

魏氏组织对 20[#] 碳钢 H₂S 应力腐蚀开裂性能的影响

朱天寿¹ 胡兴民² 吕江² 黄淑菊³ 张书成²

(1. 中国石油长庆油田公司 2. 中国石油长庆油田公司第一采气厂 3. “金属材料强度”国家重点实验室·西安交通大学)

朱天寿等. 魏氏组织对 20[#] 碳钢 H₂S 应力腐蚀开裂性能的影响. 天然气工业, 2006, 26(9): 122-124.

摘要 文章对 H₂S-CO₂-H₂O 腐蚀环境下发生 H₂S 应力腐蚀的 20[#] 碳钢弯管(无缝钢管)进行了成分、组织、拉伸、硬度和应力腐蚀开裂等性能的试验研究, 并与同材质、同时投产、腐蚀环境基本相似而未发生应力腐蚀开裂的在役弯管及未使用的新弯管作了对比。结果表明: 魏氏组织是引起 20[#] 钢发生应力腐蚀开裂的主要原因; 正火能消除魏氏组织, 降低钢的应力腐蚀开裂敏感性。

关键词 低碳钢 无缝钢管 管道 硫化氢腐蚀 应力腐蚀 魏氏组织 正火

一个材质为 20[#] 碳钢的天然气管线弯管, 在含有 H₂S、CO₂ 及未经脱水的天然气中工作不到 3 年就发生爆裂。根据断口形貌以及工作介质判断, 属于 H₂S 引起的应力腐蚀开裂(SSC)。目前仍有部分同批使用的弯管仍在服役, 为了预防 SSC 再次发生, 保证生产安全, 进行了 20[#] 碳钢 SSC 原因分析和研究工作。

一、试验及结果

为了探讨弯管 SSC 原因和预防措施, 对发生断裂的弯管、未断裂弯管和新弯管(编号分别为 1[#]、2[#] 和 3[#])进行了成分分析、拉伸性能和硬度测试、组织分析和 SSC 实验等, 开展了弯管用钢在重新正火后(奥氏体化温度为 910 ℃)的硬度、组织分析和 SSC 试验, 试验结果如下。

1. 弯管的成分

3 个弯管用钢的成分分析见表 1, 除 3[#] 弯管的含碳量略低于 GB/T699—1999(输送流体用无缝钢管)规定的 20[#] 无缝钢管成分的要求(标准规定的含

碳量是 0.17%~0.23%)外, 其它两个弯管的成分满足标准规定的 20[#] 无缝钢管的规定。

2. 组织分析

用于试验的 3 个弯管的组织主要由铁素体和珠光体相组成, 并且 3 个弯管材料组织的铁素体中, 均有魏氏组织出现。1[#] 和 2[#] 弯管的一般组织示于图 1 和图 2, 3[#] 弯管与 2[#] 弯管的组织相近。由于 3[#] 弯管的碳含量较低, 所以块状铁素体多于 2[#] 弯管。

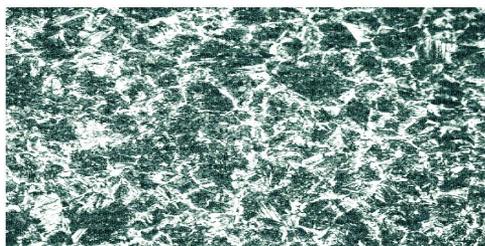


图 1 1[#] 弯管组织(×200)

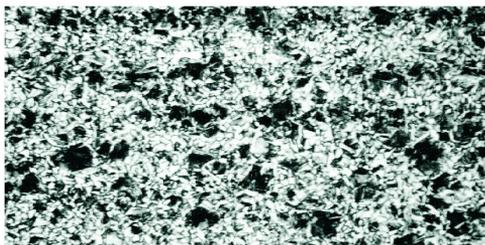


图 2 2[#] 弯管组织(×200)

对于 20[#] 钢而言, 魏氏组织的形成过程是铁素体首先沿着奥氏体晶界呈网状析出, 然后沿特定晶

表 1 试验用钢的化学成分表

编号	C	Si	Mn	P	S
1 [#]	0.20	0.24	0.47	0.016	0.0110
2 [#]	0.19	0.25	0.52	0.013	0.0043
3 [#]	0.16	0.28	0.53	0.014	0.0076

注: 表中单位为重量分数。

作者简介: 朱天寿, 1956 年生, 高级工程师; 1983 年毕业于原西南石油学院采油工程专业, 多次获国家级、省部级科技成果奖, 长期从事油气田开发管理及腐蚀与防护的研究工作。地址: (710021) 陕西省西安市长庆兴隆园小区。电话: (029) 86590910。E-mail: zts1_cq@petrochina.com.cn

面析出的粗针状铁素体,形成魏氏组织,铁素体针片间的奥氏体随后转变成珠光体。针片状的存在切割了组织的连续性,降低钢的拉伸性能^[1]。

GB/T13299—91“钢的显微组织评定方法”对钢过热后,根据析出针状铁素体数量、尺寸和铁素体网的程度,把魏氏组织分成0~5六个等级。3个弯管没有过热,在放大200倍后,对魏氏组织形貌特点的描述进行分级,1[#]弯管魏氏组织属于2~3级、2[#]和3[#]弯管的属于1~2级,所以1[#]弯管存在较严重的魏氏组织。

弯管重新正火后,消除了魏氏组织。1[#]弯管正火后的组织示于图3中,正火后的组织由块状铁素体加少量珠光体组成,属于平衡态组织。



图3 1[#]弯管重新正火后组织(×200)

3. 拉伸性能结果

拉伸测试强度的平均值示于表2,表中同时列出了延伸率的测试值和平均值。从中看出,1[#]弯管的强度和延伸率(δ)均为最低, δ 最低值仅为9.5%,低于GB/T699—1999规定的20[#]无缝钢管 δ 的最低值(20%),并且1[#]弯管的屈服强度($\sigma_{.2}$)和 δ 的分散性最大。

表2 弯管的拉伸性能表

	$\sigma_{.2m}$ (MPa)	σ_m (MPa)	$\delta_{测试值}$ (%)	δ_m (%)
1 [#]	440	701	17.0, 15.5, 13.5, 18.0, 9.5, 13.5	14.5
2 [#]	500	703	21.0, 29.0, 22.5, 20.5, 27.0, 26.5	24.4
3 [#]	537	722	23.5, 23.5, 19.0	22.0

研究表明,魏氏组织能明显降低钢的塑性^[1-2]。从上述弯管组织分析看出,1[#]弯管的魏氏组织比其它两个弯管严重,所以1[#]弯管延伸率最低也与魏氏组织的影响有关。

4. 硬度测试结果

在弯管上不同部位截取3个圆环,每个环上测36点的硬度,平均值分别为189 HB和192 HB。高

于GB/T699—1999规定供应态的最高值不高于156 HB。重新正火后,弯管的硬度小于142 HB,满足了标准的规定。

5. SSC 试验结果

SSC 试验采用 NACE 标准溶液,其成分是:5% NaCl+0.5% CH₃COOH+饱和 H₂S。在弯管的管体上截取宽度为10 mm的圆环,再开60°缺口,得到环状试样。环的内外表面不进行加工,而环的两个侧表面磨加工。在环顶部贴电阻片,测试应力 α 。在试样上施加的应力分别为在电阻片处测试的屈服应力(在应力—应变曲线上偏离线性关系点的应力)的1.0、0.86、0.71、0.57、0.43倍,经过240 h的SSC实验后,穿透裂纹(穿透3个表面)和表面裂纹的数量,以及沿表面测试的裂纹长度的总和示于表3。由表3看出,1[#]弯管的SSC敏感性明显高于2[#],3[#]弯管的最低。

表3 SSC 裂纹数量和裂纹表面长度之和统计表

	施加应力/ $\alpha^{(1)}$	1.00	0.83	0.71	0.57	0.43
1 [#]	穿透裂纹(条)	6	2	1	0	0
2 [#]	穿透裂纹(条)	0	1	0	0	0
3 [#]	穿透裂纹(条)	0	0	0	0	0
1 [#]	表面裂纹(条)	1	0	0	1	0
2 [#]	表面裂纹(条)	3	0	2	0	0
3 [#]	表面裂纹(条)	2	1	2	0	0
1 [#]	总裂纹长度(mm)	80.5	27.5	22.1	3.1	0
2 [#]	总裂纹长度(mm)	30.2	22.5	6.3	0	0
3 [#]	总裂纹长度(mm)	12.2	4.6	9.7	0	0

注:1) α 指圆环开始发生塑性变形的应力。

取自1[#]弯管的试样重新正火后,先在0.43倍屈服应力下经过240 h的SSC试验后,将应力提高到0.71倍屈服应力下再经过240 h试验,试样上没有裂纹。而没有重新正火试样仅经过240 h试验,试样上就有长度为22.1 mm的穿透裂纹;在0.57倍屈服应力下经过240 h试验后也有表面裂纹(见表3)。取自其它弯管的试样重新正火后,经过如1[#]弯管同样条件的SSC试验后未出现裂纹,所以重新正火改善了SSC阻力。

图4是1[#]弯管在0.71 α 下的扫描断口形貌,局部出现沿晶断和解理等脆性断口形貌。

二、讨论

研究表明,钢的硬度(强度)、成分和组织等材料因素能明显影响碳钢和低合金钢的SSC敏感性^[3-6]。

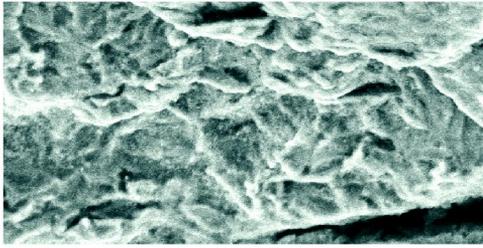


图 4 1[#]弯管在 0.71 屈服强度下的 SSC 扫描断面形貌图

对于碳钢而言,通常认为:随着钢硬度(强度)的提高,对 SSC 的敏感性增加^[3-4]。可是本文所涉及的 20[#] 钢弯管,是在相同的服役和 SSC 试验条件下,对 SSC 敏感性高的 1[#] 弯管的硬度(强度)却高于 2[#] 和 3[#] 弯管,所以成分和组织等材质参数对弯管 SSC 的影响要高于钢的硬度(强度)对 SSC 的影响。

一般认为在碳钢和低合金钢中,Mn、P 和 S 对于 SCC 是有害元素^[4]。而从表 1 所示弯管成分看出,虽然 1[#] 弯管的 S 和 P 含量略高于另两个弯管,但是 1[#] 弯管含 Mn 量却略低于 2[#] 和 3[#] 弯管,并且 3 个弯头用钢的 S、P 含量都属于特级优良钢,同时 1[#] 弯管不存在明显的磷化物、硫化物聚积,所以 S、P 量不应该是 1[#] 弯管对 SSC 明显敏感的主要原因。另外从最近李呐等人给出的 2 种管线钢的组织状态和 S、P 含量对于 SSC 影响的结果(见表 4)看出,S 和 P 含量对 SSC 的影响远小于组织影响。因此组织因素应该是 1[#] 弯管对 SSC 敏感的最主要原因。

表 4 钢的组织 and 成分对 SSC 的影响表^[5]

钢种	状态	P(%)	S(%)	SSC 寿命
X 52PSL2 ¹⁾	调质	0.019	0.011	720 h 不断
X 52PSL2 ¹⁾	热轧	0.012	0.006	100.1, 121.7 h 断裂
L360NB ²⁾	热轧	0.016	0.007	3 片 < 96 h 开裂
L360NB ²⁾	正火 ³⁾	0.016	0.012	3 片 96 h 未裂
L360NB ²⁾	热轧	0.012	0.005	3 片 < 96 h 开裂

注:1)拉伸加载;2)四点弯曲加载;3)离线后正火。

从前述的组织分析看出,虽然 3 个弯管都是铁素体加少量珠光体类型组织,但是它们的铁素体分布形态不同,出现了不同等级的魏氏组织(1[#] 弯管的

魏氏组织是 2~3 级,而 2[#] 和 3[#] 弯管的魏氏组织是 1~2 级)。魏氏组织严重的材质(1[#] 弯管)对 SSC 敏感性高。消除魏氏体组织(重新正火)后,魏氏组织提高了钢对于 SSC 的敏感。

由本文的试验结果和分析讨论看出:1[#] 弯管发生 SSC 的主要原因是 1[#] 弯头用钢的组织中的魏氏组织较严重。

研究表明,20[#] 钢在制备无缝钢管的工艺中容易产生魏氏组织^[1],所以控制 20[#] 无缝钢管的制造工艺,使其不产生魏氏组织;或者 20[#] 无缝钢管制成后再加一道重新正火的工艺,是提高 20[#] 钢的塑性和 SSC 阻力的重要途径。

三、结 论

通过对 3 个弯管材料的相关测试和试验结果的分析,可得以下结论。

(1)魏氏组织降低 20[#] 钢的延伸率和 SSC 阻力,正火能消除魏氏组织,提高钢的 SSC 阻力。

(2)具有魏氏组织的 20[#] 钢的 SSC 断口上局部有沿晶断和解理等脆性断口形貌。

(3)对于 20[#] 钢而言,魏氏组织对 SSC 的影响大于钢的硬度(强度)和 S、P 含量对 SSC 的影响。

参 考 文 献

- [1] 史小荣. 无缝钢管组织缺陷及对力学性能的影响[J]. 轧钢, 2000, 17(5): 24-25.
- [2] 任颂赞, 张静江, 陈质如, 等. 钢铁金相图谱[M]. 上海: 上海科技文献出版社, 2003: 38-40.
- [3] 陈利琼, 李卫, 马剑林, 等. 油气管道的 H₂S 应力腐蚀破裂及防护[J]. 管道技术与设备, 2004(1): 42-44.
- [4] 卢绮敏, 等. 石油工业中的腐蚀与防护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 104-105.
- [5] 李呐, 李晨光, 汤智涛. 抗 H₂S 腐蚀管线钢的开发[J]. 钢管, 2005, 34(5): 13-17.
- [6] ALBARRAN J L, MARTINEZ L, LOPEZ H F. Effect of heat treatment on the stress corrosion resistance of a micro-alloyed pipeline steel[J]. Corrosion Science, 1999, 41: 1037-1049.

(修改回稿日期 2006-05-25 编辑 赵 勤)