

酸性服役条件下石油天然气输送用 L245NCS 钢管的开发

廖建国, 王 伟, 李茂德

(攀钢集团成都钢铁有限责任公司金堂分公司, 四川 成都 610403)

摘 要: 为满足在酸性服役条件下输送油气的要求, 设计出化学成分合理的 L245NCS 钢, 通过对各工序特别是热处理工序的严格控制, 开发出满足用户要求的具有良好组织和力学性能、抗 HIC 和 SSC 的 L245NCS 钢石油天然气输送用管。简要介绍了该产品的化学成分和工艺设计、生产工艺以及检测结果。

关键词: 冷轧(拔); L245NCS 钢管; 化学成分; 工艺设计; 组织性能; HIC; SSC

中图分类号: TG335.12 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2007)04-0020-04

Development of Oil/Gas Linepipe in L245NCS Steel for Service under Acidic Operation Conditions

Liao Jianguo, Wang Wei, Li Maode

(Pangang Group Chengdu Iron & Steel Co., Ltd., Jintang Branch, Chengdu 610403, China)

Abstract: To satisfy the requirement for oil/gas transport under acidic operation conditions, the L245NCS steel is produced with its chemical composition well designed. With all the operation steps, particularly the heat treatment process strictly controlled, the HIC and SSC L245NCS steel oil/gas linepipes in possession of good structural and mechanical properties are developed. Briefed in the paper are the main aspects of the said linepipe, including the chemical composition, technological design, manufacturing process as well as relevant testing/inspection results.

Key words: Cold-rolling(drawing); L245NCS steel tube; Chemical composition; Technological design; Structural properties; HIC; SSC

0 前 言

随着石油、天然气需求的不断增长, 油、气井的开采条件日趋恶化、复杂, 一些 H_2S 含量高的腐蚀环境严酷的油气田的相继开发, 迫切需要钢管制造业开发与生产适应这类酸性服役条件下的石油天然气输送用管。

攀钢集团成都钢铁有限责任公司金堂分公司(简称攀成钢金堂分公司)于 2004 年 3 月开始着手研究开发适应上述酸性服役条件下的 L245NCS 钢石油天然气输送用管(简称 L245NCS 钢管)。经过不断地改进和完善工艺技术, 对影响钢管的氢致开裂(HIC)及硫化物应力开裂(SSC)的各种因素进行

了反复地试验和摸索论证, 成功地开发出冷轧(拔) L245NCS 钢管。

1 L245NCS 钢的技术要求

由于用户所需的 L245NCS 钢管主要用在酸性服役条件下, 服役条件恶劣, 因此, 产品的化学成分、力学性能(纵向)和检验项目必须满足一定的技术要求。

根据 GB/T 9711.3-2005 要求, L245NCS 钢的化学成分、纵向力学性能应符合表 1 和表 2 的规定, 其他检验项目应符合表 3 的规定。

2 L245NCS 钢管的工艺设计

2.1 钢种设计

由于用户要求钢管的氢致开裂(HIC)试验指标

廖建国(1965-), 男, 高级工程师, 中国金属学会材料组专家, 主要从事新产品的开发、研究工作。

表 1 L245NCS 钢的化学成分(质量分数)要求

%

最大含量									CEV ^④	P _{cm} ^⑤
C	Si	Mn ^①	P	S ^②	V	Nb	Ti	其他 ^③	(max)	(max)
0.14	0.40	1.35	0.020	0.003	-	-	-		0.36	0.22

注: ①最大含碳量每降低 0.01%, 允许含锰量比规定的最大值增加 0.05%, 但最大增加量不得超过 0.2%; ②对无缝钢管要求含硫量不得超过 0.008%; ③Al≤0.060, N≤0.012, Al/N≥2, Cu≤0.35, Ni≤0.30, Cr≤0.30, Mo≤0.10, B≤0.000 5; ④碳当量 CEV=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15; ⑤冷裂纹系数 P_{cm}=C+V/10+Mo/15+(Cr+Mn+Cu)/20+Si/30+Ni/60+5B。

表 2 L245NCS 钢的纵向力学性能要求

屈服强度 R _{0.5} /MPa	抗拉强度 R _m /MPa	屈强比 R _{0.5} /R _m	伸长率 A/%	夏比冲击功 A _{KV}
245~440	≥415	≤0.90	≥24	≥41

注: 冲击试验温度为-40℃, 41 J 为标准全尺寸(10 mm×10 mm×55 mm)试样平均值, 单个试样最小值为 33 J。

表 3 L245NCS 钢的其他检验项目指标要求

规格 /mm	硬度 (HV10)	静水压 /MPa	超声波 检验	HIC 试验 /%	SSC 试验	晶粒度 /级	非金属夹杂物
Φ114.3×5	≤248	21	C5	CLR≤15 CTR≤5 CSR≤2	试样在贯穿厚度方向上没有超过 0.1 mm 的可见裂纹	≥7	A、B、C、D 类应分别不大于 2.0 级, 且总和不大于 4.0 级
Φ88.9×5	≤248	27	C5	CLR≤15 CTR≤5 CSR≤2	试样在贯穿厚度方向上没有超过 0.1 mm 的可见裂纹	≥7	A、B、C、D 类应分别不大于 2.0 级, 且总和不大于 4.0 级

为裂纹敏感率(CSR)≤1.5%, 裂纹长度率(CLR)≤10%, 裂纹厚度率(CTR)≤2.5%; 这 3 项指标均高于 GB/T 9711.3-2005 标准要求; 考虑到 C 或 P_{cm} 以及 S 含量的多少直接影响 HIC 性能, 因此, 确定 L245NCS 管坯的主要化学成分(质量分数, %)为: C≤0.135; S≤0.007; P_{cm}≤0.21。

2.2 冶炼要求

为使 P_{cm}≤0.21%, 对 Cu、Ni 以外的元素进行了严格控制, 冶炼时采用炉外精炼, 并喂 Ca 丝处理, 改变非金属夹杂物的形态, 并使之球化。L245NCS 钢具体的冶炼化学成分应符合表 4 的规定, 非金属夹杂物应符合表 5 的规定。

表 4 L245NCS 钢的化学成分(质量分数)

%

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo	V	B	Al	N
≤0.135	≤0.350	≤1.350	≤0.007	≤0.015	≤0.200	≤0.200	≤0.200	≤0.100	≤0.050	≤0.000 5	≤0.060	≤0.012

表 5 L245NCS 钢的非金属夹杂物评级

非金属 夹杂物类型	A 类	B 类	C 类	D 类	A+B+C+D
	硫化物	氧化物	硅酸盐	球状氧化物	
级别	<1.5	<2.0	<1.5	<2.0	≤4.0

2.3 生产工艺

管坯生产工艺流程: 圆坯酸洗、检查、修磨→断

料→加热→热定心→穿孔→定径→精整→检查包装。

冷轧(拔)管的生产工艺流程如图 1 所示。

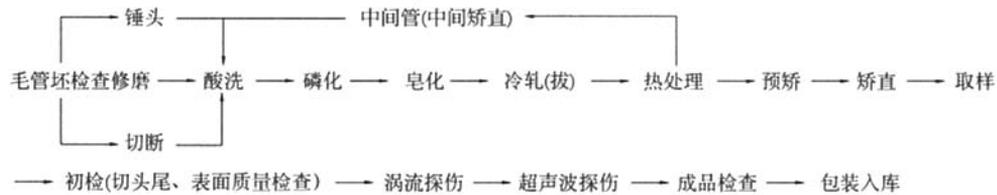


图1 冷轧(拔)管生产工艺流程

2.4 成品管的热处理工艺

通常钢的金相组织最终将影响其性能的好坏,为使产品在酸性环境中具有抗 HIC 的能力,要求其金相组织为 F+P; 带状组织 ≤ 2.0 级。对成品钢管在辊式炉加热段和均热段的加热温度进行了相应的控制。

3 成品管试验检测结果

攀成钢金堂分公司首批生产了 500 t $\Phi 114.3$ mm \times 5 mm 和 $\Phi 88.9$ mm \times 5 mm L245NCS 钢管,检测结果见表 6~7 及图 2。四川石油管理局酸性油气材料检测中心对该批钢管进行了 HIC 和 SSC 试验检测,结果见表 8~9。

表6 L245NCS 钢管的纵向力学性能

成品管尺寸/mm	屈服强度 $R_{0.5}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	屈强比 $R_{0.5}/R_m$	伸长率 $A/\%$	夏比冲击功 A_{KV}/J
$\Phi 114.3 \times 5$	330~395	470~505	0.70~0.78	28~37	104~120
$\Phi 88.9 \times 5$	325~350	440~480	0.70~0.78	30~35	112~120

注:试样尺寸为 10 mm \times 2.5 mm \times 55 mm。

表7 L245NCS 钢管的高倍组织

成品管尺寸/mm	晶粒度	显微组织	带状组织/级
$\Phi 114.3 \times 5$	≥ 7.5	铁素体+珠光体	≤ 1.0
$\Phi 88.9 \times 5$	≥ 7.5	铁素体+珠光体	≤ 1.0

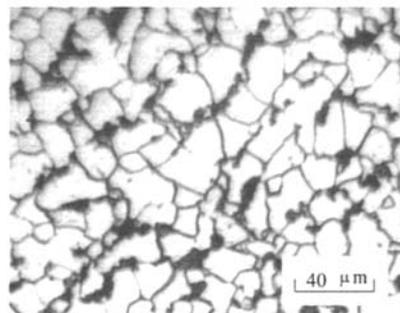
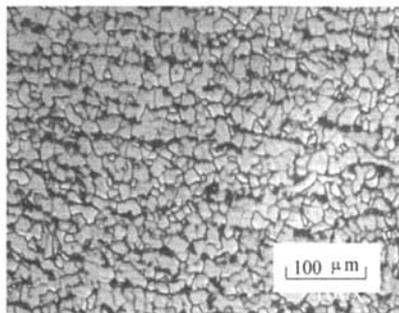


图2 L245NCS 钢管的金相组织

表8 L245NCS 钢管的 HIC 试验检测数据

成品管尺寸/mm	检测断面(宽 \times 厚)/mm	试验条件	试验时间/h	检测结果/%			氢鼓泡描述
				CLR	CTR	CSR	
$\Phi 114.3 \times 5$	20.0 \times 4.0	常压, 密闭隔氧; NACE TM0284 A 溶液	96	0	0	0	表面无氢鼓泡
$\Phi 88.9 \times 5$	20.0 \times 4.0	常压, 密闭隔氧; NACE TM0284 A 溶液	96	0	0	0	表面无氢鼓泡

表9 L245NCS 钢管的 SSC 试验 C 型环发检测数据

成品管尺寸 /mm	试件规格 /mm	试验条件	试验应力 σ /MPa	屈服强度 $R_{0.5}$ /MPa	$\sigma/R_{0.5}$	试验结果
$\Phi 114.3 \times 5$	$\Phi 110.0 \times 2 \times 20$	常压、NACE TM 0177 溶液 pH 值开始 2.7, 结束 4.0 温度 (24±3)°C	176.4	245	0.72	NF
$\Phi 88.9 \times 5$	$\Phi 84.0 \times 2 \times 20$	常压、NACE TM 0177 溶液 pH 值开始 2.7, 结束 4.0 温度 (24±3)°C	176.4	245	0.72	NF

注：F 表示开裂，NF 表示未裂。

由此可知，攀成钢金堂分公司开发的 L245NCS 钢管产品实物水平达到了相关标准及设计要求，具有较强的抗 HIC 及 SSC 能力，其化学成分、生产工艺和组织性能（特别是冷轧（拔）后带状组织）各项技术指标均符合相关标准及用户使用要求。2004

年末至 2006 年 12 月，攀成钢金堂分公司成功地作为西气东输工程及检修站点提供了 L245NCS 钢管。

（收稿日期：2007-01-05）

● 信息

华北石油钢管厂首家成功试制西气东输二线工程用 X80 级钢管

华北石油钢管厂于 2007 年 5 月采用宝钢研制的 HTP X80 级钢板首次进行了西气东输二线工程用 $\Phi 1219 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$ 直缝埋弧焊管的试制。钢管成型采用 JOE 成型工艺。试制钢管于 2007 年 7 月通过了中石油管材研究所按西气东输二线标准进行的评定。

2007 年 1 月，华北石油钢管厂分别采用超低碳高铌无钼 HTP 轧制板卷和常规铌-铌 TMCP 轧制板卷进行了 X80 级 $\Phi 1219 \text{ mm} \times 18.4 \text{ mm}$ 螺旋埋弧焊管的第一次试制，共试制出 10 根钢管。经检验，所有试制钢管的断裂韧性均十分优良，落锤试验均满足 -5 °C 剪切面积不低于 85% 的要求，钢管 -20 °C 夏比冲击吸收能分别为 325~403 J (HTP) 和 263 J (TMCP)，为其后举行的西气东输二线断裂控制研讨会提供了钢管可能达到的韧性实物水平的参考数据，也为西气东输二线钢管和制管用板材技术条件的制订提供了参考数据。

2007 年 5 月，华北石油钢管厂采用鞍钢研制的 Nb-Cr HTP 和 Nb-Mo-V 常规 TMCP 板卷进行了第 2 轮 18.4 mm 厚度的螺旋埋弧焊管试制。两种钢管的冲击和落锤试验均符合西气东输二线标准要求，夏比冲击试验结果非常接近，且 Nb-Cr HTP 钢管的 DWTT 性能优于常规 TMCP 板卷制造的钢管。

相关链接：2006 年 8 月，酝酿已久的西气东输二线项目开始启动。西气东输二线工程计划于 2008 年下半年正式开工。这是世界管道史无前例的宏伟工程。管道西起新疆霍尔果斯，终点至广州，干线和支线全长 8 000 多 km，全线需用钢管约 360 万 t。西气东输二线设计年输气量达 300 亿 m^3 ，干线设计压力 12 MPa，钢管直径 1 219 mm，壁厚 18.4 mm 以上；支线设计压力 10 MPa，钢管直径 1 016 mm，壁厚 12.7 mm 以上。为验证国内钢厂 X80 级管线钢的开发能力和制管机组的性能，特别是钢管的断裂韧性能否满足要求，华北石油钢管厂在国内首家成功完成了西气东输二线工程用 X80 级钢管的试制。

（华北石油钢管厂 李延丰）

2007 年上半年俄罗斯钢管产量同比增长 22.8%

2007 年 1~6 月份俄罗斯的钢管总产量达到 445.1 万 t，比上年同期增长了 22.8%。其中：无缝钢管的产量为 159.8 万 t，比上年同期增长了 12.6%；电焊钢管的产量为 251.8 万 t，比上年同期增长了 29.1%；其他焊管的产量为 12.5 万 t，比上年同期增长了 25.3%。

（攀钢集团成都钢铁有限责任公司 杜厚益）