

· 工艺技术 ·

## 6 流非对称 40 t 中间包挡墙和挡坝对帘线钢盘条夹杂物的影响

韩延申 陈伟庆

(北京科技大学钢铁冶金新技术国家重点实验室, 北京 100083)

**摘 要** 通过工业试验研究了 6 流非对称 40 t 中间包不加挡墙、加挡墙和同时加挡墙挡坝对 82A 帘线钢  $\Phi 5.5$  mm 盘条夹杂物数量和尺寸的影响。金相检验和电解夹杂物分析结果表明, 中间包不加挡墙, 近流盘条中夹杂物数量多且尺寸大; 加挡墙后, 近流盘条中夹杂物数量明显减少且尺寸减小, 但远流盘条中夹杂物数量增多且尺寸较大; 当加挡墙和挡坝, 远流和近流盘条中夹杂物数量和尺寸均明显下降。

**关键词** 82A 帘线钢 6 流非对称 40 t 中间包 挡墙 挡坝 夹杂物 去除

## Effect of Weir and Dam in 6-Strand Asymmetric 40 t Tundish on Inclusions in Coil of Tire Cord Steel

Han Yanshen and Chen Weiqing

(State Key Laboratory of Advanced Metallurgy, University of Science and Technology, Beijing 100083)

**Abstract** The effect of 6-strand asymmetric 40 t tundish original no-adding weir, adding weir, and adding weir + dam on amount and size of inclusions in  $\Phi 5.5$  mm coil of 82A tire cord steel has been studied by commercial test. The results of metallographic examination and electrolytic analysis of inclusions show that with the tundish non-adding weir, the amount and size of inclusions in coil rolled from near-stream strand billet are more and larger; with the tundish adding weir the amount and size of inclusions in coil rolled from near strand obviously decrease, but the amount and size of inclusions in coil rolled from far strand increase and larger; and with adding weir + dam the amount and size of inclusions in coil rolled from near and far strand all obviously decrease.

**Material Index** 82A Tire Cord Steel, 6-Strand Asymmetric 40 t Tundish, Weir, Dam, Inclusion, Remove

钢中非金属夹杂物破坏了钢基体的连续性, 直接影响钢材的质量和性能。帘线钢作为钢铁企业线材生产水平的标志性产品, 对夹杂物有着很高要求, 因此冶炼过程中每个阶段对夹杂物都要有严格的控制。近年来, 中间包内夹杂物的去除得到了冶金工作者的日益关注和重视, 尝试了各种方式进行中间包的研究, 并取得了较好的成果<sup>[1-5]</sup>。中间包内夹杂物的去除主要有两种方式, 一种是上浮至表面离开钢液, 另一种是在中间包内和包衬碰撞粘附到固体表面, 尤其对于小尺寸夹杂物<sup>[6]</sup>。研究表明, 中间包加挡墙、挡坝能够改善中间包内流场, 增加中间包内钢水的停留时间, 有利于钢水中夹杂物的上浮<sup>[7]</sup>。同时, 加挡墙、挡坝还能增加中间包与钢水的接触, 促进包衬对小尺寸夹杂物的吸附。

国内钢厂在帘线钢生产时, 由于中间包结构不合理, 生产出的帘线钢盘条中夹杂物数量较多且尺寸较大。本文在中间包水模和数模研究的基础上主

要进行了现场工业试验, 通过在原中间包中合适位置加设挡墙、挡坝等手段, 改善中间包流场, 以考察中间包结构优化后去除夹杂物的效果。

### 1 试验方案

本试验采用 82A 帘线钢, 生产工艺流程为: 转炉→LF 精炼→12 流小方坯连铸→线材轧制。钢包钢水容量 120 t, 中间包钢水容量 40 t。铸坯断面尺寸 150 mm × 150 mm, 最终轧制为  $\Phi 5.5$  mm 的盘条。试验研究对象为 6 流非对称小方坯连铸中间包, 不同流次根据与钢包水口的距离分为 1~6 流, 其中 6 流与钢包水口最近, 1 流与钢包水口最远。原中间包不加挡墙, 采用 6 流浇铸; 在 5 流和 6 流之间加导流孔挡墙后, 堵住距离注流区最近的水口, 采用 5 流浇铸; 在 1 流和 2 流之间加挡坝后, 同样采用 5 流浇铸。加挡墙和挡坝情况如图 1 所示。

在正常工况下, 针对生产时每个浇次第 3 炉钢水, 取不同方案下远流和近流(根据距离注流区远

通讯作者: 陈伟庆, 教授, 北京科技大学钢铁冶金新技术国家重点实验室, 北京 100083

E-mail: wqchen.ustb@163.com

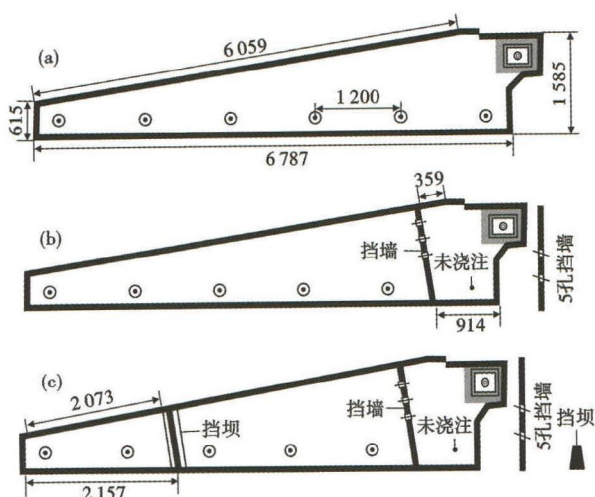


图 1 中间包原型(a),加挡墙中间包(b)和加挡墙与挡坝中间包(c)结构简图

Fig.1 Schematics of structure of original tundish (a), tundish with weir (b) and tundish with weir and dam (c)

近分远流和近流)的盘条试样。所取试样按照金相试样的方法进行镶样、磨光和抛光,然后在光学显微镜下进行显微夹杂物的数量与尺寸统计。另取不加挡墙和加挡墙时生产的铸坯试样,进行去锈处理、干燥、称重等,加工成表面无孔、无锈、无油污的电解试样,然后在电解液中进行大样电解。电解完成后,再经过筛选、淘洗和分离,得到铸坯中的大型夹杂物。最后进行大型夹杂物的统计分析。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 中间包加挡墙前后夹杂物分析

对不加挡墙与加挡墙的盘条试样,在 640 倍的光学显微镜下进行显微夹杂物数量和尺寸的统计对比。显微夹杂物当量直径取  $5 \mu\text{m}$ ,所得结果如图 2(a,b)所示。

由图 2(a,b)可知,未加挡墙时,不同流次盘条中夹杂物数量和尺寸差异性较严重。由于接近注流

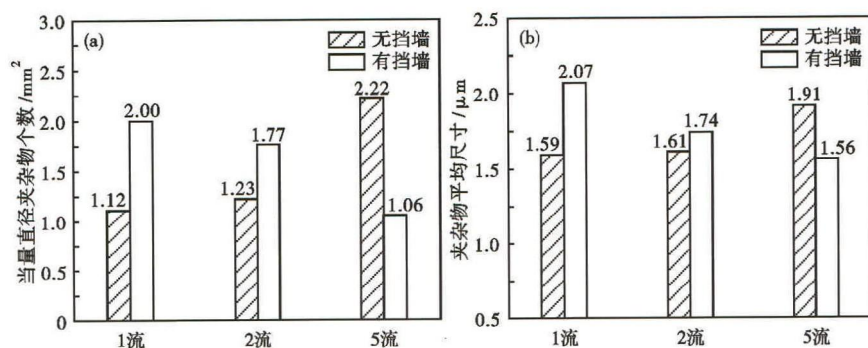


图 2 中间包加挡墙前后 1、2、5 流铸坯轧制的 82A 帘线钢盘条中夹杂物数量(a)和尺寸(b)

Fig.2 Amount (a) and size (b) of inclusions in coil of 82A tire cord steel rolled from 1, 2 and 5 strand billet before and after adding weir in tundish

区,钢水在中间包内停留时间较短,夹杂物来不及上浮,近流盘条中夹杂物数量较多且尺寸偏大。加挡墙后,5 流盘条中夹杂物数量由  $2.22 \text{ 个/mm}^2$  降低至  $1.06 \text{ 个/mm}^2$ ,夹杂物尺寸也由  $1.91 \mu\text{m}$  降至  $1.56 \mu\text{m}$ ,夹杂物数量和尺寸都有很好的改善。然而,远流盘条夹杂物数量和尺寸却增加较大,尤其是 1 流盘条,夹杂物数量由  $1.12 \text{ 个/mm}^2$  增至  $2.00 \text{ 个/mm}^2$ ,夹杂物尺寸也由  $1.59 \mu\text{m}$  增至  $2.07 \mu\text{m}$ 。不同流次盘条中夹杂物仍存在较大的差异。

对铸坯试样进行处理、电解、淘洗、还原和分离后,得到铸坯中大尺寸夹杂物,铸坯中大型夹杂物的含量如表 1 所示。加挡墙后 5 流铸坯中夹杂物含量由  $3.77 \text{ mg/10 kg}$  降低至  $1.66 \text{ mg/10 kg}$ ,夹杂物含量明显减少。但 2 流铸坯中夹杂物含量却由  $1.55 \text{ mg/10 kg}$  升至  $3.60 \text{ mg/10 kg}$ 。总体来说,不加挡墙时,近流(5 流、6 流)铸坯中夹杂物含量较多;加挡墙时,远流(1 流、2 流)铸坯中夹杂物含量较多。

表 1 中间包加挡墙与不加挡墙时 82A 帘线钢铸坯中电解夹杂物含量

Table 1 Content of inclusions by electrolytic analysis in billet of 82A tire cord steel casting with tundish non-adding and adding weir

工艺	铸坯编号	电解质量/g	夹杂物质量/mg	铸坯中夹杂物含量 mg/10 kg
未加挡墙	2 流	3 233	0.50	1.55
	5 流	3 181	1.20	3.77
	6 流	3 228	1.25	3.87
加挡墙	1 流	2 488	1.70	6.83
	2 流	2 502	0.90	3.60
	5 流	3 016	0.50	1.66

综上所述,加设挡墙对近流盘条(铸坯)中夹杂物有较好的改善,但对远流盘条(铸坯)中夹杂物改善效果较差,甚至会起反作用。对加挡墙与不加挡墙的中间包进行水模型和数值模拟分析,发现不加挡墙时,中间包中存在湍动能大、流场紊乱,钢水停留时间较短(尤其最近流),注流区钢水混合不均匀的情况。而加挡墙后钢水在中间包内的停留时间有所提高,且减少了中间包内死区比例,促进了夹杂物的上浮去除。但是,中间包加挡墙后,远流区域(1 流、2 流)上部不活跃,缩小了中间包利用率,钢液沿中间包 1、2 流底部流动,不利于夹杂物上浮去除。

因此,在加挡墙的基础上又在2流和3流之间加上了挡坝,用以改善中间包远流流场,从而促进远流夹杂物的上浮去除。

## 2.2 中间包加挡墙和挡坝前后夹杂物分析

在中间包加挡墙基础上增加挡坝后(图1c)所取帘线钢盘条的夹杂物数量和尺寸分析结果如图3(a,b)所示。可以看出,5流盘条中夹杂物数量和尺寸基本保持不变,都维持在较低水平;1流和2流盘条中夹杂物数量都明显减少,尺寸也有所减小。而且各流次盘条中夹杂物数量和尺寸相差不大。

由此可知,中间包加挡坝促进了远流盘条中夹杂物的去除。对加挡坝和不加挡坝中间包进行数值模拟分析,发现加挡坝后远流流场得到优化,避免了远流死区的产生,同时均匀了中间包钢液的温度,有利于远流钢水中夹杂物的去除。

## 3 结论

(1)6流非对称中间包不加挡墙时,由于近流钢水在中间包内停留时间较短,近流盘条和铸坯中夹杂物数量较多且尺寸较大。加挡墙后,增加了钢水在中间包内的停留时间,近流盘条中夹杂物明显减少,但由于远流流场不合理,夹杂物得不到很好的上浮,导致远流盘条中夹杂物数量较多且尺寸较大。

(2)在6流非对称中间包加挡墙的基础上增加挡坝,优化了远流流场,远流盘条中夹杂物数量和尺寸也明显减少,远近流次盘条中夹杂物数量和尺寸相差不大。

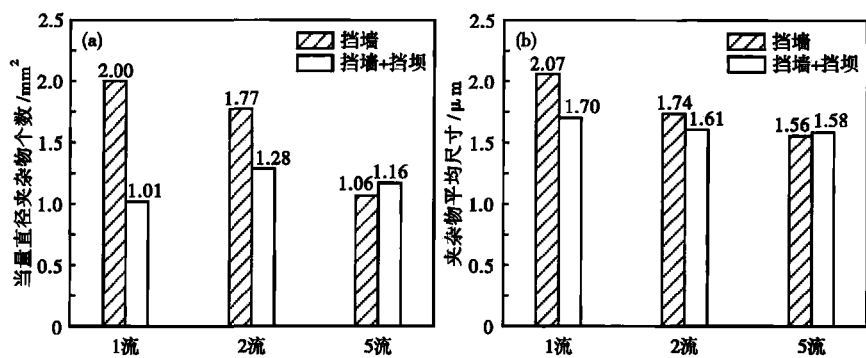


图3 中间包加挡墙和挡墙+挡坝1、2、5流铸坯轧制的82A帘线钢盘条中夹杂物数量(a)和尺寸(b)

Fig. 3 Amount (a) and size (b) of inclusions in coil of 82A tire cord steel rolled from 1, 2 and 5 strand billet casting with tundish adding weir and adding weir + dam

## 参考文献

- [1] 杨树峰,李京社,张立峰,等.大管坯连铸中间包钢液内夹杂物去除的研究[J].炼钢,2009,25(3):49-52.
- [2] Zhang Lifeng. Effect of Thermal Buoyancy on Fluid Flow and Inclusion Motion in a Tundish Without Flow Control Devices, Part II: Inclusion Motion[J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2005,12(5):11-17.
- [3] 王建军,包燕平,曲英.中间包冶金学[M].北京:冶金工业出版社,2001.
- [4] 张邦文,邓康,雷作胜,等.连铸中间包中夹杂物聚合与去除的数学模型[J].金属学报,2004,40(6):623-628.
- [5] 崔衡,苑品,包燕平,等.气幕挡墙及挡坝结构对中间包流场的影响[J].铸造技术,2012,33(2):189-191.
- [6] Zhang Lifeng, Taniguchi Shoji, Cai Kaike. Fluid Flow and Inclusion Removal in Continuous Casting Tundish[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 2000,31(2):253-266.
- [7] 张胜军,郑淑国,朱苗勇.连铸中间包内夹杂物去除行为的水模型研究[J].北京科技大学学报,2007,29(8):781-784.

韩延申(1992-),男,硕士研究生,2010年北京科技大学(本科)毕业,钢中夹杂物的研究。

E-mail: yanshenhan@xs.ustb.edu.cn

收稿日期:2015-12-30

## 下期要目

- 活性石灰对造渣速率的影响 ..... 郝华强等
- X80 管线钢 238 mm × 1 650 mm 连铸坯温度场及凝固末端位置的数学模拟 ..... 周亚罗等
- 100 t 顶底复吹转炉底吹透气砖分布对钢液流场影响的数值模拟 ..... 宁林新等
- 80 t BOF-LF-RH-CC 冶炼流程 55SiCr 弹簧钢洁净度的研究 ..... 杜广巍等
- 酸性渣 SiO<sub>2</sub> 含量对电渣重熔 S-Pb-Te 易切削不锈钢冶金质量的影响 ..... 赵鸿燕
- 60Si2MnA 弹簧钢盘条脱碳层控制工艺的优化 ..... 马志军等
- 压力容器用 14Cr1MoR 钢奥氏体连续冷却转变曲线 ..... 赵燕青等
- 电渣重熔对 GCr15 轴承钢化学成分和夹杂物特性的影响 ..... 赵海东等
- 热处理对喷射成形 GCr15 轴承钢组织和性能的影响 ..... 李荣等