



FCAW堆焊E309LMoT1-4的 焊接工艺和接头性能研究

刁旺战 马鸣 刘海 欧海燕

【摘要】 为了研究堆焊单一E309LMoT1-4熔敷金属的焊接工艺和接头性能, 采用药芯焊丝气体保护焊 (FCAW) 在14Cr1MoR基体上堆焊双层E309LMoT1-4焊丝, 焊接过程中严格控制焊接热输入和采用有效的消应力退火热处理制度, 保证堆焊层顺利通过无损检测、无损检测、力学性能和金相组织分析等理化性能检测。试验结果表明: 采用药芯焊丝气体保护焊 (FCAW) 堆焊双层E309LMoT1-4焊丝时堆焊层的塑韧性满足要求, 但铁素体数量超过12, 适合用在对耐蚀性要求不高的容器产品中。

关键词: 药芯焊丝气保焊; 堆焊; 接头性能

1. 概述

目前, 在很多石化容器、核能设备等厚壁压力容器设计时, 往往综合考虑高温、高压、腐蚀性介质以及控制成本等影响因素, 要求在容器内壁堆焊不锈钢复层。根据腐蚀介质的工作温度和腐蚀特性以及抗裂因素, 常见的不锈钢复层搭配有309L/308L、309L/316L和309L/347, 其中堆焊首层309L (有的时候也用309LMo) 主要是为了在基体与面层之间形成高韧性的过渡层, 防止表面裂纹向母材扩展, 同时为了补偿由于基材稀释所引起的合金元素 (铬、镍) 降低, 使复层焊缝的合金成分保持应有的水平。而面层308L、316L和347主要是起到防止腐蚀的作用。而某石化容器产品的设计仅要求在14Cr1MoR的

壳体内表面堆焊厚度 $\geq 3\text{mm}$ 的309L堆焊层, 这种设计要求在以往的容器产品中十分罕见。

对于接管及弯头等某些受尺寸和结构限制的部件, 其内壁堆焊时往往无法采用带极埋弧焊施焊, 而采用焊条电弧焊堆焊又存在效率低、连续性差的缺点, 而药芯焊丝气保焊(FCAW) 因其具有熔敷效率高、脱渣性能良好、飞溅小等优点而获得广泛的应用。本文采用FCAW在14Cr1MoR母材表面堆焊双层

E309LMoT1-4不锈钢材料, 对焊接工艺、堆焊层弯曲性能、表面化学成分、硬度、金相组织等理化性能展开了研究。

2. 试验材料及方法

(1) 试验材料 试验中采用的基体材料为按照GB713—2014标准采购的14Cr1MoR钢板, 尺寸为 $300\text{mm} \times 250\text{mm} \times 50\text{mm}$, 供货状态为正火加回火热处理状态, 其化学成分如表1所示。焊接材料采用表2列出的由昆山京群公司提供的规格为 $\phi 1.2\text{mm}$,

表1 14Cr1MoR钢的化学成分 (质量分数) (%)

成分	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
GB 713—2014	≤ 0.17	0.40~0.65	0.50~0.80	≤ 0.02	≤ 0.01	1.15~1.50	≤ 0.30	≤ 0.30	0.45~0.65
实测值	0.15	0.49	0.55	0.007	0.003	1.33	0.19	0.02	0.48

表2 GFS-309MoL焊丝的的化学成分 (质量分数) (%)

成分	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
ASME SFA5.22	≤ 0.04	0.5~2.5	≤ 1.0	≤ 0.04	≤ 0.03	21.0~25.0	12.0~16.0	≤ 0.75	2.0~3.0
实测值	0.04	0.88	0.45	0.03	0.001	21.97	12.04	0.07	2.80

牌号为GFS-309MoL的药芯焊丝（见图1），该焊接材料成分和性能满足ASME SFA5.22的E309LMoT1—4的标准要求。



图 1

（2）焊接方法及工艺参数 焊接时采用的焊接方法为半自动药芯焊丝气体保护焊（FCAW），焊前需要对堆焊表面采用砂轮及丙酮等方法去除氧化皮、油污等污物。为了达到不小于3mm的堆焊厚度要求需要堆焊两层，如图2所示。

试验的焊接参数、预热温度、层间温度如表3所示。焊接时采用小的焊接电流，大的焊接电压及快速焊接，这样一方面可以控制堆焊层的厚度，另一方面小的焊接热输入可以减少熔合比，降低堆焊层铁素体含量，焊后去应力退火热处理时间按照一次返修考虑为 $665^{\circ}\text{C} \times 12\text{h}$ 。试验中采用的保护气体为80%Ar+20%CO₂，气体流量为20~25L/min，焊接过程中导电嘴距工件的距离为15~20mm，压道量为50%~55%。

3. 试验结果及分析

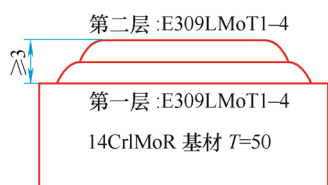


图2 堆焊示意

表3 药芯焊丝气保焊焊接参数

焊层	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 / cm·min ⁻¹	最大热输入 /kJ·cm ⁻¹	预热温度 /℃	层间温度 /℃
1	150~180	29~32	45~50	7.68	≥120	120~250
2					≥10	10~200

用肉眼观察，堆焊层表面无裂纹、气孔、夹渣、咬边缺陷。根据JB/T 4730标准对堆焊层表面进行100%PT+100%UT检测，检测结果为I级合格。对合格的焊接接头按照NB/T47014—2011《承压设备焊接工艺评定》标准中有关耐蚀层堆焊工艺评定的规则进行力学性能、化学成分等检测。

（1）不锈钢堆焊层高度 试验焊后采用高度尺对堆焊高度进行测量，首层堆焊的高度为2.3~2.7mm，两层堆焊后的最终厚度为4.5~5.0mm，考虑产品中接管内壁堆焊后需要机加的因素，堆焊层的厚度是满足要求的。

（2）不锈钢堆焊层的化学成分分析 对距离母材表面3mm处对堆焊层进行化学成分测定，结果如表4所示。根据表4测试的结果，分别计算其相应的Ni当量、Cr当量，并根据WRC—1992图来估算堆焊层的铁素体数量为12.1。采用磁性铁素体仪对相同位置进行测量，10个点的平均铁素体数量为12.8。可见采用WRC—1992图计算和磁性铁素体仪测量的铁素体含量基本一致。

单层堆焊E309LMoT1—4时

铁素体数量高于12，说明单层堆焊时抗晶间腐蚀的能力要弱于堆焊309L+347L或309L+308L的组合。

（3）不锈钢堆焊层的弯曲试验 按照NB/T47014—2011标准沿垂直于堆焊方向切取4个试样做横向侧弯试验，弯曲条件为： $d=40\text{mm}$ ， 180° ，弯曲结果为完好，在4个试样拉伸面上的基层、堆焊层及熔合线上均未发现缺陷，弯曲后的试样如图3所示。试验结果表明，采用小的焊接热输入且热处理保温时间短的焊接工艺，能够保证堆焊接头具有良好的塑韧性。

（4）不锈钢堆焊层的硬度试验 焊接接头的硬度检测结果如图4所示，由图4可知，堆焊首层的硬度出现了降低的现象，而面层硬度比首层硬度要高，分析原因为面层焊接时对首层有回火焊道的作用，有降低硬度的作用，而面层焊接时由于母材的预热温度低，焊缝的冷却速度快，加上没有后续焊道的回火作用导致硬度高于首层；另外，母材、热影响区及堆焊层的硬度都 $\leq 230\text{HV}_{10}$ ，硬度处于合理的范围内，可以保证堆焊层具有良好的韧性。

（5）不锈钢堆焊层的金相

表4 堆焊层化学成分（质量分数）（%）

成分	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
实测值	0.035	0.82	0.61	0.012	0.001	19.32	11.22	0.03	1.89



图3 侧弯试样

试验 采用光学显微镜对母材、热影响区和堆焊层的微观组织进行观察,未发现焊接缺陷,如图5~图8所示,由图可见母材组织为贝氏体,热影响区组织也为贝氏体,但由于受焊接热源的影响,热影响区的晶粒存在长大的现象,在熔化线附近出现了马氏体黑带,马氏体带的宽度随焊接过程中热输入量的增大而加宽,其奥氏体晶粒度也随着热输入量的增大而长大。焊缝组织形态为枝状晶组织,金相组织为 γ 奥氏体+ δ 铁素体,其中黑色为 δ 铁素体相,沿柱状晶方向生长,灰白色为 γ 奥氏体基体, δ 铁素体为骨架状和板条状,对比面层和首层的堆焊组织可知首层中的铁素体含量要高于面层,这与首层焊接时母材和堆焊层元素的过渡有关。

4. 结语

(1) 通过焊接过程中严格控制焊接热输入和焊后制定有效的消应力退火热处理制度,

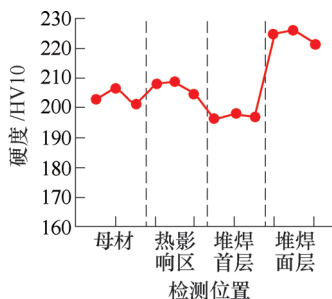


图4 硬度试验结果

采用药芯焊丝气保焊 (FCAW) 在14Cr1MoR基体上堆焊双层E309LMoT1—4不锈钢材料的方案是可行的,可以获得塑韧性合格的堆焊层。

(2) 堆焊双层E309LMoT1—4不锈钢材料时,堆焊层的铁素体含量超标,因此该堆焊工艺仅适用于对耐蚀性要求不高的容器产品中。

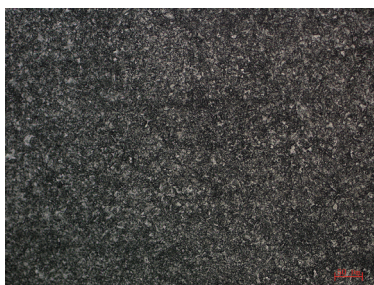


图5 母材金相组织



图6 热影响区金相组织



图7 堆焊首层金相组织

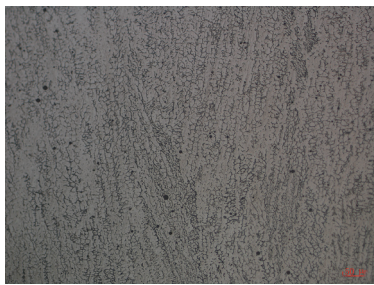


图8 堆焊面层金相组织

参考文献:

- [1] 张鹏林,等.不锈钢药芯焊丝堆焊技术在压力容器中的应用[J].电焊机,2006,36(12):1-2.
- [2] 张文钺,周振丰.焊接冶金与金属焊接性[M].北京:机械工业出版社,1987:166-174.
- [3] Brooks J A, Thompson A W, Williams J C. A fundamental study of the beneficial effects of delta ferrite in reducing weld cracking[J]. Welding Journal, 1984, 63 (3) : 71-83.

作者简介:刁旺战等,哈尔滨锅炉厂有限责任公司。

MW 20161026

普雷茨特携两款最新激光切割产品亮相工博会



在2016年上海中国国际博览会上,普雷茨特携带厚板亮面切割技术EdgeTec和优质穿孔技术PierceTec亮相,EdgeTec可以实现高质量切割从薄板至30mm厚的不锈钢板。PierceTec自动穿孔功能,大大缩短了加工时间并且优化切割的质量。

(普雷茨特)