

本文参考文献引用格式:王冬林,蒋洪,张琦,等.X90直缝管理化性能及常见问题分析[J].电焊机,2021,51(11):40-43,49.

X90直缝管理化性能及常见问题分析

王冬林^{1,2}, 蒋洪³, 张琦⁴, 刘月发⁴, 张丽丽³, 刘洋³

(1. 中国石油集团石油管工程技术研究院, 陕西 西安 710077; 2. 北京隆盛泰科石油管科技有限公司, 北京 100101; 3. 国家管网集团建设项目管理分公司 中俄东线江苏项目部, 江苏 盐城 224055; 4. 中国石油技术开发有限公司, 北京 100028)

摘要: 为了加强高性能钢管质量控制,从化学成分、力学性能及金相组织等几个方面对国内10家主要钢管厂生产的X90直缝管进行了研究。分析了X90直缝管性能控制,对化学成分各元素、拉伸性能、冲击性能、硬度等控制程度进行了排序,与此同时从性能和焊接脆化两个方面分析了X90直缝管问题,并给出了相应的原因分析及处理方向。分析结果表明:X90直缝管化学成分应加强Nb+V+Ti、P、CE_{pcm}、Mn的控制;拉伸性能控制程度排序为:延伸率>抗拉强度>屈服强度,要特别注意屈强比的控制;冲击功平均值控制程度为:母材横向控制最好,焊缝横向控制最差,热影响区横向居中,但冲击功标准差控制程度为:热影响区横向标准差控制最差,母材横向次之,焊缝横向最好;金相组织熔合区PF占的比例较大是产生软化的主要原因,应重点关注。

关键词: X90直缝管;性能;分析;工艺;问题;焊接脆化

中图分类号: TG457.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-2003(2021)11-0040-05

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2021.11.07

0 前言

天然气作为国家重点能源,其需求量不断增加,单条输送管道设计输送量已从原来每年320亿m³增长到如今的每年460亿m³,提升了44%,且在近20年,管线管输送压力从最初0.25 MPa提升至14 MPa^[1]。相关统计资料^[2-4]表明,钢管每提高一个钢级,管线管建设成本可缩减7%,因此为了降低管线成本和满足社会日益增长的油气需求,高性能的管线管的开发和研究显得尤为重要。目前国内已经开发了X90管线管(包括直缝管和螺旋管),X90管线管试制工作已圆满完成,完全具备大规模生产条件。文中主要从化学成分、力学性能、金相组织等方面对X90直缝管进行性能分析,指出了X90直缝管常见问题及其原因,并给出了处理措施。

1 X90直缝管生产工艺

常用的高钢级管线管生产工艺主要包括螺旋管和直缝管,两者的差别主要在于原材料和成型方式,其他工艺基本一样。常见的X90直缝管生产工艺为:上料→钢板超声波探伤→铣边→端部剪切及焊接→边缘修正→成型→预焊→内焊→外焊→焊缝超声波探伤→X-Ray探伤→钢管扩径→水压试验→焊缝超声波探伤→X-Ray探伤→管端拍片→平头倒棱→称重测长→喷标→发运。

2 X90直缝管性能分析

选取国内10家规模比较大的钢管厂生产的X90直缝管进行性能分析,直缝管规格φ1 219 mm×16.3 mm。

收稿日期:2021-05-23;修回日期:2021-06-09

基金项目:国家重点研发计划(2018YFF0215003)

作者简介:王冬林(1985—),男,学士,高级工程师,主要从事石油管材的质量监督与检验工作。E-mail:wangdonglin1117@163.com。

2.1 化学成分分析

对每家钢管厂抽取 50 组数据,总计 500 组化学分析数据进行统计分析,统计结果如表 1 所示。

由表 1 可知,各大钢铁厂 X90 直缝管化学成分控制均满足相应技术要求,相对来说,P、CE_{pcm}、Nb+V+Ti 控制接近上限值(甚至出现 P 元素个别超上限),Nb+V+Ti 平均值控制也接近上限,Mn、Nb+V+Ti 方差控制也存在偏差,因此要加强 Nb+V+Ti、P、CE_{pcm}、Mn 的控制。合金元素对 X90 直缝管力学性能影响很大,因此各工厂需加强 X90 合金元素的研究与控制。

2.2 力学性能分析

对每家钢管厂抽取 50 组数据,总计 500 组力学性能数据进行统计分析,统计结果如表 2~ 表 4

所示。

表 2 排除了个别屈服强度、抗拉强度超标数据,其余数据均符合标准要求,从标准差角度分析:延伸率标准差为延伸率最小值的 10.7%,屈服强度标准差为合格范围的 23.3%,抗拉强度标准差为合格范围的 18.2%,屈强比标准差为屈强比最大值的 5.3%,控制程度排序为:屈强比>延伸率>抗拉强度>屈服强度。由标准差分析可知,屈强比、延伸率控制程度较好,屈服强度和抗拉强度控制标准差接近,屈服强度标准差占合格范围比抗拉强度低 5.1%,原因在于屈服强度合格区间小于抗拉强度合格区间。但从平均值和测试值范围来看,屈强比均接近上限值,屈服强度、抗拉强度、延伸率平均值和测试值范围控制远强于屈强比,因此各工厂应该

表 1 化学分析结果统计(质量分数,%)
Table 1 Statistical analysis of chemical analysis results (wt. %)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	CE _{pcm}	Nb+V+Ti
最大	0.07	0.30	1.99	0.013	0.004	0.32	0.35	0.43	0.27	0.22	0.14
最小	0.03	0.16	0.17	0.005	0.0004	0.20	0.18	0.24	0.17	0.14	0.07
平均值	0.048 093	0.221 010	1.120 444	0.006 787	0.001 672	0.257 718	0.274 326	0.287 042	0.211 023	0.165 434	0.130 102
标准差	0.004 545	0.032 348	0.801 245	0.001 724	0.001 101	0.043 287	0.031 035	0.052 171	0.028 023	0.016 910	0.033 456
标准要求	≤0.10	≤0.55	≤2.00	≤0.012	≤0.005	≤0.40	≤0.50	≤0.50	≤0.50	≤0.23	≤0.15

表 2 拉伸性能结果统计
Table 2 Statistical analysis of tensile properties

项目	屈服强度 R_{eL} /MPa			抗拉强度 R_m /MPa			屈强比			延伸率 A /%		
	范围	平均值	标准差	范围	平均值	标准差	范围	平均值	标准差	范围	平均值	标准差
统计值	632~772	687.70	35.02	699~875	765.87	40.05	0.81~0.94	0.91	0.05	16.0~31.5	21.2	1.56
标准要求	625~775			695~915			≤0.95			≥14.5		

表 3 冲击性能结果统计
Table 3 Statistical analysis of impact performance results

项目	母材横向, 10×10×55mm, -10℃			焊缝横向, 10×10×55mm, -10℃			热影响区横向, 10×10×55mm, -10℃		
	范围	平均值	标准差	范围	平均值	标准差	范围	平均值	标准差
统计值	267~434	313.13	41.02	82~242	178.56	30.30	84~479	266.12	59.20
技术要求	≥265			≥80			≥80		

表 4 硬度性能结果统计
Table 4 Statistical analysis of hardness performance results

项目	母材			焊缝			热影响区		
	范围	平均值	标准差	范围	平均值	标准差	范围	平均值	标准差
统计值	222~290	265.17	15.10	202~272	238.18	13.10	198~270	226.45	13.02
技术要求	≤295			≤295			≤295		

加强屈强比的控制。

由表 3 可知,该表排除了个别冲击性能超标数据,其余数据均符合标准要求,从冲击功平均值角度来说:母材横向控制最好,焊缝横向控制最差,热影响区横向居中。但从冲击功标准差来说:热影响区横向标准差控制最差,母材横向次之,焊缝横向最好,母材横向控制一般是因为其统计数值范围区间更大。整体冲击性能控制符合 X80 直缝管规律。

由表 4 可知,母材、焊缝和热影响区硬度值均符合标准要求,硬度平均值排序为:母材>焊缝>热影响区,焊缝、热影响区、母材标准差控制差别不大,但焊缝、热影响区仍好于母材。

2.3 金相组织分析

金相组织分析包括非金属夹杂物、组织、带状组织、晶粒度等的检查,其中管体取样位置为焊缝

90° 位置和焊缝 180° 位置,详细金相组织检测结果如表 5~ 表 6 和图 1~ 图 7 所示。

从表 5 和图 1~ 图 4 可以看出,管体非金属夹杂物 A 类、B 类、C 类、D 类均符合技术要求,带状组织均为 0.5 级,晶粒度均为 12.0 级,从图 5~ 图 7 和表 6 可以看出,直缝管管体组织为 B_粒,焊缝组织为 IAF+B_粒+PF,熔合区为 B_粒,直缝管焊缝细晶区为 PF+MA+P,其中熔合区 PF 所占比例较大,是产生软化的主要原因,容易引起焊缝处断裂。

3 X90 直缝管问题分析

3.1 X90 直缝管性能问题

从表 1 化学分析结果统计可以看出,各大钢铁厂 X90 直缝管化学成分控制均满足相应技术要求,相对来说,P、CE_{pcm}、Nb+V+Ti 控制接近上限值,

表 5 管体试样检测结果

Table 5 Test results of pipe sample

	非金属夹杂物								组织	带状组织	晶粒度
	薄 A	厚 A	薄 B	厚 B	薄 C	厚 C	薄 D	厚 D			
90°	0.5	0	0.5	0	0	0	0.5	0	B _粒 (见图 1)	0.5 级(见图 2)	12.0 级
180°	0.5	0	0.5	0	0	0	0.5	0	B _粒 (见图 3)	0.5 级(见图 4)	12.0 级



图 1 90° 管体组织
Fig.1 90° tube structure

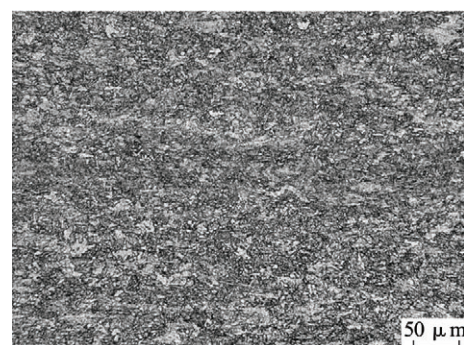


图 2 90° 管体带状组织
Fig.2 Banded structure of 90° tube body

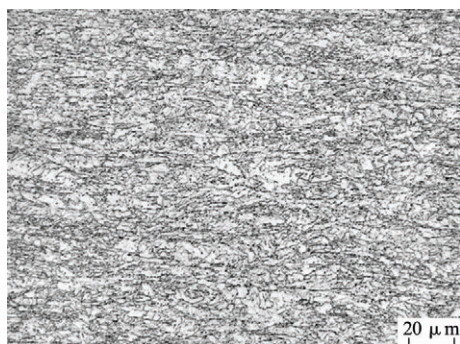


图 3 180° 管体组织
Fig.3 180° tube structure

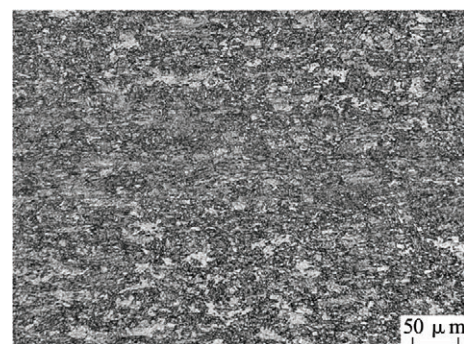


图 4 180° 管体带状组织
Fig.4 Banded structure of 180° tube body

表 6 焊缝试样检测结果

Table 6 Test results of weld samples

编号	焊缝	熔合区	细晶区
—	IAF+B _粒 +PF (见图 5)	B _粒 (见图 6)	PF+MA+P (见图 7)

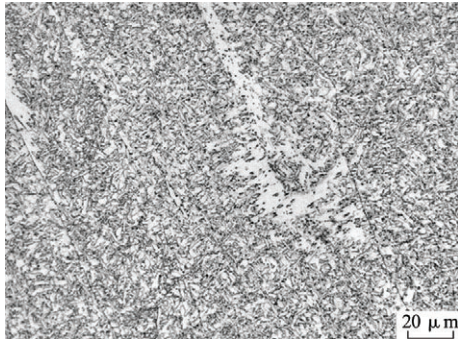


图 5 焊缝组织

Fig.5 Weld microstructure



图 6 熔合区组织

Fig.5 Microstructure of fusion zone

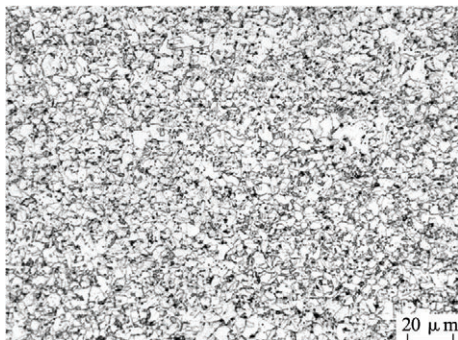


图 7 细晶区组织

Fig.7 Fine grain structure

Nb+V+Ti 平均值控制也接近上限, Mn、Nb+V+Ti 方差控制也偏差, 因此应加强 Nb+V+Ti、P、CE_{pcm}、Mn 的控制。而从各国专利技术可以看出, X90 直缝管化学成分控制存在很大差异, 这也决定了 X90 直缝管性能的根本区别, 所以应该多借鉴国外公司先进成熟的技术, 比如日本 JFE、加拿大 IPSCO 公司等。当然由于设备和工艺与国外的差异性, 国内各

生产厂家要制定适合自身的化学成分。

从各厂直缝管生产过程来看, 拉伸性能、冲击性能及硬度均出现不同程度的不合格现象, 不合格比例约为 1%, 这在一定程度上影响了供货期及成材率, 所以各生产厂要从金相组织入手, 控制好相应的金相组织, 实现稳定的性能。

3.2 X90 直缝管焊接脆化问题

X90 直缝管在焊接时经常发生局部脆化现象, 主要包括粗晶脆化和 M/A 组元脆化。粗晶脆化是焊接时温度很高, 特别是粗晶区温度最高, 虽然维持时间较短, 但也会造成奥氏体的晶粒尺寸明显增大, 相关研究表明^[5-8], 材料成分和金相组织不变时, 对晶粒长大过程起决定性作用因素的是峰值温度及其保持时间, 且峰值温度所起的作用远大于其保持时间。M-A 组元脆化是指钢在冷却过程中, 由于铁素体中 C 元素固溶度很低, 使得奥氏体中富集 C 元素, 随着冷却的继续进行, 富集 C 元素的奥氏体会转变成马氏体, 从而形成马氏体/奥氏体, 简称 M/A^[9-11]。M/A 组元极大地影响焊缝性能, 研究表明^[12-13]: M/A 会显著降低 X90 直缝管韧性, 使得材料脆化, 并且脆化程度与 M/A 的含量、形态和尺寸大小有着密切关系^[14-15]。

4 结论

(1) 对国内 10 家规模较大的钢管厂生产的 X90 直缝管的化学成分、力学性能及金相组织进行分析, 排除个别超标数据, 其余理化数据均符合标准及技术要求, 具体表现为: 化学元素 P、CE_{pcm}、Nb+V+Ti 控制接近上限值(甚至出现 P 元素个别超上限), Mn、Nb+V+Ti 方差控制也偏差; 拉伸性能控制程度排序为: 延伸率>抗拉强度>屈服强度, 应特别注意屈强比的控制; 冲击功平均值控制程度为母材横向控制最好, 焊缝横向控制最差, 热影响区横向居中, 但冲击功标准差控制程度为热影响区横向标准差控制最差, 母材横向次之, 焊缝横向最好; 硬度平均值控制程度排序为: 母材>焊缝>热影响区, 硬度标准差控制程度为焊缝、热影响区标准差控制好于母材。

(2) 分析了 X90 直缝管性能和焊接脆化问题, 各工厂需多借鉴国外先进成熟的技术, 制定适合工厂自身特点的化学成分, 与此同时各生产厂要控制好相应的金相组织, 以实现性能稳定; 焊接

- [4] Ke Wenchao, Bu Xianzheng, Oliveira J P, *et al.* Modeling and numerical study of keyhole-induced porosity formation in laser beam oscillating welding of 5A06 aluminum alloy[J]. Optics & Laser Technology, 2021(133):1-10.
- [5] Chukkan J R, Vasudevan M, Muthukumaran S, *et al.* Simulation of Laser Butt Welding of Aisi 316l Stainless Steel Sheet Using Various Heat Sources and Experimental Validation[J]. Journal of Materials Processing Tech., 2015:219.
- [6] Velaga Satish-K, Ravisankar A. Finite element based parametric study on the characterization of weld process moving heat source parameters in austenitic stainless steel[J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2017 (157):63-73.
- [7] Wu C S, Zhang T, Feng Y H. Numerical analysis of the heat and fluid flow in a weld pool with a dynamic keyhole[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2013(40):186-197.
- [8] 马悦. 双椭球焊接热源模型一般式的数值模拟研究[D]. 河北:河北工业大学, 2015.

Page 43

脆化问题中的粗晶脆化应特别注意峰值温度及其保持时间的影响,焊接脆化问题中的M/A 组元脆化要特别注意M/A 的含量、形态和尺寸大小的综合影响。

参考文献:

- [1] 刘腾跃, 李小波. X90 管线管国产化质量分析[J]. 焊管, 2017, 40(7):60-63.
- [2] 李鹤林. 天然气输送管研究中的几个热点问题[J]. 中国机械工程, 2001, 12(13):349-352.
- [3] 王晓香. 当前管线钢管研发的几个热点问题[J]. 焊管, 2014, 37(4):5-12.
- [4] 张小立. X80 高钢级管线钢和钢管组织与力学性能[J]. 中原工学院学报, 2010, 21(4):9-13.
- [5] 温娟, 其其格, 鞠新华等. 钢铁组织中MA 岛含量的定量分析方法[J]. 中国冶金, 2018, 28(4):22-26.
- [6] 韩晨, 孙付涛. 冷却速度和Nb 含量对X80 管线钢MA 岛的影响[J]. 材料研究与应用, 2015, 9(2):120-124.
- [7] 闫凯鹏, 郝世英, 高惠临. 管线钢焊接局部脆化及其研究进展[J]. 化工设备与管道, 2011, 48(3):57-61.
- [8] Kennedy, John L. Oil and Gas Pipeline Fundamentals[C]. Tulsa Okla: Pennuwell Publishing Company, 1984.
- [9] 孟凡刚, 陈玉华, 王勇. 管线钢焊接局部脆化区的M-A 组元[J]. 焊接技术, 2007(1):13-15.
- [10] 陈玉华, 王勇, 韩彬. X70 管线钢在役焊接局部脆化区的组织及精细结构[J]. 材料热处理学报, 2007(1):79-82.
- [11] 高惠临, 董玉华, 冯耀荣. 油、气管线钢的焊接局部脆化及其预防[J]. 机械工程学报, 2001(3):14-19.
- [12] KIM B C, Lee S, Kim N J, *et al.* Microstruture and Local Brittle Zone Phenomena in High Strngth Low-Alloyed Welds[J]. Metall.Trans, 1991, 22(1):139-149.
- [13] 赵波, 李国鹏, 王旭, 等. X80 钢焊接热影响区脆化软化现象热模拟试验研究[J]. 焊管, 2016, 39(3):16-19.
- [14] 占焕校, 王勇, 吕统全. X80 钢焊接热影响区的二次热循环组织脆化[J]. 压力容器, 2008(2):9-12.
- [15] 王勇, 韩涛, 刘敏. X70 管线钢焊接热影响区的局部脆化[J]. 材料工程, 1999(10):14-16.