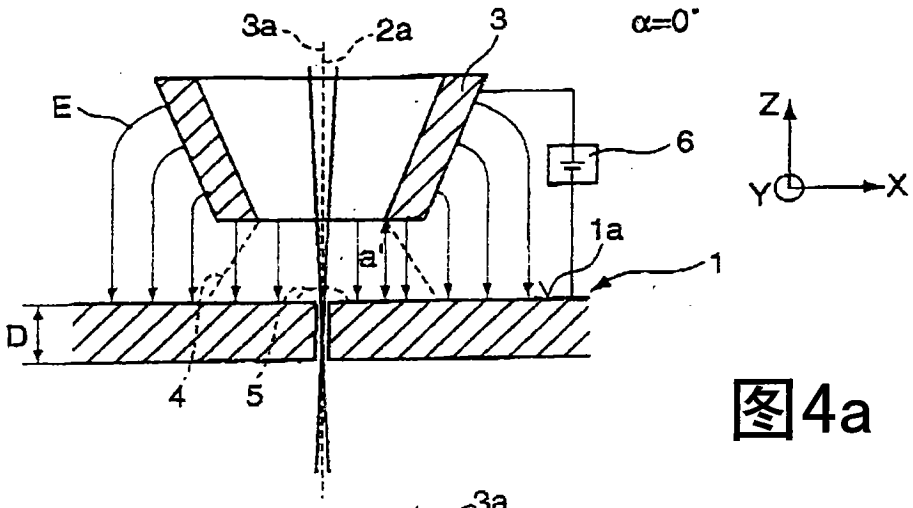


图4a

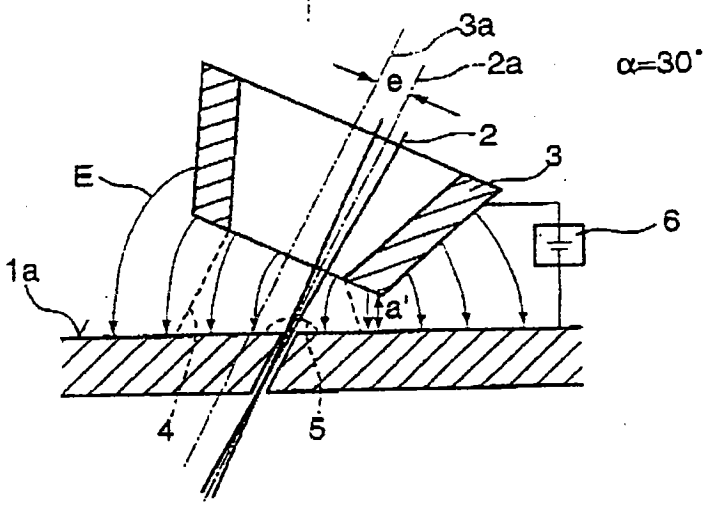


图4b

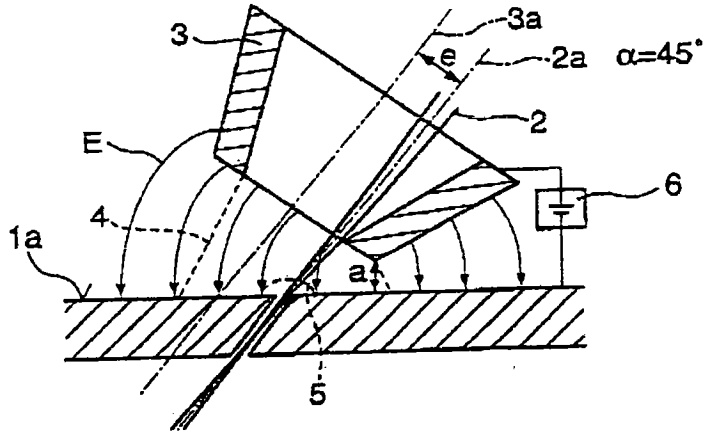


图 4c

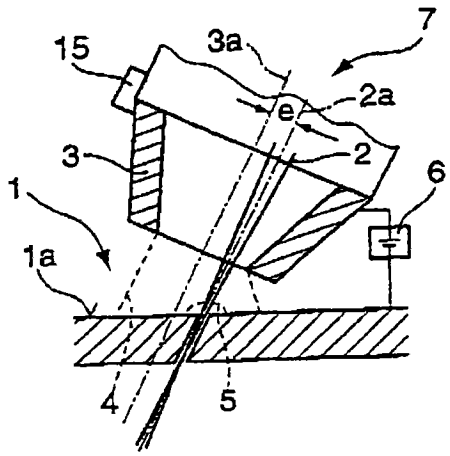


图 5a

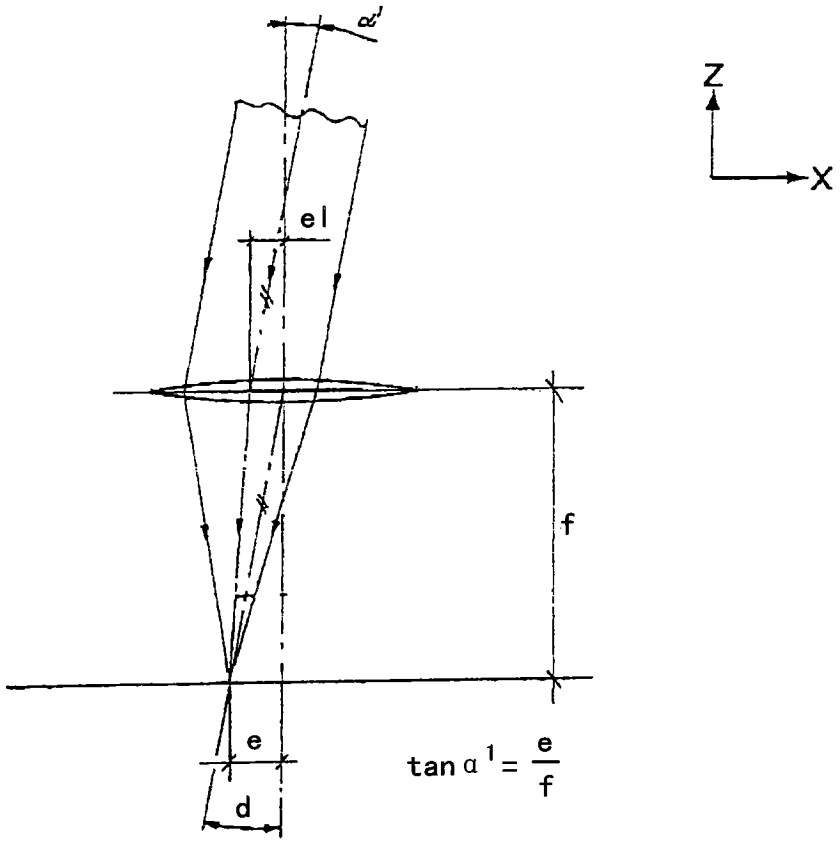


图 5b