

· 组织和性能 ·

汽车板深冲用 DC06 IF 钢 230 mm 铸坯夹杂物分布研究

刘俊山^{1,2} 张 华¹ 倪红卫¹ 李庆胜² 成日金¹

(1 武汉科技大学钢铁冶金及资源利用省部共建教育部重点实验室, 武汉 430081;

2 河北钢铁集团邯钢分公司邯宝炼钢厂, 邯郸 056001)

摘 要 针对邯宝炼钢厂采用“复吹转炉-RH 精炼-板坯连铸”工艺生产的 IF 钢铸坯, 通过 SLIME 法电解萃取, 过滤分离, SEM 及 EDS 等手段, 对不同位置铸坯的夹杂物的数量、尺寸、成分及来源进行了系统的分析。研究表明, 头坯 1.5 m 处的全氧、氮含量分别为 70×10^{-6} 、 47×10^{-6} , 明显高于交接坯和正常坯; 头坯 2.5 m 处夹杂物数量达 22.1 mg/10 kg, 是正常铸坯的 27 倍; 铸坯头坯中夹杂物的主要成分为富含 K、Na 的 SiO_2 类夹杂, 是结晶器保护渣卷渣所致, 夹杂物的尺寸主要在 300 μm 以内。需优化保护渣成分, 粘度增大为 $(0.5 \pm 0.1) \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 提高保护渣 Al_2O_3 含量等手段降低卷渣风险。通过增加头尾坯切除量, 并进行火焰清理, 深冲用钢因铸坯夹杂缺陷造成的热轧带降级率由 0.3% ~ 0.4% 降至 0.2% 以下。

关键词 深冲用钢 夹杂物 铸坯 缺陷

Study on Inclusion Distribution of Auto Deep-Drawing DC06 IF Steel 230 mm Casting Slab

Liu Junshan^{1,2}, Zhang Hua¹, Ni Hongwei¹, Li Qingsheng² and Cheng Rijin¹

(1 Key Laboratory for Ferrous Metallurgy and Resources Utilization of Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081; 2 Handan Steelmaking Plant, HBIS Group Hansteel Company, Handan 056001)

Abstract The IF steel that produced in Hanbao steelmaking plant was followed the procedure of combined blowing converter-RH refining-slab continuous casting. The number, size, composition and source of inclusions in different positions of the slab were systematically analyzed by means of SLIME, electrolytic extraction, filtration and separation, SEM and EDS. The results showed that the total oxygen and nitrogen contents of the head slab at 1.5 m are 70×10^{-6} , 47×10^{-6} respectively, which is significantly higher than that of the mixed and the normal slab. The number of inclusions at 2.5 m of head slab is 22.1 mg/10 kg, which is 27 times as high as that of the normal slab. The main composition of the inclusions in the slab is the SiO_2 inclusion rich in K and Na, which is caused by the mould slag, and the size is mainly within 300 μm . It is necessary to optimize the composition of the slag, increase the viscosity to $(0.5 \pm 0.1) \text{ Pa} \cdot \text{s}$, improve the slag content of Al_2O_3 and other means to reduce the risk of slag entrainment. By decreasing the amount of head and tail slab removal and flame cleaning, the degradation rate of hot strip caused by inclusions defects in deep drawing steel decreased from 0.3% ~ 0.4% to below 0.2%.

Material Index Deep-Drawing Steel, Inclusions, Slab, Defect

IF 钢(无间隙原子钢 Interstitial-Free Steel)具有优良的深冲性能, 被广泛应用于汽车、家电等领域, 已经成为钢铁企业生产汽车用钢水平的标志^[1]。超低碳钢作为冷轧钢的主要基料, 尤其用于车内板和外板, 要求减少钢中夹杂物^[2,3], 使钢板深冲性能良好^[4-7]。邯钢在生产深冲用钢过程中因铸坯夹杂缺陷造成的热轧带降级率一度升至 0.3% ~ 0.4%。浇铸过程中, 非稳态浇铸钢包下渣、中间包、结晶器卷渣是铸坯中夹杂物的主要来源, 虽然数量少, 但会影响冷轧板表面缺陷^[8], 有必要对其进行跟踪和分

析, 给质量管理以量化指导。

1 邯钢深冲用钢生产流程及取样方法

1.1 邯钢深冲用钢生产流程

IF 钢 DC06 的化学成分见表 1。生产流程: 鱼雷罐车 → 倒罐站 → 铁水包 → 钙、镁复合预脱硫 → 260 t 顶底复吹转炉 → RH 真空精炼炉 → 常规板坯连铸(900 ~ 2 150) mm × 230 mm。

铁水处理后硫含量平均为 0.003%, 过程目标硫含量小于 0.004%。转炉终点碳控制 0.025%, 目标控制 0.025% ~ 0.035%。转炉终点温度控制

通讯作者: 张 华, 副教授, 武汉科技大学材料与冶金学院冶金工程系, 武汉 430081

E-mail: huazhang@wust.edu.cn

表 1 IF 钢 DC06 主要化学成分 / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Als	Ti	N
目标值	≤ 0.0018	≤ 0.006	0.12	≤ 0.006	≤ 0.003	0.030	0.05	≤ 0.002
判定标准	≤ 0.0020	≤ 0.010	0.08 ~ 0.14	≤ 0.012	≤ 0.009	0.02 ~ 0.05	0.04 ~ 0.06	≤ 0.003

1 693 °C, 目标控制 1 690 ~ 1 700 °C。

转炉出钢过程中采用加入含铝量 40% 的铝渣, 进行预脱氧顶渣改质工艺, 同时加入适量小粒白灰调整顶渣 Ca/Al 比在 1.2 ~ 1.8。RH 处理结束后进行二次改质, 加入小袋铝渣, 出站后顶渣 FeO + MnO 含量控制在 7% 以下。连铸浇铸过程钢水过热度控制在 30 ~ 35 °C, 按照 1.3 m/min 恒速稳态浇铸。

1.2 试验方法及取样位置

通过选取某一浇次中最具代表性的 6 炉为研究对象, 分别为第 1 炉头坯的 1.5、2.5、3.5 m, 第 1 炉与第 2 炉的交接坯, 第 2 炉的正常坯, 最后一炉的尾坯末端 1.5 m。取样位置为铸坯横截面的 1/4 处, 取样大小为 50 mm × 50 mm × 240 mm, 详见图 1。

对各炉次取得的铸坯样经锯床切割成 20 mm × 20 mm × 10 mm 的氮、氧分析试样和 40 mm × 40 mm × 200 mm 的大样电解试样。采用 ELTRA-ONH2000 氮氧联合分析仪测定小样中的全氧和氮含量。对大样经 SLIME 法电解萃取, 过滤分离, 然后在电子显微镜下观察夹杂物形貌, 利用 SHIMADZU SSX-550 型扫描电镜下观察夹杂物的尺寸并利用其自带的能谱分析仪对夹杂物的成分进行分析。

2 结果分析与讨论

2.1 铸坯中全氧、氮含量的分析

IF 钢洁净度要求更严格, T[O] 要低于 30×10^{-6} 。对于冷轧超深冲汽车用钢, 钢中夹杂物的尺寸必须控制在 100 μm 以下^[9-10]。一般认为超过 30 μm, 就会带来危害, 而小于 30 μm 的夹杂物被认为是无害的, 也有认为, 甚至是小于 10 μm 的夹杂物都是被看作是有危害的。这些夹杂物在后续轧制中被碾碎, 拉长导致出现严重影响外观的线状或点状缺陷^[11-12]。为此, 本研究对各试样的全氧、氮含量进行了统计

分析, 见图 2。从图 2 可以看出, 头坯 1.5 m 处全氧、氮含量最高, 分别达 47×10^{-6} 和 70×10^{-6} , 到头坯头部 3.5 m 处时, 全氧、氮含量分别降至 17×10^{-6} 和 32×10^{-6} , 接近铸坯正常水平, 交接坯的氮、氧变化不大, 与正常坯相同。尾坯末端 1.5 m 处与 2.5 m 处的氧含量与正常坯相同, 氮含量有所增加, 增加 5×10^{-6} 。

2.2 铸坯夹杂物形貌及数量统计

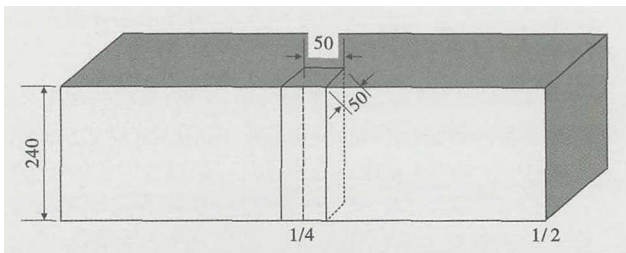


图 1 铸坯取样位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of casting billet sampling point

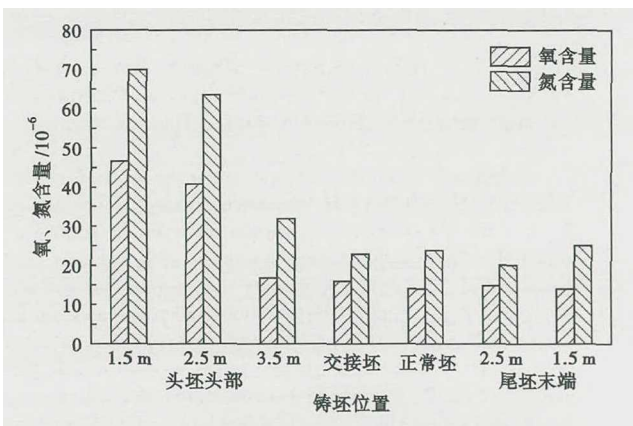


图 2 不同位置铸坯的氮、氧含量变化情况

Fig. 2 T[O] and [N] contents in different positions of slab

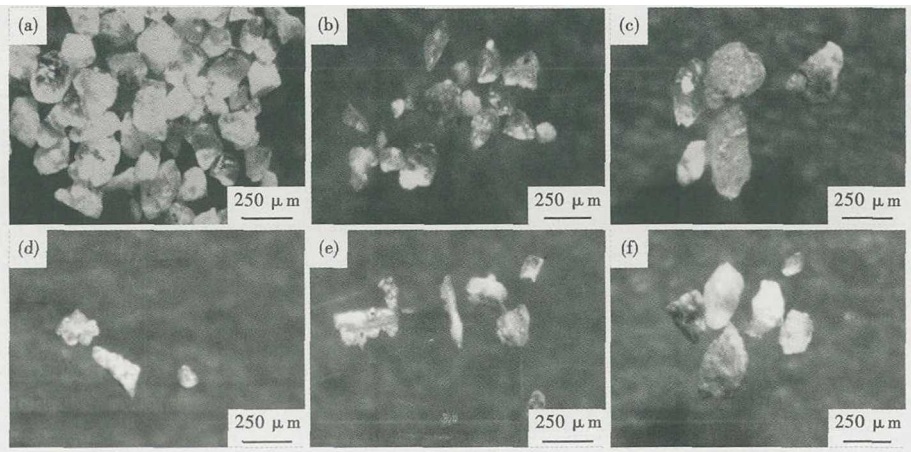


图 3 铸坯中典型夹杂物的形貌: (a) 头坯头部 1.5 m; (b) 头坯头部 3.5 m; (c) 交接坯; (d) 正常坯; (e) 尾坯 2.5 m; (f) 尾坯 1.5 m

Fig. 3 Morphology of typical inclusions in slab: (a) head slab 1.5 m; (b) head slab 3.5 m; (c) mixed slab; (d) normal slab; (e) end slab 2.5 m; (f) end slab 1.5 m

表 2 铸坯不同位置夹杂物数量统计

Table 2 Total inclusions of different position in slab

炉次	原样质量/ kg	电解质量/ kg	夹杂物总量/ mg	夹杂物 mg/ 10 kg
头坯头部 1.5 m	1.97	1.54	3.40	22.1
头坯头部 2.5 m	1.98	1.02	0.90	8.8
头坯头部 3.5 m	1.96	1.27	0.54	4.3
交接坯	1.97	1.54	0.60	3.9
正常坯	1.97	1.54	0.12	0.8
尾坯末端 2.5 m	1.96	1.51	0.30	2.1
尾坯末端 1.5 m	1.95	1.55	0.50	3.2

表 3 铸坯不同位置不同尺寸的夹杂物数量统计/[mg · (10 kg)⁻¹]

Table 3 Weight statistics of inclusions of different size and different position in slab / [mg · (10 kg)⁻¹]

粒径/ μm	头坯头部			交接 坯	正常 坯	尾坯末端	
	1.5 m	2.5 m	3.5 m			2.5 m	1.5 m
50 ~ 150	1.2	0.3	0.3	0.4	0.12	0.2	0.35
150 ~ 300	1.8	0.5	0.24	0.2	0	0.1	0.15
>300	0.2	0.1					

试样电解的夹杂物形貌如图 3 所示。从图 3 中可以看出夹杂物呈现出不规则的形状,其中以颗粒状为主,并伴随有少量的球状。对各试样电解出的夹杂物进行分级、称重,各试样中夹杂物的数量详见表 2。从表 2 可以看出,夹杂物在铸坯中的分布很不均匀,头坯 1.5 m 处夹杂物含量最多,达 22.1 mg/10 kg,是正常铸坯的 27 倍,在后续轧制中极易产生夹杂缺陷。在距铸坯头部 3.5 m 处,夹杂物数量减少至 4.3 mg/10 kg,与交接坯的 3.9 mg/10 kg 的相差不大。交接坯处夹杂物的质量是正常坯 0.8 mg/10 kg 的 4.9 倍,尾坯末端 1.5 m 处夹杂物的含量高于 2.5 m 处,是其质量的 1.5 倍。但低于交接坯处的夹杂物质量,由此可以看出,开浇时的非稳态浇铸对铸坯中夹杂物的影响最大,随着浇注的进行,浇注至 3.5 m 时钢中的大型夹杂物可以得到有效去除。

2.3 铸坯中夹杂物尺寸分析

从表 3 中可以看出,邯钢 IF 钢夹杂物尺寸主要集中在 300 μm 以下,仅在铸坯头部发现大于 300 μm 的大型夹杂物。当浇注到 3.5 m 时 300 μm 以上的大型夹杂物已经消失。随着浇注的顺利进行,50 ~ 150 μm 的夹杂物数量开始增多,150 ~ 300 μm 的夹杂物数量开始减少。在正常坯中没有发现 150 μm 以上的大型夹杂物。交接坯中两种尺寸的夹杂物都有发现,说明夹杂物尺寸大小与非稳流浇注有较大关系,在本浇次最后一块铸坯末端的 1.5 m 和 2.5 m 处取样发现,浇注后期夹杂物有所增多,但与开浇相比要少很多。

2.4 铸坯中夹杂物成分、来源分析

头坯夹杂物中形貌以纯 SiO₂ 类夹杂、K 含量较高的 SiO₂ 类夹杂、Na 含量较高的 SiO₂ 类夹杂较多,说明此类夹杂物来源于结晶器保护渣的可能性较大(图 4)。交接坯中 K、Na 含量几乎为 0,说明钢包更换时刻,没有出现结晶器的液面波动引起的大幅度卷渣(图 5)。尾坯(图 6)和头坯夹杂情况类似,同样出现了液面波动等工况的变化带来的卷渣。通过

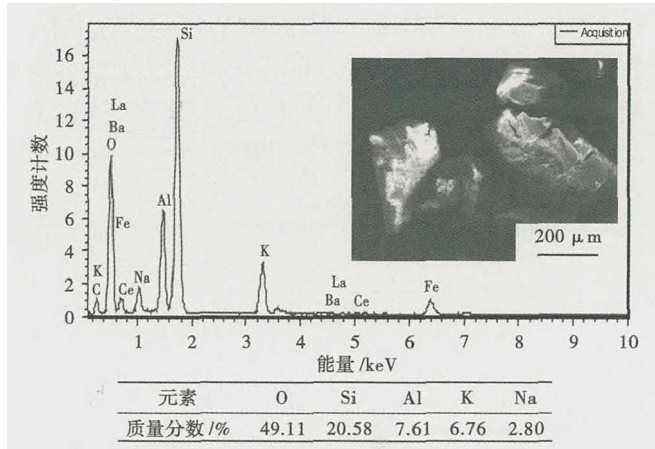


图 4 头坯的夹杂物扫描电镜形貌及其能谱分析
Fig. 4 SEM/EDS analysis of inclusions in head slab

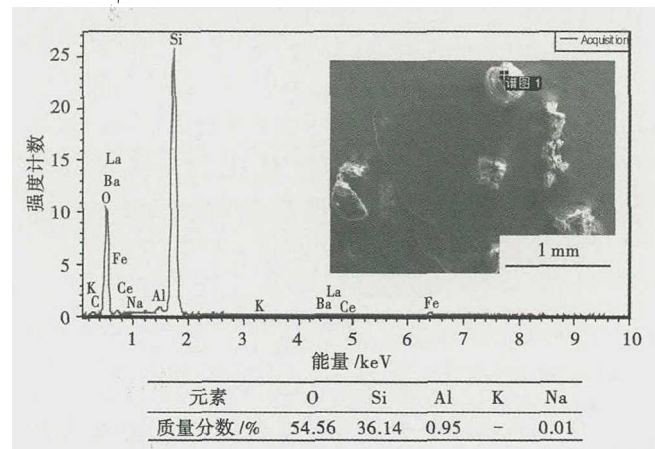


图 5 交接坯中夹杂物扫描电镜形貌及其能谱分析
Fig. 5 SEM/EDS analysis of inclusions in joined slab

对比他人研究发现^[13],而这些夹杂物一般是结晶器保护渣卷入钢水所致。需要优化保护渣成分,后续该厂将粘度增大为(0.5 ± 0.1) Pa · s,提高保护渣 Al₂O₃ 含量等手段降低卷渣风险。

3 工艺优化

根据夹杂物的分布特点及铸坯中的全氧、氮含量为依据,对铸坯使用流向进行优化。优化前后具体工艺操作要点为:(1)铸坯头坯由最初的切除 2 m 改为切除 4 m,尾坯由最初的切除 1 m 改为切除 2.5 m;(2)头尾坯进行火焰清理处理,轧制规格按

表 4 工艺优化前后结晶器的保护渣成分及性质
Table 4 Composition and properties of mold power before and after optimization

工艺	化学成分/%							碱度(R)	熔点/℃	粘度(1300℃)/ (Pa·s)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	F	T. C			
优化前	39.0±1.0	4.5±1.0	35.0±2.0	2.5±1.0	7.0±2.0	7.0±2.0	<2.5	0.90±0.1	1150±30	0.40±0.1
优化后	38.0±2.0	6.0±2.0	34.0±2.0	4.0±2.0	5.0±2.0	5.0±2.0	≤2.5	0.90±0.1	1130±30	0.50±0.1

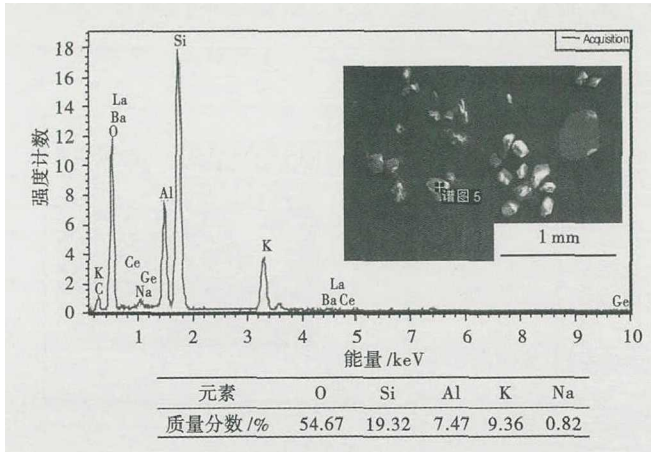


图 6 尾坯中夹杂物的扫描电镜形貌及其能谱分析
Fig. 6 SEM/EDS analysis of inclusions in end slab

照 ≥ 1.0 mm,可降低轧制后表面缺陷产生;(3)高端牌号例如 DC06 系列,可以降低为 DC03 系列牌号,修为坯轧制表面等级为 FB 要求以下;(4)试样夹杂物的主要成分为含 K、Na 的 SiO₂ 类夹杂,交接坯中也发现了 SiO₂ 类夹杂,说明保护渣卷渣严重,需要优化保护渣成分,提高保护渣 Al₂O₃ 含量,粘度增大为(0.5±0.1)Pa·s,以降低卷渣风险,优化前后保护渣如表 4。

参考文献

- [1] 冯捷,包燕平,岳峰,等. 转炉冶炼 IF 钢终点氧含量控制分析[J]. 钢铁钒钛, 2010, 31(1): 74-78.
- [2] 胡宽辉,田德新,许竹桃,等. 冷轧深冲汽车板表面夹杂缺陷的研究[J]. 热加工工艺, 2012, 41(5): 180-182.
- [3] 国际钢铁协会. 洁净钢-洁净钢生产工艺技术[M]. 中国金属学会,译. 北京:冶金工业出版社, 2006.
- [4] 罗晓阳,赵小龙,王瑾. 超低碳钢 DQ 级冷轧板冷轧工艺研究[J]. 金属世界, 2015, 30(4): 65-68.
- [5] 陈书浩,王新华,黄福祥,等. 热轧钢板表面翘皮缺陷的特征和形成机理[J]. 特殊钢, 2011, 32(5): 47-50.
- [6] 邱洪双,王晓南,宁忠良. 热轧板带边部缺陷形成机理及研究现状[J]. 河南冶金, 2008, 16(3): 1-4.
- [7] 苏笃星,马建超,周彦召,等. SPHC 热轧卷表面翘皮缺陷的控制[J]. 炼钢, 2014, 30(2): 18-21.
- [8] 蔡开科. 连铸坯质量控制[M]. 北京:冶金工业出版社, 2010: 149-150.
- [9] 唐德池,高圣勇,崔阳,等. IF 钢浇铸过程纯净度研究[J]. 钢铁钒钛, 2013, 34(5): 38-42.
- [10] 岳峰,袁晓峰,李朋欢,等. 针对 ASP 的 IF 钢冶炼工艺纯净度研究[J]. 钢铁钒钛, 2011, 32(1): 47-52.
- [11] 邓小旋,王新华,李林平,等. 交换钢包过程对 IF 钢连铸坯表层洁净度的影响[J]. 北京科技大学学报, 2014, 36(7): 880-886.
- [12] Kumar A, Choudhary S K and Ajmani S K. Distribution of Macroinclusions Across Slab Thickness[J]. ISIJ International, 2012, 52(12): 2305-2307.
- [13] 冀云卿,王新华,邓小旋,等. 冷轧薄板表面缺陷成因研究及控制[J]. 炼钢, 2014, 30(2): 22-25.

采取以上措施后,邯钢深冲用钢因铸坯夹杂缺陷造成的热轧带出品率由 0.3%~0.4% 降至 0.2% 以下。

4 结论

(1) 邯钢 IF 头坯 3.5 m 内氧、氮含量较高,钢液氧化严重,铸坯洁净度较差。

(2) 头坯 1.5 m 处夹杂物的含量为 22.1 mg/10 kg,是正常铸坯的 27 倍,但距头坯 3.5 m 处夹杂物迅速降至 4.3 mg/10 kg,与交接坯中夹杂物数量相近,正常坯中夹杂物含量仅为 0.8 mg/10 kg,铸坯洁净度较高,尾坯中夹杂物数量有所升高。

(3) 头坯和尾坯夹杂物主要为含 K、Na 的 SiO₂ 类夹杂,交接坯中也有 SiO₂ 类夹杂,说明卷渣严重,需要优化保护渣成分,将粘度增大为(0.5±0.1)Pa·s,提高保护渣 Al₂O₃ 含量等手段降低卷渣风险。

(4) 通过增加头尾坯切除量,并进行火焰清理,深冲用钢因铸坯夹杂缺陷造成的热轧带降级率由 0.3%~0.4% 降至 0.2% 以下。

国家自然科学基金项目资助(51774217)

刘俊山(1976-),男,硕士研究生,高级工程师,2000 年武汉大学(本科)毕业,汽车板和管线钢研发。

E-mail: liujunshan@hbisco.com

收稿日期:2018-02-20