

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

B23K 20/12

B23K 20/24 B23K 26/06

B23K 33/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01812990.0

[43] 公开日 2003 年 9 月 17 日

[11] 公开号 CN 1443102A

[22] 申请日 2001.7.19 [21] 申请号 01812990.0

[30] 优先权

[32] 2000. 7. 25 [33] DE [31] 10036170.6

[86] 国际申请 PCT/EP01/08345 2001.7.19

[87] 国际公布 WO02/07924 德 2002.1.31

[85] 进入国家阶段日期 2003.1.17

[71] 申请人 EADS 德国有限公司

地址 德国奥托布伦

[72] 发明人 弗朗克·帕尔姆

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

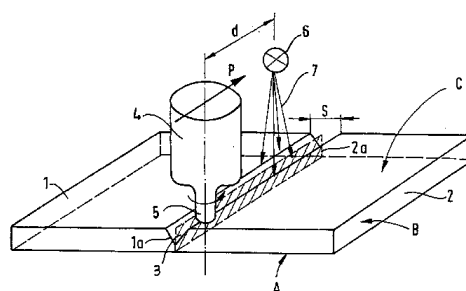
代理人 曾立

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

[54] 发明名称 激光辅助的摩擦搅动焊接方法

[57] 摘要

本发明涉及一种激光辅助的摩擦搅动焊接方法。为了进一步改进这种 FSW 方法，使得即使厚工件也能以高连接质量被焊接，使相互压紧的工件 (1, 2) 的侧面专门地适配。这里，相互压紧的侧面 (1a, 2a) 这样地构成，即这些侧面 (1a, 2a) 在根部区域 (A) 中接触，这样在向着焊接工具 (5) 和激光器方向的工件表面 (C) 上的侧面 (1a, 2a) 之间形成一个间隙 (s)，及在中间区域 (B) 具有一个自由空间。



ISSN 1008-4274

1.用于连接工件（1，2）的激光辅助的摩擦搅动焊接方法，包括以下步骤：

- 将工件（1，2）的待连接的侧面（1a，2a）相互压紧，由此得到一个连接区（3）；

- 使焊接探头（5）在转动的情况下沿连接区（3）向前运动及使用激光束（7）照射位于焊接探头（5）前面的工件材料，这样，基于激光能量及焊接探头（5）与工件（1，2）之间的摩擦能量使沿连接区（3）的工件材料塑化并在焊接探头（5）后面被硬化；及

- 在工件材料完全固化前从连接区（3）中撤走焊接探头（5），其特征在于：

这些侧面（1a，2a）这样地构成，即在相互压紧状态中这些侧面在背向焊接探头（5）的工件表面（A）上接触，使得在中间区域（B）直至工件表面（C）上这些侧面彼此间隔开，并使得在这些侧面（1a，2a）之间在朝向焊接探头（5）方向的工件表面（C）上形成一个间隙（s）。

2.根据权利要求1的方法，其特征在于：这些侧面（1a，2a）线性地倾斜。

3.根据权利要求1的方法，其特征在于：这些侧面（1a，2a）抛物线或弧形地倾斜。

4.根据权利要求1的方法，其特征在于：这些侧面（1a，2a）这样地构成，即通过相互压紧的侧面形成的对接轮廓为圆形或椭圆形，其中在朝向焊接探头（5）方向的工件表面（C）上的这些侧面之间形成一个间隙（s）。

5.根据权利要求1的方法，其特征在于：这些侧面（1a，2a）这

样地构成，即通过相互压紧的侧面（1a，2a）形成的对接轮廓具有射束捕集器（Strahlfalle）的形状。

6.根据权利要求 1 的方法，其特征在于：激光束（7）由 CO₂ 激光器、钕-YAG 激光器、半导体激光器或激光器二极管发射。

7.根据权利要求 1 的方法，其特征在于：激光束（7）的波长小于或等于 10.6 μm。

8.根据权利要求 1 的方法，其特征在于：激光束（7）圆形地、椭圆形地、线形地或以另外形式聚焦或散焦。

9.根据权利要求 1 的方法，其特征在于：激光束（7）被脉冲地或连续地发射。

激光辅助的摩擦搅动焊接方法

本发明涉及根据权利要求 1 前序部分的激光辅助的摩擦搅动焊接方法。

摩擦搅动焊接（Friction-Stir-Welding, FSW）的基本原理例如已由 EP 0 615 480 公知。两个待连接的工件沿一个连接区形成接触并被保持及固定在该位置中。一个由比工件硬的材料作的探头在旋转运动情况下导入到连接区中及在连接区两侧的工件材料中。在此，探头产生摩擦热。因此对置的工件区域沿连接线呈一种塑化状态。探头沿连接线向前运动，以使得相对的工件区域的位于探头前的材料被塑化及在探头后面的塑化区域硬化。在材料完全硬化前，使探头离开连接区。材料如金属、其合金、金属复合材料（所谓“MCC”）或适合的塑料材料将以此方式彼此焊接。

另一种改进的摩擦搅动焊接方法例如由 EP 0 752 926 公知，其中使得缺陷部位少及可达到加工材料的平滑表面。该文献描述了一种改良的探头配置。插入连接区的旋转探头相对法线倾斜，以使得探头指向朝前运动的方向上。由此，在连接区中产生的塑化材料受到沿工件表面的一个垂直压力。这导致材料流动的改善及由此导致均匀的焊缝。以此方式可以产生缺陷数目少及表面平滑的连接。

另一种摩擦搅动焊接方法例如由 WO 99/39861 公知。其中描述了一种方法，其中使用附加的热源。该热源用于加热旋转探头前的区域。由此起到有效塑化材料的作用，因为不仅可利用旋转探头的摩擦热量，而且可利用所述单独热源的附加热量。作为附加热源例如可使用电阻加热器、电感线圈、高频电感线圈或激光。

电阻加热器的应用具有其缺点，因为在工具及工件之间流过相对大的电流。仅是较好的防护也不能排除对环境尤其对人的伤害。此外要求工件及工具的材料导电。因此由涂层的金属或陶瓷不能构成理想的FSW工具。

此外公知的方法中具有缺点是，与待接合的Al合金相关，通常仅允许有限的加工速度。这尤其在加工厚工件（典型 $>6\text{mm}$ ）时有问题。此外厚工件有在工件材料中导热不对称或不均匀的问题，以致该公知的方法不适合加工这种工件。

因此本发明的任务在于，提出一种摩擦搅动焊接方法，它能作到焊接时间短及焊接质量高，尤其在厚工件的情况下也如此。

该任务将通过具有权利要求1特征的方法来解决。根据本发明方法的进一步有利构型由从属权利要求中得出。

这里的中心构思是，将彼此待接合的工件的对接面专门地构型，以使得附加地由激光射入的能量被有效地利用来加热待塑化的材料。为此使工件的待连接的侧面这样地构成，即在相互压紧状态中这些侧面在对接轮廓的根部区域上接触，以使得在相互压紧的侧面之间在朝向工具及激光光源方向的工件表面上具有一个间隙，及在中间区域中该对接轮廓具有一个自由空间或空腔。以此方式显著减少或完全避免了不希望有的激光束在工件表面的反射。此外通过适配的侧面可达到：激光能量集中地射入工件的中间区域及基于热传导从那里均匀地扩展到整个横截面。这实现了工件材料很有效的加热及在加工厚度大于 6mm 的样品时尤其有利。

根据本发明的第一实施形式，工件的待连接侧面这样地倾斜：在对接轮廓的根部区域中工件相接触，及在朝向工具及激光光源方向的工件表面上、即根部区域对面的工件表面上在侧面之间具有一个间隙。

根据第二实施形式，工件的待连接的侧面抛物线或弧形地倾斜及在对接轮廓的根部区域中相接触。从根部区域开始这些侧面由于倾斜而间隔有间距，其中该距离向着朝向工具及激光光源方向的工件表面增大。

根据另一实施形式，在对接横截面中看，工件的待焊接的侧面具有半圆形或弧形轮廓，以使得工件在相互压紧状态中在根部区域相接触及在侧面之间在朝向工具及激光光源方向的工件表面上具有一个间隙。这里侧面之间的距离从根部区域开始增大，然后从中间区域的最大值向工件表面一直下降到间隙宽度的值。

根据另一实施形式，工件的待相互接合的侧面这样构成，侧面的对接轮廓在相互压紧状态中具有所谓射束捕集器（乌尔布利希球）的形状。

通过根据本发明的方法可达到待塑化区域的有效及均匀的加热，及由此达到快速的焊接速度及更好的连接质量。基于因较高的局部工件温度及处理温度的更好塑化一方面使过程力下降及另一方面提高了焊接速度。这尤其在接合厚横截面时有利。由此扩大了FSW方法的使用范围。

还有一个优点是，根据本发明的方法提供了更好的加工可靠性，此外由于过程力低使FSW加工机器的负荷减轻。由此从长期看可以节省加工成本。

以下将借助附图来详细地描述本发明的方法。附图为：

图 1：一个激光辅助的摩擦搅动焊接装置的概要视图；

图 2：图 1 中所示装置的侧视图；

图 3：彼此压紧状态下这些配合侧面的第一轮廓几何形状；

图 4：彼此压紧状态下配合侧面的第二对接轮廓；

图 5：彼此压紧状态下配合侧面的第三对接轮廓；及

图 6: 彼此压紧状态下配合侧面的第四对接轮廓。

图 1 概要地表示一个激光辅助的摩擦搅动焊接装置。彼此待连接的工件 1 和 2 沿它们的侧面 1a 及 2a 相互压紧。相互压紧的工件 1, 2 在此情况下通过在图 1 中未示出的固定装置来固定及保持。在相互压紧的侧面 1a, 2a 之间的连接区 3 中, 一个本身转动的探头 (Sonde) 5 被插在工件材料中, 由此探头 5 在连接区 3 的两侧压入工件材料中。该探头 5 被安装在 FSW 工具 4 的一个端部及由一种比工件硬的材料组成。该 FSW 工具 4 及探头 5 通过图 1 中未示出的电动机驱动。

从进给方向看 (图 1 中箭头 P), 在 FSW 工具 4 的前面附加地设有一个激光光源 6。该激光光源 6 相对工具 4 具有一个预定的确定距离 d。在工具 4 与激光光源 6 之间的恒定距离 d 例如通过图 1 中未示出的导向及固定装置来保证。激光光源 6 连续地或脉冲式地向待连接的工件 1, 2 的方向上发射激光束 7。它起到待沿连接区 3 相连接的工件的预热作用。

焊接过程这样进行: 在探头 5 旋转运动的情况下 FSW 工具 4 在进给方向 (图 1 中箭头方向 P) 上沿连接区 3 运动。由于工具 4 与激光光源 6 之间的固定距离 d, 激光光源 6 也如工具 4 那样在箭头方向 P 上沿连接区 3 运动。通过旋转的探头 5 并基于出现的摩擦能量使在连接区 3 两侧的工件材料塑化。同时, 在 FSW 工具 4 前面运行的激光束 7 沿连接区 3 对要连接的材料加热。因此除由探头 5 产生的摩擦热外还可利用通过激光束 7 所产生的热。由摩擦热及预加热一起可得到一个高的局部工件及处理温度。因此一方面由于更好的塑化使过程力减小, 及另一方面接合的速度可增大及可实现厚横截面 (>6mm) 的接合。

如图 2 所示, FSW 工具 4 垂直于工件表面定向。工具 4 及探头 5 也可具有倾斜位置, 如图 2 中虚线所示。沿进给方向上看在倾斜定

位情况下探头 5 指向前，即指向激光光源 6 的方向上。这种倾斜定位起到改善塑化材料流动的作用及由此可实现待连接工件 1, 2 外观上更美观及更均匀的连接。

作为激光光源 6 例如使用 CO₂ 激光器，钕-YAG 激光器或各种半导体激光器（二极管）。所使用的激光波长典型为 $\leq 10.6 \mu\text{m}$ 。该激光可脉冲地或连续地沿连接线 3 照射在待加热的区域上。视应用而定，该光束可为聚集的或散焦的。

为了使入射的激光能尽可能有效地被利用（即通过多次反射提高吸收），相互压紧的侧面 1a, 2a 具有一个专门的构型。图 3 表示第一实施形式。工件 1 和 2 的侧面是倾斜的。这些侧面 1a, 2a 例如是线性倾斜的，由此得到了图 3 中所示的锥形对接轮廓。在压紧状态中，工件的侧面 1a, 2a 在对接轮廓的所谓根部区域上相互接触。在此，该根部区域是背向工具 4 及激光光源 6 的工件表面区域及在图 3 至 6 中用 A 标示。在对接轮廓的中间区域中、即工件横截面的中间，它在图 3 至 6 中用 B 指示，在这种锥形的对接轮廓中相互压紧的侧面 1a 及 2a 彼此不接触。同时，在侧面 1a, 2a 之间朝向工具 4 及激光光源 6 方向的工件表面具有一个间隙 s，它在图 3 至 6 中用 C 指示。因此这些侧面由根部开始彼此这样间隔开，即侧面 1a, 2a 之间的距离 a 直到朝向工具 4 及激光光源 6 方向的工件表面连续地增大。由激光光源 6 发射的激光束 7 通过间隙 s 进入对接轮廓的中间区域 B，以使得附加的热量直接在接缝中通过吸收来产生及被继续传导。

配合侧面 1a, 2a 的另一构型可在图 4 中看到。图 4 中所示的对接轮廓具有半圆形或对称的、向工具 4 及激光光源 6 方向张开的弧形。在此，侧面 1a, 2a 分别抛物线状或弧形地倾斜，这样工件在压紧状态中在根部区域 A 接触。在中间区域 B 中也具有自由空间或空

腔。在该区域中相互压紧的工件 1, 2 的侧面不相接触。同样如在图 3 所示的构型中那样, 在朝向工具 4 及激光光源 6 方向的工件表面上在压紧工件 1, 2 的侧面 1a, 2a 之间形成一个间隙 s , 以使得激光束可进入中间区域 B。如上面那样侧面 1a, 2a 之间的距离 a 从根部 A 连续地增大至达到间隙宽度 s 为止。

图 5 表示配合的侧面 1a, 2a 的另一对接轮廓。这里侧面 1a, 2a 构造成半圆形或为各向着另一个侧面敞开的弧形。在这里, 侧面 1a, 2a 也是在根部区域 A 相互接触。通过侧面 1a, 2a 的半圆或弧形的构型, 从根部区域 A 开始, 在相对置的侧面 1a, 2a 之间的距离 a 首先连续地增大, 在中间区域 B 上达到其最大值后连续地下降, 一直到达工件表面 C 处的间隙宽度 s 。

在根据图 6 的构型中, 待相互接合的侧面 1a, 2a 是这样构成的, 即对接轮廓具有一个乌尔布利希球 (Ulbrichkugel) 的形状。这种构型具有其优点, 即在朝向工具及激光光源的表面上的反射量被全面地降低。可以说激光束被“收集”在该乌尔布利希球中。照射在中间区域 B 中的激光束被多次地反射, 以使得激光能量被最佳地利用来加热待塑化的材料。

除图 3 至 6 所示的对接轮廓外也可有配合侧面的其它构型。所有实施形式共同的是, 相互压紧的侧面在根部上接触, 而不是在中间及上部区域接触, 由此使中间及上部区域中的侧面彼此间隔开。在压紧状态中侧面 1a, 2a 在所述朝向工具 4 及激光光源 6 的表面 C 上彼此间隔开, 由此存在间隙 s 。激光束 7 通过该间隙 s 进入到工件的中间区域 B。由此激光的能量集中地到达工件 1, 2 的中间及然后均匀地扩展到工件 1, 2 的整个横截面。这在厚样品的情况下尤其有利, 因为以此方式可实现热量在整个样品厚度上的均匀分布。因此即使在厚样品上也能保证可靠的加工。

此外通过侧面 1a, 2a 的专门构型起到这样的作用：激光束 7 在中间区域 B 中被多次地反射，由此在向着激光光源方向的工件表面上的反射损耗降低。因此，由于损耗的降低使加热更有效。这在加工厚工件时特别有利。另外由于组合了摩擦热及预热，可以进行快速的加工，由此减小了制造及加工时间。这也对塑化具有正面影响，这样可实现均匀的焊接。

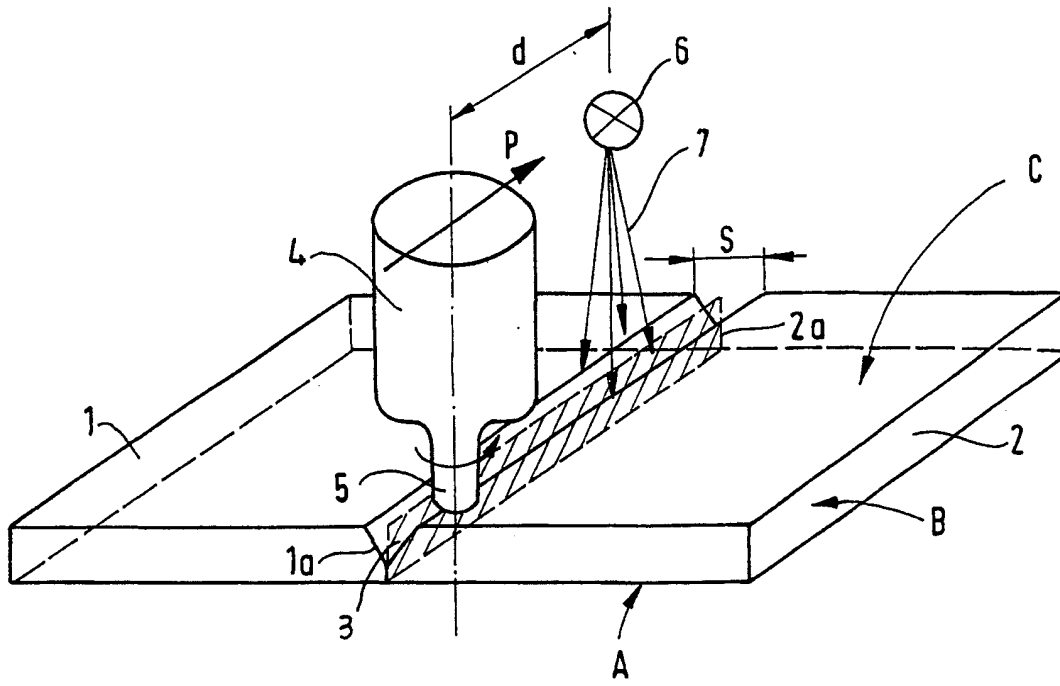
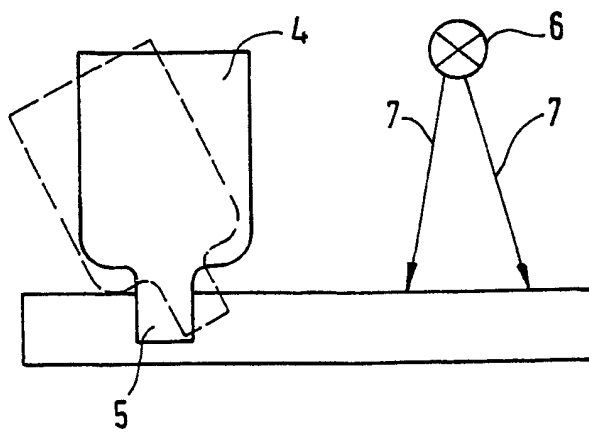


图 1

图 2



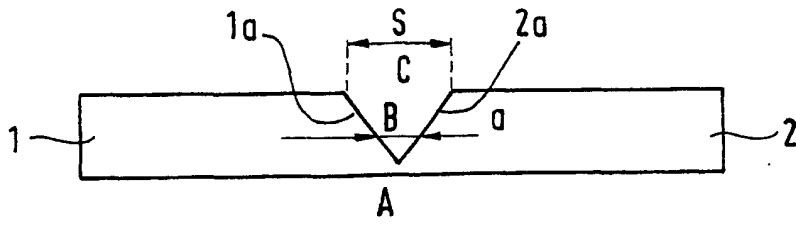


图 3

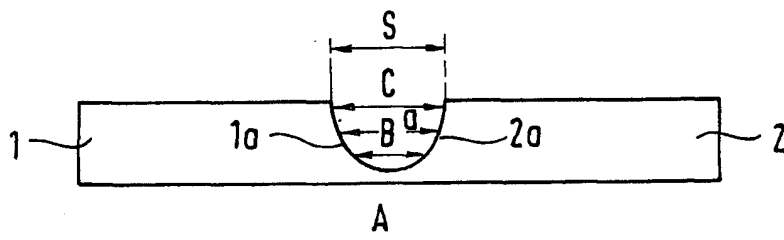


图 4

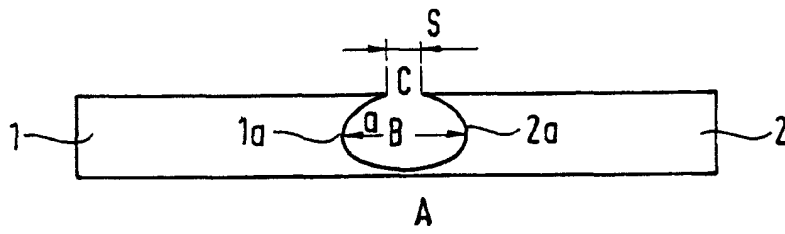


图 5

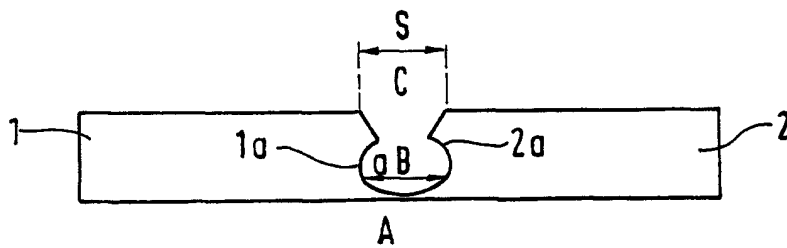


图 6