

低碳钢 A-TIG 焊活性剂的焊接性

张瑞华, 樊 丁

(甘肃工业大学 材料科学与工程学院, 兰州 730050)

摘 要: 利用自行研制的低碳钢 A-TIG 焊活性剂进行了各种焊接工艺试验。内容包括焊缝外观形貌、熔深效果、接头微观组织、化学成分及接头力学性能分析。结果表明, 使用本活性剂可以使焊缝熔深比常规的 TIG 焊增加 3 倍, 对 12 mm 以下的低碳钢板对接无需开坡口可一次焊接完成, 且单面焊双面成形, 焊缝表面成形良好, 接头微观组织、焊缝的化学成分、接头力学性能均不受影响。焊接电流、弧长、焊接速度、涂层厚度和保护气体种类等, 对焊接熔深的增加产生影响。

关键词: A-TIG 焊; 活性剂; 低碳钢; 焊接性

中图分类号: TG444 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2003)01-85-04



张瑞华

0 序 言

A-TIG 焊接法近年来引起了世界范围内人们的高度重视^[1,2]。A-TIG 焊研究的关键因素在于活性剂成分的选配、活性剂的焊接性以及活性剂增加焊接熔深的机理研究。目前, 国际市场上已有针对不同材料的活性剂出售^[3]。国内也已经开始对其进行研究^[4,5]。作者利用自行研制的低碳钢活性剂进行了焊接性试验并对熔深增加的影响因素进行了探讨, 为活性剂在生产中推广应用奠定了基础。

1 活性剂的制备

A-TIG 焊的活性剂组成成分范围广泛, 文中低碳钢活性剂主要由 SiO_2 、 TiO_2 、 Cr_2O_3 、卤化物等组成。活性剂的成分范围(质量分数, %)为: $\text{SiO}_2 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{MnO} > 70\%$, $\text{NaF} + \text{TiO}_2 < 30\%$ 。

用电子天平按质量百分比称取各组元, 将称得

的各组元置于研钵中经充分研磨均匀后, 放在容器中, 与适量的丙酮混合成糊状物备用。

2 焊接性试验及结果

试验采用自动氩弧焊装置, 将氩弧焊焊枪固定, 工件置于可水平移动的工作平台上, 这样可以保证在焊接过程中弧长不发生变化, 从而保证了焊接工艺过程的稳定性。

试板尺寸为 $200 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$, 采用直边坡口, 将两块试板不留间隙对接, 在两端将其点固。焊前将对接面及焊道两侧用砂纸仔细清理后, 用扁平毛刷将糊状活性剂刷涂于待焊焊道表面。为了便于和无活性剂时做比较, 焊道只刷涂一半。涂层宽度约为 20 mm, 刷涂的厚度以能遮盖待焊工件表面金属光泽为宜, 活性剂用量为 0.5 g/m 左右。待丙酮挥发后, 将涂层区和无涂层区一次焊接完成。所用焊接规范见表 1。

表 1 焊接规范
Table 1 Welding specifications

Current I/A	Welding speed $v_w / (\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	Arc length L/mm	Electrode diameter D/mm	Electrode tip angle $\theta / (^\circ)$	Flow rate of argon $q_v / (\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$
200	66	4	3.2	60	20

2.1 外观形貌

图 1a 所示为焊缝正面的宏观形貌, 由图可见, 焊道在涂层区明显变窄, 表面成形良好, 有少量黑色的点状熔渣, 焊道略有凹陷。图 1b 为焊缝背面的宏观形貌, 在涂层区试板被焊透, 背面焊道成形良好。

收稿日期: 2002-06-19

基金项目: 现代焊接生产技术国家重点实验室开放课题

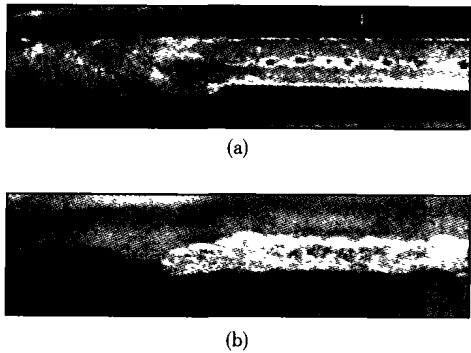


图 1 焊缝正面(a)与背面(b)的宏观形貌
Fig.1 Appearance of weld

2.2 熔深试验

在相同的焊接规范下,无活性剂的熔深只有 4~5 mm,有活性剂的熔深为 12 mm。有活性剂的熔宽比无活性剂的熔宽略有减小,熔池形状为典型的指状熔池,背面余高小于 2 mm。如图 2 所示。

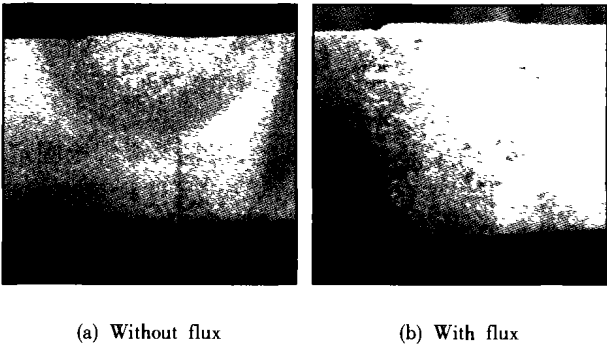


图 2 无活性剂的熔池形状(a)和有活性剂的熔池形状(b)
Fig.2 The photographs of weld penetration

2.3 接头微观组织

图 3 所示为有涂层区与无涂层区焊缝的金相组织照片。有涂层区的焊缝组织与无涂层区的焊缝组织相同,均为铁素体 + 珠光体组织。即使用活性剂对接头的微观组织也不产生影响。

2.4 化学成分分析

在不填丝的 TIG 焊中,焊缝的化学成分与母材的基本相同,使用活性剂涂层后,母材与焊缝的化学成分如表 2 所示,显然,使用活性剂没有改变焊缝的化学成分。

2.5 力学性能

使用活性剂后,所测定的焊接接头的力学性能如表 3 所示。显然,使用活性剂后对焊接接头的力学性能也没有影响。

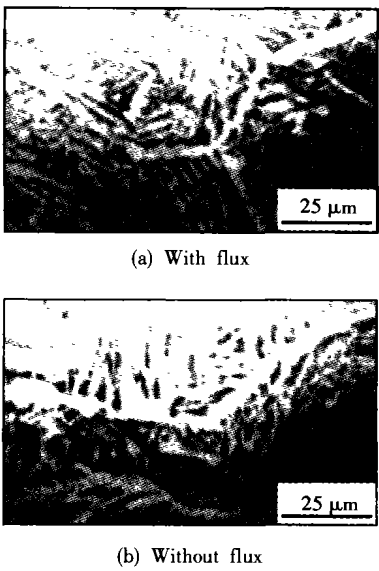


图 3 焊缝金相组织
Fig.3 Microstructure of weld

表 2 化学成分对比(质量分数,%)
Table 2 Chemical composition

Elements	C	Si	Mn	S	P
Parent material	0.14	0.19	0.60	0.038	0.021
Weld without flux	0.12	0.22	0.53	0.038	0.021
Weld with flux	0.12	0.22	0.53	0.038	0.021

表 3 焊接接头的力学性能
Table 3 Mechanical properties of weld

Strength test σ_b /MPa	Acid corrode test JB 4708-92
460	Not any weld defect

2.6 其它性能

不使用活性剂时 TIG 焊焊缝熔深对母材中的微量元素的波动很敏感,尤其是对 O、S 等表面活性元素的波动,在相同的焊接规范条件下往往得不到相同的焊接熔深,这给实际操作造成很多的麻烦。使用活性剂后可以有效降低焊缝熔深对母材微量元素波动的敏感性,得到的焊缝熔深始终保持均匀一致。

使用活性剂后,虽然焊接熔深显著增加,但焊接电流并未变化,因此在达到相同的焊接熔深条件下,焊接变形最小。试板在自由状态下对接,焊接角变形接近于零^[6]。

3 影响熔深增加的因素

使用活性剂后固定其它的焊接规范,分别改变焊接电流、弧长、焊接速度、涂层厚度和气体种类,观

察对焊接熔深的影响。

3.1 焊接电流对熔深的影响

改变焊接电流,观察活性剂对熔深的影响,结果如图 4(焊接速度为 90 mm/min)所示。随着焊接电流的增加,有活性剂和无活性剂的熔深都增加,但有活性剂时熔深增加得更快。当焊接电流达到 180 A 左右时,对熔深的增加效果最为显著。焊接电流继续增加,则对熔深的增加效果反而下降。初步原因分析认为,当电流增加到一定程度,活性剂的烧损加剧,从而对熔深的增加效果反而下降。对该现象还需要做进一步的研究。

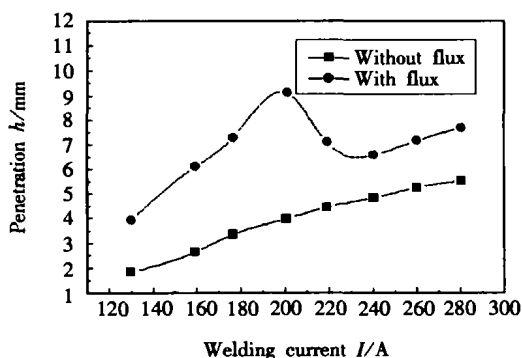


图 4 焊接电流对熔深的影响

Fig. 4 Effect of welding current on penetration

3.2 弧长对熔深的影响

随着弧长的变化活性剂对熔深的影响如图 5 所示。从图中反映出弧长为 3 mm 时熔深增加最多。

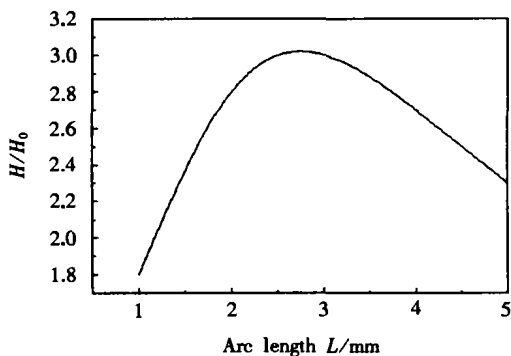


图 5 弧长对熔深比的影响

Fig. 5 Effect of arc length on H/H_0

3.3 涂层厚度对熔深的影响

将相同质量的活性剂作为溶质,丙酮作为溶剂,通过变化丙酮的量来调节浓度,进而达到调节涂层厚度的目的。活性剂的涂敷厚度对熔深的影响见图 6(活性剂的质量为 10 g)。当丙酮的含量大于 13 mL 时,随涂敷厚度的增加,熔深增加倍数也增加;继续增加涂敷量,则熔深的增加不明显。

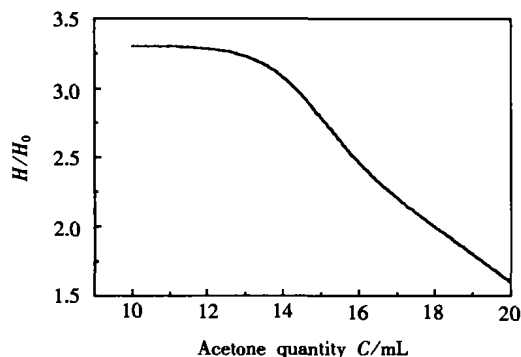


图 6 涂层厚度对熔深的影响

Fig. 6 Effect of coating quantity on H/H_0

3.4 焊接速度对熔深的影响

如图 7 所示,随着焊接速度的增加,有活性剂和无活性剂的熔深都减小,有活性剂时熔深减小得更快。焊接速度较低时,活性剂促使熔池中的流体充分流动的作用明显;焊接速度增加,则这种作用减弱。

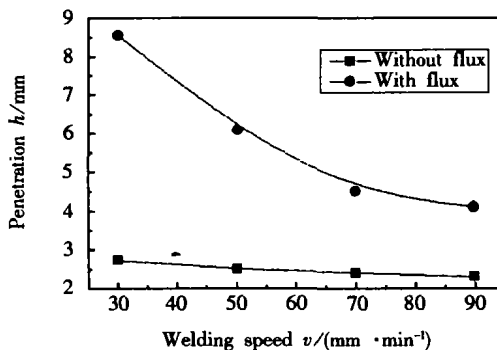


图 7 焊接速度对熔深的影响

Fig. 7 Effect of welding speed on penetration

3.5 气体种类对熔深的影响

使用 He 或 He + Ar 气可以使焊接熔深增加,同时使用活性剂则熔深增加更多,在其它规范条件都不变的情况下,仅用 130 A 的焊接电流就可焊透 12 mm 厚的板。

4 结 论

- (1) 利用所研制的低碳钢 A-TIG 焊活性剂,可以使焊接熔深比常规的 TIG 焊增加 3 倍。
- (2) 使用活性剂后,焊缝表面成形良好,焊接接头微观组织与不使用活性剂时的相同,焊缝的化学成分与不使用活性剂的成分一致。
- (3) 使用活性剂后,焊接接头的综合性能符合低碳钢焊接性有关标准的要求。

[下转第 90 页]

型域(欧氏空间)维数。该模型满足

$$\frac{\partial F}{\partial \Delta K_e} > 0 \text{ 和 } \frac{\partial F}{\partial D} > 0。$$

即损伤函数 F 是分形有效应力强度幅 ΔK_e 和损伤变量 D 的单调递增函数。由于损伤是材料内部组织的不可逆过程,因此有 $F > 0$,当损伤累积到临界值 D_c 时,结构将发生断裂破坏, $dD/dN \rightarrow \infty$, $N \rightarrow N_f$ (失效循环数)。而当结构未承受外载时 $\Delta K_e = 0$,结构的损伤增量为零, $dD/dN = 0$ 。

将式(10)积分,得到焊接接头疲劳损伤分形演化方程为

$$D = D_c \left\{ 1 - \left[1 - \frac{(1+\beta) \cdot C(\Delta K_e)^n}{D_c \cdot f(R)} N \right]^{\frac{1}{1+\beta}} \right\}。 \quad (12)$$

利用边界条件 $D = D_c$ 时,将 $N = N_f$ 代入式(12),可以得到结构失效破坏时的疲劳寿命,即

$$N_f = \left[\frac{(1+\beta) \cdot C(\Delta K_e)^n}{D_c \cdot f(R)} \right]^{-1}。 \quad (13)$$

由式(12)、(13),得到用疲劳寿命表示的焊接接头疲劳损伤分形演化方程为

$$D = D_c \left[1 - \left(1 - \frac{N}{N_f} \right)^{\frac{1}{1+\beta}} \right]。 \quad (14)$$

式(12)、(14)中,损伤量 D 由断口分维 d 和表观损伤变量 D_0 确定,见式(11)。 d 和 D_0 均为微观参量,一般需要通过材料或结构的微观结构测量而得到,疲劳寿命则是疲劳试验的宏观参量。演化方程把损伤的宏观现象与微观实质统一起来,可更好地反映材料或结构的损伤演变过程。事实上,通过焊接试件的疲劳试验可确定表观损伤变量 D_0 ,通过对接头疲劳断口分维数的测定可确定疲劳损伤断口

的分维特征,结合疲劳试验得到的循环数 N 和失效循环数 N_f 可确定式(11)~式(14)中的待定参数,并据此估算焊接接头疲劳寿命。

4 结 论

文中提出的疲劳分形损伤演变模型可用于焊接接头疲劳寿命评估;将焊接接头的表观损伤参量与微观断裂特征参量-断口分维数结合起来,可以建立一种基于焊接接头宏、微观疲劳失效特征参量的疲劳损伤演化模型。辅以试验,可建立综合考虑这两种疲劳特征参量的焊接结构疲劳寿命评估方法。有关试验研究将进一步深化并完善文中提出的模型。

参考文献:

- [1] 左建政. GH150 高温合金及其焊接结构的疲劳损伤与寿命预测[D]. 西安:西安交通大学,1996.
- [2] 业 成. 分形论定量金相技术及其在热壁加氢反应器中的应用[D]. 南京:南京化工大学,2001.
- [3] 陈 颂,陈 凌. 分形几何学[M]. 北京:地震出版社,1998.
- [4] 谢和平,鞠 杨. 分数维空间中的损伤力学研究初探[J]. 力学学报,1999,31(3):300~310.
- [5] 余天庆,钱济成. 损伤理论及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1993.
- [6] 余寿文,冯西桥. 损伤力学[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [7] 王 军. 损伤力学的理论与应用[M]. 北京:科学出版社,1997.

作者简介: 郭华芝,女,1958年6月出生,副教授,博士研究生。主要研究领域为疲劳强度及可靠性。发表论文10篇。

Email: ghd@muaa.edu.cn

[上接第87页]

(4) 使用活性剂后,焊接电流、弧长、焊接速度、涂层厚度和气体种类均对焊接熔深的增加产生影响。

参考文献:

- [1] Simonik A G. The effect of contraction of the arc discharge upon the introduction of electro-negative elements[J]. Welding Production, 1976, 23(3): 49~51.
- [2] Lucas W, House D S. Activating flux-increasing the performance and productivity of the TIG and plasma processes[J]. Welding and Metal Fabrication, 1996, 64(1): 11~15.

- [3] Pantan B E, Zamkov V N, Prilutsky P V. Contraction of the welding arc caused by the flux in tungsten-electrode argon-arc welding[J]. The Paton Welding Journal, 2000, 79(1): 5~11.
- [4] 樊 丁,顾玉芬,林 焰,等. 低碳钢 A-TIG 焊接法的研究[J]. 焊接, 2002, (2): 16~19.
- [5] 刘凤尧,林三宝,杨春利,等. TIG 焊活性剂对焊缝成形的影响[J]. 焊接学报, 2002, 23(1): 1~4.
- [6] Heiple C R, Roper J R, Stagner R T, et al. Surface active element effects on the shape of GTA, laser and electron beam welds[J]. Welding Research Supplement, 1983, 62(3): 72~77.

作者简介: 张瑞华,男,1970年出生,博士研究生。主要从事焊接物理及活性化焊接理论与应用的研究。发表论文20篇。

Email: zrh@gsut.edu.cn