

# Measures of Welding Quality Control for Nickel Base Alloy 625 + X60 Clad Pipe

Guofang Jing, Fengdong Diao, Kun Tian

China Petroleum Pipeline Engineering Co. Ltd., Langfang Hebei  
Email: [jingguofang@cppmde.com](mailto:jingguofang@cppmde.com)

Received: Oct. 12<sup>th</sup>, 2019; accepted: Nov. 15<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

There existed great difference between the chemical and physical properties in the 2 metals for madding up the nickel base alloy 625 + X60 clad pipe. It easily caused cracks and air holes in welding. Measures were taken for welding quality control from the aspects of welder qualification, equipment choice, welding materials, welding process parameters and welding conditions. The results indicate that the welding quality and qualified rate can meet the project requirements by all mentioned quality control measures.

## Keywords

Nickel Base Alloy625 + X60 Clad Pipe, Control Measures, Qualified Rate

---

# 镍基合金625 + X60复合管对接焊缝质量控制措施研究

荆国防, 刁凤东, 田 坤

中国石油天然气管道局工程公司, 河北 廊坊

作者简介: 荆国防(1981-), 男, 注册一级建造师, 主要从事天然气场站项目施工和技术管理方面的工作。

Email: jingguofang@cppmde.com

收稿日期: 2019年10月12日; 录用日期: 2019年11月15日; 发布日期: 2019年12月15日

## 摘 要

组成镍基合金625 + X60复合管的2种金属其化学成分和物理性能差异大, 焊接过程中容易产生裂纹和气孔等缺陷, 施工过程中通过对焊工资格、设备选用、焊材选用、焊接工艺和参数、焊接环境控制等多个方面采取措施来控制焊接质量。实践证明, 通过各种质量控制措施的实施, 能够有效保证焊接质量和合格率, 满足沙特哈拉德项目站场焊接施工要求。

## 关键词

镍基合金625 + X60复合管, 控制措施, 合格率

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

阿美公司在沙特哈拉德开采的天然气中  $H_2S$ 、 $CO_2$  等腐蚀介质含量高, 天然气从气井直接到气体处理厂, 中间的集输站不设置过滤、分离、脱硫等装置, 天然气对普通材质的碳钢管有严重的腐蚀性, 管件内腐蚀严重, 严重降低了管网的使用寿命, 不利于生产运行安全。场站维修、更换管线管件施工难度大, 成本高。镍基合金 625 + X60 复合管由 2 种金属复合而成, 内部为 3~5 mm 厚的镍基合金内衬, 外部为碳钢管, 具有良好的耐腐蚀性和足够的强度, 能够满足高含腐蚀性天然气输送的要求, 笔者对镍基合金 625 + X60 复合管的焊接质量控制措施进行了研究。

## 2. 镍基合金 625 + X60 复合管性能分析

镍和镍合金焊接时容易产生裂纹。除了宏观裂纹, 还会出现微观小裂纹, 这些微观小裂纹危险性极大, 根据裂纹产生的原因, 常见的有结晶裂纹、液化裂纹和应变时效裂纹[1] [2] [3]。

### 2.1. 结晶裂纹

结晶裂纹常发生在焊道弧坑, 形成火口裂纹。结晶裂纹多数沿焊缝中心纵向开裂, 有时也垂直于焊

波。可采取仔细清理焊接表面的氧化皮和污物(以免 S、P、Pb 等杂质混入熔池)、选择较小的焊接电流、减小焊接热输入、改善熔池结晶状态、采用抗裂性能优良的焊接材料等措施来减少结晶裂纹。

## 2.2. 液化裂纹

大部分镍合金都具有液化裂纹倾向,并随着合金元素量的增加液化裂纹越显著。液化裂纹产生在近缝区,具有沿晶开裂、从熔合区向母材扩展的特征。减少和避免液化裂纹的办法是尽可能减少热输入量和过热区的高温停留时间。

## 2.3. 应变时效裂纹

应变时效裂纹的形成与焊接残余应力引起的应变以及失效过程中塑性损失引起的应变有关。消除应变时效裂纹的措施有选择 Al、Ti 含量低,或用 Nb 代替部分 Al 的镍合金;接头设计时,选用合理的接头形式和焊缝分布,减少焊接的拘束度;焊接时,调节焊接热循环,避免热影响区中探花物相变引起的脆性;焊后对焊缝和热影响区进行合理的锤击或喷丸处理。

## 2.4. 控制措施

为避免出现焊接裂纹,应尽量减少层间热输入,因此对薄壁管采取手工氩弧焊,大口径厚壁管采取手工氩弧打底加焊条填充盖面的焊接工艺,为适应腐蚀性运行条件,匹配母材的力学性能,减少焊缝开裂的可能性,焊材选用伯乐的 AWS A5.14 ERNiCrMo-3 Thermanit 625 焊丝(直径为 2.4 mm),焊条选用伯乐的 AWS A5.11 ERNiCrMo-3 Thermanit 625 (直径为 2.5 mm 和 3.2 mm)。

## 3. 焊接过程控制

### 3.1. 焊接试样准备

试件采用长度为 300 mm,直径为 219 mm,壁厚为 8.74 mm 的钢管,焊接坡口采用冷切割进行加工,严禁使用火焰进行切割。

### 3.2. 焊接前准备

焊接前打磨坡口,坡口组对前需重新清理坡口表面,祛除镍基层表面氧化膜,用丙酮清洗坡口内外表面,清洗后用清水冲洗并用丝布擦干。制作充氩保护装置,背部进行充氩保护,氩气纯度不低于 99.997%。

### 3.3. 焊接前预热

焊接前预热无特殊要求,清理干净表面确保无水气即可。

### 3.4. 焊接过程控制

焊接过程采取较小的热输入( $<1.5 \text{ kJ/mm}$ ),层间温度低于  $100^\circ\text{C}$ ,防止焊缝及热影响区晶粒长大,从而影响焊接韧性,焊丝和焊条的焊接工艺参数见表 1 和表 2。

Table 1. The technical parameters of wire weldings

表 1. 焊丝焊接工艺参数

焊道数	焊接方法	电流极性	电流/A	电压/V	焊接速度/( $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ )	热输入/( $\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}$ )
根焊	GTAW	直流正接	95~103	9~11	73~111	0.645
热焊	GTAW	直流正接	100~109	9~12	70~97	0.816
填充	GTAW	直流正接	110~128	10~12	82~96	0.965
盖面	GTAW	直流正接	110~128	10~12	73~94	1.000

**Table 2.** The technical parameters of electrode weldings**表 2.** 焊条焊接工艺参数

焊道数	焊接方法	电流极性	电流/A	电压/V	焊接速度/(mm·min <sup>-1</sup> )	热输入/(kJ·mm <sup>-1</sup> )
根焊	GTAW	直流正接	81~103	9~12	63~114	0.698
热焊	GTAW	直流正接	134~140	10~12	90~106	0.923
填充 1	GTAW	直流正接	135~150	9~11	93~103	0.915
填充 2	SMAW	直流反接	76~82	22~26	87~108	1.195
盖面	SMAW	直流反接	76~89	22~25	88~118	1.140

### 3.5. 焊后无损检测和试验

焊后对焊道进行 100% 外观检查、渗透检测、射线探伤, 检测结果符合 ASME 标准[4]。

对试件进行拉伸试验、弯曲试验、冲击韧性试验和耐腐蚀试验。试验试件的焊缝金属和热影响区横断面融合完全、无裂缝, 焊缝成形质量符合规范要求。根据 ASME 规范要求, 试验抗拉强度为 621 MPa, 大于母材的抗拉强度 547 MPa, 试样拉伸和弯曲试验结果合格(表 3)。冲击韧性试验要求焊缝、热影响区的冲击吸收能量母材要求单个大于 20, 平均值大于 27, 根据试验结果(表 4), 单个值和平均值均符合要求, 冲击韧性试验结果合格。按照规范要求, 根焊区域硬度均小于 250HV10, 盖面区域硬度均小于 275HV10, 硬度试验结果合格。在 120 h 的酸性液体浸泡后, 重新检测金属成分, 各元素的含量符合规范要求, 耐腐蚀试验结果合格。

**Table 3.** The results of specimen drawing and bending tests**表 3.** 试样拉伸和弯曲试验结果

厚度/mm	抗拉强度/MPa	弯曲角度 180°	断裂位置
8.60	621.000	面(根)弯合格	焊缝

**Table 4.** The results of impact toughness test**表 4.** 冲击韧性试验结果

样本	长度/mm	宽度/mm	厚度/mm	温度/°C	吸收能量/J	平均吸收能量/J	横向膨胀/mm	结论
焊缝	55	10.02	4.01	-33.7	35	33.66	0.69	合格
		10.03	4.03		32		0.64	合格
		10.02	4.02		34		0.61	合格
		10.03	4.04		64		0.86	合格
热影 响区	55	10.04	4.02	-33.7	72	68.66	0.88	合格
		10.05	4.01	70	0.87		合格	

## 4. 质量控制措施

### 4.1. 焊工管理

焊工考试由经阿美认可的独立第三方进行监考, 考试过程中检查每层的焊接情况, 考完后检查外观、无损检测、力学实验, 任何环节不符合要求即终止考试。考试焊口所有结果合格后, 焊工必须持证上岗, 焊工证必须在有效期内并与从事的焊接工艺相匹配。阿美要求每名焊工每周不超过 2 张返修片, 总体返修率不超过 95%, 一旦超过指标界限, 停焊 1 周, 重新参加焊工资格考试。

针对焊接过程中集中发现的焊接缺陷,召开焊接质量专题会,讨论焊接缺陷发生的原因,制定预防改进措施,保证焊接质量符合规范和项目要求。

## 4.2. 焊接设备管理

所有的焊接电源、焊条保温烘干箱等设备必须经过阿美认可的第三方进行检测合格并贴签后方可使用。重点检测焊接的输出电流、推力、电压、极性须符合焊接工艺评定要求,焊接电源定期进行校验,不符合要求的要及时进行维修和更新,确保焊接电源和保温箱等设备符合焊接工艺评定要求。

## 4.3. 材料管理

### 4.3.1. 焊材管理

焊材保存于焊材室中,应保证焊材室通风、干燥(室温 10~25℃,相对湿度小于 60%),拆包后将焊条放入 250~300℃烘干箱 2 h 后,放入不低于 120℃的保温箱进行保温,焊条只能烘干 1 次。

### 4.3.2. 保护气体

保护气体选用纯度 99.997%的工业氩气,进场氩气需进行复验,保证氩气纯度满足规范要求。

### 4.3.3. 母材验收

要对甲供材料进行验收,重点验收母材的外观质量、出厂质量资料是否齐全,需经过项目质量管理部门验收合格后方可进场使用。

## 4.4. 焊接过程管理

- 1) 焊接时,选择小的焊接参数,氩弧焊要求焊接 2~3 层,填充盖面尽可能选用直径较小的焊条。
- 2) 相邻管纵向焊缝最小间距 100 mm。
- 3) GTAW 风速大于 2.2 m/s, SMAW 风速不大于 5 m/s,应采用有效措施(如防风棚)进行防护,考虑到施工现场处于沙漠,风沙大,更需妥善做好防风措施。
- 4) GTAW 均采用高频焊接设备进行焊接,应具有提前送气和收弧气滞后功能。
- 5) 提前进行充氩,充氩装置气室要小些,避免气室里面有混合气,用氧气分析仪测量含氧量(不得超出 0.02%),复合管焊接根焊时充氩量要大于 25 min/L,用 1~2 瓶氩气均可。
- 6) 焊口错变量不得大于 3 mm。
- 7) 焊接过程中的清理操作应采用不锈钢专用砂轮片和不锈钢丝刷。

## 5. 结语

焊接实践表明,采取适当的焊接工艺和参数,选择合适的焊接材料,合理安排焊接顺序,控制好焊接外部环境,能够获得良好的焊缝。焊接质量控制要从人、机、料、法、环等多个方面综合考虑,重视事前和事中控制,事后分析原因,采取有效的控制措施,才能够有效地保证焊接质量。

## 参考文献

- [1] 费东. UNS N06625 镍铬合金焊接工艺研究[J]. 钢管, 2016, 28(4): 35-37.
- [2] 马瑞. 镍基合金焊缝凝固组织演变过程模拟和仿真[J]. 焊接学报, 2010, 31(7): 43-46.
- [3] 杜敏. 镍基合金钢焊接施工工艺综述[J]. 石油化工建设, 2008, 30(4): 44-47.
- [4] ASME IX—2013, Welding and Brazing Qualifications.

[编辑] 鲁大丽