

CT70 钢级耐腐蚀连续油管用热轧钢带研发

董 磊, 谢 丽, 黄禄璐, 袁晓鸣, 宿 成, 黄 利

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 自主设计和制定 CT70 钢级耐腐蚀连续油管用热轧钢带的成分和生产工艺, 组织小批量工业试制。试制的 CT70 钢级耐腐蚀连续油管用热轧钢带屈服强度为 520 ~ 522 MPa, 抗拉强度为 575 ~ 584 MPa, 延伸率为 33% ~ 34%, 显微组织以铁素体 + 珠光体为主, 伴有少量的贝氏体, 带状组织为 1.0 级, 夹杂物总和为 1.0 级, 非金属夹杂物控制良好。CT70 用钢带的力学性能、抗氢致开裂 (HIC) 性能及焊接性能指标均满足用户要求。CT70 用钢带制成的连续油管力学性能、硬度满足客户要求。

关键词: CT70 连续油管用钢带; 力学性能; HIC 性能; 焊接性能

中图分类号: TG142

文献标识码: B

文章编号: 1009 - 5438(2025)04 - 0037 - 03

Research and Development of Hot Rolled Steel Strip for CT70 Grade Corrosion Resistant Coiled Tubing

Dong Lei, Xie Li, Huang Lulu, Yuan Xiaoming, Su Cheng, Huang Li

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

Abstract: The composition and production process of hot rolled steel strip for CT70 grade corrosion resistant coiled tubing are independently designed and formulated as well as small batch industrial trial production is carried out. For the trial product, the yield strength is 520 ~ 522 MPa, tensile strength is 575 ~ 584 MPa, elongation is 33% ~ 34%, microstructure is mainly ferrite + pearlite with a small quantity of bainite, banded structure is grade 1.0 and total of inclusions is grade 1.0 so that non-metallic inclusions are well controlled. The mechanical properties, resistance to hydrogen induced cracking (HIC) and welding performance indexes of steel strip for CT70 as well as the mechanical properties and hardness of coiled tubing manufactured with steel strip for CT70 could all meet the user requirements.

Key words: steel strip for CT70 coiled tubing; mechanical properties; HIC performance; welding performance

连续油管 (Coiled Tubing, 简称 CT) 是指可缠绕在直径 1 m 以上的卷筒上, 由若干段长度在百米以上的柔性管通过对焊或斜焊工艺焊接而成的无接头连续管。与传统分段连接的油管相比, 它无需频繁连接, 可连续作业。近几年, 随着设备材料制造技术

的不断提高, 连续油管凭借着作业成本低、作业效率高和安全性高等优势受到越来越多的关注, 市场需求量逐渐增大。CT70 钢级连续油管用热轧钢带的首次开发, 完善了包钢管线钢品种结构, 提高了包钢管线用钢的品牌影响力。

1 试制过程

小批量工业试制前,完成了 CT70 钢级耐腐蚀连续油管用热轧钢带的成分设计和炼钢、轧钢工艺的制定,试制钢带厚度为 4.0 mm。根据试制方案,对试制 CT70 用热轧钢带的显微组织、力学性能、HIC 性能和焊接性能等进行了全面检验,试制产品各项性能满足用户要求。

1.1 成分设计

耐腐蚀连续油管用钢中最常用的元素有 C、Si、Mn、Cu、Cr、Ni、Mo、Nb 等^[1-3],它们在耐腐蚀连续油

管用钢中起到不同的作用。C 含量的设计需保证成品钢有较好的焊接性能和抗腐蚀性能(C 含量高会降低钢的耐大气腐蚀能力),C 含量应控制在 0.06%~0.10%,同时添加一定量的 Cr、Cu、Ni、Mo,以提高钢的强度、抗氧化性和耐腐蚀性。微合金元素在控轧钢中最重要的作用是控制奥氏体的再结晶温度^[4-5]。作为连续油管用钢中的主要微合金元素,Nb 较 Ti、V 能显著提高钢的再结晶温度,所以成分设计中的 Nb 含量控制范围为 0.010%~0.025%。CT70 钢级连续油管用热轧钢带的具体化学成分设计如表 1 所示。

表 1 化学成分设计(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Nb	Cu	Cr	Ni	Mo
0.06~0.10	0.10~0.30	0.60~0.90	≤0.018	≤0.005	0.010~0.025	0.20~0.30	0.45~0.65	0.10~0.25	0.10~0.30

1.2 生产工艺

CT70 钢级连续油管用钢带生产工艺流程为高炉炼铁→KR 脱硫→转炉炼钢→LF 精炼→板坯连铸→粗轧机轧制→高压水除鳞→F1~F7 精轧机轧制→加密型层流冷却→卷取→取样→检验。

目前,常用 CT70 用热轧钢带的厚度规格一般

在 2.7~5.5 mm 之间,试制钢带厚度设定为 4.0 mm。针对薄规格产品在 2 250 mm 热轧产线轧制变形抗力大的生产难题,同时为了降低热轧钢带的内应力和改善钢板板型,热轧采用高温终轧工艺,适当提高卷取温度^[6],采取隔一开一的冷却模式。CT70 用热轧钢带轧制工艺参数见表 2。

表 2 轧制工艺参数

厚度/mm	钢坯出炉温度/℃	均热时间/min	精轧终轧温度/℃	卷取温度/℃	冷却模式
4.0	1 250 ± 20	30 ~ 60	890 ± 15	620 ± 15	隔一开一

2 试制结果

2.1 金相检验

采用蔡司显微镜(型号:Axiovert A1)在 200 倍放大条件下观察 CT70 用热轧钢带的显微组织,如图 1 所示。

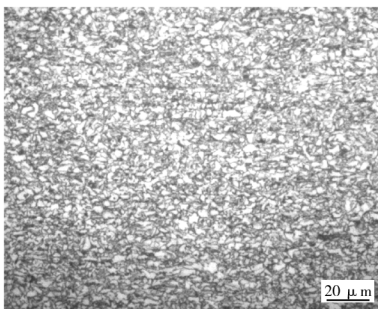


图 1 CT70 用热轧钢带的显微组织

由图 1 可见,CT70 用热轧钢带显微组织以铁素体+珠光体为主,伴有少量的贝氏体。钢中非金属夹杂物及晶粒度的检验结果如表 3 所示,夹杂物总和为 1.0 级,带状组织为 1.0 级,表明钢带内部质量控制良好。

2.2 性能检测

2.2.1 力学性能

在钢带宽度方向上,分别在边部和 1/4 处取样进行拉伸性能、弯曲性能以及硬度检测,结果见表 4。由表 4 可知,CT70 用热轧钢带屈服强度平均为 521 MPa,抗拉强度平均为 579.5 MPa,延伸率平均为 33.5%,屈强比≤0.90,HV10 硬度为 177,产品力学性能指标均满足客户要求。试制钢带具有高延伸率和低硬度的特点,钢带横向性能控制均匀。

表3 非金属夹杂物及晶粒度检验结果

级

	非金属夹杂物				晶粒度	带状组织
	A	B	C	D		
实测	0	0	0	1.0	12.5	1.0
要求	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≥10	≤2.0

表4 CT70 用热轧钢带力学性能

	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	180°弯曲试验 ($D = 2a$)	延伸率/%	屈强比	硬度 (HV10)
1#	520	575	合格	33	0.90	175
2#	522	584	合格	34	0.89	179
平均	521	579.5		33.5	0.895	177
要求	420 ~ 550	≥530		≥23	≤0.90	≤220

2.2.2 抗氢致开裂 (HIC) 性能

在钢带宽度方向上,分别在 1/2、1/4 处各取一组三个纵向试样,按 NACE TM 0284—2016《管道和压力容器用钢抗氢致开裂性能评价标准》进行 HIC 试验,试验溶液为 A 溶液 (5.0% NaCl + 0.5% CH₃COOH + 饱和 H₂S),试验时间为 96 h。钢带 HIC 性能试验结果为裂纹厚度率 CSR ≤ 0%、裂纹敏感率 CLR ≤ 0%、裂纹长率 CTR ≤ 0%,表明试制钢带的 HIC 性能符合 NACE TM 0284—2016 标准要求。

2.2.3 焊接性能

根据 GB/T 13298—2015《金属显微组织检测方法》对 CT70 用热轧钢带制成的连续油管横截面进行晶粒度评级,晶粒度为 12 级,满足客户对 CT70 钢级连续油管的技术要求。油管整管 (Φ50.8 mm × 4.0 mm) 预先截取 500 mm 样品,采用德国 ZIWCK1200 拉伸试验机进行拉伸试验,试验结果见表 5。连续油管屈服强度、抗拉强度和延伸率均满足客户要求。

表5 连续油管整管拉伸性能

	R_{el}/MPa	R_m/MPa	$A_{50}/\%$
1#	505	552	31.5
2#	516	560	37.5
3#	529	574	36.0
4#	488	584	33.0
平均	510	568	34.5

依据 GB/T 32660.1—2016《金属材料韦氏硬度试验》,采用 Leica DMI 5000M 光学显微镜对 CT70 钢级连续油管热影响区和母材进行显微硬度测试,热影响区 HV10 硬度在 180 ~ 215 之间,母材的 HV10 硬度在 180 ~ 208 之间,说明 CT70 钢级连续油管焊缝质量良好,满足客户对 CT70 钢级连续油管的技术要求。

3 结论

(1) CT70 钢级连续油管用热轧钢带屈服强度为 520 ~ 522 MPa,抗拉强度为 570 ~ 584 MPa,延伸率为 33% ~ 34%,力学性能和抗氢致开裂 (HIC) 性能均满足标准要求。

(2) CT70 钢级连续油管用热轧钢带显微组织主要是铁素体和珠光体,伴有少量的贝氏体,非金属夹杂物总和为 1.0 级,带状组织为 1.0 级。

(3) CT70 用热轧钢带制成的连续油管的晶粒度为 12 级,屈服强度平均值为 510 MPa,抗拉强度平均值为 568 MPa,延伸率平均值为 34.5%,且焊缝质量良好,HV10 硬度在 180 ~ 208 之间,连续油管的焊接性能满足标准要求。

参考文献

- [1] 胡赓祥,蔡珣,戎咏华. 材料科学与工程基础 [M]. 上海:上海交通大学出版社,2010.
- [2] 刘云旭. 金属热处理原理 [M]. 北京:机械工业出版社,1981.
- [3] 董露,郝世英,张骁勇,等. 加热温度对 X100 热煨弯管钢组织和性能的影响 [J]. 材料热处理学报,2013,34(6):42-46.
- [4] 章传国,郑磊. 轧后加热温度对高 Nb X80 管线钢板组织性能的影响 [J]. 钢铁,2013,48(1):82-86.
- [5] 刘迎来,池强,王鹏. 加热温度对 X80 弯管钢组织与性能的影响 [J]. 金属热处理,2010,35(10):2-4.
- [6] 田晨超,许飞,焦磊,等. 加热温度对 X80 钢级热煨弯管组织性能的影响 [J]. 焊管,2014,37(6):11-16.