

50 t UHP EAF-LF-VD-CC 流程生产 MnVS 系非调质钢的质量控制

赵冠夫^{1,2} 王静松¹ 吴兵^{1,2} 马传庆²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 莱钢特钢事业部,莱芜 271104)

摘要 针对 MnVS 系非调质钢生产时存在的硫收得率低、钢水可浇性差、钢材探伤合格率低等冶金质量问题,通过稳定喂硫线速度 80~100 m/min,采用预熔精炼渣、精炼配加石灰使渣碱度 ≥ 3.0 ,优化连铸和轧制工艺参数等工艺措施,使硫平均收得率达 84%,铸坯碳偏析程度减少,钢材低、高倍组织和顶锻一次合格率分别达 100%、99.10%和 100%,产品实物质量及综合性能均满足用户需求。

关键词 MnVS 系非调质钢 EAF-LF-VD-CC 流程 工艺优化 质量控制

Quality Control of Non-Quenched and Tempered Steel MnVS Series Produced by 50 t UHP EAF-LF-VD-CC Flow Sheet

Zhao Guanfu^{1,2}, Wang Jingsong¹, Wu Bing^{1,2} and Ma Chuanqing²

(1 Metallurgical and Ecological Engineering School, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Special Steel Division, Laiwu Iron and Steel Group Co Ltd, Laiwu 271104)

Abstract According to existing metallurgical quality issue for production of non-quenched and tempered steel MnVS series including low yield of sulfur, poor casting characteristics and low qualified ratio of steel products in nondestructive testing, with stable sulfur wire feeding speed 80~100 m/min, using premelted refining slag, slag basicity ≥ 3.0 by adding lime in refining and optimizing casting and rolling parameters etc. the average yield of sulfur is up to 84%, carbon segregation extent decreases, first qualified ratio of macro-, micro-structure and heading upsetting of products is respectively up to 100%, 99.10% and 100%, the products quality and comprehensive properties all meet the requirement of user.

Material Index Non-Quenched and Tempered Steel MnVS Series, EAF-LF-VD-CC Flow Sheet, Process Optimization, Quality Control

MnVS 系非调质钢是在中碳或中低碳钢中添加 V、Ti、Nb 等微量元素,通过控制轧制或锻后空冷、控冷等方式,在轧制或锻造后不经调质处理即可获得合结钢调质处理后所达到的力学性能的钢种,属于铁素体-珠光体型非调质钢,影响它强度的主要因素有铁素体与珠光体的数量及其特性和起沉淀强化作用的化合物^[1]。一般用于制作汽车发动机曲轴、连杆、汽车转向臂、轮毂及各类轴等零部件^[2]。

1 工艺流程和主要技术条件

50 t UHP 电弧炉($\geq 50\%$ 铁水 + 优质废钢)→60 t LF→VD→合金钢矩形坯连铸→缓冷/热送→轧

材→精整→探伤→检验入库。MnVS 系钢的熔炼成分和力学性能要求见表 1、表 2。

2 MnVS 系非调质钢过程控制及产品质量问题

(1) 硫回收率低且不稳定,控制偏离目标值较大。生产过程中因硫熔点低,极易氧化,造成硫的回收率只有 60% 左右,且不稳定。现常用加入方式一般是在钢包中加入硫铁或喂入硫线,同时附加一定量的顶渣。由于对硫含量的特殊要求,脱氧过程控制不当极易造成硫含量超出规定范围,或使硫夹杂物偏高,同时为保持良好的切削性能以及钢中夹杂物的范围和形态,脱氧过程不能充分。

表 1 MnVS 系钢的化学成分要求/%
Table 1 Chemical composition of steel MnVS series / %

钢种	项目	C	Si	Mn	V	S	P	Al	Cr	Ni	Cu	Mo
45MnVS	标准	0.42 ~ 0.49	0.30 ~ 0.60	1.00 ~ 1.50	0.06 ~ 0.13	0.035 ~ 0.075	≤ 0.035	0.010 ~ 0.060	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.10
	成品	0.43 ~ 0.47	0.31 ~ 0.39	1.24 ~ 1.30	0.06 ~ 0.08	0.040 ~ 0.052	0.010 ~ 0.020	0.019 ~ 0.030	0.02 ~ 0.05	0.01 ~ 0.03	0.02 ~ 0.04	0.002 ~ 0.008
33MnVS	标准	0.32 ~ 0.36	0.25 ~ 0.60	1.00 ~ 1.50	0.08 ~ 0.13	0.025 ~ 0.035	≤ 0.035	0.015 ~ 0.050	≤ 0.30	≤ 0.20	≤ 0.20	≤ 0.10
	成品	0.32 ~ 0.34	0.30 ~ 0.37	1.14 ~ 1.16	0.08 ~ 0.10	0.028 ~ 0.033	0.012 ~ 0.019	0.024 ~ 0.035	0.12 ~ 0.16	0.02 ~ 0.04	0.04 ~ 0.06	0.003 ~ 0.008

表 2 MnVS 系钢的力学性能
Table 2 Mechanical properties of steel MnVS series

钢种	规格/ mm	项目	R_{m} / MPa	R_{m} / MPa	A/ %	Z/ %	A_{K} / J	布氏硬度 (HB)
45MnVS	≤40	标准	≥510	≥835	≥13	≥28	≥28	≤285
		成品	547~649	840~895	14~19	29~44	56~86	207~269
	40~60	标准	≥490	≥810	≥12	≥28	≥25	≤275
		成品	510~640	820~890	12~19	29~39	52~84	212~268
	>60	标准	-	-	-	-	-	≥230
		成品	-	-	-	-	-	235~262
33MnVS	≤65	标准	≥490	≥760	≥15	≥28	≥40	>200
		成品(未生产)	-	-	-	-	-	-
	>65	标准	≥470	≥740	≥15	≥28	≥40	>200
		成品	530~560	790~820	19~25	34~42	58~66	207~232

(2) 钢水可浇性较差, 浇注过程水口锈眼现象严重。通过对锈眼水口夹杂物取样分析, 发现铝镁尖晶石含量为 60%~70%, 硫化钙含量约为 10% 的复合夹杂物在水口富集形成水口锈眼。

(3) 钢材探伤合格率低。工艺优化前钢材探伤合格率约 51%, 主要因大颗粒夹杂物、表面裂纹、中间裂纹、中心疏松等造成。

图 1(a) 中夹杂物主要组成为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 FeO 、 CaS 、 TiO 等物质, 另外还出现 K 元素, 分析得知钢中夹杂物主要是因精炼白渣保持时间短, 还原反应不充分以及软吹时间不足, 脱氧产物上浮不彻底; 同时连铸过程中有保护渣卷入形成。

(4) 目前莱钢生产 MnVS 系非调质钢的成分设计已基本能满足钢的力学性能和切削加工性能, 但因浇注过程铸坯 C、S 等易偏析元素的偏析程度相对较严重, 铸坯同一端面取样位置点碳含量差值为 0.052%; 以及轧制成材加热和冷却制度的不合理, 存在钢材晶粒度级别较低, 晶粒不均匀等质量缺陷,

造成钢材力学性能、切削加工性能的稳定性和均匀性较差。

3 优化控制措施

(1) 稳定硫收得率。由于硫是一种活性极强的小原子, 它与炉料、渣以及包衬材料的各种元素存在复杂的物理化学反应过程^[3], 喂线导管出线端距钢液液面越近, 喂线速度越高, 钢液对芯线辐射越小, 芯线可以快速直插钢包底部, 则硫的收得率就越高; 反之喂线速度慢, 硫磺受高温辐射熔化、汽化、燃烧损耗的几率增大, 则收得率降低。

攻关过程中, 规定喂硫线速度为 80~100 m/min; 并对加入时机进行试验: 一是采用 VD 真空处理前喂入硫线, 统计分析硫的平均收得率约为 84%; 二是采用 VD 真空处理后喂入硫线, 虽然硫的平均收得率约为 92%, 但因喂硫线时的大沸腾现象造成钢水的二次污染, 浇注过程水口锈眼烧氧现象严重, 因此在实际生产过程中规定 VD 真空处理前喂入硫线。

(2) 精炼渣系的优化。60 t LF 原用精炼渣主要采用活性石灰和萤石配制, 为 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 渣系以及 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-CaF}_2$ 渣系, 具有较高的碱度、很强的脱氧、脱硫能力, 不利于含硫易切削钢硫成分的控制。因此在现有基础上, 试验采用在电弧炉出钢过程配加 300~400 kg 以 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ 为基础的含有较高 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ 成分的预熔渣, 精炼过程配加 300 kg 石灰等配置成渣碱度 ≥ 3.0 , 具有较强吸附夹杂物能力、利于含硫易切削非调质钢精

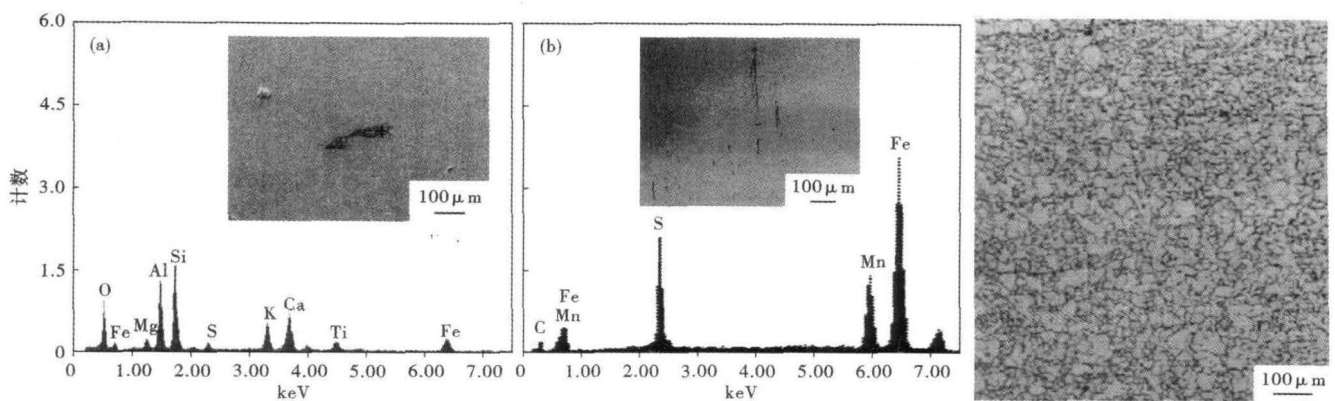


图 1 优化前(a)和优化后(b)MnVS系钢材内夹杂物形貌及能谱分析;(c)MnVS钢材的组织形貌
Fig. 1 Morphology and energy spectrum analysis of inclusion in products of steel MnVS series before (a) and after (b) process optimization; (c) morphology of structure of steel MnVS products

表3 精炼渣主要成分/%

Table 3 Main ingredient of refining slag / %

Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	H ₂ O
≥50	≤15	25~30	≤8	≤0.5

表4 优化前后连铸工艺参数

Table 4 Parameters of casting process and before and after optimization

工艺	拉速/(m·min ⁻¹)		结晶器电磁搅拌		中间包钢水 过热度/℃
	180mm×220mm	260mm×300mm	电流/A	频率/Hz	
优化前	0.90~1.25	0.55~0.70	200	3.0	15~35
优化后	1.03~1.07	0.58~0.62	260	3.0	15~25

炼要求的精炼渣,且铝酸钙预熔渣成分均匀,熔点低,熔速快,可缩短精炼时间,并可替代萤石,实现无氟炼钢,改善工作环境(表3)。

(3)连铸工艺参数。与低碳钢相比,中碳钢具有高的裂纹敏感性^[4]。为解决上述问题,攻关组通过优化结晶器电磁搅拌运行参数,中间包钢水过热度控制、浇注拉速,见表4优化前后连铸工艺控制参数。以及开发应用 MnVS 系各钢种专用配水模型、中间包空心颗粒无碳覆盖剂和 MnVS 系非调质钢专用保护渣等措施,铸坯满足了高质量连铸坯和直接热送热装轧制成材的生产要求。

(4)轧制工艺参数。MnVS 系非调质钢中硫含量偏高,钢材易产生裂纹^[5]。要尽量避免在 830~1050℃硫化物脆化敏感温度区间进行轧制。表5为优化前后轧制工艺控制参数,确保下冷床温度 600~700℃,保证了轧材质量。

4 实施效果

(1)工艺优化后,硫平均收得率达 84%,钢水可浇性大幅度提高,实施前后浸入式水口平均使用寿命明显增加,由优化前的 114.2 min/支增加至优化后的 193.7 min/支。

(2)铸坯成分偏析程度明显减轻,取样分析铸坯同一端面取样位置点碳含量差值为 0.031%,偏

表5 优化前后轧制工艺参数

Table 5 Parameters of rolling process before and after optimization

工艺	加热温度/℃	加热时间/h		开轧温度/℃	终轧温度/℃	风冷速度/(℃·min ⁻¹)
		180mm×220mm	260mm×300mm			
优化前	1130~1200	≥2.0	≥2.5	1100~1180	850~1000	120~240
优化后	1180~1220	≥2.5	≥3.0	1100~1150	850~980	130~210

表6 钢材非金属夹杂物检验结果/级

Table 6 Examination results of nonmetallic inclusions in products / rating

钢种	项目	A		B		C		D	
		细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
45MnVS	标准	≤4.0	≤3.0	≤2.5	≤2.5	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0
	成品	1.0~3.0	0~1.0	0~1.5	0~1.0	0	0	0~0.5	0~0.5
33MnVS	标准	≤4.0	≤3.0	≤2.0	≤2.0	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5
	成品	1.0~2.0	0~1.0	0~1.0	0~1.0	0	0	0~0.5	0~0.5

析程度较工艺优化前明显减轻,对提高钢材力学性能的稳定性和均匀性提供重要支持。

(3)钢材的低倍、高倍和顶锻一次检验合格率分别达到 100%、99.10% 和 100%;奥氏体晶粒度为 7~8 级,钢材探伤合格率稳定在 90% 以上,产品实物质量及综合性能指标均能完全满足客户需求。表1、表2、表6、图1(b,c)为工艺优化后 MnVS 系钢的成品成分、钢材非金属夹杂物检验、力学性能检验结果以及钢中夹杂物形貌、能谱分析结果和钢材组织形貌。

5 结语

工艺优化后,生产节奏均衡稳定,硫平均收得率达 84%,钢水可浇性良好,废坯切除量大幅减少,基本实现恒拉速浇注,铸坯成分偏析程度明显减轻,钢材力学性能和切削性能的稳定性和均匀性较好,钢材探伤合格率稳定在 90% 以上,产品质量改善明显,达到了高质量品种钢生产工艺要求。

参考文献

- [1] 董成瑞,任海鹏,金同哲,等.微合金非调质钢[M].北京:冶金工业出版社,2000:35-66.
- [2] 卢明霞,阮小江,王新社,等.Mn-V-S 系非调质钢中 Ti 的控制[C].2010 全国微合金非调质钢学术年会论文集,北京:2010:75.
- [3] 张铁军,李培杰,国为民,等.喂线增硫法生产含硫易切削钢工艺[C].2005 中国特殊钢年会论文集,北京:2002:144.
- [4] 干勇,刘浏,张家泉,等.品种钢、优特钢连铸 900 问[M].北京:中国科学技术出版社,2007:119-134.
- [5] 张瑞峰,戴观文,郝彦英,等.轿车连杆用易切削非调质钢 YF35MnV 的试验[J].河北冶金,2008(5):18-20.

赵冠夫(1979-),男,硕士研究生,工程师,2006 年安徽工业大学毕业,炼钢工艺和冶金质量研究。

E-mail:Zhaoguanfu@126.com

收稿日期:2013-02-27