

120 t LF 精炼过程搅拌强度对 Q195 低碳钢中大尺寸夹杂物数量的影响

蒋鲤平 徐建飞 于 飞 屈志东

(中天钢铁集团有限公司第三炼钢厂, 常州 213011)

摘 要 采用“120 t BOF→LF→Ca 处理→160 mm×160 mm CC”工艺生产的 Q195 钢。示踪检验得出,当 LF 精炼过程氩气流量在 300~600 L/min 时,50×400 mm² 检验面积中,铸坯中≥27 μm 大尺寸夹杂物 31 个,主要来源于 LF 精炼渣卷渣、钙处理生成的 CaS、水口内壁材质剥落和钢中内生大尺寸钙铝酸盐夹杂物,其中由 LF 精炼渣卷渣形成的大尺寸夹杂物所占比例为 29.1%。通过精炼全程将氩气流量由 300~600 L/min 降低至 100 L/min,发现可以显著降低精炼渣卷渣形成的大尺寸夹杂物数量,同样的检测面积≥27 μm 夹杂物降至 19 个。

关键词 120 t LF 大尺寸夹杂物 精炼渣卷渣 氩气搅拌强度

Influence of 120 t LF Stirring Intensity on Amount of Large Size Inclusions in Low Carbon Q195 Steel during Refining

Jiang Liping, Xu Jianfei, Yu Fei and Qu Zhidong

(Zenith Steel Group Co Ltd, No. 3 Steelmaking Plant, Changzhou 213011)

Abstract The Q195 steel is produced by “120 t BOF→LF→Ca addition→160 mm×160 mm CC” process. It was found by tracing test that the number of ≥27 μm large size inclusions at test area 50×400 mm² in the billet is 31 and generated by LF top slag entrapped during gas stirring, calcium treatment formed CaS, submerged entry nozzle material stripped and formed endogenous large size calcium-aluminate inclusion in steel as the flow rate of argon is in the range of 300~600 L/min. The proportion of LF top slag entrapped is about 29.1% in all the large size inclusions. As the flow rate of argon decreases from 300~600 L/min to 100 L/min, it is found that the LF top slag entrapped could be significantly decreased, at some test area the ≥27 μm inclusions number decreases to 19.

Material Index 120 t LF, Large Size Inclusions, Entrapped Ladle Slag, Stirring Intensity of Argon

钢中大尺寸夹杂物成分主要为 CaO-Al₂O₃ 或 CaO-Al₂O₃-MgO^[1-4],在钢液条件下呈液态,此类夹杂物与钢液间的接触角小,不太容易从钢中被去除^[5]。针对大尺寸钙铝酸盐夹杂物形成与控制,姜敏等人^[6-7]指出减少含钙夹杂物形成可以控制大尺寸夹杂物,为此刻意增加炉渣初始氧化性来抑制钢中 Al 与渣中 CaO 反应。此外,利用高温共聚焦观察夹杂物在钢中固/液相界面处的行为,发现夹杂物聚集、长大也会导致大尺寸夹杂物形成^[8]。钢液中较高 Ca 含量是大尺寸钙铝酸盐夹杂物形成的重要原因,为此,对合金加入种类和加入方式进行优化,同时将炉渣碱度由最初的 7.0~10.0 降低至 3.5~5.0,并且取消钙处理,发现夹杂物评级得到很好改善^[9-10]。减少喂 Ca 量,使 Ca 处理后夹杂物呈固态,可以很好的解决管线钢 B 类夹杂物^[11]。与此同时,根据生产实践结果,精炼过程氩气搅拌导致的精炼渣卷渣也是大尺寸夹杂物形成的一个重要原因。

鉴于此,针对采用“BOF→LF→Ca 处理→CC”工艺生产的 Q195 钢,研究了精炼过程搅拌强度对铸坯中大尺寸夹杂物数量影响,同时,开展了氩气搅

拌强度优化试验。

1 试验方案

针对采用“120 t 转炉→LF 精炼→Ca 处理→160 mm×160 mm 连铸机”工艺生产的 Q195 钢。转炉出钢量为 130 t,出钢采用铝脱氧工艺,并加 300 kg 石灰、250 kg 碳酸钡、100 kg 萤石进行造渣。精炼过程采用电石进行渣面脱氧,采用常规的精炼升温 and 合金化操作,氩气升温流量为 300~500 L/min, Si、Mn 等合金化时氩气流量为 400~600 L/min,精炼过程不刻意脱硫,升温 and 合金化时钢水 S 含量即可达到目标范围。精炼结束喂入 120 m 硅钙线,然后软吹 15 min。钢包浇铸 80t 时取相应的稳态铸坯,最后利用 ASPEX 对铸坯内弧 1/4 并且距离边部 1/4 处进行 27 μm (Ds≥1.5 级) 以上大尺寸夹杂物数量和成分统计,共制取 50 个金相样,每个试样检测面积为 400 mm²。

2 试验结果

2.1 钢水和炉渣成分

Q195 钢为低碳铝镇静钢,试验过程中的成分变

表 1 Q195 钢水成分 / %

Table 1 Compositions of liquid of steel Q195 / %

工位	C	Si	Mn	P	S	Al	Ca	T[O]
LF 进站	0.065	0.01	0.28	0.011	0.015	0.022	0.000 1	0.001 9
LF 结束	0.082	0.08	0.35	0.012	0.011	0.013	0.000 5	0.001 2
中间包	0.083	0.09	0.35	0.012	0.011	0.011	0.001 2	0.001 3

化见表 1。由于荧光分析仪 XRF 不能检测炉渣 Ba 含量,为了获取炉渣成分数据,对所取精炼终渣先进行镶样、模样,然后采用 ASPEX 进行成分分析,得出炉渣中 Ba 含量在 9% ~ 13%。另外,在能谱元素设置中未选择 O 元素,元素折合化合物时用金属含量折合计算。

2.2 铸坯 1 μm 以上小尺寸内生夹杂物

钢中内生夹杂物 Ba 含量基本都在 5% 以下,因此,当铸坯中所检测到的大尺寸夹杂物 Ba 含量在 5% 以上,认为其来源于精炼渣卷渣(实际检测均在 7.6% 以上)。另外,根据文献报道,当炉渣卷入到

钢液中,由于被钢水包裹会发生反应,因此,铸坯中检测到精炼渣卷渣形成的大尺寸夹杂物,其成分会与炉渣有所差异。

2.3 铸坯大尺寸夹杂物统计结果

在检测面积为 20 000 mm² 条件下,共检测到 31 个 27 μm(Ds ≥ 1.5 级)以上大尺寸夹杂物共 5 类:

(1) 精炼渣卷渣。31 个 27 μm(Ds ≥ 1.5 级)以上大尺寸夹杂物,发现有 7 个来源于精炼渣卷渣,所占比例为 22.6%,这是因为这 7 个夹杂物中 Ba 含量均在 7.6% 以上,其形貌、尺寸和成分如图 1。

(2) 钙处理产物。31 个 27 μm(Ds ≥ 1.5 级)以上大尺寸夹杂物,发现有 4 个来源于钙处理产物,所占比例为 12.9%,这是因为这 4 个夹杂物成分主要为 CaS,其形貌、尺寸和成分如图 2。

(3) 精炼渣卷渣和钙处理产物共同形成。31 个 27 μm(Ds ≥ 1.5 级)以上大尺寸夹杂物,发现有

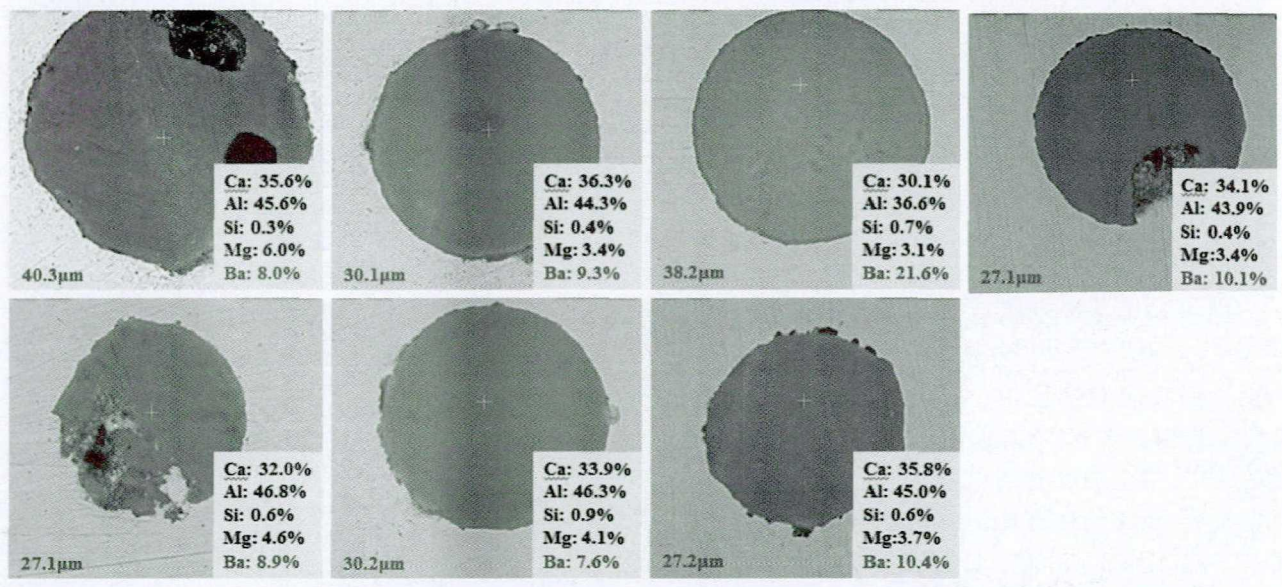


图 1 LF 精炼渣卷渣形成的大尺寸夹杂物形貌、尺寸和成分

Fig. 1 Morphology, size and composition of inclusions generated by LF top slag entrapped during gas stirring

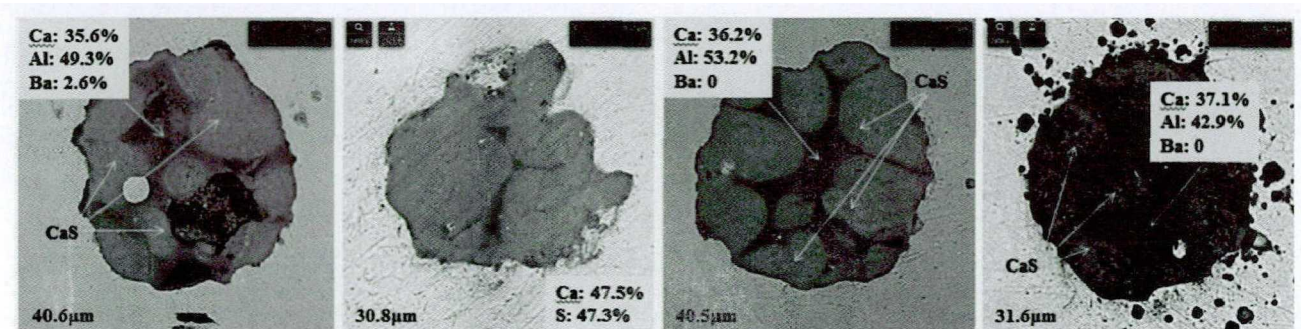


图 2 钙处理产物形成的大尺寸夹杂物形貌、尺寸和成分

Fig. 2 Morphology, size and composition of inclusions generated by calcium treatment

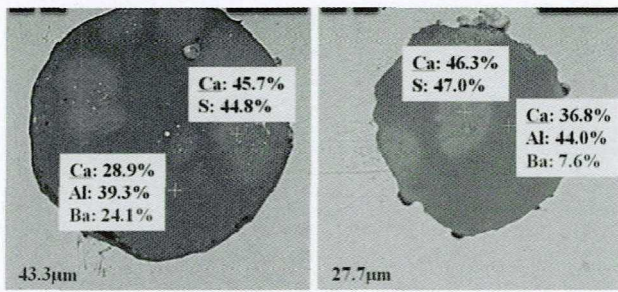


图 3 LF 精炼渣卷渣和钙处理产物共同形成的大尺寸夹杂物形貌、尺寸和成分

Fig. 3 Morphology, size and composition of inclusions combined generated by LF top slag entrapped and calcium treatment

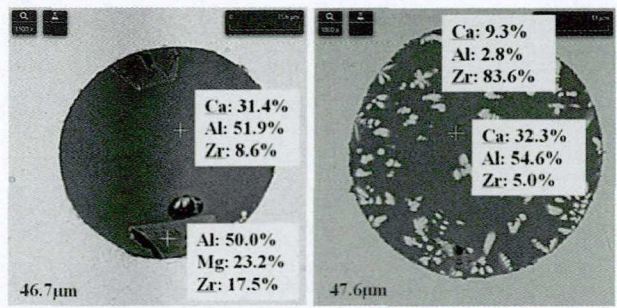


图 4 水口剥落所形成的大尺寸夹杂物形貌、尺寸和成分

Fig. 4 Morphology, size and composition of inclusions generated by stripped from submerged entry nozzle

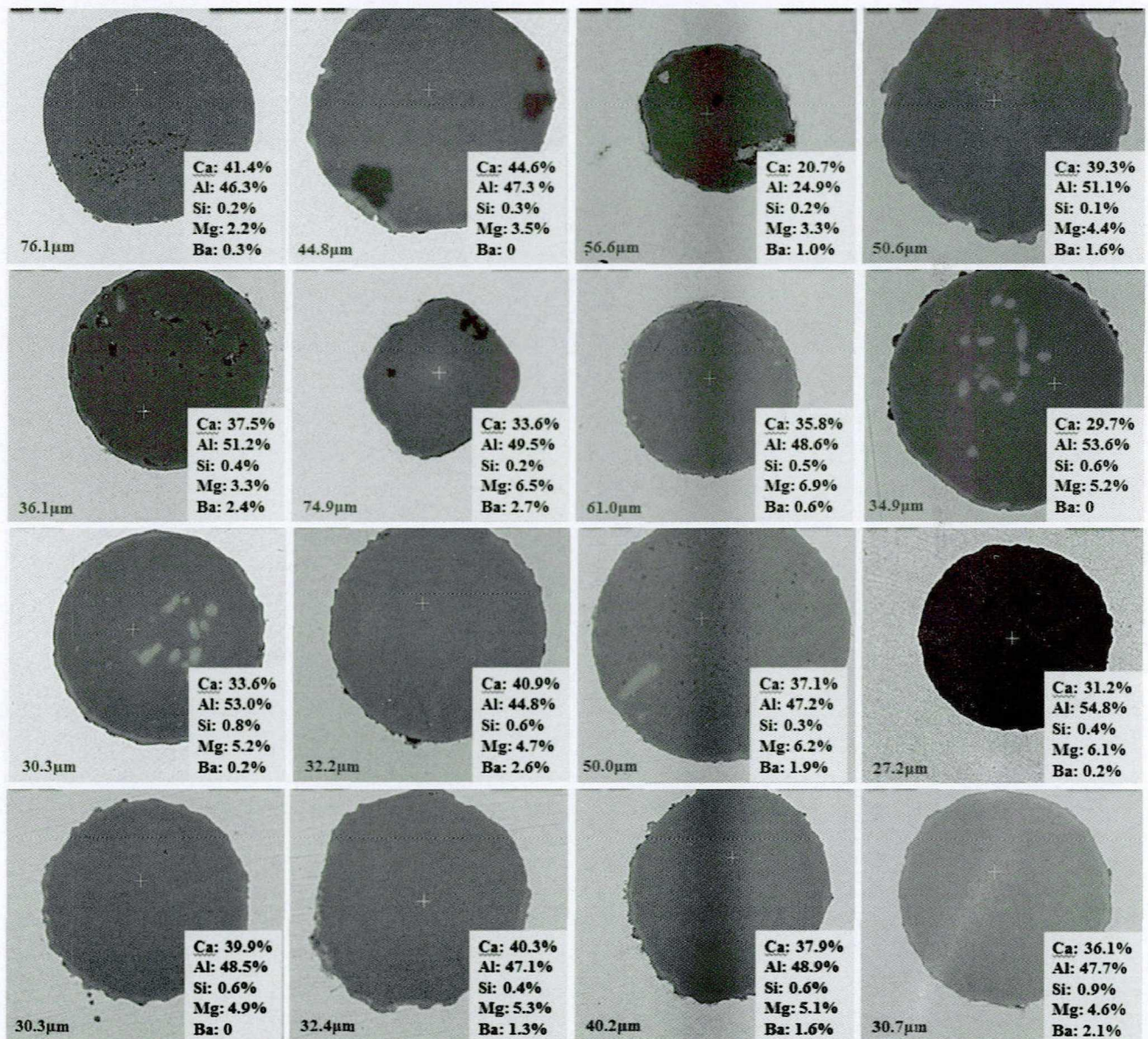


图 5 大尺寸 <3% Ba 的钙铝酸盐夹杂物形貌、尺寸和成分

Fig. 5 Morphology, size and composition of calcium aluminate inclusions with <3% Ba

2 个是精炼渣卷渣和钙处理产物共同形成,所占比例为 6.5%,这是因为这 5 个夹杂物有一部分是 CaS,还有一部分为 Ba 含量很高的钙铝酸盐,其形貌、尺寸和成分如图 3。

(4)水口材质剥落。31 个 27 μm ($D_s \geq 1.5$ 级)以上大尺寸夹杂物,发现有 2 个是水口材质剥落所导致,所占比例为 6.5%,这是因为这 2 个夹杂物 Zr 含量很高,其形貌、尺寸和成分如图 4。生产实践表明,采用维苏威浸入式水口可显著降低此类夹杂物数量。

(5)大尺寸不含 Ba 的钙铝酸盐夹杂物。31 个 27 μm ($D_s \geq 1.5$ 级)以上大尺寸夹杂物,发现有 16 个是大尺寸不含 Ba ($\text{Ba} < 3\%$) 的钙铝酸盐夹杂物,此类夹杂物主要来源于钢中内生夹杂物,包括钙处理过程中形成的钙铝酸盐夹杂物,其形貌、尺寸和成分如图 5。

综上所述,在采用常规的氩气搅拌操作下,由精炼渣卷渣大尺寸夹杂物所占比例为 22.6% + 6.5% = 29.1%。

在原工艺基础上开展了精炼氩气搅拌强度优化试验,具体方案为转炉出钢将 C、Si、Mn、Al 成分全部控制到位,并加 300 kg 石灰、250 kg 碳酸钡、100 kg 萤石进行造渣。出钢后钢水成分见表 2。

精炼全程将氩气流量控制在 100 L/min,氩气流量满足电极升温即可,采用电石进行渣面脱氧,精炼过程不进行合金化操作,由于出钢后钢水 S 含量即满足要求,精炼也不需要刻意脱硫。精炼结束后正常进行钙处理,喂钙线量保持不变(120 m)。

参考文献

- [1] 廖新德,徐国庆,陈清华,等. GCr15 钢中大颗粒夹杂(D_s 类)的生成原因分析[J]. 炼钢, 2007, 23(2): 21-24.
- [2] 刘绍康,黄煜. 减少轴承钢和齿轮钢中大颗粒点状氧化物夹杂(D_s)的工艺实践[J]. 特殊钢, 2008, 29(5): 41-42.
- [3] 徐迎铁,陈兆平,杨宝权. 轴承钢 D_s 类大颗粒夹杂物研究[J]. 炼钢, 2016, 32(4): 49-53.
- [4] 陈然,陈兆平,徐迎铁,等. 轴承钢夹杂物行为的原位观察[J]. 钢铁研究学报, 2015, 27(12): 48-53.
- [5] Xu J, Huang F and Wang X, et al. Investigation on the Removal Efficiency of Inclusions in Al-killed Liquid Steel in Different Refining Processes[J]. Ironmaking and Steelmaking, 2017, 44(6): 455-460.
- [6] 姜敏,王昆鹏,侯泽旺,等. 低氧特殊钢中大尺寸 D_s 类夹杂物生成机理[J]. 工程科学学报, 2016, 38(6): 780-786.
- [7] Jiang M, Wang X and Yang D, et al. Laboratory Study on Prevention of CaO-Containing ASTM "D-Type" Inclusions in Al-Deoxidized Low-Oxygen Steel Melts During Basic Slag Refining[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2015, 46(5): 2573-2583.

表 2 试验炉次出钢后钢水的成分/%

Table 2 Composition of liquid steel after tapping of test heat / %

C	Si	Mn	P	S	Al	Ca
0.072	0.07	0.38	0.014	0.015	0.038	0.000 1

表 3 工艺改进后 50 × 400 mm² 面积检测各类型大尺寸夹杂物所占比例

Table 3 Proportion of each type of large size inclusions of test area 50 × 400 mm² after process improvement

夹杂物类型	个数	所占比例 / %
含 Ba 大尺寸钙铝酸盐	1	5.3
<3% Ba 大尺寸钙铝酸盐	14	73.7
水口材质剥落	3	15.8
钙处理产物 CaS	1	5.3

表 3 为铸坯中 27 μm 以上 ($D_s \geq 1.5$) 大尺寸夹杂物统计结果,在相同的检测面积条件下,发现由精炼渣卷渣形成的大尺寸夹杂物数量显著降低,由 27 个降至 19 个,这说明精炼过程控制较低的搅拌强度,更有利于大尺寸夹杂物控制。

3 结论

(1)在采用常规的氩气搅拌强度条件下,铸坯中大尺寸夹杂物主要来源于精炼渣卷渣、钙处理生成的 CaS、水口内壁材质剥落和钢中内生大尺寸钙铝酸盐夹杂物(包括钙处理形成的钙铝酸),其中由精炼渣卷渣形成的大尺寸夹杂物所占比例为 29.1%。

(2)通过出钢过程将成分控制到位,精炼全程氩气流量控制在 100 L/min,可以显著降低由精炼渣卷渣形成的大尺寸夹杂物数量。

- [8] Jiang M, Wang X and Pak J, et al. In Situ Observation on Behaviors of CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ Complex Inclusions at Solid-Liquid Interface of Low-Oxygen Special Steel[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2014, 45(5): 1656-1665.
- [9] 杨光维,陈兆平,柳向椿. 非钙处理对高等级齿轮钢夹杂物的影响[J]. 钢铁, 2020, 55(4): 40-44.
- [10] 杨光维,陈兆平,柳向椿. 高等级齿轮钢夹杂物控制技术[J]. 炼钢, 2019, 35(1): 61-65.
- [11] 杨文,李超,张立峰,等. 优化钙处理工艺减少管线钢 B 类夹杂物[J]. 中国冶金, 2018, 28(1): 70-75.

蒋鲤平(1983-),男,工程师,2005 年东北大学(本科)毕业,转炉、精炼、连铸生产及质量控制。

E-mail:452657523@qq.com

收稿日期:2021-01-19