

一机一流板坯中间包用耐火材料提寿与应用

董战春, 秦文鹏, 刘根胜, 李涛, 章荣会

北京联合荣大工程材料股份有限公司, 北京 101400

Longevity Improvement and Application of Refractory Materials for one machine and one stream Slab Tundish

Dong Zhanchun, Qin Wenpeng, Liu Gensheng, Li Tao, Zhang Ronghui
Beijing Allied Rongda Engineering Material Co.,Ltd., Beijing, 101400, China

1. 前言

由于连铸工艺的不断优化及对钢坯质量要求的提高, 中间包已经逐渐演变为钢水精炼的终端设备, 其作用主要有两个: 一是钢水的精炼, 二是非金属夹杂的消除。为实现上述功能, 就要求中间包所用耐火材料必须向长寿化、洁净化方向发展。

中间包的包龄高低、寿命长短, 直接影响着铸坯的收得率以及生产组织的连续性和稳定性, 提高中间包的使用寿命, 对降低连铸用耐火材料消耗, 减少中间包浇余及铸坯切头、去尾, 提高钢液品质等具有重要意义^[1]。

目前, 国内的连铸生产工艺取得了令人瞩目的进步, 板坯中间包的使用寿命已普遍达到 30~50 小时的水平, 但是, 如何进一步提高使用寿命并达到与方坯中间包的同等水平, 仍然是行业内努力的方向。

2. 技术措施

2.1. 存在的问题

某钢铁公司一机一流板坯中间包主要冶炼钢种为常规钢种(普碳、低合金、桥梁钢等中高碳钢)和低碳低硅钢两大类, 2019 年之前平均使用寿命为大约 24 小时, 平均连浇炉数为最高大约 35 炉左右。导致中间包使用寿命不高的主要几项因素是渣线干式料的耐侵蚀性不稳定、稳流器的底部不耐冲刷、挡渣墙渣线部位不耐侵蚀、塞棒渣线和棒头冲刷严重及出现断裂等几种情况, 从而导致中间包提前下线, 并对钢水纯净度造成了非常不利的影 响。因此, 提高中间包寿命对降低耐材成本和提高钢水质量尤为重要^[2]。

2.2. 确定 156 小时试验结构方案

分析该中间包工艺应用情况, 在炼钢部的异钢种连浇技术的成功开发的有利条件下, 通过对各耐火材料侵蚀严重的主要影响因素进行讨论, 最终确定工艺研究所采取的措施, 分别对渣线干式料、挡渣墙、稳流器、塞棒及水口等的材质和设计结构进行一定程度的调整和优化。具体耐火材料提寿结构配置方案见图 1 所示。

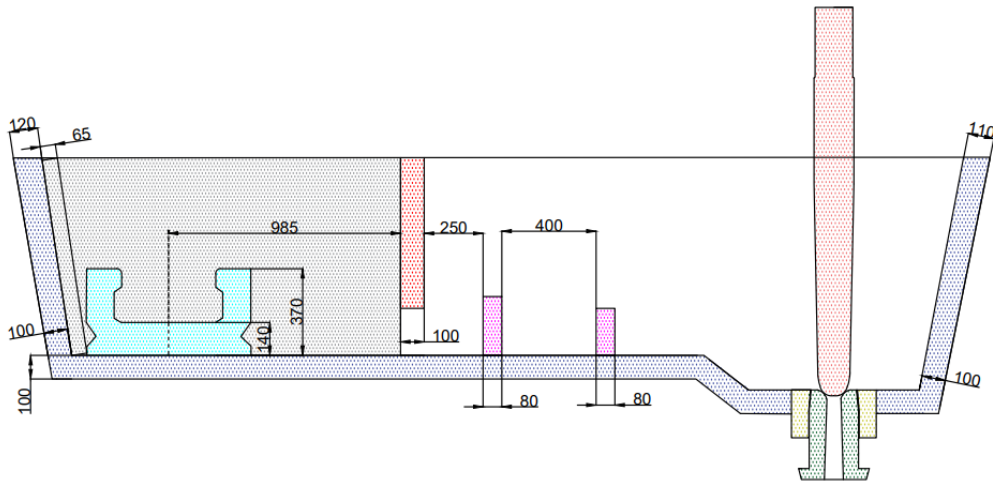


图 1 板坯中间包 156 小时提寿结构砌筑方案

Fig. 1 Masonry Plan for 156h Life Improvement Structure of Slab Tundish

2.3. 渣线干式料的调整

对于一机一流板坯中间包，在现场工艺条件、砌筑形式一定的情况下，中间包用耐火材料寿命主要取决于中间包工作层干式料钢水的化学侵蚀、高温熔损和机械冲刷^[3]，因此，如何有效的提高渣线部位干式料的抗渣侵蚀和耐冲刷能力就成为提寿的主要措施。

对现场在用覆盖剂的中间包渣进行取样分析，并与之前所应用的另一个厂家的覆盖剂在实验室留存的渣样做化学成份对比，找到了影响渣线干式料侵蚀速率的主要因素，同时在实验室进行了复核试验验证。复核试验以前、后两个厂家的覆盖剂中间包渣样为基础，进行 6 种不同方案干式料的坩埚耐侵蚀试验。

材料方案以镁铬砖破碎料、烧结镁砂和电熔镁砂等为主原料，其最大临界粒度选择为 5mm，上述三种原料的合计加量为质量总数的 90~96%，粉状热固酚醛树脂加量为质量总数的 3% 左右，电熔尖晶石粉加量为质量总数的 1~3%，其余外加剂加量为质量总数的 0.2~0.6%。

试验时按 100mm×100mm×100mm 模具成型坩埚，进行 250℃×3h 烘烤后，冷却放置并脱模，然后分别加入一定量的中间包渣样并进行 1550℃×3h 高温煅烧。中间包渣样的化学检测成份具体情况见表 1 所示。

表 1 中间包渣样化学成份主要检测结果

Table 1 Main test results of chemical composition of tundish slag samples

名称	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
成份 1 %	23.14	9.26	23.41	0.88	2.64
成份 2 %	19.28	11.54	19.16	1.03	0.95

对冷却后的坩埚进行切割，并测量了切割样的侵蚀深度、渗透深度以判断干式料的耐侵蚀能力，整理数据结果发现，当电熔尖晶石粉的加入量为 3%（4#方案）时干式料综合耐渣侵蚀性能达到最佳，测量切割后的试验坩埚发现不仅横切面平滑齐整，且只有很浅的渗透层，侧面最深处仅为 3mm，底部最深处仅为 2mm，具有良好的抗渗透和耐侵蚀性能，具体情况可见图 2 所示。

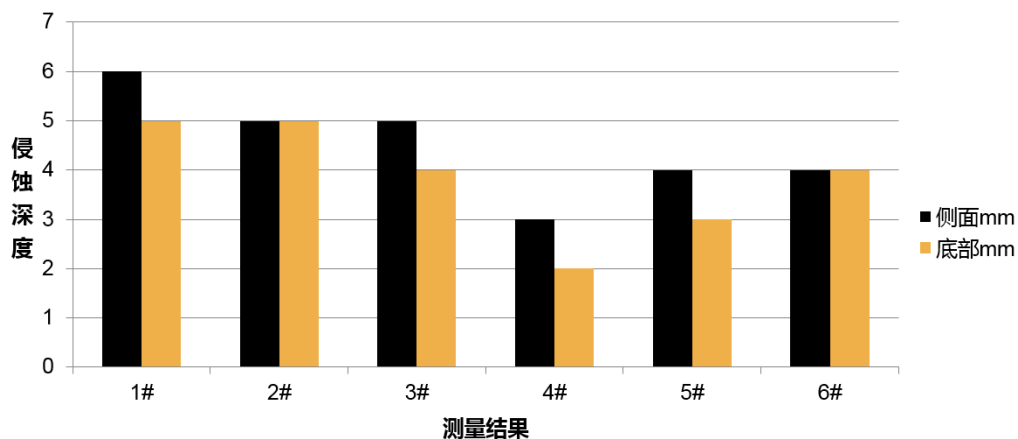


图2 不同方案的渣线干式料试验坩埚侵蚀结果对比

Fig. 2 Comparison of crucible erosion results of different schemes of slag line dry material test

2.4. 镶嵌冲击区护板

冲击区护板的设计厚度为 50~65mm，其余设计尺寸按冲击区部位形状确定。护板的制作全部采用镁铝质浇注料进行一体浇注成型，材料以烧结镁砂和电熔镁砂为主原料，其最大临界粒度选择为 5mm，采用超微粉结合技术，添加一定比例的电熔尖晶石粉，使材料在抗折强度、耐压强度得到有效提高的同时，还显著增强了抗渗透能力^[4]，现场组合安装后使用，对冲击区工作层可起到良好的保护作用。

2.5. 挡渣墙的改革

中间包挡渣墙的主要作用是为了改变包内钢水的运动轨迹，从而达到：降低钢水的流动速率，减轻钢水对包内耐火材料的冲刷；延长钢水在包内的停留时间，使钢水中的夹杂物有足够的时间充分碰撞、聚集、上浮，以净化钢水；均匀分配钢水以基本相同的时间到达各流水口，使各流的温度保持一致，减少拉漏和结塞现象；改变包内的流场分布，使钢水流动动力状态达到最佳；减少滞留区增加层流区^[5]。

挡渣墙的改革方案以材料体系调整为主，原设计尺寸不做改变。挡渣墙材质的设计选择分别为渣线部位采用铝镁质、本体部位采用高铝质，生产制作工艺设计为采用两种浇注料进行复合浇注一体成型。

渣线部位材料方案以铝镁质原料为主原料，依据安德烈森紧密堆积理论，选取 $q=0.27$ ，原料最大粒径选择为 $D_{max}=15mm$ ，骨料主要采用高氧化铝原料做主料，并与复合微粉技术相结合，主原料加量为质量总数的 70~75%，电熔尖晶石粉加量为质量总数的 8~12%，同时外加不锈钢纤维为质量总数的 0.6~0.8%，同时，合理使用新型分散剂以降低预制件成型时所必须的加水量，使得浇注料在成型所需最低加水量的情况下能够获得最高的流动度，使其能够达到最紧密堆积，具有较高的体积密度和常温强度、较低的显气孔率。与镁质或镁硅质材料方案相比，改进型挡渣墙材料方案无论是抗折、耐压强度还是抗冲刷和耐渗透性能均得到大幅度提升。

2.6 稳流器的改进

中间包稳流器的主要作用是避免高温钢水直接冲击包底，均衡钢水在包内的停留时间，保证液面的稳定性，有效延长包内材料的使用寿命。

稳流器根据流场需要设计为圆形杯状结构，采用浇注料一体浇注成型制作，针对目前的应用现状，在不改变当前稳流器整体设计结构的情况下，将原底部单层预制件浇注结构改为复合结构，即在稳流器底部冲击区中心部位浇注料内埋入一块铝镁碳质冲击板。采用上述技术措施制作的改进型稳流器可大幅提高底部的抗冲刷性能。

2.7. 塞棒的改进

一机一流板坯中间包现场采用塞棒和水口相配合的控流方式，随着连浇炉数的增加，塞棒出现几率较高的问题主要是渣线和棒头侵蚀、冲刷严重，控流较为困难，个别包次的塞棒在应用时甚至出现了棒头断裂情况，制约了连浇寿命的提高。

根据提寿需要，对塞棒进行了一系列技术措施的调整，主要是：1) 在塞棒渣线部位外层增加 20~30mm 厚度的 ZrO₂-C 环，以增强抗侵蚀性能；2) 塞棒棒头采用镁铝碳质，原料主要选用电熔镁铝尖晶石和大结晶电熔镁砂，在提高氧化镁含量的同时适当的降低碳含量，降低钢水与棒头材料发生反应的几率，以增加抗冲刷性和耐侵蚀性能。

3. 应用结果分析

连铸现场组织进行了 156 小时连浇试验应用，实际连浇时长达到了 156 小时 25 分钟，钢种为 45#、50#高碳钢混浇，共浇注大包钢水 240 包，浇铸断面为 280mm×1800mm，平均拉速为 0.75m/min，过钢量为 27664 吨，铸坯总长度达 7009 米。

统计试验包下线和翻包后测量结果，具体如下所示，1) 冲击区南北两侧护板渣线部位平均侵蚀约 35~40mm，最薄处残厚大约 20mm，护板全程使用正常，冲击区渣线干式料未受到明显侵蚀；2) 非冲击区部位渣线干式料整体侵蚀大约 20~25mm；3) 挡渣墙冲击区渣线部位侵蚀约 20~30mm，非冲击区渣线部位侵蚀约 10~12mm，全程应用正常无明显轮廓变形、穿孔、开裂等现象发生；4) 稳流器底部残厚大于 100mm，翻包后保留完好；5) 塞棒垂直长度未发生明显侵蚀变化，棒头控流正常、尺寸无明显变化，棒身整体侵蚀约 25mm，渣线部位侵蚀约 60mm；6) 上水口使用全程无异常，翻包查看无明显扩径现象；7) 连浇过程期间安排人员全程测温无异常。

4. 结语

工业应用实践结果表明，1) 通过对中间包渣线干式料的调整并与护板形成复合结构，能够在不改变中间包工作容量的基础上，有效的延长了工作衬冲击区渣线部位的使用寿命；2) 复合结构稳流器底部残厚大于 100mm，具有良好的抗钢水冲击性，使中间包在 156 小时应用情况下能够具有更高的安全保障；3) 塞棒垂直长度未发生明显侵蚀变化，棒头全程应用控流正常、尺寸无明显变化，渣线部位侵蚀较轻，能够继续使用。

总之，通过提高中间包用耐火材料的整体耐侵蚀性能，使一机一流大板坯中间包的使用寿命提高至 156 小时以上成为现实，大幅提高了连铸生产作业率，对于炼钢-连铸生产环节的节能、降耗、增效，乃至钢铁行业碳减排具有非同一般的意义。

参考文献

- [1] 武光君,冯启超. 板坯连铸中间包长寿技术实践[J]. 耐火材料, 2009,43(6):470-471.
- [2] 武宝仲,赵欣锋. 影响中间包寿命的原因分析及改进措施[J]. 河南冶金, 2018, 26(2):18-19+43.
- [3] 姜兴辰,李振,施汉生,郭达. 莱钢炼钢厂提高中间包单包寿命的措施[J]. 山东冶金, 2007, 29(增): 49-50.
- [4] 李艾祥,段爱娟,顾华志,等. 熔融石英对镁质挡渣堰性能的影响[J]. 武汉科技大学学报, 2008, 31(10): 220-224.
- [5] 张晓丽. 中间包镁质挡渣堰的研制与使用[J]. 耐火材料, 2003,5.