

Nb-Ti 微合金化含铬 J55 石油套管用钢的生产实践

吕国成¹ 包丽明¹ 朱金禄² 尚冰²

(1 吉林电子信息职业技术学院冶金学院, 吉林 132021; 2 通化钢铁股份公司技术中心, 通化 134003)

摘要 8~10 mm J55 石油套管用钢板的生产流程为铁水预处理-120 t 顶底复吹转炉-LF 精炼-87 mm 薄板坯连铸-连轧工艺。通过在原有 0.015%~0.025% Nb 微合金化钢的基础上优化 J55 石油套管钢的成分(/% : 0.16~0.18C, 0.5~0.7Mn, ≤0.20Si, ≤0.025P, ≤0.010S, 0.03~0.04Cr, 0.01~0.03Ti, 0.005~0.010Nb), 转炉出钢加 200~400 kg 铝镁钙预脱氧、精炼过程喂铝线深脱氧, T[O] ≤20 × 10⁻⁶ 时钙处理, 板坯加热温度 1 100~1 130 °C, 终轧 855~860 °C, 轧后快速冷却, (610 ± 10) °C 卷取等工艺措施, 成品钢板屈服强度 437~465 MPa, 抗拉强度 549~575 MPa, 伸长率 30%~36%, -20 °C 冲击功 60~96 J, 180° 冷弯合格, 各项性能稳定。

关键词 含铬 J55 石油套管用钢 铌钛微合金化 120 t BOF-LF-薄板连铸-连轧 控轧控冷 力学性能

Production Practice of Nb-Ti Microalloying and Containing Cr Steel J55 for Oil Casing Tube

Lü Guocheng¹, Bao Liming¹, Zhu Jinlu² and Shang Bing²

(1 Metallurgical Institute, Jilin Technology college of Electric Information Jilin 132021; 2 Technology Center, Tonghua 134003)

Abstract The production flowsheet of 8~10 mm plate of steel J55 for oil casing tube is hot metal pretreatment-120 t top and bottom combined blowing converter-LF refining-87 mm thin slab casting-continuous rolling process. With the process measures including based on original 0.015%~0.025% Nb microalloying steel optimizing the composition of J55 steel for oil casing tube (/% : 0.16~0.18C, 0.5~0.7Mn, ≤0.20Si, ≤0.025P, ≤0.010S, 0.03~0.04Cr, 0.01~0.03Ti, 0.005~0.010Nb), pre-oxidizing by adding 200~400 kg aluminium magnesium calcium alloy at converter tapping, deep de-oxidizing by feeding aluminium wire and calcium treating at T[O] ≤20 × 10⁻⁶ during refining process, slab heating at 1 100~1 130 °C, finishing rolling at 855~860 °C and quick cooling after rolling, and coiling at 610 ± 10 °C, the properties of finished steel plate are yield strength 437~465 MPa, tensile strength 549~575 MPa, elongation 30%~36%, impact energy at -20 °C 60~96 J, 180° cold-bending test qualified, and each properties of products are steady.

Material Index Containing Chromium Steel J55 for Oil Casing Tube, Niobium-Titanium Microalloying, 120 t BOF-LF-Thin Slab Casting-Continuous Rolling, Control Rolling and Control Cooling, Mechanical Properties

研究院所和薄板坯连铸连轧生产企业通过对薄板坯连铸连轧铌、钛微合金钢沉淀析出、溶解规律, 以及铌、钛微合金钢在工艺中组织演变规律的研究, 形成整套薄板坯连铸连轧铌、钛微合金钢生产技术^[1]。2008 年通钢采用铌微合金化技术成功开发 J55 石油套管用钢, 于 2014 年采用铌钛微合金化技术开发了含铬 J55 石油套管用钢。

1 成分设计

为满足石油套管用钢高强度、高韧性、良好的焊接性能, 采用中碳、高锰和铌、钛微合金化的成分设

计方案并与冶炼技术和控轧控冷技术相结合。2008 年通钢生产 J55 石油套管用钢化学成分见表 1。

含铬 J55 石油套管用钢合金化设计思路:

(1) 锰。在低合金结构钢中锰含量和强度成正比关系, 其冲击韧性下降速率较小, 不影响其韧脆转变温度^[2]。

(2) 钛。在含铌微合金钢中加入微量的钛^[3], 可改善含铌微合金钢的热塑性, 使产生裂纹的敏感性减小。薄板坯钛含量控制在 0.010%~0.040%。钛的加入可以形成更为稳定的 Ti₄C₂S₂, 减少了 MnS

表 1 Nb 微合金和 Nb-Ti 微合金化含 Cr 石油套管用钢 J55 化学成分 /%

Table 1 Chemical composition of Nb microalloying and Nb-Ti microalloying containing Cr steel J55 for oil casing tube /%

牌号	项目	C	Mn	Si	P	S	Nb	Ti	Cr	Als
Nb	内控	0.16~0.19	1.1~1.3	≤0.30	≤0.020	≤0.015	0.015~0.025			0.015~0.025
Nb-Ti	内控	0.16~0.18	0.5~0.7	≤0.20	≤0.025	≤0.010	0.005~0.010	0.01~0.03	0.03~0.04	
Nb-Ti	实际值	0.16~0.19	0.05~0.10	0.85~0.90	0.012~0.019	0.002~0.006	0.007 3~0.008 2	0.024~0.026	0.032~0.038	
Nb-Ti	客户要求	0.16	0.08	0.85	0.017	0.003	0.007 5	0.025	0.035	

的析出,从而改善钢板的韧性和冷弯性能。

(3) 铌。铌能与碳、氮结合成碳化物、氮化物和碳氮化物,加热时阻碍原始奥氏体晶粒长大;铌可以提高奥氏体的再结晶温度,轧制过程抑制再结晶及晶粒长大;在低温时起到析出强化的作用。

(4) 铬。铬可使成品钢具有良好的抗腐蚀性,氧化性和增加钢的韧性。

(5) 硫、氮。研究发现^[4],随着钢中硫含量的增加,裂纹敏感率显著增加;只有当 $[S] < 0.0012\%$ 时,HIC才明显降低,甚至可以忽略。氮易在晶界偏聚,在钢中形成 Nb(C,N)、Ti(C,N)、AlN 等,影响钢的延展性,降低钢材的冷加工性能,造成焊接热影响区脆化,加剧钢材的冷脆,造成铸坯开裂及引起晶间腐蚀。含铬 J55 石油套管用钢最终成分设计见表 1 所示。

2 生产工艺

2.1 工艺流程

通钢薄板坯连铸连轧线生产石油套管用钢的生产工艺流程为:2 680 m³ 高炉铁水→镁基铁水预处理(脱硫)→120 t 顶底复吹转炉→钢包精炼(LF)→FTSC 薄板坯连铸机→辊底式加热炉→1700 热连轧机组→层流冷却→卷取。

2.2 冶炼工艺

根据成分要求喷吹颗粒镁使入炉铁水硫含量≤0.003%,并使用优质废钢。按照出钢量 140~145 t/炉确定铁水、废钢装入量。转炉预脱氧工艺为出钢 1/5 时加入铝镁钙 200~400 kg 进行脱氧,钢水至氩站喂铝线 100~300 m 调整钢中酸溶铝含量。以铝镁钙、Si-Fe、Mn-Fe、Nb-Fe、Cr-Fe 添加的顺序调整成分和最终脱氧。要求顶底复吹少渣冶炼,出钢时控制下渣量。LF 深脱氧工艺为钢水进站后喂铝线 700~900 m 进行深脱氧,当氧含量达到 20×10^{-6} 以下进行钙处理。每炉钢加入钛铁 150 kg。精炼渣成分见表 2。

钢水浇铸时采取低过热浇铸,全过程保护浇铸,避免钢水二次氧化、增氮。铸坯入炉温度≥900℃,从而保证获得表面质量和内部质量均较好的板坯,板坯尺寸规格为 87 mm×1 500 mm。

2.3 轧制工艺

结合生产线的实际,确定

表 2 精炼渣分析成分 / %

Table 2 Analysis ingredient of refining slag / %

CaO	SiO ₂	MgO	TFe	MnO	Al ₂ O ₃
40.87	7.08	13.54	2.24	0.55	23.67

加热入炉板坯温度为 900℃以上,出炉温度为 1 100~1 130℃。

轧制制度-薄板坯的奥氏体晶粒尺寸为 700~1 000 μm,晶粒尺寸粗大,所以在高温奥氏体区,R1、R2 机架压下率控制在 48%~52%,促使动态再结晶形核过程的发生。但为了保证成品冲击韧性,成品厚度规格在 8.0~10.0 mm 时,精轧总压下率必须确保大于 70%,R1、R2 机架压下率适当降低。考虑加速冷却能影响带状组织^[5],设定终轧温度为 $(860 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

冷却工艺-J55 钢控制冷却首先是对未再结晶奥氏体进行水冷,产生明显铁素体。在相变终了温度附近结束,然后进行空冷。防止缓冷产生带状,同时也避免急冷产生魏氏组织。在轧后的相转变过程中,快速冷却有助于细小沉淀相在铁素体中析出,从而起到细晶强化及沉淀强化作用^[6]。现场实际卷取温度控制目标为 $(610 \pm 10)^\circ\text{C}$ 。

3 试制结果分析

3.1 表面质量

含铬 J55 钢试制的成品板卷质量好,无边裂、结疤、卷形良好,如图 1 所示。

3.2 化学成分

从表 1 可见,试验生产 8.95 mm×1 120 mm 含铬 J55 石油套管完全能够满足客户的要求。

3.3 力学性能

统计 8.95 mm×1 120 mm 含铬 J55 石油套管钢试制成品力学性能,其结果如表 3 所示。从表 3 可

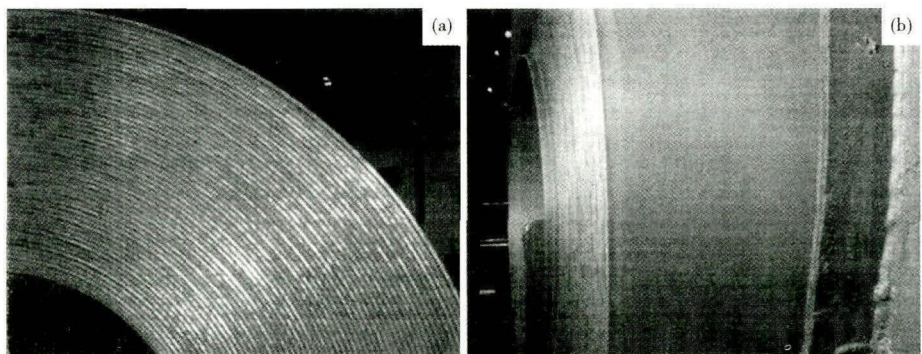


图 1 Nb-Ti 微合金化含铬石油套管钢 J55 板卷边部质量:(a) 正面;(b) 侧面

Fig. 1 Quality morphology of coil edge of Nb-Ti microalloying containing Cr steel J55 for oil casing tube: (a) front; (b) side

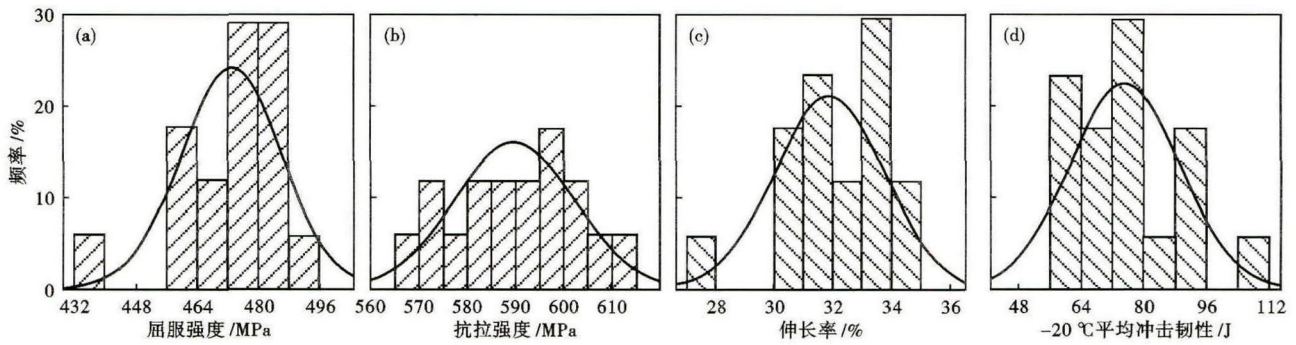


图 2 Nb-Ti 微合金化含铬石油套管钢 J55 屈服强度 (a), 抗拉强度 (b), 伸长率 (c) 和 -20 °C 冲击功 (d) 的分布

Fig. 2 Distribution of yield strength (a), tensile strength (b), elongation (c) and impact energy at -20 °C of Nb-Ti microalloying containing Cr steel J55 for oil casing tube

表 3 Nb-Ti 微合金化含铬 J55 石油套管钢 8.95 mm 板的力学性能

Table 3 Mechanical properties of 8.95 mm plate of Nb-Ti microalloying containing Cr steel J55 for oil casing tube

规格/ mm × mm	项目	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	伸长 率/%	-20 °C 冲 击功/J	180° 冷弯
8.95 × 1 120	最大值	465	575	36	96	合格
	最小值	437	549	30	60	合格
	客户要求	379 ~ 490	517 ~ 620	≥24	≥39	d = 2 a

4 结论

(1) 采用中碳、中锰微量铌、钛合金元素方案可大幅降低生产成本。

(2) 轧制过程中按厚度规格合理分配道次压下量, 满足前期完成再结晶的需要, 既保证组织均匀, 又满足轧制后期薄饼化的需要, 以保证足够的细晶强韧化效果。

(3) 含铬 J55 石油套管钢各项性能均满足客户要求, 用户在裁边、分剪、焊接成型等制管工序中钢板质量反映良好, 无质量问题。

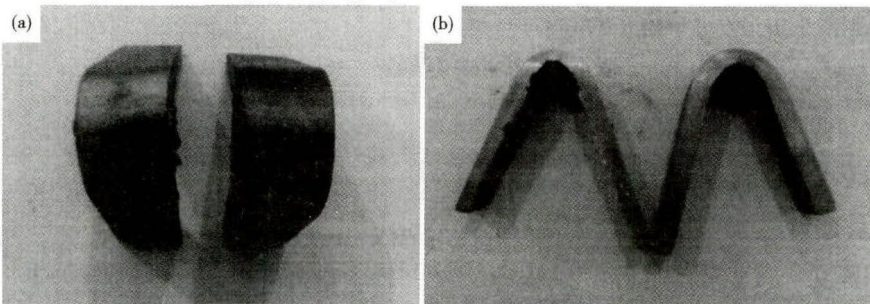


图 3 Nb-Ti 微合金化含铬石油套管钢 J55 冷弯后形貌: (a) 正面; (b) 侧面

Fig. 3 Morphology of cold-bending tested plate of Nb-Ti microalloying containing Cr steel for oil casing tube: (a) front; (b) side

可以看出, 屈服强度、抗拉强度和伸长率等性能波动均稳定, 并且各项指标的平均值完全符合客户的要求。

图 2 可以看出, 试制板卷 90% 的试样屈服强度稳定在 458 ~ 488 MPa; 78% 的试样抗拉强度稳定在 575 ~ 605 MPa; 85% 的试样伸长率稳定 30% ~ 34%; 95% 的试样 -20 °C 冲击功在 60 ~ 96 J, 各项指标呈现良好的正态分布。

3.4 冷弯

从图 3 可以看出, 成品冷弯后无开裂, 性能优良, 能够达到生产工艺要求。

3.5 显微组织

高倍组织检验含铬 J55 钢基体组织为 F + P, 晶粒度 11 级, D 类夹杂, 有轻微带状组织。

参考文献

[1] 毛新平. 薄板坯连铸连轧微合金化技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.

[2] 周平, 杨建勋, 李艳, 等. 冷却速率对 Q690D 高强度低温冲击韧性的影响[J]. 轧钢, 2011, 28(6): 18-20.

[3] 时晓光, 刘立群, 王东明, 等. 鞍钢 1780 机组汽车大梁板 A420L, A510L 的研制与开发[C]. 北京: 2001 年中国钢铁年会论文集, 582-587.

[4] Schawinhold D. Demands of Materials Technology on Metallurgy for the Improvement of the Service Properties of Steels[C]. Process of the International Conference on Section Metallurgy. Aachen, Germany, 1987: 3-18.

[5] 韩业启. J55 钢级焊接油套管用热轧钢带性能的探讨[J]. 焊管, 2003, 26(2): 19-22.

[6] 陈爱娇, 周平, 霍孝新, 等. 莱钢 J55 石油套管钢的生产实践[J]. 山东冶金, 2009, 31(1): 25-27.

吕国成(1982-), 男, 硕士(辽宁科技大学), 讲师, 2006 年鞍山科技大学(本科)毕业, 冶金传输研究。

E-mail: lv-guocheng@163.com

收稿日期: 2015-02-15