

气瓶用无缝钢管横向内伤缺欠分析

杨世龙, 赵广林, 郭志文

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管分公司, 内蒙古 包头 014010)

摘要:在 $\Phi 406\text{ mm} \times 8.8\text{ mm}$ 气瓶用无缝钢管内表面发现形貌为结疤的缺欠,但纵向超声波检测并不报警,因此开启横伤探头进行缺欠检测,发现报警比例较高。通过对缺欠产品的宏观分析、化学成分分析、金相分析和能谱分析,得出了内表面横向缺欠产生的原因是连轧机轧制过程中润滑效果不佳,制定了降低限动力的轧制方法改进措施。

关键词:气瓶用无缝钢管;横向缺欠;轧制缺欠

中图分类号: TG335.71

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2025)04-0045-03

Analysis on Transverse Inside Defect of Seamless Tube for Gas Cylinder

Yang Shilong, Zhao Guanglin, Guo Zhiwen

(Steel Pipe Branch Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The defect with morphology of rolling skin is found on the internal surface of $\Phi 406\text{ mm} \times 8.8\text{ mm}$ seamless tube for gas cylinder, but longitudinal ultrasonic testing does not give an alarm, so probe of transverse flaw detector is started to detect defects and the proportion of alarm is found to be higher. The cause of transverse defect on internal surface is that the lubrication effect in rolling process of continuous mill is not good through the macro analysis, chemical composition analysis, metallographic analysis and energy spectrum analysis of defective products as well as the improvement measures for rolling method of reducing arresting force are proposed.

Key words: seamless tube for gas cylinder; transverse defect; rolling defect

随着工业、消防、军事、医药等行业的发展,对高压液化气瓶的需求不断增加,进而带动了气瓶用无缝钢管的需求。为提高气瓶的充装压力以充装更多气液体,提高经济性,市场对气瓶性能要求不断提高,目前高端市场气瓶的充装压力已达到 30 MPa ^[1],促使气瓶用无缝钢管在强度、韧性等方面不断进步,相应的对气瓶用无缝钢管生产工艺水平和产品质量检验的要求也更高。

根据气瓶用无缝钢管执行标准 GB/T 18248—2021^[2]的要求,热轧钢管在供货前需要进行 U2 等级的纵向超声波无损检测,某批次产品的纵向探伤检测结果全部合格,但在钢管内表面发现了横向裂纹缺欠。本文基于某公司 $\Phi 406\text{ mm} \times 8.8\text{ mm}$ 气瓶用无缝钢管生产过程参数与质量检测结果,系统分析了钢管内表面横向缺欠形成机理和关键影响因素,并制定了相应的改进措施。

1 质量检测结果

本次生产的 $\Phi 406 \text{ mm} \times 8.8 \text{ mm}$ 气瓶用无缝钢管,人工外观检验合格率为 86.4%。对钢管外观检验的缺欠原因进行分类分析,内折和内结疤为主要缺欠,占缺欠总数的 50.1%;壁厚不合格占比 26.3%;其余缺欠原因包括弯曲、外结疤等。

根据 GB/T 18248—2021 标准要求,钢管应进行超声波探伤检测,执行 GB/T 5777—2019 中规定的 U2 等级,热轧钢管最小槽深类别为 C 类。实际生产过程中,按照标准要求执行内外纵向 U2 等级超声波探伤,探伤合格率为 100%,但因内表面发现结疤形状缺欠,增加内外表面横向缺欠 U2 等级检测,探伤检测结果表明 19.6% 的钢管存在内表面横向缺欠。

2 缺欠分析

2.1 宏观分析

对超声波探伤剔料缺欠进行形貌分析,如图 1

所示。缺欠出现在钢管内壁表面和近表面,壁厚其他位置未发现类似缺欠。分布位置集中于硼砂残留结块区域和不构成缺欠标准的内表面细直道区域。多处缺欠以团簇方式沿钢管内表面纵向线性分布,形貌以蚀坑状和团状结疤为主。

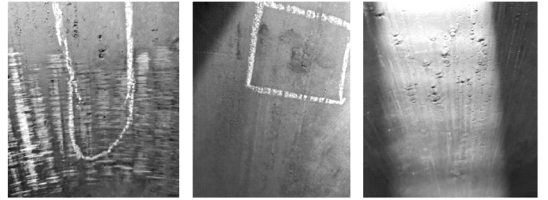


图 1 超声波探伤检测横向缺欠宏观形貌

2.2 微观分析

2.2.1 成分分析

按照 GB/T 4336—2016 标准进行化学成分分析,结果见表 1,化学成分满足 GB/T 18248—2021 的要求。

表 1 化学成分分析结果(质量分数)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	%
0.343	0.268	0.770	1.018	0.299	0.015	0.011	0.001	

2.2.2 金相分析

沿钢管壁厚方向取样进行金相检验,并在显微镜下测量缺欠深度。测量结果显示,缺欠深度可达 0.7 mm。金相分析过程中,选取一定区域内的最大深度缺欠,对缺欠处进行详细观察,样品腐蚀前和腐蚀后的缺欠如图 2 所示。低倍显微镜下可观察到沿钢管内表面分布的缺欠,经 4% 硝酸酒精溶液腐蚀

后,观察到的组织为贝氏体组织,同时可以观察到明显的带状组织,缺欠周围未观察到氧化圆点,也未观察到明显的脱碳层,裂纹周围有一部分高亮物质残留。

按照 GB/T 10561—2005 的 A 法进行钢管非金属夹杂物评级,检测结果如表 2 所示,符合 GB/T 18248—2021 标准要求。

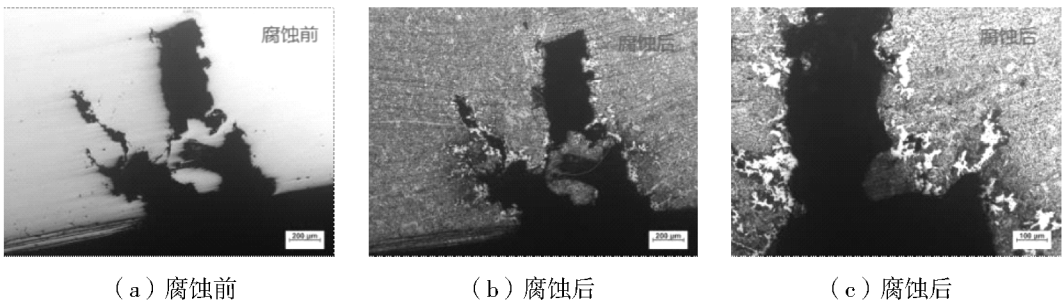


图 2 金相分析照片

表 2 非金属夹杂物检测结果

A 类		B 类		C 类		D 类		Ds 类
粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	
0	0.5	0	0.5	0	0	0	0	0
0	0.5	0	1.5	0	0	0	0	1.0

2.3 SEM 分析

对缺欠部位处进行 SEM 分析,并对缺欠内低倍

显微镜下高亮抗腐蚀物质进行成分分析,分析结果如图 3 所示。

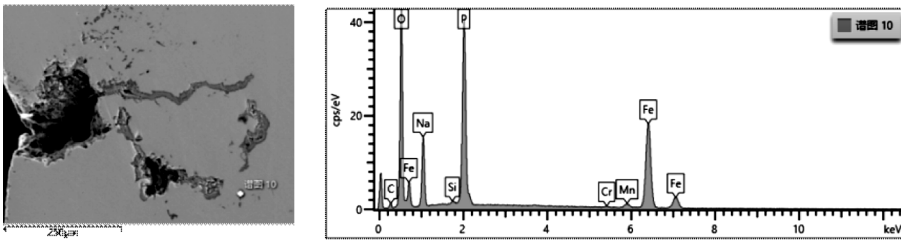


图 3 EDS 能谱分析结果

EDS 能谱分析结果显示,检测点有 Fe、O、P、Na 元素,分析认为以 Fe 元素氧化产物为主,同时存在含量较高的 Na 元素和 P 元素,应是热轧连轧机轧

制过程中硼砂润滑剂侵入裂纹内部造成。EDS 能谱分析详细结果见表 3。

表 3 EDS 能谱分析结果(质量分数)

C	O	Na	Si	P	Cr	Mn	Fe	%
1.47	20.39	7.61	0.25	19.7	0.33	1.79	48.47	

3 分析讨论

低倍显微镜下,缺欠附近未观察到氧化圆点和脱碳层,说明缺欠形成后未经高温长时间加热,由此推断缺欠应在热轧轧制阶段产生^[3]。EDS 能谱分析未检测到明显的非金属夹杂物聚集,在缺欠附近检测到热轧过程中硼砂润滑剂残留。

超声波检测存在缺欠产品的横向缺欠在钢管内表面的分布、尺寸和形貌特征较为相似。缺欠出现在内表面,纵向尺寸较小,未达到超声波报警阈值,横向尺寸达到探伤剔料标准。形貌上以蚀坑状和团状结疤为主,团簇分布,缺欠深度可达 0.7 mm;多个团簇缺欠总体上沿钢管内表面直线分布,存在比较明显的方向性分布规律,因此认为缺欠形成于热轧轧制过程中的连轧机轧制阶段。

宏观上看,缺欠分布位置集中于硼砂残留结块区域和不构成缺欠标准的内表面细直道区域,认为

热轧轧制过程中润滑效果不良导致了气瓶用无缝钢管内表面产生缺欠。检查生产过程中连轧机限动力曲线记录,发现存在限动力明显增大的异常情况,证明连轧机芯棒轧制阶段的润滑状况不佳。

综上所述,根据钢管的生产流程工艺特点判断,气瓶用无缝钢管内表面横向缺欠形成于热轧过程中连轧机轧制阶段。形成原因是轧制过程中内表面润滑状况不良,一方面存在硼砂结块导致的内表面蚀坑状缺欠;另一方面,芯棒石墨润滑不理想,造成直线分布的内结疤缺欠^[4]。

因此,可以采取改善连轧机润滑、降低限动力的改进措施。在适当增加硼砂润滑剂和芯棒石墨的用量,并通过改善加热制度和提高毛管运输速度的方式,略微提高连轧机开轧温度之后,后续生产该规格气瓶用无缝钢管基本消除了内表面横向裂纹缺欠。

(下转第 53 页)

和马氏体复相组织,且均以板条形式存在,宏观表现为偏析明显改善。

参 考 文 献

- [1] 刘新阳. 贝氏体钢轨钢相变和微观组织的研究[D]. 北京:北京交通大学,2021.
- [2] 陈昕,金纪勇,王冬,等. 复合微合金化贝氏体钢轨组织性能研究[J]. 鞍钢技术,2022(5): 30-34.
- [3] 张凤明,梁正伟,何建中,等. 贝氏体钢轨高温回火试验研究[J]. 包钢科技,2021,47(5): 68-71,95.
- [4] 李智丽,梁正伟,张凤明,等. U20Mn2SiCrNiMo 贝氏体钢等温冷却转变的显微组织演化

[J]. 金属热处理,2025,50(5):236-241.

- [5] 张迪,包喜荣,陈林,等. Mn-Cr-Mo 系贝氏体钢连续冷却转变的原位观察[J]. 金属热处理,2022,47(8):34-40.
- [6] 董瑞,陈林,岑耀东,等. 不同热处理条件下贝氏体钢的微观组织和疲劳裂纹扩展[J]. 金属热处理,2022,47(2):153-158.
- [7] 张瑞杰,郑春雷,张佩君,等. 定量分析贝氏体钢轨钢中的偏析对疲劳磨损性能的影响[J]. 机械工程学报,2023,59(12):253-263.
- [8] 韩青阳,程丹,任映奇,等. 偏析带对贝氏体钢轨钢腐蚀磨损性能的影响[J]. 燕山大学学报,2023,47(4):298-306.

(上接第47页)

4 结 论

(1)该规格气瓶用无缝钢管的内表面横向缺欠为轧制缺欠,产生于连轧机机组轧制过程。

(2)气瓶用无缝钢管内表面产生横向缺欠的原因为润滑效果不良,由穿孔工序的毛管硼砂润滑效果不良和连轧工序的芯棒石墨润滑不理想造成。

(3)通过改善润滑效果和提高连轧机开轧温度的措施可以有效减少该产品的内表面横向裂纹缺欠。

参 考 文 献

- [1] 王康. 宝钢高强度气瓶管的开发与组织性能研究[J]. 钢管,2024,53(3):30-35.
- [2] GB/T 18248—2021,气瓶用无缝钢管[S].
- [3] 寇沙沙. Q345B 无缝钢管结疤缺陷原因分析[J]. 包钢科技,2016,42(5):49-51,54.
- [4] 王君国. $\Phi 460$ mm PQF 连轧管机钢管内划道分析[J]. 天津冶金,2020(2):29-31.