

滤清器用钢 DC04-LQQ 深冲件表面缺陷分析和工艺控制

高 菊¹ 闫绍维² 丁志军³

(1 华北理工大学迁安学院, 迁安 064400; 2 河北唐银钢铁有限公司, 唐山 063000;

3 河北钢铁石钢公司, 石家庄 050031)

摘 要 DC04-LQQ 钢($\% : \leq 0.0035C, \leq 0.02Si, 0.08 \sim 0.20Mn, \leq 0.015P, \leq 0.012S, 0.02 \sim 0.06Als, 0.06 \sim 0.08Ti, \leq 0.0040N$) 1.2 mm 冷轧板的工艺流程为铁水预处理-250 t BOF-RH-板坯连铸-热轧-冷轧-820 ~ 840 °C 退火。对 DC04-LQQ 钢滤清器深冲件表面缺陷进行了分析, 结果表明, 主要表面缺陷为舌状和针孔状缺陷, 舌状表面缺陷部位含有 O、Al、Mg 和 Fe 等元素, 其主要是钢水中 Al_2O_3 和 MgO 夹杂所致。针孔状表面缺陷部位含有 K、Na、Ca、Al 和 Ti 元素, 其主要是结晶器液面波动大造成保护渣卷入所致。通过增加钢水静置时间从 20 min 至 30 min、延长 RH 精炼 Al 脱氧和合金化之间的时间间隔由 1 ~ 2 min 至 4 min、优化中间包吹氩制度和改造中间包包盖氩气管路、中间包氩气直径由原 20 mm 增至 34 mm 等措施, 滤清器用钢表面缺陷率由原 7.78% 降低至 2.62%, 取得了显著效果。

关键词 冷轧深冲钢 DC04-LQQ 夹杂物 表面缺陷 工艺改进

Analysis on Surface Defects of Deep-Drawing Piece of Steel DC04-LQQ for Filter and Process Control

Gao Ju¹, Yan Shaowei² and Ding Zhijun³

(1 School of Qian, North China University of Science and Technology, Qian 064400; 2 Hebei Tangyin Iron and steel Co Ltd, Tangshan 063000; 3 Shijiazhuang Steel Co, Hebei Iron and Steel Group, Shijiazhuang 050031)

Abstract The process flowsheet of 1.2 mm cold-rolled sheet of steel DC04-LQQ ($\% : \leq 0.0035C, \leq 0.02Si, 0.08 \sim 0.20Mn, \leq 0.015P, \leq 0.012S, 0.02 \sim 0.06Als, 0.06 \sim 0.08Ti, \leq 0.0040N$) is hot metal pretreatment-250 t BOF-RH-slab casting-hot-rolling- cold-rolling- annealing at 820 ~ 840 °C. The analysis on surface defects of deep-drawing piece of steel DC04-LQQ for filter has been carried out; the results show that the main surface defects are tongue-shaped and pinhole-shaped defects, the tongue-shaped surface defects containing O, Al, Mg and Fe etc elements are formed by Al_2O_3 and MgO inclusions in liquid and the pinhole-shaped surface defects containing K, Na, Ca, Al and Ti etc elements are formed by entrapped mold powder in condition of large fluctuation of mold liquid surface. With the measures including increasing holding time of liquid from original 20 min to 30 min, extending the interval between adding Al deoxidizing and adding alloys from 1 ~ 2 min to 4 min in RH refining, optimizing tundish argon blowing scheme and revamping the tundish cover argon pipeline, and increasing the tundish argon pipe diameter from original 20 mm to 34 mm, the occurring rate of surface defects of steel for filter decreases from original 7.78% to 2.62% to get obvious effect.

Material Index Cold-Rolled Deep-Drawing Steel DC04-LQQ, Inclusions, Surface Defect, Process Improvement

滤清器用钢 DC04-LQQ 是冷轧深冲钢, 广泛应用于汽车和家电行业各类薄板零件的深冲加工, 冲压变形量大、冲压过程材料减薄量大, 对钢中成分以及夹杂物的要求也越来越严格^[1-4]。公司近期生产的一批 DC04-LQQ 深冲钢, 在滤清器用钢加工过程中舌状和针孔状表面缺陷率较高, 为此对其轧板表面缺陷进行分类分析并提出了可行性的改进措施。

1 研究钢种及生产条件

研究钢种为 DC04-LQQ, 其化学成分标准要求如表 1 所示。工艺流程为: 铁水预处理→顶底复吹转炉→RH 精炼→连铸→加热炉→粗轧→精轧→卷取→酸浸→连续退火→成品检验。

转炉钢水容量 250 t; 连铸机断面尺寸 230 mm × (900 ~ 2150) mm; 冷轧板厚度 0.3 ~ 2.5 mm;

表 1 DC04-LQQ 钢化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of steel DC04-LQQ / %							
C	Si	Mn	P	S	[Als]	Ti	N
≤ 0.0035	≤ 0.02	0.08 ~ 0.20	≤ 0.015	≤ 0.012	0.02 ~ 0.06	0.06 ~ 0.08	≤ 0.0040

退火温度 (830 ± 10) °C; 缓冷温度 (710 ± 10) °C。

2 结果分析

2.1 表面缺陷的宏观形貌

滤清器用钢是采用厚度为 1.2 mm 冷轧板深冲所制造的, 滤清器用钢表面缺陷主要体现出两类: 一类为舌状表面缺陷, 冲压前肉眼看不到, 经冲压后显现, 呈现出舌状, 宽度 1 ~ 2 mm, 长度 10 ~ 20 mm, 分布无固定规律; 另一类为针孔状表面缺陷, 肉眼可看出, 呈现出针孔状, 直径约为 0.2 mm, 弥散分布, 分

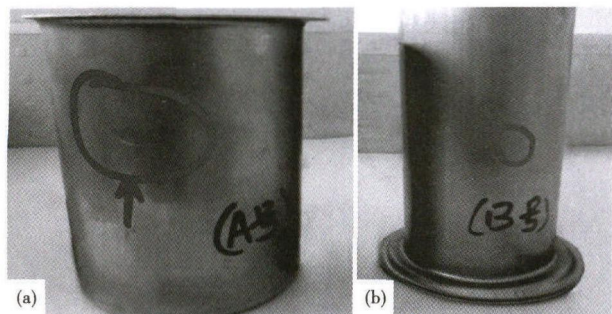


图 1 DC04-LQQ 钢滤清器冲压件舌状(a)和针孔状(b)表面缺陷的宏观形貌

Fig.1 Macro-morphology of tongue-shaped (a) and pinhole-shaped (b) surface defects of filter deep-drawn piece of steel DC04-LQQ

布无明显规律。其宏观形貌如图 1(a,b)。

2.2 电子显微镜分析

在扫描电镜(SEM)下对试样上的缺陷部位进行观察分析,结果如图 2、图 3 所示。

(1)舌状表面缺陷。由图 2(a)可见,缺陷发生部位钢基体内存在大量空穴和颗粒状杂质,颗粒状杂质呈明显的带状分布;选取缺陷部位中 3 个典型的杂质颗粒物进行能谱分析(ESD),分析结果见图 2(b,c,d)。

由图 2(b,c,d)能谱分析可得出,在舌状表面缺陷位置主要含有 O、Al、Mg 和 Fe 等元素,该缺陷主要由 Al₂O₃ 夹杂和部分 MgO 夹杂所造成的。结合生产情况综合分析,认为该类缺陷主要是炼钢浇注过程中 Al₂O₃ 夹杂较多和水口耐材侵蚀严重所致。

(2)针孔状表面缺陷。由图 3(a,b)可见,针孔状缺陷处有较多的球形和近球形颗粒状杂质,杂质颗粒尺寸较大,呈聚集状分布。选取缺陷部位中 3 个典型的杂质颗粒物进行能谱分析,分析结果见图 3(c,d,e)。

由图 3(c,d,e)能谱分析可得出,针孔状表面缺

陷处主要含有 K、Na、Ca、Al 和 Ti 元素。这与连铸所使用的结晶器保护渣成分近似,特别是发现了保护渣中独有的 K、Na 等元素,因此认为该缺陷的产生与浇注过程结晶器卷渣有关。

2.3 冶炼生产过程分析

2.3.1 各生产阶段钢中 T[O]、[N]和[Als]

精炼结束后钢中[Als]控制较高,为 Al₂O₃ 类夹杂物超标提供隐性条件。根据实践分析^[5],当[Als]超过 0.030%时,钢中的 Al 很容易与渣中的氧结合,还原渣中 SiO₂、MnO 等化合物,使钢液中聚集的 Al₂O₃ 增加;还有浇注时过高的[Als]会加剧钢液二次氧化程度,产生停留在成品中的 Al₂O₃。统计现场生产的 200 炉滤清器用钢,各生产阶段钢中平均 T[O]、[N]和[Als]控制情况如表 2 所示。

由表 2 可看出,在浇注初期保护浇注效果不好,铝损有较大幅度的损失、T[O]和[N]明显增加,说明钢水二次氧化严重。精炼出站[Als]平均 0.054%, [Als]较高是钢水中 Al₂O₃ 夹杂物较多的原因之一。结合生产实际综合分析,应该是钢包下渣所致,此外,浇次首炉中间包包盖吹氩效果不好,也容易造成钢水二次氧化严重。

2.3.2 连铸生产节奏因素的影响

(1)由图 4 可见,钢水静置时间介于 20 ~ 30 min 时表面缺陷率达到 5.6%;钢水静置时间小于 20 min 时表面缺陷率达到 7.2%。

(2)由图 5 可见,RH 过程 Al 脱氧和合金化之间的间隔时间短,钢中会形成 Al-O-Ti 类的夹杂,此类夹杂易使水口阻塞,导致缺陷率明显增加。且 RH 过程 Al 脱氧和合金化之间的时间间隔控制在 1 ~ 2 min 的炉次占到 78%,由此看出,此间隔时间控制短是造成水口堵塞几率大的重要原因。

2.3.3 水口堵塞及结晶器液位波动的影响

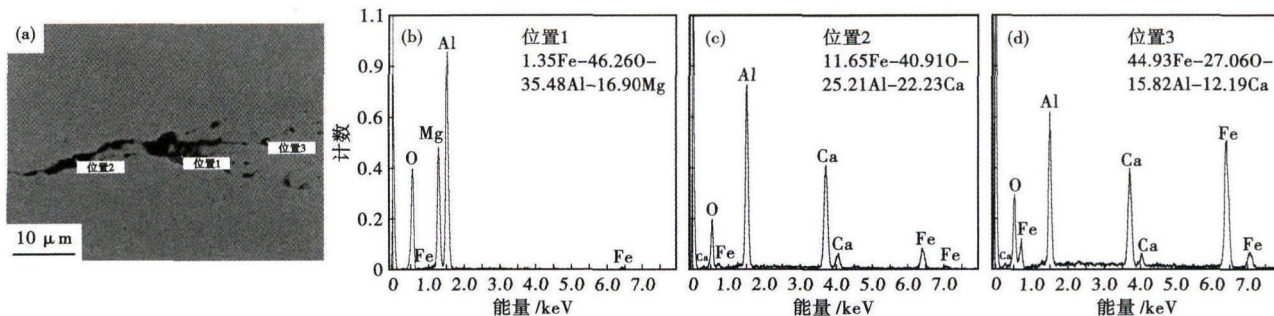


图 2 DC04-LQQ 钢滤清器冲压件舌状表面缺陷的 SEM 形貌(a)和能谱分析(b)(c)(d)

Fig.2 Morphology of tongue-shaped surface defects, SEM (a) and energy spectrum analysis (b), (c) and (d) of filter deep-drawn piece of steel DC04-LQQ

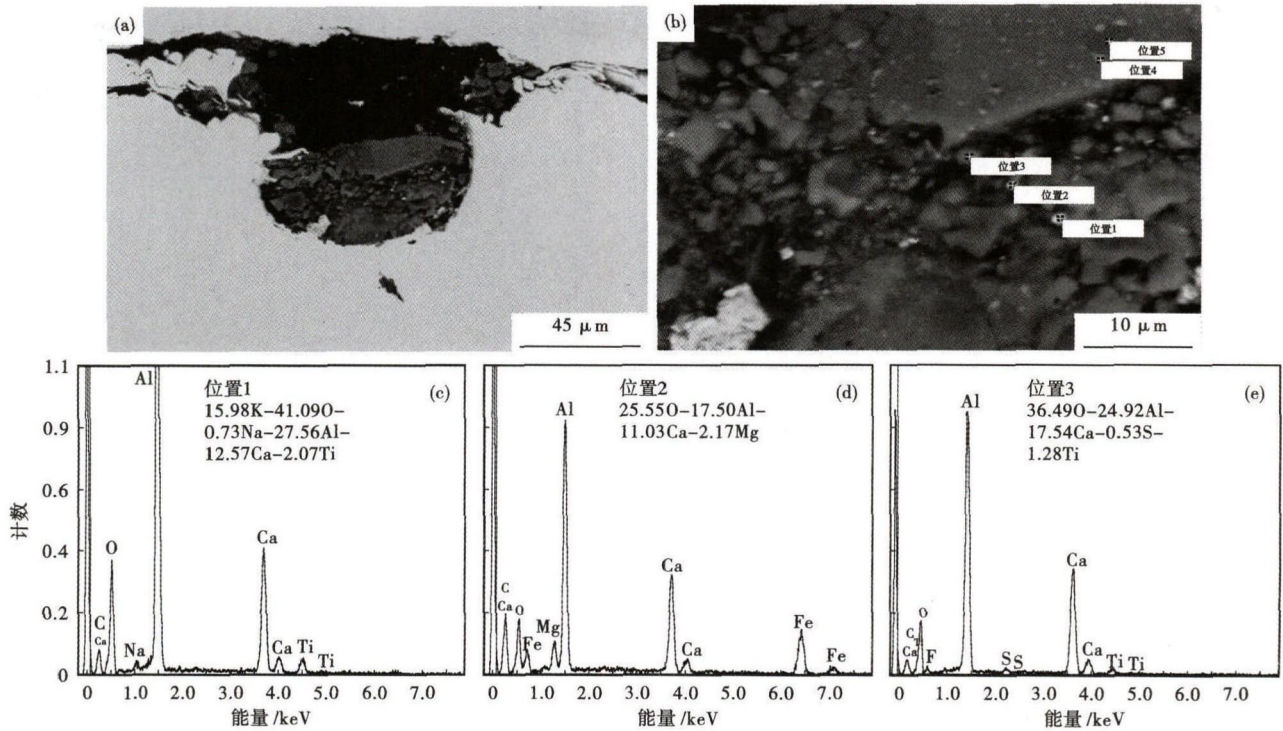


图3 DC04-LQQ 钢滤清器冲压件针孔状表面缺陷的 SEM 形貌 (a)(b) 和能谱分析 (c) (d) (e)

Fig. 3 Morphology of pinhole-shaped surface defects, SEM (a) and (b), and energy spectrum analysis (c), (d) and (e) of filter deep-drawn piece of steel DC04-LQQ

表2 精炼结束、浇注开始、中期、末期钢中 T[O]、[N] 和 [Als] / %

Table 2 T[O], [N] and [Als] at end refining, beginning casting, casting middle period and end casting / %

生产阶段	[Als]	T[O]	[N]
精炼结束	0.054 0	0.002 4	0.002 1
浇注开始	0.042 0	0.004 0	0.005 0
中期	0.046 0	0.002 1	0.002 6
末期	0.043 0	0.001 9	0.002 5

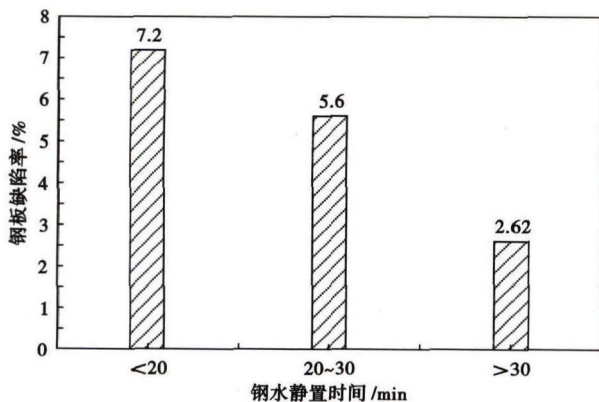


图4 钢水静置时间对 DC04-LQQ 钢板缺陷率的影响, 200 炉
Fig. 4 Effect of liquid holding time on defect ratio of sheet of steel DC04-LQQ, 200 heats

图6(a)为出现两类缺陷相对较集中炉次的结晶器液面波动曲线的FDA截图。由此看出,尤其在

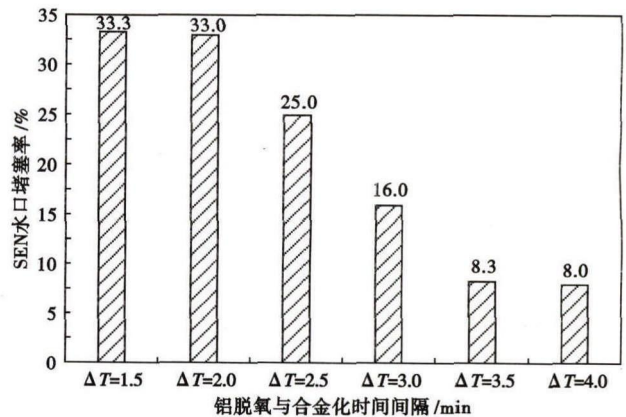


图5 DC04-LQQ 钢 RH 过程 Al 脱氧和合金化之间的时间间隔对浸入式水口堵塞率的影响, 200 炉

Fig. 5 Effect of RH process interval time between adding Al deoxidizing and adding alloys in steel DC04-LQQ on submerged nozzle clogging ratio, 200 heats

浇次的后两炉连铸塞棒和结晶器液面波动控制不稳定, 塞棒曲线上涨, 液面大幅翻腾, 液面波动量超过 ±5 mm, 大多达 7 ~ 10 mm。

滤清器用钢每个浇次组织 6 炉, 图6(b, c)是在浇次第 4 炉后期更换下的 SEN 水口堵塞情况。对 SEN 堵塞物进行取样分析, 分析结果如表 3 所示。

综合以上扫描电镜、能谱及冶炼生产过程分析, 舌状表面缺陷部位主要含有 O、Al、Mg 和 Fe 等元

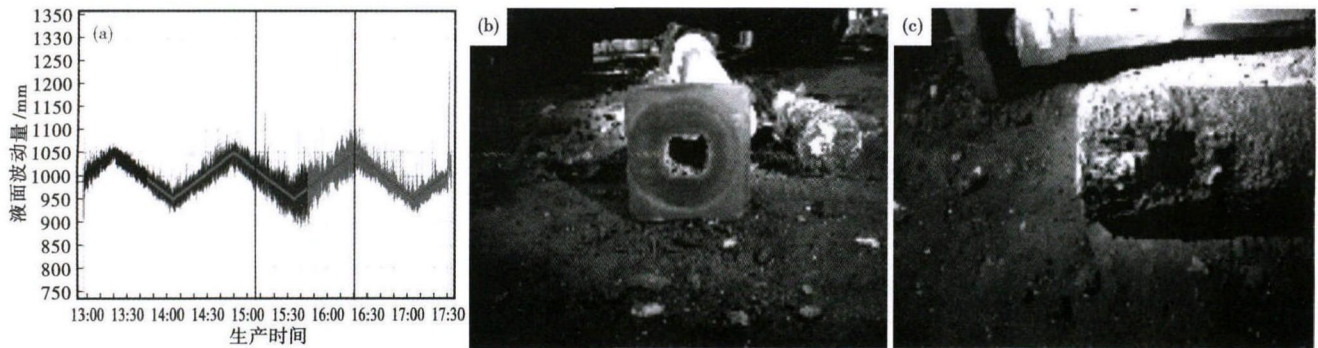


图 6 优化前的结晶器液面波动曲线(a)和浸入式水口堵塞形貌(b)(c)

Fig. 6 Fluctuation curve of mold liquid level before optimization (a) and morphology of submerged nozzle clogging (b) and (c)

表 3 浸入式水口堵塞物成分分析和熔点

Table 3 Analysis of ingredient and melting point of submerged nozzle clogging materials

堵塞物	成分/%	熔点温度/℃
Al ₂ O ₃	77.69	2 050
Fe ₂ O ₃	14.76	1 565
MgO	3.58	2 852
其它	3.97	-

素,其主要原因是钢水中 Al₂O₃ 夹杂和 MgO 夹杂所致。针孔状表面缺陷部位主要含有 K、Na、Ca、Al 和 Ti 元素,其主要原因是结晶器液面波动大造成保护渣卷入所致。

3 改进措施

3.1 钢包浇注末期执行剩钢操作

因浇注过程炉与炉交接时,保护浇注不仅要注意吹氩效果,控制钢包下渣也是非常关键的,但该钢厂无钢包下渣检测装置,过去一直是按每炉见渣关闭操作,造成中间包液面波动,下一炉结晶器液面不稳,不仅钢水二次氧化较为明显,而且容易造成结晶器卷渣。为减少钢中 Al₂O₃ 夹杂物产生,由过去见渣关流的方式调整为钢包剩钢 10 t 停浇的操作方式,交接炉次铝损量减少了约 20×10^{-6} 。

3.2 改进中间包包盖氩气管路,提高浇次首炉保护浇注效果

(1) 增加管路出口个数,将每个包盖的氩气出口数由 2 个增加至 3 个,整套包盖的出口数由 5 个增加至 9 个。

(2) 适当加粗管路的管径,原管路直径为 20 mm,为增加吹入中间包的氩气量,根据所供氩气压力换算为流量将管路直径改造为 34 mm。

(3) 重新设计管路走向,改进出口位置,为考虑施工方便,原出口位置靠近包盖边缘,在吹氩过程中不能第一时间充满中间包,另外靠近边部会使包壁温度急剧下降,影响正常开浇。在保证施工简易性

的前提下,重新设计了管路的走向,在包盖中心部位布置了新的出口,使吹氩的效果更直接、有效。改进后浇次首炉铝损量比原来减少了约 30×10^{-6} 。

3.3 增加精炼钢水静置时间,减少钢中夹杂

针对滤清器用钢本身的生产特点,炼钢过程中钢水不进行钙处理使 Al₂O₃ 夹杂物变性,无法形成低熔点液态夹杂物上浮去除。钢中 Al₂O₃ 夹杂物大多只能靠钢水静置来去除。通过调度优化生产组织,转炉从开始冶炼到浇次第 1 炉连铸开浇时间由原来 90 min 提高到 150 min,从而钢水静置时间由原来的小于 20 min 提高至 30 min 以上,显著减少了钢中夹杂,液面波动量小于 5 mm 比例提高了约 4%。

3.4 延长 RH 工序加 Al 脱氧和合金化时间间隔

为减少钢中 Al-O-Ti 类的夹杂的产生,RH 过程 Al 脱氧和合金化之间的时间间隔由原来的 1 ~ 2 min 提高到 4 min,显著减少了该类夹杂产生,有效缓解了水口堵塞,因水口堵塞更换水口比例约减少了 15%。

3.5 改进中间包吹氩制度

中间包塞棒和上水口吹氩对滤清器用钢的浇注顺行及夹杂的聚集起着至关重要的作用,可改变水口内钢水的流动状态和流速,减少 Al₂O₃ 在水口内壁的聚集,避免水口堵塞造成塞棒上涨,减少大型夹杂物的生成。由原来塞棒和上水口吹氩量分别为 5 ~ 20、3 ~ 10 L/min 改进为 9 ~ 14、7 ~ 9 L/min,同时结合结晶器液面波动状态,在 SEN 水口两侧约 210 ~ 300 mm 位置及结晶器窄边部位,对称出现“鱼吐泡似的氩气泡”为佳,改进后结晶器液面波动率小于 5 mm 的比例由 87% 提高至 93%。改进后吹氩对应的液面波动如图 7。

4 实施效果

通过表 4 改进措施的实施,滤清器用钢表面缺

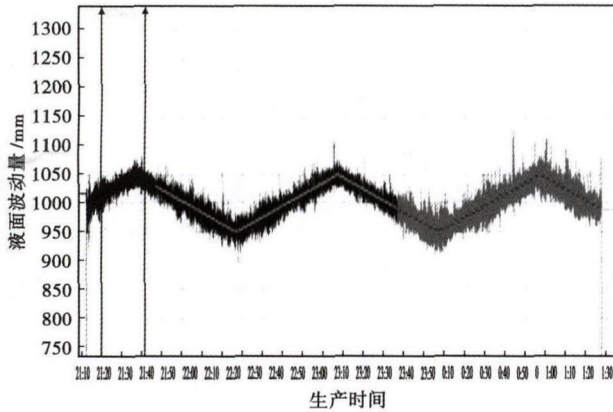


图7 吹氩改进后结晶器液面波动曲线

Fig. 7 Fluctuation curve of mold liquid level after optimization of argon blowing

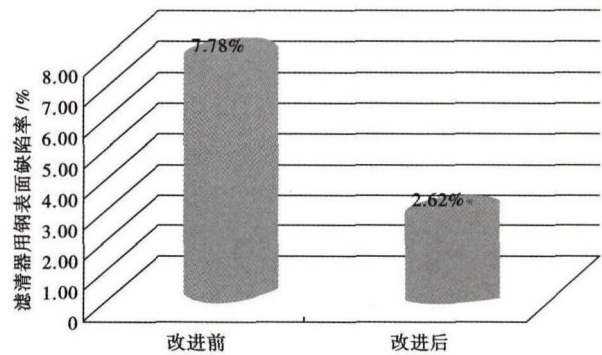


图8 滤清器用钢 DC04-LQQ 表面缺陷率改进前后对比图
Fig. 8 Comparison between surface defects ratio of filter steel DC04-LQQ before and after optimization

表4 改进前后工艺参数对比

Table 4 Comparison between process parameters before and after improvement

工艺	中间包氩气管直径/mm	钢水静置时间/min	RH 精炼 Al 脱氧与合金化时间间隔/min	塞棒吹氩量/ $(L \cdot \min^{-1})$	上水口吹氩量/ $(L \cdot \min^{-1})$	中间包氩气调整方法
改进前	20	≤ 20	1~2	5~20	3~10	中间包吹氩量设定具体范围
改进后	34	≥ 30	4	9~14	7~9	参考中间包吹氩量设定范围同时,还结合在 SEN 水口两侧 210~300 mm 位置及结晶器窄边部位对称出现“鱼吐泡似的氩气泡”为佳。

陷率由 7.78% 降低至 2.62%, 下降了 5.16%, 取得了显著效果, 具体效果对比如图 8 所示。

5 结论

(1) 舌状表面缺陷部位主要含有 O、Al、Mg 和 Fe 等元素, 其主要原因是钢水中 Al_2O_3 夹杂物和 MgO 夹杂所致。针孔状表面缺陷部位主要含有 K、Na、Ca、Al 和 Ti 元素, 其主要原因是结晶器液面波动大造成保护渣卷渣。

(2) 改进中间包包盖氩气管路和保护浇注效果, 浇次首炉铝损量比原来减少了约 30×10^{-6} 。

(3) 增加钢水静置时间由原来的小于 20 min 提高至 30 min 以上, 显著减少了钢中夹杂, 液面波动量小于 5 mm 比例提高了约 4%。

(4) 延长 Al 脱氧和合金化之间的时间间隔, 由原来的 1~2 min 提高到 4 min, 明显减少了 Al-O-Ti 类夹杂产生, 因水口堵塞更换水口比例约减少了 15%。

(5) 改进中间包吹氩制度, 在参考调整氩气的基础上, 主要增加观察在 SEN 水口两侧 210~300 mm 位置及结晶器窄边部位, 对称出现“鱼吐泡似的

氩气泡”为佳。改进后结晶器液面波动率小于 5 mm 的比例由 87% 提高至 93%。

河北省自然科学基金-钢铁联合研究基金资助项目 (No. E2014209144)

参考文献

- [1] 彭其春, 赵金涛, 陈立鹏, 等. 连铸过程 DC04 钢中夹杂物的研究 [J]. 中国冶金, 2011, 21(6): 5-8.
- [2] 王新华. 洁净钢生产技术 [C]. 中国钢铁年会论文集 (上). 北京: 冶金工业出版社, 1999: 367.
- [3] Cramb A W. Secondary Steelmaking and Casting: The Basis for Control of Steel Properties and Quality [J]. Scandinavian Journal of Metallurgy, 1997, 26(S1): 2-7.
- [4] 卜志胜, 吴军. 超低碳钢 DC04 的炼钢工艺技术研究 and 应用 [J]. 江西冶金, 2013, 33(6): 24-27.
- [5] 于泽乐, 孔晓眉. 车轮钢中夹杂和铝脱氧的关系 [J]. 炼钢, 1988, 4(2): 1-7.

高菊 (1980-) 女, 硕士 (2009 年河北理工大学), 讲师, 2003 年河北理工大学 (本科) 毕业, 凝固理论与钢质量控制研究。E-mail: robbg_1018@163.com

收稿日期: 2017-02-22