



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 105829828 B

(45) 授权公告日 2021.02.02

(21) 申请号 201480052148.8

(22) 申请日 2014.09.13

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105829828 A

(43) 申请公布日 2016.08.03

(30) 优先权数据
102013015656.4 2013.09.23 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2016.03.22

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2014/002483 2014.09.13

(87) PCT国际申请的公布数据
W02015/039741 DE 2015.03.26

(73) 专利权人 普莱斯泰克光电子有限公司
地址 德国新伊森堡

(72) 发明人 M·朔恩勒贝尔
M·科戈尔-霍拉切尔 T·鲍特泽
C·法拉斯

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247

代理人 殷玲 吴鹏

(51) Int.Cl.
G01B 9/02 (2006.01)
G01B 11/22 (2006.01)
B23K 26/02 (2014.01)
B23K 26/03 (2006.01)
B23K 26/046 (2014.01)

审查员 於锦航

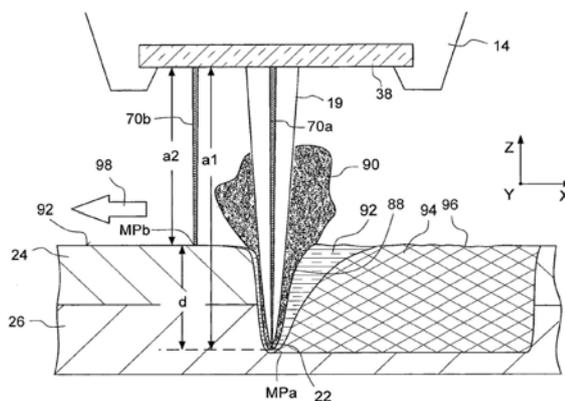
权利要求书2页 说明书10页 附图9页

(54) 发明名称

测量激光束到工件中的透入深度的方法及
激光加工设备

(57) 摘要

本发明涉及一种用于测量激光束(19)到工件(24、26)中的透入深度的方法,在所述方法中,借助于布置在加工头中的聚焦光学装置(14)将激光束聚焦在焦点(22)中。所述焦点在此在工件中产生蒸汽毛细管(88)。光学相干层析成像仪(40)产生第一测量束(70a)和第二测量束(70b)。将第一测量束(70a)对准蒸汽毛细管(88)的底部上的第一测量点(MPa),以便由此测量在参考点与第一测量点(MPa)之间的第一距离(a1)。同时将第二测量束(70b)对准工件(24)的朝向加工头(14)的、位于蒸汽毛细管(88)之外的表面(92)上的第二测量点(MPb),以便由此测量在参考点与第二测量点(MPb)之间的第二距离(a2)。激光束的透入深度(d)则作为在第二距离(a2)与第一距离(a1)之间的差而得到。



1. 一种用于测量激光束(19)到工件(24)中的透入深度(d)的方法,该方法包括以下步骤:

a) 借助于布置在加工头(14)中的聚焦光学装置(32)将所述激光束(19)聚焦在焦点(22)中,由此,所述焦点在所述工件中产生蒸汽毛细管(88);

b) 利用光学相干层析成像仪(40)产生第一测量束(70a)和第二测量束(70b);

c) 将所述第一测量束(70a)对准所述蒸汽毛细管(88)中的第一测量点(MPa),以便由此测量在参考点与所述第一测量点之间的第一距离(a1);

d) 与步骤c)同时将所述第二测量束(70b)对准所述工件(24)的朝向所述加工头(14)的、位于所述蒸汽毛细管(88)之外的表面(92)上的第二测量点(MPb),以便由此测量在所述参考点与所述第二测量点之间的第二距离(a2);

e) 由所述第一距离(a1)和所述第二距离(a2)确定所述激光束(19)的透入深度(d);
其特征在于,

在步骤d)中,利用扫描装置(113)逐渐地将所述第二测量束(70b)对准所述工件(24)的表面(92)上的不同的第二测量点(MPb),

第一测量束与第二测量束在到达工件(24)时通过无测量束的空间隔开,

所述不同的第二测量点(MPb)中的至少一些位于包围所述蒸汽毛细管(88)的圆(102)上。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一测量点(MPa)位于所述蒸汽毛细管(88)的底部上。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,多次重复步骤b)至c)且从由此获得的用于所述第一距离(a1)的测量值选出测量值的代表最大的第一距离(a1)的份额。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述第二测量点(MPb)到所述蒸汽毛细管(88)的边缘具有小于2.5mm的侧向距离。

5. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述第二测量点(MPb)到所述蒸汽毛细管(88)的边缘具有小于1mm的侧向距离。

6. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述第一测量束(70a)相对于所述激光束(19)同轴线地穿过所述加工头(14)的聚焦光学装置(32)。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述聚焦光学装置(32)具有可变的焦距,由此,所述第一测量束(70a)始终被所述聚焦光学装置聚焦在相同的焦平面中,所述激光束(19)的焦点(22)也位于所述焦平面中。

8. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述第一测量束(70a)和所述第二测量束(70b)共同使用所述光学相干层析成像仪(40)的至少一个光学元件(44、46、54)。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,由所述光学相干层析成像仪(40)产生的测量光线在所述相干层析成像仪的目标分支(52)中被分成所述第一测量束(70a)和所述第二测量束(70b)。

10. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,根据在步骤e)中确定的透入深度(d)改变激光加工的至少一个参数。

11. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,根据在步骤e)中确定的透入深度(d)改变所述激光束(19)的功率或所述焦点(22)相对于所述工件(24)的位置。

12. 根据权利要求10所述的方法,其中,将在步骤e)中确定的透入深度(d)作为测量参量输送给调节回路,以便调节所述蒸汽毛细管(88)的深度。

13. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,在自动的校准步骤中这样长时间地借助于作用于所述第一测量束(70a)的调节元件(113)来改变所述第一测量点(MPa)的位置,直到可评估的距离测量值的份额最大。

14. 一种用于利用激光束(19)加工工件(24)的方法,其中,在第一步骤中根据前述权利要求中任一项测量所述激光束(19)到所述工件(24)中的透入深度,在第二步骤中将所测量的透入深度(d)作为测量参量输送给调节回路,以便调节所述蒸汽毛细管(88)的深度。

15. 一种激光加工设备,所述激光加工设备被布置用于利用激光束(19)加工工件(24),所述激光加工设备具有:

a) 聚焦光学装置(32),所述聚焦光学装置被布置用于将所述激光束(19)聚焦在焦点(22)中,

b) 光学相干层析成像仪(40),所述光学相干层析成像仪被布置用于

-将第一测量束(70a)对准由所述焦点(22)在所述工件上产生的蒸汽毛细管(88)中的第一测量点(MPa),且由此测量在参考点与所述第一测量点(MPa)之间的第一距离(a1),以及

-同时将第二测量束(70b)对准所述工件(24)的、位于所述蒸汽毛细管(88)之外的表面(92)上的第二测量点(MPb),且由此测量在所述参考点与所述第二测量点(MPb)之间的第二距离(a2),

c) 分析处理装置(114),所述分析处理装置被布置用于由所述第一距离(a1)和所述第二距离(a2)确定所述激光束(19)的透入深度(d),

其特征在于,

所述激光加工设备具有布置在所述相干层析成像仪的目标分支(52)中的扫描装置(113),所述扫描装置被布置用于逐渐地将所述第二测量束(70b)对准所述工件(24)的表面(92)上的不同的第二测量点(MPb),第一测量束与第二测量束在到达工件(24)时通过无测量束的空间隔开,所述不同的第二测量点(MPb)中的至少一些位于包围所述蒸汽毛细管(88)的圆(102)上。

测量激光束到工件中的透入深度的方法及激光加工设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于测量激光束到工件中的透入深度的方法以及一种激光加工设备,利用所述激光加工设备可以对工件进行焊接、切割、钻孔或以其它方式进行加工。

背景技术

[0002] 激光加工设备通常包括激光辐射源,该激光辐射源例如可以是光纤激光器或盘形激光器。激光加工设备还包括:加工头和射束输送装置,该加工头将由激光辐射源产生的激光束聚焦在焦点中,该射束输送装置将激光束输送给加工头。射束输送装置在此可以包括光纤或其它光导体和/或一个或多个具有平坦的或拱曲的面的偏转反射镜。加工头可以固定在可运动的机器人臂或其它能够实现在所有三个空间方向上定位的移动装置上。激光辐射源在此通常远离于加工头或承载该加工头的移动装置来布置。

[0003] 在使用激光加工设备时一个迄今为止还未令人满意地解决的问题在于,将激光束的透入深度尽可能精确地保持在期望的给定值。将由激光束在工件中产生的蒸汽毛细管的轴向伸展称为透入深度。仅当透入深度取其给定值时才能够获得期望的加工结果。如果例如在焊接两个金属板时透入深度过小,则两个金属板没有焊接或仅不完全地焊接。而过大的透入深度可能导致焊透。

[0004] 透入深度的不期望的波动可以由于不同的原因而产生。因此例如在激光加工的过程中,保护加工头中的光学元件以免飞溅物和其它污染物的保护片吸收激光辐射的越来越多的部分,由此透入深度减小。工件中的不均匀性或移动速度的波动可能导致透入深度局部地变化并由此与其给定值存在偏差。

[0005] 迄今为止不存在能够在激光加工期间可靠地测量激光束的透入深度的方法。与这种情况相关联的是,在蒸汽毛细管内部存在着非常难的测量条件。蒸汽毛细管不仅非常小并由于热量的原因而发出极其明亮的光,而且在加工期间通常也持续地改变其形状。

[0006] 因此通常间接地从对其它与蒸汽毛细管相关联的参数、例如其亮度的观测来推断出其轴向伸展。将透入深度的这种与其说是测量的不如说是估计的值与给定值进行比较。在调节回路中于是这样改变加工激光器的功率,使得透入深度接近其给定值。

[0007] 为了在激光加工期间测量距离,在前不久提出使用光学相干层析成像仪(英文:Optical Coherence Tomograph,OCT),特别是参阅文献EP 1 977 850 A1、DE 10 2010 016 862 B3和US 2012/0138586。光学相干层析成像仪即使在由于热量的原因而发出非常明亮的光的蒸汽毛细管附近也能够实现高度精确且无接触的激光距离测量,该蒸汽毛细管在工件中由激光束在焦点周围产生。如果测量束以扫描仪方式经过表面,则甚至能够检测所扫描的表面的3D轮廓。如果测量束对准到蒸汽毛细管中,则原则上也可以测量所述蒸汽毛细管的轴向伸展,如在文献US 2012/0285936 A1中描述的那样。

[0008] OCT测量束在激光加工期间以扫描仪方式经过工件的待加工的表面,然而利用该OCT测量束仅能在激光加工期间以不令人满意的精度测量透入深度。通过改变激光器功率调节透入深度也伴随着这种情况。

发明内容

[0009] 本发明的目的是,提出一种方法,利用该方法可以更精确地测量激光束在工件中的透入深度。

[0010] 根据本发明,该目的通过一种具有以下步骤的方法来实现:

[0011] a) 借助于布置在加工头中的聚焦光学装置将激光束聚焦在焦点中,由此,焦点在工件中产生蒸汽毛细管;

[0012] b) 利用光学相干层析成像仪产生第一测量束和第二测量束;

[0013] c) 将第一测量束对准蒸汽毛细管中的第一测量点、确切地说优选蒸汽毛细管的底部上的第一测量点,以便由此测量在参考点与第一测量点之间的第一距离;

[0014] d) 与步骤c) 同时将第二测量束对准工件的朝向加工头的、位于蒸汽毛细管之外的表面上的第二测量点,以便由此测量在参考点与第二测量点之间的第二距离;

[0015] e) 由第一距离和第二距离确定激光束的透入深度。

[0016] 本发明基于以下认识:仅当光学相干层析成像仪的测量束持久地或至少在很大程度上对准到蒸汽毛细管中时才能以足够的精度测量到蒸汽毛细管的底部的距离。显著较高的测量精度在此不仅是较大数量的单次测量的结果,而且也与测量束仅当其不扫描地运动时才能非常精确地对准到极小的蒸汽毛细管中相关联。甚至可能需要的是,事先精确地校准测量束的方向,以便获得到蒸汽毛细管的底部的足够的测量值。试验已经显示,即使如在测量束以扫描仪方式扫过蒸汽毛细管时不可避免的最小的失调也使有效力的测量点的数量以及由此测量精度在整体上迅速地降低。

[0017] 即使从蒸汽毛细管提供非常多的测量值且测量束被良好地校准,也由于迄今为止未准确已知的原因而仅获得相对少的有效力的测量值。对于较大部分的测量值,测量点看起来不位于蒸汽毛细管的底部上,而是位于其上方。仅仅代表最大的距离的测量值实际上才给出关于蒸汽毛细管的底部所处的位置的情况。因此优选多次重复步骤b) 至c) 且从由此获得的用于第一距离的测量值选出测量值的代表最大的第一距离的份额。由测量值的该份额于是可以导出实际的透入深度,例如借助于回归分析。

[0018] 如果测量束对准到蒸汽毛细管中,则能够以这种方式仅确定蒸汽毛细管的底部到参考点的距离,该参考点例如可以是由相干层析成像仪执行的路径长度差测量的零点。为了能够求得透入深度,必须附加地测量:工件的包围蒸汽毛细管的区域的表面到参考点有多远。

[0019] 根据本发明,光学相干层析成像仪因此产生第一测量束和第二测量束。第一测量束测量参考点到蒸汽毛细管的底部的距离,而第二测量束测量参考点到工件上的包围蒸汽毛细管的区域的表面的距离。通常于是通过两个距离值的简单的差形成而得出激光束到工件中的透入深度。然而也可能需要的是,以更复杂的方式计算透入深度。如果例如在检查测量结果时得出:所测量的透入深度一般与实际的透入深度偏差了因数或数值 x ,则这可以以校正因数或校正数值在计算时加以考虑。通过恒定的、但与材料相关的数值(补偿量)例如可以考虑以下事实,即焊缝的深度通常略大于透入深度,因为工件也还在蒸汽毛细管下方的小区域中熔化。为了获得用于透入深度的精确的测量值,第二测量束所对准的、位于工件的表面上的第二测量点不应过于接近蒸汽毛细管,但也不应过于远离蒸汽毛细管。在1mm与2.5mm之间的距离已经证明是特别合适的。即如果第二测量点过于接近表面,则其检测到处

于剧烈运动中的或起泡的熔液表面。而如果第二测量点过于远离蒸汽毛细管,则可能需要的是,考虑已经在不同的时刻获得的测量值用于确定透入深度,或者通过使用工件的另外提供的几何数据(例如平面的由CAD数据已知的斜度)来考虑位于蒸汽毛细管附近的表面的形状。

[0020] 位于蒸汽毛细管之外的第二测量点可以被用于调节在加工头与工件表面之间的距离,这如本身由开头所述的文献EP 1 977 850 A1公知的那样。在这种调节中通过移动加工头和/或工件来负责使激光束的焦点相对于工件的表面始终位于期望的位置上。作为替换方案或附加地,也可以调节加工头的聚焦光学装置,以便相对于工件的所测量的表面来定位焦点。

[0021] 在步骤d)中可以逐渐地将第二测量束对准工件的表面上不同的第二测量点。于是第二测量束的任务不仅是为了确定透入深度提供参考值,而且例如也扫描在焊缝上方产生的焊道或检测包围蒸汽毛细管的熔液。尤其是不同的第二测量点中的至少一些可以覆盖由激光束产生的焊缝。

[0022] 在此特别证明有利的是,不同的第二测量点中的至少一些位于包围蒸汽毛细管的圆上。以这种方式确保:与可能的移动过程无关地始终预先获得测量点,在所述可能的移动过程中改变位于激光束与工件之间的相对布置。

[0023] 然而扫描不仅可在第二测量束的情况中而且附加地也可在第一测量束的情况中进行。这尤其是当激光束的焦点也借助于通常包含电镀反射镜的装置的扫描装置引导经过工件时是符合目的的。如果加工头足够远离(例如到工件大约为50cm),则可以极其快速地从激光束加工工件上的彼此远离的位置。相对较重的加工头的相对大的运动在此通过扫描装置中的轻的电镀反射镜的短的快速运动替代。在一些加工方法中加工头远离工件且所述加工头包含扫描装置,这些加工方法通常被称为远程激光焊接(英文:Remote Welding或Welding-on-the-fly)或远程激光切割(Remote Laser Cutting)。对于这些方法也可以有利地使用蒸汽毛细管和周围区域的根据本发明的独立扫描。为了能够覆盖较大的轴向的测量范围,可以在相干层析成像仪的参考分支中布置路径长度调制器,该路径长度调制器与聚焦光学装置的焦距的变化同步地且根据所述变化跟踪参考分支中的光学的路径长度。关于对此的其它细节参考在2013年5月15日提交的专利申请DE 10 2013 008 269.2。

[0024] 通常有利的是,对准蒸汽毛细管的底部的第一测量束相对于激光束同轴线地穿过加工头的聚焦光学装置。以这种方式确保:配置给第一测量束的第一测量点始终位于激光束的焦点中或该焦点的紧附近。由于蒸汽毛细管的待扫描的底部位于激光束的焦点的紧附近,因此这导致:第一测量束也在那里具有其最高的强度。这有利地作用于信号噪声比且因此有利地作用于测量精度。这在上述的远程加工方法中是特别重要的,在所述远程加工方法中,聚焦光学装置必须具有可变的焦距。

[0025] 原则上可能的是,使第一测量束和第二测量束由光学相干层析成像仪的两个彼此独立的子系统产生。

[0026] 然而由于光学相干层析成像仪能够同时测量到多个光学界面的距离,因此更有利的是,第一测量束和第二测量束共同穿过或以另外的方式共同使用光学相干层析成像仪的至少一个光学元件。通过这样共同使用光学元件可以减小相干层析成像仪的结构投入。特别有利的是,由光学相干层析成像仪产生的测量光线首先在相干层析成像仪的目标分支中

被分成第一测量束和第二测量束。至少光学相干层析成像仪的投入较高的部件、例如包含在其中的光谱仪于是可以用于两个测量束。

[0027] 优选同时执行步骤a)至e)。借助于两个测量束的测量和借助于激光束对工件的加工于是同时进行。

[0028] 利用根据本发明的方法可根据在步骤e)中确定的透入深度改变激光加工的至少一个参数、特别是激光束的功率或焦点相对于工件的位置。所测量的透入深度因此可以直接用于这样影响激光加工,使得实现在质量上高值的加工结果。尤其是可以将步骤e)中确定的透入深度作为测量参量输送给调节回路,以便调节蒸汽毛细管的深度。

[0029] 如果在根据本发明提供优选持久地对准蒸汽毛细管的底部的第一测量束时需要校准第一测量点,则可以在自动的校准步骤中这样长时间地借助于作用于第一测量束的调节元件来改变第一测量点的位置,直到可评估的距离测量值的份额最大。这种校准步骤可以在规律性的时间间隔中执行或甚至在每个加工过程之前进行。校准步骤在此例如可以在工件的测试加工部位上执行,在该测试加工部位上仅为了校准的目的由激光束产生蒸汽毛细管。

[0030] 本发明的主题还涉及一种激光加工设备,该激光加工设备被布置用于利用激光束加工工件且适合用于执行根据本发明的方法。该激光加工设备具有聚焦光学装置,该聚焦光学装置被布置用于将激光束聚焦在焦点中。此外,激光加工设备具有光学相干层析成像仪,该光学相干层析成像仪被布置用于将第一测量束对准由焦点在工件上产生的蒸汽毛细管的底部上的第一测量点,且由此测量在参考点与第一测量点之间的第一距离。光学相干层析成像仪还被布置用于同时将第二测量束对准工件的、位于蒸汽毛细管之外的表面上的第二测量点,且由此测量在参考点与第二测量点之间的第二距离。激光加工设备还具有分析处理装置,该分析处理装置被布置用于由第一距离和第二距离确定激光束的透入深度。

[0031] 在相干层析成像仪的目标分支中可以布置有扫描装置,该扫描装置被布置用于逐渐地将第二测量束对准工件的表面上的不同的第二测量点。

[0032] 优选第一测量束相对于激光束同轴线地穿过聚焦光学装置。该聚焦光学装置可以具有可变的焦距,由此,第一测量束始终被聚焦光学装置聚焦在相同的焦平面中,激光束的焦点也位于所述焦平面中。

[0033] 特别有利的是,光学相干层析成像仪在频率范围内工作(英文:Frequency Domain,FD-OCT)。这种相干层析成像仪具有大的轴向的测量范围且不需要位于参考分支中的光学的路径长度调制器。

附图说明

[0034] 本发明的其它特征和优点由下面借助于附图对实施例进行的说明中得出。在此示出:

[0035] 图1示出在焊接两个工件时根据第一实施例的根据本发明的激光加工设备的示意图;

[0036] 图2示出在图1中示出的激光加工设备的内部结构的示意图;

[0037] 图3a和3b示出穿过旋转的楔形板的放大的经向剖面,该楔形板包含在激光加工设备中;

- [0038] 图4示出工件的放大局部,在所述工件中可看到蒸汽毛细管;
- [0039] 图5示出在图4中所示的局部的俯视图;
- [0040] 图6示出了针对具有变化的厚度的工件的情况的相对于图4简化的视图;
- [0041] 图7示出图表,在该图表中关于时间 t 画出了距离测量值;
- [0042] 图8示出图表,在该图表中作为时间的函数画出了透入深度;
- [0043] 图9示出图表,在该图表中画出了在使用根据现有技术的相干层析成像仪的情况下获得的测量值,在该相干层析成像仪中,唯一一个测量束扫描地扫过工件;
- [0044] 图10示出根据第二实施例的根据本发明的激光加工设备的内部结构的仿照图2的示意图;
- [0045] 图11示出用于图10中示出的实施例的工件的放大局部的仿照图4的剖面图;
- [0046] 图12示出根据第三实施例的根据本发明的激光加工设备的内部结构的仿照图2的示意图;
- [0047] 图13a和13b示出穿过旋转的光学元件的经向剖面,该光学元件包含在根据第三实施例的激光加工设备中。

具体实施方式

[0048] 1. 激光加工设备的结构

[0049] 图1示出根据本发明的激光加工设备10的一个实施例的示意图,该激光加工设备包括机器人12和加工头14,该加工头固定在机器人12的可运动臂16上。

[0050] 激光加工设备10还包括激光辐射源18,该激光辐射源在示出的实施例中设计为盘形激光器或光纤激光器。由激光辐射源18产生的激光束19通过光纤20输送给加工头14且由该加工头聚焦在焦点22中。

[0051] 在示出的实施例中,激光加工设备10应被用于将具有变化的厚度的第一金属工件24与第二金属工件26焊接,该第二金属工件固定在工件支架27上。由加工头14产生的焦点22因此必须被精确地定位在第一工件24与第二工件26之间过渡的附近。

[0052] 图2示出激光加工设备10的内部结构的示意图。由激光辐射源18产生的激光束19在加工头14中从光纤20中射出并由第一准直透镜28准直。准直的激光束19于是由二向色镜30偏转 90° 并投射到聚焦光学装置32上,该聚焦光学装置的焦距可通过借助于调节驱动器34轴向移动一个或多个透镜来改变。以这种方式可以通过调节聚焦光学装置32改变焦点22的轴向位置。在激光束19的光路中的最后的光学元件是保护片38,该保护片可更换地固定在加工头14上并且该加工头的剩余光学元件受到保护以免在38处表明的加工部位上产生的飞溅物和其它污染物。

[0053] 激光加工设备10还包括光学相干层析成像仪40,该光学相干层析成像仪在频率范围内工作(所谓的FD-OCT)。相干层析成像仪40具有光源42、光学循环器44和光纤耦合器46,该光纤耦合器将由光源42产生的测量光线48分配到参考分支50和目标分支52中。在参考分支50中,测量光线在走过与目标分支52中的测量光线的光学路径近似地相应的光学路径之后,本身在反射镜53上反射并返回到光学循环器44,该光学循环器将测量光线传递到摄谱仪54。

[0054] 在目标分支52中,测量光线在另外的光纤56的端部上射出并由第二准直透镜58准

直。准直的测量光线48首先穿过第一法拉第旋转器86,该第一法拉第旋转器使得偏振方向转动45°。相同类型的第二法拉第旋转器84布置在参考分支50中的自由射束传播的区段中。两个法拉第旋转器84、86都具有避免干扰的任务,所述干扰可能在应用于相干层析成像仪40中的光纤未获得偏振状态时产生。

[0055] 于是,准直的测量光线48投射到楔形板60上,该楔形板可以通过电机62实现围绕转动轴线64的旋转。如在图3a的放大视图中可见的那样,楔形板60具有第一平面66,该第一平面垂直于转动轴线64取向且设有涂层68,该涂层反射大约50%的射入的测量光线48。由于平面66在楔形板60旋转时不改变其方向,因此该楔形板产生第一测量束70a,该第一测量束的方向同样是不变的。

[0056] 穿过部分反射的涂层68的测量光线48的份额投射到楔形板60的第二平面72上,该第二平面相对于转动轴线64夹有非90°的角度。第二平面72的定向因此与楔形板60的转动角相关。第二平面72设有完全反射的涂层74。由于两个平面66、72不是彼此平行的,因此第二平面72产生第二测量束70b,该第二测量束具有不同于第一测量束70a的传播方向。传播方向在此与楔形板60关于转动轴线64的转动角相关,如图3b所示。楔形板60在那里与图3a中所示的布置相比围绕转动轴线64扭转了180°的角。在楔形板60围绕转动轴线64旋转时,第二测量束70b因此连续地围绕固定的第一测量束70a旋转。

[0057] 下面再次参考图2,以便更详细地说明两个测量束70a、70b的光路。用连续线或双点划线表示的测量束70a、70b首先借助于散射透镜76扩张并于是由第三准直透镜78准直。在穿过对于测量光线的波长而言可透过的二向色镜30之后,测量束70a、70b与激光束19一样地由聚焦光学装置32聚焦并且在穿过保护片38之后对准工件24、26。由于第一测量束70a与激光束19同轴线地传播,因此如果不考虑干扰效应、如色差或校准偏差,那么第一测量束70a的焦点80与激光束19的焦点22重合。第二测量束70b的焦平面与激光束19的和第一测量束70a的焦平面是共平面的。

[0058] 下面参考图4详细描述在加工部位36处的情况。图4示出应相互焊接的工件24、26的放大局部。加工头14相对于工件24、26的移动方向用98表示。

[0059] 从保护片38射出的经聚焦的激光束19在焦点22附近达到这样高的能量密度,使得周围的金属蒸发并由此形成蒸汽毛细管88,该蒸汽毛细管伸入两个工件24、26中。即使一部分蒸发的金属在第一工件24的表面92上方形成气团90,也仅将在加工期间在表面92下方形成的空腔称为蒸汽毛细管88。

[0060] 蒸汽毛细管88由熔液92包围,该熔液随着到激光束19的焦点22的距离的增加而凝固。在熔液92的区域中,两个工件24、26的材料相互连接。如果熔液92凝固,则由此产生焊缝96,该焊缝的朝向上方的一侧成波浪形并被称为焊道96。

[0061] 在图4的放大视图中可以看到,由第一测量束70a产生的焦点近似与激光束19的焦点22重合。在焦点22附近,第一测量束70a在蒸汽毛细管88的底部上投射到金属熔液92上并从那里反射返回到相干层析成像仪40的目标分支52中。这样的点是配置给第一测量束70a的第一测量点MPa:第一测量束70a在该点上投射到蒸汽毛细管的底部上。

[0062] 这样的点是配置给第二测量束70b的第二测量点MPb:第二测量束70b在该点上由第一工件24的包围蒸汽毛细管88的表面92反射。

[0063] 图5对于图4中所示的局部示出第一工件24的俯视图。如果为了产生焊缝94而沿移

动方向98移动加工头14,则在移动方向98上在蒸汽毛细管88后方产生已经说明的焊道96。用箭头100表明,第二测量点MPb在楔形板60旋转期间如何在圆形轨道102上围绕加工部位36转动。第二测量点MPb在此也扫过熔液92的一部分。如果楔形板60的楔角被选择得更大,那么圆102的半径增大。在这种情况下,第二测量点MPb也可以扫过焊道96。在相干层析成像仪40的数量级为几kHz的测量频率、楔形板60的数量级为100Hz的转动频率以及沿移动方向98的数量级为1m/s的速度的情况下可以通过这种方式以高分辨率扫描在加工部位36的周围环境中的表面92的形貌。

[0064] 2. 功能

[0065] 下面参考图6至9详细说明激光加工设备10的功能。

[0066] 在第一步骤中确定用于激光束19的透入深度的给定值。透入深度在图4中用d表示且被定义为蒸汽毛细管88在第一工件24的周围(仍固态)表面92下方的深度。如果透入深度过小,则两个工件24、26未相互焊接或仅不完全地相互焊接。而如果透入深度d过大,则导致焊透。

[0067] 在恒定厚度的平坦的工件中透入深度d通常是恒定的。然而通常透入深度d与工件上的坐标x、y相关。透入深度d的变化例如可以当第一工件24的厚度与位置相关时是必要的,如图6中所示。仅当透入深度d增加时,如图6中在右侧用虚线所述,可以将具有楔形横截面的第一工件24以保持不变的质量与第二工件26焊接。

[0068] 为了测量透入深度d,第一测量束70a在第一测量点MPa上测量蒸汽毛细管88的底部相对于参考点的距离,该参考点例如可以是在保护镜片38的表面上的点,该点被光轴0A穿过。在图4中用a1表示该距离。

[0069] 第二测量束70b在第二测量点MPb上测量在图4中用a2表示的、在参考点与第一工件24的包围蒸汽毛细管88的表面92之间的距离。透入深度d则简单地作为距离a2与a1之差得出。为了使得这种关系有效,配置给第二测量束70b的第二测量点MPb应接近蒸汽毛细管88,例如在小于2.5mm、优选小于1mm的侧向距离内,因此在第一工件24的表面92上的可能出现的台阶或拱曲不会使测量失真。但也可以这样考虑这种台阶或拱曲,即在确定透入深度时考虑用于距离a2的测量值,所述测量值在比第二测量点MPb处于现在第一测量点所处的坐标x、y上时居前的时刻已经求得。因为如上面所述,通过在与移动运动共同作用的情况下利用第二测量束70b圆形扫描加工部位36的周围环境获得第一工件24的表面92的形貌,确切地说不仅对于在利用激光束19进行加工之前的状态而且对于之后的状态。

[0070] 借助于相干层析成像仪40求得距离a1、a2以本身常见的方式和方法实现。在目标分支52中引导的测量光线48在测量点MPa、MPb上反射之后又进入目标分支52中且通过所述另外的光纤56返回到光纤耦合器46和光学循环器44。在摄谱仪54中,反射的测量光线与在参考分支50中反射的测量光线叠加。在摄谱仪54中出现在参考分支50中和目标分支52中反射的测量光线的干涉。干涉信号传送给控制和分析处理装置114(参见图2),该控制和分析处理装置由此计算出在参考分支50中和目标分支52中反射的测量光线的光学的路径长度差。由此可以导出测量点MPa、MPb到共同的参考点的距离a1、a2。

[0071] 在任意时刻在光谱中获得两个信号分量,即一个用于第一测量点MPa的信号分量和一个用于第二测量点MPb的第二信号分量。在执行根据本发明的方法时的一个特点在于,仅第一测量点MPa位于光轴0A上,但第二测量点MPb不位于该光轴上。

[0072] 图7示意性地示出当两个测量束70a、70b在焊接过程期间沿移动方向98移动经过在图6中示出的工件24、26时由相干层析成像仪40产生的测量值。在横坐标上示出时间 t ，在纵坐标上示出到参考点的距离 a 。坐标系被上下颠倒地示出，以便能够更好地将距离值与在图6中示出的工件24、26几何形状进行比较。

[0073] 可配置给第一测量点MPa的第一测量值104的分布处于图表的下方区域中。可以看到，第一测量值104越过较大的距离范围散布。试验显示出，第一测量束70a经常在其到达蒸汽毛细管88的底部之前被反射。对此的准确起因还未详细地公知，因为在蒸汽毛细管88中的过程是复杂且难以观察的。可能地，蒸汽毛细管88在激光加工期间这样迅速地在侧向方向上运动，使得第一测量束70a经常仅投射到蒸汽毛细管的侧壁上，但是不投射到所述蒸汽毛细管的底部上。作为起因也可以考虑通过金属蒸汽冷凝或通过从熔液92脱离飞溅物而在蒸汽毛细管88中形成的金属小滴。

[0074] 研究表明，仅图7的图表中的最大的距离值代表到蒸汽毛细管88的底部的距离 a_1 。经过下方这些测量点104的补偿直线106因此代表距离函数 $a_1(t)$ 。因此仅使用一部分最大的透入深度 d ；用于第一测量点MPa的其余的测量值应丢弃。

[0075] 在图7中在上方可看到的第二测量值108由第二测量束70b在这样的时刻产生：在所述时刻中第二测量束70b在移动方向98上位于第一测量束70a前方。该状态在图5中示出。经过第二测量值108的补偿直线因此提供用于距离的函数 $a_2(t)$ 。由此，在给定的时刻 t' 透入深度 d 取值为：

$$[0076] \quad d = a_2(t') - a_1(t').$$

[0077] 透入深度 $d(t)$ 的时间变化在图8的图表中用连续线107表示。用虚线112确定用于该焊接过程的事先确定的给定透入深度 $d_t(t)$ 。可以看到，实际的透入深度 $d(t)$ 在焊接过程的进程中与其给定值的偏差变大。其起因例如可以是保护片38的污染物增多，由此越来越少的激光辐射19到达工件24、26。

[0078] 透入深度 d 与给定值的偏差仅可在预给定的界限内容许。如果超过该界限，则激光束19的功率在焊接过程期间连续地或逐步地改变，以便阻止界限被超过。

[0079] 因此在根据本发明的激光加工设备10中向控制和分析处理装置114输送用于透入深度 $d(t)$ 的给定值，该控制和分析处理装置既与激光辐射源18又与聚焦光学装置32的聚焦驱动器34信号连接。控制和分析处理装置在示出的实施例中是调节回路的一部分，向该调节回路输送透入深度的所测量的值作为测量参量。控制和分析处理装置114将透入深度 $d(t)$ 的所测量的值与给定值 $d_t(t)$ 进行比较并这样调节激光辐射源18的功率，使得所测量的透入深度 $d(t)$ 与给定值的偏差尽可能少。对此附加地或作为替换方案，也可以这样调整聚焦光学装置32，使得激光束19的焦点22在轴向方向上移动，以便通过这种方式改变透入深度 d 。

[0080] 图9为了进行比较示出当在利用唯一一个测量束进行的焊接过程期间使加工部位沿移动方向98移动时获得的透入深度的测量。连续线表示蒸汽毛细管88的实际几何形状。可以看到，在蒸汽毛细管88的区域中存在这样少的测量值，使得对于透入深度不能做出可靠描述。仅当第一测量束70a根据本发明持久地或在较长的时间段上对准蒸汽毛细管88的底部时，获得测量值，所述测量值能够实现关于透入深度的可靠描述，如上面参考图7所说明的那样。

[0081] 为了精确地测量蒸汽毛细管88的底部与参考点之间的距离 a_1 ,可能需要的是,在加工过程开始之前高度精确地校准第一测量束70a的方向。校准在此可以例如通过使布置在目标分支52中的透镜58、76、78中的一个或多个倾斜来实现。为了校准测量束70a、70b的侧向位置,特别考虑透镜76或78之一的横向移动。为了在轴向方向上进行校准,可以改变在透镜76和78之间的距离。优选这种校准在自动的校准步骤中实现,在所述校准步骤中首先在测试加工部位上仅为了校准的目的由激光束19产生蒸汽毛细管88且所述蒸汽毛细管的深度同时利用相干层析成像仪40进行测量。在此,与控制和分析处理装置114连接的调节元件113(参见图2)这样长时间地使第二准直透镜58倾斜,直到第一测量点MPa位于这样的位置上,在所述位置上获得最多数量的可评估的测量值。

[0082] 代替使透镜58倾斜当然也考虑其它措施来校准第一测量束70a。对于该目的特别合适的是可借助于执行器围绕两个轴线调整的反射镜,该反射镜也可以设计为MEMS反射镜。

[0083] 3. 作为替换方案的实施例

[0084] a) 扫描反射镜

[0085] 图10示出根据本发明的激光加工设备10的另一个实施例的仿照图2的视图。与在图2中示出的实施例不同,两个测量束70a、70b不是由旋转的楔形板60产生,而是由第二光纤耦合器115产生。第一测量束70a在通过第三准直透镜116准直之后穿过分束器立方体118并于是又由后面的光学元件聚焦到位于焦点22附近的第一测量点MPa上,这如在上面参考图2说明的那样。

[0086] 由第二光纤耦合器115输出耦合的第二测量束70b在通过第四准直透镜120准直之后投射到扫描反射镜117上,该扫描反射镜不仅能够围绕其Y轴而且能够围绕其X轴借助于未详细示出的执行器摆动。摆动的第二测量束70b由分束器立方体118输入耦合到第一测量束70a的光路中且对准第二测量点MPb。与图2中描述的实施例不同,第二测量点MPb因此不仅可以在圆形轨道上围绕加工部位36移动,而且还能够以任意方式经过包围加工部位36的区域。这例如当对于焊道96的表面形貌的高分辨率检测存在特别兴趣时可以是符合目的的。

[0087] 如果激励扫描反射镜113进行具有固有频率的振动,则第二测量点MPb在第二工件24的表面92上描述李萨如图,利用所述李萨如图能够特别快速地扫描即使大的面。

[0088] 为了在第二光纤耦合器115和分束器立方体118上避免光线损失,第二光纤耦合器114可以根据偏振或波长划分射入其中的测量光线。如果第二光纤耦合器具有偏振选择性,则分束器立方体118也必须起偏振选择作用。而如果第二光纤耦合器具有波长选择性,则分束器立方体118也必须具有二向色性作用。

[0089] 在图10中在对第二测量束70b进行准直的第四准直透镜120中配置有执行器122,利用该执行器,第四准直透镜120可以在轴向方向上移动。以这种方式可以移动第二测量束70b的焦点的轴向位置。尤其是可以将该焦点精确地定位在第二测量点MPb中,如图11所示。以这种方式由工件24的表面92获得更强的光线反射。

[0090] b) 在光圈附近分离

[0091] 图12示出根据本发明的激光加工设备10的第三实施例的也仿照图2的视图。

[0092] 在图12中所示的激光加工设备10中,两个测量束70a、70b由专门的非球面的光学

元件124产生,该光学元件在测量光线48的光路中位于光圈附近。在测量过程期间,光学元件124在此通过驱动器126围绕与光轴重合的转动轴线128转动。

[0093] 图13a和13b在两个转动位置中示出光学元件124,这两个转动位置彼此间存在 180° 的转动角的区别。光学元件124基本上具有平-凸透镜的形状,所述平-凸透镜具有一个球形的表面。在图13a中,该表面的对称轴线用130表示。相对于对称轴线130偏心地,但是相对于转动轴线128同心地,表面具有圆柱形的缺口132,该缺口具有半径 R_1 ,该缺口的平坦表面平行于输入侧的平面134。对于以到转动轴线128的距离 $r < R_1$ 投射到光学元件124上的准直的测量光线来说,光学元件124因此在所有转动位置中如平面平行板那样起作用。

[0094] 对于以距离 $r > R_1$ 投射到光学元件124上的光线来说,所述光线如偏心地布置的具有正折射能力的透镜那样起作用。视光学元件124的转动位置而定,测量光线因此在不同的方向上偏转,如通过比较图13a和13b所看到的那样。

[0095] 穿过圆柱形的缺口132的测量光线形成第一测量束70a,而穿过环形的周围区域的测量光线形成第二测量束70b。与在图2中描述的实施例的旋转的楔形板60中类似,旋转的光学元件124因此产生静止的第一测量束70a和第二测量束70b,该第二测量束圆形地环绕第一测量束70a。

[0096] 由于第二测量束70b穿过光学元件124的表面的凸形拱曲的区段,因此两个测量束70a、70b在该实施例中也在不同的焦平面中聚焦。

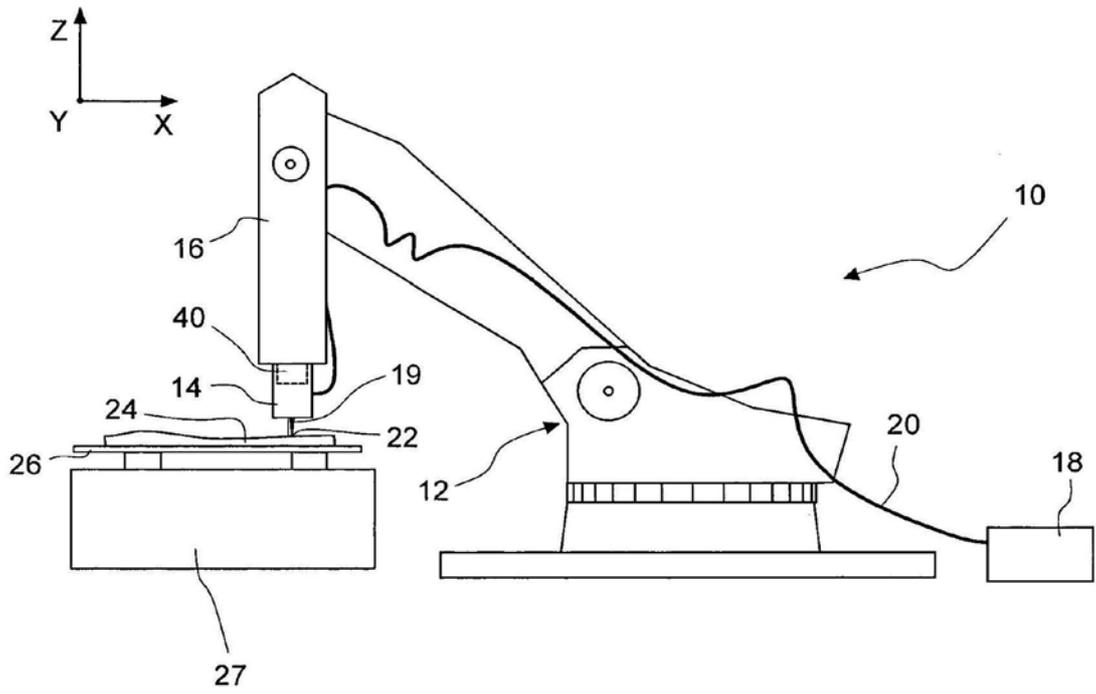


图1

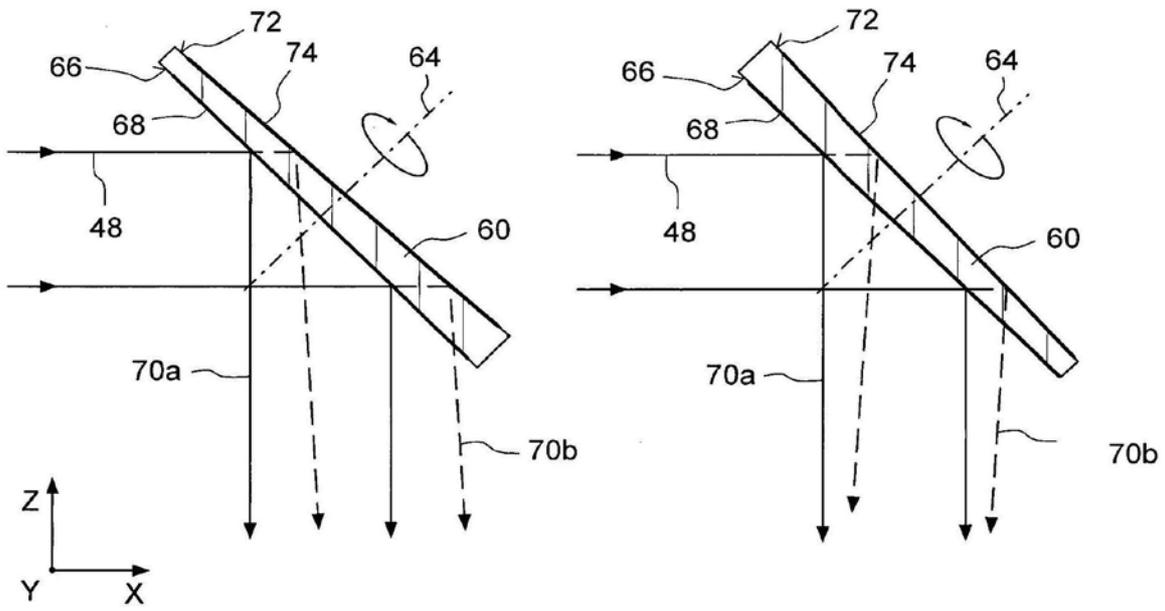


图 3a

图 3b

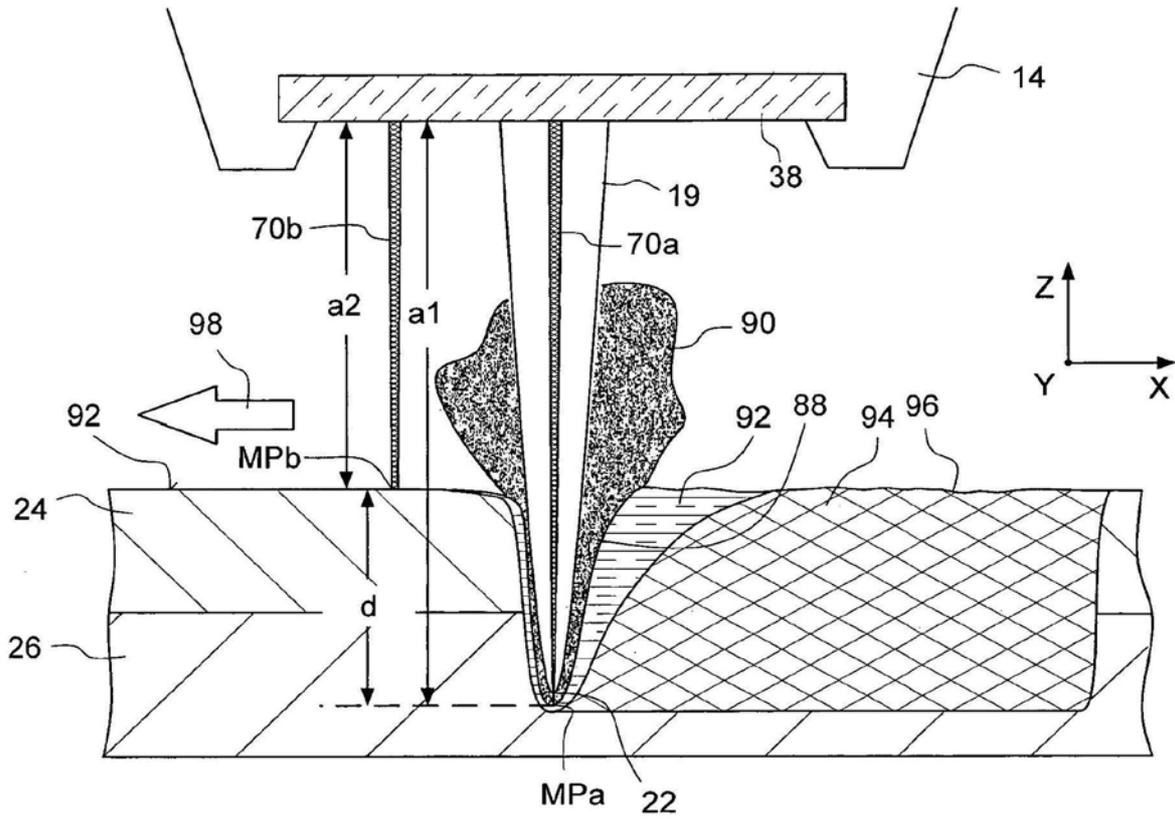


图4

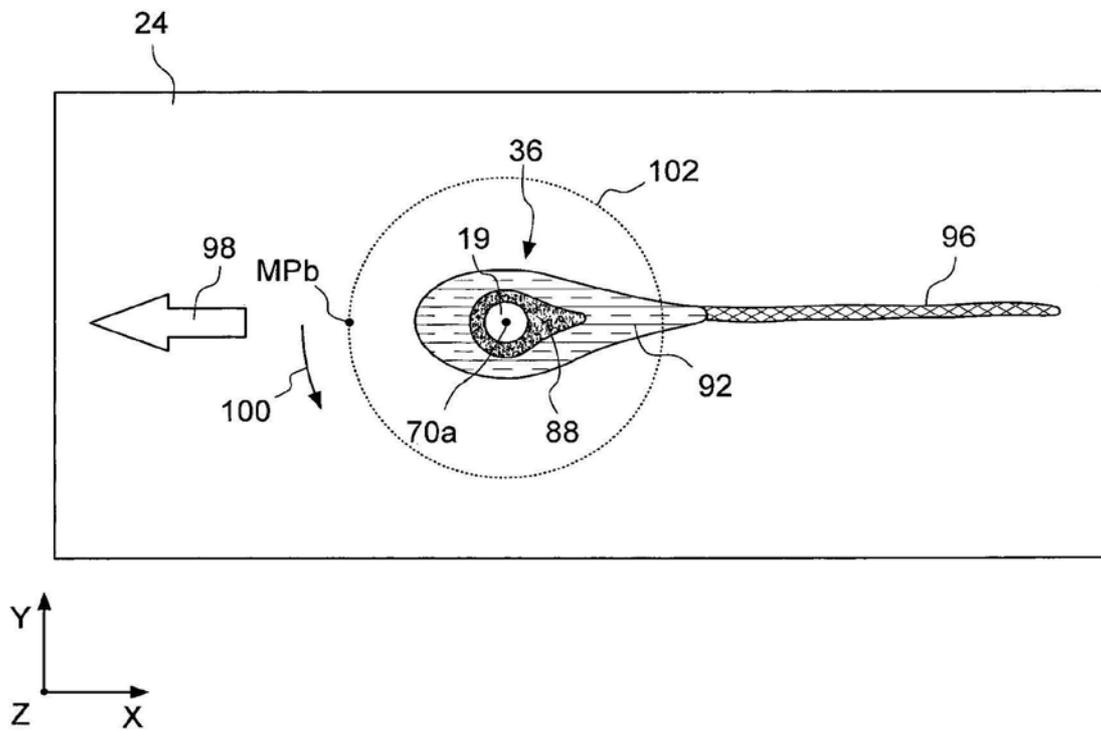


图5

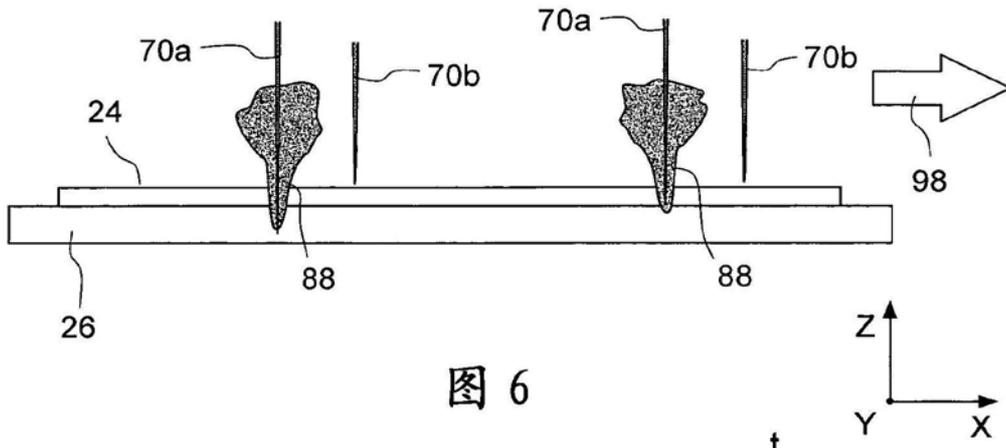


图 6

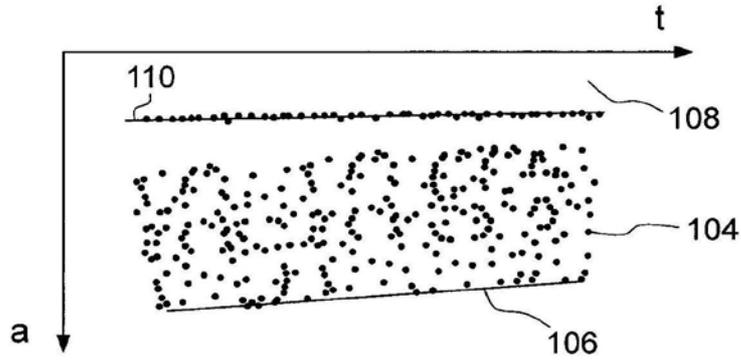


图 7

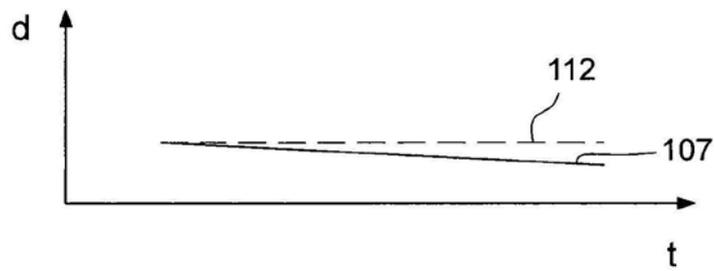


图8

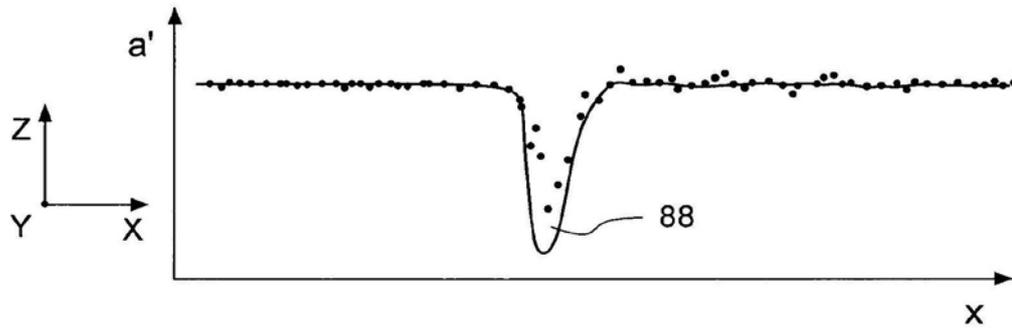


图9 (现有技术)

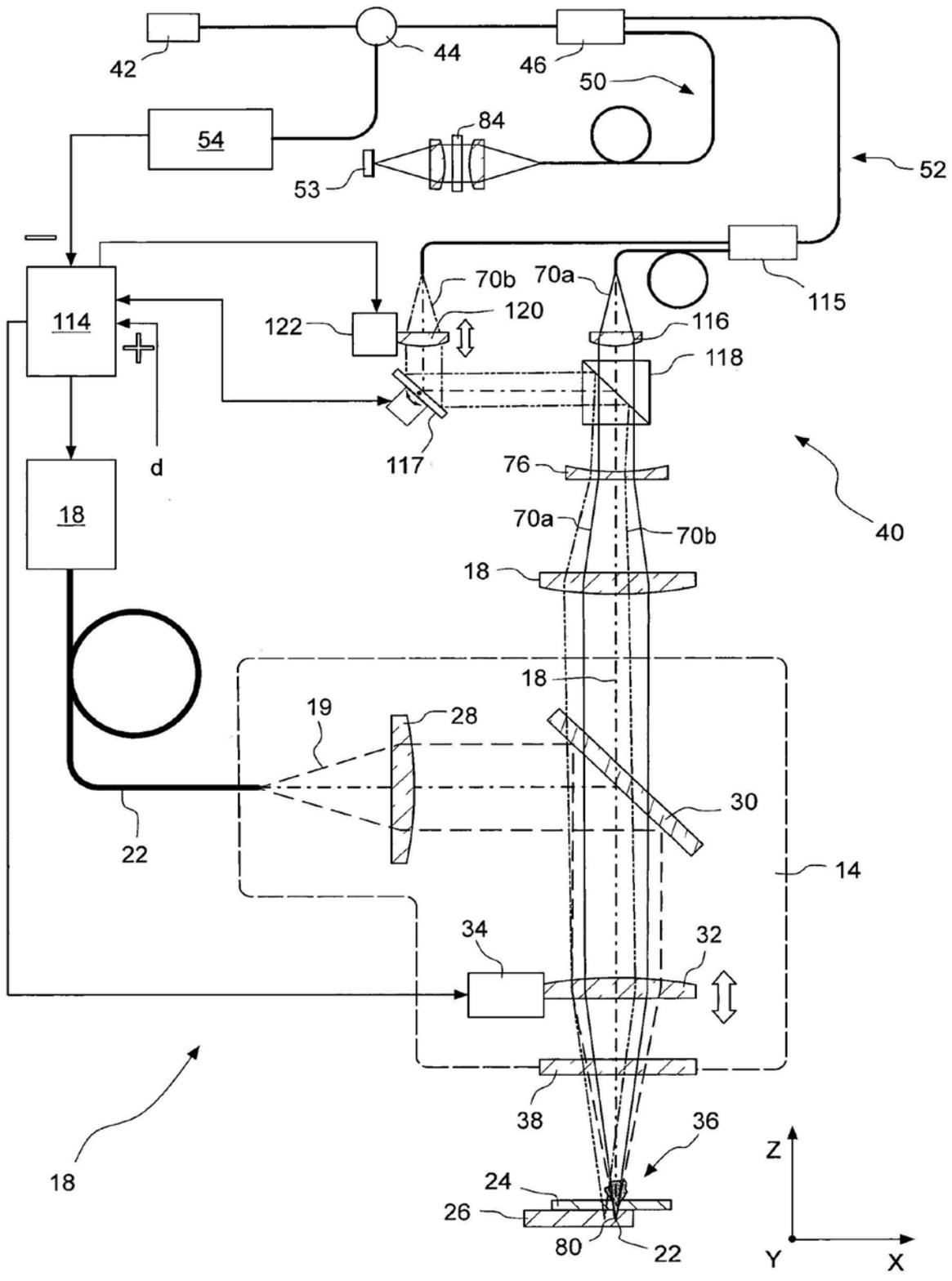


图10

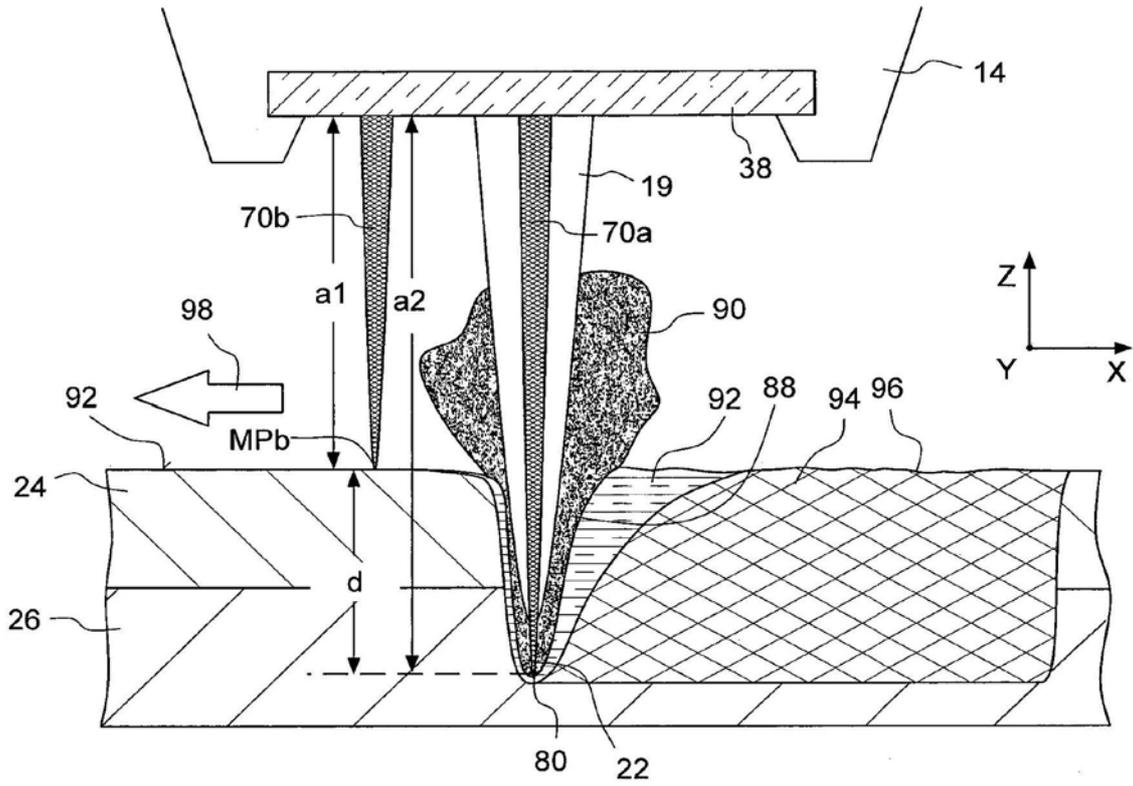


图11

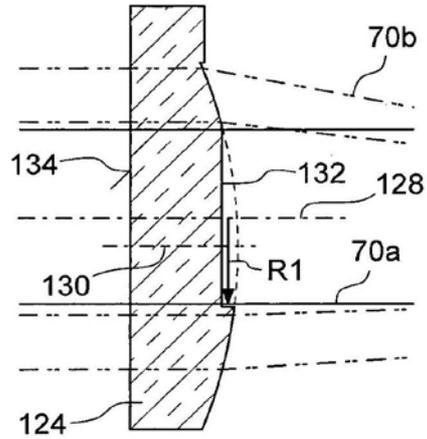


图13a

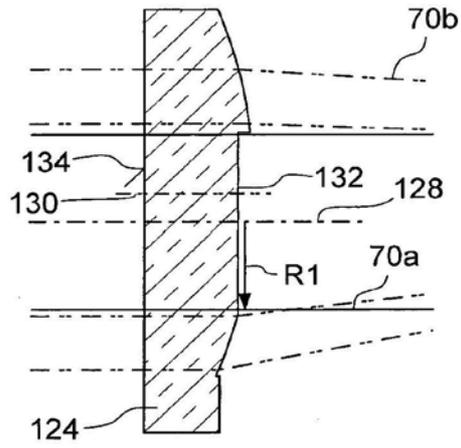


图13b

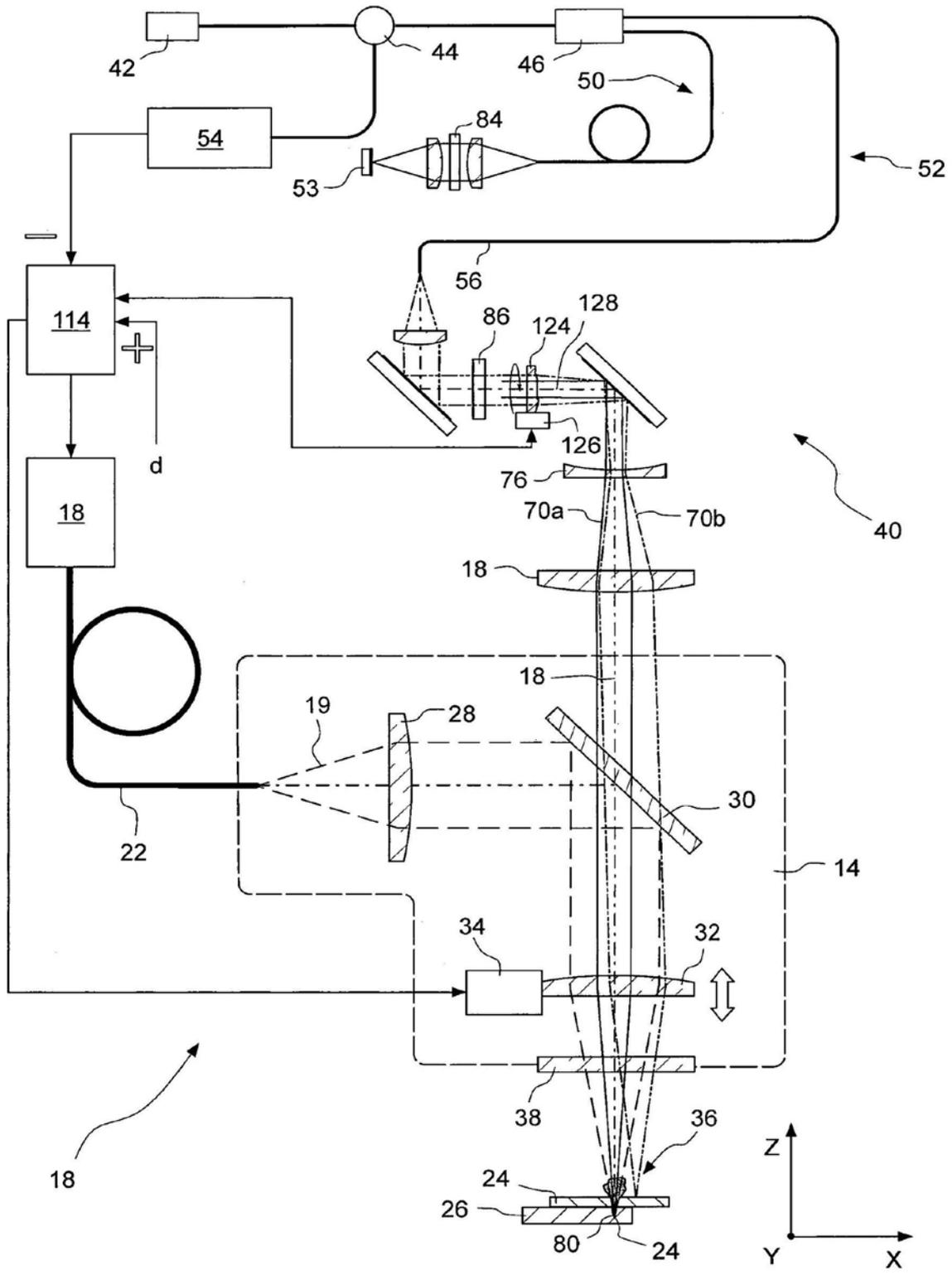


图12