

中亚管线 X70 中厚板生产实践及工艺优化

张维旭, 李少坡, 李家鼎, 查春和

(首钢技术研究院宽厚板研究所, 北京 100041)

摘要: 本文介绍了首钢管线钢 X70 的生产实践全过程, 从成分设计、工艺特点到控轧控冷, 最终得到了细小均匀的铁素体珠光体组织形态, 具有优良的力学性能。并对生产实践中出现的主要问题, 进行了大量的分析和研究, 优化了生产工艺。

关键词: 管线钢 X70; 屈强比; 落锤; 控轧工艺; 水冷工艺

1 引言

西气东输二线国外气源到国境段—中亚天然气管道工程是我国从中亚国家进口天然气的重要工程, 对我国的能源战略安全具有非常重要的意义。中亚天然气管道建设中, X70 直缝埋弧焊管是重要的管型, 且用量很大。国内各大主要钢厂都在积极试制, 其中以舞阳、鞍钢为代表的企业已经能大批量生产。首钢作为全国特大型钢铁企业之一, 有责任有义务为国家建设做出自己应有的贡献。目前首钢也已经实现了批量生产。管线钢是低合金高强度钢的典型代表, 其组织形态一般有两种: 铁素体珠光体组织和针状铁素体组织。国内各大钢厂均采用了钼系成分体系, 组织形态以针状铁素体为主, 但成本较高, 而首钢采用的是铌系成分体系, 组织形态以铁素体珠光体为主, 成本较低, 而且开发出了一套适合自己的生产工艺路线。

作为输送天然气的管道, 安全至关重要, 而屈强比是表征材料从起始塑性变形到最后断裂的变形能力, 所以屈强比是管线钢中重要的力学性能要求之一。通常认为, 屈强比越小, 材料的变形能力越大, 强度裕度越大; 屈强比越大, 材料屈服后的塑性范围越小, 越容易产生断裂破坏。EPRG 的研究也认为: 在钢管承受内压变形至破裂前, 环向变形存在一个极限值, 该值随钢管的屈强比增大而减小^[1]。所以出于对管道的安全考虑, 管线钢的屈强比一般要求不能大于某一个值。目前, 国内外各管道规范对这一指标的要求不尽相同, 一般 X65 级别以下要求不能大于 0.85, X70 或者更高级别的管线对屈强比的要求可以放宽到 0.90 甚至 0.93^[2]。落锤性能表征材料的断裂韧性, 主要反映材料的抗动态撕裂能力。落锤性能一直是制约首钢管线钢发展的技术瓶颈。

管线钢 X70 的生产实践中出现了很多问题, 基于工业大生产中的实际数据, 本文也对这些问题进行了分析和研究, 为优化生产提供参考。

2 成分设计和工艺特点

中亚天然气管道工程用钢板 X70, 技术要求具有良好的强韧性搭配, 良好的焊接性能, 同时具有高的低温韧性

裂性能。于是成分设计上采用较低碳、锰含量, 超低磷硫含量, 适当 Nb 含量, 微 Ti 处理, 适量其他合金元素, 不添加 Mo。在生产工艺上综合了纯净钢冶炼技术和控轧控冷的热机械处理热轧工艺, 实现超低磷硫含量和夹杂物形态控制, 并通过细晶强化、位错强化等强化机制获得较好的组织形态, 保证综合性能的良好。

3 X70 管线钢的控轧控冷

在管线钢 X70 的加热制度和压下规程相对合理和稳定的前提下, 终轧温度和冷却强度直接决定着 X70 的组织形态和力学性能。管线钢要求具有良好的强韧性搭配, 最有效的途径就是细化晶粒。晶粒的细化可以明显带来晶界强化的效果, 对强度尤其是对韧性的提高显著。

终轧温度过高, 有可能使第 II 阶段的轧制发生奥氏体部分再结晶, 使得钢板的最终组织粗大不均匀。终轧温度过低, 有可能轧制过程中将有铁素体析出, 铁素体受到加工变形, 使得钢板的最终组织粗大不均匀。

轧后快速进入水冷区, 通过控制冷却强度来得到所需要的组织形态。较高的冷速和较低的返红温度可以抑制条状珠光体的形成, 得到细小的铁素体和弥散的珠光体组织。

4 X70 管线钢的成分和钢板性能

表 1 是中亚管线 X70 的化学成分范围, 由表 1 可见, X70 具有较低的碳含量和较低的磷硫含量、适量的合金元素, 不添加 Mo。

表 2 为工业大生产的管线钢 X70 的综合力学性能, 由表 2 可见, 大生产的 X70 钢板的屈服强度较高, 但波动范围较大, 抗拉强度约 630MPa 左右, 并具有较高的延伸率, -10℃ 的夏比冲击功约 390J, 剪切面积大于 90%, -15℃ 的 DWIT 断口剪切面积大于 85%, 说明大生产的中亚管线 X70 具有较高的强度和较好的抗动态撕裂能力。

5 X70 管线钢的组织形态

工业大生产中的 X70 钢板的金相组织见图 1。

表1 管线钢 X70 化学成分(质量分数)

规格	C≤	Si≤	Mn≤	P≤	S≤	Al≤	Nb+V+Ti≤	其它合金元素
15.9mm	0.10	0.30	1.75	0.012	0.005	0.06	0.15	适量

表2 管线钢 X70 的力学性能

规格	Rt0.5, MPa	Rm, Mpa	AS0.8, %	-10℃AkV, J	-10℃SA, %	-15℃DWTT, SA, %
15.9mm	520-580	590-700	40	39J	>90%	>85%

中亚管线 X70 的组织形态以铁素体珠光体组织为主。从图 1 可以看出, 厚度表层和 1/4 处多为细小均匀的铁素体组织, 珠光体相百分含量非常少, 而且呈弥散细小分布, 厚度 1/2 处出现了少量贝氏体组织, 呈针状或板条状。

6 工艺优化

6.1 改善屈强比的工艺优化

低屈强比是管线钢中一个比较难以控制的技术要求之一, 因为影响屈强比的因素很多, 错综复杂。中亚管线 X70 以铌为主要合金元素, 铌的主要作用是扩大奥氏体未再结晶区, 在此阶段控轧过程中, 大量弥散细小析出的 Nb(C, N) 为相变提供形核位置, 从而大大细化晶粒^[9], 而细化晶粒对屈服强度的提高大于对抗拉强度的提高, 会导致钢板屈强比升高。提高第二阶段的轧制温度, 一定程度上能够改善屈强比, 因为第二阶段轧制温度高, 奥氏体晶粒易于发生回复软化, 减弱了此阶段形变能的积累, 从而降低晶体相变驱动力, 不利于细化晶粒^[6]。但第二阶段的轧制温度过高, 对韧性有较大的负面影响, 严重影响管线钢的落锤性能, 不是改善管线钢屈强比的最佳工艺。

图 2 是大生产中 X70 的强度随返红温度的变化趋势。

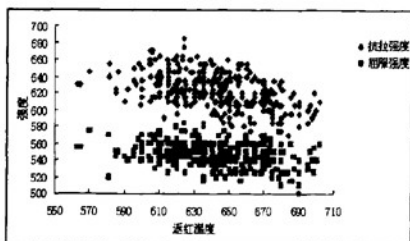


图2 中亚管线 X70 强度随返红温度的变化趋势

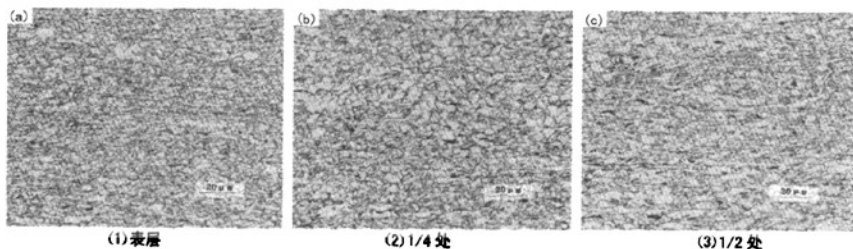


图1 中亚管线 X70 的组织形态

从图 2 可以看出, 随返红温度的降低, 抗拉强度和屈服强度均有不同程度的提高, 但抗拉强度提高的幅度较大, 屈强比降低。所以在 F+P 为主的组织条件下, 降低钢板的返红温度, 一定程度上能够增加组织中类贝氏体的硬质相, 提高钢板的抗拉强度, 降低屈强比。

6.2 改善落锤性能的工艺优化

图 3 是针对水冷模型中不同预计算终轧温度对应的落锤性能关系。从图 3 可以看出, 当预计算终轧在 (791-811) 范围时, 水冷模型返红温度主要集中在 580-620℃, 此工艺控制范围内得到的 DWTT 性能普遍比较高。

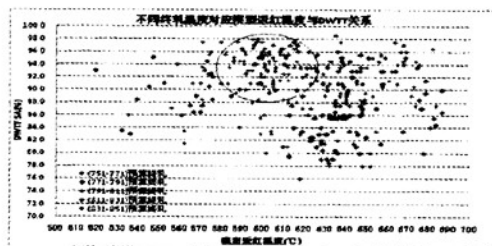


图3 不同预计算终轧温度对应的落锤性能关系

7 结论

- (1) 首钢中亚管线 X70 采用铌系成分体系, 不添加 Mo, 具有成本优势。
- (2) 首钢中亚管线 X70 的组织形态以细小均匀的铁素体珠光体为主, 具有良好的力学性能。
- (3) 在 F+P 为主的组织前提下, 降低返红温度, 拉大抗拉强度和屈服强度的差值, 有利于降低屈强比。
- (4) 当终轧温度稳定控制在合理的温度范围内时, 返红温度的降低, 对落锤性能有益。

管线钢 K60 试制的工艺特点

吕延春¹, 麻庆申¹, 朱志远², 王文军¹, 金茹¹, 刘金刚¹, 沈峰¹

(1. 首钢技术研究院宽厚板研究所, 北京 100041; 2. 首秦炼钢部, 秦皇岛 166326)

摘要: 叙述了 K60 冶炼所采用的工艺路线。K 系列管线钢技术要求高, 其抗拉强度和塑性均高于 X70 要求, 磷、硫目标含量要求低。截至 2007 年 7 月首秦管线钢冶炼设备主要有铁水脱硫与处理、100 吨顶底复吹转炉转炉与 LF 精炼, 在没有真空 RH 精炼设备的情况下, 成功地供货钢板 5500 吨。针对该厂投产时间短, 脱磷、脱硫效率低的问题, 采用了转炉双渣脱磷、LF 快速深脱硫工艺, 最终达到了大批量生产 K60 的能力。

关键词: 转炉双渣; 脱磷; 快速深脱硫; 白渣精炼

1 前言

俄罗斯西伯利亚向远东太平洋西岸的原油管道工程有一条支线通向中国大庆, 2006 年, 首钢销售公司接到中石油技术开发公司关于该项管线工程的级别为 K60 的意向及技术条件, 随后首秦及首钢技术研究院展开了 K60 管线钢的开发与研制。K 系列管线钢技术要求很高, 其屈服强度 (490MPa) 相当于 X70 水平, 其抗拉强度 (590MPa) 和塑性 (A50.8≥ 38.0%) 均高于 X70 要求。

2 成分选择及冶炼工艺路线

2.1 成分选择

磷、硫的危害: 由于磷增加脆性, 提高韧脆转变温度, 硫含量增加热脆性, 对冲击韧性也有害, 同时使管线钢抗应力腐蚀及抗硫化氢腐蚀性能下降, 热轧后 MnS 夹杂物变形

为细条状, 严重影响到非轧制方向的性能; 根据磷含量与低温冲击韧性关系的对比发现, 磷含量在 100ppm 以下时, 对冲击韧性的影响不大; K60 钢板强度很高, 同时要求非常高的韧性, 因此采用非常低的磷、硫含量, 磷、硫含量分别不高于 100ppm、20ppm。

K60 管线钢成分设计采用 Nb、V 系 (表 1)。

铌的特性: 热轧时提高再结晶温度, 扩大未再结晶区, 使铁素体晶粒细化, 提高材料的强度并且提高材料的冲击韧性;

钒的特性: 在轧制过程铁素体区、两相区和奥氏体低温段析出 VN、VC, 产生沉淀强化, 提高强度, 其中 VN 的作用大; V 的沉淀强化对焊接性能和韧性有负面影响。

钛的特性: 板坯再加热时, TiN 可以阻止奥氏体晶粒的长大; 由于 Ti 与 N 的结合能力比 Nb 和 N 的结合能力强,

表 1 K60 管线钢冶炼成分要求

%	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	Al _T
目标成分	0.04~0.09	0.16~0.30	1.60~1.70	≤0.008	≤0.002	0.055	0.07	0.015	0.02~0.05

参考文献

- [1] Pistone V. Toughness necessary to prevent ductile fracture propagation. EPRG 25 Anniversary Meeting Brussels, 1997: 87-98
 [2] 李鹤林. 天然气输送钢管研究与应用中的几个热点问题[J]. 焊管, 2005, 23 (3): 43-61

- [3] 王有铭, 李曼云, 韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却[M]. 北京: 冶金工业出版社: 1995
 [4] 赵明纯, 单以银, 杨振国. 热加工对管线用低碳钢性能的影响[J]. 材料研究学报, 2002, 15 (6): 669

Production practice and optimizing process of Middle-Asia pipeline steel X70 Plate

Zhang Weixu, LiShaopo, Li Jiading, Zha Chunhe

(Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100041)

Abstract: The whole process of production practice of pipeline steel X70 is introduced. The composition design, technology point and the control rolling and cooling process is described. Through above technologies, a fine and uniform F+P structure was obtained. A lot of analysis and research was carried out to study the problem of production practice, and the production process was optimized.

Key Words: pipeline steel X70; yield-strength ratio; DWTT; control rolling process; water-cooling process