

12Cr2Mo1 锻件带极埋弧堆焊 Inconel625 工艺研究

湛立宁^{1, 2*}, 陈敏^{1, 2}, 卢俊文^{1, 2}, 周璐璐^{1, 2}, 吴婷^{1, 2}, 王肖逸^{1, 2}

(1. 河北省特种设备监督检验研究院, 河北 石家庄 050061;
2. 河北省承压设备检测评价技术创新中心, 河北 石家庄 050061)

摘要: 为保证 12Cr2Mo1 锻件带极埋弧堆焊 Inconel625 质量达到设计文件要求, 对锻件基材和 Inconel625 焊接性能进行了分析, 模拟承制产品实际生产状态进行堆焊工艺评定试验, 采用周向堆焊和直道堆焊相结合的方法制备评定试件, 对堆焊层化学成分、弯曲性能、硬度指标、金相组织、耐腐蚀性能进行了检测。试验结果表明, 采用 EQ62-50/ES200 的焊带/焊剂组合可以获得性能优良的堆焊层。对堆焊层进行腐蚀速率检测, 其焊态试样腐蚀速率为 1.50 mm/a, 固溶态试样腐蚀速率为 1.17 mm/a, 两者之比为 1.28, 满足 JB/T 4756—2006 标准规定比值小于或等于 1.5 的要求。根据评定合格的焊接工艺对热高分气/循环氢换热器管板进行了堆焊, 堆焊产品已稳定运行三年, 未出现焊接缺陷和腐蚀缺陷。

关键词: 12Cr2Mo1; Inconel625; 换热器管板; 带级埋弧堆焊; 腐蚀试验

中图分类号: TG 445

文献标志码: A

文章编号: 1009-3281(2024)01-0024-007

12Cr2Mo1 是一种低合金钢, 具有较好的抗蠕变、抗氢腐蚀性能, 常用于压力容器制造, 是锻焊式加氢反应器和换热器的主体材料。例如热高分气/循环氢换热器, 其壳程介质为循环氢, 材质可选用 12Cr2Mo1R 和 12Cr2Mo1 锻件; 管程介质为含有硫化氢、氯化氢的热高分气, 设备材质具有氯离子腐蚀风险^[1], 一般选用镍含量大于 50% 的镍基合金。由于镍基合金造价较高, 通常采用复合材料, 或者采用满足强度要求的碳钢、低合金钢作为基材, 在基材表面堆焊耐腐蚀合金的方法^[2]。12Cr2Mo1 锻件常用于加氢换热器管板基材使用, 而镍基合金 Inconel625 是堆焊防腐层理想材料之一, 它具有良好的耐氯离子和硫化氢腐蚀性能^[3], 且能够保持良好的高温机械性能。滕敏^[4]对高压空冷器 Q345R 碳钢管板上堆焊 Inconel625 工艺进行了研究, 制造出了合格的堆焊管板; 王东丽^[5]研究制定了预加氢换热器 16Mn 管板堆焊 Inconel625 工艺方案, 产品质量达到了设计要求; 孙佳孝^[6]进行了 15CrMoG 膜式水冷壁表面堆焊 Inconel625 成形工艺试验, 采用熔化极气体保护焊获得了成型良好的堆焊层。在加氢裂化高压设备

12Cr2Mo1 锻件上双层堆焊 (E309L+E347) 应用较多, 换热器管板 12Cr2Mo1 锻件带级埋弧堆焊 Inconel625 鲜见报道。本文以加氢换热器制造监检实例为背景, 探讨分析了 12Cr2Mo1 锻件管板带级堆焊 Inconel625 工艺技术和控制要点, 可供其他压力容器制造单位作为技术参考。

1 设备概况

某三类压力容器制造单位承接了 1 台高压加氢换热器, 是加氢裂化工艺的热高分气/循环氢换热器, 设计压力为壳程 19.9 MPa/管程 17.9 MPa, 设计温度 300 °C, 壳体材质 12Cr2Mo1R, 管板材质 12Cr2Mo1 (IV) + 堆焊 Inconel625, 堆焊厚度 7~9 mm, 加工成型厚度 6 mm, 换热管材质 Incoloy825, 型号为 UNS N08825, 换热器管板直径 $\Phi 1\ 500$ mm, 管板厚度 227 mm, 热高分气/循环氢换热器本体结构如图 1

收稿日期: 2023-05-19

作者简介: 湛立宁 (1984—), 男, 本科, 高级工程师。主要从事压力管道、压力容器等特种设备检验工作。

通讯作者简介: 湛立宁, E-mail: 442417190@qq.com。

所示。在 12Cr2Mo1 锻件上堆焊 Inconel625 合金无制造先例, 为此进行了焊接工艺评定试验。

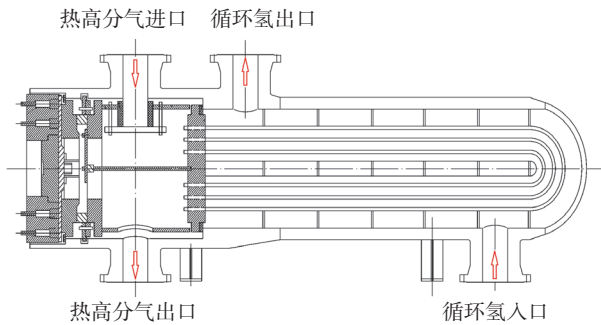


图 1 热高分气/循环氢换热器本体结构

Fig.1 Structure of the hot high separation gas/circulating hydrogen heat exchanger body

2 试验材料及方法

2.1 试验材料

2.1.1 化学成分

换热器管板基材为 12Cr2Mo1 (IV) 锻件, 为模拟管板堆焊实际操作状况, 选用 12Cr2Mo1 (IV) 锻件余料加工堆焊试件, 其规格尺寸为 1 000 mm × 1 000 mm × 30 mm, 基材化学成分如表 1 所示。

堆焊焊带选用 EQ62-50 (符合 AWS A5.14M 的 EQNiCrMo-3), 规格为 0.5 mm × 60 mm, 镍基合金焊带应控制 S 含量小于 0.03%, P 含量小于 0.04% (质量分数), 以便减少低熔点共晶物的生成, Al、Ti 元素能起到脱氧作用, 从而减小焊接热裂纹形成概率;

表 1 基材化学成分

Table 1 Chemical composition of substrate

牌号	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
12Cr2Mo1	0.13	0.30	0.40	0.009	0.012	2.30	0.20	0.13	0.95

为减小 CO 引起气孔产生概率, 应控制 C 含量小于 0.03% (质量分数)^[7], EQ62-50 焊带化学成分如表 2 所示, 其抗拉强度 R_m 为 830 MPa, 屈服强度 R_{eL} 为

415 MPa。焊剂选用 ES200 型碱性氟化物烧结焊剂, ES200 焊剂化学成分如表 3 所示。

表 2 焊带化学成分

Table 2 chemical composition of welding strip

牌号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Nb	Fe	Cu	Ti	Al
EQ62-50	0.016	0.04	0.09	0.001	0.003	22.1	余量	8.7	3.6	0.22	0.10	0.21	0.19

表 3 焊剂化学成分

Table 3 Chemical composition of flux

牌号	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Nb	Fe	Ti
ES200	0.023	3.50	0.240	0.010	0.02	18.1	余量	3.60	12.5	0.050

2.1.2 焊接性能

作为一种优良的镍基合金材料, 与普通碳钢或低合金钢相比, Inconel625 在焊接成型时, 更容易出现焊接热裂纹、气孔、夹渣等缺陷。材质中硫、磷元素可以在熔敷金属中形成低熔点共晶物, 并以液态膜形式存在, 液态膜在金属凝固时易产生裂纹。由于液态 Inconel625 金属流动性差, 堆焊产生的气体不易挥发, 液态金属凝固前无法析出, 在堆焊层形成气孔。在液态金属凝固过程中, 合金元素向液体中扩散, 极易形成金属中间相组织; 氧化镍可以在堆焊层形成夹渣, 从而降低焊缝力学性能、耐腐

蚀性能^[8]。

2.2 焊接方法

带极埋弧堆焊、带极电渣堆焊均是较成熟的堆焊工艺, 由于 12Cr2Mo1 (IV) 管板锻件直径和壁厚均较大, 堆焊时散热效果较差, 容易产生堆焊裂纹。带极电渣堆焊的优点是熔深均匀、不易产生咬边缺陷, 但是堆焊线能量较大, 熔敷金属在高温区停留时间较长, 更容易产生焊接热裂纹^[9]。带极埋弧堆焊工艺具有焊接线能量较小、熔敷效率高且成型好等优点, 故在 12Cr2Mo1 (IV) 管板锻件上采用带极埋弧堆焊工艺。

2.3 焊接工艺试验

2.3.1 焊前准备

堆焊前将焊剂在 350℃ 下烘干 2 h, 堆焊的操作环境应防止铁离子污染, 堆焊前打磨消除试件表面的铁锈, 使堆焊基材表面露出金属光泽, 并对基材表面磁粉探伤, 检测比例 100%, 按 NB/T 47013.4—2015 评定标准 I 级合格。且施焊前对基材金属进行预热, 预热温度为 80~100℃, 以便降低温差应力, 减小焊接热裂纹产生概率。

2.3.2 带级埋弧堆焊工艺

在 12Cr2Mo1 (IV) 锻件上带极堆焊 Inconel625 无成熟经验可参考, 为此进行了大量的堆焊试验, 并对小试试件进行各项焊接性能检测, 不断优化堆焊

电流、电压、焊速等参数, 最终形成了最优工艺参数, 表 4 为带级埋弧堆焊 Inconel625 工艺参数。其中堆焊电流与熔敷金属稀释率成正比, 随着堆焊电流增大, 焊带送进速度、金属熔深也相应增大, 堆焊层变厚的同时也使焊道成形变差。堆焊电压保持在 30~35 V 之间, 便可获得成型良好的堆焊层, 如果堆焊电压过高将导致熔池稳定性差, 堆焊电压过低, 容易引起短路, 导致焊带与母材粘连。堆焊速度在 160~180 mm/min 为宜, 焊速直接影响着稀释率、堆焊层成形质量, 随着焊速增大, 稀释率变大, 堆焊层变薄, 容易形成咬边。每层焊道间适宜搭接量为 5~9 mm, 焊带干伸长度应在 20~30 mm 范围内, 并控制层间温度 ≤ 100 °C^[10]。

表 4 带极埋弧堆焊 Inconel625 工艺参数

Table 4 Process parameters of strip submerged arc surfacing Inconel625

堆焊层	电流 /A	电压 /V	焊速 / (cm · min ⁻¹)	搭接 /mm	干伸长度 L/mm	线能量 / (kJ · cm ⁻¹)
第 1 层	800~900	26~30	16~18	8	20~30	≤ 1.02
第 2 层	750~850	28~32	16~18	8	20~30	≤ 1.15

2.3.3 直道埋弧堆焊试验

施焊时, 将管板固定在可以恒速旋转的变位机上, 采用由外向内的周向逐圈堆焊方式, 每圈起点应错开, 当管板堆焊直径减小到旋转线速度小于焊接速度时, 应停止埋弧自动焊, 改用手工直焊道方式堆焊剩余面积的管板, 但是手工堆焊较难保证焊接质量, 尤其与自动焊搭接位置容易出现焊接缺陷, 为此进行直道埋弧堆焊试验^[11]。

周向堆焊时, 应使用铝基无铁砂轮清理待焊表面, 每条焊道堆焊完毕, 应清理焊道表面的熔渣, 将搭接处打磨光滑, 使之与焊道平齐。每层焊道堆焊方向与上一层相反, 可以减小管板的受热变形, 释放上一层堆焊层残余内应力, 下层焊道的起弧部位应与母材圆滑过渡, 剩余堆焊面积直径为 $\phi 300$ mm 时改为直道堆焊。

直道堆焊时, 使用十字臂操作架控制堆焊机头进行焊接, 直焊道与其搭接的周向焊道应圆滑过渡, 以确保两层焊道平稳搭接, 直道堆焊从两外侧向圆心处相向进行, 最后采用盖面焊连接两侧焊道, 焊道间搭接量为 5~9 mm, 直道堆焊顺序如图 2 所示, 周向堆焊与直道堆焊共同焊完一层并无损检测合格后, 应进行 400 °C × 4 h 的热处理, 以便消除焊接热应力, 堆焊全部完成后还应进行 600~620 °C 消应力热处理,

保温时间 1 h^[12]。

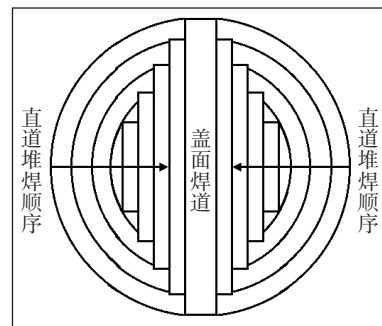


图 2 直道堆焊顺序图

Fig.2 Sequence diagram of straight bead welding

3 试验结果及讨论

3.1 堆焊层化学成分

为化验堆焊层熔敷金属化学成分, 在堆焊层打磨去除 0.5 mm 表层后, 在从打磨面向下 2.5 mm 处取样分析其化学成分, 在堆焊中心直焊道的取样标记为 H₁, 在周向焊道的取样标记为 H₂, 熔敷金属化学成分如表 5 所示, 符合 ASME BPVC II, SFA-5.14 对 EQNiCrMo-3 焊带化学成分的要求。

3.2 无损检测

在换热器管板实际堆焊和试件堆焊过程中, 每

分析项目	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Nb	Fe	Cu
标准值	≤ 0.05	≤ 1.0	≤ 0.75	≤ 0.02	≤ 0.03	20~23	≥ 58	8~10	3.15~4.15	≤ 7.0	≤ 0.5
H ₁ 分析值	0.017	0.12	0.21	0.001	0.003	21.8	61.8	8.68	3.55	3.21	0.04
H ₂ 分析值	0.01	0.16	0.23	0.002	0.004	22.1	61.5	8.79	3.75	3.35	0.04

完成一层堆焊后, 经 100% 超声检测、100% 渗透检测合格, 方可堆焊下一层; 焊接试件的双层堆焊完成后, 堆焊层表面未见气孔、夹渣、裂纹等宏观缺陷, 机加工后超声波测厚数据为 7 mm, 符合设计图样要求。堆焊层表面经 100% 渗透检测 (PT), 按 NB/T 47013.5—2015 标准 I 级合格; 经 100% 超声检测 (UT), 按 NB/T 47013.3—2015 标准 I 级合格。

3.3 弯曲性能检测

依据 NB/T 47014—2011 标准和产品技术协议要求, 制取大侧弯试样 4 个, 其中横向和纵向试样各 2 个, 试样尺寸以堆焊层表面为基准加工, 制成厚度 25 mm 的试样 (基层 18 mm+ 堆焊层 7 mm), 取样位置如图 3 所示, 尽量包含直道堆焊与周向堆焊搭接位置, 大侧弯试样如图 4a 所示。在周向堆焊层最外侧焊道制取小侧弯试样, 纵向和横向试样各制取 2 个, 制取厚度为 12 mm (基层 7 mm+ 堆焊层 5 mm), 小侧弯试样如图 4b 所示。

其中一个横向大侧弯试样堆焊层受弯面出现一处 0.5 mm 的开口缺陷, 其他试样未见开口缺陷, 未见夹层和凸起现象, 满足 GB/T 2653—2008 标准中弯曲试件上不得有大于 3 mm 开口缺陷的要求, 堆焊层具有良好韧性, 侧弯试验结果如表 6 所示。

3.4 硬度检测

采用 HV-5SPA 型维氏硬度测试仪, 进行显微硬度检测, 该检测方法压痕直径很小, 检测痕迹无法用肉眼辨别, 对试样基本上无破坏, 硬度检测位置如图 5 所示。

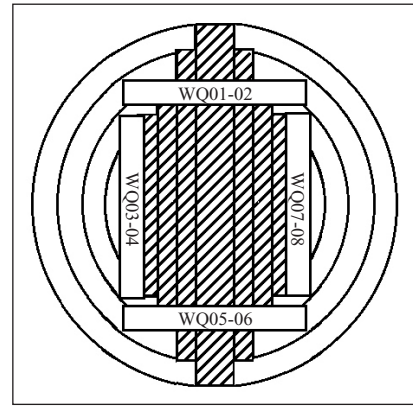


图 3 大侧弯试件取样位置

Fig.3 Sampling location of large side bend specimens



a. 大侧弯试样 b. 小侧弯试样

图 4 弯曲试样外观

Fig.4 Appearance of bent specimens

在垂直于直焊道方向截取试件, 对堆焊层、基层侧面进行硬度检测, 沿着与基材平面成 45° 的斜角线分布测点, 基层检测 3 点, 分布在基层平面下方 2 mm、3 mm、4 mm 位置, 第一层堆焊层检测 3 点, 分布在基层平面上方 1 mm、2 mm、3 mm 位置, 第二层堆焊层检测 3 点, 分布在堆焊层成型表面下方 1 mm、2 mm、3 mm 位置, 堆焊层表面机加工见平后,

编号	试样类型	试样数量	试样厚度 /mm	弯心直径 /mm	弯曲角度 / (°)	试验结果
WQ 01~02	横向大侧弯	2	25	40	180	合格
WQ 03~04	纵向大侧弯	2	25	40	180	合格
WQ 05~06	横向小侧弯	2	13	12	180	合格
WQ 07~08	纵向小侧弯	2	13	12	180	合格

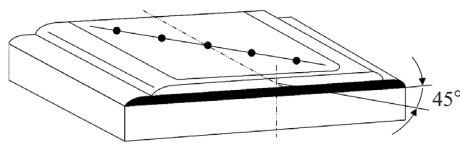


图 5 硬度检测位置

Fig.5 Hardness testing location

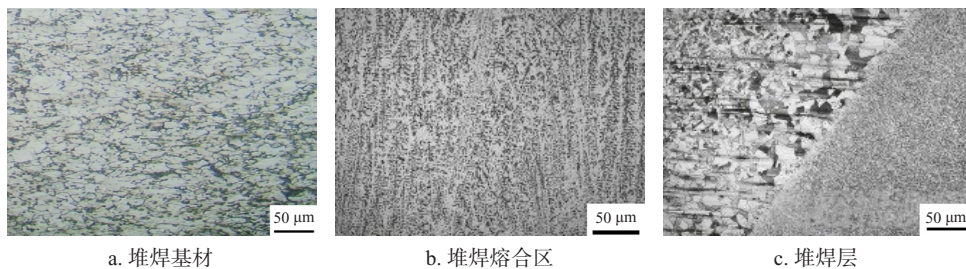
沿 45° 斜角线检测 3 点。硬度检测结果如表 7 所示，符合技术协议 $HV10 \leq 350$ 的要求。

3.5 金相检测

在直道堆焊的垂直方向和平行方向各截取一个试样，尺寸为长 200 mm × 宽 40 mm × 厚 20 mm，垂直试样取样位置至少包括 3 个搭接区，平行试样取样位置应包括中断焊接后重新熔敷的搭接区，每个试样中应包含全厚度堆焊层、热影响区及母材。如图 6 所示为堆焊基材、熔合区、堆焊层的显微形貌，图 6a 基材微观组织为珠光体 + 铁素体和少量析出的碳

表 7 硬度检测结果				
Table 7 Hardness testing results				
检测位置	硬度值 /HV10			
	测点 1	测点 2	测点 3	平均值
基层	169	170	163	167
第一层	216	213	219	216
第二层	218	221	230	223
堆焊层表面	227	233	231	239

化物；图 6b 堆焊融合区金相组织为奥氏体，焊接时相当于对融合区进行了两次热处理，融合区组织向晶粒粗大的奥氏体转变；图 6c 堆焊层为树枝状奥氏体组织，在熔敷金属凝固过程中，奥氏体组织中的杂质及合金元素形成偏析，导致扩散能力降低，形成偏析的结晶轮廓。检测结果表明，试件的金相组织分布良好，符合评定标准及技术协议要求。



a. 堆焊基材

b. 堆焊融合区

c. 堆焊层

图 6 堆焊组织显微形貌

Fig.6 Microstructure of surfacing structure

3.6 腐蚀试验

3.6.1 晶间腐蚀试验

验证镍基合金堆焊层是否有良好的耐晶间腐蚀性能，应进行晶间腐蚀敏感性试验，采用灵敏度较高的硫酸铁-50%硫酸试验法。沿直焊道平行方向截取 2 个晶间腐蚀试件，尺寸为 200 mm × 30 mm × 7 mm，每个试件表面应与堆焊层上表面平齐，其中一个试件保持原始焊接状态（标记为 S1），另一个试件进行固溶化处理（标记为 S2）^[13]。按照 ASTM G28 的方法 A 进行，腐蚀溶液为 25 g $Fe_2(SO_4)_3 + 236$ mL $H_2SO_4 + 400$ mL H_2O ，将试件打磨光滑并用丙酮清洗后放入腐蚀溶液中，加热试剂至微沸状态下浸泡 120 h，试验结果表明，焊态试件 S1 的腐蚀速率为 1.50 mm/a，固溶态试件 S2 的腐蚀速率为 1.17 mm/a，两者之比为 1.28，满足 JB/T 4756—2006 标准规定比值小于或等于 1.5 的要求。按照 JB/T 4756—2006 要求，将试件弯曲 180° 后，试件弯曲外表面没有

晶间腐蚀裂纹。晶间腐蚀试验后的试件表面如图 7 所示。

3.6.2 应力腐蚀试验

热高分气 / 循环氢换热器长期在氯化物环境下工作，为防止在使用期间发生 Cl^- 应力腐蚀，依据 YB/T 5362—2006 标准要求，进行 Cl^- 应力腐蚀试验^[14]。在试件堆焊层表面取 3 个厚度 4 mm 的板状试样，试样尺寸为 4 mm × 5 mm × 30 mm，板状试样形状如图 8 所示。试验溶液为 42% 浓度的氯化镁溶液，加热至沸点温度 (143 ± 1) °C，进行恒负荷拉伸应力腐蚀试验，加载应力 374 MPa (0.9 ReL)，经 96 h 的试验，试件均未断裂，用 20 倍放大镜检查表面无裂纹，试验结果表明，堆焊层对沸腾氯化镁有较好的抗应力腐蚀性能。

4 带级堆焊控制要点

12Cr2Mo1 (IV) 锻件带极堆焊 Inconel625 镍基

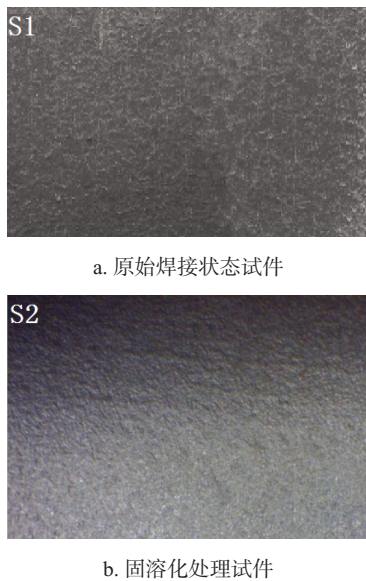


图7 晶间腐蚀试验后的试件表面

Fig.7 Surface of the specimen after intergranular corrosion test

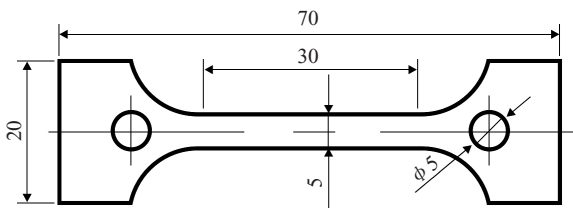


图8 板状试样形状

Fig.8 Shape of plate sample

合金, 首先清理待焊基材表面并预热, 调整变位机速度与焊接速度一致, 然后依据评定合格的堆焊作业指导书, 由外圈向内进行周向堆焊, 每条焊道的搭接尺寸为 8 mm, 搭接位置打磨光滑后再堆焊下一条焊道, 每层堆焊完成后, 进行无损检测和热处理合格后, 才能进行下一层堆焊^[15]。可堆焊直径小于 $\phi 300$ mm 时, 停止周向堆焊, 调整焊机的十字臂, 改为直道焊接, 焊接前应打磨内圈焊道, 使之与母材圆滑过渡, 以便于减小直道焊与周向焊道搭接处应力。全部堆焊完成后, 对堆焊层表面进行 100% 超声波检测和渗透检测, I 级合格, 进行 $(610 \pm 10)^\circ\text{C}$ 的消除应力热处理, 恒温 1 h, 机加工成型后交付下一道制造工序。按上述焊接质量控制要点完成了承制产品热高分气/循环氢换热器的制造, 经监督检验合格后交付使用单位, 已稳定运行 3 年, 未出现焊接缺陷和腐蚀缺陷。

5 结论

(1) 在 12Cr2Mo1 锻造试件上堆焊 Inconel625

镍基合金, 选用 0.5 mm \times 60 mm 的 EQ62-50 焊带和 ES200 焊剂, 采用由外向内的周向堆焊和中心区直道埋弧堆焊相结合技术, 代替传统的手工直道堆焊, 可以获得良好的焊缝成型。

(2) 依据 NB/T 47014—2011《承压设备焊接工艺评定》要求, 对堆焊试件进行了无损检测、化学成分分析、弯曲试验、硬度检测、金相分析、腐蚀试验等, 检测结果表明, 堆焊质量满足设计文件和产品技术条件要求。

(3) 按照评定合格的焊接工艺参数, 对热高分气/循环氢换热器 12Cr2Mo1 锻件管板进行了 Inconel625 镍基合金堆焊, 换热器投入使用后已稳定运行 3 年, 为新型高压加氢换热器管板的堆焊制造技术提供了经验。

参考文献

- [1] 朱志刚, 潘胜东. SA-387 Gr. 11+410S 堆焊工艺的选择 [J]. 化工设备与管道, 2020, 57 (5): 41-45.
- [2] 于建平, 陈彩侠. 堆焊镍基耐蚀层工艺的研究与应用 [J]. 电焊机, 2017, 47 (9): 18-23.
- [3] 卢俊文, 湛立宁, 丁玉松, 等. 低温压力容器用钢 07MnNiMoDR 焊接工艺研究 [J]. 化工设备与管道, 2022, 59 (5): 17-22.
- [4] 滕敏, 杨凤明, 刘宏. 高压空冷器碳钢管板带极堆焊 Inconel625 合金层性能 [J]. 石油化工腐蚀与防护, 2017, 34 (3): 5-8.
- [5] 王东丽, 高磊, 董研, 等. Inconel625 带极埋弧堆焊管板工艺 [J]. 电焊机, 2018, 48 (7): 105-109.
- [6] 孙佳孝, 杨可, 郭余庆, 等. 膜式水冷壁表面堆焊 Inconel625 合金成形工艺研究 [J]. 电焊机, 2022, 52 (7): 93-99.
- [7] 陈盛砂. 热高分气/混合氢换热器腐蚀分析与选材研究 [J]. 石油化工设备技术, 2020, 41 (4): 48-53, 7-8.
- [8] 苗俊安, 陈伟军, 郭海, 等. Inconel625 合金焊接工艺及耐蚀性能研究 [J]. 石油和化工设备, 2021, 24 (5): 61-64.
- [9] 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.
- [10] 卢俊文, 董久明. 夹套式焦炉上升管换热器的传热性能研究 [J]. 压力容器, 2020, 37 (6): 34-38.
- [11] 刘鸣宇, 吴绍炳, 吴义党. CPR1000 核电蒸汽发生器管板镍基合金堆焊工艺改进 [J]. 南昌航空大学学报 (自然科学版), 2011, 25 (4): 74-79.
- [12] 沈天阔. 核电站蒸汽发生器管板镍基合金堆焊质量的控制 [J]. 金属加工 (热加工), 2021, 72 (7): 29-32.
- [13] 苗俊安, 陈伟军, 郭海, 等. Inconel625 合金焊接工艺及耐蚀性能研究 [J]. 石油和化工设备, 2021, 24 (5): 61-64.

- [14] 王晶, 张亦良, 仇飞, 等. 双相不锈钢堆焊层应力腐蚀性能评价 [J]. 焊接学报, 2013, 34 (2): 49-53, 115.
- [15] 张瑶, 卢俊文, 王肖逸, 等. 加氢反应器产品制造焊接质量的控制 [J]. 炼油与化工, 2022, 33 (1): 60-62.

Research on the Process of 12Cr2Mo1 Forging Strip Submerged Arc Surfacing Inconel625

Zhan Lining^{1,2}, Chen Min^{1,2}, Lu Junwen^{1,2}, Zhou Lulu^{1,2}, Wu Ting^{1,2}, Wang Xiaoyi^{1,2}

(1. Hebei Special Equipment Supervision and Inspection Institute, Shijiazhuang, Hebei 050061, China; 2. Hebei Pressure Equipment Testing and Evaluation Technology Innovation Center, Shijiazhuang, Hebei 050061, China)

Abstract: In order to ensure that the quality of 12Cr2Mo1 forging strip electrode submerged arc surfacing Inconel625 meets the requirements of the design documents, the forging substrate and Inconel625 welding performance were analyzed, and the actual production status of the bearing product was simulated for surfacing process evaluation tests. Evaluation specimens were prepared using a combination of circumferential surfacing and straight surfacing, and the chemical composition, bending performance, hardness index, metallographic structure, and corrosion resistance of the surfacing layer were tested. The experimental results indicate that the use of EQ62-50/ES200 welding strip/flux combination can achieve excellent performance of the surfacing layer. Conduct corrosion rate detection on the overlay layer, and the corrosion rate of the welded sample is 1.50 mm/a, and the corrosion rate of the solid solution sample is 1.17 mm/a, with a ratio of 1.28, meeting the requirement of JB/T 4756—2006 standard that the ratio is less than or equal to 1.5. According to the qualified welding process, the tube plates of the hot high separation gas/circulating hydrogen heat exchanger were overlaid. The overlaid welding product has been in stable operation for three years, and there are no welding defects or corrosion defects.

Keywords: 12Cr2Mo1; Inconel625; heat exchanger tube sheet; with grade submerged arc surfacing; corrosion test

· 广告索引 ·

封一：中石化上海工程有限公司

拉页：中石化上海工程有限公司

封二：威海化工机械有限公司

封三：杭州中能汽轮动力有限公司

封四：苏州安特威工业智能科技股份有限公司

前彩插：

1. 天华化工机械及自动化研究设计院有限公司

2. 杭州大路实业有限公司

3. 倍缔纳士机械有限公司

后彩插：

1. 南方泵业股份有限公司

2. 伊格尔博格曼中国