DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.03.011

大型压力容器等离子焊接技术研究

赵利民,潘　毅,赵东宏
(扬州工业职业技术学院 机械与汽车工程学院,江苏 扬州 225127)

摘　要:通过对大型压力容器制造工艺的分析,研究了等离子焊接技术在压力容器焊接中的应用,并通过金相分析、扫描电镜分析、残余应力分析、ANSYS 仿真分析等方法研究了等离子焊接接头组织与性能。结果表明,相比于普通焊接技术,等离子焊接技术在大型压力容器制造过程中有突出优势和实用价值。

关键词:压力容器;等离子焊接;金相分析;ANSYS 分析

中图分类号:TG441　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)03-0283-04

Research on Large Pressure Vessel Plasma Welding Technology

ZHAO Limin, PAN Yi, ZHAO Donghong
(School of Mechanical and Automotive Engineering, Yangzhou Polytechnic Institute, Yangzhou 225127, China)

Abstract: The microstructure and properties of welding joint which prepared by the plasma welding technology were studied by metallographic, SEM, residual stress and ANSYS emulation analysis. The results show that plasma welding technology has more advantages and practical value in the manufacture of large pressure vessels than ordinary welding technology.

Key words: pressure vessels; plasma welding; metallographic analysis; ANSYS software

近年来,我国冶金装备的需求量不断提高,这为提升我国压力容器的制造水平提供了良好的先决条件。大型压力容器,尤其是大型原油储罐的发展极为迅速。其中,单台储备容积在 10 万 m^3 以上的浮顶油罐是石油储备基地建设的主要设备,但其焊接技术一直是难点之一[1]。常规焊接方法往往会导致裂纹和接头力学性能下降等问题。本文针对于大型压力容器等离子焊接技术开展研究,并通过 ANSYS仿真软件对等离子焊接工艺过程进行模拟仿真。

1　等离子焊接工艺

焊接对象为某型号热交换器,长度为 5.1 m,直径为 0.5 m,焊条采用不锈钢焊条,焊接母材为奥氏体不锈钢,清理焊缝两侧 30 mm 内母材表面,组对后焊缝间隙及错边量不超过板厚的 15%,且最大≤1.5 mm,并将引弧板和收弧板置于与母材同一水平面上,防止氧化。同时两端点焊 50~60 mm,间距为 70~100 mm,其焊接点直径等于板厚。图 1 为某型号热交换器压力容器的外观。

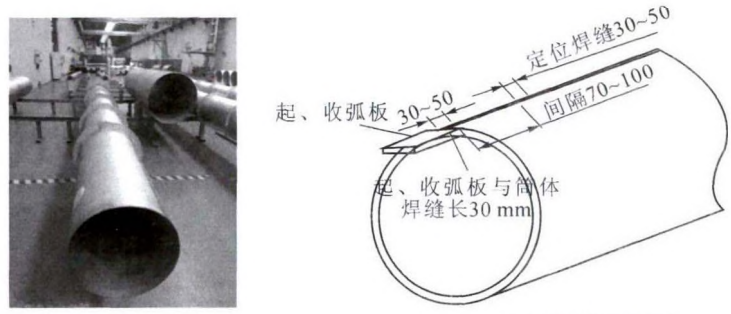
与此同时,根据试验要求,选用 2 块试板,尺寸为 500 mm×150 mm×10 mm,焊接方法使用小孔型等离子进行打底对接焊,焊接起弧示意图如图 2 所示。同时使用熔透型等离子焊进行填充盖面,焊接工艺参数见表 1 所示。采用扫描电镜(SEM)对焊接接头微观组织进行分析,同时使用金相显微镜对其金相组织进行对比分析,并选用 XRD 对不同工艺下的焊接接头的残余应力进行分析,以进一步论证等离子焊接工艺的优越性。

2　实验结果分析与讨论

2.1　微观组织

图 2 为等离子焊缝与常规焊缝的宏微观组织实验结果。可以看出,等离子焊缝均匀,形状呈均匀鱼鳞状,细致缜密,颜色为深蓝色,焊缝外热影响区均匀分布,无明显过热过烧现象[2]。常规焊接技术下焊缝区域下有裂纹形成,组织颗粒粗大且有孔洞、夹杂物的产生;等离子焊接技术下的焊缝组织更为均匀细致。同时,还可以看出,等离子焊接技术下的内部组织均匀,焊缝内部无明显夹杂物、气泡、孔洞等缺

收稿日期:2018-09-07
基金项目:扬州市创新能力建设计划项目—高等学校合作专项(YZ2017295);2016 高校哲学社会科学研究项目(2016SJB880091);扬州工业职业技术学院自然科技类 2016 年重点课题"薄壁曲面零件数字化制造关键技术研究"。
作者简介:赵利民(1971-),江苏扬州人,硕士,副教授,高级工程师.研究方向:金属材料的性能强化和机械装备结构的设计.电话:15952736059,
E-mail:zhaolm@ypi.edu.cn



(a)热交换器实物　　(b)起弧板示意图

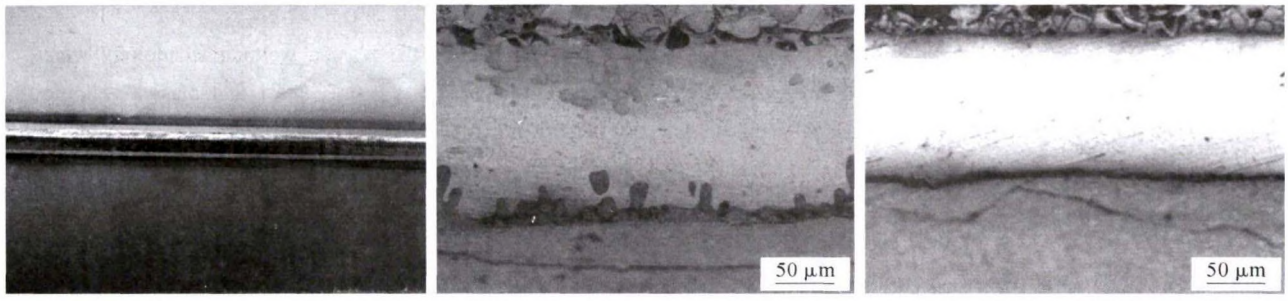
图 1 某型号大型压力容器及其等离子焊接起弧板

Fig.1 The images of large pressurized vessel and welding starting plate

表 1 焊接工艺参数

Tab.1 Welding process parameters

焊接工艺	焊接速度 /mm·mm^{-1}	离子气流量 /L_p·min^{-1}	保护气流量 /L_p·min^{-1}	送丝速度 /mm·mm^{-1}	峰值电流 I_g/A
打底焊	190	7.0	20	—	235
填充、盖面焊	160	1.3	20	80	200



(a)等离子焊缝(宏观)　　(b)普通焊接(微观)　　(c)等离子焊接(微观)

图 2 不同焊接工艺下焊缝的扫描电镜照片

Fig.2 SEM images of welded joint under different welding processes

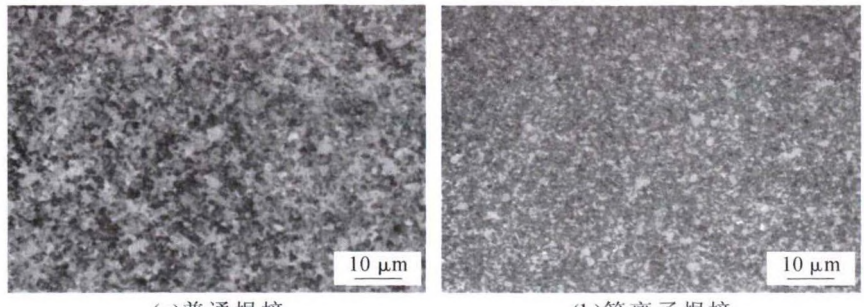
陷。同时钎料和焊件之间的界面清晰可见，相互之间结合紧密完整，并且焊件和钎料之间互相扩散渗透形成了具有较高强度的冶金结合面[3]，几乎没有产生明显孔洞、夹杂物等缺陷，从而证实了钎焊质量的优越性。

2.2 金相组织对比分析

图 3 为等离子焊接和普通焊接接头的金相组织。可以看出，普通焊接工艺下焊缝区有明显的夹杂物、偏析等缺陷，同时有微裂纹的产生，微裂纹穿晶而过，造成焊缝脆性断裂的可能性上升。这是由于常规焊接工艺冷却速度较快，热应力过大所造成的。这些缺陷会导致焊缝区域在工况条件下过早断裂失效可能性[4]；而进一步分析等离子焊接技术下的焊缝的质量可以看出，其主要组织为回火索氏体和铁素体，焊缝组织明显均匀细致，无明显偏析或夹杂物等缺陷[5]。

2.3 残余应力分析

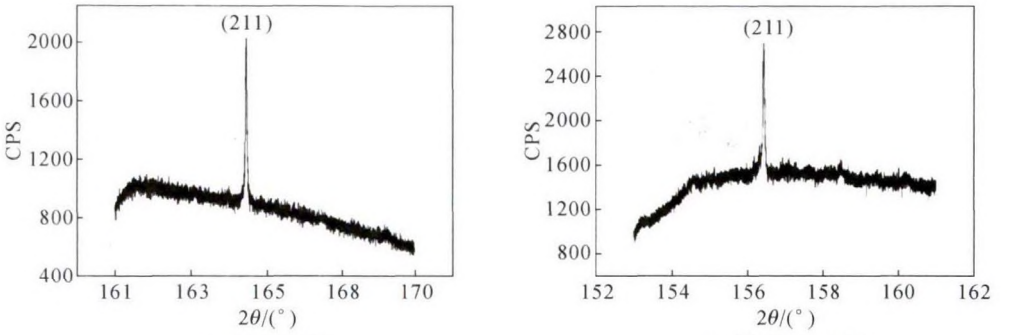
图 4 为等离子焊接和普通焊接条件下的 XRD 结果。为了进一步论证仿真结果的准确性，针对压力容器奥氏体不锈钢材料，采用金属材料常用的衍射晶面(211)面进行测试。固定 ψ 角，分别测定 ψ=0°、15°、30°、45°的晶面衍射曲线，并得出 2θ 角[6]。同时，根据衍射曲线得出在不同 ψ 角度下的衍射峰所对应的 $2\theta_0$ 分别列于表 2 和表 3。



(a)普通焊接　　(b)等离子焊接

图 3 不同焊接工艺下的焊接接头金相对比形貌

Fig.3 The Metallographic of welded joint under different welding processes



(a)普通焊接　　(b)等离子焊接

图 4 不同焊接工艺下的 XRD 衍射曲线

Fig.4 The XRD curve of under different welding processes

表2 常规焊接工艺样品ψ与$2\theta_0$的对应值

Tab.2 The corresponding value with ψ and $2\theta_0$ of conventional welding process of samples

ψ	0°	15°	30°	45°
$2\theta_0$	162.8	163.8	164.0	164.4
$\sin^2\psi$	0	0.067	0.25	0.707

表 3 等离子焊接工艺后阅读臂样品 ψ与 $2\theta_0$的对应值

Tab.3 The corresponding value with ψ and $2\theta_0$ of the plasma welding process of samples

ψ	0°	15°	30°	45°
$2\theta_0$	155.3	155.8	156.2	156.6
$\sin_2\psi$	0	0.067	0.25	0.707

可以看出，常规焊接和等离子焊接工艺的衍射角 θ_0 特征峰分别对应出现在 82.2°和 78.3°附近[7]，而(211)晶面的 X 射线弹性常数值为 207 GPa，泊松比 ν=0.28。由 K 值公式：

$$K=-\frac{E}{2(1+\upsilon)}\cot\theta_0\frac{\pi}{180} \tag{1}$$

可分别得出 $\sin 2\psi$ 法向应力常数 K_1= -193.225 和 K_2=-292.03；作 2θ-$\sin^2\psi$ 的关系直线，并利用最小二乘法求出直线的斜率 M，其公式为：

$$M=\frac{\partial(2\theta)}{\partial(\sin^2\psi)} \tag{2}$$

得出：M_1=2.251，M_2=1.784。

按照应力公式：

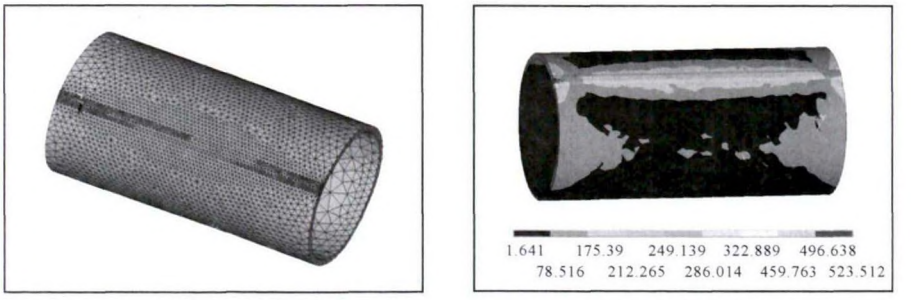
$$\sigma=K\cdot M \tag{3}$$

求出残余应力值，其中：σ_1= -434.949 MPa，σ_2= -520.981 MPa

根据 XRD 测试结果，焊缝中的焊接残余应力主要为残余压应力，压应力有利于消除表层缺口对疲劳寿命的不利影响，使工件对缺口的敏感度下降，显著提高阅读臂工作区域的疲劳强度。常规焊接工艺下焊缝中的残余应力值为 434.949 MPa，等离子焊接工艺下的 520.981 MPa，远高于常规工艺下的残余压应力，这就进一步证实了等离子焊接的优越性。

3 ANSYS 软件仿真分析

通过 SolidWorks 软件将热交换器建模后以 Parasolid(*.x_t)格式输出，导入 ANSYS 软件中，仿真结果如图 5 所示。同时由于热交换器结构的复杂性，因此采取映射网格划分，网格划分密度较小，且越靠近表面网格越密[8]。可以看出，热交换器中焊缝区域应力分布均匀，无明显极限应力值出现；同时热交换器整体无明显变形，结构稳定，这就进一步证实等离子焊接工艺直流性好，对零件热变形影响极小。同时从图中可以，热交换器应力分布中最高应力值为 523.512 MPa，这与之前残余应力测试分析结果几乎完全一样，也就进一步说明等离子焊接技术的



(a)网格划分　　(b)应力分布

图 5 等离子焊接工艺下压力容器网格划分及其应力分布

Fig.5 The meshing and residual stress distribution of pressure vessel under plasma welding

（下转第 295 页）

电流为 110~140 A 时的焊接接头。

参考文献：

[1] 孙辉. 铸造模具钢焊接修复工艺研究 [J]. 中国金属通报, 2017 (1): 62-63.

[2] 高茂涛. 热处理对新型铸造模具钢焊接接头组织和性能的影响 [J]. 电焊机, 2015, 45(6): 133-136.

[3] 刘润，张家玮，刘家安，等. 热处理工艺对铸造汽车覆盖件模具钢的耐磨性研究[J]. 摩擦学学报，2017，37(2): 185-191.

[4] 魏玉忠，刘天佐，尹少华，等. 中频感应热处理对 SA335-P92 钢焊接接头组织和力学性能的影响[J]. 热加工工艺，2018，47(11): 186-189，195.

[5] 何洪杰，盛光敏，焦英俊，等. 焊后热处理对 CB2 耐热钢焊接头组织及力学性能的影响[J]. 金属热处理，2018，43(2): 194-199.

[6] 胡林，刘颖. SA-335P92 钢焊接及焊后热处理工艺[J]. 石油和化工设备，2018，21(1): 51-52，60.

[7] 宋雨来，孔祥瑞，李悦，等. 焊接电流对 Cr12MoV 冷作模具钢焊缝组织性能的影响[J]. 汽车工艺与材料，2017(8): 20-22，29.

（上接第 285 页）

稳定性。

4 结论

等离子焊接工艺下焊件和钎料之间互相扩散渗透形成了具有较高强度的冶金结合面，几乎没有产生明显孔洞、夹杂物等缺陷。等离子焊接焊缝组织较常规焊接方法更为均匀细致，无明显偏析、裂纹等现象，有效提升了焊缝质量。等离子焊接压应力远高于常规焊接焊缝中的残余应力，可以有效提高零件的抗疲劳性能，这一结果通过仿真分析得到了证实。

参考文献：

[1] 潘毅，王家珂，赵毅红，等. 基于 ANSYS 的阅读臂薄板件感应淬火工艺研究[J]. 铸造技术，2015，36(1): 94-96.

[2] 王韶云，李国禄，王海斗，等. 重熔处理对 NICrBSi 涂层接触疲劳性能的影响[J]. 材料热处理学报，2011，32(11): 135-139.

[3] Daniel L, David A, David G. The effect of random grain distributions on fatigue crack initiation in a notched coarse grained superalloy specimen [J]. Computational Materials Science, 2011 (51): 273-280.

[4] 凌文丹，王瑞海，李小飞. 亚温淬火对淬火态 60Si2Mn 钢组织与强韧性的影响[J]. 热处理技术与装备，2010，31(4): 13-16.

[5] 刘春燕，周丹晨，李昌安，等. 60Si2MnA 弹簧钢片失效及热处理工艺[J]. 金属热处理，2010，35(2): 73-76.

[6] 猴侠. 磨料三维多层可控排布电镀砂轮的若干研究[D]. 大连: 大连理工大学.

[7] Zhao Q F, Wang T Y, Wang J, et al. Template-directed hydrothermal synthesis of hydroxyapatite as a drug delivery system for the poorly water-soluble drug credible [J]. Applied Surface Science, 2011.257(23): 10126-10133.

[8] Li Y, Wang C L, Wang R S. The thermal stress analysis and structure optimum of neck tube with vertical cryogenic insulated cylinders based on ANSYS [J]. Nuclear Engineering and Design, 2012 (252): 144-152.

技术资料邮购

《铸造抗磨产品实用生产技术集》

《铸造抗磨产品实用生产技术集》本书由李德臣教授级高工编著。 共8章： 1、关于锰钢生产技术；2、球墨铸铁与蠕墨铸铁生产技术；3、抗磨产品生产技术；4、锤头生产技术；5、消失模、V法生产技术；6、典型铸件的生产技术；7、还原罐生产技术；8、关于企业管理。全书22万字。特快专递邮购价：98元。

邮购咨询：李巧凤　　电话/传真：029-83222071