

X100 焊管的组织性能*

包志刚^{1,2}, 毕宗岳^{1,2}, 牛 辉^{1,2}, 刘海璋^{1,2},
赵红波^{1,2}, 张万鹏^{1,2}, 刘 斌^{1,2}

(1. 宝鸡石油钢管有限责任公司, 陕西 宝鸡 721008;
2. 国家石油天然气管材工程技术研究中心, 陕西 宝鸡 721008)

摘 要: 对 X100 焊管的母材和焊接接头微观组织及其与力学性能之间的关系进行了研究。结果表明, 母材的组织为粒状贝氏体和针状铁素体, 且针状铁素体含量较多时, 强韧匹配较好, 有较好的低温冲击韧性; 焊缝组织为针状铁素体和先共析铁素体, 不同组织焊缝性能相差不大; 热影响区粗晶区组织为粒状贝氏体, 细小弥散的马奥岛有利于热影响区粗晶区获得跟好的强度和韧性, 但是较多的马奥岛会提高热影响区的韧脆转变温度。

关键词: 焊接; X 100; 焊接接头; 力学性能

中图分类号: TE973

文献标志码: A

文章编号: 1001-3938(2014)07-0005-04

Microstructure and Mechanical Properties of X100 Welded Pipes

BAO Zhigang^{1,2}, BI Zongyue^{1,2}, NIU Hui^{1,2}, Liu Haizhang^{1,2},

ZHAO Hongbo^{1,2}, ZHANG Wanpeng^{1,2}, LIU Bin^{1,2}

(1. Baoji Petroleum Steel Pipe Co., Ltd., Baoji 721008, Shaanxi, China;

2. National Petroleum and Gas Tubular Goods Engineering Technology Research Center, Baoji 721008, Shaanxi, China)

Abstract: In this article, the relationship between the microstructure and mechanical properties of base metal and welding joint of X100 welded pipes were studied. The result showed that the microstructure of base metal consists of granular bainite and acicular ferrite, the more acicular ferrite, the better strength-toughness matching and toughness at low temperature. The microstructure of weld is acicular ferrite and the proeutectoid ferrite, and the difference of different weld microstructure is small. The microstructure of HAZ coarse grain zone is granular bainite. The fine and dispersive M/A island is favorable for obtaining better strength and toughness, but more M/A island can increase the ductile-brittle transition temperature of HAZ.

Key words: welding; X 100; welding joint; mechanical properties

预计在未来 10 年内我国还将建设长输管线 10~20 万 km 的油气管道^[1]。油气输送管道必然向着高强度、大壁厚、大直径及大输量方向发展^[2-3], 高强度管线钢管节省更多的钢材^[4]。

早在 1985 年日本就开始研究 X100 管线钢^[5]。

我国对 X100 管线钢的研究虽然起步较晚, 但发展较快。近年来, X100 钢材^[6-8]和钢管^[9-10]成为研究的热点。国内相关单位研究的 X100 管线钢的微观组织由针状铁素体、粒状贝氏体和 M/A 岛组成^[11]。粒状贝氏体主要存在于铁素体边界; 铁三

* 基金项目: 国家科技支撑计划课题, 超高强度油气输送管材关键技术研究(2011BAE35B01)。

碳存在于铁素体板条；组织以针状铁素体为主，也存在少量条状铁素体，同时位错密度很高^[2]。

通过艰苦攻关和不懈努力，宝鸡石油钢管有限责任公司成功研制出了 $\phi 1\ 219\ \text{mm}$ 、壁厚

15.3 mm 的 X100 螺旋埋弧焊管，随后又进行了 $\phi 1\ 219\ \text{mm}$ 、壁厚 14.8 mm 的 X100 螺旋焊管和 $\phi 1\ 219\ \text{mm}$ 、壁厚 14.8 mm/17.8 mm 的 X100 直缝焊管的单炉试制。

表 1 试验用钢的化学成分

试样 编号	位置	化学成分/%							CE _{Pcm}
		w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(P)	w(S)	w(Mo+ Ni+Cr+Cu)	w(V+Nb+Ti)	
1 [#] 钢	母材	0.05	0.24	1.99	0.007	0.002	1.38	0.137	0.22
	焊缝	0.07	0.34	1.93	0.008	0.004	1.67	0.108	0.25
2 [#] 钢	母材	0.05	0.23	1.90	0.007	0.002	1.28	0.112	0.21
	焊缝	0.06	0.33	1.87	0.008	0.004	1.50	0.096	0.24
3 [#] 钢	母材	0.05	0.29	1.87	0.010	0.002	1.18	0.147	0.22
	焊缝	0.07	0.34	1.94	0.008	0.004	1.57	0.109	0.25

注：剩余含量为 Fe 和其他合金元素。

1 试验材料及方法

试验材料采用低 C+中/高 Mn+Nb+Mo 合金化设计^[13]，取自国内 3 家不同的钢厂，编号分别为 1[#] 钢、2[#] 钢和 3[#] 钢。材料的化学成分见表 1。

拉伸试样取自距焊缝 180°位置横向，拉伸试样标距内尺寸为 8.9 mm，采用 WES-1000 液压万能试验机(100 t)进行拉伸试验。结果表明^[4]，距焊缝 90°位置冲击性能最差，因此冲击试样在距焊缝 90°位置横向取样。冲击试样尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm，试验温度为 -10 ℃，冲击系列温度试验为 20 ℃，0 ℃，-10 ℃，-20 ℃，-40 ℃和 -60

℃。冲击试验采用 JB800 型冲击试验机。采用奥林巴士 PMG3 金相显微镜对金相组织进行观察。

2 试验结果及分析

2.1 金相组织

3 种钢母材的金相组织如图 1 所示，其组织均为粒状贝氏体(GB)+针状铁素体(AF)，马氏体/奥氏体(M/A)组元为圆形细小且弥散分布。1[#] 钢与 3[#] 钢组织较细小，3[#] 钢组织最细；1[#] 钢与 3[#] 钢中 GB 较多，AF 较少，3[#] 钢 M/A 岛含量也要多于 1[#] 钢；2[#] 钢组织粗大，具有发达的 AF。

3 种钢焊缝的金相组织如图 2 所示，其组织

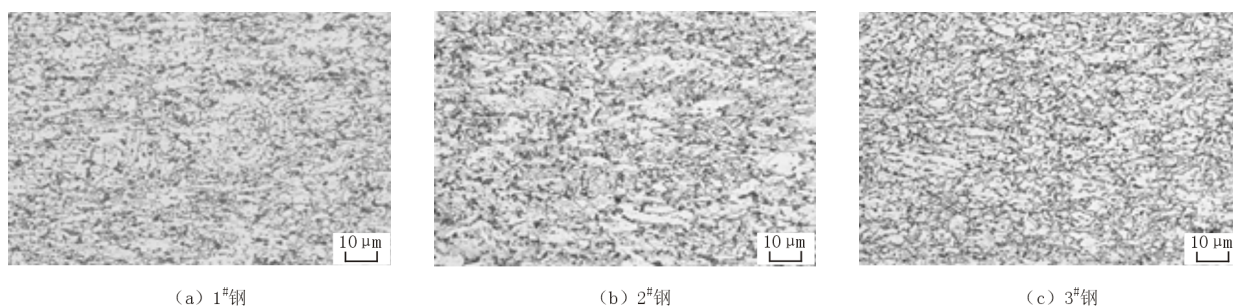


图 1 3 种钢母材的金相组织

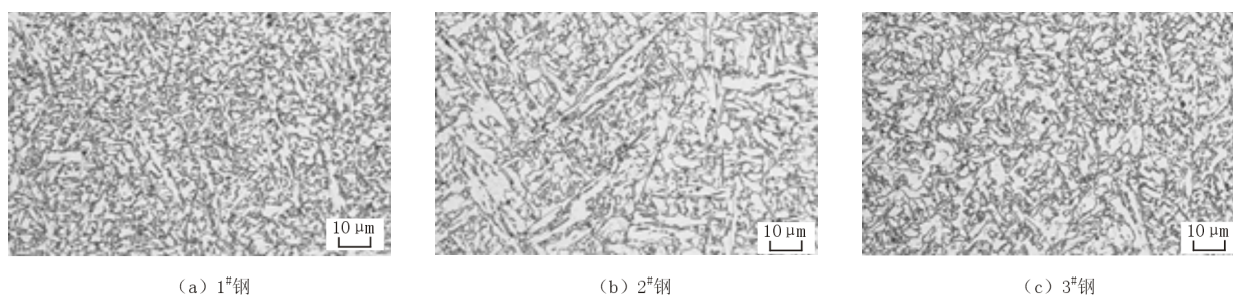


图 2 3 种钢焊缝的金相组织

均为针状铁素体(AF)+少量先共析铁素体(PF), 1# 钢中的针状铁素体更加细密; 2# 钢组织最大, 针状铁素体晶粒之间呈大角晶界; 3# 钢组织中 PF 较多, 组织较 2# 钢更细。3 种钢 HAZ 的金相

组织如图 3 所示, 其组织均为粒状贝氏体(GB) 组织, 能清晰看到原奥氏体晶界。大部分的 M/A 细小岛弥散分布, 少部分 M/A 岛呈岛链分布, 2# 钢的弥散分布 M/A 较多。

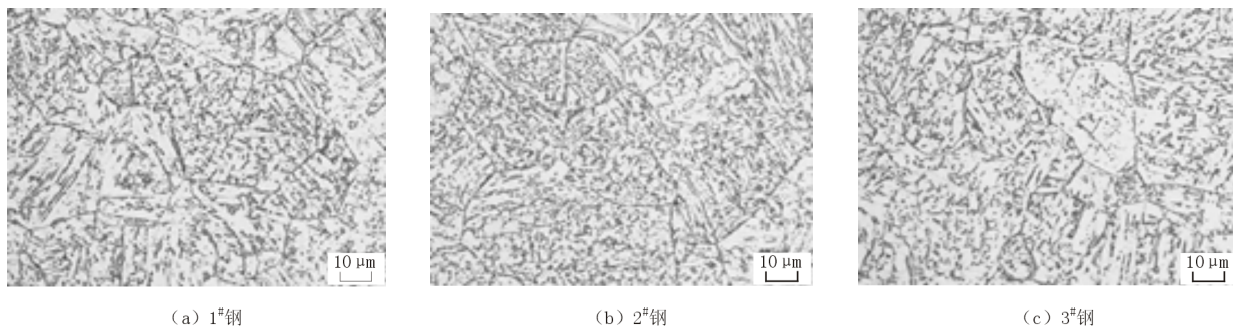


图 3 3 种钢 HAZ 的金相组织

2.2 力学性能

拉伸试验结果如图 4 所示。可以看出 1# 钢的屈服强度 $R_{p0.2}$ 和拉伸强度 R_m 要低于 2# 钢和 3# 钢, 但是焊缝抗拉强度 R_m 从高到低为 1# 钢、2# 钢、3# 钢。

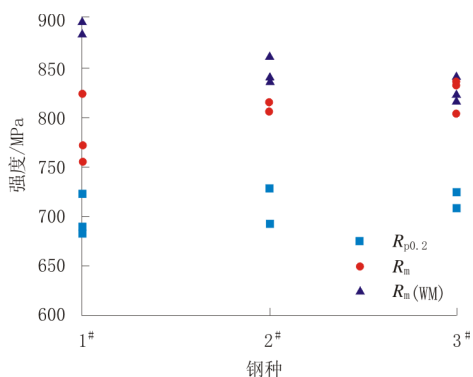


图 4 3 种钢制管后的拉伸性能

冲击功系列温度试验结果的总体趋势为: 随着试验温度的降低, 冲击功下降。但是钢种和取样位置不同, 冲击功随着试验温度变化的趋势不同。3 种钢制管后母材的冲击功如图 5 所示。从图 5 可以看出, 1# 钢和 2# 钢的韧脆转变温度在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 经过韧脆转变温度后, 随着

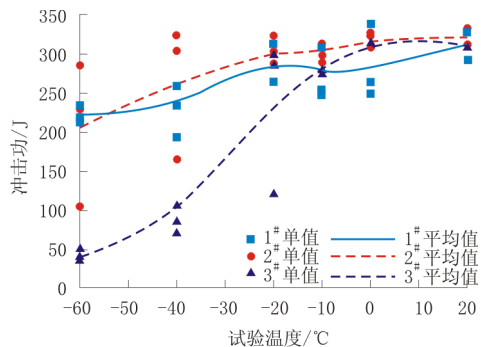


图 5 3 种钢制管后的母材冲击功

试验温度的降低冲击功下降缓慢, 当试验温度为 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 仍有很高的冲击功, 平均值分别为 223 J 和 207 J; 试验温度高于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 2# 钢的冲击功平均值要高于 1# 钢; 验温度为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 虽然 2# 钢的冲击功要高于 1# 钢, 但是其数值离散; 验温度为 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 2# 钢的冲击功平均值要低于 1# 钢, 且数值离散。3# 钢的韧脆转变温度在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 经过韧脆转变温度后, 随着试验温度的降低冲击功急剧下降, 试验温度为 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时冲击功的平均值只有 42 J。

3 种钢制管后焊缝的冲击功如图 6 所示。从图 6 可以看出, 各种钢变化曲势基本相同, 韧脆转变温度都在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 冲击功值接近。3 种钢的冲击功值从高到低顺序为 2# 钢、3# 钢、1# 钢。

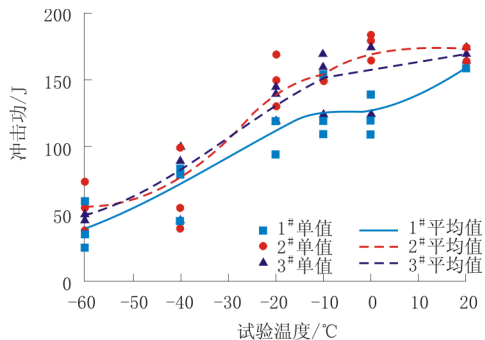


图 6 3 种钢制管后的焊缝冲击功

3 种钢制管后 HAZ 的冲击功如图 7 所示。可以看出, 当试验温度高于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 3 种钢的冲击功值基本接近, 2# 钢韧脆转变温度在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右; 1# 钢和 3# 钢的韧脆转变温度在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。1# 钢随着试验温度下降冲击功下降缓慢; 3# 钢经过韧脆转变曲线后冲击功随着试验温度的下降急剧下降。

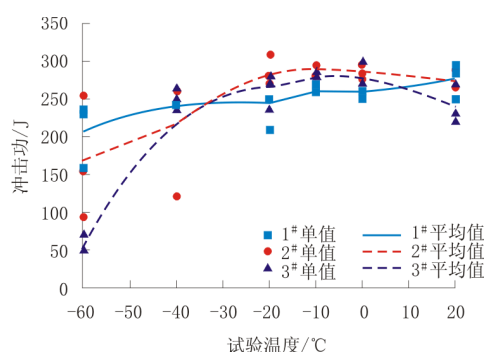


图7 3种钢制管后的HAZ冲击功

3 分析讨论

母材组织均为GB+AF, M/A岛为圆形细小且弥散分布。1#钢与3#钢组织细小, 3#钢组织最细; 1#钢与3#钢中GB较多, AF较少且多处于形核阶段, 3#钢M/A岛含量要多于1#钢。2#钢组织粗大, 具有发达的AF。发达的AF组织中, 其位错强化起决定性作用, AF组织中的大角晶界和亚境界可以阻碍裂纹扩展; 弥散细小的M/A岛, 作为材料中的脆硬相的同时也阻碍裂纹的扩展。因此AF组织和弥散细小的M/A岛都可使材料在保证高强度的同时获得很好的冲击韧性。1#钢中的Ni含量较高有利于位错的交滑移, 提高钢的低温冲击韧性^[5]; 2#钢有更多AF, 同样在低温冲击试验中表现很好焊缝组织都为AF+PF。1#钢较细的组织较细为和较多细小弥散的M/A岛, 因此有着较高的强度。2#组织较粗, 但含有大角晶界使得其拥有与1#和3#钢焊缝组织相近的冲击韧性。3种钢的焊接热影响区的组织都为贝氏体组织。贝氏体铁素体呈板条状, 在板条间分布着有棒状M/A岛组织^[6]。GB的原奥氏体晶粒度和M/A岛的比例、大小、形状、分布决定性能。2#钢含有较多细小弥散的M/A岛组织, 原奥氏体晶粒较大, 强度上没有突出的表现, 冲击韧性稍好, 而较多的M/A岛使得韧脆转变温度上升。1#钢和3#钢组织基本相近, 其性能相近, 仅在试验温度为-60℃条件下, 3#钢的冲击吸收功迅速下降, 同样可以用Ni含量较低解释。

4 结论

(1) 母材组织为GB+AF, 母材化学成分接

近时, 含有较多的AF会获得较好的强度和韧性, 同时也会具有较好的冲击韧性。

(2) 母材GB组织较多, 焊缝组织较细小; AF组织较多, 焊缝组织较粗大; 熔敷金属的合金含量较高, 力学性能相差不大。

(3) 热影响区为粒状贝氏体组织, 含有较多弥散分布的M/A岛, 有利于获得较好的强韧匹配, 但M/A岛数量较多会使韧脆转变温度升高。

参考文献:

- [1] 杜则裕. 高强度管线钢X100的研究进展[J]. 焊接技术, 2006(S1): 4-6.
- [2] 宋艾玲, 梁光川, 王文耀. 世界油气管道现状与发展趋势[J]. 油气储运, 2006, 25(10): 1-6.
- [3] 蒲明. 中国油气管道发展现状与展望[J]. 国际石油经济, 2009(03): 40-47.
- [4] 尹雨群, 雷玄威, 吴开明. 超高强度管线钢的开发现状与趋势[J]. 中国冶金, 2012, 22(09): 5-9.
- [5] 严春妍, 李午申, 冯灵芝, 等. X100级管线钢及其焊接性[J]. 焊接学报, 2007, 28(10): 105-108.
- [6] 牛涛, 康永林, 顾宏伟, 等. 炉卷轧机生产X100管线钢的组织特征与强韧性[J]. 北京科技大学学报, 2009, 31(11): 1420-1424.
- [7] 周民, 杜林秀, 衣海龙, 等. 空拉空冷双相高强度X100管线钢的组织性能[J]. 机械工程材料, 2010, 34(04): 47-54.
- [8] 贾书君, 刘清友, 彭伶俐, 等. X100管线钢的工艺控制[J]. 材料热处理学报, 2011, 32(11): 29-33.
- [9] 毕宗岳, 杨军, 牛靖, 等. X100高强管线钢焊接接头的断裂韧性[J]. 金属学报, 2013, 49(05): 576-582.
- [10] 张骁勇, 高惠临, 庄传品, 等. 焊接热输入对X100管线钢粗晶区组织及性能的影响[J]. 焊接学报, 2010, 31(03): 29-32.
- [11] 齐丽华, 杨龙, 冯耀荣, 等. X100级管线钢的微观组织与力学性能的关系[J]. 材料热处理技术, 2011, 40(02): 15-19.
- [12] 张小立, 冯耀荣, 王亮亮. X100管线钢的组织与性能[J]. 中原理工学报, 2011, 22(03): 9-13.
- [13] 黄开文. X80和X100钢级管线钢的合金化原理和生产要点[J]. 轧钢, 2004, 21(06): 55-58.
- [14] 范玉然, 刘宇, 李烨铮, 等. X100高强度管线钢冲击韧性分析[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(24): 6468-6472.
- [15] 李政. 合金元素对高强管线钢埋弧焊缝组织性能的影响[J]. 金属铸锻焊技术, 2011, 40(17): 12-14.
- [16] 乔桂英, 李建龙, 李建一. X100管线钢焊接热影响区组织与韧性研究[J]. 燕山大学学报, 2011, 35(06): 528-532.

作者简介: 包志刚(1984—), 男, 毕业于燕山大学材料学专业, 现主要从事油气管材产品开发工作。

收稿日期: 2013-11-12

编辑: 李红丽