

无填丝 TIG 焊参数对铁素体不锈钢管缝接头组织性能的影响

杨得超, 王 淮*, 刘 威, 谢争先

(长春工业大学 先进结构材料教育部重点实验室, 吉林 长春 130012)

摘 要: 对 022Cr11Ti 钢汽车排气管管缝进行无填丝双 TIG 焊枪自动焊接试验结果表明, 焊接工艺参数对接头的组织形貌及抗拉强度影响较大, 双焊枪电流在 90~130 A 范围内焊缝表面质量较好, 但都会使接头晶粒不同程度长大, 随着焊接电流增大, 焊缝组织形貌由粗大柱状晶形貌改变为心部等轴晶+两侧粗大柱状晶形貌, 同时, R_m 逐步降低, 拉伸断裂位置也按 HTHAZ→焊缝→HTHAZ 改变, 试验得出采用双枪电流分别为 $I_1=120$ A, $I_2=90$ A 时的管缝接头具有较好的强度, R_m 可达到 376.81 MPa, 使焊管冷弯时发生接头开裂现象得到明显改善。

关键词: 铁素体不锈钢; 无填丝 TIG 焊; 组织形貌; 抗拉强度

中图分类号: TG 457.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1374(2013)03-0247-06

Effect of fillerless wire TIG welding parameters on the microstructure and performance of tube joints in ferritic stainless steel

YANG De-chao, WANG Huai*, LIU Wei, XIE Zheng-xian

(Key Laboratory of Advanced Structural Materials, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

Abstract: Double fillerless wire TIG is used for the welding of 022Cr11Ti steel vent pipe joints. The experimental show that the welding parameters may take strong effects on the morphology and tensile strength. The quality of the weld surface is better when the dual welding torch current is in the 90~130 A range but the jointing grain may grow in some degree. With the increase of welding current, the morphology of joint is changed from the columnar crystal to axialite combined bilateral columnar crystal, and the with the decrease of R_m , the tensilefracture position is varied as following: from HTHAZ to welding and then to HTHAZ. The stronger tensile strength of the welding joint is obtained when the dual welding torch currents are 120 A and 90 A respectively, while the R_m is 376.81 MPa. The cracking of joint is greatly improved.

收稿日期: 2013-03-05

作者简介: 杨得超(1987—), 男, 汉族, 吉林农安人, 长春工业大学硕士研究生, 主要从事焊接方向研究, E-mail: ydc2208@126.com.

* 联系人: 王 淮(1957—), 男, 汉族, 湖南湘潭人, 长春工业大学副教授, 主要从事金属材料方向研究, E-mail: 13086800290@163.com.

Key words: ferritic stainless steel; fillerless wire TIG welding; microstructure and morphology; tensile strength.

0 引 言

铁素体不锈钢因具有良好的耐腐蚀性且热膨胀系数小、冷成型回弹性小、材料成本低等特点成为汽车排气系统的首选材料^[1-2],对其薄板卷制成管后的管缝进行焊接,铁素体不锈钢受到焊接热循环影响,使管缝接头强度、塑性和耐腐蚀性能均会下降^[3],尽管在 0Cr12,0Cr17 不锈钢中添加 Ti 元素可以提高铁素体不锈钢的抗蠕变性能及提高焊接接头力学性能^[4],但在现场实际焊制并冷弯焊管时,仍然因接头晶粒粗大而出现焊管在冷弯成型时发生接头开裂现象,由于对热影响区粗大

的铁素体组织难以用热处理方法细化晶粒,因此,可以通过控制焊缝输入能量来降低接头晶粒长大倾向,改善热影响区性能^[5-6]。为解决铁素体不锈钢汽车排气管生产中出现的管缝接头开裂问题,文中对 022Cr11Ti 铁素体不锈钢卷管管缝进行了无填丝双 TIG 焊枪自动焊接试验研究。

1 实验材料及方法

1.1 试验材料

试验材料为 $\varphi 100 \times 1.5$ mm 的 022Cr11Ti (SUH409)铁素体不锈钢卷管,检验其化学成分和经固溶处理后的力学性能见表 1。

表 1 试验材料化学成分(wt%)及力学性能

C	Si	Mn	P	S	Cr	N	Ti	Nb	$R_p^{0.2}/$ (N/mm ²)	$R_m/$ (N/mm ²)	A/ %	Z _c / %
0.033	0.933	1.062	0.041	0.022	11.55	0.031	0.256	0.102	325	465	22	43

022Cr11Ti 钢组织形貌如图 1 所示。

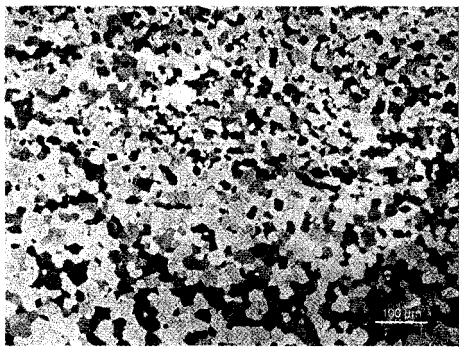


图 1 022Cr11Ti 钢组织形貌

组织形态为图 1 上部所示形貌(下部为 LTHAZ),为细小等轴状铁素体组织。

1.2 试验方法

022Cr11Ti 钢管无填丝双 TIG 焊枪自动焊接参数见表 2。

焊接试验在汽车排气管专用生产线上进行,采用沿焊缝方向排列的无填丝双 TIG 焊枪进行自动焊接,选用表 2 所列的 4 组焊接工艺参数进行焊接,其中, Q_1, I_1, U_1 为列前 TIG 焊枪的焊接参数, Q_2, I_2, U_2 为列后 TIG 焊枪的焊接参数,焊后制取接头金相试样和薄板拉伸试样。

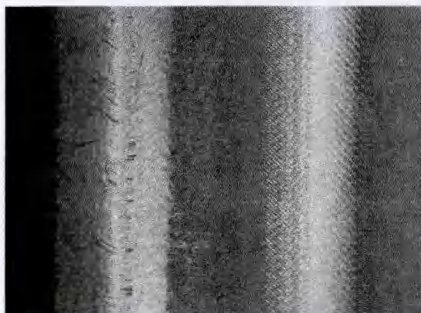
表 2 022Cr11Ti 钢管无填丝双 TIG 焊枪自动焊接参数

组别	电极直径/ mm	气体流量/ (L/min)		焊接速度/ (mm/s)	焊接电流/ A		焊接电压/ V		板材厚度/ mm
		Q_1	Q_2		I_1	I_2	U_1	U_2	
1	2.4	15	10	11.85	90	90	15	14	1.5
2	2.4	15	10	11.85	120	90	15	14	1.5
3	2.4	15	10	11.85	120	110	15	14	1.5
4	2.4	15	10	11.85	120	130	15	14	1.5

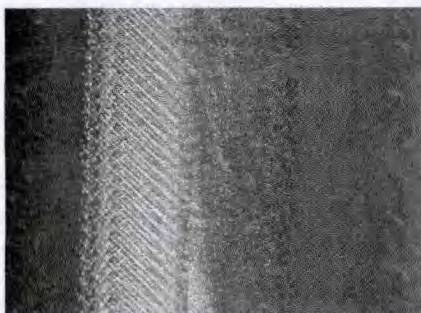
2 实验结果与分析

2.1 宏观形貌

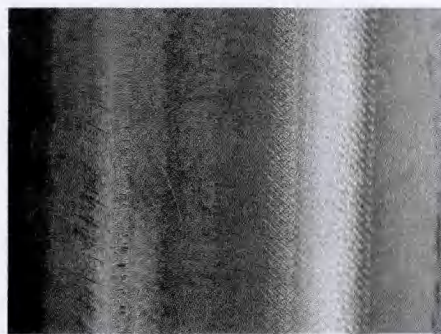
管缝接头宏观形貌如图2所示。



(a) 第2组 ($I_1=120\text{ A}$, $I_2=130\text{ A}$)



(b) 第3组 ($I_1=120\text{ A}$, $I_2=110\text{ A}$)



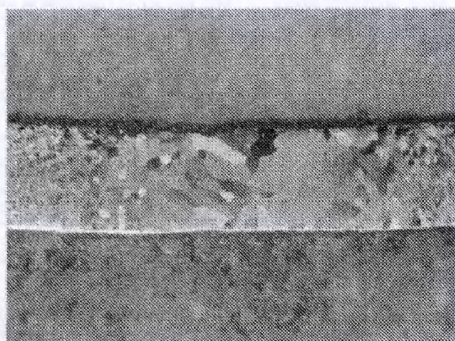
(c) 第4组 ($I_1=120\text{ A}$, $I_2=90\text{ A}$)

图2 管缝接头宏观形貌

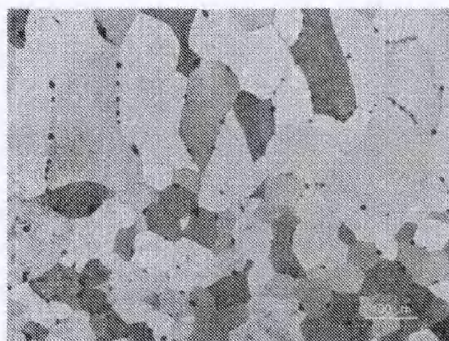
从图2的宏观照片可以看到,第2组、第3组、第4组管缝焊接试样的接头表面质量均较好,成型均匀,未发现裂纹、气孔及未熔合等缺陷,焊缝截面丰满,其中第2组试样焊道较宽,第4组试样焊道较窄。第1组试样焊接后焊缝多处出现未焊透缺陷,故第1组舍去不再讨论。

2.2 接头组织形貌

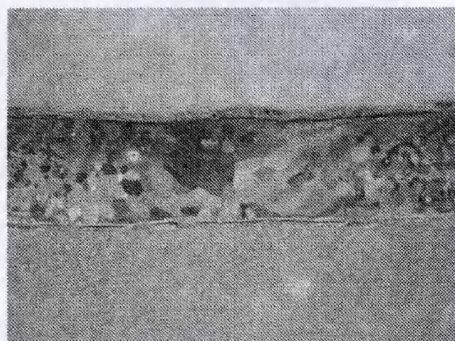
不同焊接参数焊接的管缝接头焊缝与HTHAZ(高温热影响区)组织形貌如图3所示。



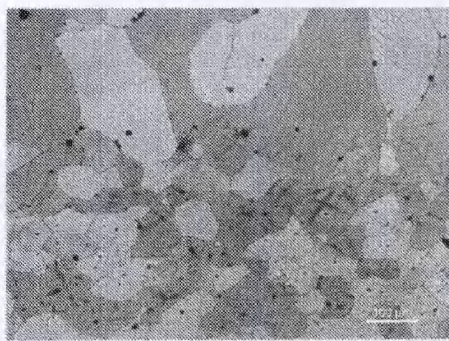
(a) 第2组 ($I_1=120\text{ A}$, $I_2=90\text{ A}$)接头形貌



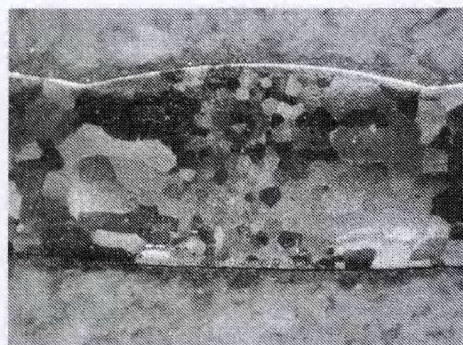
(b) 第2组焊缝与HTHAZ形貌



(c) 第3组 ($I_1=120\text{ A}$, $I_2=110\text{ A}$)接头形貌



(d) 第3组焊缝与HTHAZ形貌

(e) 第4组 ($I_1=120\text{ A}$, $I_2=130\text{ A}$)接头形貌

(f) 第4组焊缝与 HTHAZ 形貌

图3 不同焊接参数的管缝接头组织形貌

从图3可以看出,第2组管缝接头低倍形貌(见图3(a))中的焊缝组织为焊缝边缘向焊缝中心生长的晶粒较为均匀但粗大的柱状铁素体组织,HTHAZ为比母材明显长大的大小较为均匀的等轴状铁素体组织(见图3(b))。

第3组管缝接头低倍形貌(见图3(c))中的焊缝为焊缝边缘向焊缝中心生长的晶粒大小不均匀且粗大的柱状铁素体组织,在焊缝中心形成了较清晰的柱状晶汇合线,HTHAZ与第2组相比,晶粒更加长大,但大小仍是较为均匀的等轴状铁素体组织(见图3(d))。

第4组管缝接头低倍形貌(见图3(e))可以看到,在焊缝中部形成了较为细小等轴状铁素体组织,在其两侧为由焊缝边缘向焊缝中心生长的尺寸大小不均匀的粗大柱状铁素体组织形貌,在HTHAZ的等轴状铁素体明显长大且不均匀(见图3(f)),与前两组HTHAZ相比,晶粒出现了不均匀的异常长大现象。

在3组接头中,晶内和晶界未发现明显的析出相,母材晶粒较为均匀细小。

不同焊接参数的管缝接头抗拉强度见表3。

由表3可以看出,当焊接电流较小时(第2组),管缝接头的抗拉强度较高,其拉伸断裂位置都在HTHAZ。

管缝接头低倍组织形貌如图4所示。

当焊接电流较大时(第4组),管缝接头的抗拉强度较低,其拉伸断裂位置(见图4(a))也都在HTHAZ;当焊接电流适中时(第3组),管缝接头的抗拉强度适中,拉伸断裂位置(见图4(b))都在

焊缝中心区。

表3 不同焊接参数的管缝接头抗拉强度

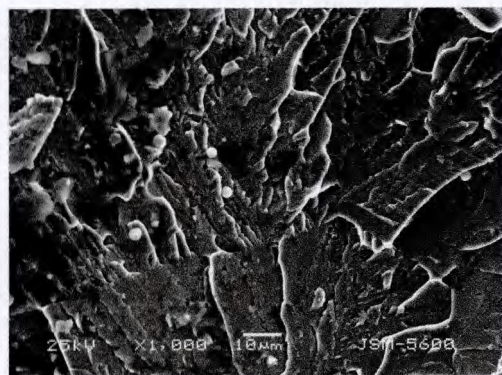
组别	R_m/MPa	断裂位置
第2组 $I_1=120\text{ A}$ $I_2=90\text{ A}$	1	376.02
	2	376.81
	3	376.51
	平均值	376.45
第3组 $I_1=120\text{ A}$ $I_2=110\text{ A}$	1	374.65
	2	374.51
	3	374.23
	平均值	374.46
第4组 $I_1=120\text{ A}$ $I_2=130\text{ A}$	1	368.91
	2	371.06
	3	370.48
	平均值	370.15

(a) 第4组 ($I_1=120\text{ A}$, $I_2=130\text{ A}$)

(b) 第3组($I_1=120\text{ A}$, $I_2=110\text{ A}$)

图4 管缝接头低倍组织形貌

3组管缝接头拉伸断口形貌如图5所示(电流 $I_2=130\text{ A}$ 时)。

图5 管缝接头($I_2=130\text{ A}$)拉伸断口形貌

从图5中可以看出,该断口为河流状准解理脆断断口。

3 讨论

由表1得知,022Cr11Ti钢中含有一定量的Ti元素,并含有少量的C和N元素,可在钢的凝固中形成一定数量的细小弥散Ti(CN)化合物,可促进形核并抑制晶粒长大,使022Cr11Ti钢在一定的轧制和再结晶条件下形成的细小等轴状铁素体组织(见图1)。焊接参数的变化对焊缝组织形貌、抗拉强度及断裂位置产生明显的影响^[7],在 $I_1=120\text{ A}$, $I_2=90\sim 130\text{ A}$ 范围内及其它焊接参数不变的条件下,随着焊接线能量提高,焊缝区及HTHAZ的晶粒长大形态有所不同,抗拉强度变化及断裂位置按HTHAZ→焊缝→HTHAZ变化趋势如6所示。

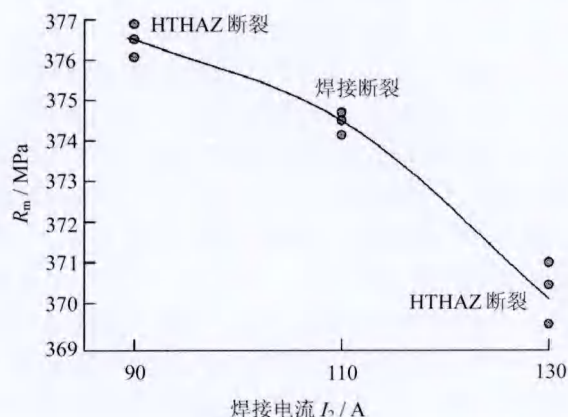


图6 焊接电流对接头抗拉强度与断裂位置的影响

由此得出管缝接头的抗拉强度随焊接电流增大而减小,而拉伸断裂位置虽然不同但有规律。

当焊接电流为 $I_1=120\text{ A}$, $I_2=90\text{ A}$ 时,焊接线能量较小,结晶向焊缝中心定向凝固速度较快,熔池溶解的Ti(CN)未能及时析出,使得形核条件不足,少量形核形成的晶粒快速长大并形成如图3(a)所看到的柱状晶由焊缝两侧向焊缝中心生长并汇合的形貌。尽管焊缝柱状晶尺寸较大,但从图3(b)可以看到,与柱状晶相邻的HTHAZ晶粒尺寸也明显长大,且HTHAZ析出的Ti(CN)进一步长大失去对位错的“钉扎”作用,并成为脆性相与文献[9]作用机理类似,使这一区域的强度和塑形明显降低,这是第2组拉伸断裂位置发生在接头HTHAZ的主要原因。

当焊接电流为 $I_1=120\text{ A}$, $I_2=110\text{ A}$ 时,焊接线能量增大,结晶向焊缝中心定向凝固速度有所减慢,熔池溶解的Ti(CN)也未能及时析出,使得形核较少,粗大柱状晶形成的汇合线使焊缝中心晶界变得脆弱且受力易产生应力集中。从焊接冶金学得知,焊缝凝固过程先结晶的合金熔点较高且较纯净,后结晶的合金熔点较低且含S、P等杂质元素较多。随着柱状晶生长接近焊缝中心,结晶不但会产生较严重的偏析层,而且许多杂质元素被排斥到焊缝中心线处,并在晶界形成强度低、脆性大的低熔点共晶相,增大了结晶裂纹倾向。因此,第3组试样拉伸断裂位置容易发生在接头的焊缝区。

当焊接电流 $I_1=120\text{ A}$, $I_2=130\text{ A}$ 时,焊接线能量进一步增大,结晶向焊缝中心定向凝固速度逐渐减慢,固液线热梯度逐渐减小,熔池溶解的Ti(CN)开始仍不能抑制柱状晶长大扩展,而在接

近焊缝中心时,剩余熔池各点温度已相近,熔池溶解的 Ti(CN)也因凝固时间延长而部分析出,使焊缝中心部位形核增加并形成了较细小的等轴晶组织,这种等轴晶组织对提高接头力学性能有利,在该焊接参数下,具备了较多质点形核和抑制结晶晶粒长大的热力学条件^[8],形成了接头两侧柱状晶+中间等轴晶的组织形貌(见图 3(a))。但是焊接线能量增大又使 Ti(CN)在 HTHAZ 析出并长大,不能抑制晶粒增大并增加了脆性,使得 HTHAZ 的晶粒尺寸更加粗大,强度与塑形进一步降低,因此,第 4 组试样拉伸断裂位置因焊缝细晶强化而较易发生在接头的 HTHAZ,对比抗拉强度,该组反而低于前两组。

综上所述,022Cr11Ti 钢薄板用于汽车排气管进行无填丝双 TIG 焊枪自动焊接时,在焊接速度为 11.85 mm/s, $I_1=120$ A, $I_2=90\sim 130$ A 范围内,尽管宏观形貌具有较好的表面质量,却会使晶粒严重长大。随着焊接电流改变,焊缝组织形貌、抗拉强度和断裂位置都发生变化,相比之下,采用双枪电流分别为 $I_1=120$ A, $I_2=90$ A 时的管缝接头具有较好的强度,该焊接参数用于实际生产线焊接出的焊管,在冷弯时发生接头开裂现象得到明显改善。

4 结 语

1)用正常焊接参数对 022Cr11Ti 钢汽车排气管管缝进行无填丝双 TIG 焊枪自动焊接,其接头晶粒都会严重长大,随着焊接电流加大,焊缝组织形貌由粗大柱状晶形貌改变为心部等轴晶+两侧粗大柱状晶形貌,同时 R_m 逐步降低,拉伸断裂位置也按 HTHAZ→焊缝→HTHAZ 发生变化。

2)双枪电流分别为 $I_1=120$ A, $I_2=90$ A 时的管缝接头具有较好的强度, R_m 可达到

376.81 MPa。

参考文献:

- [1] 王欣增. 铁素体不锈钢的开发与应用[J]. 钢铁, 1985,20(12):31-39.
- [2] 朱双春,王宝森,许轲. 汽车排气管用铁素体不锈钢的性能发展[J]. 金属加工:热加工,2009(12):33-35.
- [3] 孙伟利,徐建民. 机动车排气管 409L 铁素体不锈钢激光焊接[J]. 焊接技术,2009(5):17-19.
- [4] Li xin Wang, Chang jiang Song, Feng mei Sun, et al. Microstructure and mechanical properties of 12 wt% cr ferritic stainless steel with ti and nb dual stabilization[J]. Materials and Design, 2009(30):49-56.
- [5] 董俊慧,邹吉权,夏向东. 新型 Cr26Mo1 铁素体不锈钢的焊接工艺研究[J]. 焊接技术,2000(3):9-10.
- [6] A K Lakshminarayanan, V Balasubramanian. Evaluation of microstructure and mechanical properties of laser beam welded AISI 409M Grade ferritic stainless steel[J]. Journal of Iron and Steel Research, International,2012,19(1):72-78.
- [7] Eslam Ranjbarnodeh, Stefanie Hanke, Sabine Weiss, et al. Effect of welding parameters on the heat-affected zone of AISI 409 ferritic stainless steel[J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials,2012,19(10):923.
- [8] J C Villafuerte, H W Kerr, S A David. Mechanisms of equiaxed grain formation in ferritic stainless steel gas tungsten arc welds[J]. Material Science & Engineering A,1995,194:187-191.
- [9] 孙辉,王淮,季长涛,等. 高氮无镍奥氏体不锈钢薄板 TIG 焊接头组织形貌及性能[J]. 长春工业大学学报:自然科学版,2010,31(5):518-522.