



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115971663 B

(45) 授权公告日 2025. 07. 01

(21) 申请号 202310123165.7

(22) 申请日 2023.02.16

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 115971663 A

(43) 申请公布日 2023.04.18

(73) 专利权人 江苏徐工工程机械研究院有限公司

地址 221004 江苏省徐州市经济技术开发区  
驮蓝山路26号

专利权人 徐工集团工程机械股份有限公司  
道路机械分公司

(72) 发明人 彭根琛 孟政宇 史勇

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所  
有限公司 11038

专利代理师 师晓芳

(51) Int.Cl.

B23K 26/348 (2014.01)

B23K 26/70 (2014.01)

(56) 对比文件

CN 106624366 A, 2017.05.10

CN 103056533 A, 2013.04.24

审查员 宿冬雪

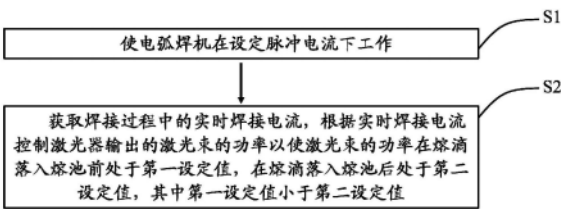
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

激光-电弧复合焊接方法和激光-电弧复合  
焊接系统

(57) 摘要

本申请公开了一种激光-电弧复合焊接方法和激光-电弧复合焊接系统。激光-电弧复合焊接方法包括如下步骤：使电弧焊机在设定脉冲电流下工作；和获取焊接过程中的实时焊接电流，根据实时焊接电流控制激光器输出的激光束的功率以使激光束的功率在熔滴落入熔池前处于第一设定值，在熔滴落入熔池后处于第二设定值，其中第一设定值小于第二设定值。激光在熔滴的形成和脱落时处于低功率状态，可以降低对熔滴脱离过程中的影响，使熔滴稳定地落入熔池内。激光在熔滴落入熔池后时处于高功率状态，提高热输入，有利于熔滴在熔池的熔透，增加熔深。使激光和脉冲电弧周期同步，实现协调控制，提高激光的能量利用率并提高焊接质量。



1. 一种激光-电弧复合焊接方法,其特征在于,包括如下步骤:

使电弧焊机(2)在设定脉冲电流下工作;和

获取焊接过程中的实时焊接电流,根据所述实时焊接电流控制激光器(1)输出的激光束的功率以使所述激光束的功率在熔滴落入熔池前处于第一设定值,在所述熔滴落入熔池后处于第二设定值,其中所述第一设定值小于所述第二设定值,所述熔滴落入熔池前包括熔滴的形成阶段和脱落阶段,所述形成阶段的电弧电流的数值大于所述脱落阶段的电弧电流的数值,且所述形成阶段和所述脱落阶段的激光束的功率处于基值。

2. 根据权利要求1所述的激光-电弧复合焊接方法,其特征在于,所述根据实时焊接电流控制激光器(1)输出的激光束的功率包括:将所述实时焊接电流转化为电流数字波信号,且通过所述电流数字波信号获取输出波形,所述输出波形为所述激光束的功率的波形。

3. 根据权利要求2所述的激光-电弧复合焊接方法,其特征在于,所述通过电流数字波信号获取输出波形包括:根据所述电流数字波信号设置所述输出波形的触发方式以获取所述激光束的基础波形,所述触发方式包括上升沿触发或下降沿触发。

4. 根据权利要求3所述的激光-电弧复合焊接方法,其特征在于,所述通过电流数字波信号获取输出波形还包括:根据所述基础波形和设定波形参数获取所述输出波形,所述设定波形参数包括延迟触发时间、峰值持续时间、激光功率数值以及脉冲个数中的至少一个。

5. 根据权利要求4所述的激光-电弧复合焊接方法,其特征在于,所述根据基础波形和设定波形参数获取输出波形包括:调节所述峰值持续时间,以使所述电流数字波信号降低为基值或升高为峰值时所述输出波形降为基值。

6. 一种激光-电弧复合焊接系统,其特征在于,包括:

焊接平台;

激光器(1),所述激光器(1)用于发射脉冲激光;

电弧焊机(2),所述电弧焊机(2)用于产生脉冲电弧以与所述脉冲激光配合进行焊接;  
以及

控制装置(3),所述控制装置(3)与所述激光器(1)和所述电弧焊机(2)连接,所述控制装置(3)被配置为执行权利要求1至5中任一项所述的焊接方法。

7. 根据权利要求6所述的激光-电弧复合焊接系统,其特征在于,所述激光-电弧复合焊接系统还包括电流传感器(4),所述电流传感器(4)被配置为采集焊接过程中的实时焊接电流并将采集到的实时焊接电流发送到所述控制装置(3)。

8. 根据权利要求6所述的激光-电弧复合焊接系统,其特征在于,所述控制装置(3)包括信号比较器(31)和控制器(32),所述信号比较器(31)和所述控制器(32)连接,所述信号比较器(31)被配置为将所述实时焊接电流转化为电流数字波信号,所述控制器(32)被配置为根据所述电流数字波信号调节所述激光器(1)的输出功率。

9. 根据权利要求8所述的激光-电弧复合焊接系统,其特征在于,所述控制装置(3)还包括电平转换器(33),所述电平转换器(33)与所述控制器(32)和所述激光器(1)连接,所述电平转换器(33)被配置为从所述控制器(32)处接收所述电流数字波信号,且将所述电流数字波信号转换为模拟波信号后输送给所述激光器(1)。

10. 根据权利要求6所述的激光-电弧复合焊接系统,其特征在于,所述激光-电弧复合焊接系统还包括监测装置,所述监测装置用于实时监测焊缝。

## 激光-电弧复合焊接方法和激光-电弧复合焊接系统

### 技术领域

[0001] 本申请涉及焊接技术领域,特别涉及一种激光-电弧复合焊接方法和激光-电弧复合焊接系统。

### 背景技术

[0002] 近年来提出的激光-电弧复合焊接方法,结合了激光焊接与电弧焊接两者的特点,不仅可以提高焊接熔深,而且还可以改善焊缝成形,减少气孔,咬边等焊接缺陷的形成。但目前的复合焊接应用中主要采用的还是功率持续不变的激光热源,与电弧能量的脉冲波形并不能良好耦合。

[0003] 在此需要说明的是,该背景技术部分的陈述仅提供与本申请有关的背景技术,并不必然构成现有技术。

### 发明内容

[0004] 本申请提供一种激光-电弧复合焊接方法和激光-电弧复合焊接系统,以提高焊接质量。

[0005] 本申请第一方面提供一种激光-电弧复合焊接方法,包括如下步骤:

[0006] 使电弧焊机在设定脉冲电流下工作;和

[0007] 获取焊接过程中的实时焊接电流,根据实时焊接电流控制激光器输出的激光束的功率以使激光束的功率在熔滴落入熔池前处于第一设定值,在熔滴落入熔池后处于第二设定值,其中第一设定值小于第二设定值。

[0008] 在一些实施例中,根据实时焊接电流控制激光器输出的激光束的功率包括:将实时焊接电流转化为电流数字波信号,且通过电流数字波信号获取输出波形,输出波形为激光束的功率的波形。

[0009] 在一些实施例中,通过电流数字波信号获取输出波形包括:根据电流数字波信号设置输出波形的触发方式以获取激光束的基础波形,触发方式包括上升沿触发或下降沿触发。

[0010] 在一些实施例中,通过电流数字波信号获取输出波形还包括:根据基础波形和设定波形参数获取输出波形,设定波形参数包括延迟触发时间、峰值持续时间、激光功率数值以及脉冲个数中的至少一个。

[0011] 在一些实施例中,根据基础波形和设定波形参数获取输出波形包括:调节峰值持续时间,以使电流数字波信号降低为基值或升高为峰值时输出波形降为基值。

[0012] 本申请第二方面提供一种激光-电弧复合焊接系统,包括焊接平台、激光器、电弧焊机以及控制装置。激光器用于发射脉冲激光。电弧焊机用于产生脉冲电弧以与脉冲激光配合进行焊接。控制装置与激光器和电弧焊机连接,控制装置被配置为执行如上所述的焊接方法。

[0013] 在一些实施例中,激光-电弧复合焊接系统包括电流传感器。电流传感器被配置为

通过电弧焊机的导线采集焊接过程中的实时焊接电流并将采集到的实时焊接电流发送到控制装置。

[0014] 在一些实施例中,控制装置还包括信号比较器和控制器。信号比较器和控制器连接。信号比较器被配置为将实时焊接电流转化为电流数字波信号。控制器被配置为根据电流数字波信号调节激光器的输出功率。

[0015] 在一些实施例中,控制装置还包括电平转换器。电平转换器与控制器和激光器连接。电平转换器被配置为从控制器处接收电流数字波信号,且将电流数字波信号转换为模拟波信号后输送给激光器。

[0016] 在一些实施例中,激光-电弧复合焊接系统还包括监测装置。监测装置用于实时监测焊缝。

[0017] 基于本申请提供的技术方案,激光-电弧复合焊接方法包括如下步骤:使电弧焊机在设定脉冲电流下工作;和获取焊接过程中的实时焊接电流,根据实时焊接电流控制激光器输出的激光束的功率以使激光束的功率在熔滴落入熔池前处于第一设定值,在熔滴落入熔池后处于第二设定值,其中第一设定值小于第二设定值。熔滴落入熔池前包括熔滴的形成阶段和脱落阶段。激光在熔滴的形成和脱落时处于低功率状态,可以降低对熔滴脱离过程中的影响,使熔滴稳定地落入熔池内。激光在熔滴落入熔池后时处于高功率状态,提高热输入,有利于熔滴在熔池的熔透,增加熔深。使激光和脉冲电弧周期同步,实现协调控制,提高激光的能量利用率并提高焊接质量。

[0018] 通过以下参照附图对本申请的示例性实施例的详细描述,本申请的其它特征及其优点将会变得清楚。

## 附图说明

[0019] 此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解,构成本申请的一部分,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

[0020] 图1为本申请实施例的激光-电弧复合焊接方法的示意图。

[0021] 图2为激光-电弧复合焊接系统的示意图。

[0022] 图3为激光功率波形和电弧波形反向耦合的示意图。

[0023] 图4为单电弧焊接得到的焊缝的示意图。

[0024] 图5为在激光和电弧正向耦合的条件下焊接得到的焊缝的示意图。

[0025] 图6为在激光和电弧反向耦合的条件下焊接得到的焊缝的示意图。

## 具体实施方式

[0026] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的,决不作为对本申请及其应用或使用的任何限制。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0027] 除非另外具体说明,否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本申请的范围。同时,应当明白,为了便于描述,附图中所示出的各个部

分的尺寸并不是按照实际的比例关系绘制的。对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论,但在适当情况下,技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。在这里示出和讨论的所有示例中,任何具体值应被解释为仅仅是示例性的,而不是作为限制。因此,示例性实施例的其它示例可以具有不同的值。应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

[0028] 为了便于描述,在这里可以使用空间相对术语,如“在……之上”、“在……上方”、“在……上表面”、“上面的”等,用来描述如在图中所示的一个器件或特征与其他器件或特征的空间位置关系。应当理解的是,空间相对术语旨在包含除了器件在图中所描述的方位之外的在使用或操作中的不同方位。例如,如果附图中的器件被倒置,则描述为“在其他器件或构造上方”或“在其他器件或构造之上”的器件之后将被定位为“在其他器件或构造下方”或“在其他器件或构造之下”。因而,示例性术语“在……上方”可以包括“在……上方”和“在……下方”两种方位。该器件也可以其他不同方式定位,并且对这里所使用的空间相对描述作出相应解释。

[0029] 由于激光和电弧两种热源特征差异较大,目前主要的焊接方法虽然利用了各自特性实现了较好的复合效果,但并不能充分利用各自优势,达到最佳焊接效果。连续的激光模式或单脉冲激光模式很难匹配电弧能量波形,能量输入有一定的差异,也会影响焊接稳定性。即使在激光热源中加入了脉冲波形,主要采用的方案也是单脉冲-电弧或者单高频激光脉冲去改善表面成形,对整体焊接质量的改善作用有限。

[0030] 为此,参考图1,本申请提供一种激光-电弧复合焊接方法,包括如下步骤:

[0031] S1,使电弧焊机2在设定脉冲电流下工作;和

[0032] S2,获取焊接过程中的实时焊接电流,根据实时焊接电流控制激光器1输出的激光束的功率以使激光束的功率在熔滴落入熔池前处于第一设定值,在熔滴落入熔池后处于第二设定值,其中第一设定值小于第二设定值。

[0033] 熔滴落入熔池前包括熔滴的形成阶段和脱落阶段。激光在熔滴的形成和脱落时处于低功率状态,可以降低对熔滴脱落的影响,使熔滴稳定地落入熔池内。激光在熔滴落入熔池后时处于高功率状态,提高激光的热输入,有利于熔滴在熔池的熔透,增加熔深。使激光和脉冲电弧周期同步,实现协调控制,提高激光的能量利用率并提高焊接质量。

[0034] 在一些实施例中,根据实时焊接电流控制激光器1输出的激光束的功率包括:将实时焊接电流转化为电流数字波信号,且通过电流数字波信号获取输出波形,输出波形为激光束的功率的波形。具体地,采集到的实时焊接电流为模拟波形信号,因此将其转换为噪声小且稳定性好的数字波形信号可以提高控制的精确度。

[0035] 在一些实施例中,通过电流数字波信号获取输出波形包括:根据电流数字波信号设置输出波形的触发方式以获取激光束的基础波形,触发方式包括上升沿触发或下降沿触发。具体地,设置触发方式为下降沿触发时,在电流数字波信号降低为基值时,基础波形将会触发并升高至峰值。设置触发方式为上升沿触发时,在电流数字波信号升高为峰值时,基础波形将会触发并升高至峰值。

[0036] 在一些实施例中,通过电流数字波信号获取输出波形还包括:根据基础波形和设定波形参数获取输出波形,设定波形参数包括延迟触发时间、峰值持续时间、激光功率数值

以及脉冲个数中的至少一个。具体地,通过调节延迟触发时间和峰值持续时间,可以调节激光和电弧的耦合作用,改变焊接质量,进而可以满足更宽泛的焊接需求。

[0037] 在一些实施例中,根据基础波形和设定波形参数获取输出波形包括:调节峰值持续时间,以使电流数字波信号降低为基值或升高为峰值时输出波形降为基值。具体地,在下降沿触发方式的实施例中,电流数字波信号降低为基值时,基础波形触发升高至峰值,调节基础波形的峰值持续时间以使基础波形的峰值结束降为基值时,电流数字波信号刚好升高为峰值,此时即实现了电弧电流和激光功率的反相耦合,如图3所示。

[0038] 下面将结合图3详细描述在电弧电流与激光功率波形反相耦合的实施例中电弧和激光的配合过程。将熔滴从形成至落入熔池的整个过程分为四个阶段,分别为第一熔化阶段、第二熔化阶段、第一过渡阶段以及第二过渡阶段。在第一熔化阶段,新的熔滴在熔化焊丝末端开始熔化形成,此时电弧电流功率处于基值,激光电流功率处于峰值,高功率的激光作用于熔池,维持熔池的稳定并获取较大的熔深以与上一轮落入熔池的熔滴配合。在第二熔化阶段,熔化的金属在焊丝末端逐渐增大,形成熔滴形状,此时电弧电流功率升至峰值,激光功率处于基值,降低激光作用的影响,使得熔滴快速稳定的形成。在第一过渡阶段,熔滴在重力与电磁力共同作用下,从焊丝末端脱落并过渡进入熔池,此时电弧电流由峰值降低至基值,激光功率仍处于基值,减小激光对熔滴脱离的影响,以达到稳定过渡的目的。在第二过渡阶段,熔滴进入熔池,此时电弧电流为基值,激光功率处于峰值,高能量激光对熔池的搅拌作用促进已进入的熔滴快速与熔池熔合并使得熔池流动稳定,维持焊接过程的稳定并获得较大的熔深。

[0039] 参考图2,本申请还提供一种激光-电弧复合焊接系统,包括焊接平台、激光器1、电弧焊机2以及控制装置3。激光器1用于发射脉冲激光。电弧焊机2用于产生脉冲电弧以与脉冲激光配合进行焊接。控制装置3与激光器1和电弧焊机2连接。控制装置3被配置为执行如上所述的焊接方法。通过该激光-电弧复合焊接系统,可以自动采集焊接电流并根据采集得到的数据调节激光器1的输出功率,使得电弧热源和激光热源耦合,提高焊接质量。

[0040] 如图2所示,在一些实施例中,激光-电弧复合焊接系统还包括电流传感器4。电流传感器4被配置为采集焊接过程中的实时焊接电流并将采集到的实时焊接电流发送到控制装置3。电流传感器4的线圈将电弧焊机2的导线套设以实时获取焊接电流。

[0041] 仍参考图2,在一些实施例中,控制装置3包括信号比较器31和控制器32。信号比较器31和控制器32连接。信号比较器31被配置为将实时焊接电流转化为电流数字波信号。控制器32被配置为根据电流数字波信号调节激光器1的输出功率。具体地,在信号比较器31内设置合适的触发电平,从而将电流传感器4采集到的模拟波形信号转化为噪声小且稳定性好的数字波形信号。控制器32可使用XOMS软件或其他适配软件编程操控,可调节设定波形参数以获得期望的输出波形。例如,在控制器32中调节激光器1的峰值持续时间以使得电流数字波信号降低为基值时,激光功率的波形升高为峰值,进而使得二者反相耦合,提高焊接质量。

[0042] 在一些实施例中,设定电弧电流有效值为240A,电弧电压为24V,送丝速度为10.6m/min,焊接速度0.9m/min,焊枪角度为35°,焊丝干伸长定为15mm,保护气流量为17L/min,光丝间距为3mm。设置控制器33以使激光功率的峰值为5kW(即第二设定值),基值为1kW(即第一设定值)。首先在焊接过程中不加入激光,获得焊缝成形如图4所示,可以看到熔深

较浅,焊缝正面的宽度不均匀,背面熔透效果较差;接着使焊接电流和激光功率两者波形同相耦合,即在电流上升、峰值以及下降期间加入高功率激光,在电弧电流基值期间加入低功率激光,获得焊缝成形如图5所示,可以看到熔深有一定提升,焊缝正面成形均匀,背面熔透效果较差,熔透不稳定;最后使焊接电流和激光功率两者波形反相耦合,即在电流上升、峰值以及下降期间加入低功率激光,在电弧电流基值期间加入高功率激光,获得焊缝成形如图6所示,可以看到熔深有较大提升,焊缝正面成形均匀,背面熔透好,焊缝整体均匀实现全熔透焊接。

[0043] 在一些实施例中,参考图2,控制装置3还包括电平转换器33。电平转换器33与控制器32和激光器1连接。电平转换器33被配置为从控制器32处接收电流数字波信号,且将电流数字波信号转换为模拟波信号后输送给激光器1。

[0044] 在一些实施例中,激光-电弧复合焊接系统还包括监测装置。监测装置用于实时监测焊缝。使用者可根据监测结果调节焊接工艺。具体地,监测装置包括高速摄像机和处理器,高速摄像机可以实时获取焊缝表面形貌。

[0045] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本申请的技术方案而非对其限制;尽管参照较佳实施例对本申请进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本申请的具体实施方式进行修改或者对部分技术特征进行等同替换;而不脱离本申请技术方案的精神,其均应涵盖在本申请请求保护的技术方案范围当中。

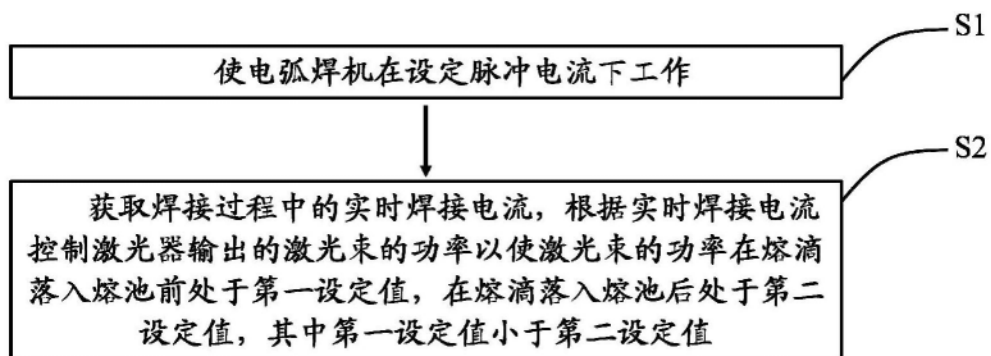


图1

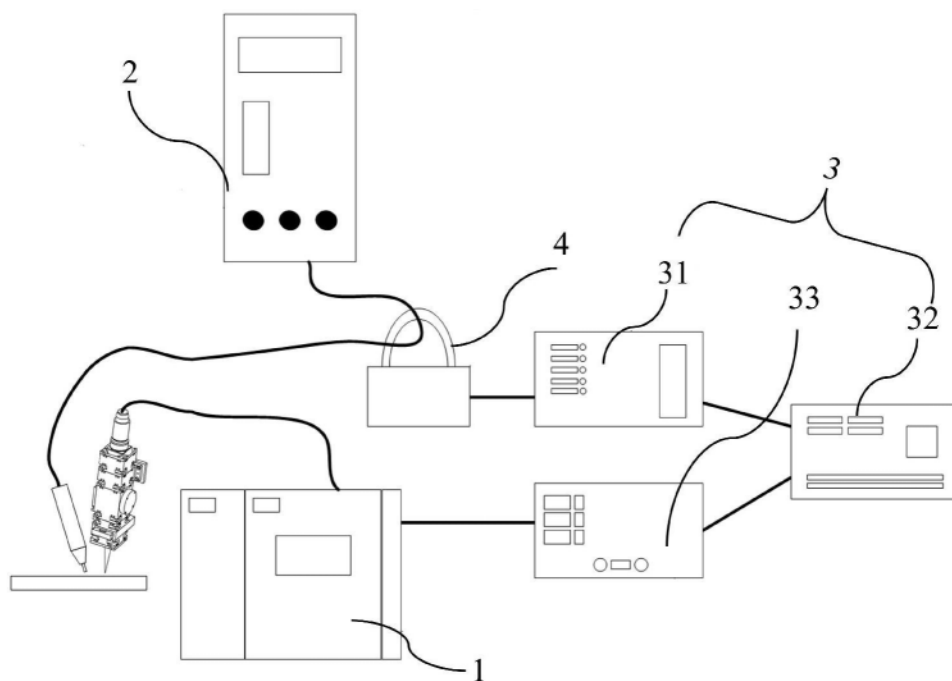


图2



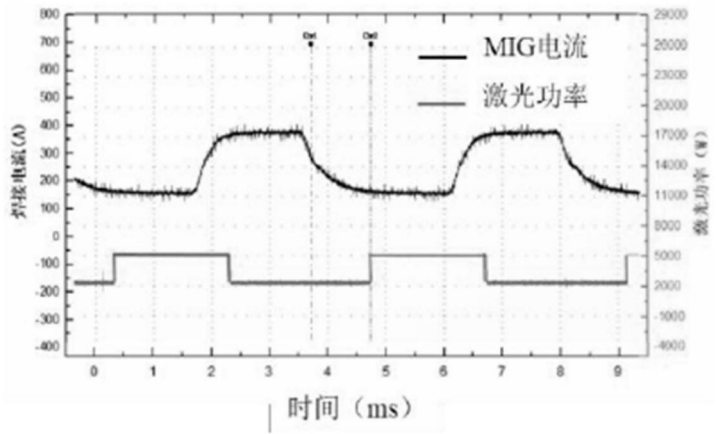


图3

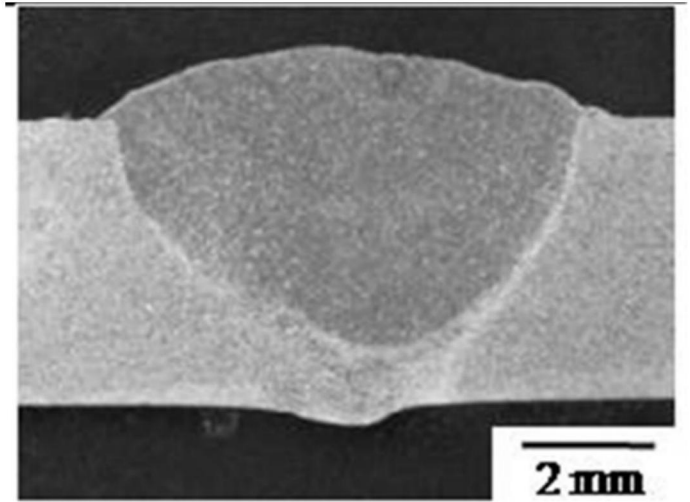


图4

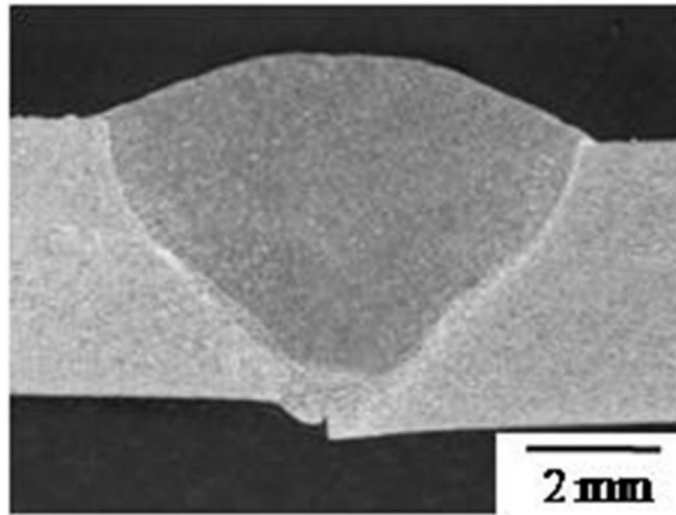


图5

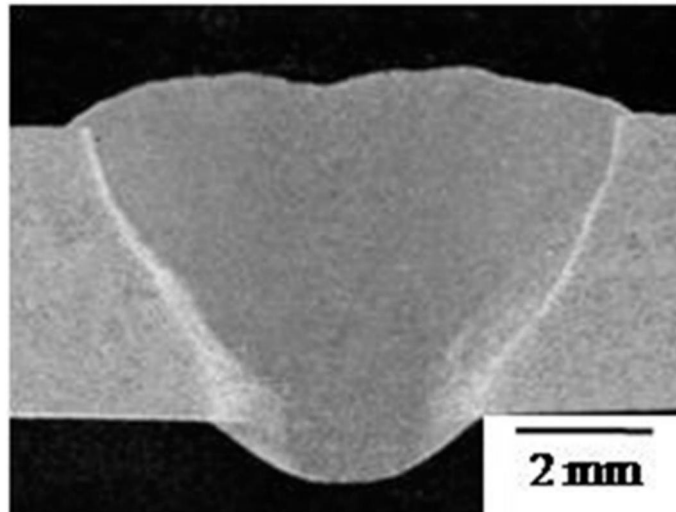


图6