酸性服役管线管 BNS 力学及耐腐蚀性能研究*

裴福莉,余泽金,张行刚,米永峰,贾冬梅,魏 淼

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章介绍了包钢钢管公司酸性服役管线管 BNS 成分设计要求,对材料的拉伸性能、冲击性能、组织以及耐腐蚀性能进行了检测和分析,正火处理后,材料具有良好的力学性能和抗腐蚀性能。试验结果表明,设计的 BNS 完全能满足酸性服役条件下管线管性能要求。

关键词: BNS 管线管; 冲击韧性; 耐腐蚀性能

中图分类号: TG142. 1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009 - 5438(2021) 02 - 0058 - 04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.02.015

Study on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Line Pipe BNS with Acid Service

Pei Fu - li, Yu Ze - jin, Zhang Xing - gang, Mi Yong - feng, Jia Dong - mei, Wei Miao

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the component design requirements of line pipe BNS with acid service of Steel Tube Co. of Baotou Steel are introduced as well as the tensile property, impact property, microstructure and corrosion resistance of material are tested and analyzed. After normalizing treatment, the material is with good mechanical properties and corrosion resistance. The test results showed that designed BNS could completely meet the performance requirements of line pipe under the conditions of acidic service.

Key words: BNS line pipe; impact toughness; corrosion resistance

随着国内经济对石油和天然气的日益依赖,石油和天然气管道的建设发展迅速。石油、天然气的快速开采,油气田建设的重心转向西南地区,这些地区环境恶劣,地质结构复杂,对管道运输提出了更高的挑战。由于油气田的开发转向西南山区、西北荒漠,管道线路经过地震高发区、滑坡地质灾害多发区,这些复杂的地质环境均给管道的开发提出了新的难题。我国石油和天然气产品中硫化氢浓度较高,产生的腐蚀较严重。酸性腐蚀是影响管道输送使用寿命的关键因素。由于普通的无缝管线管在化学成分和生产工艺方面未重点考虑抗硫化氢性能方面的要求,存在钢中 S 含量较高、带状组织严重等问题,不能满足安全输送含有硫化氢等腐性介质的石油、天然气的要求。本文根据管线管的使用特点,对酸性服役 BNS 管线钢(简称 BNS)的成分设计、力学性能、微观组织以及耐腐蚀性能进行研究。

1 BNS 成分设计

随着石油管道的服役条件越来越严苛,用户对 BNS(API 5L 中 PSL2 的 B 级钢,采用正火工艺的抗

* 收稿日期: 2021 - 01 - 13

作者简介: 裴福莉(1993 -),女,内蒙古包头市人,助理工程师,现从事无缝钢管产品研发工作。

酸管线管) 性能要求也越来越高，除了材料耐腐蚀性能外，还对材料的低温冲击韧性提出了新的要求。API 5L 标准要求 BNS 0 ℃横向冲击功不低于 27 J，工况要求冲击试验温度为 -30 ℃甚至更低，同时还对剪切面积比提出了具体要求。为了使材料具有良好的耐腐蚀性能和焊接性能[1-4]，在满足 API 5L 标准成分要求前提下，采用低碳钢低碳当量设计，添加适量的 Cr、Mo 合金并辅以少量的微合金化元素，同时降低钢中五害元素 As、Sn、Pb、Sb、Bi，气体 [H]、[O]、[N] 以及 P、S 的含量，五害元素有回火脆性倾向，P、S 弱化晶界，尽量控制这些有害元素及气体，保持钢质纯净，酸性服役管线管 BNS 成分设计如表 1所示。

表 1　试验用钢的化学成分(质量分数)　%

范围	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Nb	V	Ti
上限	0.12	0.30	1.05	0.018	0.003	0.25	0.12	0.04	0.01	0.020
下限	0.09	0.20	0.90			0.15	0.08	0.025		0.010

2　工艺流程

铁水预处理→顶底复吹转炉→LF 精炼→VD 真空处理→圆坯连铸→轧管→热处理→检验→水压试验→探伤→定尺→包装→入库。

3　热处理试验及结果分析

从试验钢种生产样上截取轧态小试样，试样尺寸为 7.5 mm × 10 mm × 55 mm，分别对材料进行轧态、正火、调质热处理工艺不同温度下冲击韧性检验，热处理工艺及冲击韧性检验结果如表 2 所示。

表 2　试验用钢冲击性能试验结果

编号	试验温度/℃	冲击功/J			剪切面积比/%			工艺
1	0	26	214	27	0	100	34	轧态
2	-30	6	18	9	0	0	0	轧态
3	0	258	251	245	100	100	100	正火
4	-30	238	220	230	100	100	100	正火
5	0	274	293	292	100	100	100	调质 730
6	-30	293	273	299	100	100	100	调质 730
7	0	187	223	222	100	100	100	调质 760
8	-30	193	191	209	100	100	100	调质 760
9	0	195	253	231	100	100	100	调质 790
10	-30	240	268	227	100	100	100	调质 790

从表 2 可以看出，0 ℃下 BNS 轧态冲击功不稳定，个别单值达到 200 J 以上，有的仅 20 J，波动大；正火热处理和调质热处理相比，两者的冲击功相差不大，0 ℃和 -30 ℃下冲击功都达到了 200 J 以上，剪切面积比为 100%，高于标准值的要求，说明 BNS 在正火和调质热处理下，材料都具有良好的冲击韧性。

调质热处理成本要高于正火热处理成本，因此选择 BNS 正火处理作为最终工业热处理制度，同时对工业热处理材料进行拉伸、硬度、组织、韧脆性转变温度以及耐腐蚀性能研究，工业生产材料拉伸以及硬度检测如表 3 所示。

表3 BNS正火工艺力学性能试验结果

编号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	屈强比	维氏硬度检测值					
1	370	496	41	0.75	152	152	153	149	149	154
2	373	503	43	0.75	156	156	141	143	154	144
3	383	510	45	0.77	146	150	145	145	143	144
4	374	501	44	0.75	168	156	145	145	167	150
5	378	506	44	0.75	150	148	161	154	148	146

从表3工业生产数据可以看出，材料屈服强度范围为370～390 MPa，抗拉强度范围为490～510 MPa，延伸率不低于40%，材料拉伸性能稳定，波动小，屈强比低，硬度均匀。材料显微组织如图1所示。

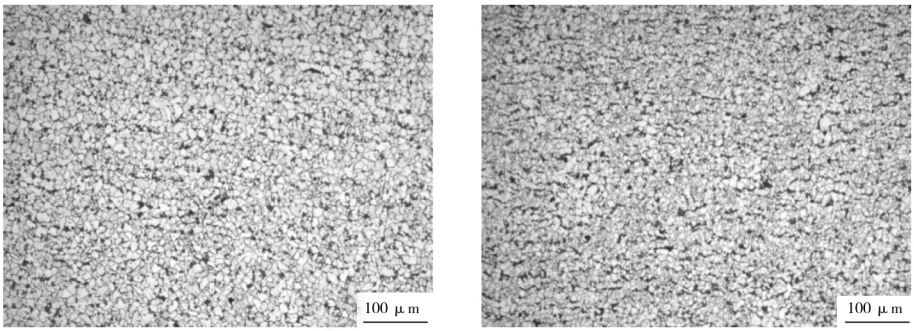


图1 BNS显微组织(100×)

从图1可以看出，BNS材料显微组织为铁素体和少量珠光体，按ASTM E112标准进行检测，晶粒度级别为8.5～9.0级，显微组织均匀细小。

工业生产材料低温韧脆转变温度检测如表4和图2所示。试样尺寸为7.5 mm×10 mm×55 mm。

表4 系列冲击试验结果

编号	试验温度/℃	冲击功/J			剪切面积比/%			工艺
1	0	151	155	153	100	100	100	正火
2	-10	153	144	142	100	100	100	正火
3	-20	148	158	147	100	100	100	正火
4	-30	138	142	146	100	100	100	正火
5	-40	146	151	141	100	100	100	正火
6	-50	120	82	85	100	42	81	正火
7	-60	75	70	102	44	30	100	正火

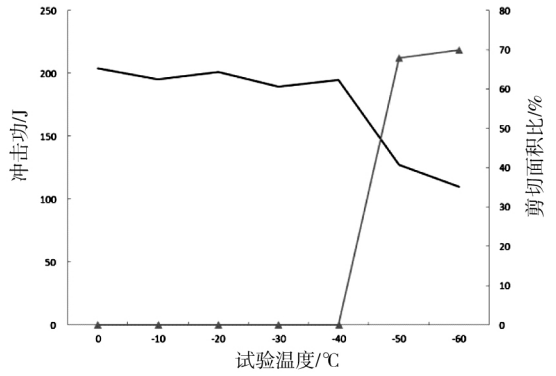
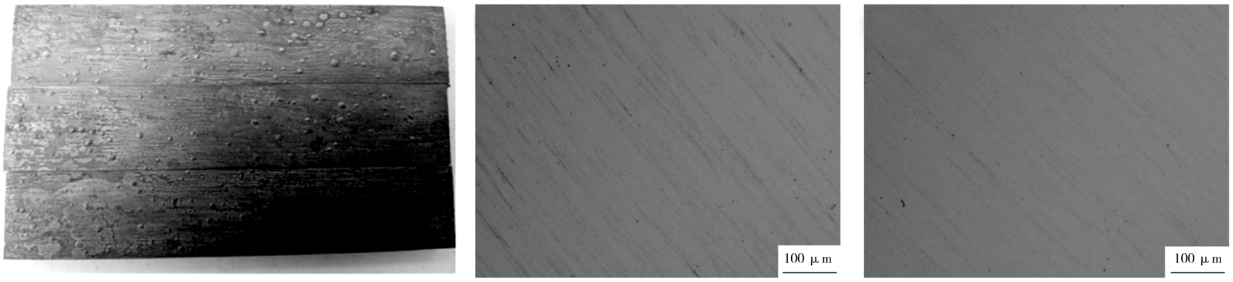


图 2　韧脆转变温度曲线

从材料韧脆转变曲线可以看出，在 -40 ℃以上，材料冲击功达到 140 J 以上，冲击值稳定，剪切面积比为 100%，-50 ℃以下，冲击功急剧下降，个别单值在 80 J 左右，剪切面积比最低为 40%，-60 ℃以下，冲击功为最低为 70 J，剪切面积比最低为 30%，说明 -45 ℃为 BNS 的韧性转变温度点[7-8]。

在硫化氢介质的作用下，管线钢极易造成氢气损坏。按照 NACE Standard TM 0284—2016 的要求进行氢致开裂试验，通入氮气和 H_2S 气体，进行常温常压为期 96 h 的氢致开裂试验。试验结果如图 3 所示，所做试样未发现裂纹。



（a）在放大镜下观察试样表面　（b）在显微镜下观察，100×　（c）在显微镜下观察，100×

图 3　氢致开裂(HIC)试验结果

4　结论

(1) BNS 管线管的化学成分采用低碳钢低碳当量设计，添加适量的 Cr、Mo 合金并辅以少量的微合金化元素，采用正火热处理工艺。产品性能稳定，管线钢显微组织良好，铁素体形核率增加，晶粒细化，材料的各项力学性能指标达到最佳，满足 API 5L (46) 标准要求。

(2) 对 Cr、Mo 系低碳合金钢进行热处理可以大幅提高低温冲击韧性。对试样进行 900 ℃正火处理，韧脆转变温度达到 -45 ℃，当冲击功大于150 J 时，剪切面积比达到 100%。

(3) BNS 抗硫化氢腐蚀管线管通过 HIC 试验未发现裂纹或开裂。内部无氢致裂纹，具有很好的抗氢渗入能力。所开发的抗硫化氢应力腐蚀管线管具有优异的抗腐蚀性能。

参　考　文　献

[1] 李鹤林. 油气输送钢管的发展动向与展望[J]. 焊管，2004，27(6)：1-11.

[2] Zheng L，Gao S，Min L U. Development and Application of Submarine pipeline steel [J]. Welded Pipe & Tube，2006，141 (2)：271-277.

[3] 张斌，钱成文，王玉梅，等. 国内外高钢级管线钢的发展及应用[J]. 石油工程建设，2012，38(1)：1-4.

[4] 吴娅梅. 超高强度管线钢的发展现状及未来趋势预测[J]. 科技视界，2014，(5)：293-293.

[5] Shi X B，Yan W，Wang W，et al. HIC and SSC Behavior of High-Strength Pipeline Steels [J]. Acta Metallurgica Sinica，2015，28(7)：799-808.

[6] 王红伟. 高寒地区管道低温脆断控制[J]. 金属学报，2016，51(1)：21-30.

[7] 高古辉，张寒，白秉哲. 回火温度对 Mn 系低碳贝氏体钢的低温韧性的影响[J]. 金属学报，2011，47(5)：513-519.

[8] 高古辉，桂晓露，安佰锋，等. 终冷温度对 Mn 系超低碳 HSLA 钢组织及低温韧性的影响[J]. 金属学报，2015，51(1)：21-30.