

300 t RH 加铝后循环时间对 IF 钢中脱氧夹杂行为的影响

张正群

(马钢第四钢轧总厂, 马鞍山 243000)

摘要 RH 精炼过程加铝前 IF 钢($\% : \leq 0.005\text{C}, \leq 0.04\text{Si}, 0.05 \sim 0.20\text{Mn}, \leq 0.015\text{P}, \leq 0.015\text{S}, 0.03 \sim 0.06\text{Als}$) 中的氧含量为 $340 \times 10^{-6} \sim 467 \times 10^{-6}$, 用 Aspex 扫描电镜研究了加铝后 2 ~ 10 min 钢中夹杂物类型、尺寸和数量, 结果表明, IF 钢在 RH 工序加铝脱氧后钢液中夹杂物的类型主要为氧化铝, 随着 RH 循环时间的增加, 钢液中夹杂物数量减少; 加铝真空循环 6 min 后可进行合金化, 进一步延长循环时间, 钢液中夹杂物的去除速度减缓; 加铝前 IF 钢液中的初始氧含量偏高时, 可适当延长循环时间至 8 min, 再进行合金化。

关键词 IF 钢 300 t RH 循环时间 脱氧 Al_2O_3 夹杂

Effect of 300 t RH Circulation Time after Adding Aluminium on Behavior of Deoxidation Inclusions in IF Steel

Zhang Zhengqun

(No. 4 Steelmaking and Rolling General Plant, Masteel, Maanshan 243000)

Abstract The oxygen content in IF steel ($\% : \leq 0.005\text{C}, \leq 0.04\text{Si}, 0.05 \sim 0.20\text{Mn}, \leq 0.015\text{P}, \leq 0.015\text{S}, 0.03 \sim 0.06\text{Als}$) before adding aluminium in RH refining process is $340 \times 10^{-6} \sim 467 \times 10^{-6}$, and the types, size and number of inclusions in steel after adding aluminium for 2 ~ 10 min have been studied by ASPEX scanning electron microscope. Results show that the main type of inclusions in IF steel after deoxidation by adding aluminium in RH refining process is alumina, with increasing circulation time of RH refining the number of inclusions in liquid decreases; with after adding aluminium for 6 min it is available to alloying operation and further prolonging circulation time the removing rate of inclusions in liquid slows down; as the initial oxygen content in IF liquid before adding aluminium is rather higher, it may be appropriate to extend circulation time to 8 min then to alloying.

Material Index IF Steel, 300 t RH Circulation Time, Deoxidation, Al_2O_3 Inclusions

含 Ti-IF 钢因其具有较好的深冲性能而被广泛用于汽车板, 汽车板除要求冲压成型性外, 对产品的表面质量要求亦较高, 而钢中夹杂物超标是目前影响汽车板表面质量的主要原因之一。当前含 Ti-IF 钢脱氧夹杂物主要通过 RH 真空循环过程中碰撞、聚合去除。孙彦辉等人的研究表明^[1], RH 进站钢水初始氧高, 钢水顶渣氧化性强时, 适当延长脱氧后的循环时间可降低钢液中全氧含量。舒宏福等人的研究表明^[2], IF 钢加铝脱氧循环 6 min 后簇状氧化铝夹杂消失, 钢水中夹杂物以小于 5 μm 的球形和块状氧化铝为主。Bernhard、姜茂发、赵定国等人的研究表明^[3-5], Ti 加入后形成的铝钛复合夹杂对钢水的可浇性有影响; 区铁等人的研究则表明^[6], 在真空条件下, 过度的循环会导致界面夹杂物返回钢水, 污染钢液, 因此研究加铝后的循环时间对现场生产有一定的指导意义。

1 取样方案及试样分析

1.1 取样方案

在 RH 工序同一浇次中的连续 3 炉取样, 取样

钢种为 IF 钢, 此钢种工艺路径为 300 t 复吹转炉 → 合金微调站 → RH 真空处理 → 板坯连铸, 钢包钢水容量 300 t, 合金微调站加入高铝渣进行顶渣改质, 渣中 TFe 平均 $\leq 8\%$, 此钢种 RH 处理工艺为 RH 真空深脱碳 → 脱碳结束加铝脱氧及合金化 → 真空循环 → 加入钛铁合金 → 真空循环 → 破空; RH 处理过程中真空度 ≤ 100 Pa, 提升气体流量 140 ~ 190 m^3/h , 浸渍管内径为 750 mm。取样炉次的真空处理条件相同, 取样时机、RH 进站钢水温度 (取样炉次 RH 处理过程中未采用铝氧反应化学升温)、加铝量 (根据脱碳结束终点氧含量一次性加入)、脱氧前钢液中活度氧含量、RH 破空前钢液中全氧含量以及 RH 精炼终点 Als 含量分别如表 1 所示, 取样炉次钢种相同, 钢种的化学成分控制要求如表 2 所示。

1.2 试样分析

1.2.1 试样制备

所有试样均采用提桶取样器进行取样, 取样时间如表 1 所述, 试样取好后沿底部向上 25 mm 平行于底面位置进行锯切, 锯切截面如图 1 阴影所示, 对

表 1 RH 加铝后取样时间及钢液氧含量

Table 1 Sampling time and oxygen content in liquid after RH adding aluminium

炉次	试样号	取样时间(加铝后)/min	RH 进站钢水温度/℃	加铝脱氧前钢液 [O]/10 ⁻⁶	加铝量/kg	RH 精炼终点 T[O]/10 ⁻⁶	RH 精炼终点钢液中 Als 含量/%
1	1-X	2,4,6,8	1 624	351	340	25	0.040
2	2-X	3,5,7,10	1 627	340	344	27	0.044
3	3-X	2,4,6,8	1 621	467	381	22	0.041

表 2 IF 钢水化学成分/%

Table 2 Chemical composition of IF liquid / %

C	Si	Mn	P	S	Als	Ti
≤0.005	≤0.04	0.05 ~ 0.20	≤0.015	≤0.015	0.03 ~ 0.06	0.04 ~ 0.07

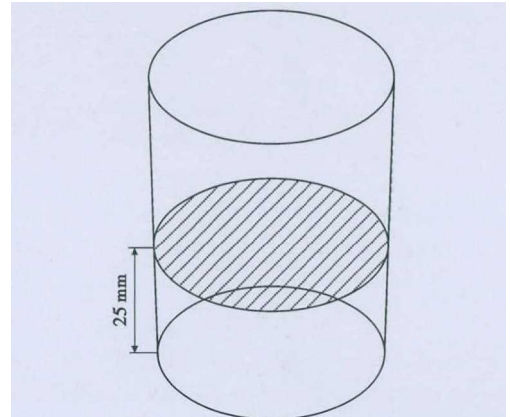


图 1 试样扫描位置示意图

Fig. 1 Schematics of sample scanning position

表 3 RH 精炼加铝后不同循环时间 IF 钢中夹杂物个数和最大尺寸

Table 3 Number and max size of inclusions in IF steel for different circulation time after adding aluminium during RH refining process

炉次	试样编号	加铝后(脱碳结束后)扫描面积/mm ²	夹杂物/个					夹杂物总数	最大夹杂物尺寸/μm	
			1~5 μm	6~10 μm	11~20 μm	21~30 μm	>30 μm			
1	1-1	2	58	7 871	220	14	5	0	8 110	29
	1-2	4	58	6 432	111	9	0	1	6 463	35
	1-3	6	58	2 975	176	31	1	0	3 183	21
	1-4	8	57	2 566	95	17	0	0	2 678	16
2	2-1	3	58	5 462	220	14	5	0	5 701	29
	2-2	5	58	3 275	147	8	0	0	3 430	19
	2-3	7	58	2 646	79	9	0	0	2 734	20
	2-4	10	58	1 962	148	13	0	0	2 123	15
3	3-1	2	58	7 035	63	6	0	1	7 105	35
	3-2	4	58	5 019	374	2	5	5	5 405	54
	3-3	6	58	3 251	799	176	9	8	4 243	58
	3-4	8	58	2 711	39	10	1	0	2 761	22

锯切后的截面位置进行打磨、抛光以满足电镜扫描要求。

1.2.2 电镜分析

采用 ASPEX 扫描电镜对试样抛光面进行夹杂物扫描,并分析夹杂物的类型、大小及数量,扫描面积,具体分析结果见表 3。

2 试样分析结果及讨论

2.1 试样分析结果

各试样经 ASPEX 扫描后的夹杂物类型、大小及数量情况分别如表 3,图 2。

2.2 结果分析讨论

由以上各试样的分析结果可以看出,IF 钢在 RH 工序加铝脱氧后钢液中的夹杂物主要为 10 μm 以下的氧化铝夹杂,夹杂中含有一定的 Si、Mn 含量,分析为铝将顶渣中 Si、Mn 氧化物还原导致,不同取样时间对应的夹杂物如表 3 所示,由表 3 可以看出,随着加铝后 RH 真空循环时间的延长,钢液中

夹杂物的数量呈下降趋势,对试验炉次 1、2,加铝真空循环 6 min 后,进一步延长循环时间,钢液中夹杂物的去除速度减缓,对试验炉次 3,加铝真空循环 6 min 后,钢液中夹杂物数量仍较多,分析认为与加铝前钢液中的初始氧含量偏高有关。

3 结语

(1) IF 钢 RH 工序加铝脱氧后钢液中夹杂物的类型主要为氧化铝夹杂物。

(2) RH 真空循环过程中,氧化铝夹杂物碰撞聚合并上浮去除的作用明显,随着循环时间的增加,钢液中夹杂物数量整体呈减少趋势。

(3) 试验炉次 1 和 2 对应的试样 1-X、2-X,加铝真空循环 6 min 后,进一步延长循环时间,钢液中夹杂物的去除速度减缓;试验炉次 3 对应的试样 3-X,加铝真空循环 6 min 后,钢液中夹杂物数量仍较多,分析认为与加铝前钢液中的初始氧含量偏高有关,加铝前钢液中初始氧高的炉次可适当延长循环时间

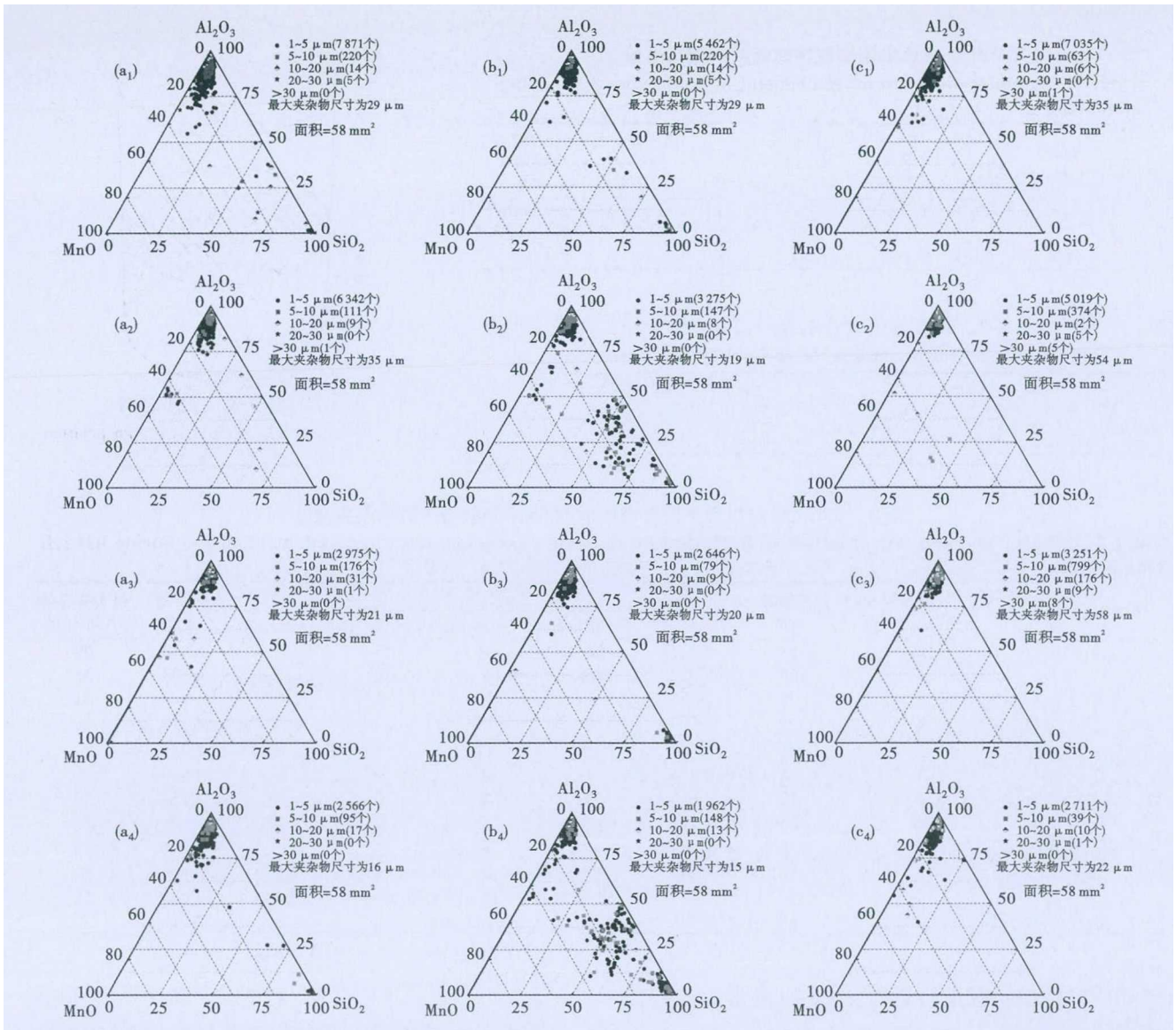


图 2 RH 加铝后循环时间对 IF 钢夹杂物分布的影响: 炉次 1, 加铝后/min- (a₁) 2, (a₂) 4, (a₃) 6, (a₄) 8; 炉次 2, 加铝后/min- (b₁) 3, (b₂) 5, (b₃) 7, (b₄) 10; 炉次 3, 加铝后/min- (c₁) 2, (c₂) 4, (c₃) 6, (c₄) 8

Fig. 2 Effect of RH circulation time after adding aluminium on distribution of inclusions in IF steel; heat No1, after adding aluminium for 2 (a₁), 4 (a₂), 6 (a₃) and 8 (a₄) min; heat No2, after adding aluminium for 3 (b₁), 5 (b₂), 7 (b₃) and 10 (b₄) min; heat No3, after adding aluminium for 2 (c₁), 4 (c₂), 6 (c₃) and 8 (c₄) min

再进行合金化。

(4) 兼顾产品用途对夹杂物的最终要求和循环过程中的温降以及工序能耗, 本研究中 IF 钢加铝脱氧循环 6 min 后, 再进行合金化较为合理。

参考文献

[1] 孙彦辉, 张琳, 倪有金, 等. RH 处理超低碳铝镇静钢的总氧预测模型及应用[J]. 北京科技大学学报, 2009, 31(8): 974-977.
 [2] 舒宏富, 刘学华, 张晓峰. RH 过程中 IF 钢全氧和夹杂物的变化规律试验研究[C]. 2011 年华东五省炼钢学术交流会论文集, 2011: 39-41.
 [3] Bernhard C, Xia G and Karasangabo A, et al. 超低碳钢连铸过程中 Ti 和 P 对水口结瘤的影响[J]. 世界钢铁, 2012(5): 19-27.

[4] 姜茂发, 张志祥, 王德永, 等. 铝钛脱氧钢中夹杂物特征及水口结瘤问题分析[J]. 工艺加热, 2011, 40(4): 60-63.
 [5] 赵定国, 李新, 王书桓, 等. 浸入式水口内夹杂物碰撞吸附行为[C]. 第十届中国钢铁年会暨第六届宝钢学术年会论文集. 北京: 冶金工业出版社, 2015: 1-7.
 [6] 区铁, 朱万军, 田义胜, 等. RH 精炼钢中全氧量变化与操作改进[J]. 北京科技大学学报, 2009, 31(增刊 1): 72-75.

张正群(1979-), 男, 硕士(2013年北京科技大学), 工程师, 2004年太原理工大学(本科)毕业, 汽车板洁净钢冶炼工艺研究. E-mail: Zhangzhengqun18@163.com

收稿日期: 2017-09-05