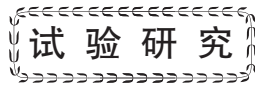


doi: 10.3969/j.issn.1001-4837.2024.04.003



12Cr2Mo1V 钢凸台附加填充丝埋弧堆焊工艺研究

王雪骄, 何 鹏, 晏君文, 吴成林

(二重(德阳)重型装备有限公司, 四川德阳 618000)

摘 要:针对 12Cr2Mo1V 钢加氢反应器壳体凸台采用单丝埋弧焊进行堆焊、制造效率低的问题,研究了采用附加填充丝埋弧焊的焊接方法堆焊 12Cr2Mo1V 材质凸台本体的工艺可行性。研究表明,在 12Cr2Mo1V 钢上采用附加填充丝埋弧焊进行本体堆焊,焊接工艺性良好;其工艺评定试验的各项力学性能完全满足母材的要求,特别是 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 夏比 KV_2 型缺口冲击试验冲击值均 $\geq 54\text{ J}$,抗回火脆化倾向评定试验结果均满足 $vT_r54+3\Delta vT_r54 \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求。与单丝埋弧堆焊相比,两枪六丝附加填充丝埋弧堆焊凸台可提高生产效率 200%~250%。该项工艺研究在满足加钒钢凸台性能的前提下,能极大缩短凸台制造周期、节能减排,为加氢反应器先进绿色制造的发展提供了新的制造手段。

关键词:附加填充丝埋弧焊; 12Cr2Mo1V 钢; 凸台; 堆焊

中图分类号: TH142.2; TG142.33; TG445

文献标志码: A

Research of submerged arc welding buildup technology of 12Cr2Mo1V steel boss using additional filing wire

WANG Xuejiao, HE Peng, YAN Junwen, WU Chenglin

(Erzhong (Deyang) Heavy Equipment Co., Ltd., Deyang 618000, China)

Abstract: The boss of the 12Cr2Mo1V steel hydrogenation reactor shell is usually welded by single-wire submerged arc welding, which has low manufacturing efficiency. The feasibility of welding the 12Cr2Mo1V boss body by using the welding method of additional filler wire submerged arc welding was studied. The research results show that the welding processability is good when the additional filler wire submerged arc welding is used for body cladding on 12Cr2Mo1V steel; the mechanical properties of its process qualification test fully meet the requirements of the base metal, especially the KV_2 impact value of the $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ Charpy notch impact test is $\geq 54\text{ J}$, and the results of the temper embrittlement resistance tendency evaluation test meet the requirements of $vT_r54+3\Delta vT_r54 \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Compared with single-wire submerged arc welding, boss submerged arc welded by two guns with six-wire additional filler wires can increase production efficiency by 200% to 250%. Under the premise of meeting the performance of vanadium-doped steel boss, this process research can greatly shorten the boss manufacturing cycle, save energy and reduce emissions, and provide a new manufacturing method for the development of advanced green manufacturing of hydrogenation reactors.

Key words: compound cold wire submerged arc welding (multiple gun silk); 12Cr2Mo1V steel; boss; cladding

0 引言

近年来,国家大力发展石化工业,加氢反应器数量猛增,规格趋于极限化。加氢反应器自从 20 世纪 80 年代进入国产化,在多年的制造和使用过程中,对设备结构不断地优化改进,其中支撑分

配盘、出口收集器等内件用的壳体凸台(以下简称“凸台”)的结构与制造工艺也在更新^[1]。

目前国内各大设计院对加氢反应器凸台的设计主要采用本体堆焊后加工制造的方法^[1]。筒节为锻件时,要求凸台尽量借用锻件加工余量,剩余部分采取堆焊本体材料的方式补足,由于锻件调

质后的加工余量不多,而且还有用于弥补筒体调质后的变形,故凸台的堆焊量很大;筒节为钢板卷制时,凸台需要全部堆焊完成。凸台堆焊后还需进炉中间消除应力退火,再机加、探伤,工序繁琐,根据凸台大小不同,整个凸台制造时间达20~30天,周期较长。加氢反应器中筒体凸台本体堆焊是整个产品组焊制造流程的首要工序,必须先完成凸

台本体的堆焊制造,才能进行后续的筒体内壁的不锈钢堆焊,以及筒节组焊等工序,可见凸台本体的堆焊通常是影响产品制造周期的关键因素。

对于设备尺寸大、凸台多的反应器,如图1所示的某项目6台产品共有40个凸台需要进行堆焊,如采用传统的单丝埋弧焊进行堆焊,效率较低,因此开发高效堆焊凸台的技术就极为关键和迫切。

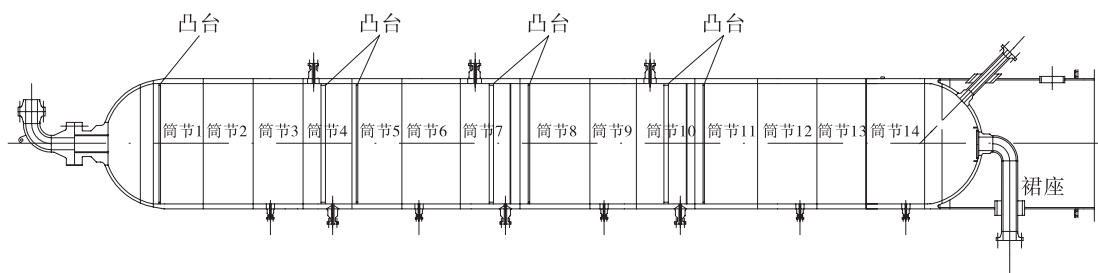


图1 加氢反应器壳体上凸台位置示意

Fig.1 Schematic diagram of boss position on hydrogenation reactor shell

1 技术指标

12Cr2Mo1V 钢(以下简称“加钎钢”)加氢反应器壳体上的凸台本体通常以堆焊后加工的方式制造,堆焊凸台的化学成分与母材匹配、力学性能与母材要求一致。模拟焊后热处理分为

可能达到最大程度的焊后热处理(Max.PWHT: $705_{\pm 4}^{\circ}\text{C} \times 32_{\pm 0}^{\text{h}}$)和最小程度的焊后热处理(Min.PWHT: $705_{\pm 14}^{\circ}\text{C} \times 8_{\pm 0}^{\text{h}}$)两种。

1.1 埋弧焊熔敷金属化学成分要求

焊态下,埋弧焊熔敷金属化学成分见表1。

表1 埋弧焊熔敷金属化学成分

Tab.1 Chemical composition of the SAW deposit metal

元素	C	Si	Mn	Cr	Nb	Mo	V	P
要求值	0.05~0.15	0.05~0.35	0.50~1.30	2.00~2.60	0.010~0.040	0.90~1.20	0.20~0.40	≤0.010
元素	As	Sn	Sb	Cu	Ni	Ti	B	S
要求值	≤0.010	≤0.010	≤0.003	≤0.20	≤0.20	≤0.030	≤0.002	≤0.010

注:此外, X 系数 = $(10P+5Sb+4Sn+As) \times 10^{-2} \leq 12$ ppm(式中,元素应以 ppm 代入,如0.01%应以100 ppm 代入)。

1.2 性能检测(热处理状态下)

试样在 Min.PWHT 和 Max.PWHT 状态下进行室温/高温拉伸试验、-30℃夏比 KV₂ 型缺口冲击试验、弯曲试验,在 Min.PWHT 状态下进行硬度试验,在 Min.PWHT 及 Min.PWHT+S.C 状态下进行回火脆化倾向评定试验。

2 研究方法

2.1 高效堆焊方法的确定

多丝堆焊是针对带极堆焊提出的先进替代技术,采用3根或3根以上数量的焊丝进行多丝共熔池的焊接模式。焊接方法可以是埋弧焊,也可以是气体保护等明弧焊;焊丝可以采用实心、药芯或者金属粉芯焊丝。多丝堆焊工作原理如图2^[2]所示,多根焊丝并行排列,焊接时多个电弧在同一个

熔池内燃烧。多根焊丝并排的形式可以获得像带极堆焊一样的比较宽的焊道,保证了堆焊的效率^[2]。根据加氢反应器设备壳体不能使用药芯焊丝的制造要求,只能采用实心焊丝埋弧焊。

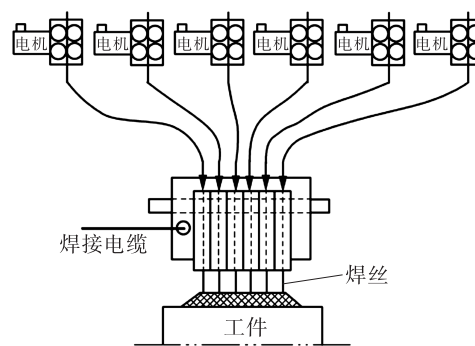


图2 多丝堆焊工作原理

Fig.2 Working principle of the multi-wire buildup welding

由于多丝埋弧焊固有的焊接线能量大、能量密度较小、焊接熔池过热量大的特点,必然会导致焊缝及热影响区的组织和力学性能恶化,造成粗晶区和临界粗晶区粗化、脆化等问题^[3]。

基于多丝堆焊的特性,在加钒钢母材上使用这种焊接方法进行堆焊,堆焊后熔覆金属的冲击韧性及抗回火脆化倾向评定试验结果不能满足加钒钢性能的要求。因此,多丝堆焊一直未在加钒钢本体堆焊上使用。

随着焊接技术的进步,发展出多种多丝堆焊方法。其中在普通单丝埋弧焊过程中,从侧面给焊接熔池附加填充丝,该焊丝无电源供电,工作原理如图3^[4]所示。充分利用电弧的多余热量熔化不带电的填充丝,一方面提高了焊接熔敷速度;另一方面填充丝的加入对熔池有冷却作用,相当于减少了焊接热输入。这种焊接方式焊接热影响区小,接头力学性能优良,焊接质量有所提高;其节电效果也非常明显,生产效率得到较大幅度提高。

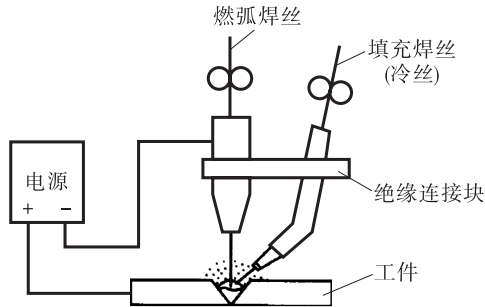


图3 附加填充丝埋弧焊工作原理

Fig.3 Working principle of the additional filler wire submerged arc welding

通过对以往的多丝堆焊工艺研究^[5-9],结合加钒钢产品的制造技术要求,文中选用附加填充丝埋弧焊进行加钒钢凸台本体堆焊的研究。

2.2 主要研究内容

目前附加填充丝埋弧焊设备有:一枪三丝、两枪六丝、三枪九丝。根据综合考虑,两枪六丝堆焊设备相对成熟,提升堆焊效率高,如果在大型加钒钢加氢反应器凸台本体堆焊上应用,堆焊时间将由以往的30天可缩短至10天左右。

目前国内没有经验及相关资料可借鉴。因此,本次试验采用附加填充丝埋弧焊在加钒钢材料上进行多丝堆焊,对堆焊后堆焊层进行力学性能检测,检测其是否能满足母材的性能要求。

3 研究过程

3.1 试验材料

基体材料为12Cr2Mo1V钢锻件,规格为80 mm × 400 mm × 500 mm。焊接材料主丝 US-521H(丝径 ϕ 4.0 mm),附加填充丝 US-521H(丝径 ϕ 2.0 mm),焊剂 PF500。

3.2 试验过程

3.2.1 整体要求

试板堆焊前预热 ≥ 180 °C,焊接过程中层间温度控制在180~250 °C^[10]。由于加钒钢冷裂纹敏感性较大,堆焊后立即进行(300~350) °C × 2 h 消氢处理。

3.2.2 单枪三丝堆焊

先采用单枪三丝进行堆焊试验,主丝采用交流电源。在保证成型的前提条件下,通过1#~4#不同焊接电流进行堆焊,堆焊层模拟 Min.PWHT 后,分别取样10件进行-30 °C夏比 KV₂ 型缺口冲击试验,结果见图4。

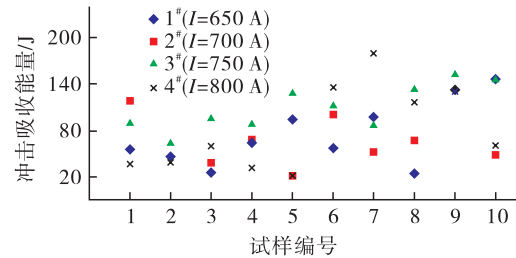


图4 单枪三丝不同焊接电流堆焊层冲击试验结果

Fig.4 Impact test results of cladding layer with different welding currents of three wires with a single gun

从各冲击数据可看出,当焊接规范采用3#时,其所有冲击值均高于48 J,且平均冲击值为111.1 J。因此,结合单枪三丝堆焊后的冲击数据开展两枪六丝的堆焊。

3.2.3 两枪六丝堆焊

总结单枪三丝堆焊冲击试验结果,采用两枪六丝进行堆焊试验,两根主丝均采用交流电源。考虑到增加焊丝会增加堆焊层热输入量,不利于堆焊层冲击韧性,因此,焊接电流设置上增加小电流进行试验。同样在保证成型的前提条件下,通过5#~9#不同焊接电流进行堆焊,堆焊层模拟 Min.PWHT 后,分别取样10件进行-30 °C夏比 KV₂ 型缺口冲击试验,结果如图5所示。

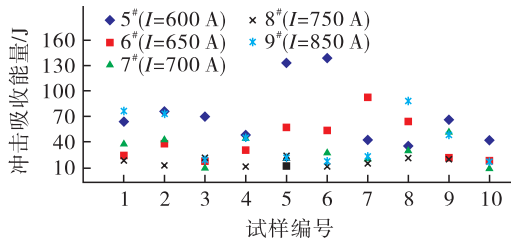


图5 两枪六丝不同焊接电流堆焊层冲击试验结果
Fig.5 Impact test results of cladding layer with different welding currents of six wires with double gun

从各冲击数据可看出,采用与一枪三丝堆焊相同或相近的焊接电流,冲击性能均不理想,但焊接电流调小后,冲击韧性数据有所改善。说明两枪六丝比相同规范下的一枪三丝堆焊时的热输入量大,两枪六丝时应采用更小的焊接电流。

结合上述试验数据,在降低焊接电流后,又补充 2 组试验:选择电流 550 A,电压 33 V,焊接速度 500 mm/min(编号为 10#)和 550 mm/min(编号为 11#),送丝速度为前丝 200 mm/min、后丝 1 500 mm/min 进行堆焊试验。堆焊层模拟 Min.PWHT 后进行 -30 °C 夏比 KV₂ 型缺口冲击试验,结果见图 6。

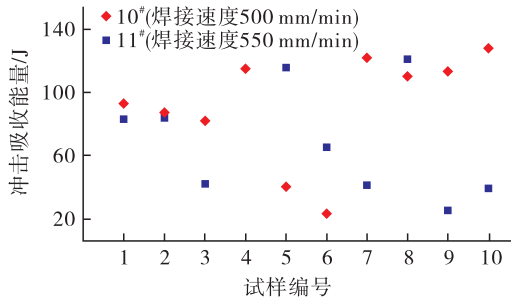


图6 补充 2 组试验的冲击试验结果
Fig.6 Impact test results of two groups of supplementary test
从图 6 看出,焊接电流 550 A 时的堆焊层冲击韧性要比图 5 所示的焊接电流时好很多,编号 10# 的 10 个数据中,只有 2 个数值低于合格指标(经

断口分析存在超标缺陷),其余数值都在 100 J 左右。堆焊工艺试验中堆焊焊缝成形及渣壳情况见图 7,脱渣良好,表面成型较佳。



(a) 堆焊成形



(b) 渣壳

图7 堆焊成形及渣壳情况

Fig.7 Forming and slag shells of cladding

3.3 焊接工艺评定

通过焊接试验筛选出最佳的焊接规范参数,结合技术要求,按照 NB/T 47014—2011《承压设备焊接工艺评定》进行试验。堆焊层厚度 ≥ 55 mm,堆焊前预热 ≥ 180 °C,交流电源,主丝电流 550 A、电压 33 V、焊接速度 500 mm/min,附加填充丝送丝速度:前丝 200 mm/min,后丝 1 500 mm/min。控制层间温度在 180~250 °C。堆焊后立即进行 (300~350) °C \times 2 h 消氢处理。焊接工艺评定时的堆焊成型情况见图 8。



图8 焊接工艺评定时堆焊成型情况

Fig.8 Cladding forming during welding procedure qualification

堆焊后模拟相应焊后热处理并进行理化性能检测,检验结果如下。

3.3.1 熔敷金属化学成分分析

焊态下,熔敷金属化学成分分析见表2。

表2 焊缝金属化学成分

Tab.2 Chemical composition of weld metal

%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Ti	Nb	As	Sn	Sb	B
取样位置 焊缝 T/2	0.09	0.10	1.15	0.004	0.003	2.42	0.04	1.03	0.34	0.12	0.001	0.014	0.005	0.002	0.001	0.000 2
取样位置 焊缝 T/4	0.09	0.10	1.10	0.003	0.002	2.43	0.02	1.04	0.34	0.11	0.001	0.014	0.005	0.002	0.001	0.000 2

从表2可看出,堆焊层熔敷金属化学成分分析结果均满足产品要求,S,P杂质元素含量低。经计算,T/2位置X系数为5.8 ppm,T/4位置X系数为4.8 ppm,均≤12 ppm,满足技术条件要求。

3.3.2 拉伸试验

分别在 Min.PWHT 和 Max.PWHT 状态下,取样进行室温圆棒拉伸试验, R_m 检测值在 610~682 MPa (见图9), 满足 586~758 MPa 的要求; $R_{p0.2}$ 检测值在 480~577 MPa, 满足 415~620 MPa 的要求。

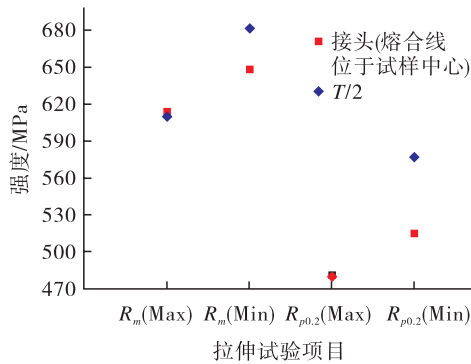


图9 室温圆棒拉伸试验结果

Fig.9 Room temperature round bar tensile test results

取样进行 454 °C 高温拉伸试验,屈服强度检测值在 390~447 MPa (如图 10 所示), 满足 $R_{p0.2} \geq 339.8$ MPa 的要求。

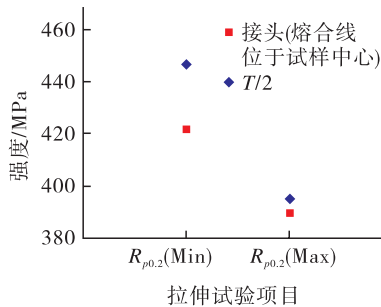


图 10 454 °C 高温圆棒拉伸试验结果

Fig.10 454 °C high temperature round bar tensile test results

3.3.3 弯曲试验

分别在 Min.PWHT 和 Max.PWHT 状态下,取

样进行焊接接头全断面横向侧弯试验,取样 4 件,试样厚度 $S=10$ mm,弯心直径 $D=40$ mm,支撑辊之间距离 63 mm,弯曲角度 180°。所有试样经弯曲后无裂纹。

3.3.4 -30 °C 夏比 KV₂ 型缺口冲击试验

分别在 Min.PWHT 和 Max.PWHT 状态下,在焊缝金属 T/2、热影响区、母材位置取样 (其中在堆焊试件上取样,焊缝金属在 T/2 位置取样,热影响区试样的缺口开在第一层堆焊层与母材之间的热影响区上,缺口方向都垂直于堆焊方向)。每个位置取样 3 件进行 -30 °C 夏比 KV₂ 型缺口冲击试验,冲击值在 82~285 J, 见图 11、图 12。完全满足 3 个 -30 °C 冲击试样平均值 ≥ 54 J、单个试样最低值 ≥ 48 J 的要求。

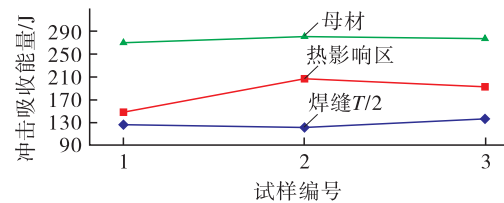


图 11 堆焊层焊缝金属 T/2、热影响区、母材三区冲击试验结果 (Max.PWHT)

Fig.11 Impact test results of weld metal T/2, heat affected zone and base metal in the cladding layer (Max.PWHT)

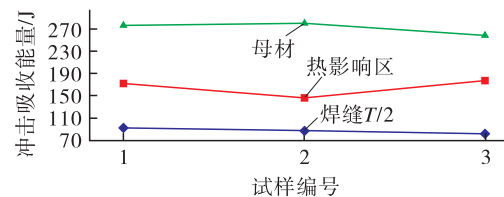


图 12 堆焊层焊缝金属 T/2、热影响区、母材三区冲击试验结果 (Min.PWHT)

Fig.12 Impact test results of weld metal T/2, heat affected zone and base metal in the cladding layer (Min.PWHT)

3.3.5 硬度试验

在 Min.PWHT 状态下检验堆焊层、热影响区、母材硬度,检测结果如表3所示。可以看出,硬度(HV10)试验结果为202~224,测量值(HV10)均 ≤ 248 。

表3 硬度试验结果

Tab.3 Hardness test results

状态	位置	堆焊层 (HV10)	热影响区 (HV10)	母材 (HV10)
Min. PWHT	断面	216, 220, 224	217, 223, 218	207, 202, 205

3.3.6 回火脆化倾向评定试验

对堆焊层中心、热影响区进行回火脆化倾向评定试验,焊缝中心 $vTr_{54} + 3\Delta vTr_{54} = -39.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,热影响区 $vTr_{54} + 3\Delta vTr_{54} = -5.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,检测结果均满足 $vTr_{54} + 3\Delta vTr_{54} \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求。

综上所述,采用两枪六丝附加填充丝埋弧焊的堆焊方法在加钒钢材料上进行凸台的堆焊,堆焊焊接工艺性良好,凸台堆焊层力学性能和低温冲击韧性完全满足加钒钢加氢反应器产品制造要求,特别是低温冲击韧性和抗回火脆化倾向性能优良。由此表明,采用两枪六丝附加填充丝埋弧焊在加钒钢材料上进行凸台的堆焊工艺是可行的,所选用的焊接材料、制定的堆焊工艺参数和堆焊工艺措施是合理可行的。

3.4 堆焊效率

与单丝埋弧堆焊相比,采用两枪六丝附加填充丝埋弧焊,可提高生产效率200%~250%。由此可见,实现在加钒钢上多丝埋弧堆焊,生产效率得以显著提升。

4 结语

该项工艺研究实现了附加填充丝埋弧焊在加钒钢材料上的堆焊,堆焊工艺性良好,堆焊层力学性能完全满足加钒钢加氢反应器产品制造要求,特别是低温冲击韧性和抗回火脆化倾向性能优良;攻克了加钒钢加氢反应器凸台本体采用多丝埋弧焊堆焊难题,两枪六丝附加填充丝埋弧焊生产效率比单丝埋弧焊堆焊提高200%~250%;该项工艺研究在满足凸台性能的前提下,能极大缩短凸台制造周期,节能减排,为加钒钢加氢反应器先进绿色制造提供了新的手段。

参考文献:

- [1] 徐进,孙克勤.加氢反应器塔盘支撑台制造工艺与质量控制[J].化工机械,2013,40(1):110-112.
XU J, SUN K Q. Manufacturing process and quality control of tray support platform for hydrogenation reactor [J]. Chemical Machinery, 2013, 40(1): 110-112.
- [2] 杨旭东,柴永忠,俱伟.多丝堆焊技术及其应用[J].电焊机,2016,46(3):1-6.
YANG X D, CHAI Y Z, JU W. Multi-wire cladding technology and its application [J]. Electric Welding Machine, 2016, 46(3): 1-6.
- [3] 赵波,王能干,孙奇,等.多丝埋弧焊低线能量化高效焊接工艺探讨[J].钢管,2014,43(4):47-52.
ZHAO B, WANG N G, SUN Q, et al. Discussion on high-efficiency, low-heat input, multi-wire SAW process [J]. Steel Pipe, 2014, 43(4): 47-52.
- [4] 张鹏贤,马跃洲,陈剑虹,等.冷丝填充埋弧自动焊机数控系统的研制[J].电焊机,2003,33(10):15-18.
ZHANG P X, MA Y Z, CHEN J H, et al. Development of digital control system for submerged arc welder filled with non-heated wire [J]. Electric Welding Machine, 2003, 33(10): 15-18.
- [5] 武春学,张俊旭,朱丙坤,等.高效埋弧焊技术的发展及应用[J].热加工工艺,2009,38(23):173-177.
WU C X, ZHANG J X, ZHU B K, et al. Development and application of high efficiency submerged arc welding technology [J]. Hot Working Technology, 2009, 38(23): 173-177.
- [6] 李鹤岐,王新,蔡秀鹏,等.国内外埋弧焊的发展状况[J].电焊机,2006,36(4):1-6.
LI H Q, WANG X, CAI X P, et al. Developing status of SAW at home and abroad [J]. Electric Welding Machine, 2006, 36(4): 1-6.
- [7] 龙红,梁树,宫毅辉,等.预热焊丝埋弧焊在尿素合成塔中的应用[J].压力容器,1991,8(5):69-72.
LONG H, LIANG S, GONG Y H, et al. The application of preheated wire SAW in urea reactor [J]. Pressure Vessel Technology, 1991, 8(5): 69-72.
- [8] 韩彬,邹增大,曲仕尧,等.双(多)丝埋弧焊方法及应用[J].焊管,2003,26(7):41-44.
HAN B, ZOU Z D, QU S R, et al. Twin (multi-) wires submerged arc weld and its application [J]. Welded Pipe and Tube, 2003, 26(7): 41-44.

(下转第79页)

- Pressure Vessels Technology, 2020, 37(10): 64 – 69.
- [7] 张义磊. 相控阵技术在插入式管座角焊缝检测中各类缺陷的识别探究[J]. 化工装备技术, 2021, 42(1): 45 – 48.
ZHANG Y L, Research on the identification of various defects in fillet weld inspection of inserted tube base by phased array [J]. Chemical Equipment Technology, 2021, 42(1): 45 – 48.
- [8] 唐飞阳光, 杨晶, 魏培生, 等. 在役压力容器搭接角焊缝的相控阵超声检测[J]. 无损检测, 2021, 43(7): 64 – 66.
TANG F Y L, YANG J, WEI P S, et al. Phased array ultrasonic testing for lap fillet welds of pressure vessels in service [J]. Nondestructive Testing, 2021, 43(7): 64 – 66.
- [9] 卜阳光, 程经纬, 陈炜, 等. 接管焊缝超声相控阵多模全聚焦检测技术[J]. 压力容器, 2023, 40(3): 1 – 6.
BU Y G, CHENG J W, CHEN W, et al. Research on ultrasonic phased array multi – mode total focusing inspection technology for nozzle fillet welds [J]. Pressure Vessels Technology, 2023, 40(3): 1 – 6.
- [10] 何慈武, 杨萌萌, 龙晋桓, 等. 小径薄壁管座角焊缝典型缺陷的超声相控阵 CIVA 仿真研究[J]. 中国机械工程, 2022, 33(9): 1065 – 1072.
HE C W, YANG M M, LONG J H, et al. Ultrasonic phased array CIVA simulation of typical defects in fillet welds of small-diameter thin-walled tube bases [J]. China Mechanical Engineering, 2022, 33(9): 1065 – 1072.
- [11] 燕昭锟, 姚新改, 郭瑞鹏, 等. 长小径不锈钢管内表面的磁性珩磨工艺[J]. 机电工程, 2022, 39(5): 705 – 712.
YAN Z K, YAO X G, GUO R P, et al. Process of magnetic honing for long and small diameter stainless steel tube surface [J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2022, 39(5): 705 – 712.
- [12] 齐高君, 王耀礼, 丁成海, 等. 小径管管座角焊缝相控阵超声检测工艺[J]. 无损检测, 2019, 41(10): 44 – 49.
QI G J, WANG Y L, DING C H, et al. The process of phased array ultrasonic testing for socket fillet weld of small – diameter pipe [J]. Nondestructive Testing, 2019, 41(10): 44 – 49.

作者简介:王鹏(1986), 男, 高级工程师, 主要从事地面系统腐蚀与防护工作, 通信地址: 830011 新疆库尔勒市塔里木油田公司油气工程研究院地面所, E – mail: 3181979637@qq.com。

通信作者:孙明(1988), 男, 高级工程师, 主要从事压力管道检测与评价技术相关的方法研究工作, 通信地址: 100029 北京市朝阳区和平西街2号中国特种设备检测研究院, E – mail: sm8014708@163.com。

本文引用格式:

王鹏, 崔伟, 马金龙, 等. 压力容器小径支管角焊缝相控阵检测埋藏缺陷回波特性研究[J]. 压力容器, 2024, 41(4): 72 – 79.
WANG P, CUI W, MA J L, et al. Study on echo characteristics of fillet weld in small diameter branch pipe of pressure vessel by phased array detection [J]. Pressure Vessel Technology, 2024, 41(4): 72 – 79.

(上接第 21 页)

- [9] 王元良, 周友龙, 胡久富. 高效节能的细双丝自动焊接工艺及设备的研究[J]. 电焊机, 2002, 32(3): 9 – 12.
WANG Y L, ZHOU Y L, HU J H. Research on efficient & economic auto welding technics and equipment of thin double wires [J]. Electric Welding Machine, 2002, 32(3): 9 – 12.
- [10] 叶小松, 刘应虎, 田洪波, 等. 采用窄间隙埋弧焊接 2.25Cr – 1Mo – 0.25V 钢的试验及应用研究[J]. 大型铸锻件, 2009, 10(5): 30 – 33.
YE X S, LIU Y H, TIAN H B, et al. The experiment and application study for 2.25Cr – 1Mo – 0.25V steel by narrow submerged arc welding [J]. Heavy Casting and Forging, 2009, 10(5): 30 – 33.

作者简介:王雪骄(1978), 女, 正高级工程师, 主要从事压力容器焊接制造技术的研究与开发工作, 通信地址: 618000 四川省德阳市二重(德阳)重型装备有限公司重型压力容器及核电技术研究所, E – mail: NN791H528@163.com。

本文引用格式:

王雪骄, 何鹏, 晏君文, 等. 12Cr2Mo1V 钢凸台附加填充丝埋弧堆焊工艺研究[J]. 压力容器, 2024, 41(4): 16 – 21.
WANG X J, HE P, YAN J W, et al. Research of submerged arc welding buildup technology of 12Cr2Mo1V steel boss using additional filing wire [J]. Pressure Vessel Technology, 2024, 41(4): 16 – 21.