

窄间隙埋弧焊在厚壁加氢反应器中的应用

张建晓¹,雷万庆¹,牛庆伟¹,李南¹,逯来俊²,赵家伟³

(1.兰州石油化工机器总厂 焊接研究所,甘肃 兰州 730050;2.兰州节能环保工程有限责任公司,甘肃 兰州 730050;3.中油二建,甘肃 兰州 730060)

摘要:介绍了窄间隙焊的特点,对坡口形式的确定、埋弧焊剂的筛选、焊接工艺参数的选择进行了详细分析。生产实践证明,窄间隙焊接工艺经济可靠且能保证焊接质量。

关键词:窄间隙埋弧焊;焊接工艺参数;加氢反应器;焊接接头质量

中图分类号:TG445 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-2303(2006)10-0063-04

Application of narrow gap welding technique in thick-wall hydrogenation reactor

ZHANG Jian-xiao¹, LEI Wan-qing¹, NIU Qing-wei¹, LI Nan¹, LU Lai-jun², ZHAO Jia-wei³

(1.Lanzhou Petroleum & Chemical Machinery Works PRC, Lanzhou 730050, China; 2.Lanzhou Energy-saving & Environmental Protection Engineering Corporation Ltd., Lanzhou 730050, China; 3.The Second Construction Company CNPC, Lanzhou 730060, China)

Abstract: Introduces the feature of the narrow gap welding, and analyses how to determine the form of groove, screen out submerged-arc welding flux and choose welding condition in detail, put use to product manufacture, and which proves the welding technique reliable of narrow gap and ensures the welding quality.

Key words: narrow gap welding (NGB); welding procedure parameter; hydrogenation reactor; quality of welding joint

0 前言

厚板窄间隙埋弧焊是近年发展起来的经济效益很高的焊接方法。其坡口间隙窄,可以大大提高生产率。与普通的埋弧焊比较,窄间隙焊所开坡口两侧面几乎平行,厚度 100~350 mm 的板材焊接,坡口间隙仅为 18~24 mm,可显著节省熔敷金属量,缩短焊接时间。窄间隙焊的另一个主要特点是,由于焊接熔敷金属少,焊缝收缩量小,焊接内应力小,对热影响区组织影响也小,同时母材熔化量少,焊缝金属受母材成分的影响较小,其杂质和合金成分等对焊缝作用较小。从焊接的致密性、焊缝的强度和塑性来评定,窄间隙焊都是良好的。此外,整个焊接过程可完全自动化,从焊缝底部到顶部可连续不停焊接,焊道外形美观,焊接缺陷少。

收稿日期:2006-03-21;修回日期:2006-09-15

作者简介:张建晓(1971-)男,甘肃秦安人,工程师,主要从事焊接工艺及设备的研究工作。

兰州石油化工机器总厂引进的窄间隙埋弧焊装置在自动化系统方面具有高度跟踪系统,保证焊丝干伸长度不变;侧向跟踪系统保证焊丝距坡口侧壁距离不变;脉冲传感系统在完成一圈焊缝产生合适的重叠量后,焊距能自动地由一侧移向另一侧;焊接滚轮架设有防止筒体轴向窜动系统。

由于导电嘴的厚度为 14 mm,且前段可摆动到与中心轴线成一定角度,因此,采用类似角焊的二道一层的熔敷方法,就可以焊接坡口间隙为 18 mm 以上的工件,如图 1 所示。

通过对窄间隙用焊剂及相关工艺的试验研究,进行了加氢反应器的焊制,在此对试验和应用进行介绍。

1 坡口形式的确定

坡口的形式对制造工序、焊接效率和焊接质量都有很大的影响。窄间隙埋弧焊的坡口形式主要根

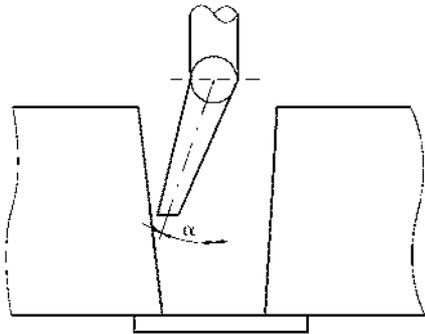


图 1 类似角焊的两道一层的熔敷方法

据设备特点、焊接结构、板厚和工厂的具体加工条件而定。窄间隙焊的 3 种坡口形式如图 2 所示。

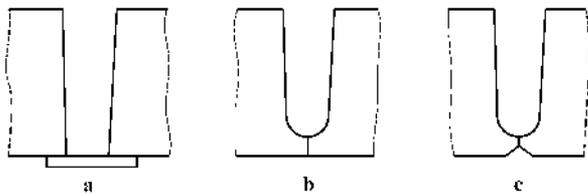


图 2 窄间隙焊的 3 种坡口形式

图 2a 为垫板单面焊坡口,这种坡口可连续焊完。但是,如果有错边,根部很容易产生缺陷,而且焊后要去掉垫板,加工量比较大。因此,在筒体内径未经严格加工的情况下,不宜采用此法。

图 2b 为背面需清根焊接的坡口,焊缝底部质量容易保证。在实际生产中采用了这种坡口。

图 2c 为内部封底焊坡口。这种坡口无法清理焊根,因此窄间隙埋弧焊第一道焊缝,要严格选定焊接规范,保证焊透。一般用于筒体组装焊缝。

窄间隙焊坡口间隙对焊接质量也有重要影响,间隙太窄,不仅不利于操作,而且还会造成夹渣。为了得到焊道与侧壁、焊道与焊道良好熔合的焊缝,间隙宽度在 18~24 mm 范围内较为合适,可随着焊丝直径的不同进行适当调整。为了补偿焊缝的自然收缩,保证焊接正常进行和规范参数一致,要求坡口侧面有一定倾角。板厚 100 mm 内,采用 $\varphi 4$ mm 的焊丝时,试验与生产用的坡口尺寸如图 3 所示。

2 窄间隙埋弧焊剂的筛选

在深而窄的坡口进行埋弧焊接,焊剂必须满足以下条件:在较高的温度下容易脱渣;焊道向母材过渡平滑,成形良好,无缺口和咬肉;与特定的焊丝配合,能获得化学成分和机械性能均满足使用要求的焊缝金属。

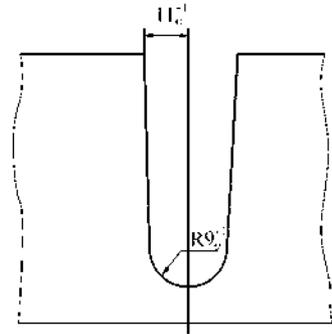


图 3 试验与生产用的坡口尺寸

3 焊接工艺参数

窄间隙埋弧焊的主要工艺参数有:焊接规范、焊丝端部与侧壁的距离、焊丝干伸长度以及环缝每焊一道重叠量等。

3.1 焊接规范

在窄间隙埋弧焊中焊接电压对焊缝成形影响较大,当电压小于 25 V 时,致使焊道凸起;电压大于 35 V 时,则会产生咬肉。而且,在这两种情况下脱渣都较困难。因此,合适的焊接电压应为 28~30 V。焊接电流与坡口间隙、焊丝直径和焊速都有一定关系,通过试验所得规范参数如表 1 所示。

表 1 比较合适的规范参数

间隙宽度 b/mm	焊丝直径 φ/mm	线能量 $Q/\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$
18~20	3	22~30
20~24	4	30~40

此外,焊接规范还取决于被焊钢材和焊接材料。对热敏感性强的钢,可以采用较小的输入热量。

3.2 焊丝端部与坡口侧壁的距离

焊丝端部与侧壁的距离(图 4 中的 L)可通过导电嘴的摆动角度来调整。 L 不仅影响焊缝成形,而且影响熔深。当焊丝直径为 $\varphi 3$ mm 或 $\varphi 4$ mm、且 $L < 2$ mm 时,焊道凸起,易产生夹渣,同时还加大了侧壁熔深,产生咬边;当 $L > 4$ mm 时,侧壁结合处有下陷的尖角,甚至出现未熔合缺陷。当 $L = 2.5 \sim 4.0$ mm 时,焊道与侧壁熔合良好,熔深为 1.5~2.5 mm。

由于在焊接过程中焊丝焊完一道后,要摆动到另一侧焊接。因此,焊接前要求将导电嘴的主体轴线调整到间隙的中心线上,以保证焊炬不论靠近哪一侧壁焊接,都有相等的距离。

3.3 焊丝的干伸长度与校直精度

焊丝的干伸长度直接影响焊缝质量。干伸长度过

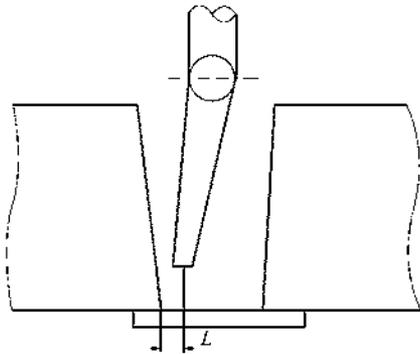


图 4 焊丝端部与侧壁的距离

大,焊丝易弯曲,引起电弧摆动,出现断续咬肉和熔合不良的现象;干伸长度太小,导电嘴易烧损。因此,干伸长度一般选 30~40 mm 较为合适。试验证明,窄间隙焊接对焊丝的校直精度要求较高,特别是在垂直坡口侧面的方向上。为此,在设备的焊头上设有二维校直滚轮系统,在选取的干伸长度范围以内,焊丝偏离中心线的距离应小于 0.5 mm。

3.4 焊道由一侧移向另一侧的重叠量

采用二道一层的窄间隙焊接环缝时,因焊完一道后还要向另一道过渡,其间必须有一定的重叠,这个重叠量不宜选得太长,否则会在另一侧产生沟槽,造成夹渣。一般以 30~40 mm 为宜。

4 产品焊接

通过对窄间隙埋弧焊每个重要焊接参数优化试验以及模拟环的焊接后,焊制了热壁加氢反应器,该装置是加氢裂化和加氢脱硫装置的核心设备,其材质为 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo,厚度 100 mm,内径 ϕ 2 100 mm,产品的结构如图 5 所示。

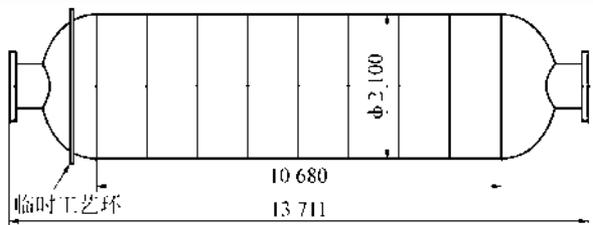


图 5 热壁加氢反应器的结构

由于反应器处于高温、高压并在含有氢介质的苛刻条件下工作,要求焊接接头不仅具有良好的常温性能,还要具有抗氢腐蚀的能力;由于设备长期处于 400℃~500℃ 的温度环境运行,使得铬钼钢的材料和焊接接头还会产生回火脆化现象,为了使材料和接头具有较高的抗回火脆化性能,对焊缝的成

分纯度和接头的韧性指标都提出了特别要求,具体指标如下。

4.1 产品技术条件要求

(1)焊缝中 Cr 与 Mo 的含量不低于母材规定的下限,且系数

$$X=(10P+5Sb+4Sn+As)\leq 15\times 10^{-6},$$

$$Si+Mn\leq 1.10.$$

(2)焊接接头要求。

$$515\text{ MPa}\leq\sigma_b\leq 670\text{ MPa},$$

$$\sigma_{0.2}^{450^\circ\text{C}}\geq 238\text{ MPa},$$

$$HB\leq 220.$$

(3)焊接接头各区冲击韧性,在-30℃时 $A_{KV}\geq 54\text{ J}$ 。

(4)焊缝与热影响区抗回火检验要求。

$$VTr54+2.5\Delta VTr54<10^\circ\text{C},$$

式中 VTr54 为当冲击功为 54 J 时所对应的温度; $\Delta VTr54$ 为步冷前后脆性转变温度的变量。

(5)焊缝 100% 超声波检查,结果符合 JB4730-94 规定的 I 级,并经 100% 射线复探,符合 JB4730-94 规定的 II 级。

4.2 焊接接头力学性能

焊接工艺评定合格后,进行了产品焊接。生产的加氢反应器有 8 条环缝,由于受操作机臂长的限制,筒体分 2 段焊接,然后再整体组焊。坡口形式封头与筒体环缝采用图 2c 所示的坡口,内部手工封底焊、外部窄间隙埋弧焊外,其他环缝均采用图 2b 所示坡口,外部采用窄间隙埋弧焊、内部采用碳弧气抛清根后埋弧自动焊。

当进行封头环缝焊接时,为了防止筒体轴向窜动的传感器没有合适的跟踪面,因此在封头上点焊了一个临时工艺环以供跟踪之用。

采用日本神钢公司生产的直径 ϕ 4.0 mm 焊丝和 PF-200 焊剂,预热温度 200℃。由于钝边加工有误差,为了防止烧穿,第一道至第三道采用焊速 24~25 m/h,之后各道焊速为 20~23 m/h。第一焊道处于焊道中间,便于焊透,以后为二道一层熔敷。测量坡口间隙约在 22~25 mm,每条焊缝大约焊接 40 道,焊缝横向收缩为 2.5~3.0 mm。

焊缝经探伤检查,除 2 条环缝因局部装配错边量大,根部有部分未熔合需返修外,其余窄间隙焊缝良好。试板进行化学成分检验,常温和 450℃ 高温拉伸强度、硬度、却贝冲击检验和抗回火性能检验,

其余结果见表 2、表 3, 焊接接头质量均满足设计要求。

表 2 焊缝化学成分 %

ω (C)	ω (Mn)	ω (Si)	ω (S)	ω (P)	ω (Cr)
0.090	0.800	0.120	0.003	0.010	2.100
ω (Mo)	ω (Cu)	ω (Ni)	ω (Sr)	ω (Sn)	ω (As)
0.990	0.110	0.110	0.003	0.002	0.002

表 3 焊接接头力学性能

项目	数值	
接头板拉伸强度 σ_{\perp} /MPa	560, 580	
接头温度 t /°C ($\sigma_{0.2}^{450^\circ\text{C}}$)	330	
接头冲击功 A_{kv} /J(-30 °C)	焊缝区	130, 118, 134
	热影响区	179, 189, 131
	母材	293, 293, 256
硬度/HB	焊缝区	189, 197, 192
	热影响区	188, 196, 183
	母材	188, 185, 187
抗回火脆化试验	焊缝区 VTr54+2.5Δ VTr	-33.3 °C < 10 °C
	热影响区	-28 °C < 10 °C

5 经济效益

窄间隙埋弧焊与常规埋弧焊相比较, 在经济上的优点是显著的, 这表现在: 焊缝金属体积减小, 从而大大节约了焊接材料, 缩短了焊接工时, 同时

降低了能量消耗。厚 100 mm、间隙 20 mm 的窄间隙焊缝经济比较数据如表 4 所示。

表 4 不同埋弧焊方法经济比较

焊接方法	焊接横截面积 s /mm ²	电弧燃烧时间 t /h	能量消耗 Q /kW·m ⁻¹	焊剂消耗 m /kg·m ⁻¹
常规焊	2 800	2.10	65	30
窄间隙焊	1 900	1.40	40	20

6 结论

(1) 焊剂 PF-200 可用于窄间隙焊设备进行二道一层埋弧焊。

(2) 图 2 和图 3 的坡口形状和尺寸适用于容器窄间隙焊。

(3) 应控制焊丝端部与侧壁距离在 2.50~4.05 mm 范围内; 干伸长度为 30~40 mm; 焊接规范参数如表 1 所示确定。

(4) 由于 2¼Cr-1Mo 的焊接接头性能检验结果比较理想, 所以选定的焊接材料是合适的。

(5) 通过生产实践证明窄间隙焊接工艺能保证焊接质量。

(6) 窄间隙焊与普通的埋弧焊相比可节省焊接成本。