

复合管管端堆焊 Inconel625 合金工艺及性能研究

王小艳, 潘建新, 周华, 张燕飞, 刘振锋

(西安向阳航天材料股份有限公司, 陕西 西安 710025)

摘要:采用福尼斯自动堆焊机及滚轮架设备、脉冲熔化极气体保护焊方法对规格为 $\phi 219.1\text{mm}\times(14.3+3)\text{mm}$ 、材质为 X65+316L 的复合管管端内壁堆焊 3mm 厚、50mm 长的 Inconel625 耐蚀合金层, 堆焊后对堆焊层进行化学分析、金相组织观察和性能测试。结果表明, 在堆焊层与基层界面处化学元素扩散不严重, 未影响堆焊层的耐蚀性能; 堆焊层的显微组织为树枝状奥氏体; 堆焊层与基层形成致密的冶金结合, 界面处没有出现气孔、裂纹及熔合不良等冶金缺陷; 堆焊层的硬度高于基层; 堆焊后界面结合强度平均为 415MPa。

关键词:复合管; 管端堆焊; Inconel625 合金; 化学分析; 金相组织

中图分类号: TG455

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2011)21-0154-03

Research on Performance and Process of Overlaying Inconel Alloy 625 on Lined Pipe Ends

WANG Xiaoyan, PAN Jianxin, ZHOU Hua, ZHANG Yanfei, LIU Zhenfeng

(Xi'an Sunward Aerospace Material Co. Ltd., Xi'an 710025, China)

Abstract: The inner surface of the lined pipe is in the size of $\phi 219.1\times(14.3+3)$ and the material X65+316 L was overlaid corrosion resistant layer of inconel alloy 625 with the size of 3 mm in thickness and 50 mm in length by pulsed MIG welding (MIG) method with automatic welding machine of phonics and the wheel frame equipment. The overlaying layer after overlaying is investigated by chemical analysis, microstructure analysis and performance testing. The results show that the diffusion of chemical elements of the interface between the overlaying layer and the substrate is not serious, which can not affect the corrosion resistance of the overlaying layer. The microstructure of the overlaying layer is dendritic austenitic. The overlaying layer and the substrate form a dense metallurgical bonding. The interface does not generate porosities, cracks, illbond and metallurgical defects. The hardness of the overlaying layer is higher than that of the substrate. The bonding strength of the interface after overlaying is 415 MPa.

Key words: lined pipe; overlaying on lined pipe ends; Inconel alloy 625; chemical analysis; microstructure analysis

复合管对接焊的难点在于避免基层低碳钢对不锈钢的污染使得不锈钢焊缝的耐腐蚀性下降, 采用对接焊前先在管端堆焊耐蚀合金层的工艺方法, 可以大大降低复合管对接焊的难度, 保证焊缝的耐蚀性能。目前国内外对复合管管端堆焊技术都有研究, 但都局限在研究阶段, 并未将该技术应用在实际生产中^[1-3]。本文就复合管管端堆焊的工艺过程及性能测试进行研究, 目的是能更好地将该技术应用在实际生产中。

1 工艺过程

1.1 材料

复合管基管规格为 $\phi 219.1\text{mm}\times 14.3\text{mm}$, 材料

为 X65 钢; 衬管规格为 $\phi 186\text{mm}\times 3\text{mm}$, 材料为 316L 不锈钢。根焊及堆焊层所用焊丝为 $\phi 1.2\text{mm}$ 的 Inconel 625 合金, 其成分见表 1。

表 1 Inconel625 焊丝化学成分(质量分数, %)
Tab.1 Chemical composition of Inconel625 welding wire (wt%)

	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Fe
实测	0.025	0.01	0.009	0.001	0.09	63.7	22.62	9.40	0.18
标准 ⁴⁾	≤ 0.1	≤ 0.5	≤ 0.015	≤ 0.015	≤ 0.5	≥ 58	20~23	8~10	≤ 5

1.2 方法

复合管管端堆焊过程包含以下三个步骤:

(1) 坡口加工 采用机械加工方法, 在坡口机上将待堆焊的复合管端部去除长为 60~70mm 的不锈钢内衬管; 然后将基管内侧由外至内加工成一向内倾斜的坡口, 坡口的倾斜角度为 $3^\circ\sim 8^\circ$ 。

(2) 根焊及堆焊 根焊及堆焊前基体表面采用丙酮进行焊前清理, 采用钨极氩弧焊机在坡口根部进行手工氩弧焊根焊, 根焊时电流为 150~170A, 焊

收稿日期: 2011-05-09

作者简介: 王小艳(1982-), 女, 陕西西安人, 工学硕士, 主要从事焊接方面质量管理工作; 电话: 18966925905; E-mail: wangxiaoyan1022@126.com

布速度为 55~70 mm/min, 保护气体 (Ar) 流量为 10~20 L/min; 根焊后复合管进行水平固定, 采用自动堆焊机从根焊处开始由内至外进行堆焊并形成多层堆焊层, 堆焊时焊接方向为螺旋线方向, 焊道摆宽为 10~15 mm, 焊接电流为 170~200 A, 焊接电压为 20~25 A, 平均热输入量为 3~5 kJ, 保护气体 (Ar) 流量为 10~20 L/min, 层间温度控制在 50~70 °C, 旋转速度 (工装频率) 为 35~45 Hz, 共堆焊 5~10 道、2~3 层, 道与道之间的搭接量为 30%~50%; 堆焊结束后堆焊层内壁高度不低于不锈钢内衬管的内表面高度且其外端口高度不低于不锈钢内衬管的外端口高度, 焊后用不锈钢刷进行打磨抛光。

(3) 焊后处理 采用机械加工方法, 在坡口机上对堆焊层的内壁和外端口进行处理, 使得堆焊层的内壁与不锈钢内衬管的内壁相平齐并且将堆焊层的外端面处理为平端口。

2 试验结果与分析

2.1 硬度测量

硬度测量采用维氏硬度计, 加载 10 kg, 加载时间 15 s, 分别从堆焊层到碳钢母材沿 3 条线测量硬度, 每条线测量 8 个点的硬度值, 每个点测量 3 次取其平均值, 测量间距为 1 mm, 其中 1~2 点为堆焊层的硬度值, 其余点为母材的硬度值, 测量结果见图 1。从图 1 可看出, 沿 3 条线测量结果硬度分布均匀, 其中堆焊层的硬度值 (测量点 1、2) 介于 200~240 HV10 之间, 在靠近母材的堆焊层硬度值略有所升高, 是由于刚开始堆焊时母材的部分碳元素发生扩散致使少量碳元素由母材扩散至堆焊层, 使得堆焊层产生强化, 因此靠近母材的堆焊层硬度值比距离母材较远区域的硬度值稍高。母材的硬度值 (测量点 3~8) 介于 160~200 HV10 之间, 母材处的硬度值分

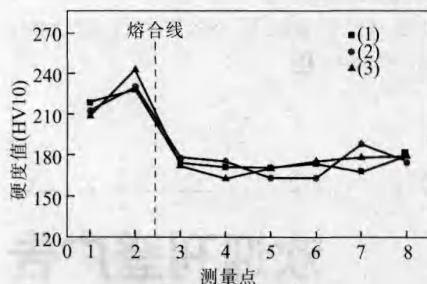


图 1 管端堆焊后硬度测量结果

Fig.1 Hardness measurement results after overlaying on pipe ends

布均匀, 没有出现升高或降低现象, 说明堆焊层对母材的性能没有产生较大的影响。从硬度测量曲线的整体趋势来看, 堆焊层的硬度值比母材的硬度值高。

2.2 化学成分测量

(1) 光谱分析 从堆焊层外表面开始取样, 试样规格为 50 mm×50 mm×2 mm, 采用光谱分析法对堆焊层进行化学成分测量, 测量结果见表 2。与 Inconel625 合金的标准化学元素含量对比, 堆焊层的化学元素含量均在标准^[4]范围内, 说明堆焊后堆焊层的耐蚀性能能够满足要求。

表 2 堆焊层化学成分测量结果 (质量分数, %)
Tab.2 Chemical composition of overlaying layers (wt%)

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Mo	Fe	Ni
实测 1	0.021	0.12	0.15	0.001	0.007	21.77	8.62	4.63	61.3
实测 2	0.021	0.05	0.13	0.001	0.008	22.68	9.08	2.02	62.9

(2) 能谱分析 图 2 所示为复合管管端堆焊后能谱扫描试验结果。图 2(a) 为从堆焊层到碳钢母材对 Cr、Ni、Mo、Fe 四种元素的线扫描结果。可以看出, 堆焊层的主要合金元素 Cr、Ni、Mo 在从堆焊层到碳钢母材界面处呈快速下降, 说明这三种合金元素在界面没有发生严重扩散, 在靠近界面的堆焊层处这三种合金元素分布比较均匀, 因此就能保证堆焊层的耐蚀性能不受堆焊过程的影响; 碳钢母材的主要元素 Fe 在从堆焊层到碳钢母材的界面处呈快速升高, 说明 Fe 元素在界面处也没有发生严重扩散。图 2(b) 为堆焊层道与道之间对 Cr、Ni、Mo 三种元素的线扫描结果。可以看出, 堆焊层道与道之间这三种元素分布比较均匀, 因此堆焊层的耐蚀性能较均匀。

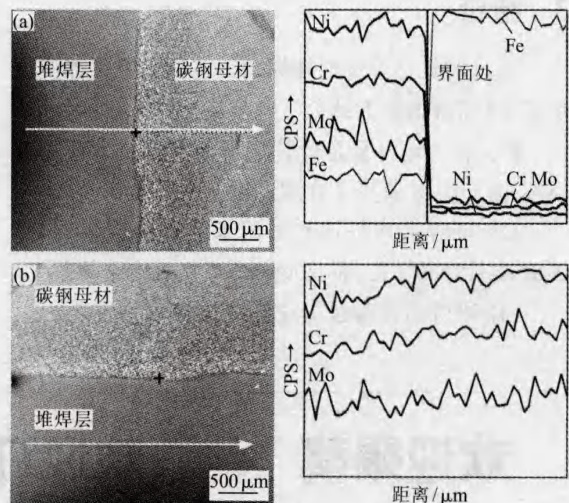


图 2 管端堆焊后能谱扫描结果

Fig.2 EDS scanning results after overlaying on pipe ends

2.3 金相组织

图3所示为复合管管端堆焊后金相组织照片。从图3(a)可以看出,堆焊层与碳钢母材在界面处形成致密的冶金结合,在堆焊层与基层结合的界面处没有出现气孔、裂纹及熔合不良等冶金缺陷,热影响区的宽度约为500 μm;图3(b)为碳钢母材区金相组

织,以铁素体(准多边形铁素体+多边形铁素体)和珠光体为主,还有少量的粒状贝氏体^[5];图3(c)为热影响区组织,其晶粒与碳钢母材区晶粒相比,热影响区晶粒略微发生长大;图3(d)为堆焊层金相组织,可看出堆焊层的晶粒形貌为柱状树枝晶,组织为奥氏体组织,晶粒非常细小。

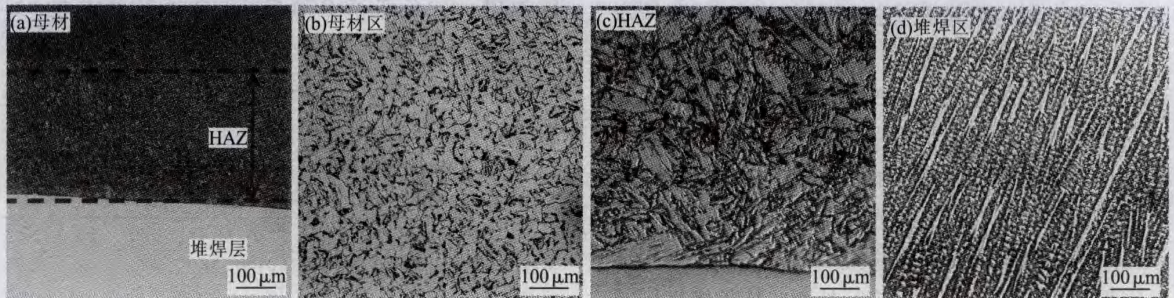


图3 管端堆焊后金相组织

Fig.3 Microstructure after overlaying on pipe ends

2.4 结合强度测量

对堆焊层的结合强度进行测量,试验及取样参考ASTMA264-2009^[6]标准,堆焊层的剪切分离强度标准要求不低于140 MPa。表3所示为管端堆焊后堆焊层与基层界面结合强度测量结果,可看出堆焊层与基层界面结合强度测量值远远大于标准要求,平均结合强度值为415 MPa。

表3 界面结合强度测量结果

Tab.3 Measurement results of interface bonding strength

编号	试样厚度/mm	试样宽度/mm	原始横截面积/mm ²	结合强度/MPa
1	4.50	25.30	113.85	442
2	4.50	25.30	113.85	388

3 结论

通过对复合管管端堆焊的工艺试验及性能测试研究,可以得出如下结论:

(1) 成功地将复合管管端自动堆焊技术应用在实际生产中,并获得了合理的工艺参数范围。

(2) 堆焊后堆焊层与基层呈致密的冶金结合,界面处未出现气孔、裂纹及熔合不良等冶金缺陷。

(3) 堆焊后堆焊层的化学成分满足标准^[4]要求,

在界面处未产生严重的化学元素扩散,堆焊层及基层内主要化学成分分布均匀,堆焊后未影响到基层的性能,同时也能保证堆焊层的耐蚀性能。

(4) 堆焊层的硬度值高于基层,在堆焊层内部和基层内部硬度值分布较均匀。

(5) 堆焊层内为柱状树枝奥氏体组织,晶粒非常细小;基层热影响区晶粒较基层发生略微长大。

参考文献:

- [1] 孟大润. 堆焊工艺在管道维修中的特殊应用[J]. 化工装备技术,2011,32(1):35-41.
- [2] 秦华,胡传顺,肖峰. Inconel625合金堆焊层组织和性能的研究[J]. 热加工工艺,2010,39(10):171-172.
- [3] 魏志刚,李发林. 小直径管内壁自动堆焊焊接工艺[J]. 能源研究与管理,2010,(4):88-90.
- [4] ASTM B443-2005, Standard Specification for Nickel-Chromium-Molybdenum-Columbium Alloy (UNS N06625) and Nickel-Chromium-Molybdenum-Silicon Alloy (UNS N06219)* Plate, Sheet, and Strip[S].
- [5] 郭世宝,李静宇,黄重,等. X65管线钢的生产实践[J]. 炼钢,2009,25(2):8-11. □

欢迎赐稿

欢迎订阅

欢迎刊登广告