

镍基合金换热管与管板的焊接

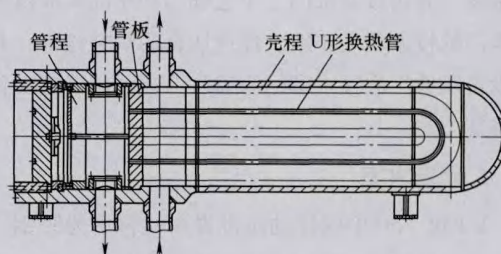
兰州兰石重型装备股份有限公司 (甘肃 730050) 汤传健 任世宏 陈宏伟 张建晓

【摘要】 本文通过焊接工艺试验、焊接工艺评定及产品的施焊证明, 所选用的焊接方法、焊接材料、焊接工艺规范正确合理。

近年来, 镍基耐蚀合金在压力容器及其相关领域的应用越来越多。这源于该种合金具有独特的物理、力学和耐腐蚀性能, 能解决一般不锈钢和其他金属、非金属材料无法解决的工程腐蚀问题。随着炼油装置的大型化, 炼油工艺不断改进, 对设备的堆焊层耐蚀性能要求越来越高。Inconel 625属Ni-Cr-Mo合金, 由于其含有较高的Cr和Mo, 故具有良好的耐点腐蚀和耐缝隙腐蚀性能, 既耐还原性介质腐蚀又耐氧化性介质腐蚀, 同时在氧化-还原复合介质中也具有良好的耐蚀性, 因此在炼油装置中的应用也越来越广泛。

高压换热器是加氢裂化装置除反应器外的核心设备之一。由于螺纹锁紧环式密封结构换热器具有结构紧凑、泄漏点少、密封可靠、占地面积小等特点, 一旦运行过程中出现泄漏, 也不必停车, 只须紧固内、外圈顶紧螺栓即可达到密封要求。目前国内外加氢裂化和重油加氢脱硫装置中普遍采用此结构换热器。年产 170×10^4 t/a渣油加氢处理装置中的热高分气/混合氢换热器, 管程设计温度 316°C , 设计压力 16.07MPa , 换热管材质为UNS N08825, 规格 $\phi 19\text{mm} \times 2\text{mm}$; 介质特性: 易爆; 管板材质为 $12\text{Cr}2\text{Mo}1\text{R}$ (H) IV+Inconel 625, 管箱壳体材质为 $12\text{Cr}2\text{Mo}1\text{R}$ (H), 设计温度 256°C , 设计压力 19.43MPa , 介质特性: 易爆, 结构如附图所示。

镍基合金焊缝金属组织为单一奥氏体组织, 液



高压换热器简图

态焊缝金属流动性差, 熔深浅, 焊接时易产生热裂纹及气孔。正确选用焊接材料、严格控制焊接热输入量及制定合理的焊接工艺是镍基合金焊接的关键, 为此必须了解镍基合金的焊接特点。

1. 镍基合金的焊接特点

由于镍基合金焊接时易产生热裂纹及气孔, 因此焊前应彻底清洗工件和焊丝; 焊接时选用较小的热输入量, 使接头高温停留时间减少, 对控制和减少热裂纹, 提高耐腐蚀性均有利; 同时应选择合适的焊接速度, 采用窄焊道焊接, 焊条电弧焊时, 尽量采用短弧; 层间温度应控制在 100°C 以下。

2. 焊接工艺评定

结合镍基合金的焊接特点及高压换热器的结构特点, 管板与换热管的焊接采用钨极氩弧焊, 并分别进行了焊接工艺评定。

(1) 管板与换热管焊接工艺评定 经多次焊接试验后, 用堆焊合格的 $12\text{Cr}2\text{Mo}1\text{R} + \text{Inconel 625}$ 试板, 按照表1的焊接材料及焊接

参数进行了管板与换热管的手工及钨极氩弧自动焊工艺评定，并依据产品技术条件和GB151-1999《管壳式换热器》附录B的要求，分别进行了宏观检查及焊缝H值（见表2）、拉伸试验（见表3）、金相组织、硬度及腐蚀试验（见

表4），试验结果均满足制造技术条件要求，证明所选用的焊接材料及制定的焊接工艺正确合理。

（2）手工钨极氩弧堆焊工艺评定 为了解焊后热处理对ERNiCrMo-3合金各项性能的影响，

表1 焊接材料及焊接参数

焊接方法	焊接材料	焊材规格 ϕ/mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹	电源极性	层间温度 /℃	氩气流量 /L·min ⁻¹
手工钨极氩弧焊	ERNiCrMo-3	2.5	140~160	15~17	100~110	直流正接	10~100	8~10
自动钨极氩弧焊	ERNiCrMo-3	0.889	130~140	9.5~10.5	60~65	直流正接	10~100	10~15

表2 宏观检查及焊缝H值

焊接方法	宏观检查	焊缝H值/mm
手工钨极氩弧焊	合格	10.6, 8.8, 7.3, 7.9, 6.7, 8.5, 8.8, 7.8
自动钨极氩弧焊	合格	7.5, 6.5, 8.0, 8.0, 8.5, 8.5, 7.0, 10.0

表3 拉伸试验

焊接方法	拉断力/N
手工钨极氩弧焊	74 130（断于管子）、73 940（断于管子）、74 060（断于管子）
自动钨极氩弧焊	74 640（断于管子）、74 290（断于管子）、74 100（断于管子）

表4 金相组织、硬度及腐蚀试验

试验项目	部位	焊接方法	
		手工钨极氩弧焊	自动钨极氩弧焊
金相组织	管侧母材	奥氏体	奥氏体
	管侧热影响区	奥氏体	奥氏体
	焊缝	奥氏体	奥氏体
	管板侧热影响区	奥氏体	奥氏体
	管板侧母材	奥氏体	奥氏体
硬度 (HV ₁₀) HV	管侧母材	175, 177, 182	173, 176, 178
	管侧热影响区	237, 236, 228	235, 218, 225
	焊缝	260, 262, 259	256, 265, 255
	管板侧热影响区	238, 233, 229	235, 220, 225
	管板侧母材	196, 188, 192	198, 186, 190
ASTM A262 C法	管接头/g·(m ² ·h) ⁻¹	平均腐蚀率0.66	平均腐蚀率0.89

在厚度为30mm的NS142的试板上采用手工钨极氩弧焊、按照表1的焊接材料及焊接参数进行了堆焊，焊后经690℃×8h热处理，并进行了化学成分（见表5）、堆焊层弯曲（见表6）、硬度及腐蚀试验（见表7）的检测，试验结果均满足制造技术条件要求。表明采用该热处理规范、在相应焊接工艺条件下，焊后热处理对ERNiCrMo-3合金各项性能的影响不大。

表5 焊层化学成分（质量分数）（%）

C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Al	Ti	Fe
0.01	0.004	0.001	0.08	0.05	20.83	65.40	8.16	3.27	0.13	0.20	1.27

表6 堆焊层弯曲试验

试样名称	取样部位	弯曲直径D	结果
大侧弯	垂直、平行于焊道各2件	D=4a a=10mm α=180°	合格
小侧弯	垂直、平行于焊道各2件	D=4a a=3mm α=180°	合格

