

· 工艺技术 ·

25MnBM 履带板用钢非金属夹杂物控制工艺研究

卢乃双 梁娜 黄涛

(山东钢铁股份有限公司莱芜分公司, 莱芜 271104)

摘要 采用50 t电弧炉短流程生产25MnBM履带板用钢。研究了钢中TiN夹杂物的控制工艺及稀土对25MnBM钢中非金属夹杂物的影响。通过降低钢中氮含量至 70×10^{-6} 以下及优化连铸工艺, TiN夹杂物的数量及尺寸得到了大幅度的改善。通过添加稀土, 研究稀土对25MnBM履带板用钢非金属夹杂物的影响, 试验结果表明: 按0.20~0.25 kg/t_钢加入稀土后, 可使非金属夹杂物总面积减小, 最大夹杂物尺寸和夹杂物平均尺寸减小, 对钢起到了较好的净化作用。

关键词 25MnBM 非金属夹杂物 稀土 TiN

Study on Control Technology of Non-metallic Inclusions in 25MnBM Steel for Track Plate

Lu Naishuang, Liang Na and Huang Tao

(Lai Wu Company, Shandong Iron and Steel Co Ltd, Laiwu 271104)

Abstract The 25MnBM track plate steel is produced by 50 ton EAF short process. The control technology of TiN inclusions and the effect of RE on non-metallic inclusions in 25MnBM of steel are studied. The amount and size of TiN inclusions are greatly improved by reducing the nitrogen content of steel below 70×10^{-6} and optimizing the continuous casting process. The effect of RE on non-metallic inclusions in 25MnBM track plate steel is studied. Test results show that, after adding 0.20~0.25 kg/t RE into steel, the total area of non-metallic inclusions can be reduced, the maximum inclusion size and the average inclusion size decrease, which plays a better role to purify steel.

Material Index 25MnBM, Non-metallic Inclusions, RE, TiN

中碳含硼钢25MnBM作为工程机械履带板用钢, 常用在挖掘机、推土机、履带起重机、摊铺机等工程机械上, 是设备的易损件。其直接与土壤、砂石以及泥水等介质接触, 且一般在不平坦的地面条件下运行, 工作条件十分恶劣, 负荷大, 冲击力强, 易导致履带板产生筋部磨损、板体变形、板体断裂等失效现象^[1]。钢中非金属夹杂物的控制对钢的冲击性能及抗断裂性能具有重要的影响, 本文以莱钢特钢事业部50 t电弧炉短流程生产25MnBM钢为对象, 研究钢中TiN的控制工艺以及稀土对钢中非金属夹杂

物的影响。

1 研究方案

25MnBM钢的化学成分如表1所示, 生产工艺流程为: 配料(热装40%以上铁水)→50 t电弧炉→LF精炼+VD真空脱气处理→连铸(电磁搅拌, 连铸坯断面尺寸180 mm×220 mm)。对电弧炉、精炼炉、连铸全流程进行工艺优化, 控制TiN夹杂的析出; 同时开展稀土对25MnBM钢非金属夹杂物影响的研究, 试验方案如表2所示。

表1 25MnBM钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of 25MnBM steel / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	B	Ti	Alt
0.23~0.28	0.17~0.37	1.00~1.30	≤0.030	≤0.020	0.10~0.30	≤0.20	≤0.25	0.0005~0.0030	0.030~0.065	0.015~0.065

表2 稀土加入试验方案

Table 2 Scheme of adding RE test

序号	试验炉数	稀土加入量/(kg·t ⁻¹)	加入过程
1	3	0.25	VD上钢后
2	5	0.20	LF出钢前

2 过程控制

2.1 原生产工艺

25MnBM钢原生产工艺为: 铁水加入量不少于

40%，电弧炉终点 $C \geq 0.10\%$ ， $P \leq 0.015\%$ ，出钢温度 $1620 \sim 1660\text{ }^\circ\text{C}$ ；精炼炉渣碱度控制 > 3.0 ，按照成分调整各元素含量，出钢前按 $1.5 \sim 3.0\text{ m/t}_{\text{钢}}$ 喂入钙线；真空度 $\leq 67\text{ Pa}$ 保持时间 $\geq 10\text{ min}$ ，VD 处理后软吹氩时间 $\geq 12\text{ min}$ ；连铸过程全程保护浇注，中间包过热度按液相线温度 $+ (20 \sim 30)\text{ }^\circ\text{C}$ 控制，拉速按 $0.9 \sim 1.2\text{ m/min}$ 控制，整个过程电磁搅拌正常使用。

在产品检验过程中发现部分样品 TiN 夹杂物长度较长，且产品冲击功波动较大。

2.2 TiN 夹杂控制工艺优化

氮化系夹杂是指向钢中加入与氮亲和力较大的 Al、Ti、V 等元素时，在钢中有相应的氮化物生成，而 AlN、TiN、VN 既常见又很稳定，属于内生夹杂物，它们对钢的组织及性能均有不同程度的影响。钢中的氮化物和碳化物之间也可以相互溶解，形成碳氮化物，如 Ti(NC) 等。通常人们将不溶于奥氏体并在钢中形成自己固定的氮化物视为氮化物夹杂，其中 TiN 最为常见，而 AlN 细小弥散，且在钢中具有许多良好的作用，一般不视为夹杂物。

为减小钢中 TiN 夹杂物对钢性能的影响，必须控制 TiN 的生成条件，据相关热力学计算表明：在液相中，各种第二相析出物均不能析出，在凝固过程中，TiN 的析出温度约为 1779 K ($1506\text{ }^\circ\text{C}$)，此时 $\lg([Ti] \times [N]) = -3.78$ ，即 $[Ti] \times [N] = 0.00017$ 。文献[2-3]报道称当钢中 Ti 含量小于 30×10^{-6} 、N 含量小于 50×10^{-6} 时，冷却凝固过程中形成的 TiN 夹杂物细小弥散，几乎不影响钢的各种性能。

热加工工艺对 TiN 夹杂物水平的影响：TiN 是在钢液凝固过程中形成的，有关研究表明，TiN 在常规热加工温度下不溶解，也就是说热加工最多只能破碎 TiN，但 TiN 坚硬，因此热加工工艺过程很难有效降低 TiN 夹杂物水平。

钢中 N 元素一般被认为是有害元素，要求越低越好；但是钛元素对高锰钢性能的影响很大，通常在钢的生产过程中加入一定量的钛元素后，可以起到细化晶粒组织，消除柱状晶、提高力学性能和耐磨性的作用。

降低钢中 TiN 夹杂的有效措施：(1) 加大铁水比例至 65% 以上，并采用含氮量较低的冶炼辅料（如低氮合金、造渣料等）能有效降低钢中的原始 N 含量；(2) 加强 VD 真空处理，延长真空处理时间及真空处理效果；(3) 连铸过程做好全程保护浇注：一是钢包长水口密封圈注意更换，钢包长水口 100%

吹氩保护，氩气流量控制在 $25 \sim 35\text{ L/min}$ ，水口挂正，防止吸气污染钢水，严禁冲击区出现钢水翻腾情况。开浇中间包覆盖剂 6 袋、碳化稻壳 6 袋，稳定中间包液面，确保正常生产时中间包液面不低于 700 mm ，防止液面波动吸气污染钢水。(4) 控制好钢液的浇铸温度，采用低过热度浇铸；(5) 减轻铸坯偏析，对 25MnBM 钢二冷配水模型进行优化，由弱冷改为超弱冷，确保结晶器电磁搅拌和末端电磁搅拌正常使用；(6) 氮含量控制在 70×10^{-6} 以下，控制好 Ti/N 在 $4 \sim 7$ 内。

2.3 稀土对 25MnBM 钢非金属夹杂物影响

钢铁工业一直是使用稀土最多的领域，稀土在钢中的加入量很少，处理工艺也较为简单，具有成本低而作用大的效果。稀土在钢中作为添加剂，起到净化、变质和微合金化的作用，可减少和改善钢中夹杂物的数量、形态和组织结构，从而显著提高钢的强度和韧性，提高钢的耐高温氧化性能、热加工性能及耐磨性、耐蚀性^[4-5]。

在上述工艺优化的基础上，开展两轮稀土添加对 25MnBM 钢非金属夹杂物影响的研究，稀土元素为 La + Ce。首轮试验 3 炉，稀土在 VD 上钢后加入，加入量 $0.25\text{ kg/t}_{\text{钢}}$ ；第二轮试验 5 炉，稀土在 LF 出钢加入，加入量 $0.2\text{ kg/t}_{\text{钢}}$ 。采用铝皮包裹稀土插入钢水中，稀土加入前，控制钢中全氧含量 $\leq 20 \times 10^{-6}$ ，S 含量不大于 0.005% ；稀土加入后，在 $\leq 67\text{ Pa}$ 下真空保持时间 $\geq 15\text{ min}$ ，软吹时间 $\geq 20\text{ min}$ ，做好保护浇注。出钢后每一炉取一支长度 20 cm 连铸坯，锻制成 $\Phi 65\text{ mm}$ 的圆棒，按钢材相应的取样标准，进行非金属夹杂物的检验。

3 试验结果及分析

3.1 TiN 夹杂物优化前后对比

对工艺优化前后钢中 TiN 夹杂进行对比，如表 3 所示。TiN 夹杂在 200 倍的金相显微镜下进行观察，工艺优化前，部分炉次 TiN 夹杂呈现链状分布，总长度较长，约 $200\text{ }\mu\text{m}$ 左右，同时对应材料冲击功约为 70 J 左右；工艺优化后，钢材的 TiN 夹杂物呈现的链状分布明显降低，均控制在 $40\text{ }\mu\text{m}$ 以下，满足客户的要求，而且冲击功均稳定在 90 J 以上。这主要是由于 TiN 夹杂物对钢的高温延性有很大影响，其原因是细小的第二相析出物（如 AlN、TiN 等）能有效钉扎奥氏体晶界，从而降低延性。据研究指出，TiN 对强度的影响不明显，但对拉伸韧塑性及冲击韧性有显著影响。而工艺优化后，TiN 的数量及

表3 25MnBM 钢工艺优化前后 TiN 夹杂尺寸及冲击功
Table 3 TiN size and impact energy of 25MnBM steel before and after process optimization

工艺	TiN 尺寸/ μm	常温冲击功(Aku)/J
优化前	70 ~ 200	55 ~ 75
优化后	10 ~ 40	90 ~ 110

尺寸得到了有效的控制,相应的冲击功也有较大的提高。

3.2 稀土试验

(1)对方案1第一轮添加稀土与同浇次未添加稀土的25MnBM 钢的非金属夹杂物进行对比分析,

表4 方案1,稀土加入试验,钢中非金属夹杂物统计结果
Table 4 Statistic results of nonmetallic inclusions in steel, RE adding test, scheme No1

编号	视场数	夹杂物数量/个				夹杂物尺寸/ μm			面积百分比/%
		1 ~ 2 μm	2 ~ 5 μm	5 ~ 10 μm	> 10 μm	平均值	最大值	最小值	
1-1	20	52	485	327	63	5.13	31.58 (17)	1.78	0.102
		(5.61%)	(52.32%)	(35.28%)	(6.80%)				
1-1RE	20	85	790	312	39	4.38	23.95 (14)	1.78	0.091
		(6.93%)	(64.44%)	(25.45%)	(3.18%)				

表5 方案2,稀土加入试验,钢中非金属夹杂物检验结果
Table 5 Statistic results of nonmetallic inclusions in steel, RE adding test, scheme No2

编号	总数量/个	视场数/个	不同尺寸夹杂物数量/个				夹杂物尺寸/ μm			面积百分比/%
			1 ~ 2 μm	2 ~ 5 μm	5 ~ 10 μm	> 10 μm	平均值	最大值	最小值	
2-1	442	20	26	275	122	19	4.57	19.16	1.78	0.037
			(5.88%)	(62.22%)	(27.60%)	(4.30%)				
2-2	1037	20	153	779	95	10	3.21	14.93	1.78	0.041
			(14.75%)	(75.12%)	(9.16%)	(0.96%)				
2-1RE	405	20	40	301	63	1	3.57	10.62	1.78	0.019
			(9.88%)	(74.32%)	(15.56%)	(0.25%)				
2-2RE	664	20	69	535	56	4	3.26	16.51	1.78	0.026
			(10.39%)	(80.57%)	(8.43%)	(0.60%)				

结果如表4所示。从表中可以看出,加入稀土后,夹杂物总面积减小,最大夹杂物尺寸和夹杂物平均尺寸均减小,对疲劳性能影响较大的 $\geq 10 \mu\text{m}$ 的夹杂物数量减少,稀土对钢起到了较好的净化作用。

(2)对第二轮添加稀土与同浇次未添加稀土的25MnBM 钢的非金属夹杂物进行对比分析,结果如表5所示,从表中可以看出,夹杂物总面积比例及最大夹杂物尺寸均有所减小。

4 结论

(1)采用50 t电弧炉短流程生产25MnBM 履带板用钢,通过降低氮含量及优化连铸生产工艺,可显著降低钢中的TiN夹杂物的数量及尺寸,从而提高钢的冲击功达到90 J以上。

(2)稀土可改善25MnBM 钢中的非金属夹杂物,按0.2 ~ 0.25 kg/t_钢加入稀土后,夹杂物总面积减小,最大夹杂物尺寸和夹杂物平均尺寸减小,

$\geq 10 \mu\text{m}$ 的夹杂物数量减少,稀土对钢起到了较好的净化作用。

参考文献

- [1]袁淑君,欧阳峥容,梁娜,等. 25MnBM 高淬透性履带板用钢的研发[J]. 莱钢科技, 2013, 36(6): 35-37.
- [2]战东平,姜周华,龚伟,等. 轴承钢中氮化钛的生成与控制[J]. 过程工程学报, 2009, 9(3): 238-241.
- [3]田新中,薛正学,钟保军. 轴承钢中TiN夹杂物的控制研究[C]. 青岛:中国金属学会特钢分会、特钢冶炼学术委员会2009年年会论文集, 2009.
- [4]刘爱生. 稀土处理钢与稀土钢[J]. 中国稀土学报, 2000, 18(3): 59-61.
- [5]王洪刚,胡小琳,纪云玲. 高强度耐磨稀土钢的研制[J]. 铸造设备与工艺, 2011, 32(3): 43-45.

卢乃双(1982-),男,工程师,2007年辽宁科技大学(本科)毕业,优特钢研究。E-mail: lgtglns@163.com

收稿日期:2019-11-28