

外加横向磁场对高速 TIG 焊缝成形的影响

常云龙¹, 杨殿臣¹, 魏 来¹, 路 林²

(1. 沈阳工业大学 材料学院, 沈阳 110870, 2. 沈阳工业大学 化工装备学院, 辽宁 辽阳 111003)

摘 要: 增加 TIG 焊接速度可以提高生产率, 但由此产生的电弧后拖和阳极斑点滞后使得焊缝产生咬边、驼峰等缺陷。以往常采用加大保护气体流量或增加焊接电流的办法, 但焊接速度提高有限。通过加入横向磁场, 研究了磁场对高速 TIG 奥氏体不锈钢管焊接速度、焊接电流、氩气流量的影响规律, 对焊缝进行了金相组织观察和扩口试验。结果表明, 外加横向磁场能够使 TIG 焊接速度从目前的 3.5 m/min 提高到 5.5 m/min, 同时使焊接电流由 95 A 降低到 75 A, 气体流量由 0.7 m³/h 降低到 0.5 m³/h。解决了因高速焊引起的咬边、驼峰等缺陷。

关键词: 高速焊; 磁场; 咬边; 扩口试验

中图分类号: TG115.28 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2011)03-0049-04



常云龙

0 序 言

随着奥氏体不锈钢管的市场需求量不断增加, 提高焊接生产率势在必行。因此, 高速焊接技术应运而生, 高速焊接(焊接速度一般在 1 m/min 以上^[1])是在提高焊接速度的同时提高焊接电流, 以维持焊接热输入大体上保持不变。但是, 焊接速度的提高会带来一些与常规焊接速度不同的问题。其中最主要的是焊缝成形差, 出现焊道咬边现象, 速度进一步提高时出现所谓“驼峰”焊道, 甚至造成焊缝不连续^[2]。其主要原因是高速焊时, 引起电弧后拖造成的。利用磁场可以改善 TIG 高速焊的焊缝成形^[3]。采用外加横向磁场对 0.5 mm 厚不锈钢薄板的不填丝高速自动 TIG 焊工艺进行了金相和扩口对比试验, 此项研究将会推动磁场在高速 TIG 焊中的应用。

1 试验方法

试验材料为 0.5 mm 厚的奥氏体不锈钢带, 牌号 316L。将其在生产线上卷成管子形状, 其焊接工艺参数见表 1。外加磁场磁头结构如图 1 所示。通过特斯拉计测得横向磁场强度的实测值及与激磁电流的对应数据关系如图 2 所示。

表 1 焊接工艺参数

Table 1 Processing parameter

焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 $v/(m \cdot min^{-1})$	氩气流量 $q/(m^3 \cdot h^{-1})$
95, 85, 75	10	3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.4, 5.5	0.7, 0.6, 0.5

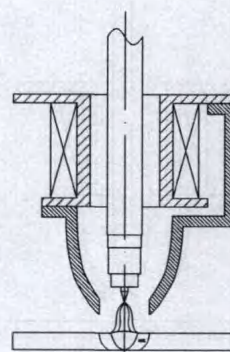


图 1 磁头结构

Fig. 1 Construction of magnetic head

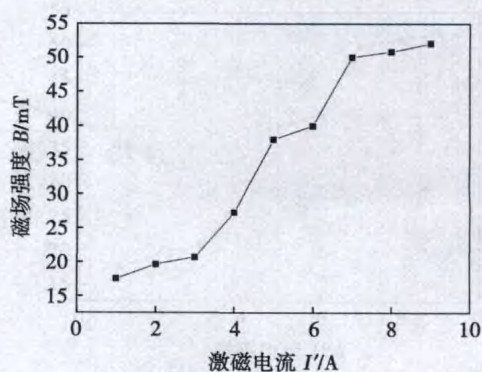


图 2 横向磁场强度的实测值及与激磁电流的关系

Fig. 2 Relation of magnetic field strength and field current

外加直流横向磁场, 激磁电流可以在 $0 \sim 10 \text{ A}$ 连续可调, 焊接时预先使得焊接电弧产生磁偏吹, 当焊接速度提高时, 根据相对运动原理焊接电弧是拉直的, 用高速摄像拍下电弧形态 (图 3)。

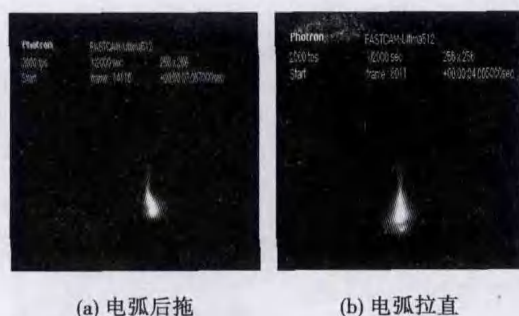


图 3 磁场对电弧形态的影响

Fig. 3 Influence of magnetic field on electric arc shape

焊后采用精细切割机沿着管子轴线的垂直方向切下大约 50 mm 长的管子, 制成金相试样, 再抛光和腐蚀, 腐蚀液采用的 10% 草酸溶液。用光学显微镜观察焊缝形貌; 扩口试验同样取 50 mm 长的管子, 采用 45° 或 60° 锥体, 其工作表面要有足够硬度, 且要求磨光, 涂以润滑油。

2 试验结果及分析

2.1 外加磁场对氩气流量的影响

经反复试验, 当焊接电流、电弧电压、焊接速度一定时, 激磁电流与氩气流量的匹配关系及焊缝外观如表 2 所示。在高速焊接时, 氩气对电弧有一定拘束度, 氩气流量越大拘束度越大, 电弧后拖倾向越小; 反之, 后拖倾向越大。因此, 减小氩气流量时, 电弧偏离电极轴线角度增大, 导致焊缝成形差。当加上横向磁场时, 电弧被拉直, 改善焊缝表面形貌。当氩气流量为 $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 有无磁场的焊缝形貌如图 4 所示。由图 4 可知, 相同条件下, 无磁场的焊缝产生咬边, 而在激磁电流为 3 A 时咬边消失。可见,

表 2 激磁电流与氩气流量关系及焊缝外观

Table 2 Relation between field current and argon flow and weld appearance

气体流量 $q/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	激磁电流 I'/A	焊缝外观
0.7	2	无咬边
0.7	0	未焊透
0.6	3	无咬边
0.6	0	咬边
0.5	4	无咬边
0.5	0	开裂

磁场可以改善因氩气流量降低而产生的咬边。

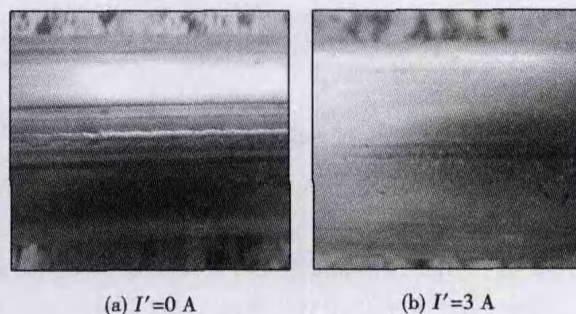


图 4 气体流量为 $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ 时焊缝形貌

Fig. 4 Weld appearance with argon flow $q = 0.6 \text{ m}^3/\text{h}$

2.2 外加磁场对焊接电流的影响

经反复试验, 当焊接电压、焊接速度、氩气流量一定时, 激磁电流与焊接电流的匹配关系及焊缝外观如表 3。高速焊接时, 焊接电流的大小决定热输入大小, 热输入大熔敷金属多, 焊缝不易产生咬边等缺陷。反之, 如果热输入小, 熔敷金属少, 焊缝就产生咬边等缺陷。

表 3 激磁电流与焊接电流关系及焊缝外观

Table 3 Relation between field current and weld current and weld appearance

焊接电流 I/A	激磁电流 I'/A	焊缝外观
95	2	无咬边
95	0	咬边
85	4	无咬边
85	0	咬边, 开裂
75	6	无咬边
75	0	开裂

当焊接电流为 85 A 时, 有无磁场的金相形貌对比如图 5 所示。从金相图上分析, 在相同条件下, 无磁场的管子焊缝产生未焊透和咬边, 在激磁电流为 4 A 时该现象消失。其原因为磁场作用下的电弧被

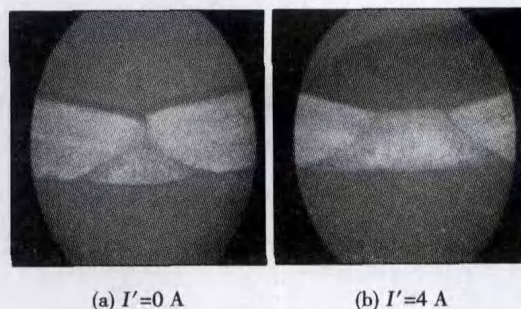


图 5 焊接电流为 85 A 焊缝形貌

Fig. 5 Weld seam appearance of magnetic field on $I = 85 \text{ A}$

拉直,热输入提高,弥补因电流降低而减少的热量。可见,外加磁场可以降低焊接电流,同样可获得理想的焊缝组织。

2.3 外加磁场对焊接速度的影响

经反复试验,当焊接电流、电弧电压、氩气流量一定时,激磁电流与焊接速度的关系及焊缝外观如表4所示。高速焊时,速度越快电弧偏离钨极轴线的角度越大,即后倾程度越大,焊缝的咬边倾向越大,甚至出现未熔合。当焊接速度为4.5 m/min时,有无磁场的焊缝金相形貌如图6所示,无磁场时,焊缝既有咬边又出现未焊透现象,当在2 A激磁电流的磁场作用下,缺陷消失。其原因为焊接速度达到4.5 m/min时,电弧严重偏离电极轴线,热输入少,熔深浅,导致未焊透。加上磁场后,电弧形态拉直,因此缺陷消失。并且,无磁场的焊缝接头强度不够,同样条件下进行扩口试验,无磁场的管子出现开裂,而有磁场的管子强度高、无开口。有无磁场的扩口试验对比如图7所示。当焊接速度达到5.4 m/min时,焊缝出现驼峰现象,当加上激磁电流为4 A的磁场时,驼峰现象消失(图8)。

表4 激磁电流与焊接速度关系及焊缝外观
Table 4 Relation between field current and welding speed and weld appearance

焊接速度 $v/(m \cdot min^{-1})$	激磁电流 I'/A	焊缝外观
4.0	1	无咬边
4.0	0	咬边
4.5	2	焊透
4.5	0	未焊透
5.0	3	无咬边
5.0	0	咬边
5.4	4	无驼峰
5.4	0	驼峰
5.5	6	未开裂
5.5	0	开裂

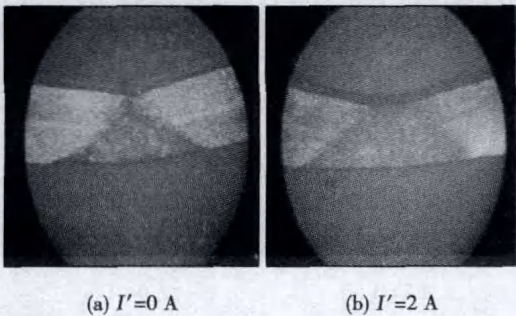


图6 焊接速度为4.5 m/min焊缝形貌
Fig. 6 Weld seam appearance of magnetic field on $v = 4.5$ m/min

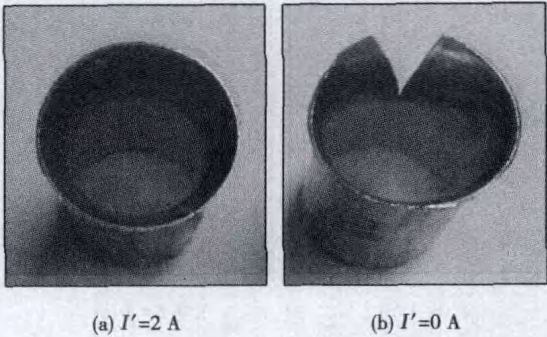


图7 扩口试验
Fig. 7 Flaring experiment

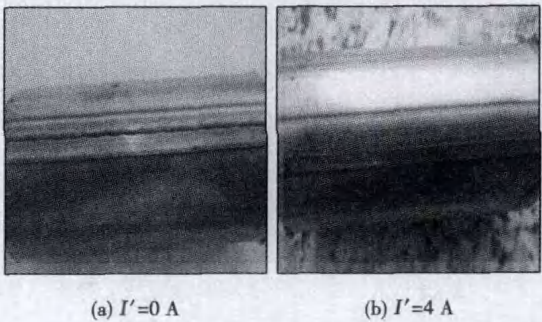


图8 焊接速度为5.4 m/min时焊缝形貌
Fig. 8 Weld seam appearance of magnetic field on $v = 5.4$ m/min

当焊接速度达到5.5 m/min时,无磁场的焊缝直接开裂,而加上激磁电流为6 A的磁场时,管子焊合,且无咬边、驼峰现象,有无磁场对比如图9所示。因此,外加磁场可以提高焊接速度,外加磁场激磁电流的大小可以根据不同焊接速度时的焊缝形貌来确定,如果咬边缺陷严重,则选择激磁电流较大的磁场;反之,选择较小的磁场。

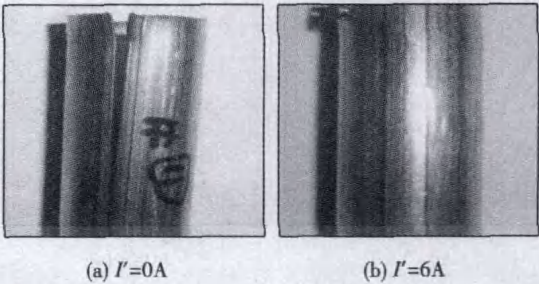


图9 焊接速度为5.5 m/min时焊缝形貌
Fig. 9 Weld seam appearance of magnetic field on $v = 5.5$ m/min

2.4 外加磁场改善高速焊焊缝咬边和驼峰的作用机理

外加磁场对焊接氩气流量、焊接电流、焊接速度

的作用机理,实质上是对焊接电弧的作用. 高速焊时焊接电弧后倾和阳极斑点滞后,采用外加磁场对焊接电弧进行约束,减少氩气流量和焊接电流,从而可以降低成本. 磁场作用下的高速 TIG 焊电弧是挺直的,可以增加熔深,减少甚至完全消除因高速焊引起的咬边、驼峰等缺陷. 从电弧角度分析咬边、驼峰产生的机理:高速焊时,由于阳极斑点滞后造成的电弧后拖如图 10 所示. 焊接速度越高,电弧后拖越严重,出现咬边. 这是因为作用在焊接熔池上的电弧力 F 可以分解为水平方向上的分力 F_x 和垂直方向上的分力 F_y . 在 TIG 高速焊时,由于电弧的后拖,电弧力的水平分力 F_x 变大,对熔池金属的后排作用变强,且焊接速度快,液态金属存在时间变短,焊缝两侧缺少足够的液态金属填充而形成咬边,甚至把熔化金属吹到已熔敷焊缝的固态区,形成焊缝的不连续. 由此得出高速 TIG 焊电弧的过度后拖是产生严重咬边和焊缝不连续的主要原因. 因此,产生一个与 F_x 反方向的力就可以解决咬边、驼峰等缺陷,这个力由外加横向磁场提供,根据相对运动原理,即预先使电弧产生磁偏吹,偏向管子前进的方向,这样就产生一个与 F_x 反方向的力,当二力平衡时,焊缝咬边、驼峰缺陷就完全消失.

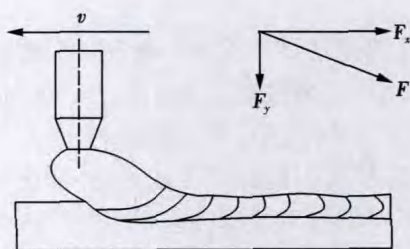


图 10 高速 TIG 焊电弧的后拖
Fig. 10 Drag back of high-speed TIG welding

从熔池角度分析产生咬边、驼峰的机理:根据 Mill 和 Keene^[4] 结论,认为咬边和驼峰焊道可归因于表面张力梯度的影响. 因为金属熔池中的表面张力是随着温度而变化的,温度高的部位表面张力高. 当熔池表面温度分布不均,即存在温度梯度时,熔池表面也会产生一个表面张力梯度,使熔池金属向温度低区域流动,即 Marangoni 流,如图 11 所示. 不同的焊接脉冲参数决定了对流方向,向内或向外的表面张力梯度会直接影响焊缝熔深. 如图 11a 所示,向内的对流会增大熔深并容易在熔池边缘造成咬

边,升高的自由表面能就可能形成驼峰焊道,而适当的磁场参数就会形成如图 11b 的作用机理,焊缝表面完整无缺陷. 适当的激磁电流将高速焊的焊接电弧拉直,可以使熔池按照图 11b 的方式作用,所以可以解决焊缝的咬边、驼峰等缺陷.



图 11 熔池流动对焊缝形貌的影响

Fig. 11 Effect of weld pool flow on weld bead appearance

3 结 论

采用外加磁场对高速 TIG 焊接不锈钢管是可行的. 在其它条件不变时,加入横向磁场后可以将氩气流量从 $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$ 降低到 $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 、焊接电流从 95 A 降低到 75 A 、焊接速度从 3.5 m/min 提高到 5.5 m/min ,并且改善焊缝咬边、驼峰等缺陷.

参考文献:

- [1] Sukita, Kkokubo. High-speed DCEN TIG welding of very thin aluminium sheets with magnetic arc control[J]. Welding Journal, 2003, 17(7): 541-549.
- [2] 冯 雷, 陈树君. 高速焊接时焊缝咬边的形成机理[J]. 焊接学报, 1999, 20(1): 16-21.
Feng Lei, Chen Shujun. Mechanism of undercut phenomenon in high speed welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 1999, 20(1): 16-21.
- [3] 刘海侠. 利用磁场改善 TIG 高速焊的焊缝成形[J]. 河北工程技术职业学院学报, 2002, 4(1): 37-39.
Liu Haixia. Use magnetic-field to improve the appearance of weld of TIG welding at a high speed[J]. Journal of Hebei Engineering & Technology Vocational College, 2002, 4(1): 37-39.
- [4] Seigo Nishikawa. High speed arc welding[J]. Industrial Robot, 1999, 26(5): 371-376.

作者简介: 常云龙,男,1963 年出生,博士,教授. 主要从事焊接工艺以及焊接过程自动化等方面的教学和科研工作. 发表论文 50 篇. Email: sychyl@126.com

通讯作者: 路 林,男,讲师. Email: yongganll@163.com