

ER308L 焊丝硫含量对 Ar - He 混合气 TIG 焊焊缝成形的影响

机械科学研究院 哈尔滨焊接研究所(150028)

俞树国 王慧源 王国佛

徐亦楠 李丹辉 张明辉

摘要 采用钨极氩弧自动焊对硫含量不同的 ER308L 焊丝在不同 Ar - He 配比保护气条件下,研究了其焊缝成形规律。结果表明:随着 S 含量增大焊缝润湿性增加,当 $S \geq 0.01\%$ 时这种趋势更加明显;氦气比例在 30% 以下时,提高氦气配比焊缝熔宽增加,而对焊缝熔深影响不大。

关键词: ER308L 硫含量 氩-氦混合气 TIG 自动焊**中图分类号:** TG422.3

0 前言

堆内构件吊篮筒体母材材料为 304/304H 奥氏体不锈钢,常用的焊接方法有热丝 TIG 焊、焊条电弧焊和埋弧焊等,其安全等级为非承压机械设备的安全级 LS 级、抗震类别为 I 类、质量保证分级为 Q1 级。其工作环境极其恶劣,在高温、高压和强辐照下运行,并且长期承受冷却剂的冲刷及冲刷引起的振动作用。为使堆内构件在核电站设计寿命期内保持良好的性能,确保反应堆的安全运行,保持反应堆结构的完整性和安全性,堆内构件选用的材料很重要,而焊接接头是结构上的薄弱环节,因此焊接接头就显得尤为重要,焊道成形对焊接质量有着重要的影响。资料^[1]研究表明硫含量对于焊道成形有显著的影响,而加入

氦气后 TIG 焊电弧能量提高,焊接质量提升^[2-3],因为在核岛设备上,对于不锈钢承载焊缝中为保证安全,硫含量严格受控,为此文中着重研究了不同硫含量的 ER308L 焊丝 TIG 焊时氦气配比对焊道成形的影响,以期在现场焊接工艺优化提供参考。

1 试验方法和材料

选择硫含量分别为 0.003 4%、0.007 6%、0.010% 和 0.017% 的 4 种 ER308L 焊丝,试验焊丝成分见表 1。采用自动 TIG 焊方法,对比了试验焊丝在 100% Ar、90% Ar + 10% He 和 70% Ar + 30% He 三种保护气条件下 304 不锈钢平板上堆焊焊缝的形状尺寸。焊接工艺参数见表 2。

表 1 试验焊丝成分(质量分数,%)

编号	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
222 - 3	0.010	0.57	1.89	21.4	10.1	0.003 4	0.011
BL308L	0.016	0.45	1.75	19.9	10.1	0.007 6	0.015
122 - 1	0.018	0.57	1.97	19.8	9.9	0.010 0	0.015
232	0.012	0.55	2.10	20.4	10.1	0.017 0	0.014

表 2 试验焊丝焊接参数

电源种类	焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 $v/(mm \cdot min^{-1})$	送丝速度 $v_s/(mm \cdot min^{-1})$	氦气流量 $Q/(L \cdot min^{-1})$	道间温度 $T_d/^\circ C$
DCEP	200	12 ~ 14	110	1 100	16	85 ~ 95

收稿日期: 2015 - 03 - 31

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目(2012ZX06004 - 21); 国家能源应用技术研究及工程示范项目(NY20111201 - 1)

2 试验结果

分别在 100% Ar、90% Ar + 10% He 和 70% Ar + 30% He

保护气条件下,四种硫含量焊丝焊道表面及焊缝截面宏观金相形貌分别见表3、表4和表5。在相同硫含量的情况下,随氦气比例的增加,焊缝熔宽增加,熔深变

化不明显;在相同保护气条件下随着硫含量增加焊道边缘齐整度明显提高,焊缝熔宽增加,熔深变化不明显。

表3 100%Ar 保护气焊道外观及焊缝宏观金相形貌

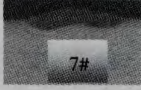
焊丝	焊道表面形貌	焊缝宏观金相	熔宽/mm
222-3 (0.003 4% S)			11.9
BL308L (0.007 6% S)			11.8
122-1 (0.010% S)			12.32
232 (0.017% S)			12.9

表4 90%Ar + 10%He 保护气焊道外观及焊缝宏观金相形貌

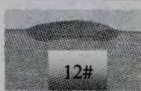
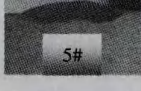
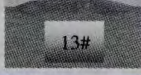
焊丝	焊道表面形貌	焊缝宏观金相	熔宽/mm
222-3 (0.003 4% S)			12.18
BL308L (0.007 6% S)			12.8
122-1 (0.010% S)			13.1
232 (0.017% S)			15.1

表5 70%Ar + 30%He 保护气焊道外观及焊缝宏观金相形貌

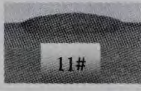
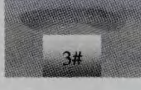
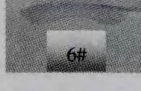
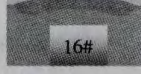
焊丝	焊道表面形貌	焊缝宏观金相	熔宽/mm
222-3 (0.003 4% S)			13.12
BL308L (0.007 6% S)			14.2
122-1 (0.010% S)			14.4
232 (0.017% S)			15.8

图1和图2分别为氦气比例和焊丝硫含量对焊道熔宽的影响图,从试验结果可知四种焊丝焊道边缘整齐,润湿性好,焊道成形美观,焊接工艺性优良,对于高硫含量的122-1和232焊丝在30% He时由于流动性过好,焊缝已略有凹陷。在焊接工艺相同条件下,四种不同硫含量焊丝的焊道随着硫含量的增加而增宽;对于同一种焊丝,随着保护气中氦气比例的增加焊道熔宽增大。纯Ar焊接时相同焊接参数下,不同焊丝随着硫含量增大焊道熔宽变化呈曲线增长;硫含量小于0.01%时随着硫含量增大焊道熔宽略有增加,硫含量大于0.01%后随着硫含量增大焊道熔宽增加较快。Ar+He条件下焊接时,随着焊丝硫含量增加焊道熔宽呈线性增大。由图2可知,在加入氦气后硫对焊道熔宽的影响程度加大,当氦气比例达30%时这种影响有变小的趋势。

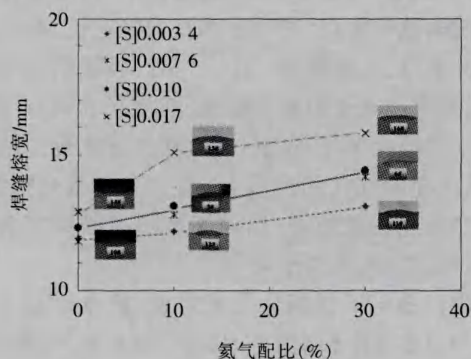


图1 氦气比例对焊道成形的影响

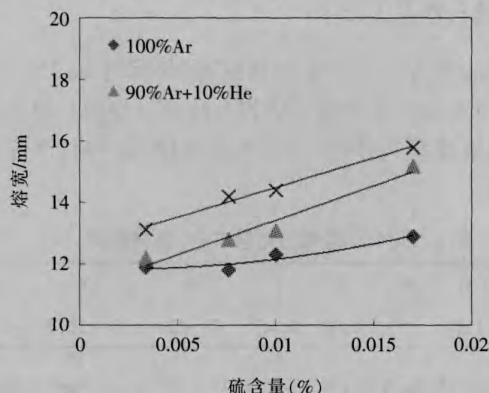


图2 焊丝硫含量及焊接工艺对焊道熔宽的影响图

3 讨论

在大多数情况下,焊接熔池中流体的表面张力决定了流体的温度场和流场,焊接材料中的活性元素含量是影响熔池尺寸和形状的关键因素之一。硫的添加不仅减小了焊缝熔池的粘度和表面张力,而且还提高

了熔池的对流(马兰各尼对流),改变了熔池的性质,进而获得各种益处。表面活性元素会影响熔池中流体的流动方式,进而影响熔池的形状和尺寸,在一定条件下,活性元素能使表面张力温度系数($d\gamma/dT$)值发生正、负变化。研究表明^[4],在GTAW焊接工艺下,表面张力的变化决定了熔池中流体的流动方式,并控制了熔池的发展。硫含量较高时,速度场依然是以向外流动的涡流为主,由熔池中心向外流动的涡流,把热量从熔池中心带向熔池边缘,而使得熔池深度减小。熔池深度和相应的焊缝深宽比是由硫含量和表面温度共同决定的^[5],硫存在并不一定总能得到较深的熔池。硫能使低温下的 $d\gamma/dT$ 呈正值。但是当温度超过一定值时,即使有一定量的硫, $d\gamma/dT$ 也为负值。

与氩气相比,氦气的导热系数大,原子的质量小,在电弧空间运动速度大,从电弧中带走的热量多,对电弧的冷却作用强,因此输入功率 IE 应大一些。由最小电压原理可知,如果给定电流和周围条件一定的条件下,电位梯度要大,即弧长一定时,电弧电压增大,弧柱半径增大,因此熔宽增加。

4 结论

(1) 在相同焊接工艺条件下随着硫含量增加焊缝润湿性增加,当硫含量大于0.01%时这种趋势更加明显。

(2) 同一种焊丝氦气比例在30%以下时,提高氩气+氦气混合气体中氦气的比例,焊缝熔宽增加,而对焊缝熔深影响不大。

参考文献

- [1] 赵玉珍,史耀武. 表面活性元素硫对焊接熔池中流体流动方式和熔池深宽比的影响[J]. 钢铁研究学报, 2004, 16(4): 7-10.
- [2] 李国栋,栗卓新,魏琪,等. 氩-氦-二氧化碳混合气体电弧行为及其对焊缝成形的影响[J]. 材料工程, 2007, 3: 38-41.
- [3] 汪喜和,刘胜新,陈永,等. 氦气-氩气混合比对AZ31镁合金TIG焊接性的影响[J]. 轻合金加工技术, 2007, 34(12): 43-45.
- [4] 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 Journal, 1983, 62(3): 72.
- [5] Zacharia T, Eraslan A H, Aidun D K. Modelling of Non-Autogenous Welding[J]. Welding Journal, 1988, 67(1): 18-27.

作者简介: 俞树国, 1977年出生, 高级工程师。主要从事焊接材料的研发工作。