

120 t钢包自开率的工艺实践

徐 飞*, 万 鹏, 汪国才, 程 序, 鲁方志

马鞍山钢铁股份有限公司特钢公司, 安徽 马鞍山

收稿日期: 2025年4月26日; 录用日期: 2025年8月21日; 发布日期: 2025年9月1日

摘 要

针对马钢特钢公司120 t钢包自引率偏低的问题, 研究了影响120 t钢包自开率的主要因素, 结合马钢特钢公司120 t钢包的实际情况, 通过采取选择优质稳定的引流砂、优化引流砂的存放方式、规范加引流砂操作、优化钢包烘烤制度、优化连铸台钢包静止时间、加强钢包水口管理等措施, 使钢包自开率提高到了99.48%。

关键词

钢包, 自开率, 引流砂

Process Practice of 120 t Ladle Free-Opening Rate

Fei Xu*, Peng Wan, Guocai Wang, Xu Cheng, Fangzhi Lu

Ma'an Shan Iron and Steel Co., Ltd. Special Steel Company, Ma'an Shan Anhui

Received: Apr. 26th, 2025; accepted: Aug. 21st, 2025; published: Sep. 1st, 2025

Abstract

Masteel Special Steel Company conducted a comprehensive analysis of the factors affecting the free-opening rate of their 120-ton ladle. By selecting high-quality and consistent drainage sand suppliers, optimizing the storage conditions for drainage sand, standardizing the procedure for adding drainage sand, refining the ladle baking system, reducing the ladle's static time on the continuous casting table, and enhancing ladle nozzle management, the free-opening rate was increased to 99.48%. This improvement in the free-opening rate led to a noticeable enhancement in product quality and a reduction in production costs.

*通讯作者。

Keywords

Ladle, Free-Opening Rate, Stuffing Sand

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

钢包自动开浇指的是开浇时钢包滑板打开后钢水能够自动从水口流出, 经长水口注入中间包的过程[1]。为避免钢水直接接触钢包上水口形成冷钢, 盛放钢水前需在水口内填充引流砂。出钢过程中, 引流砂吸收钢水热量迅速形成烧结层; 紧邻烧结层的是过渡层, 下方则为未受影响的原始引流砂, 由此构成引流砂的三层结构——烧结层、过渡层、原始层。开启滑板后, 原始层引流砂在重力作用下自然下落, 烧结层则在钢水静压力作用下被破坏, 从而实现自动开浇[2]-[5]。若水口无法实现自开浇, 则需进行烧氧操作强制引流。该操作将引发一系列严重的负面影响[6] [7]: (1) 钢液增氧: 烧氧过程导致钢液中氧含量升高; (2) 卷渣风险: 强制引流的钢水注流冲击中间包液面, 易引发卷渣; (3) 劳动强度增加: 显著提升操作人员的劳动强度。

近年来, 张梁[7]等人通过加快钢包周转、选用合适的引流砂材质及其颗粒级配、改进钢包水口座砖形状等手段将钢包自开率提高到了 95%左右。王重君[8]等人则通过调控引流砂成分及水分控制, 细化了引流砂加入量及加入规则, 同时对滑动水口的清理操作加以规范, 成功地将滑动水口自开率由 96%提高到 99.6%, 极大地提高了生产效率。田伟光[9]等人结合现场实际, 进行了引流砂成分调整、使用专用导管灌装引流砂作业等操作, 使得钢包年自开率由 2012 年 92.10%提高到 2016 年的 99.22%, 显著降低了生产成本。

因此, 钢包自动开浇对于稳定连铸操作工艺, 提高连浇率, 保证钢水质量十分重要。同时也是连铸采用长水口, 实现全保护浇注的重要前提条件[10] [11]。钢包无法自动开浇, 需取下长水口, 使用氧枪烧氧辅助引流, 这会导致部分钢水敞开浇注、耐火材料损坏、注流发散等问题, 不仅影响钢水质量, 严重时还会发生断浇等事故[9] [12], 因此, 钢包自动开浇对保证钢水质量、提高连浇率、保证生产顺行非常重要。本文针对马钢特钢公司 120 t 钢包自引率偏低的问题, 进行了影响因素分析, 采取了针对性的改进措施, 取得了较好的效果。

2. 自开率降低对生产及质量的影响

马钢特钢公司现有 1 座铁水倒罐站、1 座 120 t 超高功率电炉、1 座单工位和 1 座双工位 LF 钢包精炼炉、1 座双工位 RH 处理装置、1 座 120 t VD 处理装置和 1 台 5 机 5 流圆坯连铸机。生产的产品以满足特殊用途的高附加值钢坯为主, 对钢水的洁净度要求较高。2019 年 3 月~4 月马钢特钢公司钢包自动开浇率平均为 98.11%, 具体数据见表 1。钢包不自开会严重污染钢水, 同时连铸无法实现保护浇注, 严重制约钢水的质量和生产顺行, 难以满足马钢特钢公司高质量快速发展的需求。

3. 钢包自动开浇的影响因素

如图 1 所示, 马钢特钢公司的生产工艺流程为: 120 t 电炉→LF 炉→RH→圆坯、方坯连铸。其中, 120 t 钢包 D/H 比为 0.98, 钢包内衬主要采用镁碳砖, 座砖主体成分为铬刚玉质, 引流砂为铬质。

Table 1. Self opening rate of steel ladles from March to April 2019
表 1. 2019 年 3~4 月钢包自开率

时间	生产炉数	自引炉数	自开率
2019.3	582	572	98.28%
2019.4	579	567	97.93%
2019.3~4	1161	1139	98.11%

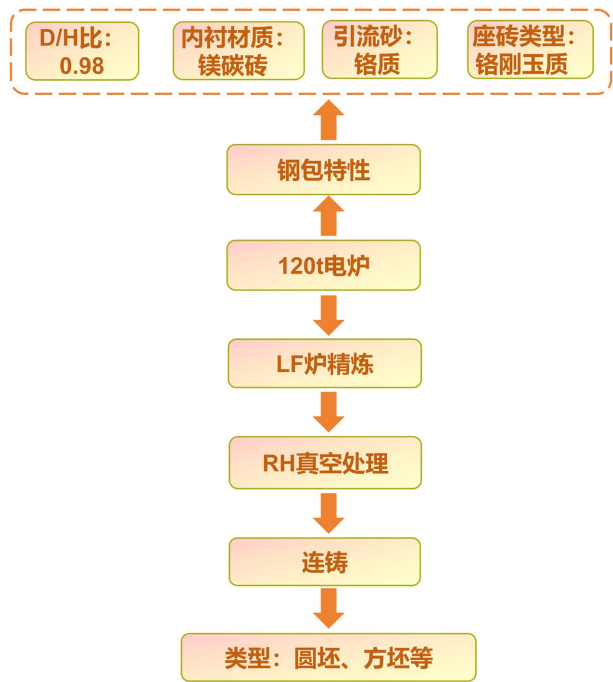


Figure 1. Production process flow of Ma Steel Special Steel Company
图 1. 马钢特钢公司的生产工艺流程

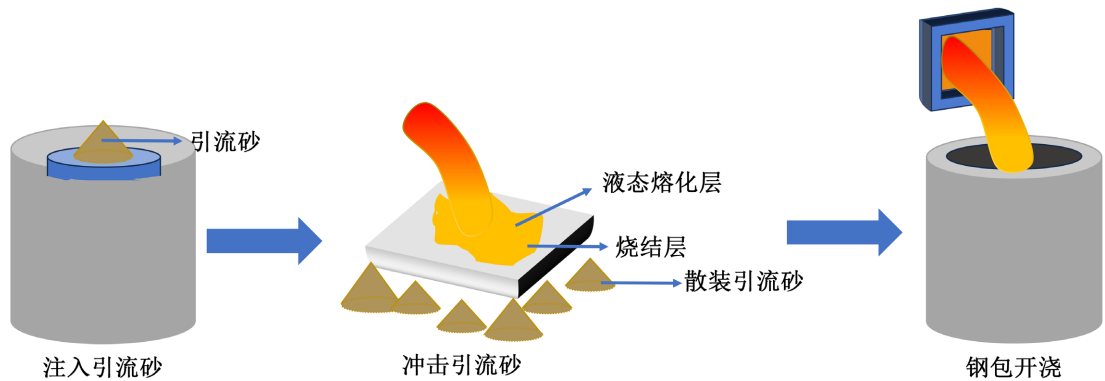


Figure 2. Schematic diagram of automatic pouring mechanism for ladle
图 2. 钢包自动开浇机理图

如图 2 所示，钢包自动开浇的主要机理为：钢包检查完毕后，将引流砂灌入上水口内与座砖顶部，形成一个凸起的馒头形状；出钢时钢水将表面引流砂冲走，剩余引流砂在钢水的传热作用下形成上、中、下三层结构，上层为与钢水接触形成的液态熔化层，中层为烧结层，下层为散装引流砂；钢包开浇时打

开滑板，下部的未烧结物料受自身重力作用下流出，烧结层受钢水静压力作用被破坏，实现钢水自动流出[8] [13]。

结合马钢特钢公司的实际情况，对比各类不同因素，影响钢包自动开浇率因素主要分为以下几类：

(1) 引流砂的影响，包括化学组成、颗粒尺寸、湿度、装入方式等；

(2) 钢包本体的影响，包括水口的材质、尺寸及结构，座砖的材质及结构等；

(3) 操作制度的影响，包括钢种、出钢温度、出钢方式，精炼时间，钢水在钢包中的停留时间，钢包的烘烤和使用温度等[2] [5]-[8]。其中，引流砂烧结层过厚和水口冷钢凝结是钢包不能自动开浇的主要原因。

4. 提高钢包自开率的改进措施及效果

4.1. 选择成分优质稳定的引流砂

引流砂在实际使用过程中要求在较低温度下迅速烧结，以防止被钢水冲刷上浮，还应具有较高的耐火度，以保证其在高温和长时间精炼状态下不会过度烧结。之前的研究表明，硅质或镁质引流砂熔点较低，流动性较差，长时间的高温精炼过程中使用硅质或镁质引流砂易使自开率较低，影响生产过程[14]。铬质引流砂具有优异的耐火度、流动性、密度、烧结性等性能，能够有效提高钢包自开率。因此，引进不同 Cr₂O₃ 与 SiO₂ 含量的引流砂，研究其对自开率造成的影响，引流砂成分与实验结果如表 2 所示。

Table 2. Chemical composition (wt.%) and self opening rate results (%) of different drainage sands
表 2. 不同引流砂的化学成分(wt.%)与自开率结果(%)

样品编号	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	C	自开率
样品 1	18.28	46.64	16.42	11.66	5.84	0.08	82.46
样品 2	28.45	36.26	16.23	12.53	5.12	0.06	88.68
样品 3	32.04	32.24	17.56	12.38	5.06	0.09	92.56
样品 4	35.88	18.96	21.03	15.55	6.67	0.09	97.35
样品 5	38.57	11.30	24.66	17.39	6.66	0.10	90.12

样品 1~5 的成分变化主要体现在 Cr₂O₃ 含量的逐渐增加与 SiO₂ 含量的逐渐减少上，实验结果表明，使用 1~5 引流砂时，钢包自开率分别为 82.46%、88.68%、92.56%、97.35%、90.12%，可以看出 Cr₂O₃ 对钢包自开率的促进作用，随 Cr₂O₃ 含量的增加，钢包自开率呈现逐渐升高的趋势，但是需要控制 Cr/Si 的比例在合适范围内，否则会出现自开率明显下降的现象(样品 5)。

4.2. 引流砂颗粒级配改进

引流砂颗粒级配也对钢包自开率产生了巨大影响，研究表明，粗粒度砂粒因自然堆积角相对较小，自然流动性比细粒度砂粒更差；同时，粗粒度砂粒间的空隙中填入了粒度较小的细砂粒，使得引流砂整体密度增大，使得水口内引流砂膨胀率增大，严重阻碍了引流砂在水口内的自然下流，严重时还会出现“架桥”现象，影响自开率[15]。基于上述样品 4 成分，选用不同粒度引流砂，对自开率变化进行研究，引流砂粒度与实验结果如表 3 所示。

引流砂的适宜粒度为 0.5~1.5 mm，实验结果表明，样品 4-1~4-4 的钢包自开率分别为 92.05%、97.35%、98.03%、94.87%，随 > 1.5 mm 的粗砂粒含量下降，钢包自开率出现了明显提高，最高达到了 98.03% (样品 4-3)，但细颗粒过多也不利于钢水自动开浇，样品 4-4 的自开率只有 94.87%，因此，需选用 0.5~1.5 mm 粒度的引流砂，同时保证 > 1.5 mm 的粗砂粒含量 < 5%。

Table 3. Particle size distribution and self opening rate results of different drainage sands (%)
表 3. 不同引流砂的颗粒级配与自开率结果(%)

样品编号	<0.4 mm	0.5~0.85 mm	0.85~1.5 mm	>1.5 mm	自开率
样品 4-1	2	25	46	27	92.05
样品 4-2	5	34	49	12	97.35
样品 4-3	2	42	53	3	98.03
样品 4-4	15	35	48	2	94.87

基于以上研究,选用样品 4-4 的成分与粒度进行引流砂的购入,现场技术人员分析比较了引流砂供应商的自开率,发现两家供应商产品的自开率都在 97.5%以上,但其中一家近期自开率偏低,见表 4。为满足生产需求,决定采用自开率更加稳定的厂家一的产品。

Table 4. Self opening rate of drainage sand from different manufacturers
表 4. 不同厂家引流砂自开率

厂家	生产炉数	自引炉数	自引率
厂家一	789	776	98.35%
厂家二	372	363	97.58%

4.3. 优化引流砂的存放制度

引流砂的含水量过高时将影响引流砂的流动性,容易在水口上方形成较厚的烧结层,影响钢包自开率[11]。3、4 月份梅雨季节空气湿度大,引流砂容易受潮,影响钢包自开率。对此优化了引流砂的存放制度,引流砂进库和送至电炉后均采用木板隔离地面的方式存放,合金库内在木板下放置石灰,定期检查石灰状况,避免引流砂吸潮,见图 3 所示。引流砂出库后及时吊运至电炉存放点,使用前确认引流砂是否干燥。

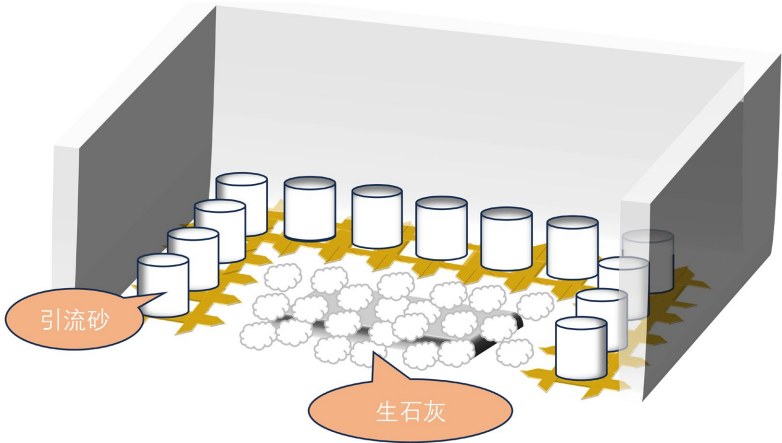


Figure 3. Improved storage method for drainage sand
图 3. 改进后引流砂的存放方式

4.4. 规范加引流砂操作

引流砂加入方式可分为手投式和漏斗式,人工投入的方法虽然操作较为简单,但是也存在以下缺点:

引流砂投入包底水口的位置是由投掷力的大小和方向所决定的，而操作工投入引流砂全凭经验，用力具有随意性，在生产中会存在投不到位的情况，更不能确保水口内加满引流砂；若水口内引流砂的量不足，出钢时钢水会进入到水口空出部分，由于水口位置低于钢包底砖，及时在钢包底吹氩的过程中，水口内的钢液也不能保证与钢包中的钢液形成循环，一直滞留在水口中，最终由于引流砂吸热导致钢液温度降低，与引流砂粘结成块，使得引流砂的流动性变差，当钢包滑板打开时，引流砂很难自动下落，最终会导致钢包不自开。

对此，特钢公司采用漏斗式灌砂方法，准确度提高以确保引流砂装满且形成一个凸起的馒头形状，从而提升钢包自开率。同时，制定电炉引流砂加入操作制度并定期检查灌砂导管的钢丝绳状况，发现异常及时更换，避免钢丝绳断股后被迫进行手投方式加入引流砂。此外，也有钢厂采用引流砂双层加入的方式，提高钢包自开率[12]，现场实践发现不同种类的引流砂差异较大，钢包自开率无法得到保障，马钢特钢公司未采用此种方法。

4.5. 优化钢包烘烤制度和盛钢时间

钢包热状况和钢包盛钢时间对钢包状态对自开率的影响较大。通常情况下，钢包自开率随钢水在包内停留时间的延长而降低。主要原因在于：高温钢液与引流砂长时间接触，促使引流砂烧结区过度扩展，致使烧结层增厚。过厚的烧结层在钢水静压力作用下难以被有效破坏，从而影响自开浇。当钢包为非连用钢包、新装上水口钢包时，由于钢包底部或水口温度较低，出钢后钢水在底部形成一层冷钢，因此会影响钢包自开。厂内生产实践表明，钢包盛钢在 120 min 以内时自开率最高，随着钢包盛钢时间的延长钢包自开率逐渐降低，当钢包盛钢超过 240 分钟时，自开率明显降低，如表 5 所示。由表可知，在现有生产节奏条件下，钢水在钢包内停留时间对钢包自开率影响较大，停留时间越长，对钢包自开率影响越显著。

此外，钢包在连铸台静止时间较长，引流砂与钢水长时间接触，会引起烧结层增厚，从而导致钢水静压力无法将其破坏，也会对钢包自引产生较大影响。生产实践表明，钢包在连铸台静止时间超 30min 后钢包自开率明显降低。

Table 5. Steel ladle loading time and self opening rate
表 5. 钢包盛钢时间与自开率

钢包盛钢时间/min	炉数	自开炉数	自开率/%
<120	34	34	100%
120~180	5456	5416	99.27%
181~240	824	810	98.30%
>240	567	555	97.88%

针对钢包状态采取的改进措施主要有：

- (1) 对不同热状况的钢包，优化烘烤制度，确保电炉红包归位，新更换上水口钢包，必须大火烘烤 1 小时后投入使用，保证钢包有足够的上线温度。立烘时，将包底的透气砖孔和钢包水口孔完全封闭，尽可能提高包底温度。同时建立钢包烘烤巡查机制，每 2 小时检查一次钢包烘烤情况，确保钢包烘烤按要求进行。
- (2) 减少连铸台钢包静止时间。特钢公司生产的钢种品种较多，不同钢种的工艺和组产模式不同，精炼过程钢包盛钢时间无法控制，规定钢包在连铸台上等待时间不得超过 30 min。

4.6. 优化水口形状

水口形状对钢包自开率也会产生较大影响,好的水口形状需要保证引流砂与钢水的接触面积足够大,足够的接触面积才能保证钢水具有足够的静压力使其自引。综合考虑下,多采用锥形水口促进引流砂的物料流动。

图 4(a)和图 4(b)分别为马钢特钢公司改进前采取的直通式水口和改进后采取的锥形水口。直通形式水口的引流砂烧结层和钢水接触面较小,钢水静压力较小,容易出现不自开。将由直通形改为锥形,增大钢水与烧结层的接触面,有利于开浇时未烧结引流砂的快速流动下落,通过钢水的静压力冲破烧结层而自开,显著提高了钢包自开率。现场实践表明:使用图 4(b)的锥形水口,其钢包自开率较 4(a)的直通水口提高 5%左右。

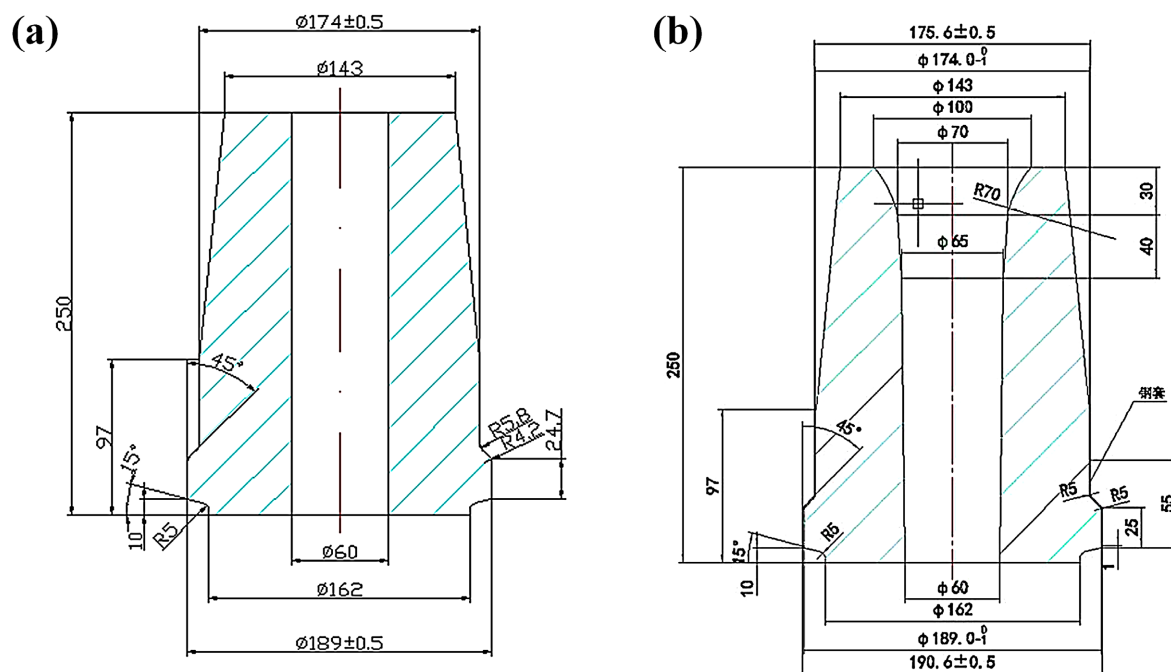


Figure 4. Water outlet shape: (a) Straight through water outlet; (b) Cone-shaped water outlet

图 4. 水口形状: (a) 直通水口; (b) 锥形水口

4.7. 加强钢包水口管理

钢包水口的状态对自开率有着重要的影响,如图 5 所示,主要体现在三个方面,马钢特钢公司从以下几个方面加强钢包水口的管理:一是钢包上水口的清洁度,另一方面是钢包使用后期上水口座砖四周的捣打料剥落,三是钢包透气砖断裂后氩气乱窜。

钢包在装包作业中,若钢包上水口内有残渣未清理干净,加入到水口内的引流砂会与残渣粘结在一起,其中渣中的 MnO/FeO 会与引流砂中的 SiO_2 发生造渣反应,生产低熔点的固溶体化合物锰橄榄石(Mn_2SiO_4)和铁橄榄石(Fe_2SiO_4),将座砖内的引流砂粘结在一起,造成钢包水口堵塞,影响钢包的自开率。同时在作业过程中采用耐火泥作为滑板水口间的接封料,多余的耐火泥残留在水口通道内,若不及时清理,也会造成钢包不自开。在钢包使用后期,上水口座砖四周的捣打料容易剥落,使得上水口烧氧后留有较多钢渣,在钢包直立投入引流砂时钢液将回流入上水口内,这些钢液会与引流砂粘结成块堵塞水口,从而导致钢包不自开。此外,当钢包透气砖断裂后氩气乱窜会将引流砂吹走,造成引流砂内部渗钢,自开率降低。

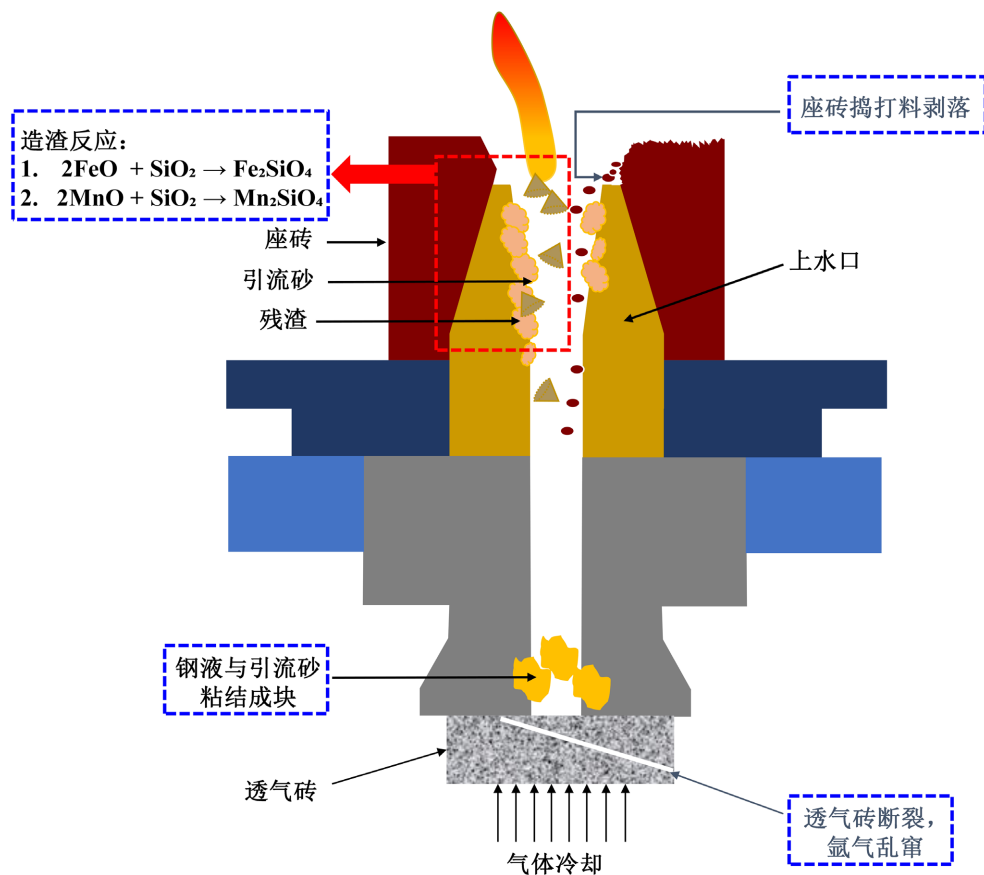


Figure 5. The influence of the state of the ladle nozzle on the self opening rate
图 5. 钢包水口的状态对自开率的影响

从以下几方面加强钢包水口管理:

(1) 连铸浇铸完毕的钢包及时进行翻渣作业, 钢包水口及座砖附近残钢要求清理干净。电炉灌砂前使用灌砂导管前端对钢包水口滑板多次轻轻敲击, 使滑板上附着的耐材残渣在敲击的震动下脱落, 以便于吹扫清理, 并使滑板在打开过程无干涉、更顺畅。

(2) 从烘烤点启用的备用钢包, 归位前, 必须下坑试拉滑板、反吹透气砖, 确认正常后才能使用。

(3) 钢包每次热修时, 必须接通氩气反吹, 分别检查东西两侧透气砖的透气性, 畅通后且无稀渣才能上线使用; 若气砖不通畅, 必须烧洗砖芯。透气砖吹洗的时候, 煤氧枪离透气砖间距 200~300 mm, 砖芯表面钢渣吹洗干净后方可。严禁用煤氧枪抵近砖芯烧洗。钢包烧洗结束接氩气反吹, 观察钢包是否漏气。

通过采取以上措施, 2020 年 1 月至 2020 年 12 月, 共生产了 7944 炉钢, 自开 7903 炉, 不自开 41 炉, 自开率达到了 99.48%, 提高了 1.37%, 效果显著, 具体数据如表 6 所示。

Table 6. Self opening rate of improved ladle (%)

表 6. 改进后钢包自开率(%)情况

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
总炉数	650	661	682	666	674	663	674	698	456	683	726	711	7944
自开数	647	658	676	661	670	660	670	695	454	679	725	708	7903
自开率/%	99.54	99.55	99.12	99.25	99.41	99.55	99.41	99.57	99.56	99.41	99.86	99.58	99.48

5. 结语

引流砂的材质及存放、加砂操作、钢包烘烤状态及盛钢时间、水口形状、钢包水口的状态是影响钢包自开率的重要因素。马钢特钢公司从优选引流砂材质、优化引流砂存放方式、优化加砂操作工艺、加强钢包烘烤和水口管理、优化钢包盛钢时间、选择最优上水口形状等多方面开展攻关工作,自开率由 98.11% 提升到 99.48%,一方面确保生产节奏高效顺行,减少了带出品的产生,提高钢液洁净度,降低生产成本;另一方面实现有效地减少了钢包烧氧次数,降低耐材消耗,减少环境污染,为生产顺行和进一步提高铸坯质量起到了重要的作用。

参考文献

- [1] 付博, 杜鹏, 赵杰, 吴兆学, 李秀芳. 提高钢包水口自动开浇率的研究[J]. 山东冶金, 2003(S2): 21-22.
- [2] 庞勇, 孙毅杰, 谿军. 提高钢包自动开浇率的研究与实践[J]. 连铸, 1998, 4(3): 11-13.
- [3] 张志刚. 提高天铁热轧 180t 精炼钢包自开率的措施[J]. 耐火材料, 2011, 45(2): 152-153.
- [4] 祝洪喜, 邓承继, 白晨, 张卫钢. 钢包用引流材料的特性与控制参数[J]. 炼钢, 2008, 24(5): 49-52.
- [5] 邱文冬, 金从进. 提高连铸钢包自动开浇率的研究[J]. 耐火材料, 2003, 37(1): 19-21.
- [6] Chien, Y., Pan, H. and Ko, Y. (1982) Preparation and Performance of Packing Sands for Sliding-Gate Systems for Steel Ladles. *Ironmaking and Steelmaking*, 9, 252-257.
- [7] 张梁. 提高 100 t 钢包自开率实践[J]. 耐火与石灰, 2020, 45(1): 18-20+25.
- [8] 王重君, 陈长芳, 李雷, 孔明姣. 120t 钢包滑动水口自开率的影响因素探究与改进实践[J]. 宽厚板, 2018, 24(3): 20-22.
- [9] 田伟光, 徐佳林, 刘光勇, 尹帮伍, 陆海飞, 何金元, 黄鼎钦. 提高 75t 钢包自开率的工艺研究[J]. 连铸, 2018, 43(4): 1-4.
- [10] 孙永林, 罗衍昭, 贾祥超. 钢包自开率影响因素分析及措施[J]. 连铸, 2016, 41(4): 23-25.
- [11] 朱波. 提高 90t 钢包水口自开率的措施[J]. 中国冶金, 2011, 21(4): 31-33.
- [12] 吴元刚. 钢包自开率影响因素分析及改进[J]. 河北冶金, 2011(12): 35-36+45.
- [13] 季德静, 苏家男, 李春阳, 姚新杰. 提高钢包自动开浇率的研究与实践[J]. 冶金丛刊, 2015(2): 29-32.
- [14] 张海波. 提高 300t 钢包滑动水口自开率的研究[J]. 河北冶金, 2016(2): 13-15.
- [15] 郭永谦. 提高 150t 钢包自开率的工艺措施[J]. 耐火材料, 2006(3): 238-239.