

高效堆焊技术的应用研究

大庆油田建设集团培训中心 (黑龙江 163712) 张 军 袁利国 刘庆忠
大庆油田建设集团建材公司 (黑龙江 163712) 张先龙 苗西雨

大庆油田建设集团石油石化设备厂承揽的内蒙古鄂尔多斯新能能源公司煤化工工程中的锁斗材质为 Q345, 按设计要求内壁需要采用不锈钢堆焊, 以提高耐腐蚀性能, 因此堆焊能否成功是制造该设备的关键。本文在分析异种钢焊接性的基础上, 通过工艺评定, 正确地选择了适当的堆焊方法、工艺参数和热处理规范, 成功地进行了锁斗的堆焊, 完全达到了设备的技术要求。

一、焊接性分析

在 Q345 上堆焊不锈钢, 属于异种钢焊接范畴。由于母材对堆焊层焊缝的稀释和碳迁移, 在堆焊层焊缝一侧将产生马氏体组织。因此, 为防止母材稀释和焊缝含碳量增高, 防止产生脆硬的马氏体组织, 过渡层必须采用 25—13 型铬镍奥氏体焊接材料堆焊。而堆焊面层时, 为保证堆焊层焊缝良好的耐腐蚀和抗裂性能, 堆焊层应为 $\gamma + \delta$ 双相组织, δ 铁素体含量一般为 3% ~ 10%, 此时采用 18—8 型的焊接材料就可以满足耐腐蚀和抗裂性能的要求。

二、堆焊方法的选择

堆焊方法的选择主要取决于如何降低母材稀释率、提高效率以及简便操作。据有关资料记载, 常用的堆焊方法的稀释率分别为: 焊条电弧堆焊为 10% ~ 20%, 熔化极气体保护电弧堆焊为 10% ~ 40%, 埋弧堆焊丝极为 30% ~ 60%, 带极为 10% ~ 20%。因此, 选择焊条电弧堆焊或带极堆焊是最佳的堆焊方法。

从焊接效率、焊接质量和焊接变形角度考虑, 焊条电弧堆焊虽然操作灵活, 适合不同位置, 但效率低, 劳动强度大, 焊接质量不易保证, 不适于大型容器的堆焊。而带极堆焊, 操作简便, 焊道宽 (0.5mm × 60mm) 而平整, 熔深浅而均匀, 焊接效率高, 质量稳定, 产生的焊接变形因焊缝道数的减少而变小。对于大型容器, 完全

可以借助辅助工装实现平位自动堆焊, 因此, 埋弧带极堆焊是最理想的焊接方法。

三、堆焊材料的选择

堆焊材料分为过渡层材料和面层材料, 按照设备的技术条件要求, 锁斗过渡层采用 AWS ER309MoL, 面层采用 AWS ER316L。实际焊带牌号选用 0.5mm × 60mm 的 H309MoLH309MoL 和 H316L, 焊剂选用 SJ304, 均为哈焊所生产。焊带和焊剂的化学成分见表 1 和表 2。

表 1 焊带化学成分 (质量分数) (%)

牌号	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
H309MoL	0.027	0.31	2.01	0.004	0.021	21.53	12.78	2.26
H316L	0.025	0.26	1.88	0.0049	0.018	18.73	12.02	2.58

表 2 焊剂化学成分 (质量分数) (%)

牌号	SiO ₂ + TiO ₂	CaF ₂ + CaO + MgO	Al ₂ O ₃ + MnO	其他	S	P
SJ304	35	40	15	10	0.025	0.028

对于无法用带极堆焊的地方采用焊条电弧堆焊, 过渡层焊条为 E309MoL—15, 面层焊条为 E316L—15。

四、配套工装

锁斗属于锥形容器, 普通转胎难以满足堆焊需要, 根据实际情况, 利用报废滚轮架改造, 顺利地完成了锁斗的内壁堆焊。并根据锁斗堆焊特点, 又设计了一套专用工装, 如图 1 所示。该工装既可实现筒体焊接, 又能满足不同锥度的锥形容器的焊接需要。

五、堆焊工艺

1. 堆焊参数的选择

带极埋弧堆焊选择较大的电流、电压, 能保证堆焊层的厚度, 同时快焊速又能提高生产率。但据有关文献分析, 电流、电压、焊速以及预热温度增大, 稀释率也随之增大; 而适当调整压道量, 则可以降低稀释率并保

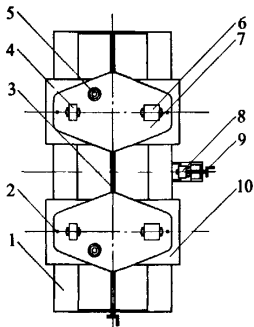


图1 工装示意图

1. 管道 2. 制动螺丝 3. 丝杠 4. 从动轮 5. 电机
6. 主动轮 7. 转盘 8. 顶辊支架 9. 丝杠 10. 支座
证焊缝成形。因此，为保证堆焊具有较小的稀释率、合适的焊道厚度、较好的焊缝成形，必须通过反复的试验选择适合的焊接参数。参数不匹配将直接导致焊缝表面成形变差及产生缺陷，而焊剂中含有杂质或水分也会在焊道中产生气孔，见图2~图4。最终堆焊参数见表3。

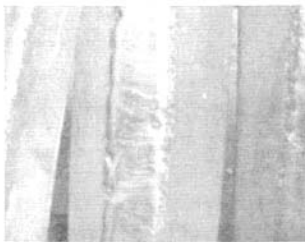


图2 焊道成形不良



图3 缩孔

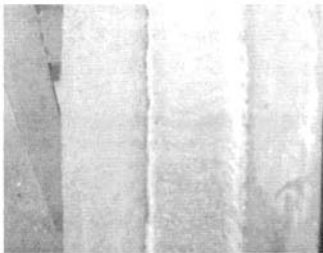


图4 气孔

表3 堆焊参数

层次	焊带 + 焊剂	电源 极性	焊接 电流 /A	电弧 电压 /V	焊速 /cm · min ⁻¹	干伸 长 /mm	搭接量 /mm
过渡层	H309MoL +	直流	650	24 ~	8 ~	35	6 ~ 8
	SJ304	反接		26			
面层	H316L +	直流	700	26 ~	14 ~	35	6 ~ 8
	SJ304	反接		28			

2. 预热温度和层间温度

在堆焊过渡层时，考虑到低合金母材和不锈钢线膨胀系数相差较大，预热可减少温差应力及焊缝中的淬硬组织，防止焊缝中产生剥离裂纹。但预热温度过高会使熔深增加，从而增大熔合比。对于低合金钢 Q345，预热温度选 100℃ 为宜。在过渡层表面堆焊面层时，预热会使热影响区在危险温度区停留时间增加，从而增大腐蚀倾向，因此堆焊面层前不预热，而且要严格控制层间温度，一般不超过 100℃。

3. 堆焊搭接量

焊道搭接量对堆焊层的表面耐蚀性有着非常重要的意义。搭接量过大，堆焊效率降低，焊材消耗量加大，焊缝表面高低不平，导致下层堆焊时易引起层间未熔及应力集中；搭接量过小，电弧直接作用于母材，母材熔化量多导致焊缝稀释率高；同时，焊道之间的凹下量即道沟缺陷也易形成应力集中。从试验可知，搭接量在 6 ~ 8mm 比较合适。此时，焊道表面平整、无道沟，波纹细密。

4. 热处理

焊后热处理分为中间热处理和最终热处理。中间热处理的目的在于消除扩散氢，软化组织，防止在最终热处理前先焊部位出现延迟裂纹；而最终热处理的目的是消除焊接残余应力和改善焊缝组织。根据 JB/T 4709—2000 中的表 6、表 7 及附录 A 的相关内容，中间热处理温度定为 610℃，保温 3h；最终热处理温度为 550℃，保温 5h。

六、工艺评定

按 JB 4708—2000 对板厚 25mm 的 Q345 试板进行堆焊工艺评定，评定参数见表 3。试板表面成形良好，按 JB4730—2005 进行表面 PT 检测，未发现缺陷。

按设计要求对面层表面以下 3mm 之内堆焊层取样做化学分析，用 TCY—1 型铁素体测定仪对堆焊层焊缝测试，检验结果见表 4，满足技术要求。

表4 面层化学成分和铁素体含量(质量分数)(%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	铁素体含量		
0.026	0.28	1.84	0.006	0.017	18.86	11.94	2.52	6.4	7.1	5.9

按 GB/T 4334.5—2000 对试样进行晶间腐蚀试验, 弯曲 180° 未裂, 晶间腐蚀试验合格。按 GB/T 232—1999 对试样进行弯曲试验, 结果合格, 见图 5 和图 6。

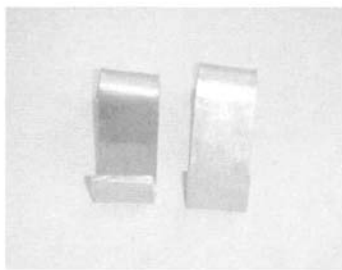


图5 晶间腐蚀

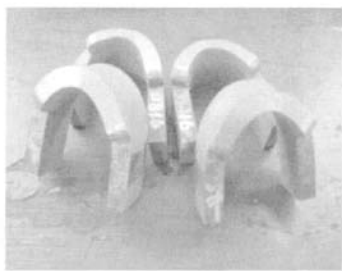


图6 侧弯

堆焊接头金相检验组织见图 7~图 9。

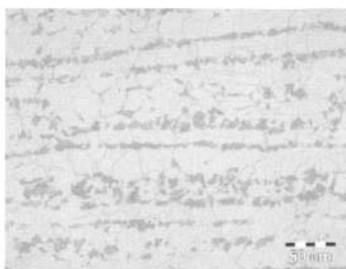


图7 Q345母材(铁素体+珠光体)

七、产品焊接

该锁斗尺寸壁厚为 110mm, 最大直径为 2900mm, 工作压力为常压 ~6.68MPa, 工作温度为 150℃, 表面堆焊层厚度 6mm。具体工艺措施如下:

(1) 管板待焊面去油、去污, 清洗干净, 100% MT, 按 JB/T 4730.4—2005 I 级合格。

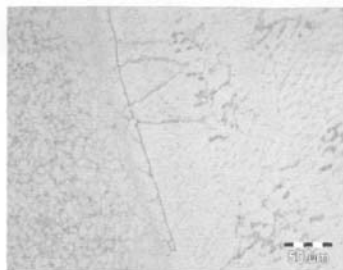


图8 Q345与309MoL界面

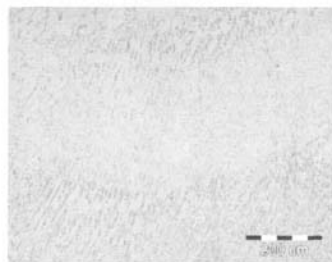


图9 过渡层309MoL焊缝(奥氏体)

(2) 电加热至 100℃。

(3) 带极堆焊过渡层: 压道量为 6~8mm, 在过渡层的堆焊过程中, 层间温度应严格控制在 100~150℃。

(4) 过渡层焊接完毕, 立即进行中间消应力热处理, 加热温度为 $(610 \pm 10)^\circ\text{C}$, 保温时间 3h。

(5) 过渡层焊接完毕, 按 JB/T 4730.5—2005 和 JB/T 4730.3—2005 进行 100% PT 和 UT 检测, I 级合格。

(6) 堆焊覆层: 层间温度应严格控制在 100℃ 以下。堆焊完毕后按 JB/T 4730.5—2005 和 JB/T 4730.3—2005 进行 100% PT 和 UT 检测, I 级合格。

(7) 最终热处理: 加热温度为 $(550 \pm 10)^\circ\text{C}$, 保温时间 5h。

八、结语

(1) 带极堆焊熔敷速度快, 熔深浅而均匀, 稀释率低, 焊道宽而平整, 是低合金钢大面积堆焊不锈钢的首选方法。

(2) 过渡层选用, 覆层选用 H316L, 覆层的铁素体含量约为 6.5%, 抗剥离性高, 抗晶间腐蚀性能好。

(3) 制定合理的热处理措施, 有利于提高不锈钢的耐腐蚀性能。

(4) 选用专用配套工装, 对于保证效率、提高质量具有重要意义。MW (20090115)