



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113500293 B

(45) 授权公告日 2022.05.31

(21) 申请号 202110895432.3

B23K 103/04 (2006.01)

(22) 申请日 2021.08.05

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 113118613 A, 2021.07.16

申请公布号 CN 113500293 A

CN 110524107 A, 2019.12.03

CN 107335921 A, 2017.11.10

(43) 申请公布日 2021.10.15

US 2018036840 A1, 2018.02.08

(73) 专利权人 吉林大学

US 2021060712 A1, 2021.03.04

地址 130000 吉林省长春市前进大街2699号

樊丁等. 铝/钢预置高熵合金粉末对接接头组织及力学性能.《兰州理工大学学报》.2019, (第06期),

(72) 发明人 谷晓鹏 周贺 徐国成 董娟

Dejia Liu等.Evaluation of dissimilar metal joining of aluminum alloy to stainless steel.《Journal of Manufacturing Processes》.2020, 第500-507页.

(74) 专利代理机构 吉林长春新纪元专利代理有限公司 22100

专利代理师 王怡敏

丁文等.CoCrFeMnNi高熵合金作为中间层的Cu/304不锈钢扩散连接研究.《金属学报》.2020, (第08期),

(51) Int.Cl.

B23K 26/21 (2014.01)

B23K 26/14 (2014.01)

B23K 26/70 (2014.01)

B23K 103/10 (2006.01)

审查员 周寒梅

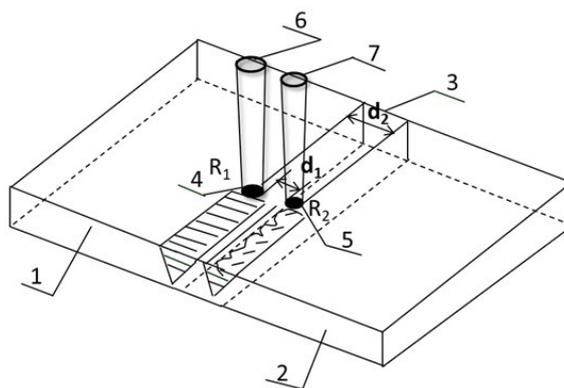
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

## (54) 发明名称

基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法

## (57) 摘要

本发明涉及一种基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,属于材料焊接技术领域。以Fe/Al基高熵合金金属片为中间层材料,精确调节两并排激光束的功率比,使主光束光斑位于钢板侧,辅助光束光斑位于铝合金板侧。通过控制温度场分布,当高功率激光束的温度达到Fe/Al基高熵合金金属片与钢板的液相线温度以上,在钢板侧,形成熔化焊缝。在铝合金板侧,由于铝熔点较低形成钎焊焊缝。两束激光束的光斑之间预留一段距离,焊接结束后,高熵合金层中间未被激光辐射部分仍为固体状态,避免了Fe,Al元素的相互扩散,减少Fe-Al金属间化合物的生成,从而改善焊件的抗拉强度。



1. 一种基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,其特征在于:采用高熵合金金属片(3)作为铝合金板(2)和钢板(1)异种金属焊接的中间层,在高熵合金金属片(3)与铝合金板(2)、钢板(1)界面上分别采用双光束激光焊,形成钢板(1)侧熔化焊缝和铝合金板(2)侧钎焊焊缝相结合的复合焊接接头;

所述高熵合金金属片(3)为Al/Fe基高熵合金金属片,其宽度范围为0.3mm~2mm;焊接过程中,利用其高熵效应和缓慢扩散效应:高熵效应抑制焊缝中形成金属间化合物;缓慢扩散效应阻止母材中的元素向焊缝中大量扩散,进一步抑制金属间化合物的生成;

所述双光束激光焊,即采用两束激光束的光斑在钢板(1)与高熵合金金属片(3)界面处和高熵合金金属片(3)与铝合金板(2)界面处对焊缝进行选区加热;两束激光束的光斑分别采用高功率/低功率激光器:高功率激光器发射的激光束作为主光束(6),其主光束光斑(4)置于钢板(1)与高熵合金金属片(3)界面处;低功率激光器发射的激光束作为辅助光束(7),其辅助光束光斑(5)置于高熵合金金属片(3)与铝合金板(2)界面处,并偏向铝合金板(2)侧;调节主光束(6)与辅助光束(7)的功率比为5:1~1:1,主光束(6)与辅助光束(7)的光斑半径比 $R_1/R_2$ 为3:1~1:1,使主光束(6)的热输入高于辅助光束(7)的热输入;焊接过程中,调节主光束(6)的热输入,同时达到高熵合金金属片(3)与钢板(1)的液相线温度以上,在主光束(6)辐射范围内,高熵合金金属片(3)与钢板(1)均发生熔化,形成熔化焊缝;调节激光束的辅助光束(7)的功率,使辅助光束(7)的热输入达到铝合金板(2)的液相线温度以上,但并未达到高熵合金金属片(3)的液相线温度;在辅助光束(7)辐射范围内,使铝合金板(2)发生熔化,高熵合金金属片(3)仍为固体状态,熔融状态的铝液对高熵合金金属片进行润湿铺展而形成钎焊焊缝。

2. 根据权利要求1所述的基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,其特征在于:所述的双光束激光焊为双光束同时激光焊或双光束分时激光焊;所述双光束同时激光焊,即主光束(6)和辅助光束(7)同时在钢板(1)与高熵合金金属片(3)界面及高熵合金金属片(3)与铝合金板(2)界面处进行焊接,此时主光束(6)和辅助光束(7)的两光斑之间预留距离 $d_1$ ,调节两光斑之间的距离为 $0\text{mm} < d_1 \leq 0.8\text{mm}$ ,使高熵合金金属片(3)中间未被激光辐射的部分仍为固体状态,避免Fe,Al原子间的相互扩散而形成脆性Fe-Al金属间化合物;采用中间层的高熵合金金属片(3)的宽度范围为1mm~2mm;所述双光束分时激光焊,即先采用辅助光束(7)在高熵合金金属片(3)与铝合金板(2)界面处进行焊接,主光束(6)随后在钢板(1)与高熵合金金属片(3)界面处进行焊接,此时主光束(6)和辅助光束(7)的光斑之间预留距离 $d_1$ ,调节两光斑之间的距离为 $0\text{mm} < d_1 \leq 0.8\text{mm}$ ,采用中间层高熵合金金属片的宽度范围为0.3mm~1mm。

3. 根据权利要求1所述的基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,其特征在于:所述的铝合金板(2)与钢板(1)可以等厚或不等厚;当铝合金板(2)与钢板(1)等厚时,中间层为Fe/Al基高熵合金金属片,其厚度与母材等厚,宽度 $d_2$ 为1mm~2mm;当铝合金板(2)与钢板(1)不等厚时,中间层Fe/Al基高熵合金金属片与钢板(1)等厚,宽度 $d_2$ 为0.3mm~1mm。

4. 根据权利要求1所述的基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,其特征在于:所述的高功率激光器与低功率激光器均采用连续型光纤激光器;其中高功率激光器辐射的光束为主光束(6),主光束(6)功率范围为800W~2000W,主光束光斑半径 $R_1$ 为

0.5mm~1.5mm,低功率激光器辐射的光束为辅助光束(7),辅助光束(7)功率范围为400W~1000W,辅助光束光斑半径为 $0\text{mm} < R_2 \leq 1.0\text{mm}$ 。

5.根据权利要求1所述的基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,其特征在于:所述的辅助光束(7)在铝合金板(2)侧的偏移距离大于0mm且小于等于 $R_2/2$ ,即其偏移量大于0mm且小于等于0.5mm,确保在铝合金板(2)侧形成钎焊焊缝。

6.根据权利要求1-5任一项所述的基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,其特征在于:按以下步骤进行:

步骤一、铝合金板(2)与钢板(1)之间采用I形坡口对接形式,用压板将铝合金板(2)与钢板(1)分别固定在夹具上,Fe/Al基高熵合金片置于母材中间,调节夹具平台上的紧固螺钉,所施加的预紧力为10N~20N,确保铝合金板(2)-高熵合金金属片(3)-钢板(1)之间各界面接触良好;

步骤二、调节两激光器的功率比,设置两束激光束光斑的位置:主光束光斑(4)半径为 $R_1$ ,将主光束光斑(4)置于钢板(1)与高熵合金金属片(3)的界面处;辅助光束光斑(5)半径为 $R_2$ ,将辅助光束光斑(5)置于铝合金板(2)与高熵合金金属片(3)的界面处,并偏向铝合金板(2)侧;同时调节主光束(6)与辅助光束(7)的功率比为5:1~1:1;调节两光斑半径 $R_1$ 、 $R_2$ ,使得 $R_1/R_2$ 为3:1~1:1,并将两光斑之间预留一段距离 $d_1$ ;

步骤三、设置焊接工艺参数:激光焊接速度为2mm/min~10mm/min;离焦量为-5mm~+5mm;焊接保护气为99.99%的高纯氩气,施加在焊缝的上下表面,上表面保护气体的气流量范围为5L/min~15L/min,下表面保护气体的气流量范围为5L/min~20L/min;且焊接过程中下表面的气流量大于上表面的气流量;

步骤四、完成焊接。

## 基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及异种材料焊接技术领域,特别涉及一种铝合金板/钢板异种金属激光焊接方法,尤指一种基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法。应用于汽车、轨道车辆制造等领域。

### 背景技术

[0002] 铝钢复合结构既兼具了铝合金低密度、良好的耐腐蚀性以及塑性加工性能,又兼具钢强度高、耐冲击性好等优点。异种合金的焊接结构,对于车辆轻量化、降低能源消耗与减少环境污染起到重要的意义。但由于铝合金与钢,这两种合金熔点、线膨胀系数、比热容、热导率、密度等物理性质以及化学性质相差较大,二者在焊接过程中会在焊缝中形成大量的脆性Fe-Al金属间化合物,如何避免过量金属间化合物的生成,是保证接头达到实际应用力学性能要求的关键。

[0003] 轻量化要求铝、镁等轻质材料广泛应用于汽车车身中。但由于传统电阻点焊使用的铜电极,易与铝镁生成金属键化合物,降低电极的使用寿命。在轻质材料连接方面,电阻点焊应用受限。激光焊接由于焊接速度快、焊接效率高、焊接缺陷少,目前激光焊接技术已成为汽车制造中主要的焊接方法之一。但单光束激光在焊接过程中,能量集中、热影响区小、温度梯度较大。

[0004] 随着科技的进步,新材料的不断涌现,高熵合金由五种或五种以上元素等原子比或近等原子比组成,高熵合金具有良好的塑形和韧性,一些性能远超于传统合金。具有多主元的高熵合金具有较高的高熵效应,因此原子间不易发生扩散,不易形成金属间化合物。高熵合金具有优异的力学性能,在未来具有十分广泛的应用前景。但是,到目前为止,高熵合金在激光焊接异种材料方面研究还很少。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,解决了现有技术存在的上述问题。本发明以高熵合金金属片为中间层,调节中间层的宽度以及焊接工艺参数,焊缝中高熵合金的高熵效应抑制了Fe-Al金属间化合物的生成,降低了接头的脆性,改善接头的力学性能。从而实现了铝合金与钢的有效焊接。

[0006] 本发明以Fe/Al基高熵合金金属片为中间层,被焊工件可以是同种材料,钢、铝基合金、镍基合金、钛合金,也可以是异种材料,钢与铝合金、钛合金与铝合金、钢与镍基合金、钢与铜合金、镍合金与铝合金。

[0007] 本发明的上述目的通过以下技术方案实现:

[0008] 基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,采用高熵合金金属片作为铝合金板2和钢板1异种金属焊接的中间层,在高熵合金金属片3与铝合金板2、钢板1界面上分别采用双光束激光焊,形成钢板1侧熔化焊缝和铝合金板2侧钎焊焊缝相结合的复合焊接接头;

[0009] 所述高熵合金金属片为Al/Fe基高熵合金金属片,其宽度范围为0.3mm~2mm;焊接过程中,利用其高熵效应和缓慢扩散效应:高熵效应抑制焊缝中形成金属间化合物;缓慢扩散效应阻止母材中的元素向焊缝中大量扩散,进一步抑制金属间化合物的生成;

[0010] 所述双光束激光焊,即采用两束激光光斑在钢板1与高熵合金金属片3界面处和高熵合金金属片3与铝合金板2界面处对焊缝进行选区加热;两束激光束的光斑分别采用高功率/低功率激光器:高功率激光器发射的激光束作为主光束6,其主光束光斑4置于钢板1与高熵合金金属片3界面处;低功率激光器发射的激光束作为辅助光束7,其辅助光束光斑5置于高熵合金金属片3与铝合金板2界面处,并偏向铝合金板2侧;调节主光束6与辅助光束7的功率比为5:1~1:1,主光束6与辅助光束7的光斑半径比 $R_1/R_2$ 为3:1~1:1,使主光束6的热输入高于辅助光束7的热输入;焊接过程中,调节主光束6的热输入,同时达到高熵合金金属片3与钢板1的液相线温度以上,在主光束6辐射范围内,高熵合金金属片3与钢板1均发生熔化,形成熔化焊缝;调节激光束的辅助光束7的功率,使辅助光束7的热输入达到铝合金板2的液相线温度以上,但并未达到高熵合金金属片3的液相线温度;在辅助光束7辐射范围内,使铝合金板2发生熔化,高熵合金金属片3仍为固体状态,熔融状态的铝液对高熵合金金属片进行润湿铺展而形成钎焊焊缝。

[0011] 所述的双光束激光焊,可以为双光束同时激光焊或双光束分时激光焊;所述双光束同时激光焊,即主光束6和辅助光束7同时在钢板1与高熵合金金属片3界面及高熵合金金属片3与铝合金板2界面处进行焊接,此时主光束6和辅助光束7的两光斑之间需要预留一段距离 $d_1$ ,调节两圆形光斑之间的距离为 $0\text{mm} < d_1 \leq 0.8\text{mm}$ ,使高熵合金金属片3中间未被激光辐射的部分仍为固体状态,避免Fe,Al原子间的相互扩散而形成脆性Fe-Al金属间化合物;采用中间层的高熵合金金属片3的宽度范围为1mm~2mm;所述双光束分时激光焊,即先采用辅助光束7在高熵合金金属片3与铝合金板2界面处进行焊接,主光束6随后在钢板1与高熵合金金属片3界面处进行焊接,此时主光束6和辅助光束7的光斑之间预留一段距离 $d_1$ ,调节两圆形光斑之间的距离为 $0\text{mm} < d_1 \leq 0.8\text{mm}$ ,采用中间层高熵合金金属片的宽度范围为0.3mm~1mm。

[0012] 所述的铝合金板2与钢板1可以等厚或不等厚;当铝合金板2与钢板1等厚时,中间层为Fe/Al基高熵合金金属片,其厚度与母材(铝合金板2与钢板1)等厚,宽度 $d_2$ 为1mm~2mm;当铝合金板2与钢板1不等厚时,中间层Fe/Al基高熵合金金属片与钢板1等厚,宽度 $d_2$ 为0.3mm~1mm。

[0013] 所述的高功率激光器与低功率激光器均采用连续型光纤激光器;其中高功率激光器辐射的光束为主光束6,主光束6功率范围为800W~2000W,主光束光斑半径 $R_1$ 为0.5mm~1.5mm,低功率激光器辐射的光束为辅助光束7,辅助光束7功率范围为400W~1000W,辅助光束光斑半径为 $0\text{mm} < R_2 \leq 1.0\text{mm}$ 。

[0014] 所述的辅助光束7在铝合金板2侧的偏移距离大于0mm且小于等于 $R_2/2$ ,即其偏移量大于0mm且小于等于0.5mm,确保在铝合金板2侧形成钎焊焊缝。

[0015] 本发明的基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,按以下步骤进行:

[0016] 步骤一、铝合金板2与钢板1之间采用I形坡口对接形式,用压板将铝合金板2与钢板1分别固定在夹具上,Fe/Al基高熵合金片置于母材中间,调节夹具平台上的紧固螺钉,所

施加的预紧力为10N~20N,确保铝合金板2-高熵合金金属片(3)-钢板1之间各界面接触良好;

[0017] 步骤二、调节两激光器的功率比,设置两光斑的位置:主光束光斑4半径为 $R_1$ ,将主光束光斑4置于钢板1与高熵合金金属片3的界面处;辅助光束光斑5半径为 $R_2$ ,将辅助光束光斑5置于铝合金板2与高熵合金金属片3的界面处,并偏向铝合金板2侧;同时调节主光束6与辅助光束7的功率比为5:1~1:1;调节两光斑半径 $R_1$ 、 $R_2$ ,使得 $R_1/R_2$ 为3:1~1:1,并将两光斑之间预留一段距离 $d_1$ ;

[0018] 步骤三、设置焊接工艺参数:激光焊接速度为2mm/min~10mm/min;离焦量为-5mm~+5mm;焊接保护气为99.99%的高纯氩气,施加在焊缝的上下表面,上表面保护气体的气流量范围为5L/min~15L/min,下表面保护气体的气流量范围为5L/min~20L/min;且焊接过程中下表面的气流量大于上表面的气流量;

[0019] 步骤四、完成焊接。

[0020] 本发明的有益效果在于:

[0021] 1、采用双光束激光焊接,在钢板侧,形成熔化焊缝,在铝合金板侧,形成钎焊焊缝。控制主光束与辅助光束光斑间存在一段距离,焊接后仍处于固态的高熵合金阻止了Fe,Al元素间相互扩散,抑制焊缝中金属间化合物的生成。

[0022] 2、以Fe/Al基高熵合金金属片为中间层,防止母材中的元素向焊缝中大量扩散,抑制了Fe-Al金属间化合物的生成。在焊接过程中由于母材中部分元素扩散到焊缝中,使焊缝中元素发生高熵化,进一步抑制金属间化合物的生成。由于焊缝中高熵合金高熵效应以及缓慢扩散效应,有助于提高焊件的力学性能。

## 附图说明

[0023] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,本发明的示意性实例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。

[0024] 图1为本发明的利用并排双光束激光进行焊接的过程示意图;

[0025] 图2为双光束同时激光焊时,具体施焊三维立体图;

[0026] 图3为辅助光束偏移量为0.25mm时,双光束同时激光焊,铝合金板/钢板施焊俯视图;

[0027] 图4为本发明的辅助光束偏移量为0.25mm时,双光束分时激光焊时,铝合金板/钢板施焊俯视图。

[0028] 图中:1、钢板;2、铝合金板;3、高熵合金金属片;4、主光束光斑;5、辅助光束光斑;6、主光束;7、辅助光束。

## 具体实施方式

[0029] 下面结合附图进一步说明本发明的详细内容及其具体实施方式。

[0030] 参见图1至图4所示,本发明的基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,以Fe/Al基高熵合金金属片为中间层材料,精确调节两并排激光束的功率比,使圆形主光束光斑位于钢板侧,圆形辅助光束光斑位于铝合金板侧。通过控制温度场分布,当高功率激光束的温度达到Fe/Al基高熵合金金属片与钢板的液相线温度以上,在钢板侧,形成

熔化焊缝。在铝合金板侧,由于铝熔点较低形成钎焊焊缝。两光斑之间预留一段距离,焊接结束后,高熵合金层中间未被激光辐射部分仍为固体状态,避免了Fe,Al元素的相互扩散,减少Fe-Al金属间化合物的生成,从而改善焊件的抗拉强度。具体工艺步骤如下:

[0031] 1)、焊接前,将等厚的铝合金板与钢板分别用500目、800目、1000目、1500目、2000目的砂纸进行打磨,去掉金属板表面的氧化膜,再用丙酮清洗除去金属板表面的油污,再进行烘干处理;

[0032] 2)、铝合金板与钢板之间采用I形坡口对接形式,将两种金属板分别置于夹具上,两者中间放置高熵合金金属片。焊接前需施加一定的预紧力以保证铝合金板-高熵合金片-钢板之间的界面接触良好;

[0033] 3)、调节两激光器的功率比,设置两光斑的位置:高功率激光器与低功率激光器均采用连续型光纤激光器。将高功率和低功率激光器同时作为热源,将高功率激光器发射的激光作为主光束,半径为 $R_1$ ,其主光束光斑置于钢板与高熵合金金属片的界面处,在主光束辐射范围内,高熵合金片与钢板均发生熔化,形成熔化焊缝。将低功率激光器发射的激光作为辅助光束,半径为 $R_2$ ,其辅助光束光斑置于铝合金板与高熵合金金属片的界面处,并偏向铝合金板侧。在辅助光束辐射范围内,使铝合金板发生熔化,高熵合金金属片仍为固体状态,熔融状态的铝液对高熵合金金属片进行润湿铺展而形成钎焊焊缝。调节两光斑半径 $R_1$ 、 $R_2$ ,并将两光斑之间预留一段距离 $d_1$ ;

[0034] 4)、设置焊接工艺参数,完成焊接。

[0035] 进一步,铝合金板与钢板母材厚度为1mm~4mm,当钢板与铝合金板等厚时,中间层Fe/Al基高熵合金金属片,其厚度与母材等厚,宽度 $d_2$ 为1mm~2mm。采用双光束同时激光焊,将两光斑分别置于钢板/高熵合金金属片界面处和高熵合金金属片/铝合金板界面处同时对焊缝进行加热。当钢板与铝合金板不等厚时,中间层Fe/Al基高熵合金金属片,其厚度与钢板等厚,宽度 $d_2$ 为0.3mm~1mm。采用双光束分时激光焊,先将辅助光束光斑置于高熵合金金属片/铝合金板界面处,完成焊接后,再将主光束光斑置于钢板/高熵合金金属片界面处。

[0036] 进一步,焊接前用压板将铝合金板与钢板分别固定在夹具上,高熵合金金属片置于母材中间,调节夹具平台上的紧固螺钉,所施加的预紧力为10N~20N,确保各界面接触良好。

[0037] 进一步,高功率激光器与低功率激光器均采用连续型光纤激光器。其中主光束功率为800W~2000W,半径 $R_1$ 为0.5mm~1.5mm,辅助光束功率为400W~1000W,半径 $R_2$ 为0.5mm~1.0mm。

[0038] 进一步,调节辅助光束的偏移量,偏向铝合金板侧,增加辅助激光束的热输入,调节激光束偏移距离大于0mm且小于等于 $R_2/2$ ,即其偏移量大于0mm且小于等于0.5mm,确保在铝合金板侧,形成钎焊焊缝。

[0039] 进一步,调节主光束与辅助光束的功率比为5:1~1:1,调节激光焊接速度为2mm/min~10mm/min,主光束光斑与辅助光束光斑半径比 $R_1/R_2$ 为3:1~1:1。精确控制激光的热输入,使激光束热输入同时达到高熵合金金属片与钢板的液相线温度以上,在主光束辐射范围内,高熵合金金属片与钢板均发生熔化,形成熔化焊缝。调节激光束的辅助光束的功率,使辅助光束的热输入达到铝合金板的液相线温度以上,但并未达到高熵合金金属片的液相线温度。在辅助光束辐射范围内,使铝合金板发生熔化,高熵合金金属片仍为固体状态,熔

融状态的铝液对高熵合金金属片进行润湿铺展而形成钎焊焊缝。焊接结束后,在铝合金板侧,由于铝原子扩散到焊缝里,增加高熵合金的高熵效应和晶格畸变效应,进而影响焊缝的抗拉强度。在钢板侧,形成熔化焊缝。

[0040] 进一步,调节激光束的离焦量为 $-5\text{mm}\sim+5\text{mm}$ ,避免出现接头未焊透或烧穿的现象。

[0041] 进一步,调节两圆形光斑之间的距离为 $0\text{mm}<d_1\leq 0.8\text{mm}$ ,保证高熵合金金属片中间部分未被激光辐射,使高熵合金金属片中间仍为固体状态,避免Fe,Al原子间的相互扩散而形成脆性Fe-Al金属间化合物。

[0042] 进一步,接时使用气体为高纯氩气,在焊缝的上下表面均通纯度为99.99%的氩气进行保护。调节上表面保护气体的气流量为 $5\text{L}/\text{min}\sim 15\text{L}/\text{min}$ ,调节下表面保护气体的气流量为 $5\text{L}/\text{min}\sim 20\text{L}/\text{min}$ 。上表面气流量不易过大,以免影响激光束的热输入。下表面的气流量可稍大一些,确保气体可以顺利由夹具下表面的气孔溢出即可。

[0043] 实施例:

[0044] 一种基于高熵合金中间层铝/钢异种金属双光束激光焊接方法,具体步骤如下:

[0045] (1) 尺寸为 $50\times 70\times 2$ 毫米的6082-T6铝合金板与尺寸为 $50\times 70\times 2$ 毫米的301L不锈钢板进行激光焊接。焊接前,将等厚的铝合金板与钢板分别用500目、800目、1000目、1500目、2000目的砂纸进行打磨,去掉金属板表面的氧化膜,再用丙酮清洗除去金属板表面的油污,再用真空干燥箱进行烘干处理。

[0046] (2) 铝合金板和不锈钢板之间采用I形坡口对接形式,焊接前使用压板将两种金属板固定在夹具的平台上,在两者中间放置高熵合金金属片,宽 $d_2$ 为1mm时,采用双光束同时激光焊或宽 $d_2$ 为0.3mm采用双光束分时激光焊。调节紧固螺钉,焊接前需施加一定的预紧力10N~20N,以保证铝合金板-高熵合金金属片-钢板之间的界面接触良好。

[0047] (3) 调节两激光器的功率比,设置两光斑的位置:高功率激光器与低功率激光器均采用连续型光纤激光器。将高功率和低功率激光器同时作为热源,其中主光束功率为800W~2000W,半径 $R_1$ 为0.5mm~1.5mm,优选地,主光束功率设置为1500W,半径 $R_1$ 为1.0mm。主光束光斑置于钢板与高熵合金金属片的界面处,精确控制激光的热输入,使激光主光束的热输入,达到高熵合金金属片与钢板的液相线温度以上。在主光束辐射范围内,高熵合金金属片与钢板均发生熔化,形成熔化焊缝。将低功率激光器发射的激光作为辅助光束,辅助光束功率为400W~1000W,半径 $R_2$ 为0.5mm~1.0mm。优选地,辅助光束功率设置为1000W,半径 $R_2$ 为0.5mm。辅助光束光斑置于铝合金板与高熵合金金属片的界面处,并偏向铝合金板侧。调节激光束偏移距离为辅助光束光斑半径 $R_2$ 的50%,其偏移量为0.25mm。精确控制激光的热输入,使激光辅助光束的热输入达到铝合金板的液相线温度以上,但并未达到高熵合金金属片的液相线温度。在辅助光束辐射范围内,使铝合金板发生熔化,高熵合金金属片仍为固体状态,熔融状态的铝液对高熵合金金属片进行润湿铺展而形成钎焊焊缝。主光束与辅助光束的功率比为3:2。同时调节两光斑半径比 $R_1/R_2$ 为2:1,当高熵合金金属片的宽度 $d_2$ 为1mm,采用双光束同时激光焊,将两光斑之间预留一段距离 $d_1$ , $d_1$ 为0.25mm。当高熵合金金属片的宽度 $d_2$ 为0.3mm时,采用双光束分时激光焊,两光斑之间预留一段距离 $d_1$ , $d_1$ 为0.25 mm,但要确保圆形主光束光斑与铝合金板/高熵合金金属片的界面处于相离状态。

[0048] (4) 设置焊接工艺参数:调节激光束的离焦量为 $-5\text{mm}\sim+5\text{mm}$ ,优选地,将激光束的离焦量设置在-3mm。尽量避免接头出现未焊透或烧穿的现象。调节焊接速度 $2\text{mm}/\text{min}\sim 10\text{mm}/$

min, 优选地, 将焊接速度设定在10mm/min。焊接时使用气体为高纯氩气, 在焊缝的上下表面均通纯度为99.99%的氩气进行保护。调节氩气的气流量, 调节上表面保护气体的气流量为5L/min ~15L/min, 优选地, 将上表面氩气的气流量设定在10L/min。上表面气流量不易过大, 以免影响激光束的热输入。调节下表面保护气体的气流量为5L/min ~20L/min。优选地, 将下表面氩气的气流量设定在15L/min。下表面的气流量可稍大一些, 确保气体可以顺利由夹具上的气孔溢出即可。

[0049] 本发明采用双光束激光焊接方法, 有效控制温度场分布; 以Fe/Al基高熵合金金属片为中间层, 可以抑制Fe-Al金属间化合物的形成: 焊接时, 由于焊缝中的元素相互扩散, 增加了焊缝的高熵效应。高熵效应可以有效抑制大量脆性的Fe-Al金属间化合物的生成。以Fe-Al基高熵合金金属片为中间层, 又避免母材中元素向焊缝中大量扩散, 进一步控制了金属间化合物的生成。同时, 高熵合金具有缓慢扩散效应, 进一步抑制母材中的元素的扩散, 降低金属间化合物的生成量, 进而影响焊件的力学性能。

[0050] 以上所述仅为本发明的优选实例而已, 并不用于限制本发明, 对于本领域的技术人员来说, 本发明可以有各种更改和变化。凡对本发明所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

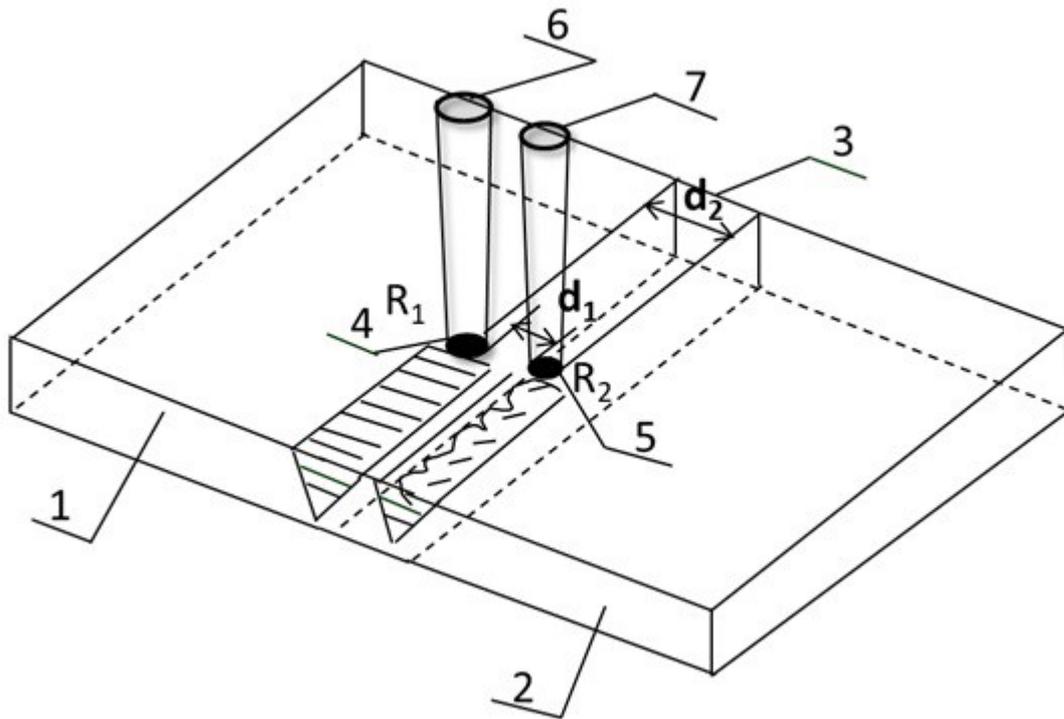


图1

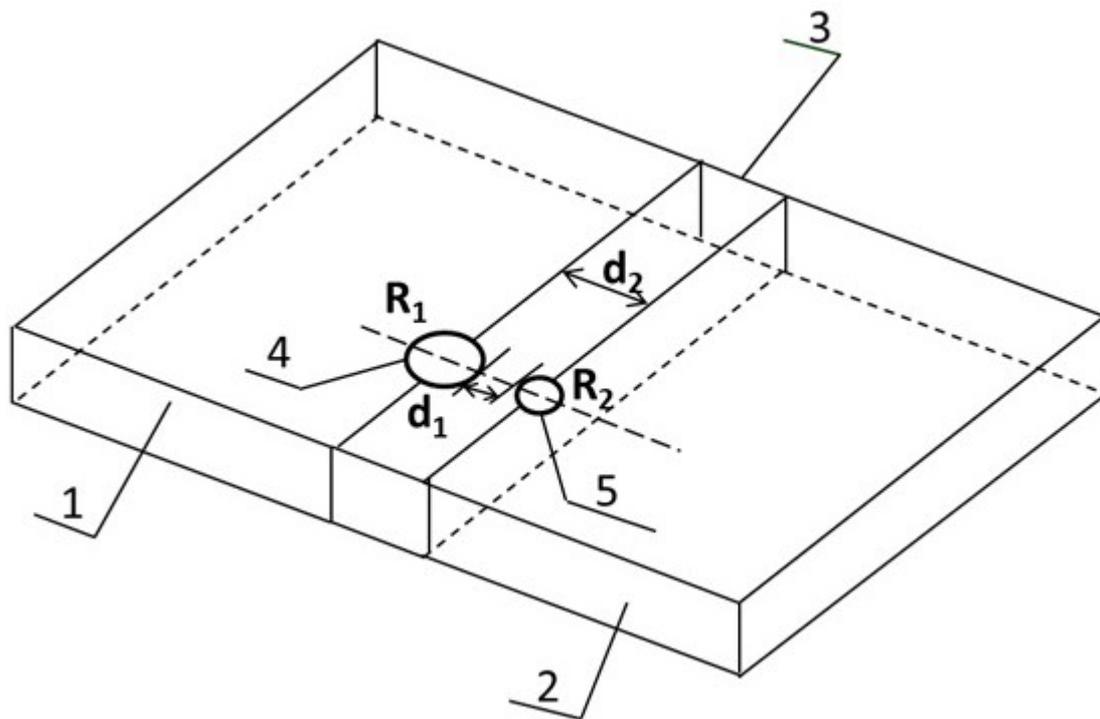


图2

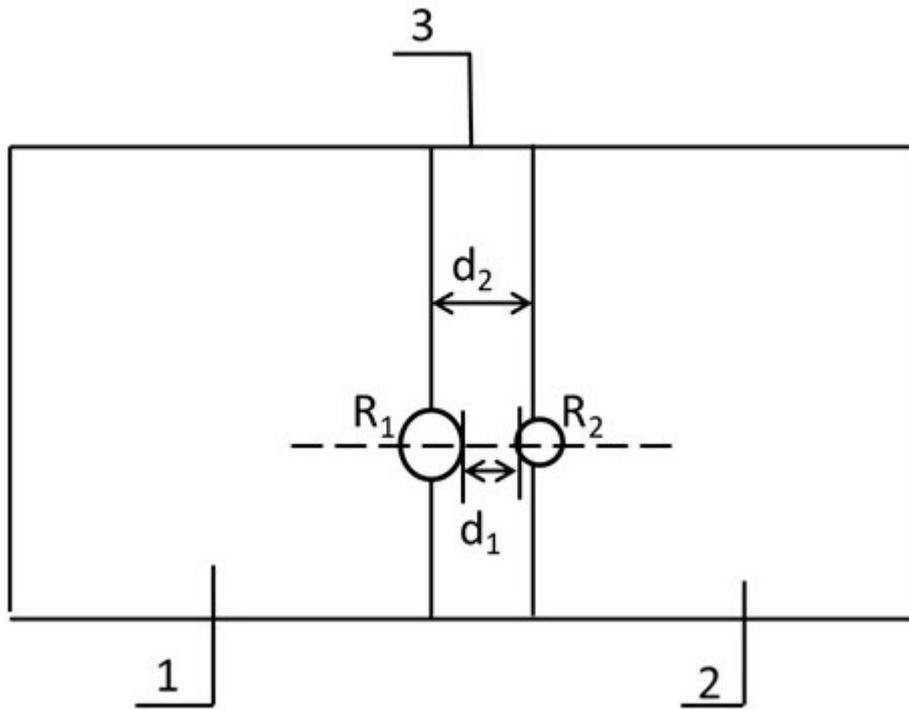


图3

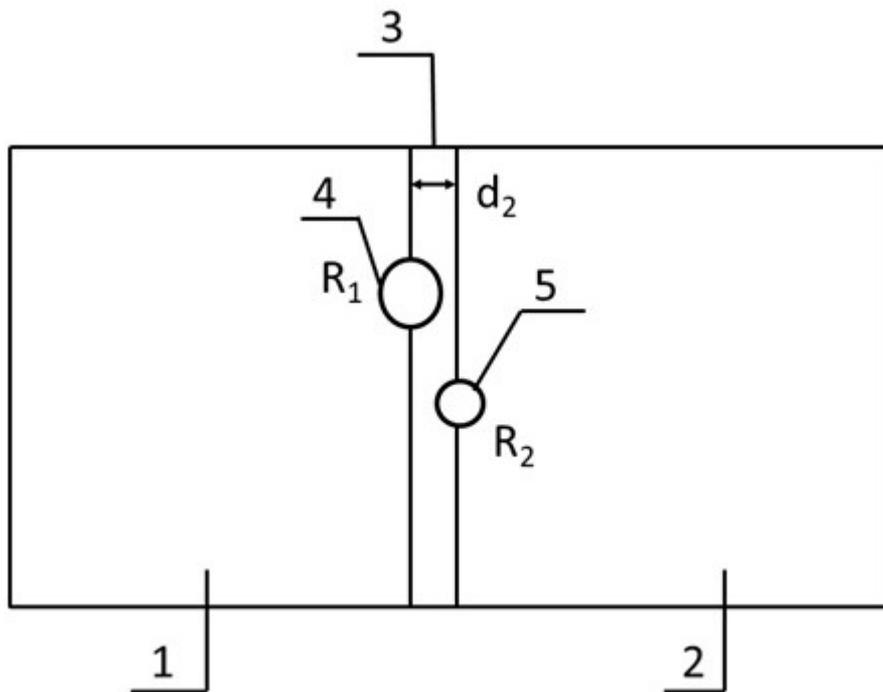


图4