

填充金属及电流对 0Cr18Ni9/Q235 异种焊接接头组织及性能的影响

陈今良 潘 登

(攀枝花学院钒钛学院 四川 攀枝花 617000)

摘 要: 采用 TIG 焊接工艺,分别选用直径为 2.0 mm 的 ER309、Ni317 焊丝及 90~120 A 电流,对 0Cr18Ni9 奥氏体不锈钢和 Q235 碳钢进行双面焊,研究了焊接接头的金相组织、拉伸性能和显微硬度。结果表明:同种焊丝,在 90~120 A 焊接电流条件下,随着电流增大,抗拉强度增大,拉伸断口均出现韧窝,为韧性断裂;采用 ER309 焊丝的接头拉伸性能要优于 Ni317 焊丝接头;两种焊丝焊接,电流值都为 110 A 时接头硬度最佳。

关键词: 不锈钢;异种焊接;硬度;组织形貌

中图分类号: TG457.1 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2019)05-0157-05

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2019.05.026

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Influence of Filler Metal and Current on Microstructure and Properties of 0Cr18Ni9/Q235 Dissimilar Welded Joints

Chen Jinliang ,Pan Deng

(Vanadium and Titanium College ,Panzhihua University ,Panzhihua 617000 ,Sichuan ,China)

Abstract: The Tungsten Inert Gas(TIG) welding process was used to weld 0Cr18Ni9 austenitic stainless steel and Q235 carbon steel with ER309 and Ni317 wires of 2.0 mm in diameter. The microstructure , tensile properties and micro-hardness of the welded joint were studied. The results show that when the applied welding current ranges from 90 A to 120 A , the tensile strength increases with the increase of welding current , and dimples appear on the tensile fracture surface , which is typical of tough fracture. The tensile properties of the joints with ER309 welding wire are better than those with Ni317 welding wire. For both of welding wires , maximum hardness of the joints achieves at the 110 A of applied current.

Key words: stainless steel , dissimilar welding , hardness , morphology

0 引言

0Cr18Ni9 奥氏体不锈钢具有良好的塑性、高温性能、耐腐蚀性能, Q235 低碳钢具有良好的塑性和韧性, 并且价格低廉; 若将二者焊接在一起, 便能达到保证使用性能的前提下降低设备结构成本, 可以

广泛应用于化工、食品行业的装备制造。由于二者之间形成的金属间化合物较多, 熔点、线膨胀系数、热导率相差较大等原因, 都会导致二者焊接难度增大, 使得焊接接头质量下降。影响异种焊接接头性能的工艺参数主要有焊接电流、填充金属、焊接电压、焊后应力等, 相关学者对二者焊接进行过深入的

收稿日期: 2019-11-08

基金项目: 钒钛资源综合利用四川省重点实验室项目(2018FTSZ41)。

作者简介: 陈今良(1983—), 男, 湖南隆回人, 硕士研究生, 讲师, 研究方向为材料成型与制备, E-mail: chenjinliang2011@

126.com。

研究,陈鑫等^[1]对火电厂用奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢异种钢焊接接头早期失效进行了研究,认为异种焊接接头失效主要取决于接头强度与应力关系,接头熔合线附近的抗拉强度决定接头的最高强度;许翠华^[2]研究了焊接电流对 36Mn2V/45 钢异种钢焊接接头组织和力学性能的影响,发现选用 ER70S-6 焊丝时,随着电流增大,接头熔和区及热影响区硬度有降低趋势;赵东升等^[3]对碳钢与 304 不锈钢焊接残余应力进行了试验及有限元对比分析,发现了焊缝残余应力峰值区域偏向 304 不锈钢一侧,可以看出异种金属接头的力学性能存在不对称性;陈今良等^[4]对 SAF2507 双相不锈钢与 Q235 碳钢异种金属进行了焊接试验,发现焊接电流在 90~130 A 的条件下,熔合线附近区域存在元素的过渡或迁移现象;黄本生等^[5]、Chunming Wang 等^[6]、王一鸣等^[7]对不锈钢与低碳钢、铝合金等异种金属焊接接头,以及接头的显微结构和力学性能进行了研究,发现合适的电流与合适的填充金属有利于调节异种金属接头的组织成分,改善接头的力学性能;且查阅相关数据库,对不锈钢异种金属焊接的试验或研究几乎都是针对焊接电流参数及不同焊接方法,

而对异种焊接采用的填充金属与接头性能关系研究甚少,为此,笔者以 ER309、Ni317 为填充金属,在焊接电流分别为 90、100、110、120 A 条件下对 0Cr18Ni9 不锈钢与 Q235 低碳钢异种金属进行了非熔化极惰性气体保护(TIG)双面焊,研究了焊接电流和填充金属对接头力学性能的影响,为 0Cr18Ni9 不锈钢与 Q235 低碳钢的异种钢焊接提供理论指导。

1 试样制备与试验方法

试验母材为 0Cr18Ni9 不锈钢和 Q235 低碳钢,均由攀钢提供,其主要化学成分如表 1 所示;焊接材料分别为 ER309 焊丝和 Ni317 不锈钢焊丝,直径均为 2.0 mm,化学成分如表 2 所示,由卡斯特林公司提供。采用电火花线切割机将 Q235 钢板和 0Cr18Ni9 不锈钢板分别切割为尺寸 100 mm×40 mm×3 mm 的试样,试样不开坡口,焊前采用锉刀打磨试样表面,清理油污及氧化层,采用 WSE-300 型焊机设备对二者进行非熔化极惰性气体保护(TIG)双面焊,保护气体流量取 5 L/min^[8]、焊接电压取 12 V 时,焊接电流为 90、100、110、120 A。

表 1 Q235 和 0Cr18Ni9 不锈钢的化学成分(质量分数)

Table 1 The chemical compositions of Q235 and 0Cr18Ni9 stainless steels (mass fraction)

牌号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0Cr18Ni9	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	8.00~11.00	18.00~20.00
Q235	0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.040	≤0.05		≤0.25

表 2 ER309 与 Ni317 焊丝成分
Table 2 Chemical compositions of ER309 and Ni317 wires

牌号	C	Si	Mn	Cr	Ni
ER309	≤0.12	≤0.6	1.0~2.5	22~25	12~14
Ni317	≤0.07	≤0.5	0.5~1.7	13.5~16.7	68~78

在焊接接头上截取金相试样,经过砂纸打磨及抛光后,采用 5%的硝酸酒精及王水进行腐蚀^[9],再通过 Leica 公司的 DM4000M 型数字显微镜进行组织观察,根据拉伸试样标准,在焊接接头上截取标距为 60 mm 的试样。采用 INSTRON5582 型万能材料试验机对接头进行拉伸试验,拉伸速率为 0.02 mm/s,使用 INDUSTRIECHNIK 型扫描电镜(SEM)观察断口形貌。采用 HVS-50 数字维氏硬度计对接头进行硬度测试,在所测硬度区域取五个点,算平均值,载荷为 98 N,保

载时间为 15 s,测量区域为碳钢侧热影响区、碳钢熔合线区、焊缝区、不锈钢熔合线区、不锈钢热影响区等五个区域,每个区域测量五次,取平均硬度值。

2 试验结果与讨论

2.1 接头形貌与碳钢侧金相组织

图 1 为 Ni317 焊丝、ER309 焊丝,焊接电流为 120 A 下焊接接头的外观。由图 1 可以看出,焊接接头的焊缝成型良好,焊缝局部有微小气孔存在,可能由焊接时熔池析出气体引起;对于碳钢与不锈钢异种焊接接头来说,最容易引起组织差异的区域位于碳钢一侧热影响区域。图 2 为采用 Ni317 焊丝在四种电流条件下得到的 Q235 一侧区域组织,图 3 为采用 ER309 焊丝在四种电流条件下得到的 Q235 一侧区域组织。由图 2 可以看出,随着电流增加,热影响区域中铁素体含量增多,珠光体减少,焊缝组织

所含杂质越少, 熔合线越窄, 当电流为 110 A 和 120 A 时, 组织最佳; 由图 3 可以看出, 采用 ER309 焊丝时, 熔合线区域更窄, 而此时热影响区组织中铁素体

和珠光体含量相当, 成分较为均匀。比较图 2、图 3 可以看出, 采用 ER309 焊丝, 焊接接头的热影响区组织比采用 Ni317 焊丝要均匀。

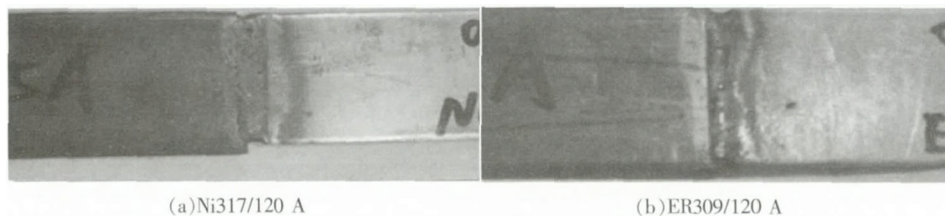


图 1 以 Ni317、ER309 焊丝, 焊接电流为 120 A 下焊接接头的外观

Fig.1 The appearance of welded joint under 120 A welding current with different wires

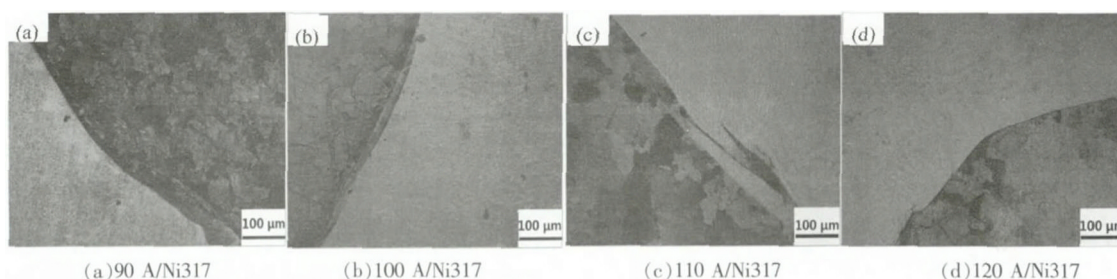


图 2 以 Ni317 焊丝得到接头碳钢侧区域金相组织

Fig.2 The microstructure of the carbon steel side of welding joint with Ni317 wire

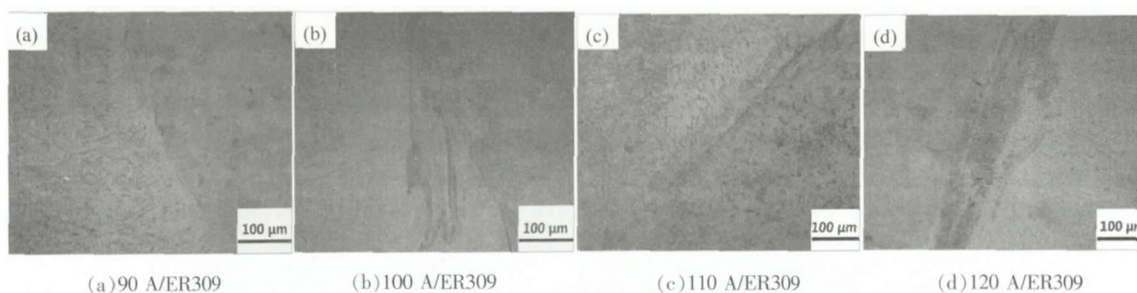


图 3 以 ER309 焊丝得到接头碳钢侧区域金相组织

Fig.3 The microstructure of the carbon steel side of welding joint with ER309 wire

2.2 拉伸性能

由图 4 可以看出, 在两种不同焊丝、四种不同焊接电流条件下焊接后, 接头均在靠近 Q235 母材一侧焊缝位置处发生断裂, 断口呈现明显的紧缩现象, 有塑性断裂的特点。

图 5 为两种焊丝在不同焊接电流条件下的工程应力应变曲线, 图 6 为接头抗拉强度随焊接电流的

变化曲线。因万能拉伸试验机操作软件端口未设置屈服点, 所以从图 5 中几乎看不到拉伸屈服阶段, 但是可以很明显地看出不同条件下的抗拉强度等数据, 从图 5(a) 可见, 在 Ni317 焊丝条件下, 焊接电流为 90 A 时抗拉强度最大, 约 350 MPa, 从图 5(b) 可见, 在 ER309 焊丝条件下, 焊接电流为 120 A 时抗拉强度最大, 约 380 MPa。

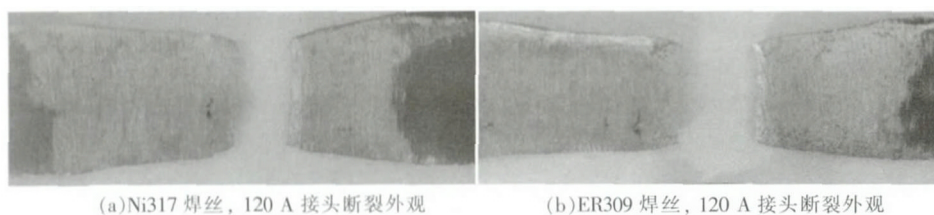


图 4 Ni317 为焊丝、ER309 焊丝, 焊接电流为 120 A 焊接接头拉伸断裂后的外观

Fig.4 The appearance of welded joint after tensile fracture under 120 A current with different wires

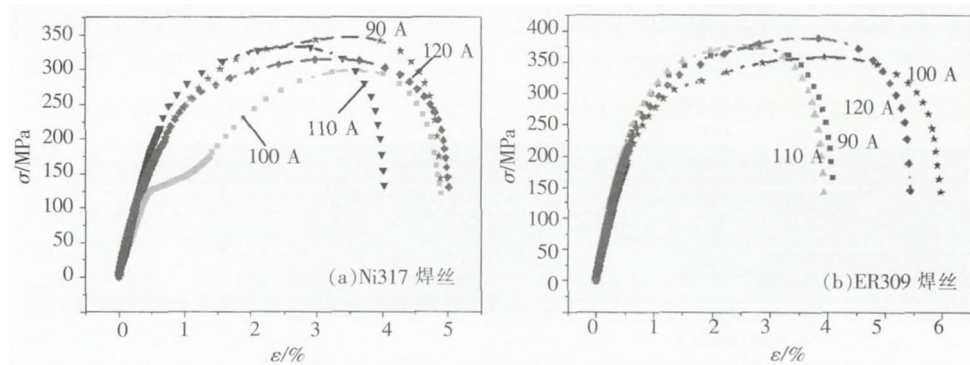


图5 焊接接头的工程应力—应变曲线

Fig.5 Engineering stress-strain curves of welded joints

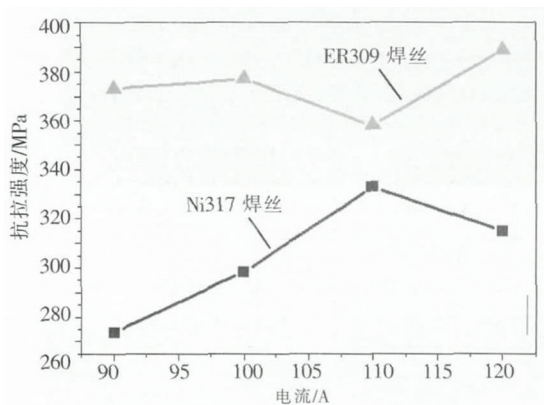


图6 焊接接头抗拉强度随焊接电流的变化曲线

Fig.6 Tensile strength of welded joints vs welding current

由图6可以看出,以Ni317为焊丝时,焊接接头的抗拉强度随电流的增大先增加再变小;以ER309为焊丝时,抗拉强度随电流的增大先增大再减小,最后再增加;在相同焊接电流条件下,以ER309为焊丝时焊接接头的抗拉强度高于以Ni317为焊丝的接头,造成这种原因填充金属的成分对接头强度产生的影响,ER309焊丝中Si、Mn元素的含量比Ni317焊丝高,而Si、Mn元素是金属合金化重要元素,能显著提高钢的屈服点和抗拉强度,所以ER309焊丝得到的接头强度高于Ni317焊丝的接头。

2.3 断口形貌

图7为不同条件下焊接接头的拉伸断口形貌。

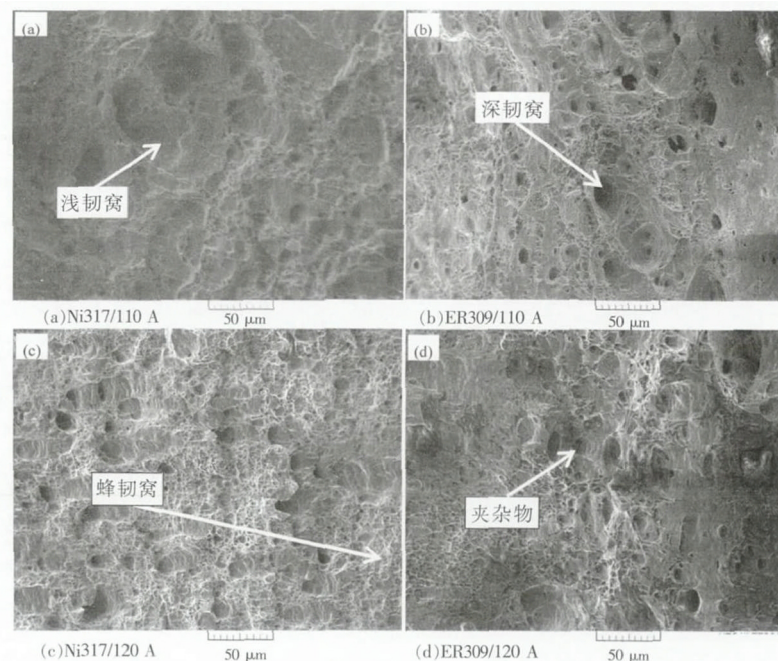


图7 在Ni317与ER309焊丝、电流为110 A与120 A条件下焊接接头的拉伸断口形貌

Fig.7 Tensile fracture surface of welded joints under different combination of wire and current

由图 7 可以看出, 试样断口均出现韧窝, 均符合于韧性断裂特征。以 Ni317 焊丝作为填充金属时, 断口韧窝尺寸差别大, 而且分布不均匀, 韧窝较浅; 而以 ER309 焊丝作为填充金属时, 断口韧窝深而均匀, 大小韧窝交替分布; 使用同种焊丝条件下, 电流值越大, 断口韧窝越细小, 甚至在 120 A 时, 韧窝形状像蜂窝一样, 韧窝中还出现了夹杂。

2.4 接头显微硬度

Q235 母材的硬度 (HV) 为 135, 0Cr18Ni9 的硬度 (HV) 为 180, 试样接头各区域在不同电流、不同焊丝条件下的硬度测定值如表 3 所示。由表 3 可以看出, 无论采用何种焊丝, 采用不同电流时, 热影响区硬度都比母材低, 分析其原因是热影响区受焊接热输入影响, 组织粗大, 产生热应力, 导致硬度下降; 熔合区域硬度接近于母材或略高, 原因是高热量输入与保护气体快速冷却, 造成融合区域有淬火效应而产生马氏体; 焊缝区硬度位于两种母材之间, 这与两种母材的化学成分有关。比较两种不同焊丝, 发现电流为 110 A 时, 接头各区域硬度值达到最高, 原因是焊接电流正比于焊接热输入, 过高或过低的电流将导致组织尺寸差别大, 造成组织不均匀, 产生组织应力, 造成硬度下降。

表 3 焊接接头各区域维氏硬度值 (HV)

Table 3 Hardness values of welded joints

焊丝	焊接电流/A	硬度 (HV)				
		碳钢侧 熔合线	碳钢侧 热影响区	WM	不锈钢侧 熔合线	不锈钢侧 热影响区
Ni317	90	123.3	106.3	164.2	165.5	177
Ni317	100	132.6	123.7	156.2	193.7	183.1
Ni317	110	135.9	126.6	170.2	196.8	172.6
Ni317	120	154.6	122.2	161.2	163.6	165.9
ER309	90	155.0	160.1	152.4	156.9	168.5
ER309	100	149.1	122.3	159.5	161.3	170.1
ER309	110	168.9	136.6	165.3	186.3	191.4
ER309	120	159.6	127.8	161.2	162.6	168.8

3 结论

1) 在同等电流条件下, 0Cr18Ni9 奥氏体不锈钢和 Q235 碳钢进行双面焊时, 接头采用 ER309 焊丝比 Ni317 焊丝的抗拉强度更高。

2) 同种焊丝, 在焊接电流为 90~120 A 条件下, 随着电流增大, 抗拉强度增大, 采用 ER309 焊丝得到的接头断口韧窝更深、更均匀。

3) 采用 ER309 与 Ni317 两种焊丝, 电流为 110 A 时, 接头各区域硬度均达到最高值。

参考文献

- [1] Chen Xin, Cai Wenhe, Zhang Kun *et al.* Overview of early failure of dissimilar steels joint in power plants [J]. Welding & Joining, 2018(2); 19-24.
(陈鑫, 蔡文河, 张坤 等. 火电厂异种钢焊接接头早期失效研究现状 [J]. 焊接, 2018(2); 19-24.)
- [2] Xu Cuihua. Effects of welding current on microstructure and mechanical properties of 36Mn2V/45 dissimilar steel welded joint [J]. Hot Working Technology, 2017, 46(19): 63-65.
(许翠华. 焊接电流对 36Mn2V/45 异种钢焊接接头组织和力学性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2017, 46(19): 63-65.)
- [3] Zhao Dongshen, Liu Yujun, Sun Minke *et al.* Welding residual stress calculation of carbon steel and stainless steel joint [J]. Journal of Welding, 2012(1): 93-95.
(赵东升, 刘玉君, 孙敏科 等. 碳钢与 304 不锈钢焊接残余应力的计算 [J]. 焊接学报, 2012(1): 93-95.)
- [4] Chen Jinliang, Lai Qi, Pang Zhining *et al.* Welding of SAF2507 duplex stainless steel and Q235 carbon steel dissimilar metal sheet [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2014, 21(5): 145-149.
(陈今良, 赖奇, 庞志宁 等. SAF2507 双相不锈钢与 Q235 碳钢异种金属板材的焊接 [J]. 塑性工程学报, 2014(5): 145-149.)
- [5] Huang Bensheng, Yang Jiang, Lu Donghua *et al.* Microstructure and mechanical properties of Q345/316L dissimilar steel welded joint [J]. Journal of Materials Heat Treatment, 2016, 37(5): 45-51.
(黄本生, 杨江, 卢东华 等. Q345/316L 异种钢焊接接头显微组织结构与力学性能 [J]. 材料热处理学报, 2016(5): 45-51.)
- [6] Wang Chunming, Cui Lingyue, Mi Gaoyang *et al.* The influence of heat input on microstructure and mechanical properties for dissimilar welding of galvanized steel to 6061 aluminum alloy in a zero-gap lap joint configuration [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2017, 726(67): 3566-3611.
- [7] Wang Yiming. Microstructure and properties of SAF2507 and Q235A dissimilar steel welded joints and simulation study [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2015.
(王一鸣. SAF2507 和 Q235A 异种钢焊接接头组织性能及模拟研究 [D]. 太原: 太原科技大学, 2015.)
- [8] Peng Xingna, Peng Yun, Tian Zhiling *et al.* Effect of Ni element on microstructure evolution of Cr-Ni-Mo high strength weld [J]. Journal of Welding, 2014, 35(9): 32-35.
(彭杏娜, 彭云, 田志凌 等. Ni 元素对 Cr-Ni-Mo 系高强焊缝组织演化的影响 [J]. 焊接学报, 2014, 35(9): 32-35.)
- [9] Ali Hajitabar, Homam Naffakh-Moosavy. Electron beam welding of difficult-to-weld austenitic stainless steel/Nb-based alloy dissimilar joints without interlayer [J]. Vacuum, 2017, 146(35): 2655-2892.