

加氢高压空冷器管板与管子焊接焊缝开裂原因分析

江苏索普（集团）有限公司 （镇江 212006） 李 明

1. 概述

加氢高压空冷器系统是加氢裂化装置中的关键设备之一，具有高温、高压、临氢系统的特点，属于特种设备。多数空冷器的失效都发生在管与管板连接部位，管与管板连接接头的质量好坏直接影响到化工装置生产的安全可靠性。通过对加氢高压空冷器的管板16MnR（抗氢细晶结构钢）与20钢（优质换热无缝钢管）换热管焊接后，焊缝出现裂纹的原因进行分析，提出保证焊接质量的工艺措施，以确保加氢高压空冷器的设备质量。

2. 焊接工艺及故障分析

对加氢高压空冷器管板与管子进行焊接试验。焊接材料为：16MnR（管板）+ 20钢（管子）；焊接方式：手工无焊丝（条）熔化焊；焊接参数：电压200V；电流50A，焊接速度400mm/min；保护气体：氩气7~9L/min；焊前预热150~200℃。焊后不久，发现在该焊接接头处出现开裂。

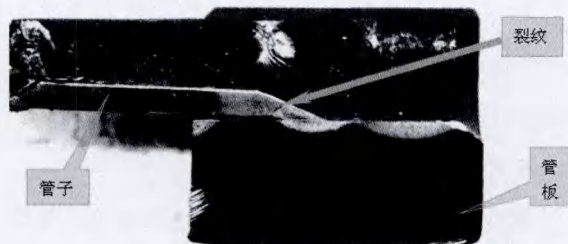


图1 焊缝开裂区域示意

对出现开裂部位进行解剖分析，其特征如下：

（1）裂纹出现在管子与管板的连接焊缝处管子一侧。试样在试验室经过研磨抛光，并浸蚀，宏观上可清晰的看出焊缝、焊接热影响区以及焊接熔深等试样的细节（照片中发白的区域）。裂纹出现在管子一侧发白的区域内。从图1可看出，裂口附

近的形状尺寸比较完整，无明显塑性变形痕迹，属宏观脆性断裂。

（2）对管子与管板材料试样进行金相组织检测，其显微组织均为正常的铁素体+珠光体组织，如图2所示。

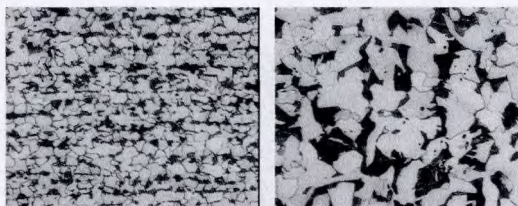


图2 管子（左）与管板（右）的显微组织 600×

（3）在出现裂纹的管子焊接热影响区，出现了淬硬的回火马氏体和下贝氏体组织，如图3所示。



图3 裂纹两边的显微组织照片400×

（4）对焊缝及热影响区进行显微硬度检测，其硬度分布曲线如图4所示。由曲线可见，焊缝裂口部位的硬度值最高；随着距离的增加，硬度逐步下降。

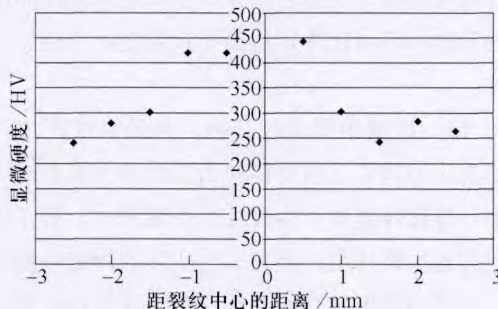
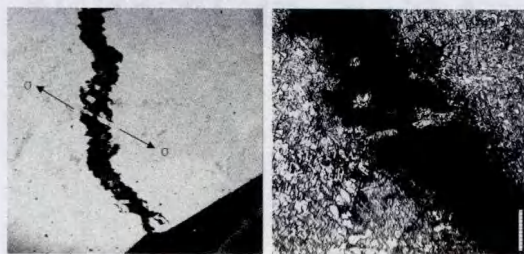


图4 裂纹两侧的显微硬度分布曲线

(5) 通过对微观裂纹分析发现, 裂纹微观上是塑性穿晶断裂模式, 如图5所示。由断口两侧的偶合情况及变形痕迹, 可以确定裂纹扩展的主受力方向, 其方向如图5所示。



(a) 30倍电镜裂纹照片 (b) 局部放大100倍照片

图5 裂纹微观形貌照片

促使裂纹扩展的应力, 实际上是管子所受的径向力与其所受的轴向力的合成。根据它们与主受力方向的交角可知, 导致焊接管出现裂纹的应力中, 管子所受的径向力起主要作用, 通过图6所示的裂纹部位显微组织电镜照片可以验证这一结论。



图6 裂纹部位的显微组织电镜照片

3. 结果分析及讨论

(1) 经分析管子和管板的显微组织正常, 均为铁素体+珠光体。

(2) 开裂出现在管子一侧的焊接热影响区, 宏观上是脆性断裂, 而微观上是塑性穿晶断裂; 由于钢的淬硬倾向越大, 越易产生裂纹, 通过对焊缝及热影响区显微硬度的检测, 发现在产生裂纹的焊缝处硬度最高, 且相应部位的显微组织为淬硬的回火马氏体和下贝氏体, 从而导致焊缝处产生焊接冷裂纹。

(3) 根据微观裂纹分析, 导致裂纹产生及扩展的主应力为管子所受径向力与轴向力的合成力, 其中, 导致焊缝处产生裂纹的合成力中, 管子所受径向力起主要作用。此外, 在实际的焊缝检测中发现, 管子与管板孔口的配合松动, 并且没有完全贴胀, 此种结构经无焊丝熔化焊接以后, 极易产生上

述应力分布状态。

(4) 对于出现焊接缺陷及微裂纹形成原因, 也可能与焊接时环境湿度、环境温度以及焊接区域的清洁度有关。在实施焊接时应考虑环境因素的影响, 如环境湿度大于90%时, 空气中含有大量的水分, 施焊时因为水分产生氢, 大量的氢溶入焊接熔池中, 在随后的冷却和凝固过程中, 由于溶解度的急剧降低, 和冷却速度过快, 导致氢来不及逸出而保留在焊缝金属中, 使焊缝中氢处于饱和状态, 并在焊缝处产生较大的氢压, 诱发并促使焊接冷裂纹的产生及扩展, 最终在外应力作用下导致焊缝失效。

4. 改进措施

加氢高压空冷器管板与管子连接焊缝的开裂是焊接冷裂纹。引起开裂的主要原因有两个: 一是焊接热影响区出现了高硬度显微组织; 二是管子与管板没有完全贴胀, 配合间隙偏大, 在焊接后出现了复杂应力状态, 为冷裂纹的产生及扩展提供了应力条件。

具体改进措施如下:

(1) 施焊时确保焊接工艺合理并严格按照焊接工艺进行, 并加强焊件的清理和焊接保护, 减少环境因素的影响等。

(2) 根据材料的化学成分进行必要的焊接冷裂纹敏感性估算分析, 适当调整所选钢材的化学成分, 尽量降低材料中增加焊接冷裂纹倾向的元素含量, 改善复杂应力状态下的开裂。

(3) 焊前预热并及时进行焊后热处理, 以控制裂纹的产生。

(4) 减小管子与管板的配合间隙及贴胀, 以降低焊接区的应力水平, 抑制裂纹的产生及扩展。

5. 结语

本次通过对加氢高压空冷器管板与管子连接焊缝开裂原因进行分析, 找出了焊缝开裂的原因, 并提出了相应的解决措施。以上的分析, 为提高加氢高压空冷器管板与管子的焊缝质量提供了理论依据, 通过采取控制材料化学成分、改进焊接工艺等措施, 提高了空冷器设备运行的可靠性及安全性。

MW (20120723)