

HTP 与 TMCP 工艺 X80 钢级板材制管性能的对比分析

王晓香, 李延丰

(华北石油钢管厂, 河北 青县 062658)

摘 要: 通过对低碳高铌不添加钼的 Cr-Nb 微合金钢高温轧制(HTP)、低碳 Mo-Nb 微合金化钢传统热机械轧制(TMCP)的两种钢板制管性能的对比分析, 证实了采用 HTP 工艺技术生产的管线钢板完全能够制造出符合现行技术标准要求的 X80 钢级直缝埋弧焊管, 而且生产成本大幅度降低, 有助于提升管线管的竞争力。

关键词: 钢板; HTP 工艺; TMCP 工艺; X80 钢级直缝埋弧焊管; 性能; 对比分析

中图分类号: TG142; 335.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2007)01-0026-05

Comparative Analysis of Performances for Tube Manufacture of HTP-made and TMCP-made X80 Steel Plates

Wang Xiaoxiang, Li Yanfeng

(Steel Tube Plant affiliated to Huabei Petroleum Administration, Qingxian 062658, China)

Abstract: Comparative analyses are made with performances for tube manufacture of the low-carbon, high niobium, non-molybdenum Cr-Nb microalloyed steel plate rolled by hi-temperature rolling process(HTP) and the low-carbon Mo-Nb microalloyed steel plate rolled by conventional hot mechanical rolling process(TMCP), resulting in the conclusion that the HTP-made linpipe steel plate is suitable for producing X80 steel SAW straight welded tube in compliance with the prevailing applicable technical standard, and that the operation costs will be considerably reduced, and thus linepipes as made in this way will be more competitive.

Key words: Steel plate; HTP process; TMCP process; X80 steel SAW straight welded tube; Performance; Comparative analysis

0 前 言

巨龙钢管有限公司于 2006 年 4 月 20 日对南京钢铁股份有限公司(以下简称南钢)提供的 X80 钢级钢板, 采用直缝埋弧焊工艺进行了钢管试制。南钢为本次试验提供的钢板共 2 个炉号(06100607 和 06100608), 每个炉号各 5 张钢板。试制的直缝埋弧焊钢管(以下简称钢管)规格为 $\Phi 813 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$, 每炉各 5 根。其中, 06100607 炉号(以下简称 607 炉号)为低碳高铌 Cr-Nb 微合金系, 不添加钼的高温轧制(HTP)钢板; 06100608 炉号(以下简

称 608 炉号)为按西气东输冀宁联络线 X80 钢级应用工程标准制造的低碳 Mo-Nb 微合金系, 传统的热机械轧制(TMCP)钢板。两种合金设计都不添加钒。通过对上述两种钢板所制钢管理化性能的检测对比, 分析了 HTP 钢管的性能与现行标准的符合性。

1 钢板的化学成分对比

607 炉号为低碳高铌不添加钼的 Cr-Nb 微合金钢, 608 炉号为低碳 Mo-Nb 微合金钢。两炉钢板的主要化学成分对比见表 1。从表 1 可见, 两种钢板的碳含量和碳当量几乎相同, 化学成分的主要区别是 Nb、Cr 和 Mo 的含量不同。低碳 Cr-Nb 微合金高温轧制(HTP)钢板, 没有添加 Mo, 但 Cr、Nb 的含量高; 低碳 Mo-Nb 微合金热机械轧制(TMCP)钢板的 Mo 含量较高, 而 Cr 和 Nb 的含量较低。

王晓香(1946-), 男, 常务副厂长, 教授级高工, 中国金属学会轧钢学会焊管学术委员会主任委员, 石油管材专业标准化委员会专家委员, 《钢管》杂志编辑委员会副主任, 长期从事焊管学术研究和生产技术管理工作。

表 1 两炉钢板的化学成分对比 (质量分数)

%

炉 号	C	Mn	Si	P	S	N	Mo	Cr	Nb	Nb+Ti+V	C _{eq}	P _{cm}
607(HTP)	0.06	1.63	0.20	0.008	0.002	0.004	0.001	0.245	0.097	0.110	0.42	0.18
608(TMCP)	0.05	1.59	0.20	0.008	0.002	0.005	0.220	0.024	0.063	0.085	0.41	0.18

2 力学性能

2.1 取样方案

对两个炉批的钢管(共 10 根), 每个炉批抽取

3 根钢管, 除化学成分外, 均按冀宁联络线 X80 钢级直缝埋弧焊(LSAW)钢管标准(技术条件)Q/CN-PC108-2004 检验, 取样情况见表 2。

表 2 X80 钢级 LSAW 钢管取样方案

炉 号	管 号	取样内容	备 注
607	29(HTP1)	母材化学成分, 母材横向拉伸、冲击, 焊缝横向拉伸, 焊缝正、反弯, 焊缝冲击(-20℃)、硬度, 热影响区冲击(-20℃), DWT	在 29 号钢管 90°处取横纵向冲击、横纵向 DWT 的系列温度试样, 在此钢管 180°处取母材金相试样
	30(HTP2)		
	31(HTP3)		
608	27(TMCP1)	(-5℃)	在 33 号钢管 90°处取横纵向冲击、横纵向 DWT 的系列温度试样, 在此钢管 180°处取母材金相试样
	32(TMCP2)		
	33(TMCP3)		

2.2 化学成分分析

采用斯派克直读光谱仪进行钢管管体化学成分分析, 结果与表 1 相同。

2.3 力学性能试验

2.3.1 拉伸试验

钢管管体、焊缝的拉伸试验结果见表 3。

表 3 钢管的拉伸试验结果

炉 号	管 号	管 体				焊缝抗拉强度 /MPa
		屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	屈强比	
607 (HTP)	29	605	715	34	0.85	720
	30	582	715	36	0.81	725
	31	598	700	36	0.85	730
	平均	595	710	35	0.84	725
608 (TMCP)	27	570	748	35	0.76	755
	32	590	745	38	0.79	720
	33	648	758	40	0.85	730
	平均	602	750	37	0.80	735
技术条件要求		555~690	625~825	≥21	≤0.92	≥625

从表 3 可以看出, 两种 X80 钢级钢管的拉伸性能比较接近, 均很好地满足了标准要求, 而 HTP 钢板所制钢管的强度波动范围较小。

2.3.2 导向弯曲试验

弯心直径 $6t = 96 \text{ mm}$, 弯曲角度 180° 。试验未发现裂纹、裂缝等缺陷, 试验结果全部合格。

2.3.3 断裂韧性

(1) 夏比冲击试验

母材、焊缝及热影响区全尺寸试样、 -20°C 夏比 V 形缺口冲击试验结果见表 4 和表 5。

由表 4 可见, 两种 X80 钢级钢管的夏比冲击功均满足技术条件要求。HTP 钢管母材和热影响区平均夏比冲击功高于常规成分的 TMCP 管线钢管; HTP 钢管焊缝韧性虽然满足技术条件要求, 但较常规成分含钼的 X80 钢级钢管低, 这主要是两种钢管均采用同一种焊材, 而现有焊材较适合常

表 4 管体、焊缝和热影响区-20℃时 V 形缺口夏比冲击试验结果

类型	管号	缺口位置	平均夏比冲击功/J	平均剪切面积 SA/%	类型	管号	缺口位置	平均夏比冲击功/J	平均剪切面积 SA/%
HTP	29	母材	318	100	TMCP	27	母材	310	100
		焊缝	113	48			焊缝	207	67
		热影响区	190	98			热影响区	250	85
	30	母材	297	97		32	母材	273	93
		焊缝	92	45			焊缝	178	70
		热影响区	175	58			热影响区	133	57
	31	母材	310	100		33	母材	277	93
		焊缝	135	55			焊缝	205	75
		热影响区	267	73			热影响区	160	58
	平均	母材	308	99		平均	母材	286	95
		焊缝	113	49			焊缝	196	70
		热影响区	210	76			热影响区	181	66

表 5 钢管管体系列温度夏比冲击试验结果

温度/℃	平均夏比冲击功/J				平均剪切面积 SA/%			
	横向		纵向		横向		纵向	
	HTP	TMCP	HTP	TMCP	HTP	TMCP	HTP	TMCP
20	290	310	307	333	97	100	100	100
0	297	320	333	315	98	100	100	100
-10	310	317	320	313	98	100	100	100
-20	318	307	303	312	100	98	97	98
-40	208	210	290	303	57	50	77	88
-60	288	247	295	303	68	67	78	80

规成分含钼的 X80 钢级 TMCP 管线钢焊接。因此, 应针对 HTP 母材开发适用的焊材, 进一步提高焊缝的 CVN 值。

由表 5 可见, 两种 X80 钢级管线钢管在-60℃时的平均夏比冲击功仍保持在 200 J 以上的高水平, 剪切面积随温度的变化也处于同一水平; 纵横向夏比冲击功差异不大。在剪切面积为 80% 时 FATT 均为-30℃左右, HTP 略优, 如图 1 所示。

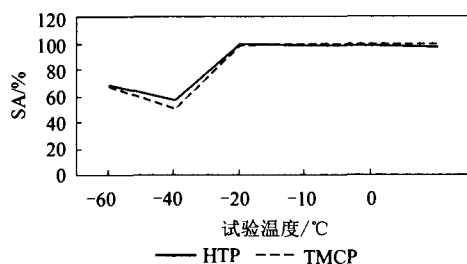


图 1 X80 钢级 HTP 与 TMCP 钢管的系列温度横向夏比冲击剪切面积曲线

(2) DWTT 试验

在-5℃的 V 形缺口 DWTT 试验结果见表 6, 系列温度试验结果见表 7, 两种 X80 钢级管线钢管的系列温度横向 DWTT 剪切面积变化对比见图 2。

表 6 -5℃时的 DWTT 试验结果

类型	管号	剪切面积 SA/%		
		1	2	平均
HTP	29	100	100	100
	30	95	95	95
	31	98	100	99
TMCP	27	100	100	100
	32	100	90	95
	33	95	98	97

由表 6、表 7 和图 2 可以看出, 两种 X80 钢级钢管都能满足-5℃的 DWTT 剪切面积大于 85% 的要求, 但 HTP 钢管 DWTT SA85% 的转折温度比传统成分的 TMCP 钢管低 10℃以上。

表 7 DWTT 系列温度试验剪切面积变化对比

管号	温度/℃	横向平均/%	纵向平均/%
29	20	100	100
	0	100	100
	-10	100	100
	-20	90	93
	-40	78	85
	-60	48	75
33	20	100	100
	0	100	100
	-10	94	100
	-20	75	98
	-40	73	88
	-60	65	80

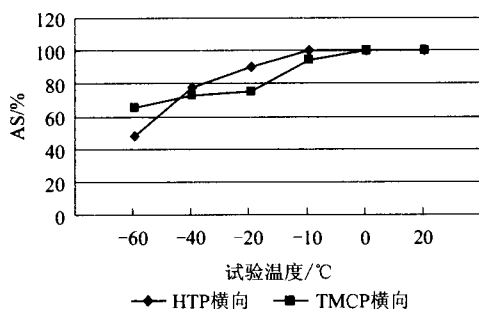


图 2 X80 钢级 HTP 与 TMCP 钢管的系列温度横向 DWTT 剪切面积变化对比

2.4 金相检验

按技术条件要求，在 29 号和 33 号钢管管体

距焊缝 180°的位置取样进行晶粒度测量；非金属夹杂物的级别按 ASTM E45 的方法 A 进行评定；带状组织按照中石油西气东输企业标准 Q/SY XQ15 附录 Q 方法进行分析，结果符合技术条件的要求，试验结果见表 8。29 号钢管的金相照片如图 3 所示，33 号钢管的金相照片如图 4 所示。

表 8 钢管管体的金相分析结果

管号	夹杂物	组织	晶粒度
29	A0,B0.5e,C0,D0.5	带状组织 1 级	11.6 级
33	A0,B0.5,C0,D0.5	带状组织 1 级	11.6 级

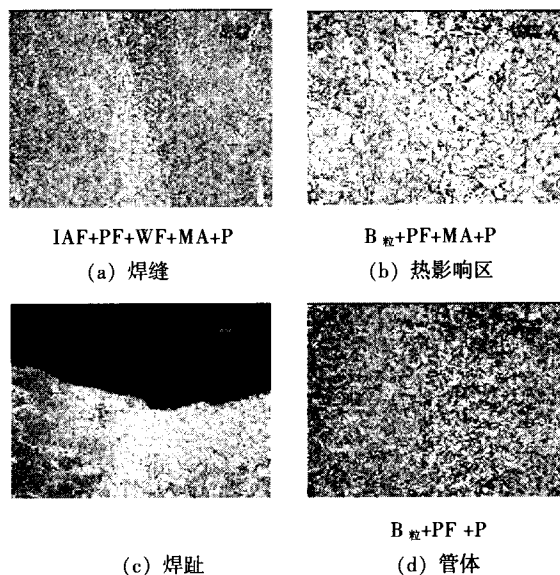


图 3 29 号钢管的金相照片

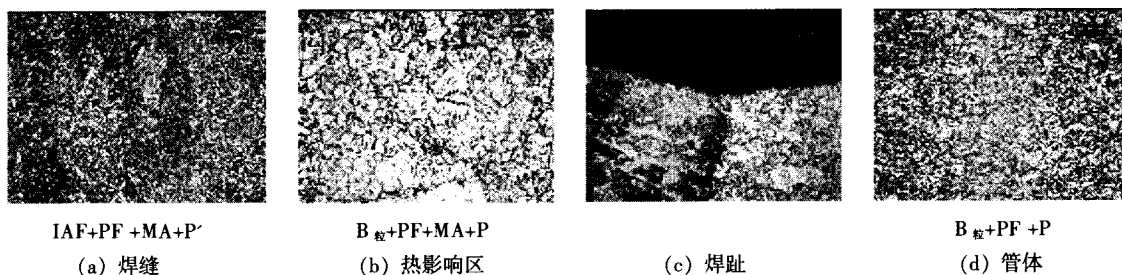


图 4 33 号钢管的金相照片

2.5 横向截面维氏硬度试验

钢管横向截面试样维氏硬度 HV_{10} 测定结果见表 9，硬度检测位置如图 5 所示，硬度分布曲线如图 6 所示。

从表 9 可见，29 号钢管(HTP1)母材的内表面有 1 处(第 14 点的维氏硬度 HV_{10} 268)和 27 号钢

管(TMCP1 含钼)有 1 处内焊(第 12 点的维氏硬度 HV_{10} 269)硬度略高，两种钢管的维氏硬度均不大于 HV_{10} 270，符合冀宁联络线 X80 钢级钢管标准维氏硬度不大于 HV_{10} 275 的要求。从总体趋势看，HTP2、HTP3 两根钢管的硬度较低，HTP1 和 TMCP1 两根钢管硬度较高。

表 9 钢管维氏硬度测定结果

管 号	焊区横截面各检测点的硬度值													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29(HTP1)	229	231	250	258	254	240	242	258	256	238	259	254	231	268
30(HTP2)	234	218	222	237	231	227	223	239	225	220	255	258	242	254
31(HTP3)	244	227	232	237	237	228	227	242	240	241	248	258	247	247
27(TMCP1)	238	239	249	233	235	235	238	239	257	245	256	269	248	241
32(TMCP2)	241	228	232	228	231	234	231	248	243	233	250	252	243	243
33(TMCP3)	245	235	234	241	235	236	235	237	249	246	261	242	230	240

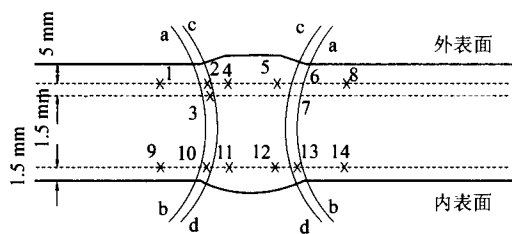


图 5 硬度检测位置示意

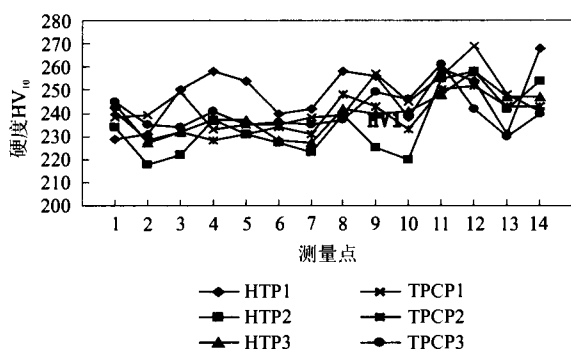


图 6 硬度分布曲线

系无钼成分的 X80 钢级 HTP 钢板与 Mo-Nb 微合金系的 X80 钢级 TMCP 钢板, 制成的钢管性能均满足 API 5L PSL2 和冀宁联络线 X80 钢级钢管性能要求, 证实了 HTP 工艺技术的可行性。

(2) 采用 HTP 钢板制成的钢管, DWTT 性能优于 TMCP 钢板制成的钢管。

(3) 应进一步优化 HTP 工艺 X80 钢级钢板的化学成分和轧制工艺, 降低钢板的硬度, 为降低钢管的硬度提供有利条件。

(4) 应开发适用于低碳 Cr-Nb 微合金系无钼成分 HTP 系列热轧管线钢板的焊材, 优化焊接工艺, 进一步提高焊缝的 CVN 值。

(5) 低碳 Cr-Nb 微合金 HTP 钢板, 由于采用了高温轧制, 故对同规格钢板可大大降低轧制力和功率, 以及能够轧制更厚的钢板; 另外待温时间缩短, 相应可提高生产效率。没有添加昂贵的 Mo, 可显著降低管线钢板的成本, 以 X65 钢级钢板为例, 目前每吨钢板可降低成本 1 000 元, 从而大大提升我国管线钢板的竞争能力, 建议大力推广。

3 结 论

(1) 本次试验采用南钢试制的 Cr-Nb 微合金

(收稿日期: 2006-07-14)

● 信 息

俄罗斯维克松钢厂中口径焊管水压试验机建成投产

俄罗斯联合冶金公司为提高下属的维克松钢厂中口径焊管的产量和质量, 投资了 200 万欧元, 从德国 SMS Meer 公司引进了 1 台中口径焊管水压试验机, 并于近日在维克松钢厂建成投产。该水压试验机将用于试验直径 60.3~244.5 mm、长度 8~14 m、壁厚 4.0~14.3 mm、钢级 N80~P110 的电焊钢管。水压试验钢管的品种有: 电焊石油输送管、电焊石油套管、电焊石油油管。试验压力范围 10~130 MPa, 每小时可试验 80~120 支钢管。如按直径 168.3 mm 的钢管折算, 该水压试验机年试验钢管的数量可达到 20 万 t。

(攀钢集团成都钢铁有限责任公司 杜厚益)