

(中黑小二)深海用管线钢的研究开发

(楷体小四)徐进桥, 郭斌, 郑琳

(楷体小四)武汉钢铁(集团)公司鄂钢公司

摘要(中黑五号加粗): 本文详细介绍了武钢深海用管线钢的开发。所试制深海用管线钢板的厚度规格为 28mm, 采用低 C - 高 Mn - Nb - Ti 的合金化设计和 TMCP 工艺生产。试制结果表明, 武钢开发的深海用管线钢具有高强度、高韧性、优异的抗变形性能的良好匹配。通过 JCOE 方式制成的直缝埋弧焊管其强度、低温韧性和屈强比等各项性能指标全面满足南海荔湾管道工程的要求。(楷体五号)

关键词(中黑五号加粗): 管线钢, 深海管线, 控轧控冷, 直缝埋弧焊管, 武钢(楷体五号)

前言(中黑 11.5)

随着世界经济的高速发展和能源资源的逐步枯竭, 管道建设向极地冻土地带、海洋等环境恶劣的地区发展。因此, 海底管线钢的开发具有日趋重要的意义。近年来, 世界范围内已有多条海底管道完成建设^[1-6]。海底管线的使用环境恶劣, 因此其力学性能的要求也较陆地管线更为苛刻, 包括低的屈强比、良好的低温冲击韧性和止裂性能^[7-8]。(汉仪书宋一简五号段前空两个字)

南海项目是国内首个天然气项目, 其深海段管线将在 1500m 的水深处进行铺设, 需要承受 15MPa 的外压。本文介绍了武钢根据南海项目的技术条件要求对深海用管线钢的开发。

1 深海用管线钢的生产(中黑 11.5)

1.1 研制目标 (汉仪书宋一简五号齐行)

本次试制以为南海项目供货为目标, 因此, 南海项目深海用管线钢的技术条件即为研制目标。其主要的力学性能要求如表 1 所示。(汉仪书宋一简五号段前空两个字)

表 1 深海用管线钢的主要力学性能要求 (汉仪书宋一简五号居中)

拉伸性能 (横、纵向)				冲击性能		-20°C	HV ₁₀
R _{0.5} /MPa	R _m /MPa	A ₅₀ /%	R _{0.5} /R _m	-20°C KV ₂ /J	FA/%	DWTT SA/%	
450-600	535-750	≥24	≤0.85	≥120(90)	≥90(80)	≥85(75)	≤240

由表 1 可以看出, 深海用管线钢的力学性能指标非常严格, 要求高强度、良好的低温夏比冲击韧性和止裂韧性, 同时要求很低的屈强比。

1.2 合金化设计

为满足深海用管线钢的力学性能要求, 采用低 C - 高 Mn - Nb - Ti 的合金化设计。为保证深海用管线钢具有优异的焊接性能和良好的低温韧性, 碳含量严格控制在 0.07% 以下, 加入较高的锰含量, 以达到所要求的强度, 降低合金化成本。通过加入适量的 Mo、Ni、Cu 和 Cr, 使试制钢板轧后在一个较宽的冷速范围内获得细小、均匀的贝氏体/针状铁素体组织。加入较高的 Nb 含量, 以充分发挥其细晶强化和析出强化的作用。此外, 炼钢过程中,

采用钙处理和洁净钢冶炼技术, 严格控制钢中的 S、P、N、O 等夹杂物。具体的化学成分如表 2 所示。

表 2 武钢深海用管线钢的化学成分 (wt, %)

C	Si	Mn	S	P	其它	Ceq	Pcm
0.03-0.06	0.25	1.2-1.6	0.0010	0.0070	Nb,Ti,Mo,Ni,Cu,Cr	0.362	0.161

1.3 控轧控冷工艺

深海用管线钢的试制在鄂钢 4300mm 宽厚板产线上完成。采用控制轧制、轧后加速冷却的控轧控冷工艺生产。为获得细小、均匀的显微组织, 采用较大的单道次变形量、较高的累积压下率和冷却速率。

1.4 显微组织

试制钢板典型的金相组织如图 1 所示。

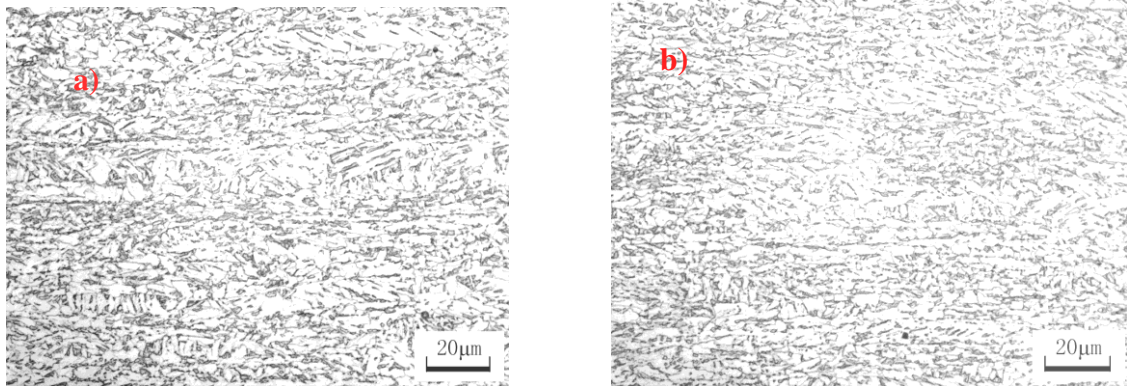


图 1 试制钢板的典型金相组织 a) 1/4 厚度处; b) 心部 (汉仪书宋一简小五号居中)

由图 1 可以看出, 试制钢板的晶粒细小, 平均晶粒尺寸 $\leq 5\mu\text{m}$, 主要为针状铁素体组织, 针状铁素体的基体上分布有一定量的 M/A 岛。

1.5 试制钢板的力学性能

按照 DNV OS F101 标准对试制钢板的力学性能进行了检验, 主要性能结果如表 3 所示。

表 3 试制钢板的力学性能

拉伸性能				夏比冲击性能		-20°C	HV ₁₀
R _{t0.5} /MPa	R _m /MPa	A ₅₀ /%	R _{t0.5} /R _m	-20°C KV ₂ /J	FA/%	DWTT SA/%	
440-510	610-660	45-50	0.66-0.78	210-325	100	90-98	190-220

横向系列温度冲击和落锤撕裂性能结果分别如图 2 和图 3 所示。

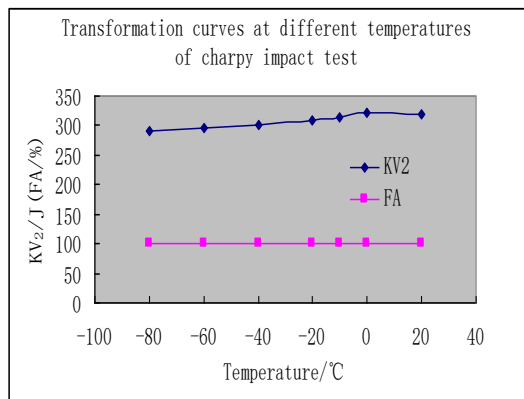


图 2 系列温度夏比冲击试验

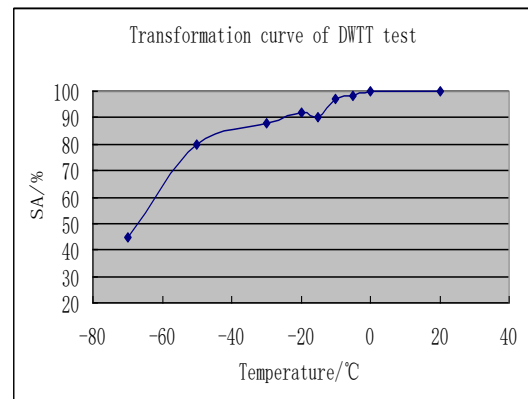


图 3 系列温度落锤撕裂试验

由表 3 可以看出, 武钢所试制钢板的各项力学性能指标全面满足南海项目的技术条件要求, 其夏比冲击试验 85%的韧脆转变温度低于 -80°C , 落锤撕裂试验 80%的韧脆转变温度约 -40°C 。所有检验结果表明, 武钢试制的深

海用管线钢具有高强度、低屈强比和优异低温韧性的良好匹配。

2 直缝埋弧焊管的性能

武钢试制的28mm厚深海用管线钢板经番禺珠江钢管有限公司采用JCOE方法制成Φ559mm的直缝埋弧焊管，其各项力学性能按照 DNV OS F101 标准进行了检验。

2.1 拉伸性能

采用板状和棒状两种方式进行检验，检验结果如表 4 所示。

表 4 表明，板状试样的拉伸强度比棒状试样平均高 30MPa，制管后深海用管线钢的屈服强度提高 50 - 100MPa，焊接接头的抗拉强度达 690MPa，所有试样均在基材或焊接热影响区断裂。

由表 4 中可以很明显看出，所试制钢管的拉伸性能全面满足项目要求。

表 4 试制钢管的拉伸性能

取样位置	取样方向	R _{0.5} /MPa		R _m /MPa		R _{0.5} /R _m		A ₅₀ /%	
		板状	圆棒	板状	圆棒	板状	圆棒	板状	圆棒
管体	横向	540	510	670	650	0.81	0.78	47	27.5
	纵向	525	500	685	665	0.77	0.75	47	27
焊接接头	横向			705					

2.2 低温韧性

对钢管管体和焊接接头进行了系列温度夏比冲击试验，同时完成了管体的系列温度落锤撕裂试验，检验结果分别如表 5、图 4 和图 5 所示。

由表 5 中可以看出，试制钢管具有优良的低温韧性，全面满足 DNV OS F101 的标准要求，同时具有较大的富余量。图 4 表明，在 250°C 温度下时效处理 1 小时后，钢管的夏比冲击韧性保持很稳定的水平，没有明显下降，管体落锤撕裂试验 85% 的韧脆转变温度低于 -30°C，在 -60°C 的低温条件下，仍没有发生明显的韧脆转变。

表 5 焊接接头的夏比冲击试验

缺口位置	-20°C KV ₂ (J)				FA (%)				取样位置
	1	2	3	AVG	1	2	3	AVG	
W	128	93	192	138	60	70	65	65	1/2 厚度处
FL	247	158	210	205	60	100	60	73	
FL+2	210	231	203	215	100	100	100	100	
FL+5	230	233	221	228	100	100	100	100	
W	120	120	344	195	60	60	75	66	距外表面 2mm 处
FL	346	188	226	253	100	50	100	83	
FL+2	223	203	191	206	95	92	90	92	
FL+5	222	221	96	180	100	100	100	100	
标准要求	≥38			≥45	/			/	

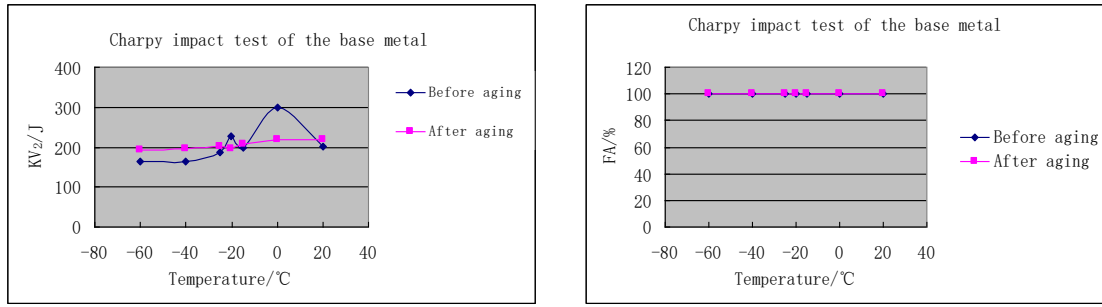


图4 管体系列温度冲击曲线

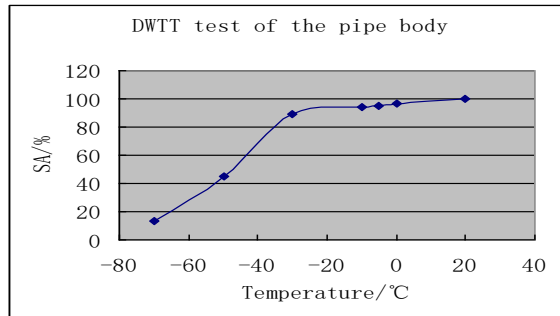


图5 管体系列温度落锤撕裂试验

2.3 试制钢管的硬度

试制钢管的硬度检验方法如图6所示。管体、热影响区和焊接接头各点的硬度检验结果如表6所示。

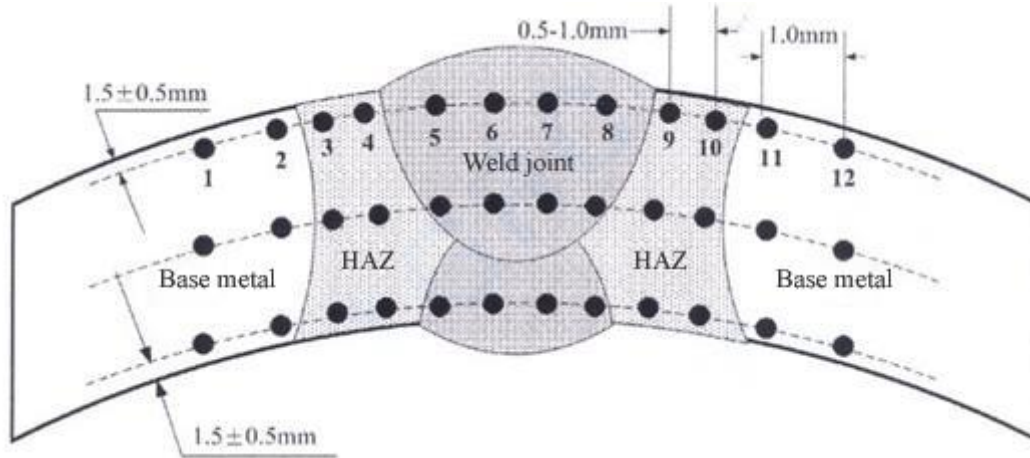


图6 试制钢管的硬度检验示意图

表6 试制钢管的硬度试验结果

取样位置		硬度值 (HV ₁₀)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
焊接接头	外部	212	211	195	200	223	228	227	229	209	214	220	221
	心部	202	204	187	193	233	232	230	229	193	196	205	202
	内部	219	220	205	203	232	234	234	235	204	205	214	215
DNV-OS-F101		≤270											

表 6 的检验结果表明, 焊接热影响区有轻微的软化, 焊接接头的硬度与管体的硬度处于同一水平。试制钢管的最大硬度值低于 240HV₁₀, 完全满足 DNV-OS-F101 标准的要求。

试制钢管的冷弯、CTOD 等试验的力学性能检验结果均全面满足南海项目的技术条件要求。

3 结论

武钢根据南海项目需求成功开发了 28mm 厚深海用管线钢。深海用管线钢的试制采用低 C - 高 Mn - Nb - Ti 的合金化设计, 同时适量添加 Nb、Ti、Mo、Ni、Cu、Cr 等合金化元素, 采用 TMCP 工艺生产, 获得了细小、均匀的针状铁素体组织和优良的强韧性匹配。所试制钢板经番禺珠江钢管有限公司采用 JCOE 方法制成直缝埋弧焊管, 所有力学性能指标全面满足 DNV-OS-F101 标准和南海项目技术条件的要求。

参考文献(中黑 11.5 居中)

- [1] S. Yasuhiro. Development of a high strength steel line pipe for strain-based design applications. 17th international offshore and polar engineering conference. 2007: 3949-3954.
- [2] N. Suzuki, M. Toyoda. Seismic loading on buried pipelines and deformability of high strength linepipes. Proceedings of international conference on the application and evaluation of high-grade linepipes in hostile environments. 2002: 601-628.
- [3] 郑磊, 高珊, 陆敏. 海底管线用钢的开发和应用. 2006, 29(5): 36-39.
- [4] Y. Shinohara, T. Hara, E. Tsuru, et al. Development of a high strength steel line pipe for strain-based design applications. Proceedings of the 17th international offshore and polar engineering conference. 2007: 2949-2954.
- [5] 郑磊, 付俊岩. 高钢级管线钢的开发. 钢铁. 2006, 41 (10): 1-10.
- [6] I.Takecuchi, J. Fujino, A. Yamamoto, et al. The prospect of high-grade steel pipe for gas pipelines. Proceedings of international conference on the application and evaluation of high-grade linepipes in hostile environments. 2002: 185-202
- [7] N. Shikanai, H. Kagawa, M. Kurihara. Influence of microstructure on yielding behavior of heavy gauge high strength steel plates. ISIJ international. 1992, 32(3): 335-342.
- [8] Y.M. Kim, S.K. Kim, Y.J. Lim, et al. Effect of microstructure on the yield ratio and low temperature toughness of linepipe steels. ISIJ international. 2002, 42(12): 1571-1577.