

TIG 焊对低合金钢焊缝金属元素分布状态的影响

李海涛¹, 李慕勤¹, 韩 涛², 孙建波¹, 王 军¹

(1. 佳木斯大学 材料科学与工程学院, 佳木斯 154007; 2. 佳木斯大学 机械工程学院, 佳木斯 154007)

摘 要: 采用 TIG 焊, 选取两种成分相近的焊丝, 制备了两组低合金钢焊接接头. 通过焊材的 EDS 成分分析、焊缝金属 XRF 元素分析以及元素分布状态图等手段, 研究了焊材及母材的合金元素在焊缝金属中的存在状态和分布特征. 结果表明, 锰在 ER307Si 焊缝中较高, 镍、铬在 ER308LSi 焊缝中较高, 硅在两组焊缝金属中相差不大; 铬、镍、锰、硅在 ER307Si 焊缝中的起弧处含量较高, 在 ER308LSi 焊缝中的中间处含量较高; 起弧处元素分布较均匀, 熔合线附近分布较稀疏; 焊缝中间位置 Ni 元素分布较疏, 含量较低; 收弧处各元素分布不均.

关键词: 钨极氩弧焊; 合金元素; 焊缝金属; 荧光光谱; 分布状态

中图分类号: TG111.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2014)01-0091-04

0 序 言

焊接时, 熔化母材和填充金属过渡到焊缝中的合金成分对焊缝金属相变和焊后的力学性能有重要影响. 例如, C 是扩大 γ 相区的元素^[1], 对淬硬性有强烈影响; 锰增加过冷奥氏体稳定性, 降低马氏体的转变温度; Si 是缩小 γ 相区的元素^[2]; 铬扩大 γ 相区, 降低 $\delta \rightarrow \alpha$ 相变临界温度. 此外, 多数固溶于奥氏体的元素均使 M_s 点下降, 推迟奥氏体向珠光体的转变^[3]. 因此, 研究合金元素熔滴过渡时是否进入焊缝以及在焊缝中的分布状态具有重要意义.

目前为止, 对于焊缝金属中合金元素的分布已有报道, 吴娜等人^[4]利用 Ansys 有限元模拟的方法研究了高镍合金与 18-8 钢 TIG 焊缝中的元素分布, 彭志方等人^[5]利用 EDS 能谱研究了镍基单晶合金 CMSX-2 高温蠕变后的显微组织及合金元素的分布特征等等, 然而笔者目前为止还未曾见过利用 X-ray 荧光光谱(XRF)研究焊缝区元素分布特征的报道. 因此, 文中以 TIG 电弧焊接低合金钢板, 划分节点后通过 XRF 微区分析, 研究了两种焊材焊后室温下的合金元素分布状态.

1 试验方法

采用低合金钢, 经日本岛津公司 XRF-1800 荧光光谱仪测试, 其化学成分如表 1 所示, 测试条件见

表 2(光栅: 3.0 mm, 气氛: 真空, X 光管: Rh 靶, 40 kV, 70 mA). 焊接前对试件开 55°V 形坡口, 并对焊口两侧清理^[6,7]. 采用 TIG 焊, 将 ER307Si 和 ER308LSi 两种直径为 2.5 mm 的焊丝填充在焊缝中(每种焊丝填两层形成完整的接头), 焊接参数如表 3 所示, 两种焊丝化学成分经 EDS 测试, 结果如表 4 和表 5 所示.

表 1 母材化学成分(质量分数, %)

Table 1 Chemical compositions of base metal

Mn	Mo	V	Si	Cr	Ti	Fe
0.67	0.72	0.41	0.97	1.89	0.26	余量

表 2 荧光光谱元素含量试验条件

Table 2 Measurement conditions of X-ray fluorescence spectrum test

元素通道	测试晶体	探测器	测试角度 $\alpha/(^\circ)$	扫描速度 $v/(^\circ \cdot \text{min}^{-1})$	步长 n
Si	PET	FPC	106 ~ 112	10	0.1
Ti-U	LiF	SC	10 ~ 90	20	0.1

表 3 焊接参数

Table 3 Welding parameters

		焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 $v/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	气体流量 $q/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$
1	底层	100	14	10	13
	面层	120	21	11	13
2	底层	100	14	10	13
	面层	120	15	11	13

表 4 ER307Si 焊丝的能谱测试结果(质量分数,%)

Table 4 Result of EDS of ER307Si solder wire

C	Mn	Cr	Si	Ni	Fe
1.24	7.28	18.57	1.24	7.96	63.71

表 5 ER308LSi 焊丝的能谱测试结果(质量分数,%)

Table 5 Result of EDS of ER308LSi solder wire

C	Mn	Cr	Si	Ni	Fe
0.86	2.26	19.73	1.19	9.61	66.35

表 6 焊缝金属各取点处合金元素含量(质量分数,%)

Table 6 Alloy element content of test points of weld metal

		Cr	Ni	Mn	Si	Mo	V	S	Fe
ER307Si	起弧处	8.645	3.473	3.807	0.737	0.472	0.310	0.020	82.536
	中间位置	8.379	3.118	3.191	0.586	0.530	0.358	0.018	83.820
	收弧处	8.623	3.173	3.156	0.472	0.481	0.290	0.033	83.772
ER308LSi	起弧处	8.056	3.527	1.023	0.564	0.477	0.310	0.025	86.018
	中间位置	8.942	4.143	1.204	0.655	0.449	0.251	0.03	84.326
	收弧处	8.195	3.313	1.037	0.563	0.508	0.277	0.025	86.082

2.1 合金元素含量结果及分析

从表 1 和表 6 可见,尽管母材中 Cr, Ni, Mn 元素含量较低,但由于焊材中相应元素含量高,导致焊缝中 Cr, Ni, Mn 元素含量大幅度提高,采用 TIG 焊方法,熔滴过渡效果较好,合金元素顺利熔合到焊缝金属中;表 6 结果显示, Mn 元素含量在 ER307Si 焊缝中较高, Ni, Cr 元素含量在 ER308LSi 焊缝中较高,而 Si 元素含量在两组焊缝金属中相差不大,这主要是由两种焊材中的各元素原始含量决定的;其次, Cr, Ni, Mn, Si 元素在 ER307Si 焊缝中的起弧处含量较高,而在 ER308LSi 焊缝中的中间处其含量较高,

2.2 合金元素分布成像图结果及分析

测前用 CCD 拍摄装好样品的实物图,如图 1 所示,以使用鼠标选取测试范围,选取的测试节点为 86~104 个不等(具体与截取的焊缝区大小有关)。

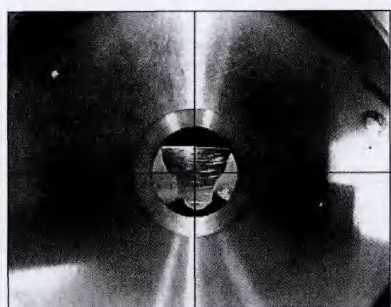


图 1 CCD 拍摄装好样品的宏观示意图

Fig. 1 Macro schematic diagram of installed sample of CCD shooting

2 试验结果及分析

分别沿两组焊缝区的起弧处、中间焊缝处和收弧处位置截取试样,将试样表面处理后,利用表 2 所示条件测试各取样位置的合金元素含量,结果如表 6 所示。在各个取样位置制定元素分布成像的测试条件,利用 XRF-1800 荧光光谱仪的微区样品盒测试,光栅 0.5 mm,管电压 40 kV,管电流 70 mA。

由于元素分布的成像速度较慢,需要上千分钟,因此试验只选取焊缝金属中含量较高的 Cr, Mn, Ni, Fe 四种元素,各取点位置元素的分布结果如图 2~图 7 所示。

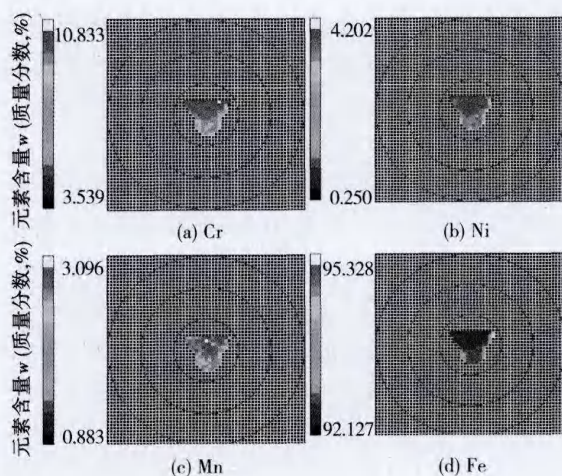


图 2 ER307Si 起弧处元素分布

Fig. 2 Element distribution of striking position of ER307Si

图 2~图 7 可知, ER307Si 焊材的焊缝金属元素分布情况如下:起弧处各元素分布较均匀,底层与盖面层元素分布有明显界限,熔合线附近分布较稀疏, Cr, Ni, Mn 元素在盖面层分布较集中,而 Fe 元素与之相反;中间焊缝区上下焊层元素分布无明显界限, Cr 元素分布左侧偏高,右侧偏低, Ni 元素整体分布

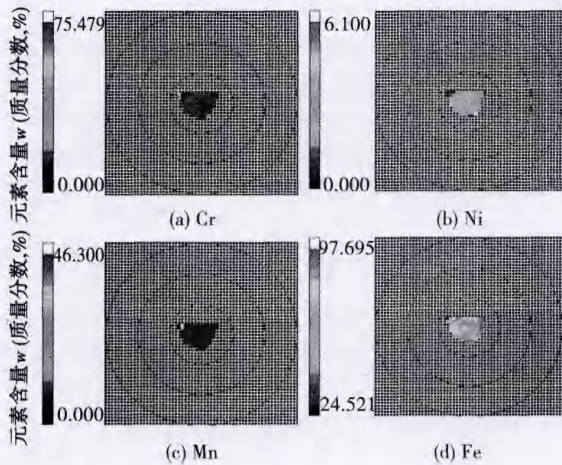


图3 ER307Si 中间焊缝处元素分布

Fig. 3 Element distribution of intermediate position of ER307Si

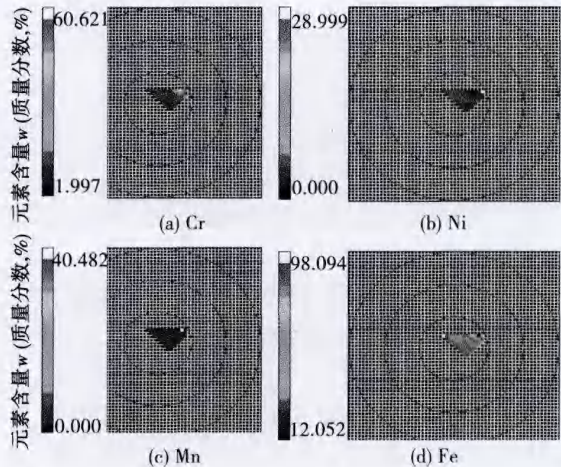


图6 ER308LSi 中间焊缝处元素分布

Fig. 6 Element distribution of intermediate position of ER308LSi

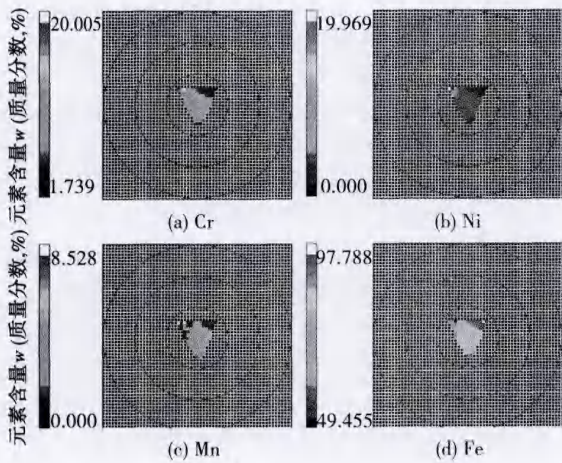


图4 ER307Si 收弧处元素分布

Fig. 4 Element distribution of crater arc position of ER307Si

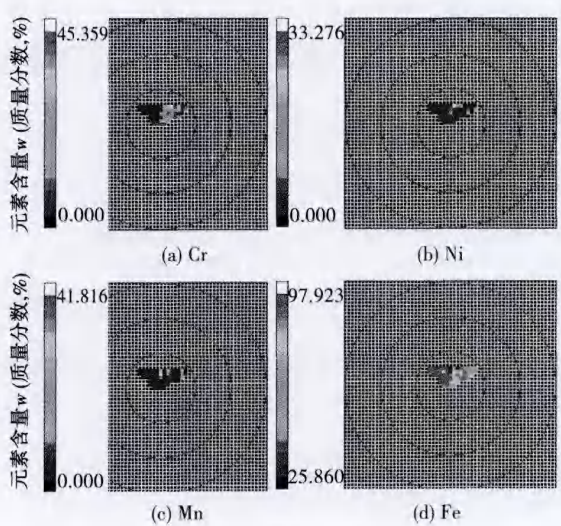


图7 ER308LSi 收弧处元素分布

Fig. 7 Element distribution of crater arc position of ER308LSi

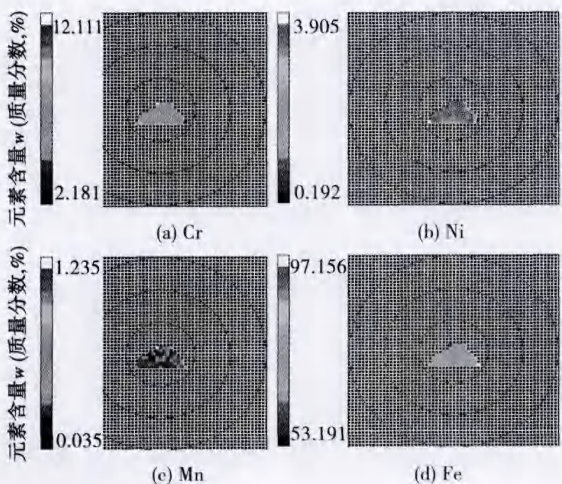


图5 ER308LSi 起弧处元素分布

Fig. 5 Element distribution of striking position of ER308LSi

均匀,只在边角处分布较稀疏,Mn元素分布较均匀,但整体含量处于较低水平,Fe元素只在底部和盖面层右侧边缘出现分布集中,其余部位分布均匀;收弧处各元素分布都不尽均匀,Cr,Ni,Mn元素在焊底和盖面层边缘处分布较低,Fe元素与之相反。

ER308LSi焊材的焊缝金属元素分布情况如下:起弧处四种元素整体分布均匀,但Cr,Ni元素在熔合线边缘处分布稀疏,而Mn,Fe元素与之相反;中间焊缝区的Cr元素在盖面层边缘处分布集中,Fe,Ni元素含量在盖面层边缘处有所下降,Mn元素整体分布均匀;收弧处各区域元素分布不均匀,Cr,Ni,Mn元素含量在左侧区域偏低,右侧含量稍高,Fe元素与之相反。

3 结 论

(1) Mn 元素在 ER307Si 焊缝中较高, Ni, Cr 元素在 ER308LSi 焊缝中较高; Cr, Ni, Mn, Si 元素在 ER307Si 焊缝中的起弧处含量较高, 在 ER308LSi 焊缝的中间处含量较高。

(2) 起弧处元素分布整体均匀, 熔合线附近分布稀疏; 焊缝中间位置镍分布较疏; 收弧处各元素分布不均。

(3) ER307Si 焊缝金属中, 起弧处各元素分布较均匀, Cr, Ni, Mn 元素在盖面层分布较集中, Fe 元素与之相反; 焊缝中间位置元素分布整体较均匀; 收弧处元素分布不均匀。

(4) ER308LSi 焊缝金属中, 起弧处元素分布均匀, Cr, Ni 元素在熔合线边缘处分布稀疏, Mn, Fe 元素与之相反; 焊缝中间区盖面层边缘处, Cr 元素分布集中, Fe, Ni 元素分布较疏; 收弧处元素分布整体不均。

参考文献:

- [1] 孙宝珍. 合金钢手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992.
- [2] 胡德林. 金属学及热处理[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1994.
- [3] 胡艳华. Cr-Mo 钢焊接热循环的实时检测及焊缝金属的相变

[D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2010.

- [4] 吴娜, 李亚江. 高镍合金与 18-8 钢 TIG 焊缝中元素分布及热循环特点[J]. 现代焊接, 2010(8): 16-19.
Wu Na, Li Yajiang. The element distribution and the features of heat circulation in high nickel alloy and 18-8 steel TIG welds[J]. Modern Welding, 2010(8): 16-19.
- [5] 彭志方, 任遥遥, 骆宇时, 等. 镍基单晶合金 CMSX-2 高温蠕变后的显微组织及合金元素分布特征[J]. 金属学报, 2002, 38(2): 135-139.
Peng Zhifang, Ren Yaoyao, Luo Yushi, et al. Characteristics of microstructure and element distribution of nickel-base single crystal superalloy CMSX-2 after high temperature creep[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2002, 38(2): 135-139.
- [6] 李海涛, 杨文杰, 王军, 等. 焊接工艺对 TP304 钢焊缝金属组织及性能的影响[J]. 焊接学报, 2012, 33(4): 89-92.
Li Haitao, Yang Wenjie, Wang Jun, et al. Study of microstructure and properties in weld metal of TP304 steel under three processes[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2012, 33(4): 89-92.
- [7] 李海涛, 陈芙蓉, 胡艳华, 等. 焊接热循环峰值温度对 10CrMo910 钢硬度的影响[J]. 焊接学报, 2009, 30(2): 75-78.
Li Haitao, Chen Furong, Hu Yanhua, et al. Effect of heat input of root layer on thermal circle of 10CrMo910 steel[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2009, 30(2): 75-78.

作者简介: 李海涛, 男, 1982 年出生, 硕士. 主要研究方向为耐热钢和不锈钢焊接. 发表论文 20 余篇. Email: haitao0204@126.com

通讯作者: 韩涛, 男, 高级实验师. Email: hantao1969@163.com