

● 试验研究

高 Nb X70 管线钢

焊接连续冷却转变曲线分析

陈延清^{1,2}, 杜则裕¹, 许良红², 牛辉³

(1. 天津大学材料学院, 天津 300072; 2. 首钢技术研究院, 北京 100041;

3. 宝鸡石油钢管有限责任公司, 陕西 宝鸡 721008)

摘要: 采用焊接热模拟技术测定出首钢研发的 X70 管线钢焊接连续冷却转变曲线 (SH-CCT), 获得了 X70 管线钢焊接粗晶热影响区组织变化规律, 组织性能分析表明, 首钢生产的 X70 管线钢淬硬倾向和冷裂纹敏感性较低。

关键词: X70 管线钢; 热模拟; 粗晶热影响区; 连续冷却转变曲线

中图分类号: TG115.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3938(2010)07-0021-03

Welding Continuous Cooling Transition Curve Of High Nb X70 Pipeline Steel

CHEN Yan-qing^{1,2}, DU Ze-yu², XU Liang-hong¹, NIU Hui³

(1. School of Material Science & Engineering, Tianjin University, Tianjin 30072, China;

2. Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100041, China;

3. Baoji Petroleum Steel Pipe Co., Ltd., Baoji 721008, Shaanxi, China)

Abstract: Adopting welding thermal simulation technology, welding continuous cooling transition curve of high Nb X70 pipeline steel developed by Shougang Group was determined, and the microstructure variation rule of coarse grain heat affected zone of X70 pipeline steel was obtained. The results of property analysis indicated that hardenability trend and cold cracking sensitivity of high Nb X70 pipeline steel produced by Shougang Group are low.

Key words: X70 pipeline steel; thermal simulation; coarse grain heat affected zone; continuous cooling transition curve

0 前言

为了降低单位流量输送管道的建设费用和运行成本, 采用高钢级、大直径、高压输送已经成为管道输送油气发展的必然趋势^[1-3]。在发达国家, 20 世纪 60 年代一般采用 X52 钢, 70 年代普遍采用 X60 ~ X65 钢, 近年来以 X70 和 X80 钢为主。我国油气管线的建设起步较晚, 但发展迅速, 西气东输一线工程的建设, 带动了我国冶金、制管、管道建设水平的全面发展, 西气东输二线工程的启动, 使我国管道建设水平达到了国际领先水平^[1-3]。随着国内油气管线的延长和压力的提高, 促使 X70 和 X80 钢成为干、支线油气管线的主流管线钢。已建成的西气东输一线工程全部采用 X70 管线钢, 西气东输二线工程干线全部采用

X80 管线钢, 支干线以及联络线全部采用 X70 管线钢, X70 管线钢是目前乃至未来几年应用范围最广, 使用量最大的管线钢种。

1 X70 管线钢的技术条件

X70 管线钢有较高的强韧性要求, 屈服强度要求不低于 485 MPa, 抗拉强度不低于 570 MPa。不同管线工程对 X70 管线钢板冲击韧性的要求不同, 其中西气东输工程要求最严格, 要求 -20 ℃ 冲击功不低于 130 J。Q/SY GJX 0126—2007《西气东输二线管道工程用 X70 热轧钢板技术条件》对钢级为 X70 热轧钢板的相关性能做出规定, 技术条件要求的 X70 热轧钢板的化学成分见表 1, 力学性能见表 2。

表 1 技术条件要求的 X70 管线钢板的化学成分

%											
w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(P)	w(S)	w(Nb)	w(V)	w(Ti)	w(Ni)	w(Mo)	w(Cr)	w(Cu)
≤0.09	≤0.35	≤1.65	≤0.020	≤0.005	≤0.11	≤0.06	≤0.025	≤0.30	≤0.30	≤0.35	≤0.30

注:w(Nb) + w(V) + w(Ti) ≤ 0.15%。

表 2 技术条件要求的 X70 管线钢钢板的力学性能

拉伸试验				冲击韧性(-20℃)			
R _{P0.2} /MPa	R _m /MPa	R _{P0.2} /R _m	A/%	冲击功/J		剪切面积/%	
				平均值	单值	平均值	单值
485 - 630	570 - 760	≤0.9	≥18	≥180	≥130	≥90	≥80

2 试验用钢的化学成分及性能

为了确保首钢 X70 管线钢的综合性能及焊接性,首钢 X70 管线钢采用 Nb 微合金化技术,充分发挥 Nb 元素析出强化、细化晶粒的作用,同时降低 P,S 等杂质元素的含量,提高钢的纯净度,

确保钢的综合性能。

随机选取首钢秦皇岛金属材料有限公司生产的一炉 X70 管线钢为试样,板厚 14.6 mm,测定了 X70 管线钢的焊接连续冷却转变曲线,进行了 X70 管线钢粗晶热影响区组织和性能变化规律的研究。试验用钢板的化学成分见表 3,其力学性能见表 4。

表 3 试验用钢板的化学成分

%												
w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(P)	w(S)	w(Nb)	w(Ni)	w(V)	w(Cr)	w(Ti)	w(Al ₁)	Ceq	Pcm
0.05	0.23	1.57	0.007	0.001	适量	适量	适量	适量	微量	0.027	0.37	0.15

注:Ceq = C + Mn/6 + (Ni + Cu)/15 + (Cr + Mo + V)/5,

Pcm = C + (Mn + Cu + Cr)/20 + Si/30 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B。

表 4 试验用钢板的力学性能

拉伸试验				-10℃冲击	维氏硬度		
R _{P0.2} /MPa	R _m /MPa	R _{P0.2} /R _m	A/%	吸收功/J	距上层 2 mm	厚度中心距	距下层 2 mm
560	660	0.85	41	267,242,350	221,216,215	210,212,212	213,216,219

3 X70 管线钢焊接连续冷却转变曲线 (SH - CCT) 的测定

试验设备采用 Gleeble - 2000 热模拟机和 Formastor - Digital 全自动相变仪,设计了 10 种不同冷却速度^[2],测得了 X70 管线钢的焊接连续冷却转变曲线 (SH - CCT),如图 1 所示。焊接特征参数 t_{8/5} 与 HAZ 组织关系如图 2 所示。焊接特征参数 t_{8/5} 与 HAZ 硬度关系如图 3 所示。不同冷却速度下获得的金相组织如图 4 所示。

由图 1 ~ 图 4 可得出以下结论:

(1) 随着焊接热输入的增加,焊后冷却速度由快变慢,X70 管线钢粗晶热影响区可能发生了 M + B, B, B + F 以及 B + F + P 四种不同类型的组织转变:t_{8/5} < 40 s 时,粗晶热影响区发生的是 M + B 相变;40 s ≤ t_{8/5} < 150 s 时,发生的是 100% 的 B 相变;

150 s ≤ t_{8/5} < 1 200 s 时,发生的是 B 和 F 的相变;t_{8/5} ≥ 1 200 s 时,发生的是 F, P 和 B 的相变。

(2) 随着 t_{8/5} 的逐渐增加或焊接热输入的增加,也就是焊后冷却速度的降低,模拟粗晶热影响

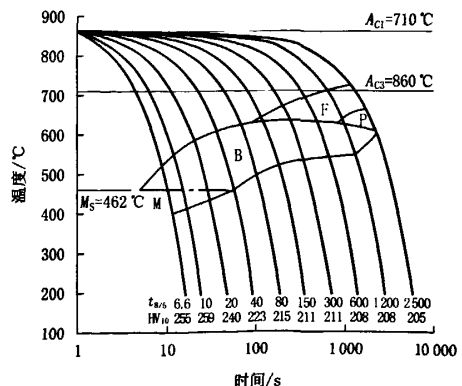


图 1 X70 管线钢焊接连续冷却转变曲线

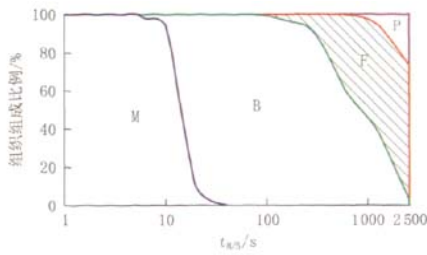


图 2 焊接特征参数 $t_{8/5}$ 与 HAZ 组织之间的关系

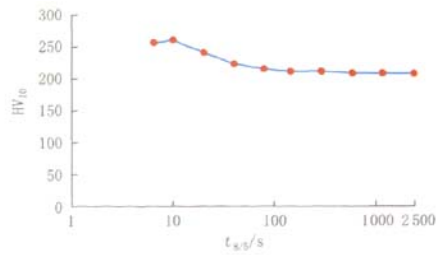


图 3 焊接特征参数 $t_{8/5}$ 与硬度之间的关系

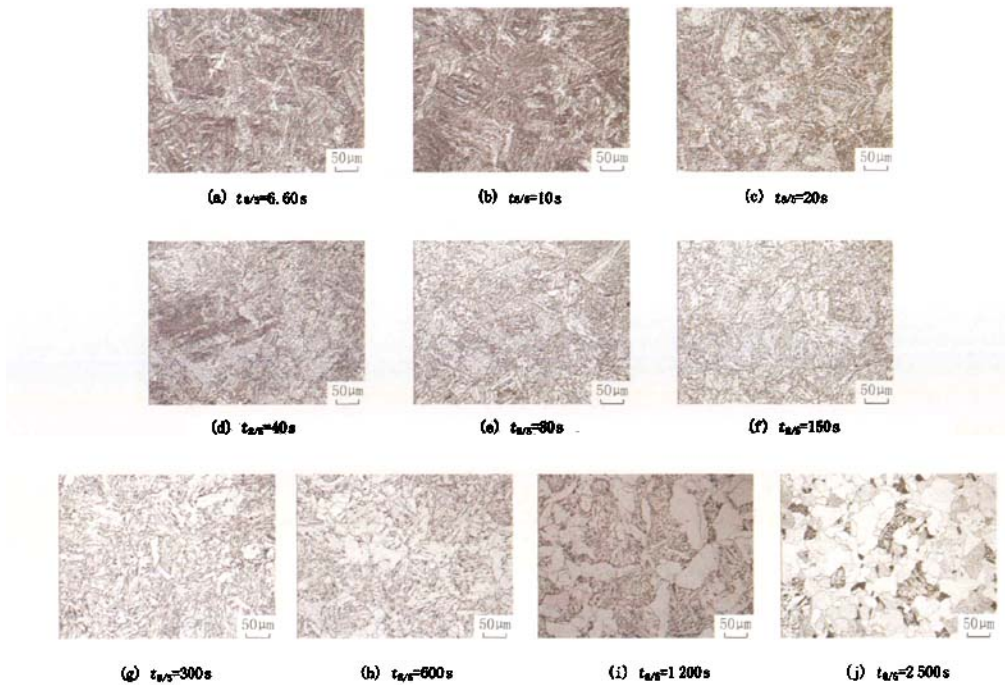


图 4 不同 $t_{8/5}$ 下的金相组织

区的维氏硬度逐渐降低,但都高于母材或与母材相当,说明 X70 管线钢热影响区中粗晶热影响区不存在软化现象。X70 管线钢粗晶热影响区的最高硬度值 (HV_{10}) 为 259,远低于国际焊接学会提出的具有焊接冷裂纹倾向的临界硬度值 350,X70 管线钢淬硬倾向和冷裂纹敏感性均很低^[4-5]。

(3)在常用电弧焊所用 20 ~ 50 kJ/cm 焊接热输入范围内,对应的焊接特征参数 $t_{8/5} = 10 \sim 100$ s,粗晶热影响区发生的 M + B 和 B 两种组织类型的转变, HV_{10} 硬度值在 210 ~ 244 之间,低于国际焊接学会提出的具有焊接冷裂纹倾向的临界硬度值 350,因此 15.9 mm 厚 X70 管线钢在采用常用焊接方法施焊时冷裂纹敏感性较低。

4 结论

(1)采用 Formastor - Digital 全自动相变仪和 Gleeble - 2000 热模拟实验机测定出 X70 管线钢焊接连续冷却转变曲线 (SH - CCT),获得焊接工艺特征参数 $t_{8/5}$ 从 6.6 s 到 2 500 s 范围内的组织变化规律。在常用 $t_{8/5} = 10 \sim 100$ s 焊接参数条件下,下限 $t_{8/5}$ 参数焊接时得到贝氏体和马氏体组织;上限 $t_{8/5}$ 参数焊接时得到贝氏体、先共析铁素体和少量珠光体组织;中限焊接参数条件获得贝氏体组织。

(2)随着焊后冷却速度的降低,模拟粗晶区

(下转第 29 页)



图11 监理综合查询子系统——监造数据分析

等管线用钢管实际生产监造过程中,使用效果良好,大大提高了钢管生产监造工作的效率和质量。

5 结 语

网络环境下钢管企业生产监造与质量控制管理系统和实现系统以 Oracle 10 g 关系数据库为平台,实现了生产监造数据的自动存储与处理;建立了网络环境下基于 B/S 的系统软硬件体系结构;采用 OWC 组件和 XML 相结合的方法进行异构数据集成和快速灵活的复杂报表输出功能,解决了网络环境下数据频繁更新效率不高的问题,提高了系统的交互性能。该系统已成功应用于西气东输二线、陕京三线、漠大线、涩宁兰等重大油

气输送管线用钢管生产监造与质量控制过程中,并已获得了中国版权中心颁发的软件著作权证书,使用效果良好,具有较好的推广价值。

参考文献:

- [1] LI Jian, TANG Yan, ZHANG Ji-hui. Design and Implementation of Distributed Venous Industry Information Management System [C] // Proceedings of the 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Dalian; [n. l.], 2008; 1-4.
- [2] WU Chen-feng. Design of Portable Personal Information Management System with XML Technique [J]. Information Technology Journal, 2008, 7(4): 615-622.
- [3] SHI N, HUANG S. 3D Scan Information Management System for Construction Management [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2006, 132(2): 134-142.
- [4] ALBERTO G, SANDRA F, JOHN L. Process-driven Information Management System at a Biotech Company: Concept and Implementation [J]. Journal of Chemical Information and Computer Sciences, 2004, 44(3): 964-975.

作者简介:李云龙(1966-),男,1989年毕业于西安电子科技大学,高级工程师,现为北京隆盛泰科石油管科技有限公司总经理,兼任中国石油天然气集团公司管材研究所驻厂监理部主任,主要从事油气输送钢管生产监造与质量控制方面的研究。

收稿日期:2009-11-16

编辑:谢淑霞

(上接第23页)

的维氏硬度逐渐降低,但都高于母材或与母材硬度相当,说明 X70 管线钢热影响区中粗晶区不存在软化现象。

参考文献:

- [1] 高惠临. 管线钢组织、性能、焊接行为 [M]. 陕西: 陕西科学技术出版社, 1995.
- [2] 郑磊, 高珊. 西气东输工程大口径 X70 输气管线用板卷的研制 [J]. 钢铁研究学报, 2006, 18(3): 46-50.
- [3] ADEM B. Effect of Processing Parameters on the Micro-

structure and Properties of an Nb Microalloyed Steel [J]. Materials Letters, 2002(56): 200-209.

- [4] 林慧国, 傅代直. 钢的奥氏体转变曲线 - 原理、测试与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988: 373-374.
- [5] 周振丰, 张文钺. 焊接冶金与金属焊接性 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987: 298-300.

作者简介:陈廷清(1967-),女,硕士研究生,高级工程师,主要从事金属材料焊接性、焊接工艺研究以及焊接材料开发工作。

收稿日期:2010-2-22

编辑:肖恩凯