

长输管道全位置激光-电弧复合焊接技术

曾惠林¹, 皮亚东¹, 王新升¹, 王世新², 张杰³

(1. 中国石油天然气管道科学研究院, 廊坊 065000; 2. 中国石油管道学院, 廊坊 065000;

3. 中国石油天然气管道通信电力工程总公司, 廊坊 065000)

摘要: 采用激光-电弧复合焊接技术开展管道的全位置激光-电弧复合焊接可行性研究. 结果表明, 激光-电弧复合焊接工艺能够适应管道环焊缝焊接的要求. 在从 0° ~ 180° 的焊接过程中, 通过调整焊接参数, 均能够获得成形良好的焊缝. 金相观察表明, 母材和焊材熔合良好; 焊接接头中心区狭长, 具有激光焊的特点; 热影响区具有电弧焊的特点; 金相组织不受位置影响. 焊接接头的硬度接近母材, 抗拉强度接近或超过母材; 在无内部缺陷的情况下, 弯曲试验和冲击试验结果满足现行标准要求.

关键词: 管道; 全位置焊接; 激光-电弧复合焊; 激光焊

中图分类号: TG456.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2012)11-0110-03



曾惠林

0 序 言

随着国内能源需求的增长和能源工业的发展, 石油天然气的需求量大大增加. 管道运输作为最经济的油气输送方式, 受到更大重视. 为了提高输送效率, 油气管道正朝着大口径、高钢级、厚壁的方向发展. 传统的电弧焊技术受单层焊接厚度的限制, 很难进一步提高焊接效率. 激光-电弧复合焊技术焊接速度快、熔深大, 应用于管道焊接, 将大大提高焊接效率, 并降低耗材^[1].

油气管道的野外现场焊接方法是管道相对固定, 焊接小车沿轨道行走, 带动焊炬围绕管壁运动, 从而实现管道全位置焊接. 在焊接过程中, 焊炬的角度不断变化, 因此全位置焊接工艺有平焊、立焊和仰焊的特点. 随着焊炬位置的不断变化, 焊缝成形受到影响^[2]. 文中通过试验分析了全位置激光-电弧复合焊的焊接参数及焊缝的性能.

1 试验方法

图1为复合焊炬, 用于夹持激光聚焦头和电弧焊炬. 激光与电弧采用旁轴复合方式, 激光聚焦头和电弧焊枪前后排列, 激光聚焦头在前, 电弧焊枪在后. 激光束与电弧呈 30° 夹角^[3]. 激光束与焊丝距离3 mm. 复合焊炬安装于一台自行设计的轨道牵

引小车上, 在轨道小车的牵引下沿环形轨道行走. 激光器选用 YLS-6000 光纤激光器, 最大输出功率 6 kW. 激光由光纤传输, 波长 1 070 nm, 焦点直径 0.4 mm. 电弧焊机型号为 TransPuls Synergic 4000, 最大焊接电流 400 A. 保护气体为 80% Ar + 20% CO₂. 试件采用 X65 管线钢制作, 管道直径 813 mm, 壁厚 12.5 mm, 管道端面坡口夹角 20° , 坡口钝边厚度 6 mm.

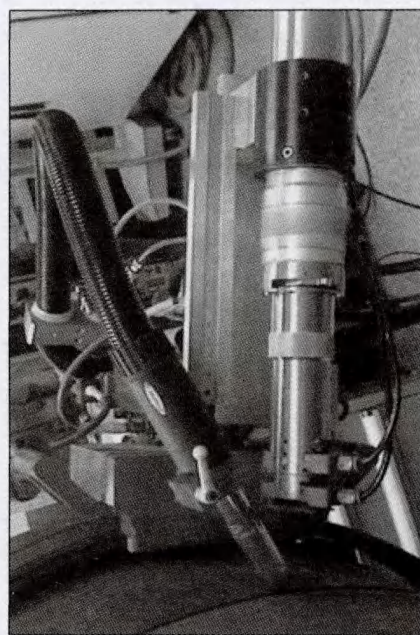


图1 复合焊夹具

Fig. 1 Hybrid welding fixture

采用下向焊工艺,从 0 点到 6 点(0°~180°)一次完成(图 2). 激光光斑与焊丝的距离为 3 mm,以使激光和电弧形成单一熔池. 试件在 0°~180°之间分作 6 段,按照位置采用不同试验参数. 试验参数如表 1 所示. 焊接完成后分别在距焊接起点 0°,45°,90°,135°,180°等 5 个位置截取一段焊缝制作成标准试件,测试焊缝力学性能.

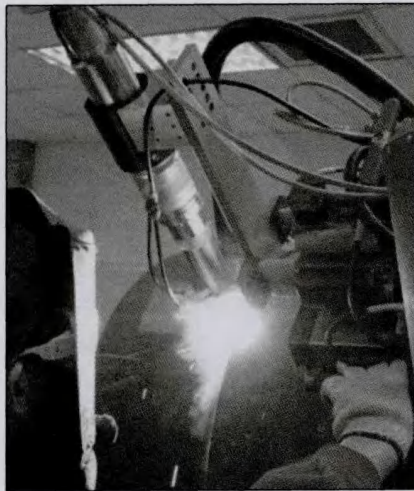


图 2 管道激光-电弧复合焊
Fig. 2 Pipeline laser-arc hybrid welding

表 1 管道激光-电弧复合焊工艺参数

Table 1 Processing parameters for pipeline laser-arc hybrid welding

位置 $\theta/(\circ)$	激光功率 P/kW	焊接速度 $v_w/(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$	电弧电压 U/V	送丝速度 $v_f/(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$
0~30	5.2	1.2	24.5	10
30~60	5.2	1.2	24.5	10
60~90	5.3	1.1	25	9
90~120	5.3	1.1	25	9
120~150	5.4	1.0	25.5	8
150~180	5.4	1.0	25.5	8

2 试验结果与分析

激光与电弧的功率匹配对试件上段焊缝成形影响较大. 电弧电流较大时,在 0°~60°之间,焊缝背面常形成焊瘤. 在仰焊位置,焊缝背面常形成凹陷^[4]. 因此在仰焊位置降低焊接速度,给予焊丝熔液充分的凝固时间,以避免焊缝凹陷.

工件装卡精度是影响焊缝质量的重要因素. 若对口间隙和错边量控制在一定范围内,则焊缝成形较好. 当对口间隙大于 0.8 mm 或错边量大于 1 mm

时,焊口常出现未熔透、咬边、焊缝内凹等缺陷. 焊缝的宏观金相表明,不同位置的焊缝形状变化趋势基本一致,与所处位置关系不大.

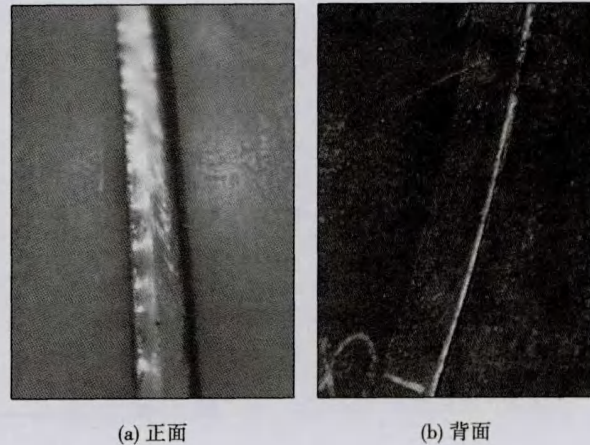


图 3 部分焊缝的正面和背面

Fig. 3 Front surface and back surface of welding seam

2.1 焊缝力学性能测试

在焊接接头的不同位置测量硬度. 测量位置及结果如图 4 和表 2 所示. 结果显示,焊接接头区硬度略高于母材,热影响区硬度有所波动.

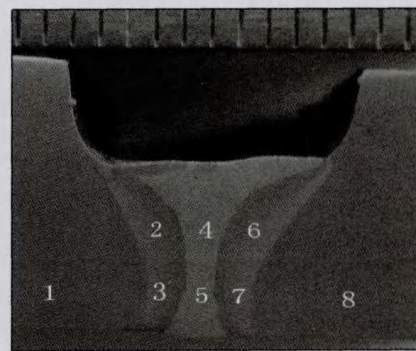


图 4 硬度测试位置

Fig. 4 Hardness testing positions

表 2 焊接接头不同位置硬度值(HV)

Table 2 Hardness test result

	位置	硬度
母材	1	227
	8	232
热影响区	2	238
	3	237
	6	225
	7	227
焊缝	4	235
	5	238

拉伸试验结果如表3所示。试件的断裂大多发生在母材上,且断裂位置距离焊缝和热影响区较远。发生断裂的位置通常伴随着内部气孔、未熔透等缺陷。熔合线附近较易发生断裂,断裂处通常伴随熔合不良缺陷。这些试验结果说明,内部缺陷是降低焊缝抗拉强度的主要因素。在无内部缺陷的情况下,焊缝的抗拉性能强于母材。

表3 不同位置焊接接头抗拉强度
Table 3 Tensile test result

试样编号	尺寸 L/mm	拉伸载荷 F/kN	抗拉强度 R_m/MPa	断裂位置	取样位置 $\theta/(\circ)$
T1	6.22×25.10	110.05	705	母材	45
T2	6.40×24.72	108.75	685	母材	90
T3	6.38×24.70	109.45	690	母材	135

在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温条件下测试低温冲击韧性。测试数据如表4所示,熔合区的冲击性能强于焊缝区。分别对焊接接头进行刻槽锤断试验和弯曲试验,试件未出现明显缺陷。

表4 焊缝不同区域冲击吸收功
Table 4 Impact test result

缺口位置	试件尺寸 $(a \times b \times c)/mm$	编号	冲击吸收功	
			单值 $A_{KV,-10\text{ }^{\circ}\text{C}}/J$	平均值 $\bar{A}_{KV,-10\text{ }^{\circ}\text{C}}/J$
焊缝	$3.5 \times 10 \times 55$	1	58	51
		2	45	
		3	50	
熔合区	$3.5 \times 10 \times 55$	1	61	56
		2	53	
		3	53	

2.2 试验结果分析

激光焊的一个比较突出的问题是焊接接头冲击韧度较差。在激光-电弧复合焊中,电弧对母材具有预热作用,同时由于电弧的热影响区较大,使复合焊熔合区的降温速度低于纯激光焊熔合区的降温速度,从而降低了接头硬度,增加了韧性。

空间位置对焊接接头成形有一定的影响,在 $130^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 区段,焊缝的背面余高低于其它区段的余高。这是因为受重力影响,熔滴未能到达接头顶部。焊接接头的不同位置的金相组织差别不大,剖面形状变化趋势基本一致。

在平焊到立焊的变化过程中,焊缝成形对激光与电弧的能量匹配比较敏感,电弧功率过大时焊缝背面易出现焊瘤。在立焊到仰焊的变化过程中,焊缝成形对焊接速度比较敏感,速度过快时,深层的熔

液来不及凝固,常导致焊缝背面下陷。

工件装夹精度是影响接头质量的重要因素。在对口间隙或错边量过大的地方,接头背面常出现内凹、未熔等缺陷。这是因为根部间隙过大时,焊丝的熔化金属不能流到根部填充间隙,而只能通过熔化的母材金属来填充,使得根部金属量不足而出现内凹^[5];错边量过大时,熔化金属漫向母材较低一侧,导致母材较高一侧未能接触熔液导致熔合不良。试验发现,间隙在 0.8 mm ,错边量在 1 mm 之内能获得成形良好的焊接接头。

3 结 论

(1) 激光-电弧复合焊接技术对工位具有较强的适应能力,可以满足全位置焊接的要求。

(2) 接头内部缺陷是影响焊缝性能的主要原因。降低内部缺陷将是实现全位置激光-电弧复合焊技术工业化应用的一项主要研究工作。在未来的工作中,需要更深入地研究壁厚、坡口型式、激光与电弧的能量配比等因素对接头性能的影响。

参考文献:

- [1] Cho M H, Farson D, Lim Y C. Hybrid laser/arc welding process for controlling bead profile[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2007, 12(8): 677-688.
- [2] 曾惠林, 杜则裕, 黄福祥, 等. 管道环焊缝多焊炬自动内焊机关键技术分析[J]. 焊接学报, 2009, 30(7): 77-80. Zeng Huilin, Du Zeyu, Huang Fuxiang, et al. Analysis on key technologies for pipeline internal circumferential automatic welding machine with multi-torch[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2009, 30(7): 77-80.
- [3] 韦辉亮, 李 桓, 王旭友, 等. 激光-MIG电弧的复合作用及对熔滴过渡的影响[J]. 焊接学报, 2011, 11(32): 41-44. Wei Huiliang, Li Heng, Wang Xuyou, et al. Hybrid interaction of laser and pulsed MIG arc and its influence on metal transfer[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2011, 11(32): 41-44.
- [4] 胡连海, 黄 坚, 庄 凯, 等. 激光与电弧间距对激光复合焊熔滴过渡的影响[J]. 焊接学报, 2010, 2(31): 49-52. Hu Lianhai, Huang Jian, Zhuang Kai, et al. Influence of distance between laser and MIG arc on drop transfer process of CO₂ laser-MIG hybrid welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2010, 2(31): 49-52.
- [5] 高 明, 曾晓雁, 胡乾午, 等. 激光-电弧复合焊接咬边缺陷分析及抑制方法[J]. 焊接学报, 2008, 6: 85-88. Gao Ming, Zeng Xiaoyan, Hu Qianwu, et al. Mechanism and remedy of undercut formation during laser-arc hybrid welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2008, 6: 85-88.

作者简介: 曾惠林,男,1965年出生,博士,高级工程师。主要从事石油天然气长输管道和储罐施工技术及装备研究。发表论文10余篇。Email: pipezhl@sina.com