

ER307Si 实心焊丝在罐箱异种钢焊接中的应用

闻 晋

(大明重工有限公司 江苏 泰州 214500)

摘要: 随着罐箱的需求量不断增加,从降本增效等角度考虑,有必要寻求国产焊丝来替代进口 E309LT0-4 焊丝。本文介绍了大参数高速度异种钢焊接承压焊缝,用国产实心焊丝替代进口药芯焊丝的试验及用于批量生产的成熟工艺的过程。生产实际表明,使用国产 ER307Si 实心焊丝有较大的降本增效效果,值得在罐箱领域广泛推广使用。并且其他产品焊材替代流程也可借鉴使用此种焊材替代的流程。

关键词: 罐箱; 连接圈; 异种钢; 焊丝替代; 批量试验

0 引言

我国是冷链需求大国,海运冷链服务网络发达,冷藏集装箱运输航线遍布全球。海运冷藏集装箱运输是我国进口冷链食品运输的最主要方式,与人们日益增长的高品质生活需求息息相关^[1]。推进海运冷藏集装箱运输高质量发展,是扩大高品质市场供给、保障食品产品安全、提高人民生活水平、构建现代物流和流通体系的有效手段。罐式集装箱的需求量呈几何倍数地增长。近年来,我国海运冷藏集装箱运输快速发展,我国进口冷链货物 80% 以上通过海运,沿海港口冷藏箱吞吐量近三年年均增长率达 10% 以上,保持快速增长态势,冷藏箱海运服务网络不断拓展,运输组织模式不断优化,冷藏集装箱智能化水平和港口堆场供电堆存能力不断提升^[2]。罐箱的需求量不断增加,并不断用于各个有温度要求产品的运输储藏。

1 焊材替代的需求

罐箱制造行业不断地优化现有工艺,适应客户的各种需求。连接圈作为连接框架与罐体的承压部件,与框架焊缝一直是制造厂家的研究难题。罐箱结构如图 1 所示。

连接圈一般为奥氏体不锈钢(304L/316L),框架材料为耐候钢 SPA-H,焊缝为异种钢角焊缝。连接圈在罐箱运输过程中承受了大部分罐体启/停时的冲击力^[3],所以其对焊缝质量要求很高。行业中一般采用进口 E309LT0-4 焊丝焊接,国产 E309LT0-4 焊丝

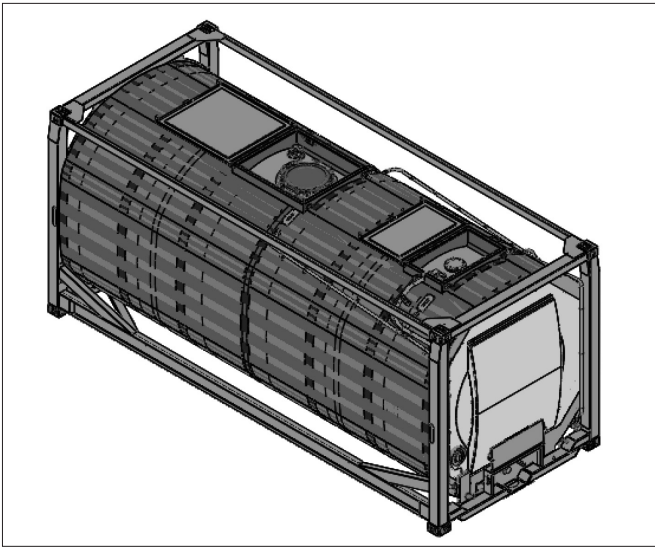


图 1 罐箱

一般很难满足高速焊接的成型和力学性能要求。行业中一般采用日本神钢品牌的焊丝,其价格为国产焊丝的 2.5 倍。从降本增效及国产品替代等角度考虑,罐箱焊接有寻求更经济焊材替代的需求。

2 挑选焊丝进行试验

对替代进口 E309LT0-4 焊丝的焊接工艺验证进行了多种焊丝对比及相应的试验。焊材的选择需要满足:(1) 等强匹配;(2) 化学成分相近。本焊缝是异种钢接头,因此还需要考虑焊缝的防腐要求。

为找到合适的焊丝,经过查阅板材、焊材及焊接标准,咨询焊材厂家后进行焊接试验。本文从某公司合格供应商名录中选取了几个品牌焊材的几种牌

号焊材进行了试板焊接(模拟 2m 直径的整圈角焊缝,焊脚约 8mm),试板烧焊结果见表 1。

根据以上试验得出:

(1) ER309LSi 焊丝成型不稳定,易产生裂纹、连续气孔,受天气影响也较大,不能批量使用。国产药芯焊丝只能使用小电流小电压焊接,参数偏大后成型很差,参数改小后,熔不开,生产效率低下,不适合流水作业。准备暂时放弃 ER309LSi 和国产药芯焊丝 E309LT0-4 试验。后续可以通过改进焊机、改善焊材配方来进一步研究此方案。

(2) ER307Si 焊丝的焊工可操作性、效率及表面成型不如 ER309LSi 焊丝,但抗裂性及气孔有明显改善。后续可与供应商进行技术交流,改善可操作性,并对焊丝批量稳定性、熔敷金属强度进一步进行试验。

通过与 ER307Si 供应商厂家技术人员进行交流,提出了焊后的成型、焊接时铁水的流动性较差等问题,并提出在标准允许范围内改变部分微量元素的配比。在厂家力学性能测试通过后,对新的焊材进行进一步试验。

3 对 ER307Si 实心焊丝进行进一步试验

3.1 焊丝介绍

ER307Si 焊丝适用于防弹钢板、核潜艇等无磁场所,也可用于难焊易开裂的异种钢焊接。

其主要成分是 18% Cr-8% Ni-6% Mn,熔敷金属机械性能良好,焊接工艺性能良好。焊接使用气体是 98% Ar+2% O₂,气体流量为 20 ~ 25L/min^[4]。

3.2 焊接工艺评定制作

母材: S30408+SPA-H, 500mm × 150mm × 2 块;板厚: 6mm;对接坡口如下: 双边 30° 对接坡口,钝边 2mm,间隙 0 ~ 1mm。焊接参数见表 2。

3.3 焊接成型

焊接采用双面焊成型,正面焊接 2 道,反面打磨清根后,盖面再焊接 1 道。通过这次焊接试板,焊接技师反馈,此焊丝的可操作性有了显著提高,并且飞溅较少。在保证焊接速度的前提下,焊接成型有了很大的改善。

3.4 焊缝无损检测和理化试验

焊缝在经过探伤房进行了内部 RT 及表面 PT 检测合格后,转下道工序,即理化试验。按照 ASME 第 IV 卷加工标准试样,拉伸、弯曲、-40℃ 冲击试验(焊缝区及碳钢侧热影响区),其中,拉伸抗拉强度: 532MPa、548MPa;焊缝区冲击(-40℃): 31.3J/29.3J/39.6J;热影响区冲击(-40℃) SPA-H 侧: 39.8J/43.7J/48.8J,符合 2017 版 ASME 第 IX 卷标准要求及材料标准要求,形成了合格的理化报告。检验检测结果如图 2 所示。

根据理化报告出具 PQR 文件,并编制 WPS 工艺指导车间现场焊接。

3.5 角接试板

工艺评定合格后,对此焊丝进行角焊缝试验(图 3)。母材: S30408+SPA-H, 500mm × 150mm × 4 块;板厚: 6mm;不开坡口。焊接位置: 横焊、立焊各一副试板。焊完后进行宏观金相检测,察看接头熔深,焊缝接头熔深在 1 ~ 2mm 之间。角焊缝试验合格^[5]。

表 1 试验结果

母材	焊丝牌号	气体	试验结果	原因分析	备注
304+SPA-H	ER309LSi 合资品牌	98% Ar+2% O ₂	有弧坑裂纹且小部分裂纹	焊丝抗裂性较差	
304+SPA-H	ER309LSi 合资品牌	98% Ar+2% O ₂	弧裂纹有所改善,其他部位出现小面积裂纹	气体氧化性太强,焊接参数偏大	
304+SPA-H	ER309LSi 国产品牌	98% Ar+2% CO ₂	出现两长短裂纹	天气、焊丝稳定性等因素影响	焊接时飞溅较大且多
304+SPA-H	ER307Si 国产品牌	98% Ar+2% O ₂	未出现裂纹、气孔	成型较差	焊接时飞溅较大且多
304+SPA-H	ER307Si 合资品牌	98% Ar+2% O ₂	无明显缺陷	成型一般	焊接性能有所改善
304+SPA-H	E309LT0-4 国产品牌	50% CO ₂ +50% Ar	成型较差且出现一处裂纹	此焊丝无法适应高速焊接	

表 2 焊接参数

项目	具体参数	项目	具体参数
焊接位置	平焊	预热温度 /℃	10
电流 /A	250 ~ 280	电压 /V	26 ~ 30
焊材	ER307Si φ 1.0	焊接速度 / (cm/min)	30 ~ 50
金属过渡形式	熔滴过渡	层间温度 /℃	150

3.6 样箱试验

经过对接和角焊缝试验评定后，需要进行样箱试验。

选取 1 台 7K 样箱，如图 4 所示，试焊 ER307Si 焊丝。根据 WPS 选取合适的参数，施焊后 100% 目视检测，焊缝成型良好。100% PT 检测，无表面缺陷。此箱进行铁路冲击试验，冲击试验合格后继续 100% PT 检测合格，无缺陷。

3.7 小批量产品试验

经过对接和角焊缝试验评定后，除了样箱试验，还需要进行批量性试验。

6 台小批量箱子使用 ER307Si 焊丝，成型良好。PT 检验执行 ASME VIII -1 附录 8 标准合格。并对此批箱子进行了铁路冲击试验且全部合格通过。



检 验 检 测 结 果

INSPECTION AND TEST RESULT(S)

No.(2019)YJWJ04230

共 2 页 第 2 页 (Page 2 of 2)

序号 No.	检验项目 Test Item	单位 Unit	技术要求 Requirement	检验结果 Test Result	单项评价 Judgment	检测标准 Test Method
1	抗拉强度 R_m Tensile Strength	MPa	—	532; 548	—	ASME IX- 2017 QW- 150
	断裂位置 Location of Fracture	%	—	热影响区Heat Affected Zone (SPA-H侧Side) 初 性断裂Ductile fracture; 热影响区Heat Affected Zone (SPA-H侧Side) 初 性断裂Ductile fracture	—	
2	冲击吸收能量 KV_2 Impact Energy (-40℃) (5×10×55mm)	焊缝 Weld Metal	J	—	单个值Single Value: 31.3; 29.3; 38.6 平均值Average Value: 33.1	ASME IX- 2017 QW- 170
		热影响区 Heat Affected Zone (SPA- H侧Side)	J	—	单个值Single Value: 39.8; 43.7; 48.8 平均值Average Value: 44.1	ASTM A370- 2017
3	弯曲试验 Bend Test	—	—	2件面弯试样和2件背弯试 样,弯心直径为4倍弯曲试样 厚度(24mm),冷弯180°,4 件试样弯曲部位的外表面未 发现裂纹。Two face-bend specimens and two root- bend specimens were bent around a former with diameter four times of its thickness(40mm) and the bend angle of 180°.No cracks were detected on the surface of bending parts of the four specimens.	—	ASME IX- 2017 QW- 160
备 注 Note		—				

——以下空白 End of Report——

图 2 检验检测结果



图3 角焊峰



图4 样箱

此批箱子在厂内空地静置 3 个月后检查焊缝的防腐效果良好。经过与客户及第三方技术交流后，此工艺得到认可，并开始逐步在大批量产品上推广使用，大大节约了焊材成本。在此工艺成熟后，会继续向完全国产品牌焊材替代方向继续深入研究，改善成型，进一步降本增效。

4 结语

经过一年的时间，从前期在合格供应商内广泛地选取焊材，到中间经过大量试验数据，锁定小批量的部分焊材，与焊材厂家交流，在符合标准不降

低力学性能的情况下，更改焊材微量元素配方。从焊接对接和角接试板，焊接仿产品结构试板，做焊接工艺评定，小批量产品试验，做箱体冲击试验，到形成成熟的焊接工艺应用到生产，这个过程是漫长的。

但在此工艺大批量推广后，按照每台箱子平均 2.5kg 焊材来计算，最终每台箱子降本约 100 元，按照每班 20 台产量计算，可降本 2000 元/班。应用 ER307Si 焊丝有较大的降本增效效果，值得在罐箱领域广泛推广使用，并且此种焊材替代的流程也可在其他产品焊材替代流程中借鉴使用。

参考文献：

[1] ASME 锅炉及压力容器焊接分会. ASME IX 焊接、钎接和粘接评定: ASME IX 2017[S]. 北京: 中国石化出版社, 2017:9.

[2] ASME 锅炉及压力容器焊接分会. ASME II 材料 A 篇 铁基材料: ASME II 2013[S]. 北京: 中国石化出版社, 2013:6.

化出版社, 2013:6.

[3] ASME 锅炉及压力容器焊接分会. ASME II 材料 C 篇 焊条、焊丝及填充金属: ASME II 2013[S]. 北京: 中国石化出版社, 2017:6.

[4] 张应立, 周玉华. 焊接材料手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2020:78.

[5] 李皓, 韩丽梅, 周俊兰. ER307Si 盘条高速拉拔焊丝生产工艺改进 [J]. 金属制品, 2022, 48(02):10-15.

作者简介: 闻晋 (1988.09-), 男, 汉族, 江苏靖江人, 本科, 工程师, 研究方向: 机械焊接。