

含 Ti-IF 钢无堵水口工艺技术开发

黄福祥*, 朱克然, 裴兴伟, 赵艳宇, 龚坚

北京首钢股份有限公司迁顺技术中心, 唐山 064400

Research on Non-clogging Submerged Entry Nozzle in Production of IF Steels

Fuxiang Huang*, Keran Zhu, Xingwei Pei, Yanyu Zhao, Jian Gong

Qianshun Technical Center, Beijing Shougang Co., LTD, Tangshan, 064400, China

1. 前言

含 Ti-IF 钢水口堵塞是长期困扰连铸生产的一个行业难题, 它不仅影响正常的浇铸作业, 而且还会造成浸入式水口出口偏流, 结晶器液面波动大, 导致结晶器卷渣或水口壁沉积物冲刷进入结晶器内被凝固坯壳捕捉^[1], 最终造成后工序板卷表面形成 Sliver 缺陷。因此含 Ti-IF 钢浸入式水口堵塞一直是国内外冶金工作者广泛研究并试图在生产中彻底解决的一个难题^[2,3]。

近年来, 首钢股份在含 Ti-IF 钢洁净度控制方面取得了显著的进步, 通过转炉复吹碳氧积攻关、RH 工艺 SVDC 攻关、炉渣顶渣改质、连铸全保护浇注等关键工艺技术的推广, 实现了 IF 钢汽车外板中包全氧控制在平均 16ppm 的水平, 达到了行业领先水平。随着中间包钢水洁净度的提高, 显著降低了浸入式水口结瘤程度, 改善了结晶器内钢液的流动特征, 很大程度上降低了热/冷轧板表面缺陷的发生率。

随着公司汽车外板比例提升和下游用户要求的不断加严, 如何进一步减少由于连铸坯质量遗传引起的冷/热轧产品表面缺陷成为亟待解决的重要课题。本文聚焦含 Ti-IF 钢浸入式水口堵塞的机理, 通过对化学成分和二次氧化等因素对钢水中非金属夹杂物数量和类型影响规律进行研究, 实现了 IF 钢无堵水口比例由原来的不足 20%提升至目前的 80%以上。

2. Ti 对 IF 钢钢水洁净度的影响

采用夹杂物自动分析设备 ASPEX 对含 Ti-IF 钢和微 Ti-BH 钢精炼和浇铸过程中钢水中非金属夹杂物的数量、尺寸和成分进行了对比分析, 结果表明含 Ti-IF 钢在合金化后在钢液中生成了 $Al_2O_3-TiO_x$ 夹杂物, 其在 RH 纯循环、镇静及浇铸过程中的去除效率比纯氧化铝夹杂物低。这主要是由于随着钢液中钛含量的增加, 钢液与氧化铝夹杂物的接触角逐渐降低, 如图 1 所示。随着夹杂物与钢液接触角的降低, 夹杂物在 RH 循环和浇铸过程中不容易发生碰撞聚集长大, 因此降低了夹杂物的去除效率。通过统计大生产过程中含 Ti-IF 钢和微 Ti 的 BH 钢中间包的全氧含量结果如图 2 所示, 由此可见, 含 Ti-IF 钢中间包的 T.O 含量比微 Ti 的 BH 钢平均降低 3ppm。

因此对于含 Ti-IF 钢, 为了降低钢水中非金属夹杂物的数量, 减缓其浸入式水口结瘤的程度, 必须通过降低转炉终点氧、炉渣改质和降低 RH 加铝前氧等方式, 从源头上降低夹杂物的生成数量。

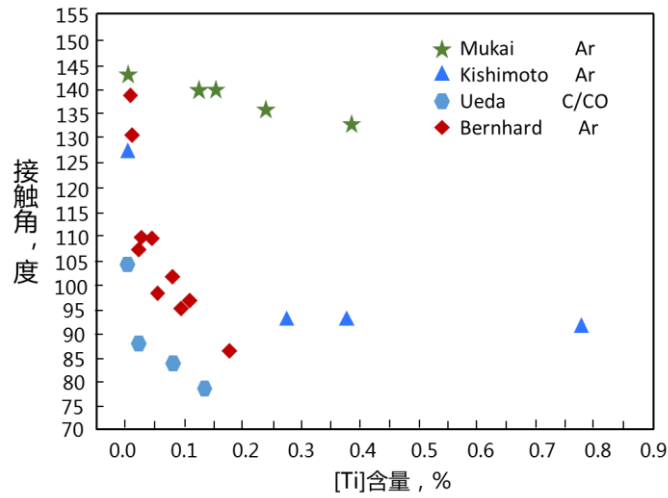


图 1 Ti 含量对钢液和氧化铝夹杂接触角的影响

Fig. 1 Influence of Ti on the contact angle between molten steel and alumina inclusion

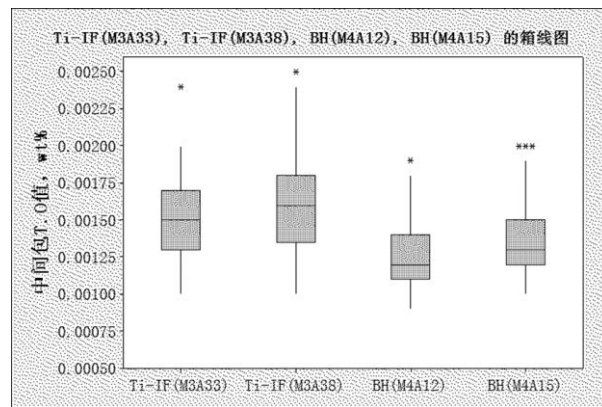


图 2 Ti 对 IF 钢钢水洁净度的影响

Fig. 2 The effect of Ti content on cleanness of IF steels

3. 二次氧化对钢水洁净度的影响

研究表明 IF 钢在浇铸过程中发生的二次氧化会导致钢中局部[Al]浓度过低，进而导致 $Al_2O_3-Ti_xO$ 夹杂物的生成，恶化钢水洁净度。为了降低浇注过程中中间包内钢水的二次氧化，自主开发了全密闭吹氩中间包盖，并在浇注孔和取样孔安装了全自动密闭装置系统，如图 3 所示。

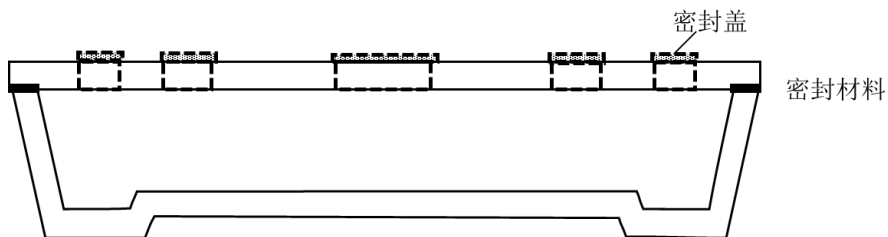


图 3 中间包全保护浇注装置示意图

Fig.3. Sketch of Sealed tundish

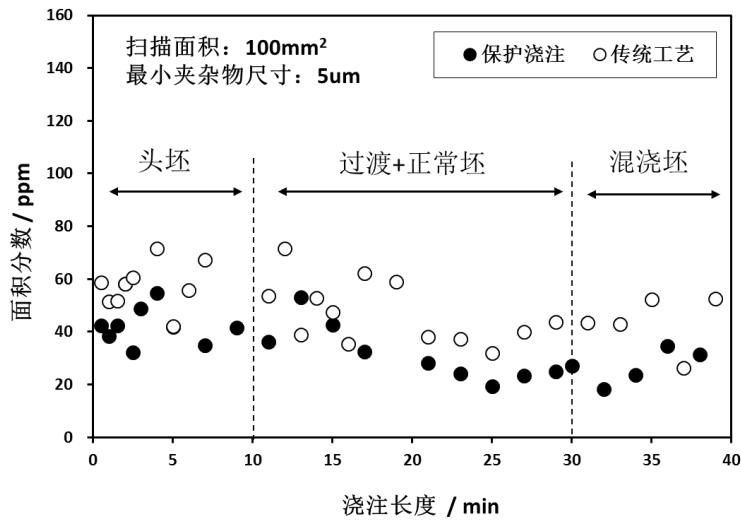


图 4 中间包保护浇注对铸坯中夹杂物的影响

Fig.4 Effect of sealed tundish on cleanliness of IF steel

采用全保护工艺后，铸坯中夹杂物的面积分数要明显小于传统工艺，夹杂物数量随着浇注长度逐渐下降。另外，从铸坯中的夹杂物数量也能看出，在未采用保护浇注工艺时，换包时，夹杂物含量会明显增加，采用全保护浇注后，铸坯中夹杂物含量增加不大。

基于含 Ti-IF 钢夹杂物去除机理的研究，通过优化冶炼工艺和开发全保护浇注中间包，实现了 IF 钢无堵水口比例由原来的不足 20% 提升至目前的 80% 以上。

4. 结论

(1) 含 Ti-IF 钢合金化后在钢液中生成了 $Al_2O_3-TiO_x$ 夹杂物，其在 RH 纯循环、镇静及浇铸过程中的去除效率比纯氧化铝夹杂物低。主要是由于随着钢液中钛含量的增加，钢液与氧化铝夹杂物的接触角逐渐降低，导致夹杂物在 RH 循环和浇铸过程中不容易发生碰撞聚集长大而去除。

(2) 自主开发了一套全密闭中间包保护浇注系统，采用全保护浇注工艺后，铸坯中（头坯、正常坯和交接坯）夹杂物的面积分数要明显小于传统工艺。

(3) 基于含 Ti-IF 钢夹杂物去除机理，通过优化冶炼工艺和开发全保护浇注中间包，实现了 IF 钢无堵水口比例由原来的不足 20% 提升至目前的 80% 以上。

参考文献

- [1] Jungreithmeier Alfred, Pissenberger Ernst, Burgstaller Karl, et al. Production of ULC IF steel grades at Voestalpine Stahl GmbH, Linz[J]. Iron and Steel Technology, 2004. (4): 41-48
- [2] Doo Won-Chul, Kim Dong-Yong, Kang Soo-Chang, et al. The Morphology of $Al_2O_3-TiO_x$ Complex Oxide Inclusions Formed in an Ultra Low-Carbon Steel Melt During the RH Process. Metals and Materials International, 2007,13(3): 249-255
- [3] Basu Somnath, Choudhary Shiv Kumar, Girase Narendra U. Nozzle Clogging Behaviour of Ti-bearing Al-killed Ultra Low Carbon Steel. ISIJ International, 2004,44(10): 1653-1660
- [4] 秦颐明. IF 钢低氧化性炉渣控制技术与夹杂物行为研究, 北京科技大学博士论文, 2012