



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106181043 B

(45)授权公告日 2018.03.30

(21)申请号 201610842690.4

B23K 26/60(2014.01)

(22)申请日 2016.09.22

B23K 26/14(2014.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 顾新云

申请公布号 CN 106181043 A

(43)申请公布日 2016.12.07

(73)专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西  
大直街92号

(72)发明人 雷正龙 黎炳蔚 倪隆昌 吴世博  
卢楠楠 陈彦宾

(74)专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事  
务所 23109

代理人 侯静

(51)Int.Cl.

B23K 26/348(2014.01)

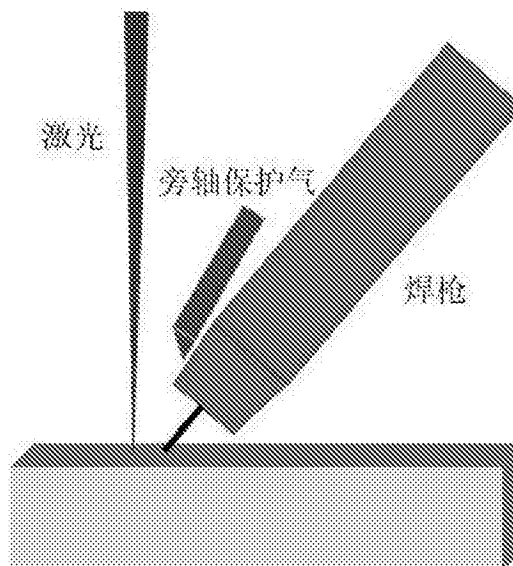
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的  
焊接方法

(57)摘要

一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的  
焊接方法,它涉及材料加工工程领域,本发明对  
保护气体进行低温处理,并在电弧焊枪一侧附加  
单独的旁轴保护气,其轴线方向指向激光作用点  
及其上方,即焊接时产生光致等离子体处,实现  
提高所述焊接过程的稳定性。本发明的方法焊接  
效率高,抑制气孔及热裂纹,提高力学性能,提高  
长焊缝焊接稳定性。



1. 一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法,其特征在于它是按照以下步骤进行的:

步骤一:焊接前,将待焊工件的待焊接部位加工成V型坡口、U型坡口或Y型坡口,并对加工后的坡口及两侧表面进行打磨和清洗,将打磨或清洗后的待焊工件固定在焊接工装夹具上;

步骤二:利用夹具将激光头与电弧焊枪以及旁轴保护气喷嘴刚性固定;

步骤三:设置焊接工艺参数:

打底焊:离焦量为 $-3\sim+3\text{mm}$ ,激光功率为 $3000\sim8000\text{W}$ ,电弧电流为 $100\sim200\text{A}$ ,激光电弧间距为 $3\sim5\text{mm}$ ,焊接速度为 $0.6\sim2\text{m/min}$ ;焊枪保护气采用纯Ar气,保护气流量为 $20\sim40\text{L/min}$ ,保护气温度为 $-30\text{℃}\sim-160\text{℃}$ ,旁轴保护气采用Ar气,流量为 $15\sim30\text{L/min}$ ,温度为 $-50\text{℃}\sim-160\text{℃}$ ;

填充焊:离焦量为 $-3\sim+3\text{mm}$ ,激光功率为 $400\sim800\text{W}$ ,电弧电流为 $200\sim400\text{A}$ ,激光电弧间距为 $2\sim5\text{mm}$ ,焊接速度为 $50\sim600\text{mm/min}$ ,焊枪保护气采用Ar气,流量为 $10\sim20\text{L/min}$ ,保护气温度为 $-30\text{℃}\sim-160\text{℃}$ ;旁轴保护气采用Ar气,流量为 $15\sim30\text{L/min}$ ,温度为 $-50\text{℃}\sim-160\text{℃}$ ;

步骤四:在实际焊接过程中,采用机器人集成系统控制焊接工艺参数,首先电弧起弧,然后电弧稳定 $1\sim2\text{s}$ ,激光器控制发出激光,最后控制机器人使得激光工作头和焊枪共同运动完成焊接过程;待焊工件为钢、铝或钛合金。

2. 根据权利要求1所述的一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法,其特征在于打底焊过程中焊枪保护气温度为 $-50\text{℃}\sim-160\text{℃}$ 。

3. 根据权利要求2所述的一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法,其特征在于打底焊过程中焊枪保护气温度为 $-80\text{℃}\sim-120\text{℃}$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法,其特征在于打底焊过程中旁轴保护气温度为 $-80\text{℃}\sim-120\text{℃}$ 。

5. 根据权利要求4所述的一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法,其特征在于打底焊过程中旁轴保护气温度为 $-80\text{℃}\sim-100\text{℃}$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法,其特征在于填充焊过程中焊枪保护气温度为 $-50\text{℃}\sim-120\text{℃}$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法,其特征在于填充焊过程中旁轴保护气温度为 $-80\text{℃}\sim-120\text{℃}$ 。

## 一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及材料加工工程领域,具体涉及一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法。

### 背景技术

[0002] 激光-电弧复合焊接是在上世纪70年代末期,由英国学者W.M.Steen最先提出并进行试验的。它将激光和电弧两种热源相结合,克服单热源的不足,从而获得增大能量利用率、提高焊接过程稳定性的效果。采用激光-电弧复合热源焊接,具有焊接速度快、焊缝熔深大、热输入低、变形小等优点,从而达到低成本、高效率、高适应性的效果。尤其适合中厚板焊接。

[0003] 目前,采用激光-电弧复合焊接时存在以下一些问题:

[0004] (1) 激光-电弧复合焊接存在“能量有限增强”现象,即存在一个匹配范围,当激光与电弧复合焊接时,只有在一定的电流范围内,激光与电弧相互作用有增强的效果,否则,复合焊接效果甚至差于单激光焊接;

[0005] (2) 当采用激光-电弧复合焊接时,尤其是采用激光-GMA电弧复合焊接时,对复合焊接一次焊透深度要求较大,激光功率的需求较高,增大了激光器的成本,且当激光功率很大时,激光等离子体的反作用力会严重阻碍GMA焊接熔滴过渡,造成GMA熔滴过渡困难,熔滴过渡不稳;

[0006] (3) 当采用激光-电弧复合焊接进行打底焊接,由于电弧被坡口侧壁吸引,造成两侧大面积熔化,后续焊接过程中可能造成气孔、未熔合等缺陷;

[0007] (4) 由于激光功率较大,在焊接过程中等离子体累积效应增加,容易导致激光有效功率减少,在焊缝后部背面余高迅速减少甚至出现未焊透的现象;

[0008] (5) 在厚板焊接时,由于等离子体作用,等离子体对激光能量有一定损耗,因此,激光焊接能量输入较大,导致焊接应力及焊接变形量较大,热影响区晶粒容易长大及脆化。

[0009] 从以上可以看出,在激光-电弧复合焊接过程中,激光等离子体是影响复合焊接过程稳定性及其焊接效果的关键因素。

[0010] 目前,关于复合焊接过程中抑制激光等离子体,提高焊接过程稳定性的方法有更换保护气种类、调整焊接参数及外加机械力、磁场等。如专利CN201310039463.4提出了一种外加高频磁场的激光-TIG电弧旁轴复合焊接方法及装置,专利CN201320057081.X提出了一种外加高频磁场的激光-TIG电弧同轴复合焊接装置,专利CN201320198864.X提出了一种外加高频磁场的激光熔化极电弧旁轴复合焊接装置,但以上均是对电弧进行改善,以提高复合焊接效果,对激光的抑制措施较少。

[0011] 基于此,本发明提出了一种抑制激光等离子体提高复合焊接过程稳定性的新方法——一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法。

### 发明内容

[0012] 本发明旨在针对激光-MIG复合焊接中存在的问题,而提供一种低温气体保护激光-电弧复合焊接方法。

[0013] 本发明在常规激光-电弧复合焊接的基础上,对焊接保护气送气装置进行改进具体实现方式包括:

[0014] (1)将普通的塑料送气管线改为绝热保温的低温气体输送管线,直接使用绝热气瓶内的低温气体。

[0015] (2)或使用其他装置对气体进行冷却如使用制冷机/冷风机对保护气瓶及输气管线进行冷却,可使保护气温度由室温降低至零下五十度左右;使用冷却浴(所能提供的温度范围通常为13至-196℃)对保护气瓶进行冷却,达到更低温度。

[0016] (3)在电弧焊枪一侧附加单独的旁轴保护气,其轴线方向指向激光作用点及其上方,即焊接时产生光致等离子体处,如图1所示。

[0017] 本发明的一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法,它是按照以下步骤进行的:

[0018] 步骤一:焊接前,将待焊工件的待焊接部位加工成V型坡口、U型坡口或Y型坡口,并对加工后的坡口及两侧表面进行打磨和清洗,将打磨或清洗后的待焊工件固定在焊接工装夹具上;

[0019] 步骤二:利用夹具将激光头与电弧焊枪以及旁轴保护气喷嘴刚性固定;

[0020] 步骤三:设置焊接工艺参数:

[0021] 打底焊:离焦量为-3~+3mm,激光功率为3000~8000W,电弧电流为100~200A,激光电弧间距为3~5mm,焊接速度为0.6~2m/min;焊枪保护气采用纯Ar气或CO<sub>2</sub>与Ar混合气,保护气流量为20~40L/min,保护气温度为-30℃~-160℃,旁轴保护气采用Ar气,流量为15~30L/min,温度为-50℃~-160℃;

[0022] 填充焊:离焦量为-3~+3mm,激光功率为400~800W,电弧电流为200~400A,激光电弧间距为2~5mm,焊接速度为50~600mm/min,焊枪保护气采用Ar气,流量为10~20L/min,保护气温度为-30℃~-160℃;旁轴保护气采用Ar气,流量为15~30L/min,温度为-50℃~-160℃;

[0023] 步骤四:在实际焊接过程中,采用机器人集成系统控制焊接工艺参数,首先电弧起弧,然后电弧稳定1~2s后,激光器控制发出激光,最后控制机器人使得激光工作头和焊枪共同运动完成焊接过程。

[0024] 本发明相比于传统的激光-电弧焊接主要有以下几点优势:

[0025] 1、焊接效率提高,由于保护气的强冷却效应,电弧明显收缩、电流密度提高,熔深增加而熔宽减小,可采用较小坡口进行焊接,尤其在中厚板焊接时,进一步压缩电弧,减少侧壁熔化。同时,对电弧焊枪进行冷却,降低了钨极烧损/避免焊枪过热,可连续较长时间进行大规范作业;

[0026] 2、抑制气孔及热裂纹,由于熔池冷却速度提高,有利于抑制常规激光-电弧复合焊时熔合线位置易产生的冶金型气孔以及焊缝中心热裂纹,减少焊接缺陷;

[0027] 3、提高力学性能,在较大的冷却速度下,焊缝晶粒细化,柱状晶方向有所变化,同时由于焊接热输入减少,接头软化现象有所改善,提高焊接接头的综合力学性能。

[0028] 4、提高长焊缝焊接稳定性,由于旁轴保护气可有效抑制激光等离子体,保证在进

行长焊缝焊接时焊缝整体成形良好。

### 附图说明

- [0029] 图1为本发明的旁轴保护气示意图；
- [0030] 图2为实施例2焊接20mm厚低碳钢的宏观金相图；
- [0031] 图3为实施例1焊接20mm厚低碳钢的宏观金相图；
- [0032] 图4为实施例2焊接20mm厚低碳钢的焊接热影响区图；
- [0033] 图5为实施例1焊接20mm厚低碳钢的焊接热影响区图；
- [0034] 图6为实施例2进行打底焊接时的焊缝背面形貌图；
- [0035] 图7为实施例1进行打底焊接时的焊缝背面形貌图；
- [0036] 图8为实施例3焊接6.6mm厚高强钢的宏观金相图。

### 具体实施方式

[0037] 具体实施方式一：本实施方式的一种提高激光-电弧复合焊接过程稳定性的焊接方法，它是按照以下步骤进行的：

[0038] 步骤一：焊接前，将待焊工件的待焊接部位加工成V型坡口、U型坡口或Y型坡口，并对加工后的坡口及两侧表面进行打磨和清洗，将打磨或清洗后的待焊工件固定在焊接工装夹具上；

[0039] 步骤二：利用夹具将激光头与电弧焊枪以及旁轴保护气喷嘴刚性固定；

[0040] 步骤三：设置焊接工艺参数：

[0041] 打底焊：离焦量为-3~+3mm，激光功率为3000~8000W，电弧电流为100~200A，激光电弧间距为3~5mm，焊接速度为0.3~3m/min；焊枪保护气采用纯Ar气或CO<sub>2</sub>与Ar混合气，保护气流量为20~40L/min，保护气温度为-30℃~-160℃，旁轴保护气采用Ar气，流量为15~30L/min，温度为-50℃~-160℃；

[0042] 填充焊：离焦量为-3~+3mm，激光功率为400~800W，电弧电流为200~400A，激光电弧间距为2~5mm，焊接速度为50~800mm/min，焊枪保护气采用Ar气，流量为10~20L/min，保护气温度为-30℃~-160℃；旁轴保护气采用Ar气，流量为15~30L/min，温度为-50℃~-160℃；

[0043] 步骤四：在实际焊接过程中，采用机器人集成系统控制焊接工艺参数，首先电弧起弧，然后电弧稳定1~2s后，激光器控制发出激光，最后控制机器人使得激光工作头和焊枪共同运动完成焊接过程。

[0044] 本实施方式在打底焊和填充焊过程中，如果需要送丝，则送丝速度均为2~6m/min。

[0045] 本实施方式在附加旁轴保护气的激光-MAG复合焊接中，激光器可以采用CO<sub>2</sub>气体激光器、YAG固体激光器、半导体激光器，其中以采用光纤传输的YAG固体激光器最佳，因为其更加高效和环保；焊机可以采用型号MV4000的福尼斯TIG焊机，最大焊接电流400A；福尼斯公司TPS4000的MIG/MAG焊机，电流调节范围为3-400A，电压调节范围为14.2-34V；根据需求均可实现脉冲焊接。其他设备包括，1台KUKA机器人，焊接过程中工艺参数的调整通过KUKA机器人编程实现；1台福尼斯送丝机，以保证焊丝精确送进。

[0046] 具体实施方式二：本实施方式与具体实施方式一不同的是：待焊工件为钢、铝或钛合金。其它与具体实施方式一相同。

[0047] 具体实施方式三：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气采用CO<sub>2</sub>与Ar混合气为是按任意比混合的。其它与具体实施方式一相同。

[0048] 具体实施方式四：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气采用CO<sub>2</sub>与Ar混合气，保护气的温度为0℃~-40℃。其它与具体实施方式一相同。

[0049] 具体实施方式五：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气采用CO<sub>2</sub>与Ar混合气，保护气的温度为0℃~-30℃。其它与具体实施方式一相同。

[0050] 具体实施方式六：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气采用CO<sub>2</sub>与Ar混合气，保护气的温度为0℃~-20℃。其它与具体实施方式一相同。

[0051] 具体实施方式七：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气采用CO<sub>2</sub>与Ar混合气，保护气的温度为0℃~-10℃。其它与具体实施方式一相同。

[0052] 具体实施方式八：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气温度为-50℃~-160℃。其它与具体实施方式一相同。

[0053] 具体实施方式九：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气温度为-50℃~-120℃。其它与具体实施方式一相同。

[0054] 具体实施方式十：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气温度为-50℃~-100℃。其它与具体实施方式一相同。

[0055] 具体实施方式十一：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气温度为-50℃~-80℃。其它与具体实施方式一相同。

[0056] 具体实施方式十二：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中焊枪保护气温度为-50℃~-70℃。其它与具体实施方式一相同。

[0057] 具体实施方式十三：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中旁轴保护气温度为-80℃~-120℃。其它与具体实施方式一相同。

[0058] 具体实施方式十四：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中旁轴保护气温度为-80℃~-160℃。其它与具体实施方式一相同。

[0059] 具体实施方式十五：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中旁轴保护气温度为-80℃~-120℃。其它与具体实施方式一相同。

[0060] 具体实施方式十六：本实施方式与具体实施方式一不同的是：打底焊过程中旁轴保护气温度为-80℃~-100℃。其它与具体实施方式一相同。

[0061] 具体实施方式十七：本实施方式与具体实施方式一不同的是：填充焊过程中焊枪保护气温度为-50℃~-160℃。其它与具体实施方式一相同。

[0062] 具体实施方式十八：本实施方式与具体实施方式一不同的是：填充焊过程中焊枪保护气温度为-50℃~-140℃。其它与具体实施方式一相同。

[0063] 具体实施方式十九：本实施方式与具体实施方式一不同的是：填充焊过程中焊枪保护气温度为-50℃~-120℃。其它与具体实施方式一相同。

[0064] 具体实施方式二十：本实施方式与具体实施方式一不同的是：填充焊过程中焊枪保护气温度为-50℃~-100℃。其它与具体实施方式一相同。

[0065] 具体实施方式二十一：本实施方式与具体实施方式一不同的是：填充焊过程中焊

枪保护气温度为 $-50^{\circ}\text{C}\sim-80^{\circ}\text{C}$ 。其它与具体实施方式一相同。

[0066] 具体实施方式二十二:本实施方式与具体实施方式一不同的是:填充焊过程中旁轴保护气温度为 $-80^{\circ}\text{C}\sim-160^{\circ}\text{C}$ 。其它与具体实施方式一相同。

[0067] 具体实施方式二十三:本实施方式与具体实施方式一不同的是:填充焊过程中旁轴保护气温度为 $-80^{\circ}\text{C}\sim-140^{\circ}\text{C}$ 。其它与具体实施方式一相同。

[0068] 具体实施方式二十四:本实施方式与具体实施方式一不同的是:填充焊过程中旁轴保护气温度为 $-80^{\circ}\text{C}\sim-120^{\circ}\text{C}$ 。其它与具体实施方式一相同。

[0069] 具体实施方式二十五:本实施方式与具体实施方式一不同的是:填充焊过程中旁轴保护气温度为 $-80^{\circ}\text{C}\sim-100^{\circ}\text{C}$ 。其它与具体实施方式一相同。

[0070] 本发明内容不仅限于上述各实施方式的内容,其中一个或几个具体实施方式的组合同样也可以实现发明的目的。

[0071] 通过以上实施例验证本发明的有益效果:

[0072] 分别利用本发明的方法及常规激光-MIG复合焊接方法进行20mm厚低碳钢对接焊缝的打底焊。具体实验方法如下:

[0073] 实施例1

[0074] 采用本发明方法进行20mm厚低碳钢对接焊缝的打底焊,具体过程如下:

[0075] 步骤一:焊接前,根据板厚,将待焊工件的待焊接部位加工成Y型坡口,钝边厚度为10mm,坡口角度为 $20^{\circ}\text{C}$ ,并对加工后的坡口及两侧表面进行打磨或清洗,将打磨或清洗后的待焊工件固定在焊接工装夹具上;

[0076] 步骤二:利用特制夹具将激光头与MIG焊枪(旁轴保护气喷嘴)刚性固定;

[0077] 步骤三:设置焊接工艺参数:

[0078] 离焦量为 $-2\text{mm}$ ,激光功率6500W,电弧电流140A,激光电弧间距3mm,焊接速度 $1.2\text{m}/\text{min}$ 。焊枪保护气采用Ar气,流量在 $25\text{L}/\text{min}$ , $-60^{\circ}\text{C}$ ,旁轴保护气采用Ar气,流量在 $25\text{L}/\text{min}$ ,温度设置为 $-83^{\circ}\text{C}$ 。

[0079] 步骤四:在实际焊接过程中,采用机器人集成系统控制焊接工艺参数,首先MIG电弧起弧,然后电弧稳定 $1\sim 2\text{s}$ ,然后激光器控制发出激光,最后控制机器人使得激光工作头和MIG焊枪共同运动完成焊接过程。

[0080] 实施例2

[0081] 采用常规方法进行20mm厚低碳钢对接焊缝的打底焊,具体过程如下:

[0082] 步骤一:焊接前,根据板厚,将待焊工件的待焊接部位加工成U型坡口,钝边厚度为10mm,坡口角度为 $20^{\circ}\text{C}$ ,并对加工后的坡口及两侧表面进行打磨或清洗,将打磨或清洗后的待焊工件固定在焊接工装夹具上;

[0083] 步骤二:利用特制夹具将激光头与MIG焊枪刚性固定;

[0084] 步骤三:设置焊接工艺参数:

[0085] 离焦量为 $-2\text{mm}$ ,激光功率6500W,电弧电流140A,激光电弧间距3mm,焊接速度 $1.2\text{m}/\text{min}$ ;焊枪保护气采用Ar气,流量在 $30\text{L}/\text{min}$ ,室温( $20^{\circ}\text{C}$ );

[0086] 步骤四:在实际焊接过程中,采用机器人集成系统控制焊接工艺参数,首先MIG电弧起弧,然后电弧稳定 $1\sim 2\text{s}$ ,然后激光器控制发出激光,最后控制机器人使得激光工作头和MIG焊枪共同运动完成焊接过程。

[0087] 图2至图5分别为采用常规激光-MIG复合焊接及本发明方法进行打底焊时的焊缝截面形貌,可以看出当采用本方法进行打底焊时,可一次焊透10mm的钝边,且焊接过程稳定,熔滴过渡行为良好,均匀一致,侧壁熔化量减少,无明显的不良缺陷。同时电弧区及热影响区范围减小,如图4和图5所示。

[0088] 图6和图7分别为采用常规激光-MIG复合焊接及本发明方法进行打底焊接时的焊缝背面形貌,可以看出,常规方法焊接时由于激光等离子体迅速增长,导致焊缝后部未熔透,而相似功率采用本方法时,焊接过程稳定,背面熔透均匀,能量衰减不明显。

[0089] 实施例3

[0090] 采用本发明方法进行6.6mm厚高强钢对接焊缝,具体过程如下:

[0091] 步骤一:焊接前,根据板厚,将待焊工件的待焊接部位加工成Y型坡口,钝边厚度为3mm,坡口角度为45°,并对加工后的坡口及两侧表面进行打磨或清洗,将打磨或清洗后的待焊工件固定在焊接工装夹具上;

[0092] 步骤二:利用特制夹具将激光头与TIG焊枪(旁轴保护气喷嘴)刚性固定;

[0093] 步骤三:设置焊接工艺参数:

[0094] 离焦量为-2mm,激光功率3400W,电弧电流140A,激光电弧间距3mm,焊接速度800mm/min。焊枪保护气采用Ar气,流量在25L/min,-60°C,旁轴保护气采用Ar气,流量在25L/min,温度设置为-83°C,送丝速度2.5m/min。

[0095] 填充焊:离焦量为+2mm,激光功率为800W,电弧电流为260A,激光电弧间距为3mm,焊接速度为600mm/min,焊枪保护气采用Ar气,流量为20L/min,保护气温度为-30°C;旁轴保护气采用Ar气,流量为15L/min,温度为-60°C,送丝速度4m/min;

[0096] 步骤四:在实际焊接过程中,采用机器人集成系统控制焊接工艺参数,首先MIG电弧起弧,然后电弧稳定1~2s后,然后激光器控制发出激光,最后控制机器人使得激光工作头和TIG焊枪共同运动完成焊接过程。

[0097] 本实施例焊接6.6mm厚高强钢的金相图如图8所示。

[0098] 本实施例的方法具有以下优势:

[0099] 1、焊接效率提高,由于保护气的强冷却效应,电弧明显收缩、电流密度提高,熔深增加而熔宽减小,可采用较小坡口进行焊接,尤其在中厚板焊接时,进一步压缩电弧,减少侧壁熔化。同时,对电弧焊枪进行冷却,降低了钨极烧损/避免焊枪过热,可连续较长时间进行大规范作业;

[0100] 2、抑制气孔及热裂纹,由于熔池冷却速度提高,有利于抑制常规激光-电弧复合焊时熔合线位置易产生的冶金型气孔以及焊缝中心热裂纹,减少焊接缺陷;

[0101] 3、提高力学性能,在较大的冷却速度下,焊缝晶粒细化,柱状晶方向有所变化,同时由于焊接热输入减少,接头软化现象有所改善,提高焊接接头的综合力学性能。

[0102] 4、提高长焊缝焊接稳定性,由于旁轴保护气可有效抑制激光等离子体,保证在进行长焊缝焊接时焊缝整体成形良好。



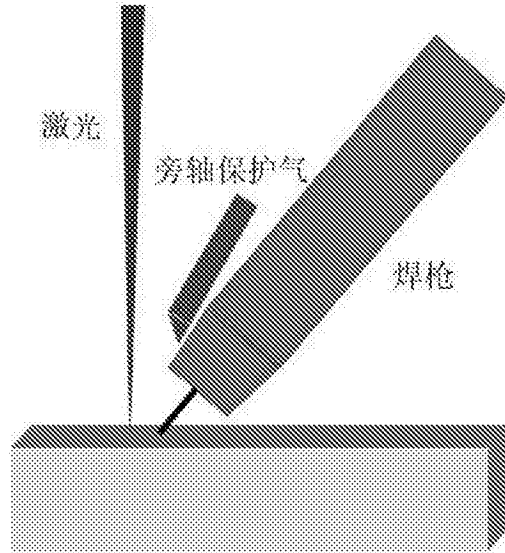


图1

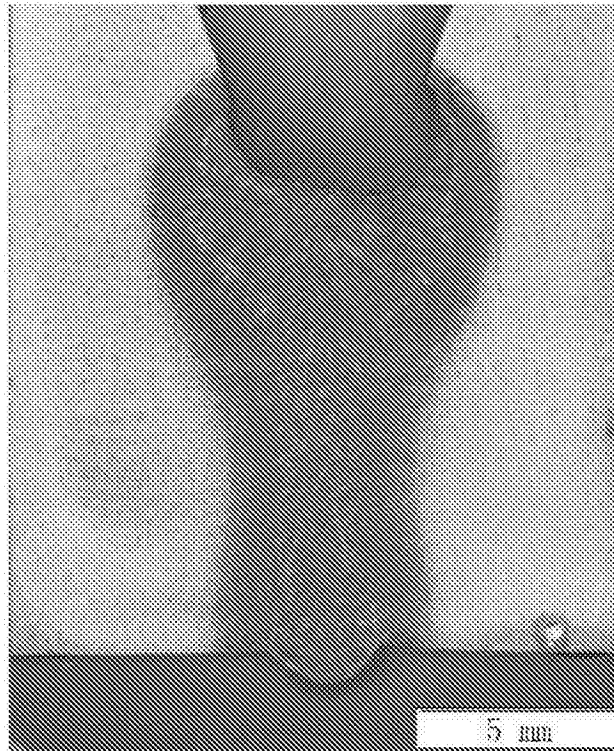


图2

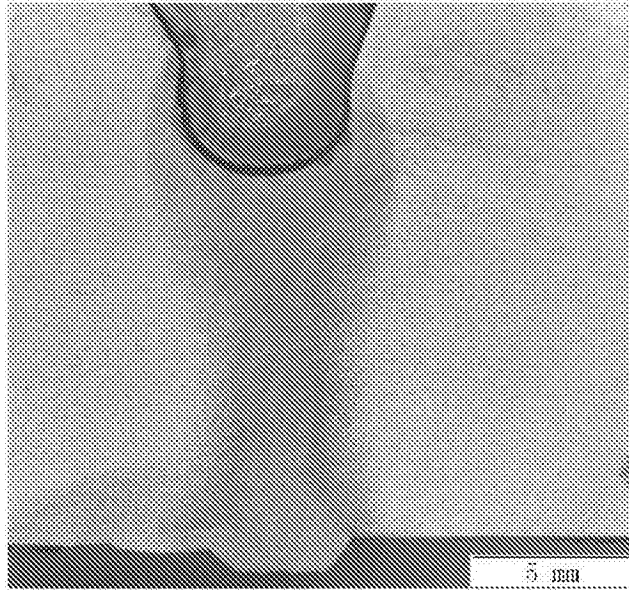


图3

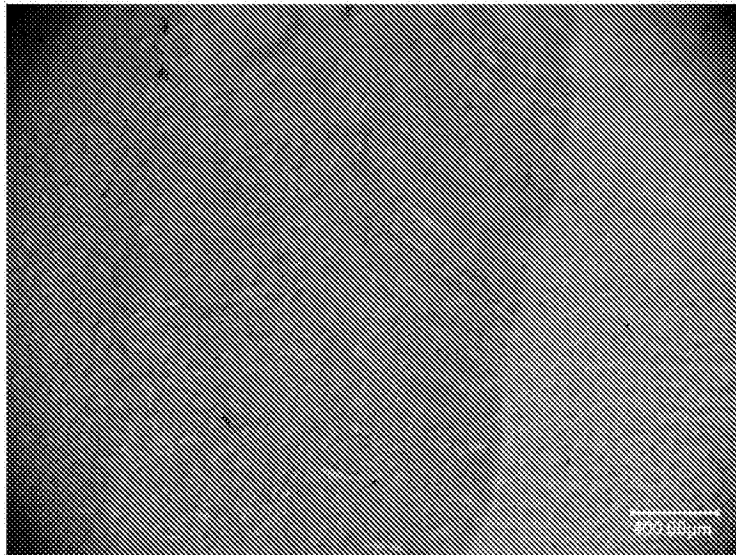


图4

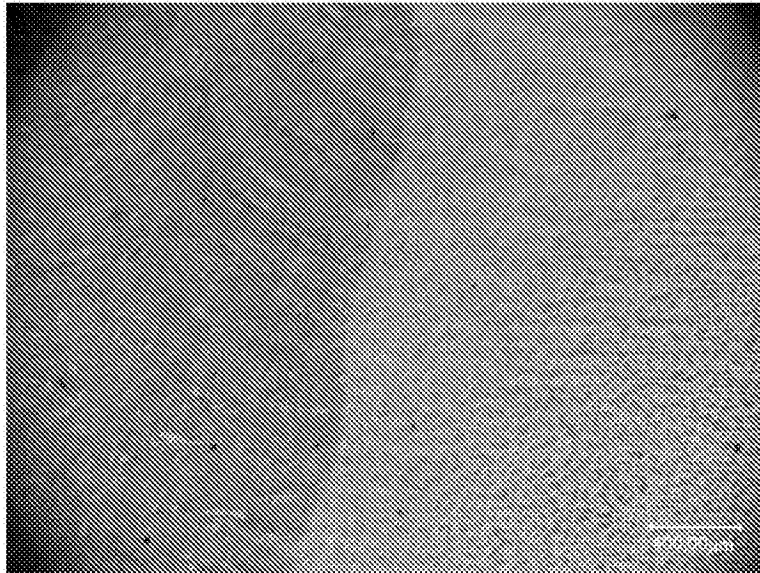


图5

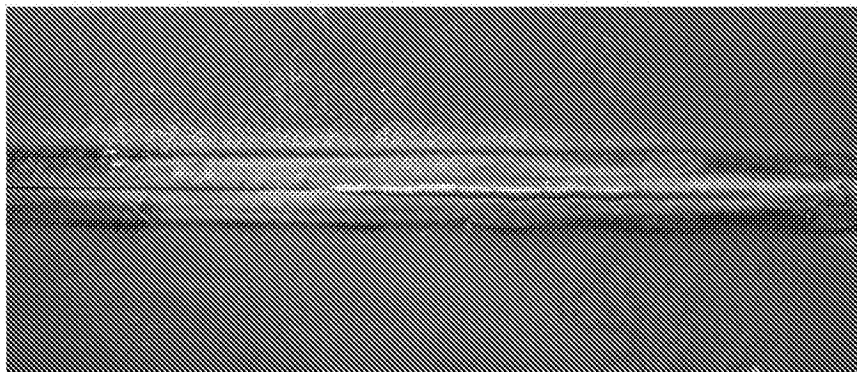


图6

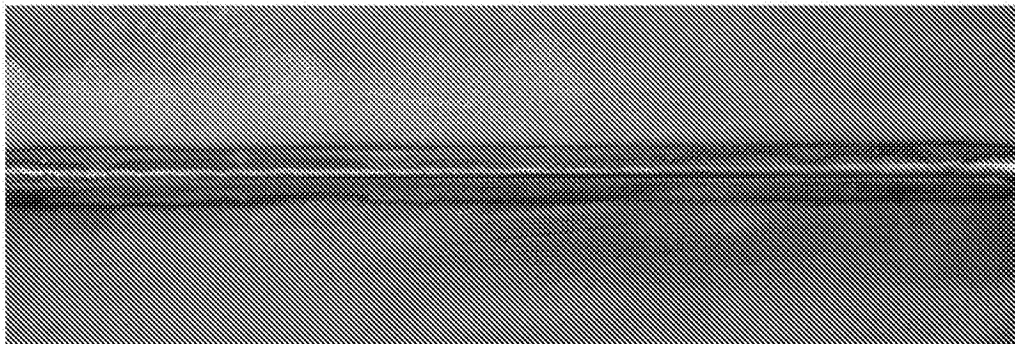


图7

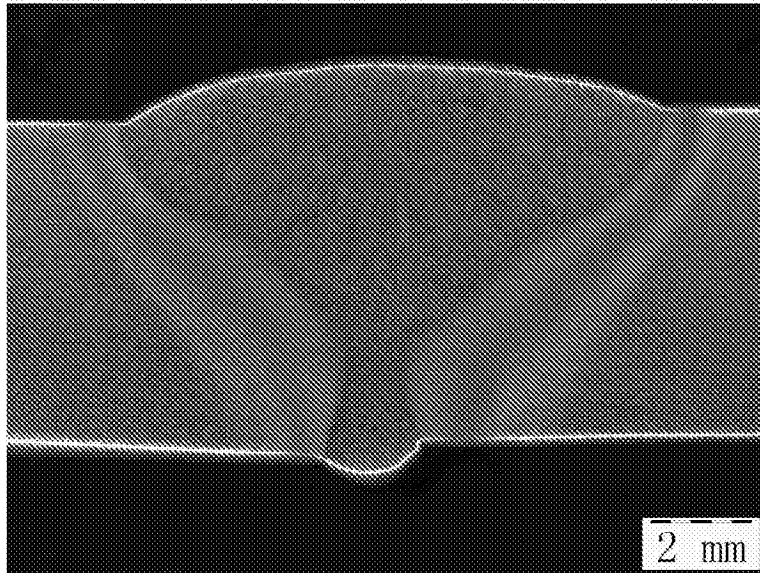


图8