

Nd:YAG 激光 + CMT 电弧复合热源横焊工艺参数对焊缝成形的影响

刘西洋¹, 孙凤莲¹, 王旭友², 王威², 雷振²

(1. 哈尔滨理工大学 材料科学与工程学院, 哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨焊接研究所, 哈尔滨 150080)

摘要:以 304 不锈钢为对象,借助焊缝成形参数来评价 YAG 激光 + CMT 电弧复合热源横焊焊缝的成形特征,研究了 Nd:YAG 激光 + CMT 复合热源横焊过程中焊接工艺参数对焊缝成形的影响. 结果表明,在 CMT 电弧焊接中加入激光可以改善横焊焊缝成形;在激光能量和焊接电流一定时,光丝间距存在一个最佳匹配,使得 Nd:YAG 激光 + CMT 复合热源横焊焊缝成形良好;与其它复合热源焊接相对比激光功率对熔深影响较大,对横焊焊缝成形的影响程度与焊接电流有关;焊接速度对横焊焊缝成形影响显著;离焦量对横焊焊缝成形影响较小;电弧功率对横焊焊缝的偏离度影响显著.

关键词:激光焊接;复合热源横焊;CMT 横焊;焊缝成形

中图分类号: TG456 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2010)09-0109-04



刘西洋

0 序 言

CMT(cold metal transfer) 冷金属过渡技术^[1,2]由 Fronius 公司 2002 年研究成功, CMT 焊接具有焊接热输入量低,变形小,焊接速度快,电弧稳定,飞溅小,焊缝重复性好,精度高等优点,但因其电弧能量低,熔深浅,目前只适用于薄板的高速焊接^[3]. 国内外 CMT 复合其它热源相关报道极少,为此文中将 CMT 和激光进行复合,鉴于此种复合后的焊接特点,与横焊的工艺要求相近,文中试验均以横焊为背景.

1 试验方法

测量不同焊接工艺参数下复合热源焊缝熔深、余高、熔宽和偏离度,并计算其余高一熔宽比,以此分析 Nd:YAG 激光 + CMT 电弧复合热源焊接工艺参数对焊缝成形的影响及机理.

在横焊时,由于重力作用,熔池金属容易下淌,难以成形,用偏离度来表示熔池金属下淌程度,即偏离度越小焊缝成形越好. 偏离度用两个指标来衡量:一是最大余高线偏离熔宽中心程度;二是最大余

高线偏离激光作用点程度. 图 1 为各种参数示意图.

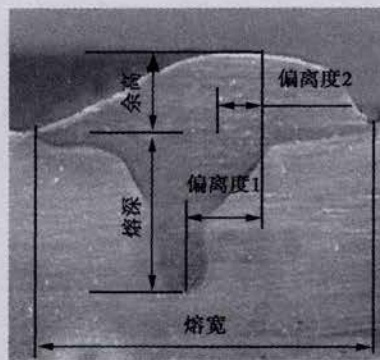


图 1 Nd:YAG 激光 + CMT 电弧复合热源横焊焊缝成形参数示意图

Fig. 1 Schematic diagram of weld formation parameters with Nd:YAG laser + CMT arc hybrid horizontal welding

2 试验结果与分析

2.1 光丝间距对焊缝成形的影响

图 2 是激光功率为 $P_L = 1.4 \text{ kW}$ 、焊接电流 $I = 150 \text{ A}$ 、焊接速度为 $v_H = 0.6 \text{ m/min}$, YAG + CMT 复合热源横焊焊缝表面成形参数随光丝间距的变化.

如图 2a 所示,焊缝熔深随光丝间距的增加逐渐变小,光丝间距 $D_{LA} = 2 \text{ mm}$ 时,熔深达到最大值 3.08 mm ,这是由于当光丝间距较小时,电弧等离子体对激光产生了屏蔽、折射和吸收作用,导致激光能量散失,熔深变浅;当光丝间距为某特定值时,激光和电弧之间的耦合作用最佳,熔深达到最大;当光丝间距较大时激光和电弧之间已经没有了耦合作用,熔深变浅. 这说明采用适当的光丝间距可以使 YAG + CMT 复合热源横焊焊缝熔深达到最大值.

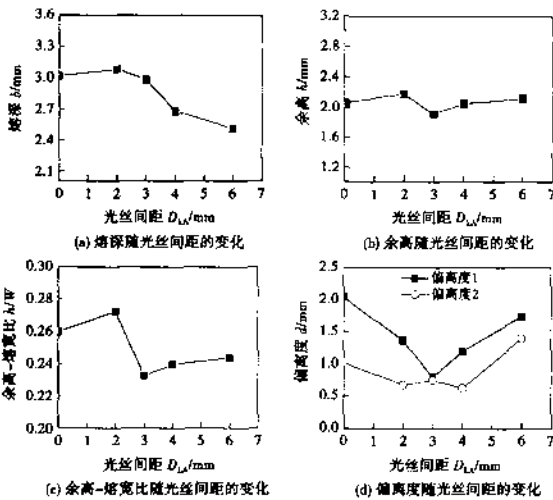


图 2 YAG 激光 + CMT 电弧复合热源横焊焊缝的成形参数随光丝间距的变化

Fig. 2 Variation of figuration parameters of YAG laser + CMT arc hybrid horizontal welding bead with space between light thread

从图 2b,c,d 可知光丝间距对焊缝余高、余高一熔宽比、偏离度都有明显影响,光丝间距 $D_{LA} = 3 \text{ mm}$ 时,余高、余高一熔宽比、偏离度基本都达到最小值,说明光丝间距 $D_{LA} = 3 \text{ mm}$ 左右时,YAG + CMT 复合热源耦合作用强烈,焊缝成形良好.

2.2 激光功率对焊缝成形的影响

图 3 是焊接速度 $v_H = 0.6 \text{ m/min}$ 、光丝间距 $D_{LA} = 3.5 \text{ mm}$,不同焊接电流下激光功率对 YAG + CMT 复合热源横焊焊缝成形参数的影响.

如图 3a 所示,激光功率对熔深影响很大,且随激光功率的增大而增大,当激光功率 $P_L > 800 \text{ W}$ 时,两种电流的熔深都开始显著增加,激光功率 $P_L > 1400 \text{ W}$ 时,两种电流下的熔深趋于相同. 这是因为当激光功率 $P_L \leq 800 \text{ W}$ 时,YAG + CMT 复合焊接中的激光焊接呈现热导焊的特点,这时的熔深主要由 CMT 电弧焊决定,形成的熔深相对比较较小;而当激光功率达到金属材料汽化所需的功率密度时,激

光焊接表现为深熔焊的特点,此时的熔深取决于激光焊接的熔深,所以激光功率越大,熔深越大.

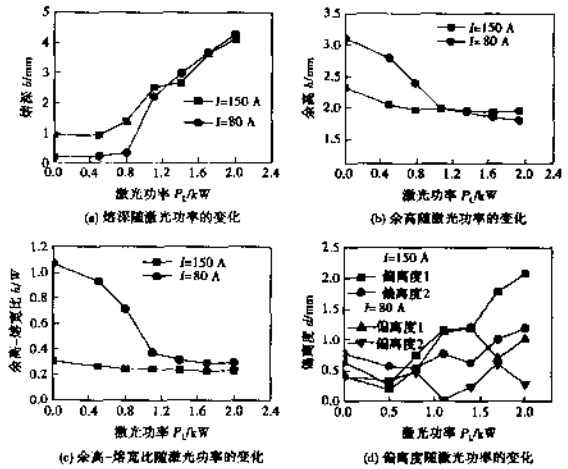


图 3 YAG 激光 + CMT 电弧复合热源横焊焊缝的成形参数随激光功率的变化

Fig. 3 Variation of figuration parameters of YAG laser + CMT arc hybrid horizontal welding bead with laser power

如图 3b,c 所示,两种焊接电流下,焊缝的余高随激光功率的增大而缓慢减少,焊接电流 150 A 时余高一熔宽比随激光功率的变化很小,而焊接电流 80 A 时余高一熔宽比随激光功率的增加而显著减小,当激光功率 $P_L \geq 1100 \text{ W}$ 以后变化趋于平缓. 这是因为激光功率的增大提高了焊接热输入,改善了熔敷金属的铺展性,余高变小. 熔宽的大小取决于熔化金属量的多少及熔池的大小,CMT 电弧的加热面积与焊接电流大小成正比,焊接电流 150 A 时,CMT 电弧的加热面积比激光的加热面积大的多,熔宽主要由 CMT 电弧决定,随着激光功率的增加熔池变化不大,所以余高一熔宽比随激光功率变化不大,焊接电流 80 A 时,焊接热输入较小,熔池小,随着激光功率增加,热输入随之增大,熔池变大,所以余高一熔宽比随激光功率变化显著.

从图 3d 可知在 CMT 热源焊接中加入小功率激光可以降低焊缝成形的偏离度,但是随激光功率的增大,焊缝的偏离度变大,且比 CMT 热源焊接的焊缝偏离度要大,这是因为随着激光功率的增加,焊缝的热输入增大,增大了熔融金属的流动性,熔融金属易于下流,导致焊缝的偏离度增大.

2.3 焊接速度对焊缝成形的影响

图 4 是激光功率 $P_L = 2.0 \text{ kW}$ 、焊接电流 $I = 150 \text{ A}$ 、光丝间距 $D_{LA} = 3.5 \text{ mm}$ 条件下,焊接速度对 YAG + CMT 复合热源横焊焊缝成形参数的影响.

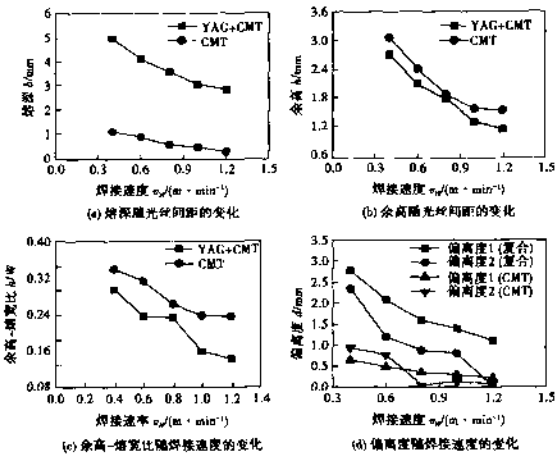


图 4 YAG 激光 + CMT 电弧复合热源横焊焊缝的成形参数随焊接速度的变化

Fig. 4 Variation of figuration parameters of YAG laser + CMT arc hybrid horizontal welding bead with welding speed

如图 4a,b 所示,焊缝的熔深、余高都随焊接速度的增加而减少,YAG + CMT 复合焊接的熔深远大于 CMT 焊接的熔深(低速焊时复合焊熔深增加到单独焊时的 4 倍,高速焊时可达 9 倍),弥补了单独 CMT 焊接熔深小的缺点,YAG + CMT 复合焊接的余高小于 CMT 焊接的余高,说明在 CMT 焊接过程中加入一定功率的 Nd:YAG 激光能够有效提高焊缝成形参数熔深和降低焊缝成形参数余高,从而改善焊缝成形。

如图 4c 所示,YAG + CMT 复合热源和 CMT 横焊焊缝余高一熔宽比都随焊接速度的增大而减小,焊接速度 $v_{11} \geq 1$ m/min 以后,余高一熔宽比变化趋于平缓,YAG + CMT 复合热源横焊焊缝余高一熔宽比要小于 CMT 焊缝余高,说明在 CMT 焊接过程中加入一定功率的 Nd:YAG 激光能够有效改善金属铺展性。

如图 4d 所示,焊接速度对 YAG + CMT 复合热源和 CMT 横焊焊缝偏离度影响显著,且都随焊接速度的增大而减小,当焊接速度 $v_{11} > 0.6$ m/min 时,焊缝的偏离度的变化不大。

2.4 电弧功率对焊缝成形的影响

图 5 是激光功率 $P_L = 2.0$ kW、光丝间距 $D_{LA} = 3.5$ mm、焊接速度 $v_{11} = 0.6$ m/min 时焊接电流对 YAG + CMT 复合热源横焊焊缝成形参数的影响。

如图 5a 所示,随着电弧功率的增加,CMT 和 YAG + CMT 复合热源焊接的熔深增大,但其熔深变化并不显著,这是因为 CMT 焊接时,虽然电弧功率增大会增加熔深,但 CMT 的一个重要缺点就是熔深

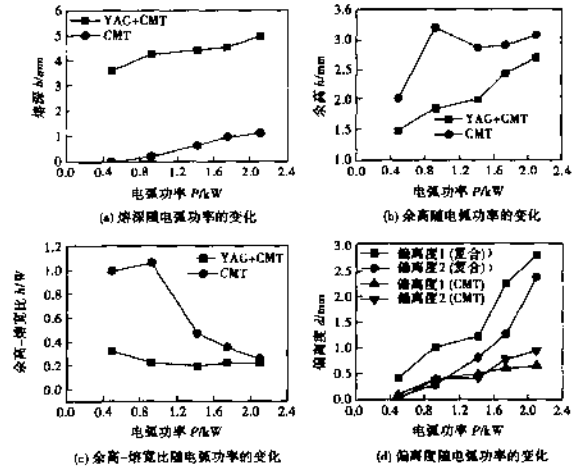


图 5 YAG 激光 + CMT 电弧复合热源横焊焊缝的成形参数随电弧功率的变化

Fig. 5 Variation of figuration parameters of YAG laser + CMT arc hybrid horizontal welding bead with arc power

小,所以熔深增加有限,YAG + CMT 复合热源焊接时,电弧功率增加会增大熔深,由图 3a 已知熔深主要由激光决定,所以熔深增加并不大。

如图 5b 所示,CMT 和 YAG + CMT 复合热源焊接焊缝的余高都随电弧功率的增加而增大,变化幅度不大,CMT 当电弧功率为 0.92 kW 时,余高达到最大 3.2 mm,因为焊接电流的增大是靠送丝速度升高来实现的,提高了表面金属填充量,虽然热输入也随之增大,但此时热输入还很小,导致焊缝凝固时间短,金属来不及铺展,所以余高很大。

如图 5c 所示,CMT 和 YAG + CMT 复合热源焊接焊缝的余高一熔宽比随电弧功率的增加而减小,其中 CMT 时,当电弧功率为 0.92 kW 时,余高一熔宽比达到最大值,因为电弧功率增大是靠提高送丝速度来实现的,送丝速度的增大,提高了表面金属填充量,虽然热输入也随之增大,但此时热输入还很小,导致焊缝凝固时间短,金属来不及铺展,所以余高一熔宽比达到最大值,之后随着电弧功率的增大,热输入达到一定水平以后,余高一熔宽比下降显著,金属铺展性得到改善。

如图 5d 所示,CMT 和 YAG + CMT 复合热源焊接焊缝的偏离度随电弧功率的增加而增大,YAG + CMT 复合热源的焊缝偏离度比 CMT 焊缝偏离度大,说明激光的加入增加了焊缝的偏离度,且 YAG + CMT 复合热源的焊缝偏离度随电弧功率变化比 CMT 热源的变化更加明显。这是因为图 5d 中电弧功率始终小于 2 kW 激光的能量,激光能量/电弧能量 $\geq 1:1$,所以激光加入使复合熔池的温度显著高于

CMT, 熔池表面张力也远小于 CMT, 流动性好于 CMT, 焊接电流的增大是靠提高送丝速度实现的, 送丝量的增加导致高温液态金属量的增加, 在重力作用下, 偏离度增大。

2.5 离焦量对焊缝成形的影响

图 6 是激光功率 $P_L = 2.0 \text{ kW}$ 、光丝间距 $D_{LA} = 3.5 \text{ mm}$, 不同的焊接电流下 YAG + CMT 复合热源横焊焊缝成形参数随离焦量的变化。

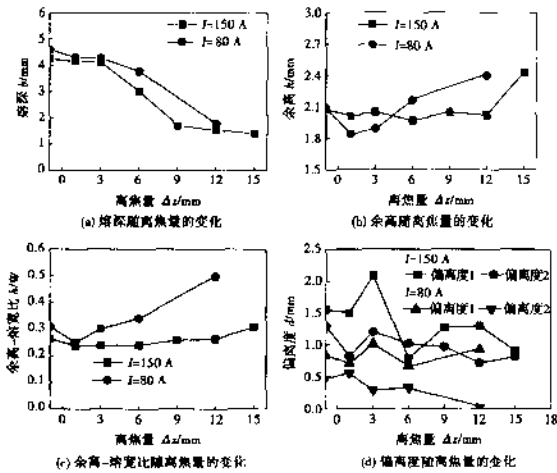


图 6 YAG 激光 + CMT 电弧复合热源横焊焊缝的成形参数随离焦量的变化

Fig. 6 Variation of figuration parameters of YAG laser + CMT arc hybrid horizontal welding bead with off-focus distance

从图 6a 中看出两种电流下离焦量的变化对 YAG + CMT 复合热源焊缝熔深的影响很大, 且随离焦量的增大而快速减小, 离焦量 $\Delta z = -1 \text{ mm}$ 时的熔深略大于 1 mm , 这是因为负离焦时工件内部的激光功率密度大于工件表面, 且负离焦减少了激光到工件表面的距离, 减少了电弧等离子体对激光能量的屏蔽、折射和吸收效应, 因此熔深增加。当离焦量 $\Delta z > 9 \text{ mm}$ 时, YAG + CMT 复合热源焊缝的熔深下降缓慢, 这是因为随着离焦量的增大, 照射到工件表面的激光功率密度减小, 当激光功率密度小于 10^7 W/cm^2 时, 由激光深熔焊转为热导焊。

如图 6b, c 所示, 焊接电流 $I = 150 \text{ A}$, 余高和余高一熔宽比都随着离焦量的增加而变化不大。当离焦量 $\Delta z > 12 \text{ mm}$ 时, 焊缝余高迅速增大, 由于此时的激光功率密度已很弱, 相对于 CMT 电弧功率密度可以忽略, 当离焦量 $\Delta z = 3 \text{ mm}$, 余高一熔宽比达到最小值。焊接电流 $I = 80 \text{ A}$ 时离焦量对余高影响不大, 但对余高一熔宽的影响明显, 当离焦量 $\Delta z = 1$

mm , 余高一熔宽比达到最小值, 说明焊接电流 $I = 150 \text{ A}$, 当离焦量 $\Delta z = 3 \text{ mm}$ 时, 焊缝表面的铺展性最好, 焊接电流 $I = 80 \text{ A}$, 当离焦量 $\Delta z = 1 \text{ mm}$ 时, 焊缝表面的铺展性最好。这是因为小电流, 激光的加入主要扩展熔池, 增加熔宽, 激光能量水平越高, 效果越好, 离焦量越小激光能量水平越高, 所以离焦量 $\Delta z = 1 \text{ mm}$, 焊缝表面的铺展性最好, 大电流时, 激光的加入主要是减少余高, 激光的作用面积越大, 激光能量水平越高, 余高越小, 但是激光的作用面积与激光能量水平成反比, 所以离焦量 $\Delta z = 3 \text{ mm}$, 焊缝表面的铺展性最好。

从图 6d 中可以看出偏离度随离焦量的变化不大, 说明离焦量对 YAG + CMT 复合热源横焊平板堆焊焊缝的偏离度影响可以忽略。

3 结 论

(1) YAG + CMT 复合热源在横焊中, 激光对复合横焊焊缝熔深起主要作用, CMT 对复合横焊焊缝余高和熔宽起主要作用; 焊接速度和电弧功率对复合横焊焊缝的偏离度影响显著, 光丝间距和离焦量对复合横焊焊缝的偏离度影响很小。

(2) YAG + CMT 复合热源与 CMT 相对比, 能够改善成形, 提高焊接速度, 增加熔深, 同时也会增加横焊焊缝的偏离度。

参考文献:

- [1] 杨修荣. 超薄板 MIG—MAG 焊 CMT 冷金属过渡技术[J]. 电焊机, 2006, 36(6): 5-7.
- [2] 杨修荣. 超薄板的 CMT 冷金属过渡技术[J]. 焊接, 2005(12): 52-54.
- [3] 雷 振, 林尚扬, 王旭友. 激光—数字化精确控制短路过渡电弧复合热源焊接技术——一种可取代 TIG 填丝焊的高效焊接新方法[J]. 焊接, 2009(5): 23-26.
- Lei Zheng, Lin Shangyang, Wang Xuyou. A welding technology of laser-digital controlled short circuiting transfer arc hybrid welding: a new high-efficient welding technology replaced TIG welding with filler wire[J]. Welding & Joining, 2009(5): 23-26.

作者简介: 刘西洋, 男, 1980 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为激光 + MIG 电弧复合热源焊接技术。

Email: 2004liuxiyang@163.com