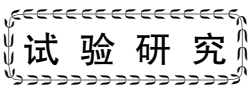


doi:10.3969/j.issn.1001-4837.2022.11.004



分离器筒体镍基 C276 带极埋弧堆焊工艺研究及应用

刘鸿彦,孙修圣,杜永勤,李卫华

(南京宝色股份公司 技术中心,南京 211178)

摘要:采用带极埋弧堆焊对 SA302 Gr. B 试板进行镍基合金 C276 堆焊工艺评定,依照 NB/T 47014 及技术协议要求对堆焊层的弯曲、硬度、化学成分及耐蚀性能指标进行了检测,试验结果表明,选用型号为 EQNiCrMo-3/NSAS3-50BS 的焊带/焊剂组合进行过渡层堆焊, EQNiCrMo-4/ES A-FB 2B 的焊带/焊剂组合进行耐蚀层堆焊,可以获得性能优良的堆焊层,焊道成型平整。按照 ASTM G28 A 法对耐蚀层焊态试样与固溶态试样进行腐蚀率检测,结果分别为 9.76、7.55 mm/a,满足技术协议对腐蚀率比值 ≤ 1.5 及 JB/T 4756 对腐蚀率 ≤ 12 mm/a 的要求。根据焊接工艺评定制定焊接工艺规程,对分离器筒体内壁进行 EQNiCrMo-3+EQNiCrMo-4 带极堆焊,采用纵向压道方式进行,通过工装约束、分区对称施焊以及预热、热处理等工艺措施,筒体堆焊变形得以控制,产品的堆焊质量得以保证。

关键词:分离器;筒体内壁;镍基合金;纵向堆焊;带极埋弧堆焊

中图分类号:TH49;TG455

文献标志码:A

Study and application of nickel-base C276 SAW strip surfacing technology for separator cylinder

LIU Hongyan, SUN Xiusheng, DU Yongqin, LI Weihua

(Nanjing Baose Co., Ltd., Technical Center, Nanjing 211178, China)

Abstract: The nickel-base alloy C276 surfacing process of SA302 Gr. B test plate was evaluated by submerged arc electrode surfacing machine. The bending, hardness, chemical composition and corrosion resistance of surfacing layer were tested according to NB/T 47014 and technical agreement requirements. The test results show that the surfacing layer has excellent performance and the weld beads were formed smoothly when EQNiCrMo-3/NSAS3-50BS and EQNiCrMo-4/ES A-FB 2B were selected for the transition layer surfacing and the corrosion resistant layer surfacing. The corrosion rate of as-welded and as-solutioned specimens of corrosion resistant layer were detected according to ASTM G28 A. The results were 9.76 mm/a and 7.55 mm/a respectively, which meet the requirements of technical agreement for corrosion rate ratio ≤ 1.5 and JB/T 4756 for corrosion rate ≤ 12 mm/a. The welding procedure was formulated to guide the strip surfacing of inner wall of separator cylinder according to the surface procedure qualification. The EQNiCrMo-3+EQNiCrMo-4 surfacing were performed in a longitudinal way. Surfacing deformation of the separator cylinder was controlled and product surfacing quality was guaranteed by technological measures such as tooling constraint, zone symmetric welding, preheating and heat treatment.

Key words: separator; cylinder inner wall; nickel-base alloy; longitudinal surfacing; submerged arc strip surfacing

0 引言

随着我国石化工程行业的迅速发展,高压、高温、腐蚀条件下服役的容器设备越来越多,为降低容器的原材料成本,通常采用强度型低合金钢或

耐热型低合金钢作为基层,保证容器的耐压强度;采用不锈钢、镍、钛、锆等作为复层,保证容器的耐腐蚀性能。目前,业内主要采用两种方式进行设计,一种是采用复合板^[1-3],工程上常见复层厚度为 2.5~5 mm;另一种则是采用堆焊的形式,将

镍、铜或不锈钢焊材堆焊熔敷到基层材料上,常见于堆焊层厚度 ≥ 6 mm、且不宜通过爆炸复合进行制备的情况^[4-5]。本文研究的是承制的某三聚氰胺节能改造项目中的分离器设备,该设备主体部件采用堆焊的形式制作。

分离器的主筒体材料为 SA302 Gr. B,筒体长度为 2 920 mm,直径为 $\varnothing 1 224$ mm,厚度为 52 mm,图样要求整个筒体内壁堆焊至少 12 mm 与 C276 材料性能相当的复层。因堆焊量较大,采用焊条电弧焊或自动氩弧堆焊的方式,制造成本太高,故采用带极堆焊的形式进行整个内壁的堆焊,以提高焊接效率、降低焊工劳动强度。受筒体直径限制,如果采用环向连续堆焊,焊工较难

在筒体内部进行渣壳的清理,本文对筒体纵向带极堆焊的堆焊工艺进行研究,以保证大熔覆镍基纵向堆焊筒体变形及堆焊质量,为产品的制造提供参考。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

SA302 Gr. B 属于压力容器用锰钼合金钢板,常用于锅炉、电站、石化等行业相关容器及部件的制作,在高温服役温度条件下,具有较好的力学性能,450 °C 时的抗拉强度仍能达 500 MPa。试验用堆焊试板的供货状态为正火 + 回火,试板的化学成分如表 1 所示。

表 1 母材的化学成分

Tab. 1 Chemical composition of base metal

牌号	C	Si	Mn	P	S	Alt	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb	V	Ti	B
SA302 Gr. B	0.15	0.21	1.32	0.01	0.002 7	0.02	0.05	0.03	0.08	0.49	0.001	0.002	0.001	0.000 05

镍基合金具有出色的耐点腐蚀、缝隙腐蚀和应力腐蚀开裂性能,在氧化和还原状态下,对大多数腐蚀介质都具有优异的耐腐蚀性能。本文需堆焊的 C276 复层尤其适合在高温、混有杂质的无机酸和有机酸、海水腐蚀环境中使用。试板堆焊过渡层采用 EQNiCrMo - 3/NSAS3 - 50BS 焊带/焊

剂组合,耐蚀层采用 EQNiCrMo - 4/ES A - FB 2B 焊带/焊剂组合,焊带规格 0.5 mm \times 60 mm,符合 ASME BPVC II, SFA - 5.14 标准要求;NSAS3 - 50BS 为埋弧型焊剂,符合 EN 760 标准要求,ES A - FB 2B 为电渣型焊剂,符合 EN ISO 14174 要求。具体焊材质量证明书成分见表 2~4。

表 2 过渡层焊带化学成分

Tab. 2 Chemical composition of transition layer welding strip

牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	Fe	Ti	Nb + Ta	Other
EQNiCrMo - 3	0.011	0.06	0.001	0.001	0.001	22.6	8.8	64	0.01	0.1	0.15	0.22	3.6	<0.5
Weld Deposit	0.03	0.41	0.036	0.003	0.004	22.52	8.55	—	0.013	0.048	1.14	<0.005	—	—

表 3 耐蚀层焊带化学成分

Tab. 3 Chemical composition of corrosion resistant layer welding strip

牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	W	Cu	Co	Al	Nb	Fe
EQNiCrMo - 4	0.006	0.04	0.4	0.001	0.002	16	16.5	Rem	0.15	3.5	0.02	0.6	0.2	0.05	4.5

表 4 耐蚀层焊剂化学成分

Tab. 4 Chemical composition of corrosion resistant

layer welding flux

牌号	CaF ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO + MgO	K ₂ O + Na ₂ O	FeO + MnO
ES A - FB 2B	30	20	6	50	2	3

1.2 焊接方法及设备

本项目采用带极埋弧堆焊方法进行,堆焊方式为纵向压道堆焊。此套带极堆焊装置经改进后同时集成了带极埋弧堆焊和带极电渣堆焊的功能,可以根据工艺需要进行堆焊方式的切换,系统中弧焊电源采用 DC1500 型,焊接系统如图 1 所

示,试板堆焊时机头结构如图 2 所示。



图 1 带极堆焊弧焊系统

Fig. 1 Strip surfacing arc welding system



图2 带极堆焊机头结构

Fig. 2 Machine head of strip surfacing equipment

1.3 焊接工艺评定

1.3.1 焊前准备

SA302 Gr. B 焊接试板的尺寸为 600 mm × 300 mm × 25 mm。堆焊前,将试板表面的铁锈抛磨去除,露出金属光泽,并按 NB/T 47013.4—2015 对待堆焊表面进行 100% MT(磁粉)检测,确认 I 级合格。

1.3.2 预热及层温

根据表 1 中母材化学成分可知,SA302 Gr. B 锰钼钢属于低合金钢,参考国际焊接学会推荐适用于碳钢和低合金高强钢的碳当量计算公式^[6],SA302 Gr. B 的碳当量 $CE = 0.52\%$,通常低合金高强钢在 $CE > 0.5\%$ 时,材料易淬硬,焊接性变差。根据计算可知,SA302 Gr. B 锰钼钢的焊接具有一定的淬硬倾向,NB/T 47015—2011《压力容

器焊接规程》中对抗拉强度大于 490 MPa 的锰钼钢类材料的焊接也推荐进行预热处理。为保证过渡层熔敷金属与锰钼钢基层的堆焊结合强度及质量,堆焊前对试板进行 $\geq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的预热,以减缓冷却速度,减小出现淬硬倾向。对镍基合金而言,在材料焊接过程中,熔敷金属的粗晶倾向和热裂纹倾向相对较大,带极埋弧施焊时,焊接电流及熔覆率比丝极埋弧更大,为保证熔敷金属的组织性能,控制过渡层堆焊的道间温度 $\leq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$,耐蚀层堆焊的层、道间温度 $\leq 120\text{ }^{\circ}\text{C}$,以获得高耐蚀性能的堆焊层。

1.3.3 堆焊工艺

堆焊前,对焊剂进行 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干 2 h,调整机头的方向,使带宽方向与十字架前进方向垂直,实现对工艺评定试板进行纵向压道堆焊,堆焊的焊层/焊道如图 3 所示,堆焊工艺参数如表 5 所示。

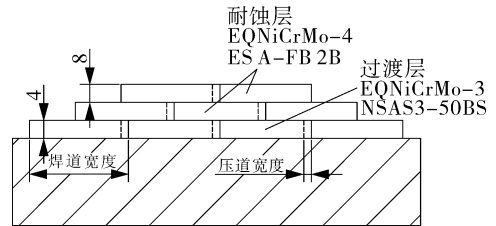


图3 试板堆焊层次示意

Fig. 3 Schematic diagram of surfacing layer of test plate

表5 带极堆焊焊接工艺参数

Tab. 5 Welding process parameters of strip surfacing

焊层	焊接方法	焊接方式	压道宽度/mm	填充金属		焊接电流/A		电弧电压/V	焊接速度/ $\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$	线能量/ $\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-1}$
				型号	焊带规格/mm	极性	峰值			
过渡层	SAW	纵向压道	6~10	EQNiCrMo-3 NSAS3-50BS	0.5 × 60	DCEP	700~800	26~30	14~18	≤ 1.02
耐蚀层	SAW	纵向压道	6~10	EQNiCrMo-4 ESA-FB2B	0.5 × 60	DCEP	800~900	28~32	15~21	≤ 1.15

根据前期试验情况,因机头未加装磁控装置,在过渡层纵向堆焊时,熔池流动性差,在压道的边缘容易产出轻微咬边情况,为改善成型,在过渡层堆焊时,将试板进行轻微倾斜,使熔池在重力作用下适当增加熔池流动,以补偿压道边缘熔覆金属补充不足出现的咬边问题。根据经验,倾斜角度宜控制在 5° 以内,角度过大会出现稀释增大、压道根部产生夹渣、焊道平整性差等问题^[7-9]。

过渡层堆焊完成后,立即将试板放入电加热炉中进行过渡层的焊后热处理,热处理温度为

$620\text{ }^{\circ}\text{C}$,热处理保温时间为 5 h。热处理完成后,对过渡层表面进行清理后,再进行耐蚀层堆焊,耐蚀层堆焊时,无需预热,在室温下堆焊即可。图 4 示出过渡层热处理后堆焊层表面形貌,图 5 示出耐蚀层堆焊后堆焊层表面形貌,焊道表面均出现不同程度蓝色的回火色。图 4 的过渡层表面发蓝主要是在经过热处理过程中,过渡层发生了热处理氧化,使焊道表面出现回火色;图 5 主要是在焊接过程中焊剂脱渣性良好,熔池凝固后渣壳自行翻起,氧化性气氛与焊道表面接触,因焊道表面温度较高,而发生氧化,出现氧化色。

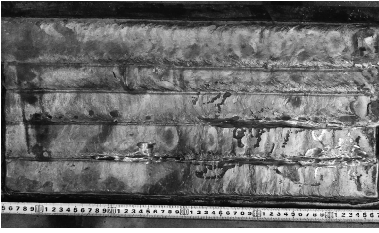


图4 试板过渡层热处理后外观

Fig. 4 Transition layer of test plate after heat treatment



图5 试板耐蚀层堆焊后实物

Fig. 5 Corrosion resistant layer of test plate after surfacing

2 试验结果

2.1 无损检测

对堆焊层进行外观检测,在表面未发现肉眼可见缺陷,焊缝成型较好,压道边缘过渡圆滑。按 NB/T 47013.5—2015 对堆焊层表面进行 100% 渗透检测(PT), I 级合格,按 NB/T 47013.3—2015

对堆焊层缺陷和不贴合度进行 100% 超声(UT)检测,结果 I 级合格。

2.2 弯曲性能检测

根据标准及技术协议要求对试板进行弯曲性能检测,检测结果见表 6。图 6 示出试板弯曲后的试样。

侧弯试样在保留基层及堆焊层的全厚度尺寸下进行,即基层 $\delta 25$ mm + 堆焊层 $\delta 12$ mm,横向和纵向试样各 2 件,图 6(a)中上面 2 件为横向试样,下面 2 件为纵向试样,其中仅有 1 件横向弯曲试样中堆焊层受弯面出现一处约 0.5 mm 的开口缺陷;大侧弯试样以堆焊层表面为基准,加工基层使总厚度尺寸为 $\delta 30$ mm(即基层 $\delta 18$ mm + 堆焊层 $\delta 12$ mm),横向和纵向试样各 2 件,图 6(b)中上面 2 件为横向试样,下面 2 件为纵向试样,其中也有 1 件横向弯曲试样中堆焊层受弯面出现一处约 1.0 mm 的开口缺陷;小侧弯试样是同时加工基层和堆焊层,使总厚度尺寸为 $\delta 13$ mm(即基层 $\delta 8$ mm + 堆焊层 $\delta 5$ mm),4 件小侧弯试样均为横向,试样未出现开口缺陷。按焊接工艺评定准则及客户技术协议要求,堆焊层弯曲检测结果判定为合格,堆焊层具有较好的塑、韧性。

表 6 堆焊试板弯曲试验结果

Tab. 6 Bending test results of surfacing test plate

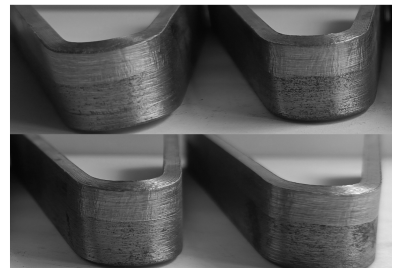
编号	试样类型	试样厚度/mm	弯心直径/mm	弯曲角度/(°)	试样数量	结果
L-1~2	横向侧弯	10	40	180	2	合格
L-3~4	纵向侧弯	10	40	180	2	合格
L-5~6	横向大侧弯	10	40	180	2	合格
L-7~8	纵向大侧弯	10	40	180	2	合格
L-9~12	横向小侧弯	3	12	180	4	合格



(a)侧弯试样



(b)大侧弯试样



(c)小侧弯试样

图 6 试验后的弯曲试样

Fig. 6 Picture of specimens after bending test

2.3 硬度检测

按图 7 所示的堆焊硬度检测压痕导线对堆焊试样进行硬度测试,堆焊截面按 15° 斜角线进行

维氏硬度(HV10)检测。基层检测 3 个点,分别在距离结合面下方 4,3,2 mm 处进行;过渡层检测 3 个点,分别在距离结合面上方 1,2,3 mm 处进

行;耐蚀层堆焊 2 层,每一层分别检测 3 个点,且 3 个点之间垂直间隔 1 mm。堆焊表面加工见平后同样按 15°斜角线进行洛氏硬度(HRC)检测,检测结果见表 7,满足技术协议 HRC 不大于 22 的要求。

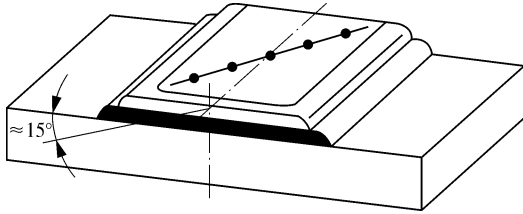


图 7 堆焊硬度检测位置

Fig. 7 Hardness test location of surfacing specimen

表 7 硬度检测结果

Tab. 7 Hardness test results of surfacing plate

编号	基层 (HV10)	过渡层 (HV10)	耐蚀层 (HV10)	堆焊表面 (HRC)
L-13	223, 233, 224	231, 216, 221	241, 231, 232, 225, 214, 223	15.5, 16.0, 15.0, 15.5, 14.4

2.4 金相检测

对堆焊试板进行金相解剖检查,剖切试样沿焊道纵向进行,剖切面取在焊道压道的搭接处,试

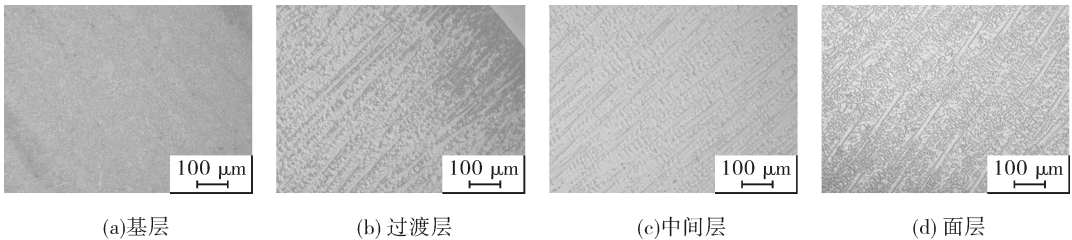


图 9 堆焊截面显微组织形貌

Fig. 9 Microscopic morphology of surfacing section

2.5 化学成分检测

对堆焊的耐蚀层取样进行化学成分检测,取样位置以堆焊层表面为基准,向下 2.5 mm 处取样检测标记为 H_1 ,向下 3.5 mm 处取样检测标记为 H_2 ,检测结果见表 8, H_1, H_2 处合金元素成分均

表 8 堆焊层化学成分

Tab. 8 Chemical composition of surfacing layer

编号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	W	Cu	Co	Fe	其他
H_1	0.009	0.24	0.39	0.004	0.003	15.39	15.20	Rem	0.13	3.35	0.03	0.22	6.5	<0.5
H_2	0.01	0.34	0.35	0.002	0.005	15.54	15.86	Rem	0.09	3.35	0.05	0.12	7.0	<0.5

2.6 耐蚀性能检测

根据技术协议要求,对堆焊层的耐蚀性能进行晶间腐蚀敏感性检验。按 ASTM G28A 要求制

样保留全厚度的堆焊层,沿纵向切取长度 200 mm,检测的宏观金相如图 8 所示。可以清晰地观察到基层、过渡层及耐蚀层之间的熔合线,焊层厚度均匀,无气孔、夹渣、未熔合等缺陷,10 倍放大镜观察未发现层下裂纹。对横截面进行微观金相检测,结果如图 9 所示。基层微观组织为珠光体及铁素体,有少量析出的碳化物;过渡层右上角为熔合区,过渡层呈柱状晶特征,在过渡层热处理作用下,大量碳化物析出在熔合线附近形成宽窄不一的聚集区;面层及中间层均呈现典型的镍基合金焊态组织形貌,为奥氏体柱状树枝晶及颗粒状碳化物,碳化物分布弥散,因堆焊过程中的碳迁移及扩散,中间层的碳化物稍多。微观金相检测未发现显微缺陷,组织正常。

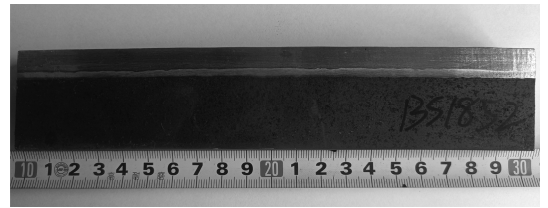


图 8 堆焊截面宏观形貌

Fig. 8 Macroscopic morphology of surfacing section

符合 ASME BPVC II, SFA - 5. 14 中对 EQNiCrMo - 4 焊带化学成分的要求,但 Si 含量比焊带中稍有增加,主要原因为焊带/焊剂组合后的堆焊焊接时,焊剂中的 SiO_2 在熔池内发生冶金反应过渡至堆焊层金属中。

备检测试样 2 件,标记为 F_1 和 F_2 ,试样尺寸为 30 mm × 20 mm × 4 mm,其中 F_2 试样在试验前须经实验室进行固溶处理。将 F_1, F_2 试样置于盛有

硫酸铁 - 50% 硫酸试剂的器皿中,加热试剂并保持微沸腾状态,试样进行 24 h 连续腐蚀,检测的腐蚀率结果见表 9。可以看出, F_1 试样与 F_2 试样

的比值为 1.29,满足技术协议对腐蚀率比值 ≤ 1.5 的要求, F_1 、 F_2 试样的腐蚀率分别为 9.76、7.55 mm/a,满足标准对腐蚀率 ≤ 12 mm/a 的要求。

表 9 耐蚀性能检测结果

Tab.9 Test results of corrosion resistance

编号	试样状态	试剂	腐蚀时间/h	腐蚀率/(mm·a ⁻¹)	试验标准
F_1	焊态	硫酸铁 - 50% 硫酸	24	9.76	ASTM G28A - 02
F_2	固溶态	硫酸铁 - 50% 硫酸	24	7.55	ASTM G28A - 02

3 分离器筒体堆焊要点

上文的带极堆焊工艺评定为分离器筒体内壁 EQNiCrMo - 3 + EQNiCrMo - 4 的堆焊提供了工艺指导。根据分离器筒体尺寸,对内壁采用纵向堆焊方式,可在筒体外部操作清理渣壳,减轻劳动强度。由于纵向堆焊与环形堆焊不同,环形堆焊方式在圆周方向螺旋进行,变形均匀,可以更好地控制椭圆度^[10-11],而纵向堆焊时,周向上非连续性施焊,焊接变形情况不一致,需按堆焊角度方位,在直径方向做到交替对称施焊,从而控制焊接变形。

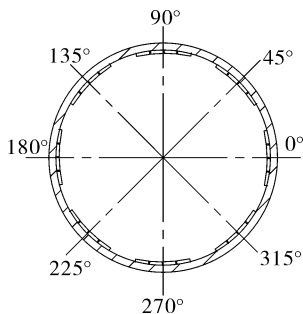


图 10 堆焊顺序角度

Fig.10 Angle diagram of surfacing sequence

为保证筒体堆焊质量,制定如下纵向堆焊控制要点:(1)提前清理内部的油污铁锈,并确认表面状态无母材缺陷;(2)过渡层堆焊时,将筒体置于电加热炉内进行整体预热,保证预热温度 ≥ 120 °C,并保证在工位堆焊前温度 ≥ 80 °C;(3)在筒体两端焊接固定工装圈,控制焊接变形,并在筒体下方设置火焰加热工装,防止堆焊过程中预热温度降低;(4)按图 10 对筒体进行角度标记分区,堆焊时,将每个堆焊角度转动至最低点,每个角度堆焊 4 道,然后在该角度的对称角度上依次堆焊 4 道,划分堆焊区域的角度顺序为 $270^\circ \rightarrow 90^\circ \rightarrow 0^\circ \rightarrow 180^\circ \rightarrow 45^\circ \rightarrow 225^\circ \rightarrow 135^\circ \rightarrow 315^\circ \rightarrow \dots$,按此顺序对称交替压道施焊;(5)过渡层堆焊后立即进行热处理,考虑到筒体 SA302 Gr. B 的

厚度,制定热处理工艺为 (620 ± 10) °C/2.1 h;(6)耐蚀层堆焊顺序与过渡层一致,且保证后一层焊道与前一层交错 1/2 焊道宽度。按照以上控制要点完成分离器筒体的内壁堆焊工作,堆焊质量合格,满足验收要求,图 11 示出过渡层堆焊时过程,图 12 示出耐蚀层堆焊完成后筒体内壁整体形貌。目前该整套分离器装置已在现场服役近三年,运行过程稳定,质量可靠。

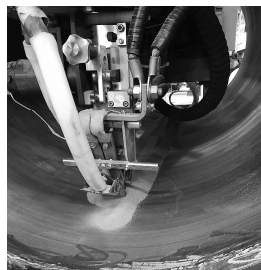


图 11 过渡层堆焊过程

Fig.11 Process diagram of transition layer surfacing

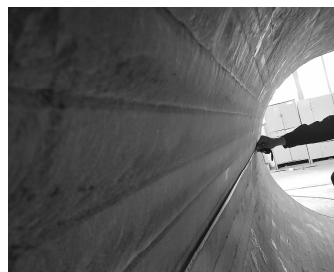


图 12 耐蚀层堆焊后筒体内壁形貌

Fig.12 Morphology of cylinder inner wall after surfacing of corrosion resistant layer

4 结论

(1)以厚度 25 mm 的 SA302 Gr. B 锰钼钢作为基板,选用 EQNiCrMo - 3/NSAS3 - 50BS 作为过渡层,EQNiCrMo - 4/ES A - FB 2B 作为耐蚀层,进行 0.5 mm × 60 mm 镍基带极埋弧堆焊工艺研究,依据 NB/T 47014—2011 承压设备焊接工艺

评定准则及技术协议要求对试板进行取样检测,堆焊层焊道成型平整,堆焊层的塑、韧性较好,耐蚀层化学成分及腐蚀性能满足要求。

(2)对分离器筒体进行纵向堆焊,通过防变形工装约束及分区角度堆焊顺序的合理设置,结合对称压道施焊,控制了筒体纵向堆焊的变形量,制定预热、道间温度及热处理制度要求,保证了堆焊质量。

(3)按文中拟定的工艺规范及技术要点完成了分离器筒体内壁的堆焊,产品顺利制造完成,目前在现场已稳定运行近三年。

参考文献:

- [1] 李晓亮. 爆炸冶金 Q245R + N08825 复合板焊接技术研究[J]. 热加工工艺, 2021, 50(23): 154 - 158.
LI Xiaoliang. Study on welding technology for explosive metallurgy Q245R + N08825 composite plate[J]. Hot Working Technology, 2021, 50(23): 154 - 158.
- [2] 聂运威, 王奎. 国内首创最大复合板球罐制造焊接工艺与质量控制[J]. 特种设备安全技术, 2022(2): 58 - 62.
NIE Yunwei, WANG Kui. Welding process and quality control of domestic largest composite plate spherical tank[J]. Safety Technology of Special Equipment, 2022(2): 58 - 62.
- [3] 单多, 李宏雷, 张征. 我国不锈钢复合板卷的发展研究现状[J]. 云南冶金, 2021, 50(5): 79 - 87.
SHAN Duo, LI Honglei, ZHANG Zheng. Development and research status of stainless composite plate roll in China[J]. Yunnan Metallurgy, 2021, 50(5): 79 - 87.
- [4] 张继亮, 朱莎莎, 陈恺, 等. 哈氏合金 C276 带极电渣堆焊工艺在 PTA 反应器上的应用[J]. 大型铸锻件, 2021(6): 19 - 21.
ZHANG Jiliang, ZHU Shasha, CHEN Kai, et al. Application of hastelloy C276 electroslag build-up welding process with electrode in PTA reactor[J]. Heavy Casting and Forging, 2021(6): 19 - 21.
- [5] 冯伟, 邹力维, 韩宇, 等. 堆焊工艺对镍基 276 带极堆焊晶间腐蚀的影响规律[J]. 压力容器, 2021, 38(3): 25 - 30.
FENG Wei, ZOU Liwei, HAN Yu, et al. Influence rules of surfacing process on intergranular corrosion properties of nickel-based 276 strip surfacing[J]. Pressure Vessel Technology, 2021, 38(3): 25 - 30.
- [6] 陈祝年. 焊接工程师手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
CHEN Zhunian. Welding engineer manual[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [7] 吴瑞萍, 唐波涛, 王天先, 等. 工件倾斜角度堆焊对不锈钢带极堆焊工艺的影响[J]. 压力容器, 2020, 37(1): 74 - 78.
WU Ruiping, TANG Botao, WANG Tianxian, et al. Effect of tilting angle overlaying of workpiece on stainless steel strip electrode surfacing process[J]. Pressure Vessel Technology, 2020, 37(1): 74 - 78.
- [8] 王永贵, 吴铮, 杭维明, 等. 焊轮在电阻焊制罐机中的应用[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(2): 69 - 71.
WANG Yonggui, WU Zheng, HANG Weiming, et al. The application of welding rollers in electric resistance welding machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2015, 33(2): 69 - 71.
- [9] 廖国平. 核电站稳压器封头带极埋弧堆焊工艺技术[J]. 压力容器, 2008, 25(5): 21 - 25.
LIAO Guoping. Strip cladding procedure of head for pressurizer[J]. Pressure Vessel Technology, 2008, 25(5): 21 - 25.
- [10] 邓自亮, 吴林涛, 席建立. 三聚氰胺最终反应器关键制造工艺研究[J]. 压力容器, 2020, 37(6): 72 - 78.
DENG Ziliang, WU Lintao, XI Jianli. Study on the key manufacturing process of melamine finishing reactor[J]. Pressure Vessel Technology, 2020, 37(6): 72 - 78.
- [11] 刘宝剑, 孙靖东, 王毅, 等. 90mm 宽带极单层电渣堆焊在加氢反应器的应用[C]//第十届全国压力容器学术会议论文集. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2021: 900 - 906.
LIU Baojian, SUN Jingdong, WANG Yi, et al. Application of monolayer strip electroslag surfacing in hydrogenation reactor with 90mm strip[C]//Proceedings of the 10th National Conference on Pressure Vessels. Hefei: Hefei University of Technology Press, 2021: 900 - 906.

作者简介: 刘鸿彦(1971), 男, 高级工程师, 主要从事压力容器设计及制造技术工作, 通信地址: 211178 江苏省南京市江宁区景明大街 15 号南京宝色股份公司, E-mail: lhy@baose.com。

本文引用格式:

- 刘鸿彦, 孙修圣, 杜永勤, 等. 分离器筒体镍基 C276 带极埋弧堆焊工艺研究及应用[J]. 压力容器, 2022, 39(11): 22 - 28.
LIU Hongyan, SUN Xiusheng, DU Yongqin, et al. Study and application of nickel-base C276 SAW strip surfacing technology for separator cylinder[J]. Pressure Vessel Technology, 2022, 39(11): 22 - 28.