

L 360 螺旋焊热煨弯管外弧产生裂纹的原因分析

荣 明¹ 鲜 宁¹ 张楠革² 张 丽³ 周辉辉⁴

1. 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610041;

2. 中国石油西南油气田公司天然气研究院, 四川 成都 610213;

3. 长庆油田矿区服务事业部兴隆园物业服务处, 陕西 西安 710018;

4. 杭州汽轮辅机有限公司, 浙江 杭州 310022

摘 要:某制造厂在用 L 360 螺旋焊管生产热煨弯管的过程中发现弯管出现裂纹现象,对弯管母管进行理化检验和金相分析,确认母管材质符合标准要求。采用金相显微镜、扫描电镜(SEM)、能谱仪(EDS)对裂纹断口的组织结构、微观形貌以及裂纹区域的化学成分分布进行检测分析,发现裂纹源区有 Cu 污染,并结合热煨弯管的制造过程,对热煨弯管开裂的原因进行深入讨论。研究结果显示:母管表面的 Cu 污染是造成弯管在煨制过程中开裂的主要原因,提出了相应的生产质量控制措施。

关键词:热煨弯管;裂纹;Cu 污染;螺旋焊管

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2015.06.015

0 前言

某制造厂采用 $\Phi 406 \times 10$ 的 L 360 螺旋焊管通过感应加热进行热煨弯管制造,生产出来的弯管在后期的无损检验中发现存在大量缺陷。表面探伤发现部分弯管外表面有裂纹存在,裂纹位于受弯曲拉应力的外弧侧,大部分裂纹沿环向分布。根据文献资料^[1-9],弯管在制造过程中,很多因素都可能影响弯管质量,弯管质量将影响管网运行安全。为了提高弯管质量,本文对弯管产生裂纹的原因进行分析,以期对热煨弯管生产制造质量控制提供参考。

1 热煨工艺和试验材料

弯管材质为 L 360,生产工艺流程为:原材料入厂检验—投料—热煨弯制—消应力退火—喷砂—检测。热煨工艺采用中频感应加热,温度控制在 $900 \sim 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$,边加热边弯曲边喷水冷却,冷却介质为清水,然后 $585\text{ }^{\circ}\text{C}$ 消除应力退火。弯管外弧受拉面存在裂纹,多数为环向,最长约 20 mm ,但也有龟裂状的,方向与弯管时的拉应力垂直。

选取母管 1 根、没有裂纹的弯管 1 只、带裂纹的弯管 2 只进行取样分析,弯管分别在直管段和外弧侧取样。母管样品、弯管直管段样品分别进行金相组织和理化性能测试,带裂纹的弯管在裂纹处取样,采用 SEM 和 EDS 进行形貌和化学成分分析。

2 弯管裂纹原因分析

2.1 L 360 母管材质分析

根据刘迎来等人^[1]对 X 70 热煨弯管开裂原因的分析,母管中的夹渣会造成弯管开裂,因此,本次分析首先复验了母管的质量。对母管、开裂弯管的直管取样进行化学成分、力学性能测试,测试结果显示:两种被测样品的化学成分和力学性能基本一致,均符合 GB/T 9711-2011《石油天然气工业管线输送系统用钢管》标准的要求。同时,对两个样品的微观组织结构进行分析,其测试结果显示,两样品的金相组织和硬度基本一致,金相组织良好,均为铁素体+珠光体,晶粒细小均匀,未见非金属夹杂,硬度在 $170\text{ HV }10 \sim 180\text{ HV }10$ 之间。此外,

收稿日期:2015-09-27

基金项目:国家重大科技专项“大型油气田及煤层气开发”(2011 ZX-05059)

作者简介:荣 明(1986-),女,湖北仙桃人,工程师,硕士,从事石油化工管道设备的设计与研究工作。

采用超声波和磁粉探伤对母管进行无损检测,未发现母管表面和内部存在原始裂纹。

母管材质分析表明,用于制造弯管的母管符合标准要求,且金相组织良好,可以排除因母管质量问题导致热煨弯管开裂。

2.2 弯管裂纹分析

对可开裂弯管进行宏观检查发现:裂纹表面附近区域与其他区域颜色存在差异,隐约可见呈铜褐色。为进一步查明热煨弯管失效的真正原因,沿开裂弯管的开裂部位进行取样。裂纹位于外弧承受拉应力的表面,裂纹沿环向长大约 12 mm(垂直于拉应力),深约 3 mm,裂纹沿深度方向的宏观特征见图 1,裂纹尖端特征见图 2。

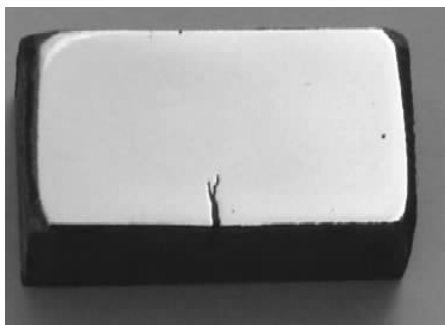


图 1 裂纹宏观特征(沿深度方向)

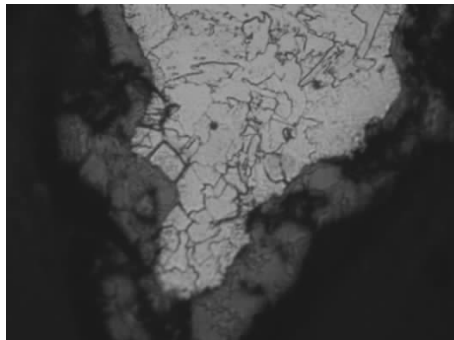
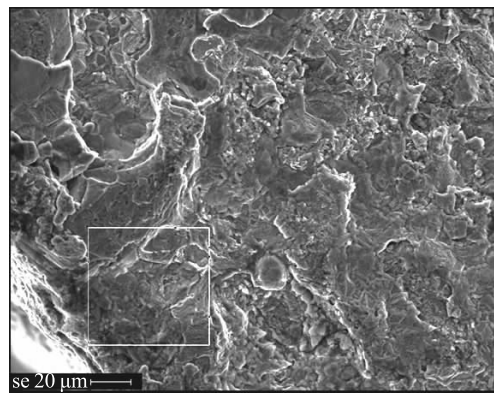
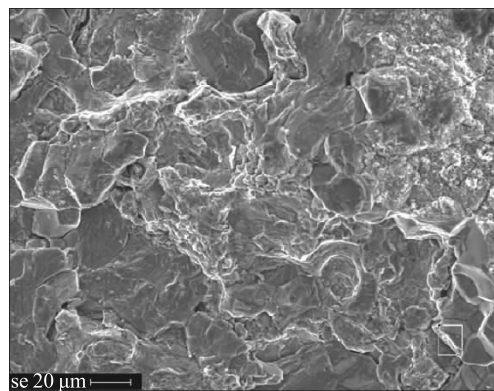


图 2 裂纹尖端特征

为了弄清裂纹内部的特征,沿壁厚方向剖开裂纹断口,在断口面发现:近表面的断口大多覆盖一层铜褐色的薄膜,随着裂纹深度向内扩展,逐渐变色,至裂纹深处时,断口表面则覆盖一层黑褐色的薄膜。采用扫描电镜(SEM)和能谱仪(EDS)技术,对不同深度断口面的微观形貌和微区化学成分进行分析。在去除断口表面薄膜前,断口在扫描电镜(SEM)下的微观形貌见图 3。由图 3 可见,裂纹断口表面大都覆盖一层薄膜,采用 EDS 对断口表面微区的化学成分进行分析,结果见图 4。由图 4 可见,裂纹断口的化学成分主要为 Fe、O、Cu。裂纹源处和裂纹深处均检测到 Cu 元素的存在,其含量存在明显差异且远高于母材的 Cu 含量,见表 1。综合断口宏观检查时观察到颜色变化趋势,可推断断口表面的薄膜主要为铜和氧化物。

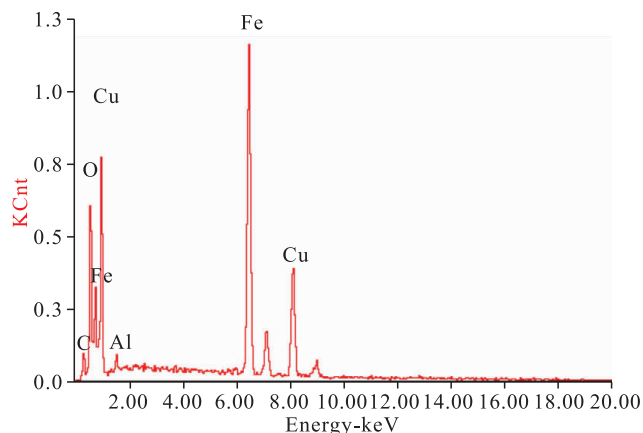


a) 裂纹源处

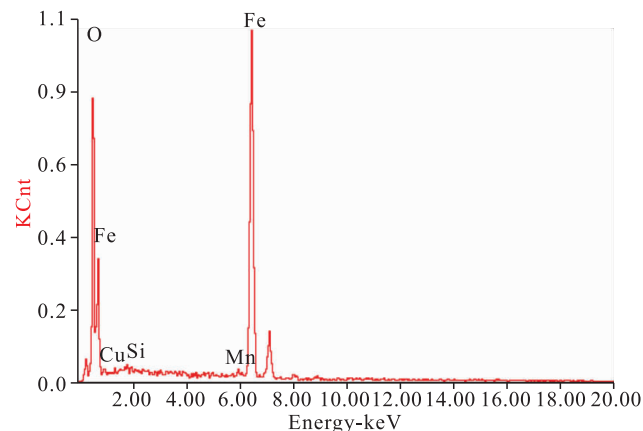


b) 裂纹深处

图 3 除去表面薄膜前断口的 SEM 照片



a) 裂纹源处



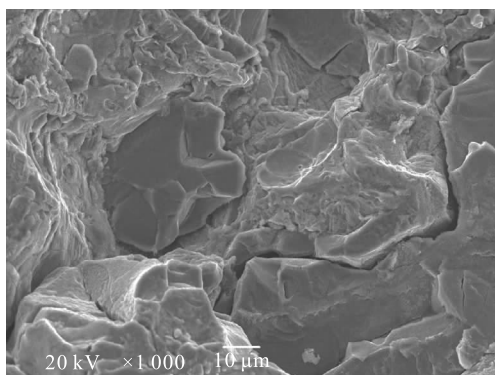
b) 裂纹深处

图 4 EDS 测试结果

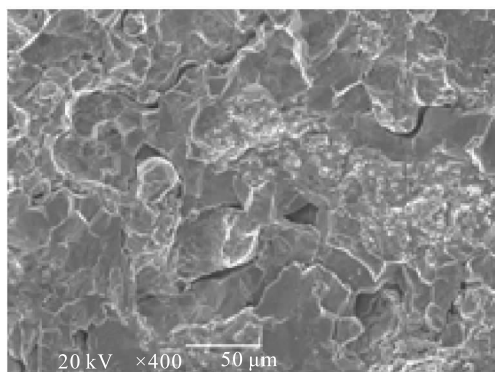
表 1 微区化学质量成分 (%)

检测部位	Fe	O	Cu	Al	Si	Mn
裂纹源处	50.27	16.24	32.59	0.91	—	—
裂纹深处	71.46	23.33	3.28	—	0.58	1.34

去除断口表面薄膜后,再采用 SEM 观察断口的微观形貌。裂纹断口表面依然可见未完全除去的薄膜,断口表面二次裂纹被观察到,沿晶开裂的微观特征也被观察到,见图 5。更高放大倍数下的断口沿晶开裂特征见图 6。



a) 裂纹源处



b) 裂纹深处

图 5 裂纹断口的 SEM 照片

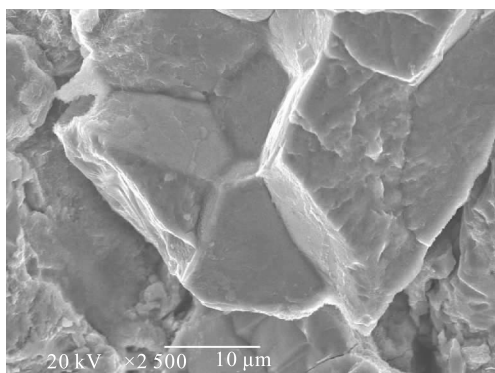


图 6 冰糖状沿晶开裂的断口特征

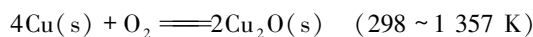
3 产生裂纹的原因分析

根据对裂纹断口的微观形貌和微区化学成分分析,

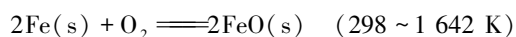
在断口表面存在 Cu 元素,断口呈现沿晶断裂特征,分析表明:本次弯管出现裂纹主要是由于液态金属脆化引起,即铜脆。对母材的金相组织和理化性能测试结果表明:Cu 不是来自母材自身,而是源自外部。综合弯管宏观检查结果,焊管表面局部区域发现有铜,从其制造过程分析,可能是焊接时焊接电缆胶皮破损,露出铜线,与焊管接触打弧,铜线熔化粘在焊管表面。

铜的熔点为 1 083 ℃,本次热煨弯管工艺的感应温度在 900 ~ 1 000 ℃。然而,在煨制过程中,加热温度可能会有一定波动,此外,材料在变形过程中也会因释放变形能而导致温度升高,从而使得弯管外弧侧的实际温度可能会高于 1 083 ℃,导致 Cu 熔化并沿晶界渗入 L 360 螺旋管基体,弱化管理力学性能。

根据冶金过程热力学^[10],Cu 和 Fe 的氧化物的标准生成自由能分别为:



$$\Delta F_0 = -80\,000 + 34.6T \quad (1)$$



$$\Delta F_0 = -124\,100 + 29.9T \quad (2)$$

由式(1)、(2)可见,Cu₂O 相比 FeO 具有更高的稳定性,因此,Fe 会被优先氧化,导致裂纹断口表面覆盖 Fe 的氧化物和富集 Cu。

在热煨弯制过程中,弯管外弧侧受弯曲拉应力,由于 Cu 浸入基体使得晶粒间的结合力被弱化,在拉伸应力作用下使得基体导致沿晶型裂纹。在消应退火时,由于空气进入裂纹缝隙,裂纹表面进一步氧化,对裂纹有撑开的效果,致使原来不明显的裂纹变得明显可见。

该制造厂再次采用相同的生产工艺进行热煨弯管制造,在生产过程中避免了 Cu 的影响,生产出来的弯管全部合格。

4 结论与建议

L 360 螺旋管管体表面的 Cu 污染是导致在热煨弯制过程弯管出现裂纹的主要原因,实际生产中应避免任何与 Cu 接触环节。

为了进一步加强弯管生产质量控制,用于制造弯管的母管在制造、搬运、装卸过程中不允许与低熔点金属接触,否则应采用喷砂等适当方法清除,以免造成弯管不合格。

参考文献:

[1] 刘迎来,李为卫.管道工程用 X 70 钢热煨弯管开裂分析

[J].金属热处理,2008,33(4):88-92.

Liu Yinglai, Li Weiwei. Cracking Analysis of X 70 Steel In-

- duction Heat Bend Pipe Used for Pipeline Engineering[J]. Heat Treatment of Metal, 2008, 33(4): 88-92.
- [2] 曹晓燕,李天雷,罗光文. 热煨弯管产生裂纹的原因分析[J]. 天然气与石油, 2011, 29(1): 59-62.
- Cao Xiaoyan, Li Tianlei, Luo Guangwen. Analysis on the Reasons Causing Cracks in Hot Bends[J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29(1): 59-62.
- [3] 王斌,周翠,杨笠,等. L415 M 管线钢热煨弯管裂纹分析[J]. 金属热处理, 2013, 38(8): 123-126.
- Wang Bin, Zhou Cui, Yang Li, et al. Cracking Analysis of Induction Heating Bended L 415 M Pipeline Steel[J]. Heat Treatment of Metal, 2013, 38(8): 123-126.
- [4] 霍向东,郭林,黎剑锋,等. X70 管线钢热煨弯管的外弧裂纹分析[J]. 热加工工艺, 2012, 41(13): 220-225.
- Huo Xiangdong, Guo Lin, Li Jianfeng, et al. Cracking Analysis on External Arc of Induction Heat Bend X 70 Steel Pipe[J]. Hot Working Technology, 2012, 41(13): 220-225.
- [5] 张亚峰,杨社民,王耀光,等. Cu 污染造成的感应加热弯管裂纹分析[J]. 焊管, 2012, 36(12): 56-59.
- Zhang Yafeng, Yang Shemin, Wang Yaoguang, et al. Cracks Analysis of Induction Heating Bend Caused by Cu Contamination[J]. Welded Pipe and Tube, 2012, 36(12): 56-59.
- [6] 王高峰,王晓江,梅滨,等. X70 螺旋缝焊管焊缝横向裂纹分析[J]. 焊管, 2013, 36(3): 39-44.
- Wang Gaofeng, Wang Xiaojiang, Mei Bin, et al. Analysis on Transverse Crack of X70 SAWH Pipe Weld[J]. Welded Pipe and Tube, 2013, 36(3): 39-44.
- [7] 罗继辉. 低碳钢 X52 热煨弯管的热处理工艺[J]. 热处理技术与装备, 2009, 30(1): 50-52.
- Luo Jihui. Heat Treatment of Hot Formed Bend in Low-carbon Steel X52[J]. Heat Treatment Technology and Equipment, 2009, 30(1): 50-52.
- [8] 耿明山,王新华,张炯明. 钢中残余元素在连铸坯和热轧板中的富集行为[J]. 北京科技大学学报, 2009, 31(3): 26-31.
- Geng Mingshan, Wang Xinhua, Zhang Jiongming. Enrichment of Residual Elements in Continuously Cast Slabs and Medium Plates[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2009, 31(3): 26-31.
- [9] 田晨超,许飞,焦磊,等. 加热温度对 X80 钢级热煨弯管组织性能的影响[J]. 焊管, 2014, 37(6): 11-16.
- Tian Chenchao, Xu Fei, Jiao Lei, et al. Effects of Heating Temperature on Microstructures and Properties of X80 Grade Hot-bending Bends[J]. Welded Pipe and Tube, 2014, 37(6): 11-16.
- [10] 魏寿昆. 冶金过程热力学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- Wei Shoukun. Thermodynamics of Process Metallurgy[M]. Beijing: Science Press, 2010.

(上接第54页)

- 缝高对策技术研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2009, 11(1): 28-31.
- Hu Yangming, Hu Yongquan, Zhao Jinzhou, et al. Analysis of Fracture Height Influence Factors and Study of Height Control Gaming Techniques[J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2009, 11(1): 28-31.
- [6] 胡永全,谢朝阳,赵金洲,等. 海拉尔盆地人工隔层控缝高压裂技术研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 31(1): 70-72.
- Hu Yongquan, Xie Chaoyang, Zhao Jinzhou, et al. Fracturing Height Control by Artificial Barrier in Hailaer Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2009, 31(1): 70-72.
- [7] 周文高,胡永全,赵金洲,等. 人工控制压裂缝高技术现状与研究要点[J]. 天然气勘探与开发, 2006, 29(1): 68-73.
- Zhou Wengao, Hu Yongquan, Zhao Jinzhou, et al. Current Status and Researching Points of Technology of Artificially Controlling Fracture Height[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2006, 29(1): 68-73.
- [8] 陈锐. 控缝高水力压裂人工隔层厚度优化设计方法研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2006.
- Chen Rui. Optimization Design of the Artificial Barrier's Thickness in Controlling Fracture Height[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2006.
- [9] 魏斌,陈平,张冕,等. 变排量压裂技术及其现场应用[J]. 石油钻采工艺, 2000, 22(6): 70-71.
- Wei Bin, Chen Ping, Zhang Mian, et al. Fracturing Technology with Alteration Discharge Capacity and Its Field Application[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2000, 22(6): 70-71.
- [10] 闫海建,杨永钊,贺向军,等. 控缝高压裂技术在瓦窑堡油田的应用研究[J]. 中国科技信息, 2012, 5(8): 41-42.
- Yan Haijian, Yang Yongzhao, He Xiangjun, et al. Study on the Technology of Control Slot Height Fracturing Applied in Wayaobao Oilfield[J]. China Science and Technology Information, 2012, 5(8): 41-42.