

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B23K 20/12 (2006.01)

B23K 26/00 (2006.01)

B29C 65/06 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03800638.3

[45] 授权公告日 2007 年 2 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 1301822C

[22] 申请日 2003.9.2 [21] 申请号 03800638.3

[30] 优先权

[32] 2002. 9. 17 [33] US [31] 10/245,016

[86] 国际申请 PCT/US2003/027505 2003. 9. 2

[87] 国际公布 WO2004/026521 英 2004. 4. 1

[85] 进入国家阶段日期 2004. 1. 9

[73] 专利权人 波音公司

地址 美国华盛顿

[72] 发明人 罗伯特·R·赖斯 简·维特罗韦茨

[56] 参考文献

CN1198974A 1998. 11. 18

US5718366A 1998. 2. 17

WO9939861A1 1999. 8. 12

EP0810056A 1997. 12. 3

US5460317A 1995. 10. 24

US5829664A 1998. 11. 3

审查员 黄永杰

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

代理人 党晓林

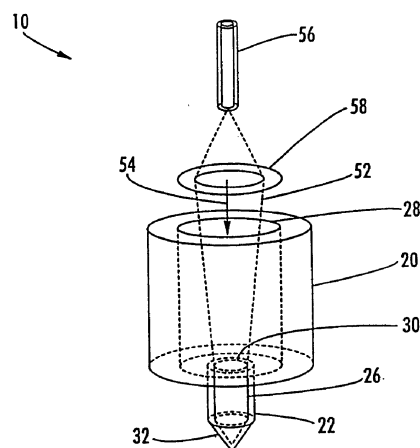
权利要求书 4 页 说明书 8 页 附图 3 页

[54] 发明名称

辐射辅助摩擦焊

[57] 摘要

本发明提供了一种用于对结构部件进行摩擦焊的装置和方法。该装置包括相连的柄和探头。该探头确定有吸收表面和伸向该吸收表面的空腔。该吸收表面设置成接收来自电磁辐射源的电磁辐射，该电磁辐射源例如光源或 RF 发生器。该辐射加热探头，补充由探头和结构部件之间的摩擦产生的热量，从而增加探头在用于对结构部件进行摩擦焊时的速度。



1. 一种用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置，包括：

柄；以及

与所述柄相连的探头，该探头设置成由所述柄致动，以便对该至少一个结构部件进行摩擦焊，

其中，所述探头限定有吸收表面和伸向所述吸收表面的空腔，所述吸收表面设置成接收电磁辐射，从而加热所述探头。

2. 根据权利要求 1 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置，其特征在于，还包括：可旋转的致动器，该可旋转致动器与所述柄旋转连接，从而所述可旋转致动器可以使所述柄绕所述探头的纵向轴线旋转，且其中所述探头包括摩擦搅动焊接销。

3. 根据权利要求 1 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置，其特征在于，还包括：可往复运动的致动器，该致动器与所述柄往复运动连接，且其中所述探头包括摩擦搅动焊接叶片。

4. 根据权利要求 1 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置，其特征在于，还包括：电磁辐射源，该电磁辐射源设置成照射所述吸收表面，从而加热所述探头。

5. 根据权利要求 4 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置，其特征在于，所述电磁辐射源是设置成将光引向所述吸收表面的光源。

6. 根据权利要求 5 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置，其特征在于，还包括：光导纤维电缆，该光缆设置成将由所述光源发出的光引向所述吸收表面。

7. 根据权利要求 4 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置，其特征在于，所述电磁辐射源是设置成将射频辐射引向所述吸收表面的射频发生器。

8. 根据权利要求 7 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置，其特征在于，还包括：波导管，该波导管设置成将由所述射频发生器发出的电磁辐射引向所述吸收表面。

9. 根据权利要求 4 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置, 其特征在于, 所述空腔沿纵向方向穿过所述探头的至少一部分延伸, 且所述电磁辐射源设置成沿所述探头的纵向方向发射电磁辐射。

10. 根据权利要求 9 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置, 其特征在于, 所述空腔延伸穿过所述柄。

11. 根据权利要求 10 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置, 其特征在于, 所述空腔限定为在所述柄中的截面尺寸大于在所述探头中的截面尺寸。

12. 根据权利要求 1 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置, 其特征在于, 所述吸收表面相对于从电磁辐射源接收的电磁辐射的传播方向倾斜。

13. 根据权利要求 1 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置, 其特征在于, 所述吸收表面为弯曲的。

14. 根据权利要求 1 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置, 其特征在于, 所述吸收表面为锥形的。

15. 一种用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的摩擦焊工具, 该摩擦焊工具包括:

柄;

与所述柄相连的探头, 其中所述探头确定了内部吸收表面, 和所述探头与所述柄相配合以限定伸向所述吸收表面的空腔;

致动器, 该致动器设置成致动所述柄和所述探头, 从而对该至少一个结构部件进行焊接; 和

电磁辐射源, 该电磁辐射源设置成照射所述吸收表面, 从而加热所述探头, 其中所述空腔沿纵向方向延伸通过所述探头的一部分, 所述电磁辐射源设置成沿所述探头的纵向方向发射电磁辐射。

16. 根据权利要求 15 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的摩擦焊工具, 其特征在于, 所述探头包括摩擦搅动焊接销, 所述致动器是与所述柄旋转连接的可旋转致动器, 这样, 所述可旋转致动器可以使所述销绕所述销的纵向轴线旋转。

17. 根据权利要求 15 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊

的摩擦焊工具，其特征在于，所述探头包括摩擦搅动焊接叶片，所述致动器是可往复运动的致动器，该致动器与所述柄往复运动连接，这样，所述致动器可以使所述叶片沿平行于该叶片的方向往复运动。

18. 根据权利要求 15 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的摩擦焊工具，其特征在于，所述电磁辐射源是设置成将光引向所述吸收表面的光源。

19. 根据权利要求 15 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的摩擦焊工具，其特征在于，还包括：光导纤维电缆，该光缆设置成将由所述光源发出的光引向所述吸收表面。

20. 根据权利要求 15 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的摩擦焊工具，其特征在于，所述电磁辐射源是设置成将射频辐射引向所述吸收表面的射频发生器。

21. 根据权利要求 20 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的摩擦焊工具，其特征在于，还包括：波导管，该波导管设置成将由所述射频发生器发出的电磁辐射引向所述吸收表面。

22. 根据权利要求 15 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的摩擦焊工具，其特征在于，所述吸收表面相对于从所述电磁辐射源发射的电磁辐射的传播方向倾斜。

23. 根据权利要求 15 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的摩擦焊工具，其特征在于，所述吸收表面为弯曲的。

24. 根据权利要求 15 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的摩擦焊工具，其特征在于，所述吸收表面为锥形的。

25. 一种对至少一个结构部件进行摩擦焊的方法，该方法包括：

驱使摩擦焊探头进入该至少一个结构部件；

致动该摩擦焊探头，以便对该至少一个结构部件进行摩擦焊；以及

用电磁辐射来照射探头的吸收表面，从而加热该探头。

26. 根据权利要求 25 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的方法，其特征在于，还包括：提供至少一个结构部件，该结构部件由在至少 800℃温度下塑化的材料形成，且其中所述照射步骤包括将该至少一个结构部件的至少一部分加热至至少 800℃温度。

27. 根据权利要求 25 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的方法，其特征在于，该探头是摩擦搅动焊接销，且其中所述致动步骤包括使该销绕纵向轴线旋转，所述照射步骤包括将电磁辐射沿销的纵向方向并朝向该销引导。

28. 根据权利要求 25 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的方法，其特征在于，该探头是摩擦焊叶片，所述致动步骤包括使该叶片在由该至少一个结构部件限定的交界面中往复运动。

29. 根据权利要求 25 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的方法，其特征在于，所述照射步骤包括通过由探头限定的空腔照射该探头，其中，吸收表面为内表面，它至少部分地限定该空腔。

30. 根据权利要求 25 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的方法，其特征在于，所述照射步骤包括沿相对于吸收表面倾斜的方向引导电磁辐射。

31. 根据权利要求 25 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的方法，其特征在于，所述照射步骤包括用光照射所述吸收表面。

32. 根据权利要求 25 所述的用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的方法，其特征在于，所述照射步骤包括用射频辐射来照射所述吸收表面。

辐射辅助摩擦焊

技术领域

本发明涉及摩擦焊，尤其是涉及一种在摩擦焊过程中利用电磁辐射来提供热量的装置和方法。

背景技术

如本领域已知，摩擦焊通常包括在工具和包括一个或多个结构部件的工件之间产生摩擦力，以便形成结构部件的塑化区域，在该塑化区域中，结构部件的材料被塑化、混合，然后冷却以便形成摩擦焊接头。在一个普通方法中，工具是旋转工具，例如摩擦搅动焊接工具，该摩擦搅动焊接工具包括可旋转的柄和销。该柄和销旋转，且该销被驱使进入一个结构部件内或相邻结构部件之间的交界面内。随着销旋转，销和结构部件之间的摩擦加热结构部件并形成塑化区域，在该塑化区域中结构部件的材料塑化，但是通常不熔化。销的旋转运动还使塑化区域中的结构部件的材料混合。该销通过结构部件或沿交界面平移，以便形成线性摩擦搅动焊接接头。在另一普通方法中，摩擦焊工具往复运动，而不是旋转。

摩擦焊可以提供坚固可靠的焊接接头，并可以用于各种材料，例如钢、钛、铝和它们的合金，这些材料中的一些很难通过其它焊接方法例如电弧焊来连接。因此，摩擦焊提供了一种其它类型的焊接以及紧固件（例如螺钉、螺栓、铆钉等）的可选替代方案。不过，摩擦焊的速度受到工具通过结构部件平移时的速度的限制，因此摩擦焊的成本效益受到限制。当工具平移太快时，在工具和结构部件之间产生的摩擦热将不足以使结构部件塑化，从而降低了所形成的焊接接头的质量。因此，工具的平移速度通常受到在工具和结构部件之间产生的摩擦热的速度的限制。

提出的一种摩擦焊方法包括向结构部件提供附加热量，以补充由摩擦焊工具产生的摩擦热。例如，电流可以通过结构部件，从而在结构部件中产生电阻加热。也可选择，利用感应加热器或激光加热结构部件。不过，在结构部件中产生的有效加热可能根据各结构部件的特征而变化。例如，结构部件的电阻、电感和表面反射率分别影响由电阻加热、感应加热和激光加热产生的加热量。此外，加热可以并不局限于紧邻焊接接头的区域，而是影响结构部件的较大区域，有时称为“热影响区域”，该特征对材料的特性不利，例如增加由加热引起的脆性。由附加加热引起的较大热影响区域降低了焊接接头的质量，并需要进行额外的处理来恢复材料的原始性质。

因此，需要一种用于在各种材料中形成坚固可靠的摩擦焊接头的摩擦焊装置和方法。该装置和方法应当向结构部件提供热量，以便补充在摩擦焊工具和结构部件之间产生的摩擦热，从而增加最大焊接速度。该装置和方法还应当向不同结构部件提供一致的加热，并能够使加热限制在结构部件的特殊区域。

发明内容

本发明提供了一种用于对至少一个结构部件进行摩擦焊的装置。该装置包括柄（shank）和与该柄相连的探头。该探头设置成由该柄致动，以便对至少一个结构部件进行摩擦焊。柄和探头中的至少一个确定有吸收表面和伸向该吸收表面的空腔。该吸收表面设置成接收来自电磁辐射源的电磁辐射，以便加热该探头。该吸收表面可以在内部，和/或朝从电磁辐射源接收的电磁辐射的方向倾斜。该吸收表面也可以为弯曲形和/或锥形。根据本发明的一个方面，探头确定了至少一个穿过吸收表面延伸的孔，这样，电磁辐射可以从空腔通过该孔进行传播，并照射到结构部件上。

该装置还可以包括电磁辐射源，该电磁辐射源设置成照射吸收表面，从而加热探头和结构部件。电磁辐射源可以是光源或射频发生器，且可以提供光导纤维电缆或波导管用于将辐射导向吸收表面。空腔可以沿探头的纵向方向延伸，电磁辐射源可以设置成沿探头的纵向方向发射

电磁辐射。

根据本发明的一个方面，探头是摩擦搅动焊接销，该装置包括可旋转致动器，该可旋转致动器与柄旋转连接（communicate），这样，该可旋转致动器可以使该柄绕探头的纵向轴线旋转。根据本发明的另一方面，探头是摩擦搅动焊接叶片（blade），该装置包括可往复运动的致动器，该致动器与柄往复运动地连接。

本发明还提供了对至少一个结构部件进行摩擦焊的方法。该方法包括提供至少一个结构部件，该结构部件可以由在至少 800℃ 温度下塑化的材料形成。驱使摩擦焊探头进入至少一个结构部件，使该探头对该至少一个结构部件进行摩擦焊。与探头热连接的柄的吸收表面由电磁辐射来照射，例如光或射频辐射，从而加热探头。例如，光可以沿相对于吸收表面倾斜的方向被引导。该至少一个结构部件可以被加热至至少 800℃。

根据本发明，该探头是摩擦搅动焊接销，该摩擦搅动焊接销绕纵向轴线旋转，和电磁辐射沿销的纵向方向被导向并且朝向该销。根据另一方面，探头是摩擦焊叶片，该摩擦焊叶片在由该至少一个结构部件确定的交界面中往复运动。

附图说明

上文已经总体介绍了本发明，下面将参考附图进行说明，附图并不需要按比例画出，且附图中：

图 1 是本发明一个实施例的摩擦焊工具的立体图；

图 2 是图 1 中的本发明一个实施例的摩擦焊工具的立体图，该摩擦焊工具设置为形成用于连接两个结构部件的摩擦搅动焊接接头；以及

图 3 是本发明另一实施例的可往复运动的摩擦焊工具的立体图，该摩擦焊工具设置为形成用于连接两个结构部件的摩擦焊接头。

具体实施方式

下面将参考附图更详细地介绍本发明，附图中表示了本发明的优选实施例。不过，本发明也可以以多种不同形式实施，不应限制为这里所

述的实施例，提供这些实施例是为了进行完整和完全的说明，且这些实施例将本发明的范围充分传达给本领域技术人员。这些附图中，相同的参考标号表示相同元件。

下面参考图 1，图中表示了本发明一个实施例的摩擦焊工具 10。该摩擦焊工具 10 包括柄 20 和安装在该柄 20 上的探头 22，该探头例如为摩擦搅动焊接销。如下面所述，探头 22 确定有内部吸收表面 32，该内部吸收表面 32 确定了至少穿过柄 20 延伸的空腔 26 的一部分。该吸收表面 32 用于接收电磁辐射，例如如图所示通过光纤光缆 56 沿射束路径 52 在传播方向 54 被导向的光。

在图 2 中，图示的摩擦焊工具 10 用于连接两个结构部件 60、62。结构部件 60、62 布置成相互邻靠，以便在它们之间形成交界面 64。在所示的实施例中，结构部件 60、62 之间的交界面 64 平行于探头 22 的纵向轴线，但是结构部件 60、62 也可以布置成其它结构。例如，结构部件 60、62 可以重叠，并布置成使交界面 64 基本垂直于探头 22 的纵向轴线延伸，这样，探头 22 穿过第一结构部件 60 和交界面 64 延伸，并至少部分伸入第二结构部件 62 中。

本发明的摩擦焊工具 10 可以用于连接任意数目的结构部件 60、62，且各结构部件 60、62 可以由各种材料形成，包括但不限于：钢、钛、铝、以及它们的合金。还有，各结构部件 60、62 可以由不同材料形成，且该材料的组合可以是利用普通的非摩擦焊技术很难或不能连接的组合。结构部件 60、62 也可以由在高温下塑化的材料形成，因此通常当使用普通摩擦焊时在被限制的速度下进行焊接。例如，一个或两个结构部件 60、62 可以由在至少 800℃温度下塑化的材料形成，例如钛或某些钢。

柄 20 与驱动轴（未示出）相连，该驱动轴设置成由致动器（未示出）例如电马达致动。该驱动轴设置成沿探头 22 的纵向方向推动该柄 20，从而将驱使该探头 22 进入交界面 64。支持部件例如砧台 40 可以布置成与结构部件 60、62 相对，以便抵抗探头 22 和柄 20 对结构部件 60、62 施加的推压力，这样结构部件 60、62 并不会由于该推压力而变形。驱动轴还用于使柄 20 和探头 22 旋转，并使该柄 20 和探头 22 沿交界面 64 平移，

例如分别由方向 46 和 44 所示。当探头 22 旋转并平移通过该交界面 64 时，探头 22 和结构部件 60、62 之间的摩擦产生热量，该热量使结构部件 60、62 的靠近交界面 64 的材料塑化，以形成塑化材料区域，该塑化材料通过探头 22 而混合。当塑化材料冷却并硬化时，形成摩擦焊接头 66，从而连接该结构部件 60、62。普通的摩擦焊在授予 Thomas 等人的美国专利 No. 5, 460, 317 中介绍，该文献的整个内容被本文参引。

柄 20 和探头 22 可以形成为能够进行连接的单独部件，或者该柄 20 和探头 22 可以形成为单个部件。此外，柄 20 和探头 22 可以由各种材料制成。优选地，至少探头 22 包括耐火材料，即，能够在高温摩擦焊过程中防止熔化的材料。优选是，该探头还较硬且耐磨损。例如，该探头 22 和/柄 20 可以由钨、钼、钛、镍、钢、它们的合金、单晶或多晶金刚石、或者镍基超级合金形成，并优选地为在较高工作温度下较坚硬。该探头 22 还可以包括涂层，例如通过蒸气相沉积形成的金刚石膜，以便增加耐磨损性，或者影响探头 22 的摩擦特性。探头 22 的外部根据需要可以是粗糙的或光滑的，以在焊接过程中在探头 22 和结构部件 60、62 之间产生所需的摩擦力。

电磁辐射源（如图 2 所示的高密度光源 50）设置成将电磁辐射传递到空腔 26 中。高强度光源 50 可以包括激光器、高亮度激光二极管、激光二极管阵列、弧光灯、或者其它用于发射高功率光束的装置。特别是，光源 50 可以包括普通的工业激光器，例如二氧化碳激光器、一氧化碳激光器、掺杂钕的钇铝石榴石（Nd:YAG）激光器（neodymium doped yttrium aluminum garnet laser）、或者高功率半导体二极管。也可选择，电磁辐射源可以包括用于传递其它类型的辐射（例如射频辐射（RF））的源。由辐射源产生的辐射的量例如取决于结构部件 60、62 的厚度和塑化温度。例如，光源 50 可以产生大约 100 至 100,000 瓦的辐射。优选地，该光源 50 远离柄 20 和驱动轴，且来自光源 50 的光通过一个或多个镜子或其它反射表面、空心管、透镜、光导纤维电缆（fiber optic cable）、光导管、或者其它光引导部件而引向空腔 26。不过，如果需要的话，光源 50 或其它电磁辐射源可以与柄 20 和/或驱动轴形成为一体。

用于接收来自电磁辐射源的电磁辐射的空腔 26 至少部分地由探头 22 的吸收表面 32 确定。优选地，摩擦焊工具 10 设置成使探头 22 的纵向轴线穿过空腔 26 延伸，并且在一个实施例中，空腔 26 布置成使纵向轴线穿过该空腔 26 的中心延伸，这样空腔 26 相对于探头 22 的纵向轴线对称。尽管空腔 26 可以穿过柄 20 延伸，同时吸收表面 32 由探头 22 的面对柄 20 的近端确定，但是该空腔 26 通常地穿过柄 20 和探头 22 的至少一部分延伸。在更典型的实施例中，吸收表面 32 因此由探头 22 的内表面确定，如图 1 和 2 所示。如图 1 和 2 所示，空腔 26 从探头 22 延伸，穿过探头孔 30 伸入柄 20，并穿过柄 20 伸向柄孔 28。空腔 26 的截面尺寸通常为在柄 20 中的截面尺寸大于在探头 22 中的。不过如果需要的话整个空腔 26 可以为相同的截面尺寸。空腔 26 的内表面吸收电磁辐射，该空腔 26 被形成为或被处理成控制吸收率。例如，吸收表面 32 可以涂覆有高吸收率的材料，例如碳基涂层、油漆或陶瓷，这样吸收表面 32 与空腔 26 的其它表面相比有更高的吸收性。

光源 50 用于照射至少吸收表面 32，从而加热该吸收表面 32，并因此加热探头 22 和结构部件 60、62。优选地，吸收表面 32 设置成相对接收的从光源 50 的光的方向倾斜。例如，该吸收表面 32 可以为凹锥形，如图 1 所示，或者为凸锥形。在其它实施例中，吸收表面 32 可以限定弯曲表面例如抛物线形、一个或多个平表面（该平表面相对于光倾斜一定角度）、或者不规则表面（例如凹坑或粗糙表面）。优选地，吸收表面 32 的倾斜结构减小了光从该吸收表面 32 直接反射回光源 50 的反射率。相反，由吸收表面 32 反射的光被引向空腔 26 的其它部分。例如，沿图 1 中的方向 54 引导并由锥形吸收表面 32 局部反射的光主要朝着吸收表面 32 的其它部分被反射，在这些部分处，部分光被吸收，部分光被再次反射。尽管一些光可能随后朝着光源 50 被反射回去，但是通过防止从吸收表面 32 的初始反射被直接引向光源 50，可以减小反射到光源 50 的光量，从而减小光源 50 的放热和损耗。此外，通过增加光在朝着光源 50 反射之前在空腔 26 内发生的反射次数，可以增加光在吸收表面 32 上的加热效果。而且，因为吸收表面 32 并不垂直于由光源 50 发出的光的方向，

因此，能够在比射束路径 52 的截面面积更大的面积上接收光，从而减小在探头 22 上靠近吸收表面 32 处的热应力。通过在吸收表面 32 上提供高吸收率表面、用保护透镜保护光源 50、或者分散发射到吸收表面 32 的光，还可以防止光源 50 受到过多反射光。此外，柄孔 28 和/或探头孔 30 可以小于空腔 26 的其余部分的截面尺寸，以便防止光从该空腔 26 中逸出。一个或多个光学装置例如镜子、透镜、滤光器等也可以用于调节焦点、射束宽度、散射、以及由吸收表面 32 接收的光的相干性。

图 3 中所示的摩擦焊工具 10 包括：电磁辐射源，该电磁辐射源是 RF 发生器 50a；以及探头 22a，该探头是摩擦焊叶片。如上面关于图 2 的摩擦焊工具 10 所述，RF 发生器 50a 用于照射吸收表面 32，以向探头 22a 提供附加热量。包括同轴电缆或空心管的波导管 56a 将由发生器 50a 发出的 RF 辐射导向空腔 26 并朝着探头 22a 的吸收表面 32，而 RF 透镜 58a 使通过矩形探头孔 30 的辐射聚焦。该探头 22a 可以被插入或推入结构部件 60、62 之间的交界面 64 中，并被往复致动，以在探头 22a 和结构部件 60、62 之间产生摩擦，以使结构部件 60、62 的材料塑化、使塑化材料混合，且从而形成焊接接头 66，以便连接结构部件 60、62。工具 10 的驱动轴与可往复运动致动器（未示出）相连，并用于驱使探头 22a 进入交界面 64、使该探头 22a 沿方向 48 往复运动，并使探头 22a 沿方向 44 平移。尽管图示的工具 10 的纵向轴线平行于探头 22a 和交界面 64，但是柄 20、驱动轴和光源 50 中的一个或多个可以布置成相对于探头 22a 成一定角度，例如与其垂直。此外，探头 22a 可以布置成与交界面 64 成一定角度，如本领域已知。

在一种典型操作方法中，摩擦焊工具 10 用于通过形成摩擦焊接头 66 来连接两个结构部件 60、62。结构部件 60、62 布置成在它们之间形成交界面 64，并被推压在一起。例如通过沿探头 22、22a 的纵向方向推压探头 22、22a 并使其进入交界面 64，摩擦焊探头 22、22a 被推入结构部件 60、62。摩擦焊探头 22、22a 例如通过使用致动器来致动，以使柄 20 和探头 22、22a 旋转或往复运动，并使该柄 20 和探头 22、22a 沿交界面 64 平移。电磁辐射源 50、50a 发出辐射，该辐射朝向和照射吸收表面

32。由吸收表面 32 接收的、来自电磁辐射源 50、50a 的辐射加热吸收表面 32，并例如通过吸收表面 32 和探头 22、22a 之间的传导而对整个探头 22、22a 进行热连通。由探头 22、22a 接收的、来自电磁辐射的热量补充由探头 22、22a 产生的摩擦热，这样与只通过摩擦加热的结果相比，探头 22、22a 和结构部件 60、62 以更快的速度被加热。因此，塑化区域以更快的速度形成于结构部件 60、62 中，且探头 22、22a 可以更容易地平移通过结构部件 60、62，并且速度比探头 22、22a 只由摩擦热加热时的可能速度更快。

本领域技术人员根据前面的说明书和附图中的教导内容，可以提出本发明的多种变化形式和其它实施例。因此，应当知道，本发明并不局限于所述特定实施例，这些变化形式和其它实施例将包含在附加权利要求的范围内。尽管在本文中采用了专业术语，但是它们只是用于说明目的，并不是为了限制。

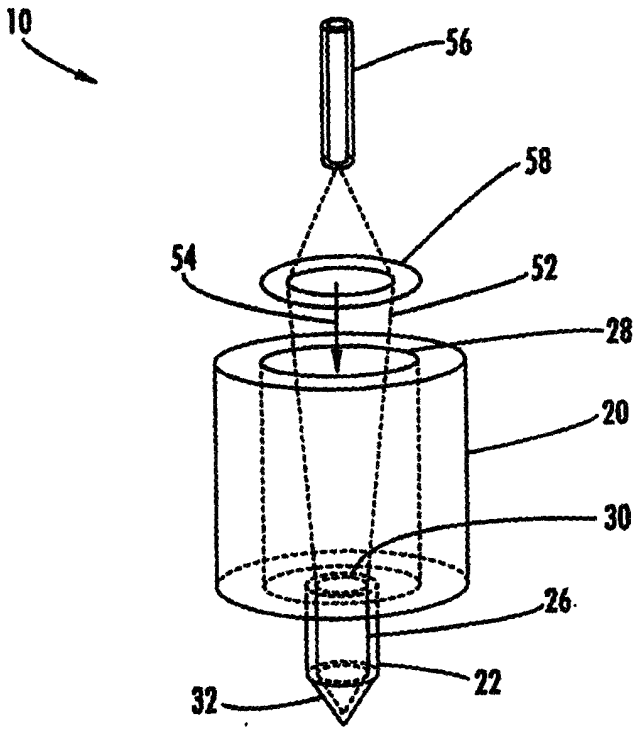


图 1

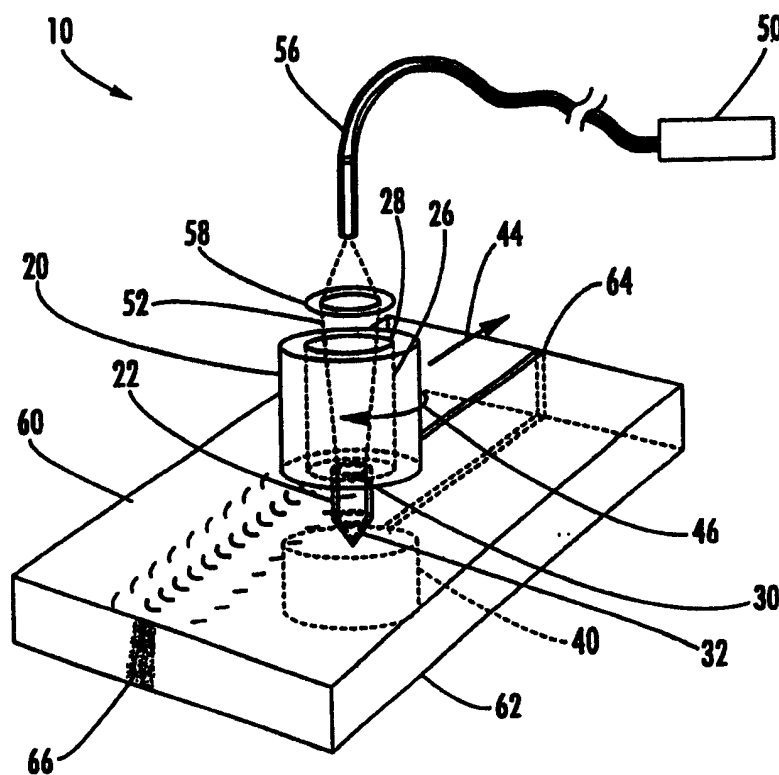


图 2

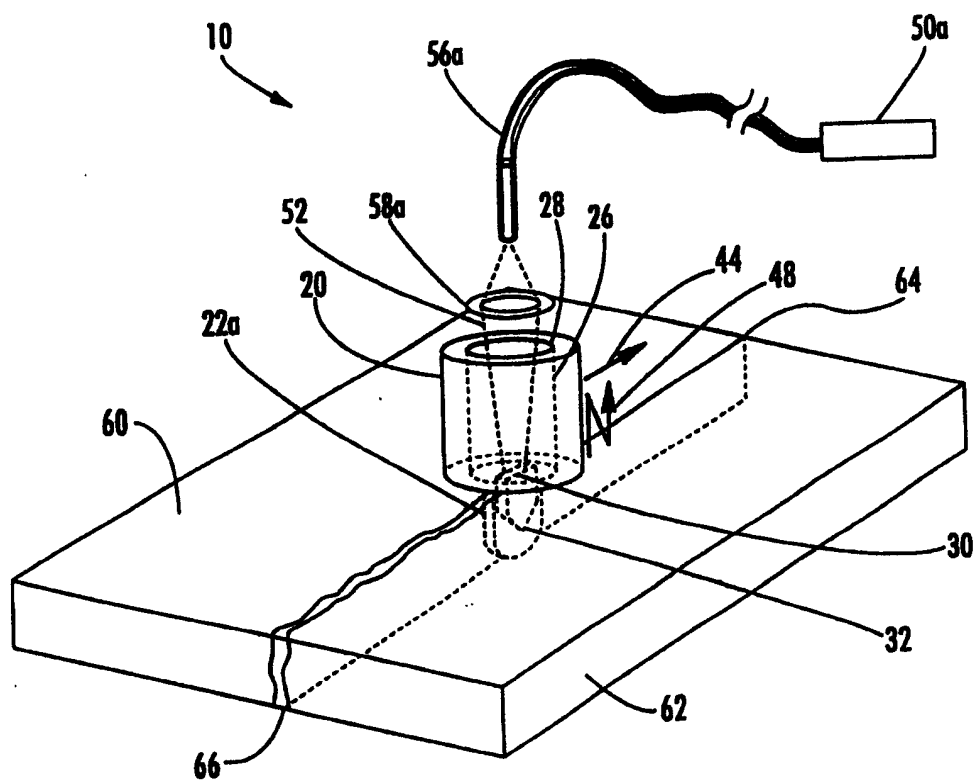


图 3