

改进等离子弧焊 + 氩弧焊组合焊工艺 在油脂设备中的应用

刘玉阳^{1,2}, 王国栋^{1,2}, 黄永娜^{1,2}, 张春鹏^{1,2}, 褚洪俊^{1,2},
孙杰男^{1,2}, 赵树超^{1,2}, 姚俊双^{1,2}

(1. 山东凯斯达机械制造有限公司, 山东 济宁 272000; 2. 济宁市机械设计研究院有限公司, 山东 济宁 272000)

摘要:奥氏体不锈钢在油脂设备中应用广泛,为高效、低成本地获得稳定、高质量的奥氏体不锈钢焊缝,在等离子弧焊 + 氩弧焊(PAW + TIG)组合焊基础上,提出PAW填丝打底焊 + TIG脉冲盖面焊的改进PAW + TIG组合焊工艺,以5 mm厚的S30408不锈钢为例进行焊接试验,通过无损检测、拉伸试验、弯曲试验对焊缝进行检测,并梳理了改进PAW + TIG组合焊工艺实施要素。结果表明,改进PAW + TIG组合焊焊缝的外观良好,未出现焊接变形,各项性能满足工艺要求,焊接速度提升明显。采用该工艺对不锈钢进行焊接能延长油脂设备使用寿命,有效降低工程项目的消耗指标。

关键词:等离子弧焊 + 氩弧焊;改进工艺;油脂设备;焊接速度;S30408

中图分类号:TQ647;P755.1 文献标识码:B 文章编号:1003-7969(2023)08-0149-04

Application of improved PAW + TIG combined welding process in oils and fats equipment

LIU Yuyang^{1,2}, WANG Guodong^{1,2}, HUANG Yongna^{1,2}, ZHANG Chunpeng^{1,2},
CHU Hongjun^{1,2}, SUN Jienan^{1,2}, ZHAO Shuchao^{1,2}, YAO Junshuang^{1,2}

(1. Shandong Chemsta Machinery Manufacturing Co., Ltd., Jining 272000, Shandong, China;
2. Jining Machinery Design and Research Institute Co., Ltd., Jining 272000, Shandong, China)

Abstract: Austenitic stainless steel is widely used in oils and fats equipment. In order to obtain stable and high-quality austenitic stainless steel welds with high efficiency and low cost, on the basis of combined plasma arc welding (PAW) + tungsten inert gas (TIG) welding, the improved PAW + TIG combined welding process of PAW backing welding with filler wire + TIG pulsed welding to cover weld face was put forward. The S30408 stainless steel with 5 mm thickness was taken as an example for welding test, and the weld was tested by non-destructive test, tensile test and bending test. In addition the implementation factors of improved PAW + TIG combined welding process were summarized. The results showed that the appearance of the weld obtained by the improved PAW + TIG combined welding process was good with no welding deformation, the performance met the requirements of the process, and the welding speed was effectively improved. Applying the welding process to weld stainless steel could extend the life of oils and fats equipment and effectively reduce consumption indicators of engineering projects.

Key words: PAW + TIG; improved process; oils and fats equipment; welding speed; S30408

收稿日期:2022-05-05;修回日期:2023-03-31

作者简介:刘玉阳(1968),男,高级工程师,主要从事压力容器制造检验及油脂加工、化工设备制造安装研究(E-mail) 1477293132@qq.com。

通信作者:褚洪俊,高级工程师,硕士(E-mail) 41368134@qq.com。

为适应我国对食品安全及节能降耗的要求,如何使用新材料延长设备使用寿命,如何研制新工艺实现节能降耗,保障油脂质量是目前油脂设备制造企业面临的系列问题^[1]。奥氏体不锈钢因其耐酸碱耐腐蚀,能有效延长油脂设备的使用寿命,在花生油、玉米油及各种小品种油加工和蛋白深加工等成

套设备制造中被广泛应用。由于存在线膨胀系数大和导热系数小的特点,奥氏体不锈钢在焊接过程中易出现较大焊接变形,使用时会出现应力腐蚀开裂等现象,同时存在因热输入过高而导致晶粒粗大,韧性降低等问题。如何高效、低成本地获得稳定、高质量的奥氏体不锈钢焊缝成为亟待解决的问题。

等离子弧焊(Plasma arc welding, PAW)和氩弧焊(Tungsten inert gas, TIG)是常用的两种焊接方法,其中:PAW能量密度高,具有熔深大、热影响区小、焊接效率高、焊后变形小等优点,但也存在参数匹配复杂、容易出现咬边等缺点;而TIG虽然焊接效率一般,但电弧稳定,能形成良好的焊缝外观。在实际生产中,对蒸发器、冷凝器及各种储罐筒体纵缝和环缝焊接时,为充分利用两种焊接方法的优点,将PAW焊枪和TIG焊枪通过可移动滑架组合在一起,实现PAW+TIG组合焊。该焊接系统可双枪同时使用,也可单枪分别使用。先用PAW进行打底焊,再用TIG在PAW表面进行盖面,既可减小焊接应力又可形成美观的焊缝表面。PAW+TIG组合焊可对不开坡口的8 mm不锈钢实现一次单面焊双面成形,热影响区小,PAW打底焊焊缝的晶粒更细^[2]。PAW+TIG组合焊的焊接接头也具有优良的力学性能,其抗拉强度能达到700 MPa,焊缝及热影响区冲击吸收能量在20℃下能达到200 J以上^[3]。

目前,PAW+TIG组合焊普遍采用的是PAW不填丝、TIG填丝焊^[4],焊接速度在200~250 mm/min,焊接效率相对较低。PAW填丝打底焊能保证加丝后熔透、焊接速度不降低,焊后熔池饱满且不高于母材;TIG脉冲盖面焊因不填丝既提高了焊接速度又改善了外观质量。因此,为了进一步提高PAW+TIG组合焊的焊接效率,提出了PAW填丝打底焊+TIG脉冲盖面焊(改进PAW+TIG组合焊)工艺,并进行了工艺试验和实践,以供同行参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

厚度5 mm的S30408钢板,剪板下料尺寸为300 mm×150 mm×5 mm,数量为2块,300 mm为焊道方向,坡口为I型,间隙0~0.2 mm,错边量控制

在0.5 mm以内。 Φ 1.2 mm的S308不锈钢焊丝。S30408钢板及S308焊丝化学成分见表1。

表1 S30408钢板及S308焊丝化学成分 %

元素	S30408 钢板	S308 焊丝
C	0.05	0.034
Si	0.49	0.57
Mn	1.18	1.96
P	0.03	0.02
S	0.001	0.012
Cr	18.08	19.60
Ni	8.01	9.56

PLA-WEL 501D焊机,HPT500A等离子自动焊枪,该焊枪主要由上枪体、下枪体、喷嘴等部分组成,其中:上枪体有夹持并冷却钨极、对钨极导电以及调节钨极的对中与内缩长度等作用;下枪体具有冷却喷嘴、输送等离子气和保护气、对喷嘴导电等作用;三孔扩散式铜质水冷压缩喷嘴,喷嘴孔径为 Φ 2.8 mm;钨极直径 Φ 4.0 mm,锥形顶端到工件约6 mm,其内缩量为1.5 mm。

PT-501CP型焊机,WP-27自动TIG焊枪,焊枪采用内置水冷方式,集水、电、气管于一体,主要由枪体、钨极夹、分流器、陶瓷喷嘴、钨极等组成,使用10#喷嘴,钨极直径为 Φ 4.0 mm。

1.2 试验方法

1.2.1 焊接试验

通过近几年焊接实践及多次焊接试验得出,PAW填丝焊能有效控制焊接余高,消除咬边,但是会增加熔宽。TIG脉冲频率3Hz,改进PAW+TIG组合焊工艺焊接速度能达到400 mm/min,焊接效率较常规焊法,即PAW不填丝打底焊和TIG填丝盖面焊,提高60%。在焊接过程中,Ar中加入3%~5%的H₂可以提高等离子电弧能量密度、湿润性及熔池流动性以加大熔深。H₂将焊道周围的空气燃烧以保护焊道,H₂是还原性气体,能使焊缝表面更光滑,呈现银白色外观^[5]。焊接时避免氩弧摆幅焊接,防止焊道过宽。

与材料厚度相匹配的改进PAW+TIG组合焊工艺参数、焊接用气体种类及流量分别见表2和表3。

表2 改进PAW+TIG组合焊工艺参数

层次	焊接方法	填充金属		焊接电流		焊接速度/ (mm/min)	送丝速度/ (mm/min)
		型号	直径/mm	极性	电流/A		
填充	PAW	S308	1.2	直流正接	210	400	800
盖面	TIG	-	-	直流正接	基值 170 峰值 230	400	-

表3 PAW + TIG 组合焊焊接用气体种类及流量

气体作用	气体组成(质量分数)	流量/(L/min)
等离子气	97% Ar + 3% H ₂	3
PAW 焊枪保护气	97% Ar + 3% H ₂	25
TIG 焊枪保护气	97% Ar + 3% H ₂	20
拖罩保护气	99.99% Ar	20
背面保护气(PAW)	99.99% Ar	20

1.2.2 无损检测、拉伸试验及弯曲试验

按照 NB/T 47013—2015 进行无损检测,按照 GB/T 228.1—2021 进行拉伸试验,按照 GB/T 2653—2008 进行弯曲试验。

2 结果与分析

2.1 焊接试验

本次焊接试验所得的焊缝,余高控制在 0.5 mm 以下。PAW 填丝打底焊(背面)和 TIG 脉冲盖面焊(正面)分别见图 1 和图 2。由图 1 可知,PAW 填丝打底焊焊缝较窄,背面成型较正面粗糙,因小孔效应作用有“滴”状痕迹,因采用纯 Ar 保护造成焊缝及热影响区表面部分呈蓝色。由图 2 可知,TIG 脉冲盖面焊焊缝较宽,整体呈银白色,鱼鳞波纹细密,焊道宽度为 7 mm,焊缝表面光滑整齐,熔合线清晰。焊接试板平整,两面未出现焊接变形。

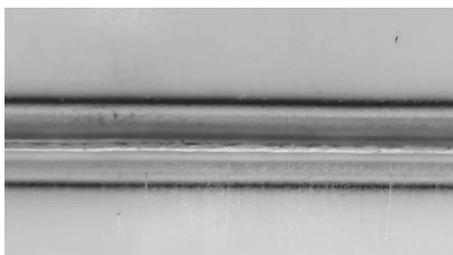


图1 PAW 填丝打底焊(背面)

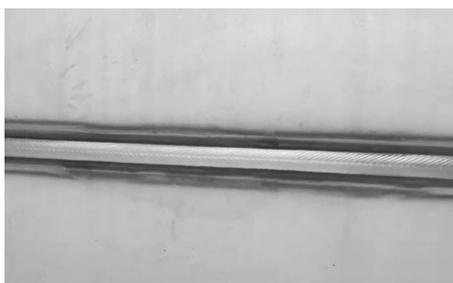


图2 TIG 脉冲盖面焊(正面)

2.2 无损检测

目视检测未发现飞溅、咬边、未焊透等表面缺陷。焊缝双面经着色渗透检测,未发现裂纹、气孔等开口型缺陷。对该试验焊缝进行 100% 的 AB 级射线检测,未发现任何缺陷,评片级别为 I 级,焊缝内部质量良好(见图 3)。

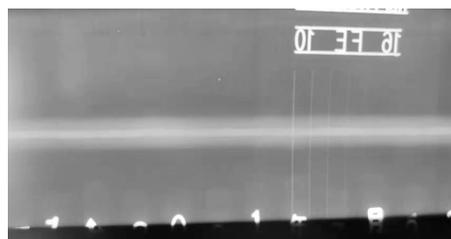


图3 试验焊缝射线检测底片图像

2.3 力学试验

焊接接头拉伸试验结果见表 4。

表4 焊接接头拉伸试验结果

试样编号	拉伸类型	抗拉强度/MPa	断裂位置	断裂特征
1	横向	659	母材	韧断
2	横向	650	母材	韧断

由表 4 可知,两个拉伸试样均为韧断,且断口在远离焊缝的母材处,该焊接接头抗拉强度分别为 659 MPa 和 650 MPa,远高于母材(S30408)抗拉强度下限值(520 MPa),其抗拉强度符合要求。

试验焊接接头 2 个面弯和 2 个背弯试样经弯心半径 20 mm、弯曲角度 180°的试验后,4 个试样的拉伸面上的焊缝及热影响区均未发现任何缺欠,其弯曲性能合格。

2.4 工艺实施要素与应用

2.4.1 工艺实施要素

改进 PAW + TIG 组合焊工艺较为复杂,各项焊接参数相辅相成,要根据焊道实际成型适当调整焊接参数。焊接速度除了与焊接电流、气体流量相匹配外,在实际焊接过程中,还应注意以下几点。

(1)PAW 选择合适的喷嘴。焊接速度与其他参数的匹配密切相关,尤其是电流密度起着至关重要的作用。电流密度由焊接电流大小及喷嘴孔径决定。只有焊接电流大小与喷嘴孔径配合,得到适合的电流密度,才能提高该工艺的焊接速度。相同焊接条件下,喷嘴孔径越小,电弧温度越高^[6]。例如:3 mm 厚的 S30408 纵缝焊接推荐用 $\Phi 3.0$ mm 的喷嘴,环缝焊接推荐用 $\Phi 2.5$ mm 的喷嘴。喷嘴型式的选择也很重要,三孔扩散式比单孔的喷嘴可提高 30% ~ 40% 的焊接速度。

(2)PAW 选择合适钨极内缩量。增加钨极内缩量可提高焊接速度,但是增强双电弧倾向导致电弧不稳定。钨极内缩量过高不易起弧,影响钨极寿命,内缩量过小会引起短路,无法起弧,焊接速度降低,电弧不稳定,也会影响钨极寿命。

(3)等离子气体加入少量 H₂ 可增加热效率,提

高焊接速度,但比例不宜过高,以防止发生氢脆;良好的冷却水系统及采用高频率变频式焊接电源等方式都可以提高焊接速度。

2.4.2 产品应用及反馈

某油脂加工项目的分水组合柜,材质为 S30408,壁厚 6 mm,尺寸为 $\Phi 2\ 200\ \text{mm} \times 7\ 200\ \text{mm}$,其用途是储存溶剂,对密封性能要求高,6 条环缝、5 条纵缝均采用改进 PAW + TIG 组合焊工艺,其中 2 条与封头对接的环缝无背保。分水组合柜整体焊缝外观优良,呈银白或金黄色(见图 4),耐压试验一次通过,未发现任何泄漏。



图 4 分水组合柜

在近几年应用产品中,改进 PAW + TIG 组合焊焊缝外观基本上呈银白色或金黄色,少量呈蓝色。焊缝宽度基本一致,焊缝质量稳定,射线检测一次合格率在 99.5% 以上。产品耐压试验尚未发现因改进 PAW + TIG 组合焊焊缝产生的泄漏情况。

根据资料测算,在特定工艺条件下,PAW + TIG 组合焊工艺是埋弧焊(SAW)焊接效率的 2 倍^[7],是 PAW 的 1.3 倍,是 TIG 的 5 ~ 7 倍^[8],PAW + TIG 组合焊经济效益特别明显。从 2018 年开始,改进 PAW + TIG 组合焊工艺被广泛应用于多套醇法制取大豆浓缩蛋白(SPC)及分离蛋白(SPI)设备制造中,在大豆油和花生油浸出、精炼生产线中也得到广泛应用,其蒸汽消耗、乙醇消耗等指标均有所下降。4 万 t/a 饲料级 SPC 项目,改进 PAW + TIG 组合焊工艺应用前后消耗指标对比如表 5 所示^[9]。

表 5 饲料级 SPC 项目主要消耗指标

项目	汽耗/(kg/t)	95%乙醇消耗/(kg/t)
应用前(2016年)	1 500	6
应用后(2020年)	960	4

3 结论

(1)改进 PAW + TIG 组合焊工艺,先用 PAW 进行填丝打底焊,再用 TIG 在 PAW 表面进行脉冲盖

面,可以实现稳定高效的单面焊双面成型,焊接效率是常规 PAW + TIG 组合焊的 1.6 倍,能获得良好的力学性能,满足使用要求。射线检测一次合格率高,产品耐压试验尚未发现因改进 PAW + TIG 组合焊焊缝产生的泄漏情况。

(2)采用改进 PAW + TIG 组合焊工艺的实施要素包括在焊接电流设置合理的情况下,PAW 选择合适的喷嘴及钨极内缩量,在等离子气中加入适量 H_2 ,保持良好的冷却水系统,采用高频率变频式焊接电源等。

(3)使用改进 PAW + TIG 组合焊工艺制备的 SPC 成套设备能有效降低消耗指标。

合理工艺参数匹配困难和小孔稳定性差限制着改进 PAW + TIG 组合焊焊接工艺的推广,特别是随着钢板厚度的增加,小孔的稳定性变差会导致焊接接头出现缺陷。如何拓宽改进 PAW + TIG 组合焊工艺的应用范围是下一步需要解决的问题。

参考文献:

- [1] 王瑞元. 我国油脂机械制造业的创新发展[J]. 中国油脂,2021,46(1):1-4.
- [2] 王锡岭,左松,许祥平. 不锈钢 PAW + GTAW 组合焊接头微观组织与性能研究[J]. 焊接技术,2016,45(5):123-125.
- [3] LIU K, LIY, WANG J. Microstructure and low-temperature mechanical properties of 304 stainless steel joints by PAW + GTAW combined welding[J]. J Mater Eng Perform, 2016,25(10):4561-4573.
- [4] 许晓晗. 焊接热输入对 304 不锈钢薄板 PAW + TIG 组合焊及应变强化接头组织性能的影响[D]. 济南:山东大学,2019.
- [5] 曹润平,王克勇,齐勇田. 316L 不锈钢 PAW - TIG 复合焊接的研究[J]. 兵器材料科学与工程,2019,42(6):29-33.
- [6] 毛志伟,钟庆飞,周少玲,等. 喷嘴孔径对等离子弧焊影响的数值分析[J]. 热加工工艺,2016,45(7):200-202,206.
- [7] 姚永. 12 mm 不锈钢 PAW - TIG 工艺应用[J]. 现代焊接,2016(2):48-51.
- [8] 张永祥,范林豪,陶彦文,等. 薄壁不锈钢容器 P+T 焊接技术研究及应用[J]. 中国化工装备,2019,21(5):23-26.
- [9] 林凤岩,伊晓丽,郭兴凤,等. 醇法制备大豆浓缩蛋白大型智能化成套装备技术开发及产业化[J]. 中国油脂,2020,45(4):28-31.