

## 双渣线操作提高结晶器浸入式水口使用寿命的工艺实践

于学森 沈奎 廖舒纶 麻晗  
(江苏省(沙钢)钢铁研究院, 张家港 215625)

**摘要** 基于保护渣对6流140 mm×140 mm坯连铸结晶器铝锆质浸入式水口侵蚀机理的分析,通过控制结晶器钢液面为折线形周期性波动(振幅为5 mm,周期为2 h)浇铸5 h后升高中间包高度20~40 mm更换水口的渣线位置,扩大了水口被侵蚀的面积,减轻浸入式水口侵蚀深度。生产结果表明,在使用8 h的条件下,水口的侵蚀深度由工艺优化前的15 mm减小到优化后的5.5 mm,提高了水口的强度,避免了因更换水口断裂而发生停浇事故。浸入式水口的使用寿命由8 h提高到10~12 h。

**关键词** 6流140 mm×140 mm坯连铸 浸入式水口 结晶器钢液面 渣线 使用寿命

## Process Practice for Improving Service Life of Submerged Nozzle in Mold by using Double-Slag-Line Operation

Yu Xuesen, Shen Kui, Liao Shulun and Ma Han  
(Institute of Research of Iron and Steel, Shasteel, Jiangsu Province, Zhangjiagang 215625)

**Abstract** Based on the analysis on eroding mechanism of casting mold powder to aluminum-zirconium submerged nozzle during casting 6 strand 140 mm×140 mm billet, with controlling the liquid level in mold from original plane straight line form to up-and-down periodical fluctuation twist line form (amplitude 5 mm and cycle for 2 h) and casting for 5 h, then rising tundish by 20~40 mm to change the position of slag line of nozzle, the eroding depth of submerged nozzle obviously decreases by enlarging the eroded area of nozzle. Production results show that in the condition that the nozzle is used for 8 h, the eroding depth of submerged nozzle decreases from 15 mm before process optimization to 5.5 mm after process optimization. The strength of submerged nozzle is improved to avoid stopping casting due to exchanging broken nozzle. And the service life of submerged nozzle is improved from 8 h to 10~12 h.

**Material Index** 6 Strand 140 mm×140 mm Billet Casting, Submerged Nozzle, Liquid Level in Mold, Slag Line, Service Life

浸入式水口是安装在中间包底部并插入结晶器钢液面以下的耐火材料套管<sup>[1]</sup>,作为连铸过程中的关键功能部件之一,其主要作用是将中间包内的钢水输送到结晶器,保护钢水不发生二次氧化,防止钢水飞溅以及改善钢水在结晶器内的流动状态和热流分布等<sup>[2,4]</sup>。

在连铸过程中,浸入式水口与保护渣液渣层相接触的部位(即渣线位置)会受到液渣的不断侵蚀,当侵蚀到一定深度后浸入式水口不得不报废。对于分体式水口报废后,需要更换新的浸入式水口;而对于整体式水口报废后,需要停浇,并更换中间包内所有耐火材料以及浸入式水口。国内钢厂一般采用分体式浸入式水口,在实际生产过程中,浸入式水口达到使用寿命时均未发生断裂和穿孔,但是水口渣线位置侵蚀深度过深,导致水口渣线位置强度下降,在线更换水口时,很容易与结晶器发生碰撞而断裂。由于水口断裂部分进入结晶器内而停浇的事故时有发生,不但增加劳动强度、耽误生产节奏,而且会导

致生产成本的增加。

### 1 浸入式水口侵蚀形貌和机理

钢厂炼钢车间有6流小方坯圆弧型连铸机1台,生产连铸坯规格为140 mm×140 mm,结晶器使用表面镀铬的高拉速铜管,长度为1 000 mm,水缝宽度3.5 mm。结晶器安装有电磁搅拌设备,钢液面控制精度为±3 mm,振动方式为正弦振动,所用的浸入式水口为铝锆材质,本体是铝碳质,距底部50~150 mm为渣线位置,材质是氧化锆-石墨。连铸过程中,浸入式水口会被保护渣液渣侵蚀。侵蚀深度一般为15 mm左右,个别达到19 mm。

连铸过程中,浸入式水口与保护渣液渣相接触,水口表面(渣线位置)的石墨与保护渣中的氧化物及钢水中的氧发生氧化而逐渐损失,导致水口渣线处的ZrO<sub>2</sub>裸露出来,并同保护渣中低粘性成分发生反应,使得氧化锆的晶体结构发生改变,由立方晶ZrO<sub>2</sub>转化为单斜晶ZrO<sub>2</sub>,从而引起晶体颗粒发生细碎化,在钢水流场冲刷的作用下,细碎化的单斜晶

ZrO<sub>2</sub> 被卷入钢水中,使水口内层的石墨继续残留在渣线位置处,石墨在高温下再次发生氧化而损失。此过程不断循环,造成浸入式水口渣线位置也不断被侵蚀<sup>[5-8]</sup>。另外,由于结晶器振动、钢液面控制精度内的正常波动均对浸入式水口渣线位置形成机械冲刷,这也是浸入式水口被侵蚀的原因之一。

## 2 工艺措施及效果

不同钢种因化学成分、熔点的不同,采用的结晶器保护渣也有所差别,保护渣的性能会直接影响到连铸坯的质量。钢厂在生产高碳钢时,采用的是高碳钢专用保护渣(保护渣成分如表 1 所示),如用于生产轮胎圈钢丝的 C70DA,其碳含量为 0.7% 左右,具体的成分如表 2 所示,采用的生产工艺为:110 t EAF→110 t LF→CC(140 mm×140 mm 连铸坯)→高线轧制→斯太尔摩控冷。

一般情况下,保护渣的粘度越低,对浸入式水口的侵蚀越严重<sup>[6]</sup>,在生产实践过程中,经常会发现中低碳钢浸入式水口的侵蚀程度较高碳钢小,主要是由二者在连铸过程中所使用的保护渣性能所决定的,具体参数如表 3 所示。

### 2.1 结晶器钢液面控制

对于连铸过程,通常将结晶器内的钢液面尽量保持稳定,主要是为了防止因结晶器钢液面高度(H)的波动引起的卷渣等现象,容易影响钢水的纯净度,甚至会导致漏钢、坯料报废的危险,对生产过程的危害较大。但是长时间保持液面稳定,就会导致浸入式水口的渣线位置固定不变,渣线处的侵蚀也就愈发严重。

为了增大保护渣侵蚀水口面积、减轻侵蚀深度、

表 1 结晶器保护渣成分 / %

Table 1 Ingredient of casting mold powder / %

| CaO  | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O | C     |
|------|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------------|-------|
| 24.6 | 38.26            | 2.85                           | 1.90 | 4.53                                 | 17.30 |

表 2 C70DA 钢的化学成分 / %

Table 2 Chemical composition of steel C70DA / %

| C           | Si          | Mn          | P       | S       |
|-------------|-------------|-------------|---------|---------|
| 0.69 ~ 0.72 | 0.18 ~ 0.26 | 0.52 ~ 0.60 | ≤ 0.018 | ≤ 0.015 |

表 3 连铸中低碳钢和高碳钢的保护渣性能

Table 3 Properties of casting mold powder for low and middle carbon steels and high carbon steels

| 保护渣类别 | 碱度   | 熔点/℃  | 粘度/(Pa·s) |
|-------|------|-------|-----------|
| 中低碳钢  | 0.73 | 1 160 | 1.35      |
| 高碳钢   | 0.67 | 1 100 | 0.50      |

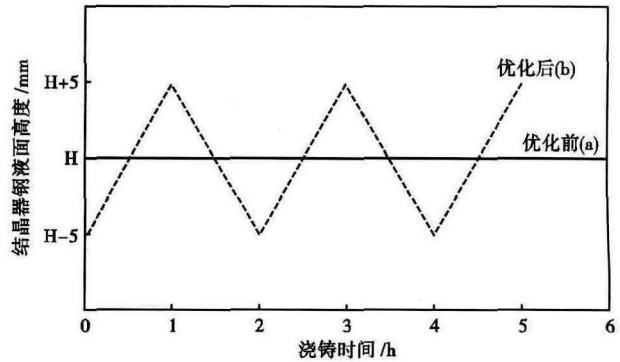


图 1 优化前(a)和优化后(b)结晶器钢液面的控制曲线,H 为结晶器钢液面高度

Fig. 1 Mold liquid level controlling curves before (a) and after (b) process optimization, H- height of liquid level in mold

提高浸入式水口使用寿命,通过计算机控制塞棒,将结晶器钢液面由原来的平直形控制变成折线形周期性波动,波动周期(T)为 2 h,波动振幅为 5 mm,波动图形如图 1 所示。将结晶器钢液面的波动周期设置为“小振幅,大周期”,主要目的在于减弱结晶器钢液面周期性波动对结晶器流场的扰动,降低结晶器保护渣卷入的几率,从而有利于铸坯质量的控制。

工艺优化前后浸入式水口使用 8 h 侵蚀情况如图 2 所示。对比发现,采用优化之后的工艺,浸入式水口渣线位置处侵蚀的宽度明显增大,由优化前的

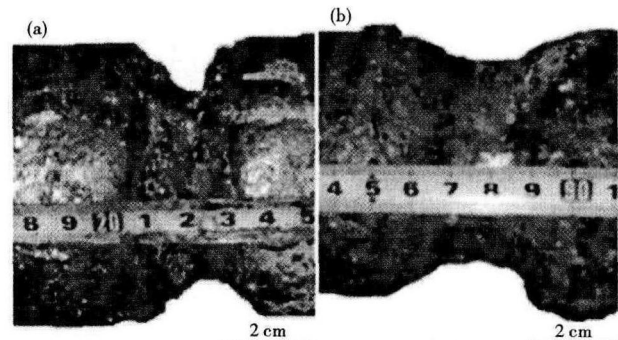


图 2 折线周期性波动操作工艺优化前(a)和优化后(b)浸入式水口渣线侵蚀形貌对比

Fig. 2 Comparison of submerged nozzle slag line eroding condition before (a) and after (b) process optimization of up-and-down periodical fluctuation operation

表 4 折线周期性波动操作工艺优化前后浸入式水口渣线侵蚀状况对比(使用时间 8 h)

Table 4 Comparison of submerged nozzle slag line eroding condition before and after process optimization of up-and-down periodical fluctuation operation, casting for 8 h

| 工艺  | 外径/mm | 内径/mm | 侵蚀深度/mm |
|-----|-------|-------|---------|
| 优化前 | 54    | 25    | 15.0    |
| 优化后 | 63    | 26    | 9.5     |

25 ~ 30 mm 提高至 40 ~ 45 mm;水口外径由 54 mm

增大 63 mm; 侵蚀深度减小到 9.5 mm, 侵蚀深度降低了 43%, 数据对比情况如表 4 所示。同时还可以看出, 工艺优化前后水口内径尺寸基本相当, 这说明在相同使用时间条件下, 钢水对水口内径的冲刷程度相同。通过工艺优化, 水口侵蚀厚度减小, 水口渣线位置强度增大, 水口使用寿命可由之前的 8 h 提高到 10 h, 并能够避免因更换水口发生断裂导致停浇的事故。

## 2.2 双渣线操作

为了进一步提高浸入式水口使用寿命, 在控制钢液面呈周期性波动的基础上, 采用“双渣线”操作。具体操作如下:

连铸过程中将浸入式水口最小插入深度控制在 80~100 mm, 浇铸时间达到 5 h 后, 将中间包升高 20~40 mm, 进而将浸入式水口渣线位置更换到原渣线以下 20~40 mm, 达到提高水口使用寿命的目的。

图 3 为优化前后浸入式水口使用时间 8 h 的侵蚀情况, 可以发现, 优化后浸入式水口侵蚀程度明显减轻。根据表 5 中测量和统计的结果可以看出, 优

化前浸入式水口渣线处外径为 63 mm, 采用优化的双渣线操作的工艺后, 渣线外径为 71 mm, 增大了约 13%; 优化前侵蚀深度为 9.5 mm, 优化后减少为 5.5 mm, 减小了约 42%。因此, 在调整结晶器钢液面呈周期性波动的基础上, 采用双渣线操作, 浸入式水口侵蚀程度进一步降低。

通过控制结晶器钢液面呈折线形周期性波动和采用双渣线操作, 浸入式水口侵蚀深度减小了约 63%, 提高渣线位置水口强度, 避免了因更换水口发生断裂导致停浇的事故, 浸入式水口使用寿命可提高到 10~12 h, 减轻了操作工的劳动强度, 降低了水口的更换频率和生产成本。

## 3 结论

通过控制塞棒将结晶器钢液面调整为折线形周期性波动以及采用双渣线操作, 浸入式水口在使用 8 h 的条件时, 侵蚀深度由 15 mm 减小到 5.5 mm, 减少了约 63%, 有效地避免了因更换水口发生断裂导致停浇的事故, 同时将水口的使用寿命在原有的基础上提高了 2~4 h, 显著提升了生产效率。

## 参考文献

- [1] 贺智勇, 李林, 刘开琪. 国内浸入式水口材质和防堵塞技术的发展[J]. 中国冶金, 2007, 17(10): 1-2.
- [2] 杨建, 李杰, 王世俊, 等. 浸入式水口结构对大方坯结晶器流场和温度场影响的数学模拟[J]. 钢铁研究, 2011, 39(4): 12-13.
- [3] 罗春胜, 彭琦, 仇东丽. 宽板坯连铸结晶器浸入式水口结构优化的研究[J]. 钢铁研究, 2007, 35(6): 33-34.
- [4] 于学斌, 李小虎, 郭唐瑜, 等. 大方坯用四孔浸入式水口操作参数的优化[J]. 连铸, 2006(2): 4-5.
- [5] 徐其言, 周俐, 帅勇, 等. 结晶器保护渣与 Zr-C 质浸入式水口的反应机制研究[J]. 中国稀土学报, 2010, 28: 487-490.
- [6] 高泽平, 苏旺. 结晶器保护渣对浸入式水口侵蚀的影响[J]. 湖南冶金, 2000(3): 17-21.
- [7] 刘永平, 刘建伟, 薛燕. 浸入式水口变渣线的工艺优化[J]. 山东冶金, 2005, 27(6): 16-17.
- [8] 刘建伟, 王启明, 成小龙. 浸入式水口自动变渣线工艺的应用[J]. 炼钢, 2007, 23(1): 11-13.

于学森(1986-), 男, 硕士(武汉大学), 助理研究员, 2010年武汉大学(本科)毕业, 棒线材产品和炼钢工艺研究。E-mail: balihan2003@163.com

收稿日期: 2014-06-30

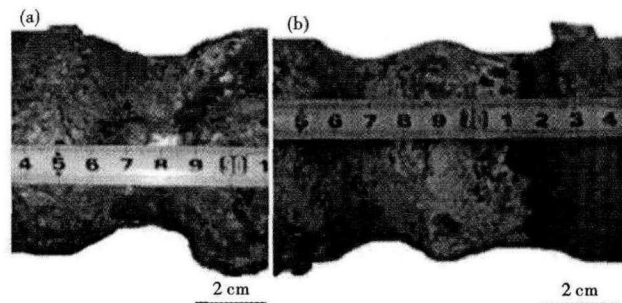


图 3 双渣线工艺操作优化前(a)和优化后(b)浸入式水口侵蚀形貌

Fig. 3 Morphology of eroding submerged nozzle before (a) and after (b) process optimization of double-slag-line operation

表 5 双渣线工艺操作优化前后浸入式水口渣线状况对比 (使用时间为 8 h)

Table 5 Comparison of submerged nozzle slag line condition before and after process optimization of double slag line operation, casting for 8 h

| 工艺  | 外径/mm | 内径/mm | 侵蚀深度/mm |
|-----|-------|-------|---------|
| 优化前 | 63    | 26    | 9.5     |
| 优化后 | 71    | 26    | 5.5     |