25Mn2RE无缝钢管开裂缺陷原因分析*

张 娜[1,2],李智丽[1,2],姚晓乐[3],孙文秀[3]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古自治区稀土钢产品研发企业重点实验室,内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 采用金相显微镜、扫描电镜及能谱仪对25Mn2RE无缝钢管表面开裂缺陷原因进行分析检测,结果表明: 该无缝钢管缺陷主要是由于钢坯表面存在裂纹,经高温加热裂纹内部形成大量氧化铁,同时基体带状组织严重,导致用户在制管成型过程中,管件受到较大周向挤压应力时,管外壁形成横向裂口缺陷,管内壁带状组织分层形成鼓包。

关键词: 无缝钢管; 开裂; 钢坯; 带状组织; 应力
中图分类号: TG335.71 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2020)05-0038-05
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.05.013

Cause Analysis on Cracking Defect of 25Mn2RE Seamless Steel Pipe

Zhang Na[1,2], *Li Zhi-li*[1,2], *Yao Xiao-le*[3], *Sun Wen-xiu*[3]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Enterprise Key Laboratory of Rare Earth Steel Products Research & Development, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The causes for surface crack defect of 25Mn2RE seamless steel pipe are analyzed and detected with the metalloscope, scanning electron microscope and energy dispersive spectroscopy. The results showed that its defects were mainly due to the cracks on the surface of billet and a large amount of iron oxide was formed inside the crack by heat with high temperature. Moreover, the serious banded structure of matrix caused transverse crack defect on the outer wall of pipe and bumps formed due to the banded structure of the inner wall of pipe delaminated when the pipe was subject to bigger circumferential extrusion stress during the tubulation and forming process of user.

Key words: seamless steel pipe; cracking; billet; banded structure; stress

25Mn2RE无缝钢管属低合金高强度结构用钢,广泛用于制造重型载货车的零部件。由于汽车具有高速、重载的特点,要求车桥管具有硬度高、韧性好的特点以适应需要。与传统的焊接式车桥管相比

* **收稿日期**: 2020-06-15
作者简介: 张 娜(1988-),女,内蒙古包头市人,工程师,现从事失效分析和扫描电子显微镜研究检测工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

较，整体式车桥管突破传统的分段式加工工艺，避免了焊接缺陷，具有质量轻、刚性好、承载能力强等优点，既节约了钢铁原材料，又降低了加工成本。控制其钢坯质量对于提高产品成材率，优化加工工艺非常重要[1-3]。

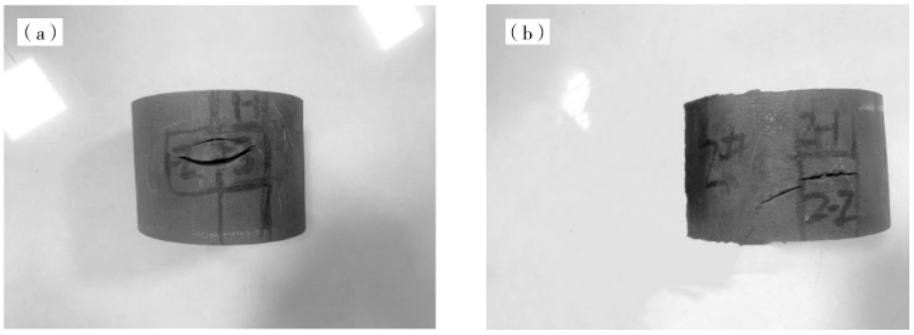
某厂生产 25Mn2RE 无缝钢管工艺为：铁水预处理→顶底复吹转炉冶炼→LF 炉精炼→VD 真空处理→连铸机→管坯锯切→管坯加热→穿孔机→连轧机→定径机→冷床冷却→精整。经 Φ180 mm 圆坯穿孔热轧成 Φ178 mm×8 mm 规格后供给用户加工成型。用户的加工生产工艺流程为：下料锯切→950 ℃管端加热挤压增厚成型→900 ℃管端一次加热挤压成型→利用前道工序余温管端二次加热挤压成型(约 650 ℃)→940 ℃管端三次加热挤压成型→管体中间段推方成型→调质处理。用户加工成型中的加热过程均为感应加热，加热时间在 60 s 左右。据用户反映某交货批次有 10% 左右的无缝钢管在加工成型时管外壁出现开裂。缺陷均发生在管端热挤压成型工序后，推方成型和调质处理工序前，严重影响产品质量。本文通过金相显微镜、扫描电镜和能谱等分析检测方法对送检缺陷样进行宏观和微观检测分析和研究，找到了该无缝钢管开裂缺陷的产生原因。

1　试验材料及方法

试验材料为开裂的无缝钢管缺陷件，材质为 25Mn2RE，规格 Φ178 mm×8 mm，采用蔡司 Axio Observer D1 m 金相显微镜和 LEO EVO 50HV 扫描电镜对缺陷原因进行检测分析。

2　宏观观察与取样

从管端缺陷处截取试样，宏观观察管体外壁均有明显的横向裂口存在，裂口对应管内壁有不同程度的鼓包存在。检测分析前对缺陷钢管分别编号 1#、2#。在 1# 试样开裂位置取样，编号为 1－1#、1－2#、1－3#，未开裂的正常基体位置取样，编号为 1－4#；在 2# 试样开裂位置取样，编号为 2－1#、2－2#，进行相关分析检测。如图 1 所示，图 1(a) 为 1# 试样缺陷形貌，图 1(b) 为 2# 试样缺陷形貌。



1# 试样缺陷形貌　　2# 试样缺陷形貌

图 1　缺陷宏观形貌及取样

3　检测与分析

3.1　化学成分检测

取 25Mn2RE 缺陷试样进行光谱分析，结果如表 1所示，可以看出该试验材料的化学成分满足 25Mn2RE 无缝钢管的技术要求。

表 1　25Mn2RE 缺陷试样化学成分(质量分数)　　%

化学元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	RE
技术要求	0.24～0.27	0.15～0.30	1.30～1.45	≤0.018	≤0.008	0.20～0.30	0.01～0.02	≤0.001
目标	0.25	0.25	1.4	≤0.015	≤0.008	0.25	0.015	0.001

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.2 金相检测

对1-3#试样的纵向面磨制，抛光后显微镜下观察，缺陷处有一条由外壁向内延伸的裂纹，与表面约呈70°角，裂纹长约0.7 mm，裂纹内有氧化铁，裂纹周围氧化圆点较多，连成了氧化圆点带，裂纹内及周围无异常非金属夹杂物，见图2。图2(a)、(b)为开裂处金相显微镜放大200倍、500倍的裂纹局部微观形貌。

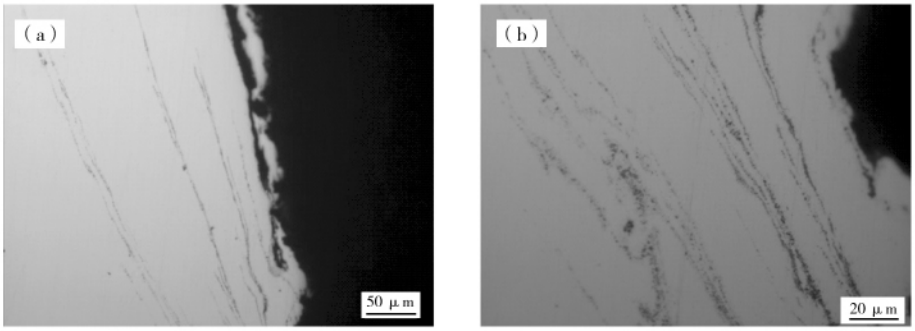


图2 裂纹局部微观形貌

采用4%的硝酸酒精溶液腐蚀后显微镜下观察裂纹周围脱碳严重，见图3。图3(a)、(b)分别为在金相显微镜放大100倍、200倍下裂纹周围脱碳的显微组织形貌。

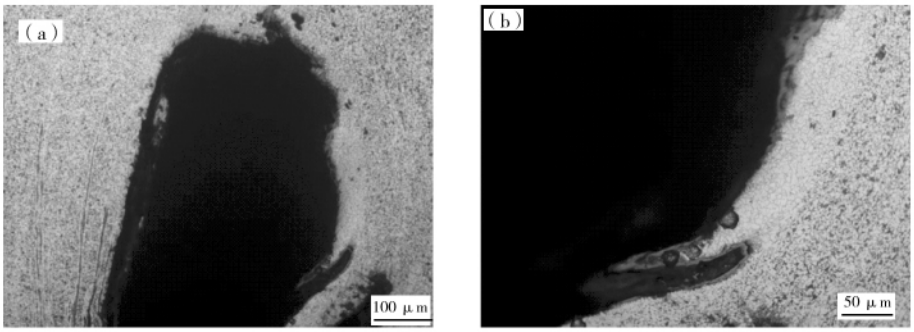


图3 裂纹周围脱碳的显微组织形貌

磨制1-4#试样的纵向面抛光后显微镜下观察其非金属夹杂物，结果如表2所示，依据25Mn2RE(CZ)的技术协议，非金属夹杂物要求均控制在2.0级以下产品质量符合要求。

表2 非金属夹杂物检验结果

类型	A类		B类		C类		D类		D_S类
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	
级别	1.0	0.5	0	0	0	0	1.0	0.5	0.5

采用4%的硝酸酒精溶液腐蚀后显微镜下观察基体组织不均匀，基体组织为铁素体+珠光体，基体带状组织为5级，带状组织严重，见图4。图4(a)、(b)为基体金相显微镜放大100倍、500倍的显微组织形貌。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

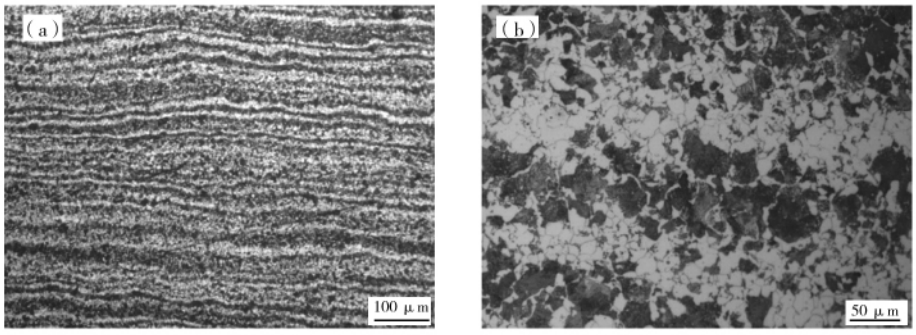


图 4　显微组织形貌

将 2－1# 试样的横向面磨制，抛光后显微镜下观察，缺陷处裂纹内有氧化铁，裂纹附近有氧化圆点，裂纹内及周围无异常非金属夹杂物。如图 5 所示，为裂纹局部微观形貌。

采用 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀后显微镜下观察裂纹周围脱碳严重，见图 6。图 6(a) 、(b) 分别为在金相显微镜放大 100 倍、200 倍下裂纹周围脱碳的显微组织形貌。

3.3　扫描电镜检测

采用 LEO EVO 50HV 扫描电镜及其能谱仪对裂纹附近氧化圆点进行检测。结果如图 7 所示，图 7(a) 为扫描电镜二次电子采集到的氧化圆点形貌，图 7(b) 为能谱仪对氧化圆点化学成分的定性分析，主要有 O、Si、Mn、Fe 等化学元素。

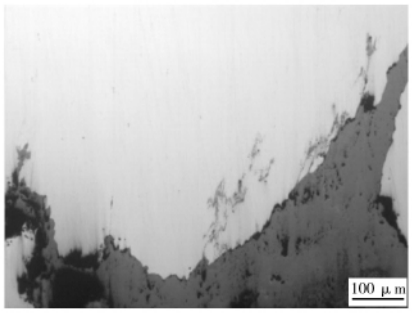


图 5　裂纹局部微观形貌

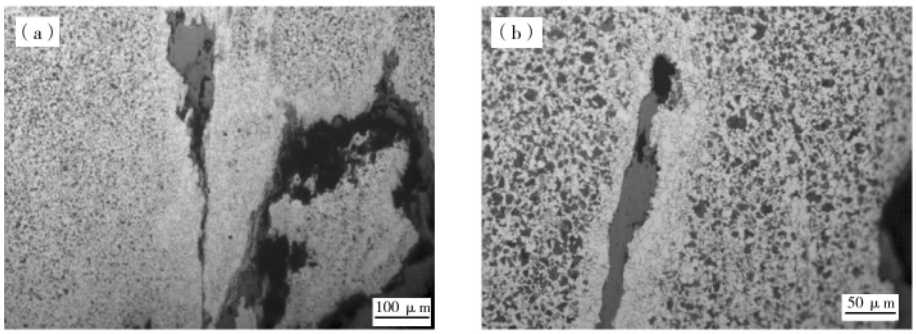


图 6　裂纹周围脱碳的显微组织形貌

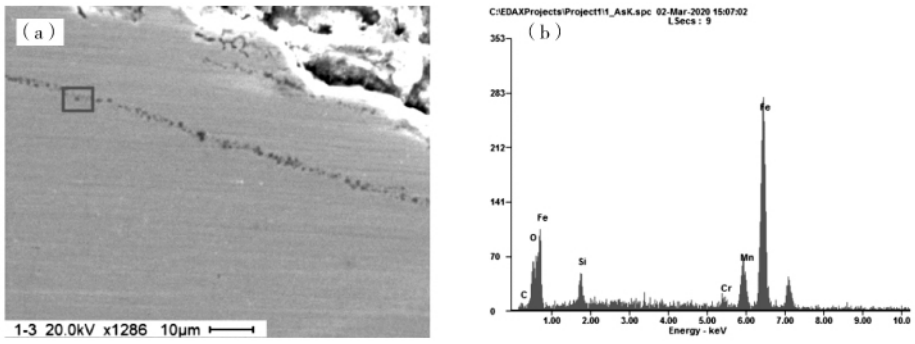


图 7　氧化圆点形貌及能谱分析

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 结果分析

检验结果分析表明,25Mn2RE 的化学成分、非金属夹杂物级别均符合产品质量要求,缺陷内未见异常夹杂物,裂纹周围有大量的含 O、Si、Mn、Fe 成分的氧化圆点,连成了氧化圆点带,裂纹内有氧化铁,裂纹周围脱碳严重,均表明裂纹经历了高温氧化过程[4-5]。

氧化圆点的生成温度需在 1 000 ℃以上,保温时间至少 30 min 以上[4-6]。从制管的工艺流程分析推测,裂纹产生于钢坯表面,经加热炉加热保温后裂纹周围高温氧化,钢管基体带状组织严重,组织应力过大,会优先在缺陷处形成应力集中,在后续钢管轧制生产过程中裂纹进一步扩展[7-8]。

经检验该 25Mn2RE 无缝钢管的基体带状组织为 5 级,带状组织严重。管端利用前道工序余温加热挤压成型时,珠光体条带与铁素体条带的变形能力差异较大,易于产生分层。用户热挤压成型过程有一个较大的周向压应力作用于管件,对于靠近钢管内壁的分层,减径过程相当于非常薄的管件受到较大周向挤压应力,很容易失稳形成内壁鼓包现象,而受压应力作用钢管外壁裂纹进一步扩展形成横向裂口。

5 结论

(1) 25Mn2RE 无缝钢管开裂缺陷的产生是由于连铸坯表面存在缺陷,经加热炉加热保温后导致缺陷处高温氧化,在后续轧制过程中裂纹进一步扩展。

(2) 25Mn2RE 无缝钢管基体带状组织严重,容易形成组织应力,组织应力过大,会优先选择在铸坯缺陷处形成应力集中,进而在后续钢管轧制过程中缺陷进一步恶化。

(3) 用户热挤压成型过程,管内壁受到较大的周向压应力作用容易形成内壁鼓包现象,而外壁裂纹进一步扩展形成横向裂口缺陷。

参 考 文 献

[1] 张立强,包燕平,王敏,等. 20Mn2 车桥管推方裂缺陷研究[J]. 北京科技大学学报,2013,35(3):297-302.

[2] 董红磊,黄重国,袁清华. XCQ16-1 车桥用钢调质热处理工艺的研究[J]. 材料科学与工艺,2009,17(4):462.

[3] 刘莉,冯岩青,李智丽. XCQ-16 车桥管热处理后组织异常原因分析[J]. 包钢科技,2006,32(S1):77-78.

[4] 张龙,李仕力,刘海英,等. 弹簧钢表面裂纹氧化行为的研究[J]. 天津冶金,2016,(4):32-38.

[5] 王朝阳,刘伟. 12Mn 输油管线无缝钢管表面微裂纹成因分析[J]. 天津冶金,2018,(4):18-21.

[6] 祝桂合,万友堂,张继明,等. 钢板表面裂纹及氧化圆点形成条件模拟试验[J]. 山东冶金,2012,34(2):30-33.

[7] 宋景凌,田汉蒲,陈代兵. P91 钢连铸圆坯热轧钢管表面开裂的原因分析[J]. 上海金属,2018,40(5):32-36.

[8] 邹友富,米永峰,郝葆江,等. 连铸圆坯应力裂纹与无缝钢管缺陷关系的探讨[J]. 包钢科技,2019,45(4):34-39.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net