

提高 26 t 中间包覆盖剂碱度改善管坯质量的生产实践

李国丰 王学义 张兵 孙健

(天津天管特殊钢有限公司, 天津 300301)

摘要 生产试验钢种 26CrMo4, 30Mn5 和 30Mn6V 的冶金流程为 150 t EAF-LF-VD- Φ 210 ~ 310 mm 管坯连铸。从 6 炉钢使用原低碱度中间包覆盖剂和 15 炉高碱度覆盖剂(/% : 9.2MgO, 0.87Fe₂O₃, 44.03CaO, 7.53SiO₂, 18.68Al₂O₃) 冶炼的钢中夹杂物的分析结果表明, 使用现有低碱度中间包覆盖剂钢中 Al 含量从 VD 弱搅结束后到中间包衰减 $5 \times 10^{-6} \sim 35 \times 10^{-6}$, 平均 Al 含量减少 25×10^{-6} , 而使用碱度为 6 中间包覆盖剂衰减 $10 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$, 使用原覆盖剂 VD 到中间包 300 mm² 钢样上 1 ~ 10 μ m 夹杂物明显增多, > 10 μ m 夹杂物减少, 而使用碱度为 6 覆盖剂 VD 到中间包相同面积钢样上 1 ~ 10 μ m 夹杂物减少, > 10 μ m 夹杂物明显减少, 表明碱度为 6 的中间包覆盖剂比原覆盖剂更适合纯净钢生产。

关键词 中间包覆盖剂 高碱度 夹杂物 铝含量

Production Practice for Improvement of Quality of Tube Bloom by Increasing Basicity of 26 t Tundish Covering Powder

Li Guofeng, Wang Xueyi, Zhang Bing and Sun Jian

(Special Steel Co Ltd, Tianjin Steel Pipe Group, Tianjin 300301)

Abstract The metallurgy flowsheet of tested production steel grades 26CrMo4, 30Mn5 and 30Mn6V is 150 t EAF-LF-VD- Φ 210 ~ 310 mm tube bloom casting. The results of analysis on inclusions in steels steelmaking by 6 heats using original low basicity tundish covering powder and by 15 heats using high basicity tundish covering powder (/% : 9.2MgO, 0.87Fe₂O₃, 44.03CaO, 7.53SiO₂, 18.68Al₂O₃) show that with using original low basicity tundish covering powder, the Al content in liquid from end VD soft stirring to tundish decreases by $5 \times 10^{-6} \sim 35 \times 10^{-6}$, average Al content decreases by 25×10^{-6} , but that with using basicity 6 tundish covering powder decreases by $10 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$; with using original covering powder the amount of 1 ~ 10 μ m inclusions in steel sample at 300 mm² area increases obviously from VD to tundish and that of > 10 μ m inclusions decreases, but with using basicity 6 tundish covering powder the amount of 1 ~ 10 μ m inclusions in steel sample at same area decreases from VD to tundish and that of > 10 μ m inclusions decreases obviously, it indicates that as compared with original covering powder the basicity 6 tundish covering powder is more suitable for steelmaking of clean steel.

Material Index Tundish Covering Powder, High Basicity, Inclusions, Aluminium Content

中间包覆盖剂在控制铸坯质量方面发挥十分重要的作用。在国内钢厂使用的中间包覆盖剂各不相同。宝钢自行开发 CaO-SiO₂-Al₂O₃ 系碱度大于 4 的高碱度覆盖剂, 研究表明, 该覆盖剂能减少对中间包内衬的侵蚀, 减少二次氧化和避免与钢液发生反应污染钢液^[1]。北京科技大学张立峰等对不同碱度的覆盖剂分别进行了研究, 表明生产低碳铝镇静钢时, 为改善钢水清洁度, 使用高碱度、低 SiO₂ 含量, 适量 Al₂O₃ 的覆盖剂, 有利于吸附钢水中夹杂物防止氧化钢液, 抑制钢水回硫^[2]。太原钢铁公司王建昌等研究表明高碱度覆盖剂对吸附钢中硅酸类夹杂物效果明显^[3]。邯钢钢铁公司杨海滨等研究了双层覆盖剂的使用, 表明该覆盖剂能避免增碳, 减少中间包热量损失, 减少中间包结壳等^[4]。Bessho 等对配有一个 250 t 钢包和一个 50 t 中间包、浇注超低碳

铝镇静钢的双流连铸机中、不同 CaO/SiO₂ 比值的 4 种中间包覆盖剂进行了研究, 表明要降低钢中的全氧含量需要高的 CaO/SiO₂ 比值, 发现使用高碱度覆盖剂铸坯中的簇状夹杂物数比使用低碱度覆盖剂的要低得多, 碱度为 10 或更高的覆盖剂比较适合洁净的铝镇静钢浇注^[5]。

1 管坯生产工艺及中间包覆盖剂现状

钢厂设计有 1 座 150 t 电弧炉、1 座双工位 150 t 钢包精炼炉、1 座 150 t VD, 1 台 6 机 6 流弧形圆坯连铸机, 铸坯直径分别为 Φ 210 mm、 Φ 270 mm、 Φ 310 mm, 中间包容量为 26 t, 熔池深度 770 mm, 采用长水口和氩封的保护浇注工艺。生产的主要钢种包括: 低碳管线钢、中碳铬钼钢、中碳锰钢等, 典型钢种分别为: 12Mn4V、14Mn5V、26CrMo4、26CrMo48V、37Mn、37Mn5 等。生产管坯时的工艺为: 热装 40%

铁水+废钢电弧炉初炼,钢包炉精炼,真空脱气,连铸浇注,火焰切割,铸坯修整。

目前该厂中间包覆盖剂分为3种,分别为电熔镁砂、低碳覆盖剂、高碳覆盖剂,开浇时按上述顺序依次加入每孔4袋电熔镁砂和4袋低碳覆盖剂,后续全部加入高碳覆盖剂。3种覆盖剂的主要成分见表1所示。

2 现有中间包覆盖剂存在问题

为了评价现有覆盖剂对钢液质量的影响,在钢种26CrMo4生产过程中取样分析,钢种化学成分见表2。在VD弱搅拌结束后从钢包取饼样2块,连铸浇注过程中浇注70 t钢液后从中间包取能做气体分析饼样2块,最后在切割第3组铸坯同一流取铸坯内弧样1块。共计取样6炉,通过比较分析Al含量的变化,N含量的变化,单位面积上夹杂物数量的变化评价覆盖剂对钢液质量的影响,见表3。其中Al衰减量由2个钢包样的平均值减去2个中间包样的平均值所得,氮增加量由2个中间包平均值减去2个钢包样平均值所得。2个试样夹杂物分析是将圆饼样沿直径切开后选取300 mm²面积,在显微镜下逐一分辨大小并记录的,铸坯样同样选取300 mm²面积,其中401和402代表钢包样,602代表中间包

样,701代表铸坯样。

6炉次检验结果表明,使用当前中间包覆盖剂钢液中氮含量中间包样比钢包样降低 $5 \times 10^{-6} \sim 17 \times 10^{-6}$,作为衡量长水口保护浇注的重要参数,氮含量的降低可以说明连铸保护浇注较好,Al衰减量为 $5 \times 10^{-6} \sim 35 \times 10^{-6}$,平均衰减量 25×10^{-6} ,因此认为Al含量的衰减是由于现有中间包覆盖剂的氧化引起的。

从表3可以看出,使用低碱度覆盖剂时,1~10 μm夹杂物从VD到中间包增加很多,10~15 μm夹杂物从VD到中间包有增多有减少,15~20 μm夹

表1 原中间包覆盖剂化学组成/%

Table 1 Ingredient of original tundish covering powder/%

覆盖剂类型	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	C	H ₂ O
电熔型	<8	0.58	30.48	0.94	42.62	0.30	<0.5
高碳覆盖剂	5.13	3.78	16.48	42.40	6.04	11.36	<1.0
低碳覆盖剂	7.54	1.62	23.29	24.16	8.21	0.10	<1.0

表2 26CrMo4钢化学成分/%

Table 2 Chemical composition of steel 26CrMo4/%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al
0.24~0.29	0.17~0.35	0.85~1.10	<0.015	<0.010	0.80~1.05	0.15~0.20	0.005~0.040

表3 原中间包覆盖剂VD弱搅拌后、中间包、铸坯300 mm²面积钢样上0~100 μm夹杂物个数

Table 3 Distribution of 0~100 μm inclusions number at 300 mm² area of specimen sampled at end VD soft stirring, tundish and casting bloom with original tundish covering powder

炉次	取样工序	试样号	夹杂物尺寸(μm)的数量/个								
			1~5	>5~10	>10~15	>15~20	>20~30	>30~40	>40~50	>50~100	>100
1	钢包	401	2	8	3	2	5	4	2	6	4
		402	2	6	3	6	0	2	2	3	2
	中间包 铸坯	602	49	39	7	0	1	-	-	-	-
		701	68	22	4	-	-	-	-	-	-
2	钢包	401	14	15	6	8	3	1	3	5	3
		402	12	5	3	3	0	3	0	0	1
	中间包 铸坯	602	19	4	0	1	-	-	1	-	-
		701	24	6	1	0	-	-	-	-	-
3	钢包	401	10	10	5	0	4	1	1	1	2
		402	28	8	7	1	0	1	1	4	1
	中间包 铸坯	602	55	20	7	2	0	0	1	-	-
		701	52	24	0	0	-	-	-	-	-
4	钢包	401	37	11	7	2	8	4	2	2	2
		402	30	17	11	11	10	5	5	11	2
	中间包 铸坯	602	106	41	5	0	2	-	-	-	-
		701	52	40	8	1	-	-	-	-	-
5	钢包	401	56	30	7	5	4	7	4	3	1
		402	53	17	4	2	5	4	2	2	-
	中间包 铸坯	602	110	89	15	2	1	-	-	-	-
		701	62	65	8	0	-	-	-	-	-
6	钢包	401	5	10	8	6	6	2	-	5	6
		402	8	11	4	5	5	4	-	4	3
	中间包 铸坯	602	25	12	2	1	-	-	-	-	-
		701	40	13	2	0	-	-	-	-	-

杂物从 VD 到中间包是减少的趋势。通过扫描电镜对各种尺寸夹杂物的成分进行了分析,夹杂物成分主要是以铝酸钙为主,并含有硫化钙、氧化镁等物质的复合夹杂物。

3 碱度为 6 的中间包覆盖剂试验情况

在钢种 30Mn5 和 30Mn6V 上分别进行了碱度为 6 左右覆盖剂试验,其中 30Mn5 炉次为 1~8 炉,30Mn6V 炉次为 9~15 炉,覆盖剂化学组成见表 4,钢种的化学成分见表 5。试验过程中前 8 炉只使用了碱度为 6 的高碱度覆盖剂,后面 7 炉使用了电熔镁砂和碳化稻壳(中间包内先加入每孔 4 袋电熔镁砂后继续加入高碱度覆盖剂每孔 8 袋,最后根据情况加入碳化稻壳直到浇注结束)。为了对比钢中夹杂物数量变化,在弱搅拌结束后从钢包取饼样 2 块,

连铸浇注过程中浇注 70 t 钢液后从中间包取能做气体分析饼样 2 块,最后在切割第 3 组铸坯同一流取铸坯内弧样 2 块。每个试样夹杂物分析与前文分析

表 4 碱度为 6 中间包覆盖剂化学组成 / %

覆盖剂类型	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	C	H ₂ O
碱度为 6 覆盖剂	9.2	0.87	44.03	7.53	18.68	0.30	0.91

表 5 30Mn5 和 30Mn6V 钢化学成分 / %

钢种	C	Si	Mn	P	S	Al	V
30Mn5	0.27 ~ 0.32	0.17 ~ 0.35	1.20 ~ 1.45	< 0.025	< 0.020	0.005 ~ 0.040	0
30Mn6V	0.28 ~ 0.32	0.17 ~ 0.35	1.20 ~ 1.35	< 0.025	< 0.020	0.005 ~ 0.040	0.05 ~ 0.08

表 6 碱度为 6 覆盖剂 VD 弱搅拌后、中间包、铸坯 300 mm² 面积上 0~100 μm 夹杂物个数

Table 6 Distribution of 0~100 μm inclusions number at 300 mm² area of specimen sampled at end VD soft stirring, tundish and casting bloom with basicity 6 covering powder

炉次	取样工序	试样号	夹杂物尺寸(μm)的数量/个								
			1~5	6~10	11~15	16~20	21~30	31~40	41~50	51~100	>100
1	钢包	401	31	14	5	6	7	0	3	1	1
		402	34	8	9	7	7	5	1	4	1
	中间包	601	69	13	1	0	2	0	-	-	-
		602	43	12	3	0	-	-	-	-	-
	铸坯	701	27	4	0	-	-	-	-	-	-
		702	20	2	0	-	-	-	-	-	-
2	钢包	401	61	28	4	1	4	3	0	7	0
		402	62	28	12	6	4	1	1	11	4
	中间包	601	68	14	3	0	2	-	-	-	-
		602	81	10	2	-	-	-	-	-	-
	铸坯	701	51	6	-	-	-	-	-	-	-
		702	90	8	4	1	-	-	-	-	-
3	钢包	401	55	33	8	3	6	3	4	3	0
		402	41	27	4	3	7	3	3	7	1
	中间包	601	79	12	3	2	-	-	-	-	-
		602	62	10	6	1	1	-	-	-	-
	铸坯	701	35	9	1	3	-	-	-	-	-
		702	67	17	3	1	-	-	-	-	-
6	钢包	401	107	16	9	5	17	1	2	4	2
		402	87	18	11	3	8	2	3	4	0
	中间包	601	58	8	2	1	1	-	-	-	-
		602	90	7	0	0	1	-	-	-	-
	铸坯	701	42	12	1	-	-	-	1	-	-
		702	76	16	2	-	-	-	-	-	-
7	钢包	401	74	12	8	6	9	4	2	5	4
		402	90	27	16	13	8	5	5	3	2
	中间包	601	120	15	1	0	0	0	1	-	-
		602	102	5	0	0	-	-	-	-	-
	铸坯	701	84	12	1	2	1	-	-	-	-
		702	68	9	1	-	-	-	-	-	-
8	钢包	401	180	38	9	5	7	3	0	3	4
		402	167	31	16	5	3	2	3	3	0
	中间包	601	167	28	4	2	1	0	1	1	0
		602	186	29	4	1	2	1	0	1	0
	铸坯	701	55	6	2	0	1	0	1	-	-
		702	35	9	0	2	0	-	-	-	-

方法相同,其中 401 和 402 代表钢包样,601 和 602 代表中间包样,701 和 702 代表铸坯样。钢中夹杂物数量的变化如表 6 所示。

通过氮含量的增加判断保护浇注的数据在上次试验已经做过了,认为保护浇注比较稳定,本次试验未进行钢中氮含量的分析。从 15 炉使用碱度为 6 的中间包覆盖剂时钢中的 Al 含量衰减结果表明,14 炉 Al 含量的衰减为 $5 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6}$,只有 1 炉为 35×10^{-6} ,认为是样品的原因导致 Al 含量衰减较多。

从表 6 中可以看出,使用碱度为 6 覆盖剂时,VD 后试样与中间包试样 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 单位面积的夹杂物相差不多,6 ~ 10 μm 呈降低走势,更大一点的夹杂物到中间包已经很少了。因为其他的生产工艺没有变化,因此认为钢中的夹杂物类型基本是一致的,未对本次试验钢中的夹杂物成分进行分析。

4 两种中间包覆盖剂中间包渣样之间的比较

4.1 渣样中 Al_2O_3 含量之间的比较

从图 1 中可以看出,使用碱度为 6 覆盖剂比使用原有覆盖剂渣中氧化铝含量高,生产试验表明,当加入适当电熔镁砂和碳化稻壳后,由于碳化稻壳良好的保温性能,使中间包渣流动性更好,因此渣中的氧化铝含量更高,表明碱度为 6 的覆盖剂比原覆盖剂吸附氧化铝夹杂物的能力更强。

4.2 渣样中 MgO 含量之间的比较

从图 2 可以看出,原有覆盖剂中间包渣样中 MgO 含量比碱度为 6 覆盖剂中间包渣样中高,表明原有覆盖剂对中间包的侵蚀更大。

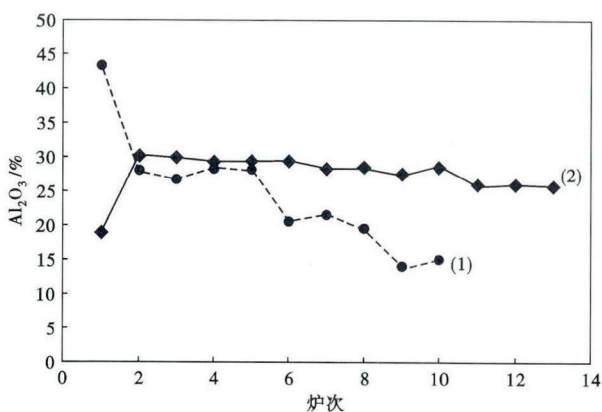


图 1 各炉次使用原覆盖剂(1)和碱度为 6 覆盖剂(2)中间包渣样中 Al_2O_3 百分含量

Fig.1 Percentage of Al_2O_3 content in tundish slag specimen for each heat by using original covering powder (1) and basicity 6 covering powder (2)

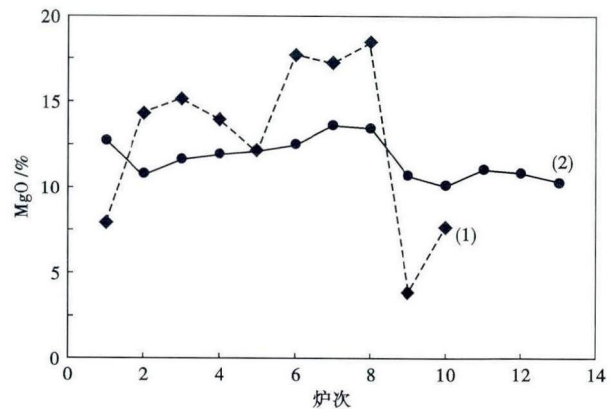


图 2 各炉次使用原覆盖剂(1)和碱度为 6 覆盖剂(2)中间包渣样中 MgO 百分含量

Fig.2 Percentage of MgO content in tundish slag specimen for each heat by using original covering powder (1) and basicity 6 covering powder (2)

5 结论

(1)从使用原覆盖剂和碱度为 6 覆盖剂的钢中 Al 含量的衰减看,碱度为 6 覆盖剂对钢液的氧化更少,更适合纯净钢生产,加入碳化稻壳后 Al 含量衰减无明显变化。

(2)从两种覆盖剂使用后钢样中单位面积夹杂物的变化和渣样中氧化铝含量变化看,碱度为 6 的覆盖剂比原覆盖剂更能吸附钢中的氧化铝夹杂物,有利于纯净钢生产。

(3)从两种覆盖剂使用后渣样中氧化镁含量的变化看,碱度为 6 的覆盖剂对中间包的侵蚀较小,有利于纯净钢生产。

(4)在碱度为 6 的覆盖剂上加入碳化稻壳能使中间包渣流动性更好,有利于夹杂物吸附。

参考文献

- [1] 陈荣欢,王妍,职建军,等. 宝钢高碱度中间包覆盖剂的开发[J]. 炼钢,2005,21(1):21-24.
- [2] 张立峰,孙利顺,蔡开科,等. 中间包覆盖剂及内衬材料对钢水清洁度的影响[J]. 炼钢,1997,13(3):46-50.
- [3] 王建昌. 高碱度中间包覆盖剂对改善 0Cr18Ni9 不锈钢洁净度的影响[J]. 特殊钢,2015,36(4):38-40.
- [4] 杨海滨. 覆盖剂在连铸生产中的应用及比较[J]. 连铸,2011(3):12-14.
- [5] Yogeshwar Sahai, Toshihiko Emi. 洁净钢生产的中间包技术[M]. 朱苗勇,译. 北京:冶金工业出版社,2009:134-138.

李国丰(1984-),男,硕士(2009年北京科技大学),工程师,2006年西安建筑科技大学(本科)毕业,炼钢工艺研究。

E-mail:hjkl-0016@163.com

收稿日期:2016-09-05