

送丝速度对窄间隙光纤激光填丝焊缝成形的影响

濮继宏¹, 赵勇¹

(1 江苏科技大学材料科学与工程学院先进焊接技术省级重点实验室, 江苏 镇江 212003)

摘要: 本文主要通过试板表面激光填丝堆焊和窄间隙坡口内激光填丝单道焊试验, 观察并分析不同送丝速度条件下对焊缝成形的影响, 总结出送丝速度对焊缝成形的影响规律。试验结果表明: 送丝速度的增加使激光作用在熔化焊丝上的能量增多, 作用在母材上的能量减小, 导致焊缝熔深和熔宽减小。当送丝速度从 3m/min 增大到 4m/min, 焊缝背面完全焊透, 熔深由 6.89mm 减小到了 5.55mm, 减幅为 24.1%; 而熔宽则由原来的 4.90mm 降低到 4.57mm, 降低幅度为 6.7%, 送丝速度对焊缝熔深的影响更显著。而当送丝速度增加到 5m/min, 焊缝背面出现未焊透现象。

关键词: 光纤激光; 窄间隙; 激光填丝焊; 送丝速度; 焊缝成形

0 序言

激光填丝焊是指在激光焊过程中通过填充焊丝的方式实现焊接的方法。该技术是拓展激光在工业领域产业化发展的一种方案, 其效率与普通激光焊差不多, 但填充焊丝的引入可以改善焊接试板间隙敏感性^[1-2], 并且焊接热影响区和焊接变形也较小, 从而大大扩展了激光焊的应用范围, 解决了对工件装夹、拼装精度要求严格的问题, 同时采用多道焊接可以实现厚板高效率焊接。通过使用填充材料, 可以调节焊缝的冶金成分, 提高接头的力学性能^[3-5]。

本文采用窄间隙激光填丝焊接技术对 14mm 厚低合金钢板材进行对接, 采用单因素控制变量的方法, 在控制其它焊接参数不变的情况下, 采用不同的送丝速度, 分别在试板表面及对接窄间隙坡口内进行单道激光焊填丝, 研究了送丝速度对焊缝成形的影响。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

本文选用的材料为 Q345e 低合金钢, 试板尺寸为 300mm×150mm×14mm, 所用焊丝牌号为 ER50-6, 焊丝直径为 1.2mm, 其成分及力学性能分别见表 1 和表 2, 保护气体为纯度 99.99% 的 Ar 气。

表 1 Q345e 及焊丝的化学成分 (质量分数, %)

材料	C	Si	Mn	P	S
Q345e	0.17	0.43	1.43	0.016	0.008
ER50-6	0.073	0.88	1.49	0.01	0.011

1.2 试验方法

本试验中窄间隙激光填丝焊接系统是由 IPG 光纤激光器、ABB 六轴机器人、Fronius 焊机、窄间隙送丝送气系统及焊接工装几部分构成的。光纤激光器是由 IPG Photonics 公司生产的, 型号为 YLS-6000-S2-TR。焊接过程中所用的 ABB 机器人手臂主要执行运动功能, 它有 6 个自由度兼具轴联动功能, 所以可以进行各种位置的焊接。焊机用的是奥地利 Fronius 公司生产的 MIG 焊机, 主要用于执行送丝功能。

试验主要分为试板表面激光填丝堆焊和窄间隙坡口内激光填丝焊两部分, 激光填丝焊原理图如图 1 所示, 试验过程中所用窄间隙坡口形式如图 2 所示。

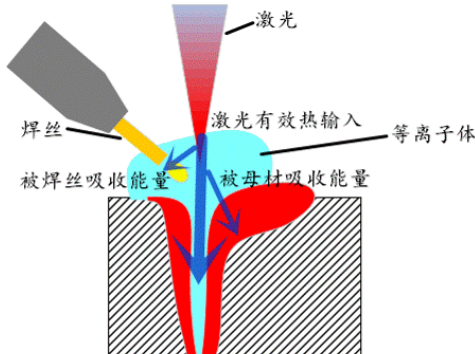


图 1 窄间隙激光填丝焊接原理图

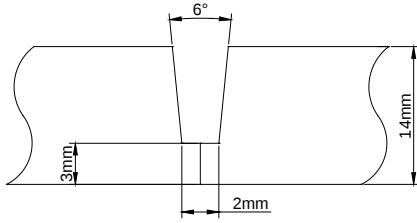


图2 窄间隙坡口形式示意图

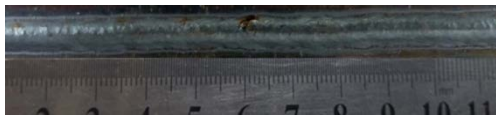
2 试验结果

2.1 送丝速度对试板表面激光填丝堆焊缝形成的影响

相比于激光自熔焊,激光填丝焊的最大区别就是增加了焊丝,通过加入焊丝可以改善焊接试板间隙敏感性,可以添加合金元素改善焊缝质量等^[6]。激光的能量分配机制也由母材吸收变为焊丝吸收和母材吸收两部分,因此,送丝速度的变化会改变焊丝和母材对激光能量吸收的比例,从而影响焊缝的成形,包括焊缝的熔深、熔宽和余高,送丝速度越快,会使焊缝堆高增加,对焊接效率的影响很大。为了研究送丝速度对焊缝形成的影响规律,控制其它焊接参数不变,只改变送丝速度,焊接参数如表3所示。不同送丝速度下试板表面堆焊焊缝成形宏观形貌如图3所示。

表3 不同送丝速度下焊接参数

试样 编号	送丝速度 (m/min)	激光功率 (kW)	离焦量 (mm)	焊接速度 (m/min)
V _{f1}	3.0	5.0	+20	0.6
V _{f2}	3.5			
V _{f3}	4.0			
V _{f4}	5.0			



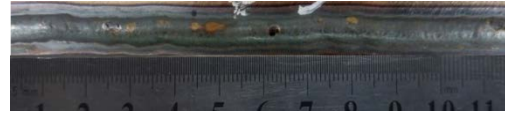
$V_f=3.0\text{m/min}$



$V_f=3.5\text{m/min}$



$V_f=4.0\text{m/min}$



$V_f=5.0\text{m/min}$

图3 不同送丝速度下试板表面堆焊焊缝成形

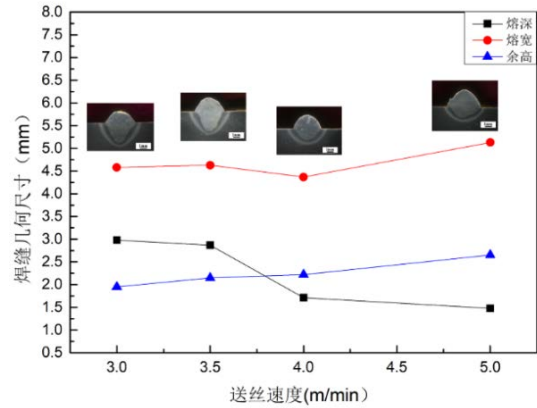


图4 不同送丝速度下焊缝几何尺寸关系图

观察图4能发现随着送丝速度的增加,熔深与熔宽都呈现减小趋势,余高则呈现增大趋势。造成这个现象的原因主要是送丝速度的增大使得同样条件下熔化焊丝所需要的激光能量增加,而母材所吸收的激光能量则变少,从而导致了母材的熔深和熔宽都变小,而由于送丝量的增大使得余高增加。

2.2 送丝速度对窄间隙坡口内激光填丝单道焊缝形成的影响

在研究过程中,单道焊缝直接采用激光填丝焊的方法,因为直接填丝可以降低激光对焊缝间隙的敏感性。对于单道焊缝既要保证背面成形良好,同时也要兼顾焊缝与坡口侧壁和钝边的熔合情况。

表4是不同送丝速度下对单道焊缝成形的试验数据,图6是不同送丝速度下焊缝熔深与熔宽变化曲线,从图5可以看出焊缝熔宽均大于试板钝边的宽度2mm,所以送丝速度在3m/min-5m/min之间,焊缝侧壁熔合良好。图5是不同送丝速度下焊缝的背面成形形貌,当送丝速度为3m/min时,焊缝背面虽然熔合了,但是大面积向内凹陷,这是由

于送丝速度慢,激光能量大部分作用于试板钝边,使钝边熔化处于液态,然后由于液态金属表面张力及侧壁的毛细作用使焊缝背面凹陷。当送丝速度为 4m/min 时,这种情况有所改善。但当送丝速度为 5m/min 时,焊缝背面出现未焊透现象,这是因为送丝速度过快,激光能量大多用来熔化焊丝,母材部分熔化较少,所以出现未焊透现象。

表 4 不同送丝速度下单道焊缝焊接参数

试样 编号	送丝速度 (m/min)	激光功率 (kW)	离焦量 (mm)	焊接速度 (m/min)
V _f 1	3	5	+20	0.36
V _f 2	4			
V _f 3	5			

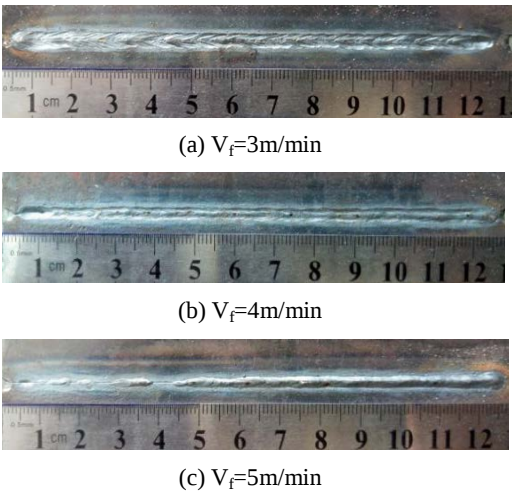


图 5 不同送丝速度下单道焊缝背面成形

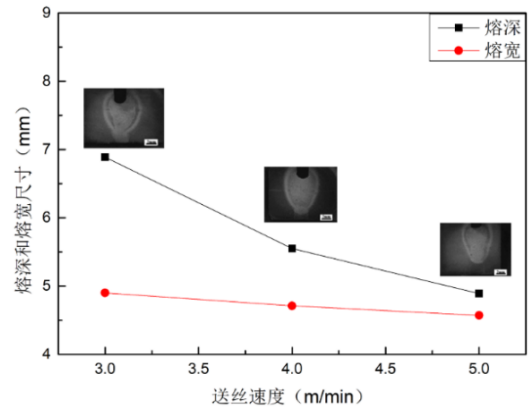


图 6 不同送丝速度下单道焊缝尺寸变化曲线

送丝速度提高,即单位时间内坡口内的填丝量增大,激光能量分配机制重新调整,

激光作用于焊丝部分的能量变多,相应的作用于母材金属的能量减少。由图 6 可知,当 $V_f=5\text{m/min}$ 时,焊缝的填充量与 $V_f=3\text{m/min}$ 相比并没有成比例上升,这是由于整个过程中激光功率保持不变,送丝速度持续增大,所以单位长度焊丝上接收到的激光能量降低,当 $V_f=5\text{m/min}$ 时,出现了熔丝不畅现象。焊接过程中由 Fronius 焊机进行调节和控制送丝速度。观察图 6 可以发现,在送丝速度增加的同时,熔深和熔宽都呈减小的趋势。产生这一现象的根本原因是由于送丝速度的增加,导致单位时间内可熔化的焊丝量也随之增加,但在焊丝量增加的时候,熔化焊丝也会需要更多的激光能量,因此母材所吸收的激光能量降低,从而致使焊缝熔深和熔宽减小。

结合表 4 和图 6 综合分析,在焊丝顺利熔化的情况下,随着送丝速度从 3m/min 增大到 4m/min,熔深由 6.89mm 减小到了 5.55mm,减幅为 24.1%;而熔宽则由原来的 4.90mm 降低到 4.57mm,降低幅度为 6.7%。熔深的减幅远大于熔宽的降低幅度,这是由于在保证离焦量不变的情况下,激光光斑大小也保持不变,然而熔宽主要受离焦量的影响。所以熔宽受送丝速度的影响没有熔深受其影响来的显著。

3 结论

(1) 采用激光填丝焊的方法在试板表面堆焊,送丝速度的增加使激光作用在熔化焊丝上的能量增多,作用在母材上的能量减小,导致焊缝熔深和熔宽减小,余高增大。

(2) 随着送丝速度从 3m/min 增大到 4m/min,熔深由 6.89mm 减小到了 5.55mm,减幅为 24.1%;而熔宽则由原来的 4.90mm 降低到 4.57mm,降低幅度为 6.7%,熔深的减幅远大于熔宽的降低幅度。

参考文献:

[1] Jokinen T, Teppo Vihervä, Riikonen H, et al. Welding of ship structural steel A36 using a Nd:YAG laser and gas-metal arc welding[J]. Journal of Laser Applications, 2000, 12(5):185-188.
 [2] 李例群,陶汪,朱先亮.厚板高强度钢激光填丝多层焊工艺[J].中国激光,2009,36(05):1251-1255.

[3]雷正龙,李颖,陈彦宾,孙忠绍,张益坤.双光束激光填丝焊工艺对铝合金焊接气孔率的影响[J].焊接学报,2013,34(02):40-44+115.

[4] Zhao Y , Ma S , Huang J , et al. Narrow-gap laser welding using filler wire of thick steel plates[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 93(5-8):2955-2962.

[5]赵勇,王清墨,黄坚,吴毅雄.50 mm 转子钢超窄间隙激光填丝焊接头组织与性能[J].中国激光,2015,42(2).

[6]许飞,陈俐,何恩光,郭路云.2024-T4 铝合金光纤激光填丝焊缝成形与组织性能的相关性[J].材料工程,2017,45(11):90-95.

作者简介: 濮维宏,男,1994年出生,硕士研究生;主要从事激光焊接方面的研究, Email: jihong_pu@163.com.

通讯作者: 赵勇,男,1978年出生,副教授;主要从事激光焊接;主要从事激光焊、搅拌摩擦焊等方面的研究, E-mail: yongzhao418@gmail.com.

仅供交流



江苏船舶微信公众号



江苏船舶网上投稿系统