

## IF 钢非稳态浇铸铸坯洁净度分析

高攀<sup>1</sup> 田志红<sup>1</sup> 胡帅<sup>2</sup> 李一丁<sup>1</sup> 李永林<sup>1</sup> 朱立新<sup>1</sup> 崔阳<sup>1</sup> 朱国森<sup>1</sup>

(1.首钢技术研究院, 北京, 100043; 2.首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 河北曹妃甸工业区, 063200)

**摘要** 用钢中气体、成分分析、大型夹杂物分析方法对转炉—RH—连铸工艺生产的非稳态浇铸条件下的 IF 钢铸坯取样分析, 主要分析了头坯、尾坯、换水口坯, 结果表明: 头坯 T.O、N、C 含量沿拉坯方向呈现下降趋势, Al、Ti 正好相反; 头坯 T.O 含量平均比其它铸坯高 0.0015% 以上, N 含量高 0.0005% 以上; 换水口坯、尾坯 C 含量波动较大, 其它成分波动不大; 非稳态浇铸铸坯的大型夹杂物含量很高。

**关键词** IF 钢 非稳态浇铸 铸坯 洁净度

## Research on Cleanness of IF Steel Slab Produced in Unsteady Casting Process

GAO Pan<sup>1</sup>, TIAN Zhi-hong<sup>1</sup>, HU Shuai<sup>2</sup>, LI Yi-ding<sup>1</sup>, LI Yong-lin<sup>1</sup>, ZHU Li-xin<sup>1</sup>, CUI Yang<sup>1</sup>, ZHU Guo-sen<sup>1</sup>

(1.Shougang Research Institute of Technology, Beijing, 100043; 2.Shougang Jingtang Iron & Steel Co., Ltd, Caofeidian Industrial Zone, Hebei, 063200)

**Abstract** The cleanness of IF steel slab of unsteady casting conditions produced by the converter-RH-CC process was investigated by means of gas analysis, chemical composition analysis and big sample electrolysis of first slab, last slab and SEN-changing slab. The result showed that T.O, N, C content of the first slab decreases along with the casting direction while Al and Ti content is just the opposite; average T.O content of the whole first slab is 0.0015% higher than other slabs, and N content 0.0005% higher than other slabs; C content of last slab and SEN-changing slab has big fluctuation while other composition has not very big fluctuation; content of large-sized inclusion of slab produced in unsteady casting process is very high.

**Key Words** IF Steel, Unsteady Casting, Slab, Cleanness

非稳态浇铸条件包括开浇、换包、停浇、拉速变化、结晶器液面波动超过临界值、浸入式水口堵塞及更换等因素, 非稳态浇注使结晶器内钢液流动受到影响, 可能造成保护渣卷入, 铸坯成分波动, 从而恶化铸坯质量<sup>[1-5]</sup>。

关于非稳态浇铸对铸坯的影响，前人已做了不少研究<sup>[6-9]</sup>，但是少有对非稳态条件下的铸坯系统取样分析钢中的气体和成分。本文分析比较了头坯、尾坯、换水口坯等的洁净度变化情况，并就三种非稳态条件进行对比，希望掌握非稳态浇铸铸坯成分与洁净度的波动规律，来改善生产工艺操作。

## 1 研究方法

本次分析所取试样是采用转炉—RH真空精炼—板坯连铸工艺生产DC06，要求具有良好的深冲性能，因此对碳含量要求极低。其成分要求如下：

表1 DC06 成分要求(%)

钢种	C≤	Si≤	Mn	P≤	S≤	Alt	Ti	N≤	
DC06	判定	0.003	0.03	0.11-0.15	0.010	0.012	0.020-0.045	0.05-0.09	0.004
	目标	0.002	0.01	0.13	0.009	0.010	0.030	0.07	0.003

所取试样的中间包钢水化学成分(质量分数)见表2。

表1 所取试样中包化学成分表(%)

类型	C	Si	Mn	P	S	Alt	Ti	N
头坯	0.0019	0.0100	0.1200	0.0090	0.0040	0.0280	0.0700	0.0020
尾坯	0.0015	0.0100	0.1300	0.0050	0.0030	0.0310	0.0800	0.0020
换水口坯	0.0030	0.0100	0.1300	0.0050	0.0030	0.0310	0.0800	0.0026

此次板坯规格：1600mm(宽)×237mm(厚)，在如图1位置取样然后加工。

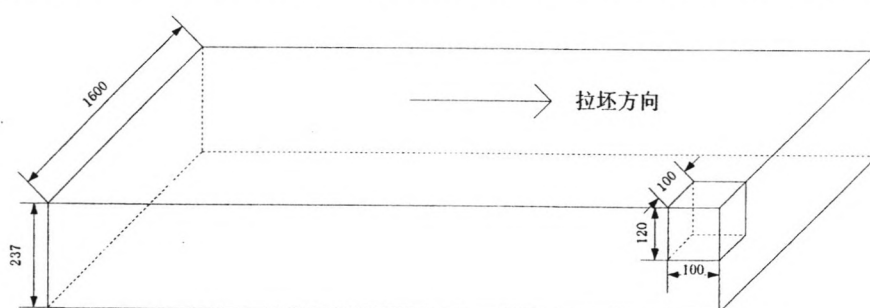


图1 铸坯取样位置示意图

Fig.1 Diagram of the Slab Sampling Position

具体取样方案是：头坯、换水口坯取样沿拉坯方向从头到尾每隔500mm取图1中所示试样，尾坯沿拉坯方向从尾到头每隔500mm取图1中所示试样，所取试样尺寸为100mm(长)×100mm(宽)×120mm(厚)。取样后分析试样厚度方向中心位置，也即铸坯内弧侧1/4位置的T.O、N含量和成分，评价其洁净度。

再对头坯、正常坯、换水口坯、大包停浇坯、尾坯取样，分析大型夹杂物。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 T.O 含量分析

在钢液中，总氧为溶解氧与结合氧之和。对于铝镇静钢来说，当钢液脱氧后，与溶解在钢中的元素相平衡的溶解氧很低而且波动不大，结合氧是以夹杂物的形式分布于钢中的。因此，可以用 T.O 含量来代表钢中显微夹杂物的水平。在对头坯、尾坯、换水口坯取样分析后，T.O 分析结果如下图 2 所示。

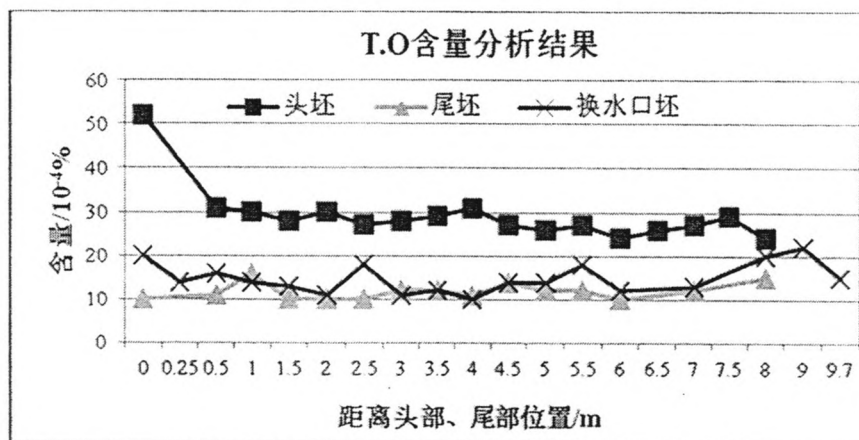


图 2 T.O 含量分析结果

Fig.2 Analysis Results of T.O Content

由图 2 可以看出头坯沿拉坯方向最头端 T.O 含量最高，为 0.0052%，到距离头部 0.5m 位置后急剧下降并开始稳定在 0.0031% 及以下，最低 0.0024%。沿拉坯方向，头坯 T.O 含量整体呈现下降趋势，洁净度逐渐提高。头坯中 T.O 含量比较高的原因，一是开浇炉次中内生夹杂物上浮没能达到足够充分，二是开浇时的不稳定状态导致有大量保护渣和耐材的卷入，外来夹杂物数量较多，随着浇铸的稳定，T.O 含量逐渐降低。尾坯 T.O 含量最高是在距离尾部 1m 处为 0.0016%，最低 0.0010%，波动范围  $\pm 0.0003\%$ 。换水口坯的 T.O 含量波动范围从 0.0010% 到最高的 0.0022%，波动范围比尾坯大。尾坯、换水口坯 T.O 含量波动，主要是因为非稳态浇铸过程中拉速波动，导致铸坯卷渣等因素，导致钢液洁净度降低。

头坯表现有沿拉坯方向 T.O 含量降低趋势，但是整个头坯 T.O 含量仍然高于其它铸坯，头坯 T.O 含量平均比其它铸坯多 0.0015% 以上。因此要提高洁净度水平，一要使夹杂物尽量上浮，二要稳定耐材质量，尽量减少外来夹杂物。

### 2.2 N 含量分析

由于钢中固溶碳和固溶氮严重损害 IF 钢的塑性应变比<sup>[10]</sup>，因此对于冶炼 IF 钢来说，N 的控制是一件非常重要的事情。对头坯、尾坯、换水口坯取样分析后，结果如图 3 所示。

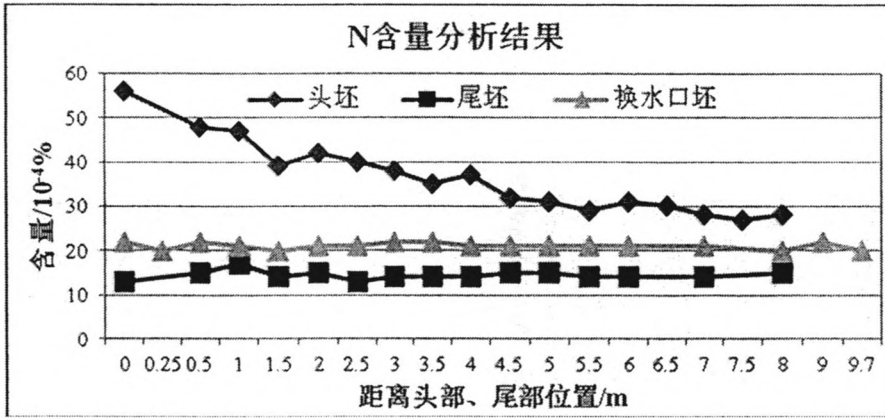


图3 N含量分析结果

Fig.3 Analysis Results N Content

图3显示，头坯沿拉坯方向N含量呈现明显下降趋势，从距离头坯2.5m处开始 $N \leq 0.0040\%$ ，达到DC06判定标准，但是整个头坯N含量都高于0.0020%，远高于其它铸坯的平均水平。

尾坯N含量最高是在离尾部1m处为0.0017%，含量最低为0.0013%，波动范围 $\pm 0.0002\%$ ，N含量与T.O含量呈现良好的对应关系，说明尾坯保护浇铸做得比较到位。换水口坯N含量波动范围从0.0020%到0.0022%，波动范围也不大，说明在换水口过程中保护浇铸也做的比较好。

头坯N含量高于中包N含量的检验结果，说明在开浇时有空气卷入，钢水从中间包到结晶器过程中发生吸气，这与T.O含量高也可以对应起来，此时T.O高的原因一是发生二次氧化，二是耐材等外来夹杂物卷入。尾坯、换水口坯T.O含量有波动，而N含量波动较小，说明此时保护浇注比较好，没有外部空气卷入，此时T.O升高的原因主要是外来夹杂物导致。

### 2.3 C含量对比

C作为IF钢中的间隙原子，对IF钢来说是有害元素，要求控制其含量越低越好，取样分析后C含量结果如下。

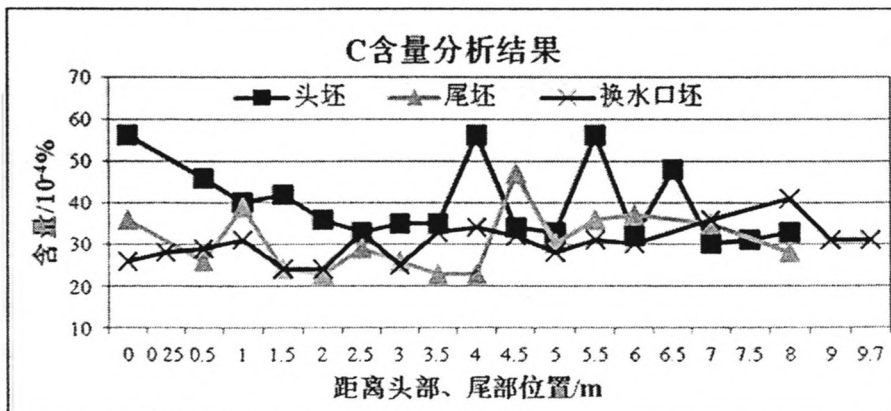


图4 C含量分析结果

Fig.4 Analysis Results of C content

从图 4 可以看出, 头坯整体 C 含量都高于 DC06 判定目标 0.0030%, 因此头坯必须改判为其它钢种。C 含量最高的是在最头部, 为 0.0056%, 从头坯头部到距离头部 2.5m 处, 头坯 C 含量直线下降到 0.0033%。头坯的 C 含量沿拉坯方向整体呈现下降趋势。在距离头部 4m、5.5m、6.5m 处, C 含量波动较大, 原因是外来夹杂物中含有 C, 外来夹杂物带入所致。

尾坯 C 含量波动范围也比较大, 从最低的 0.0023% 到最高的距离尾坯尾部位置 4.5m 处的 0.0047%, 并且没有表现出明显的规律性。换水口坯 C 含量波动从 0.0024% 到 0.0041%, 波动范围较大。

经过分析浇铸过程中所用耐材可知, IF 钢从 RH 结束到铸坯形成过程中的主要增碳来源在于: 1) 中间包工作层的损毁与脱落, 2) 中间包加覆盖剂卷入, 3) 结晶器保护渣卷入。这些来源在连铸过程中除采用低碳材质外, 无法避免使用。因此为减少非稳态浇铸造成增碳, 要尽量避免浇铸过程中的非稳定状态。

#### 2.4 Als、Alt 含量对比

钢中 Al 除了脱氧外, 还有细化晶粒, 改善韧性等作用, 因此要尽量保证钢中 Al 含量的稳定性。

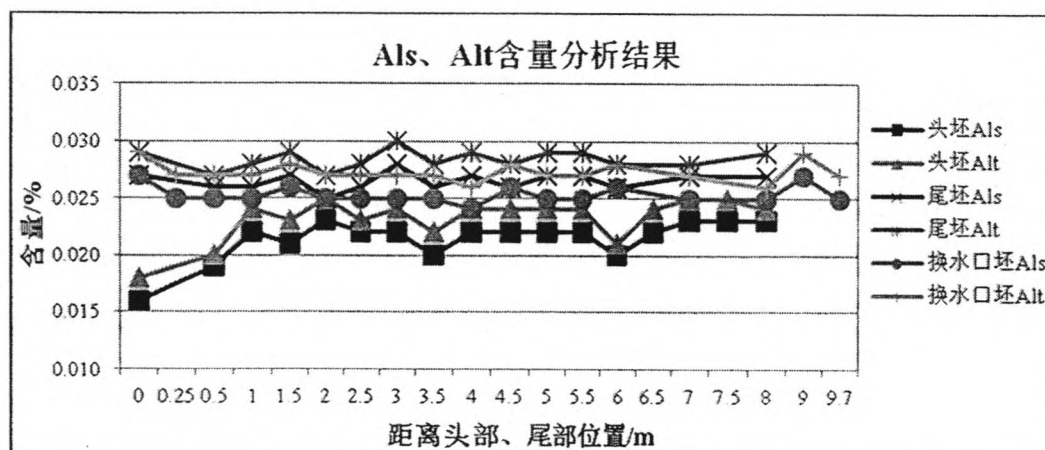


图 5 Als、Alt 含量分析结果

Fig.5 Analysis Results of Als, Alt Content

根据分析数据可得, Als 含量与 Alt 含量呈现对应关系, 头坯中 Als 含量波动范围从 0.016% 到 0.023%, Alt 含量波动范围从 0.018% 到 0.025%, Als/Alt 变化范围从 0.89 到 0.96, 平均 0.92。尾坯中 Als 含量波动范围从 0.025% 到 0.028%, Alt 含量波动范围从 0.027% 到 0.030%, Als/Alt 变化范围从 0.93 到 0.96, 平均 0.93。换水口坯 Als 含量最低 0.024%, 最高 0.027%, Alt 含量最低 0.026%, 最高 0.029%, Als/Alt 最低 0.92, 最高 0.96, 平均 0.93。

从图 5 中可以看出, 除头坯距离头部 0.5m 范围内之外的其余铸坯 Alt 都符合判定标准 0.020-0.045%。头坯沿拉坯方向 Als、Alt 呈现上升趋势, 跟 T.O 含量

对比正好吻合，这是因为铝镇静钢钢中存在铝氧平衡，Al含量高时，T.O含量就低；Al含量低时，T.O含量就高。头坯T.O含量高，对酸溶铝的烧损就比较大，Als含量就低。

### 2.5 Ti含量对比

对于IF钢来说，通过适当的钛处理后，IF钢的塑性应变比大大增加<sup>[11]</sup>。

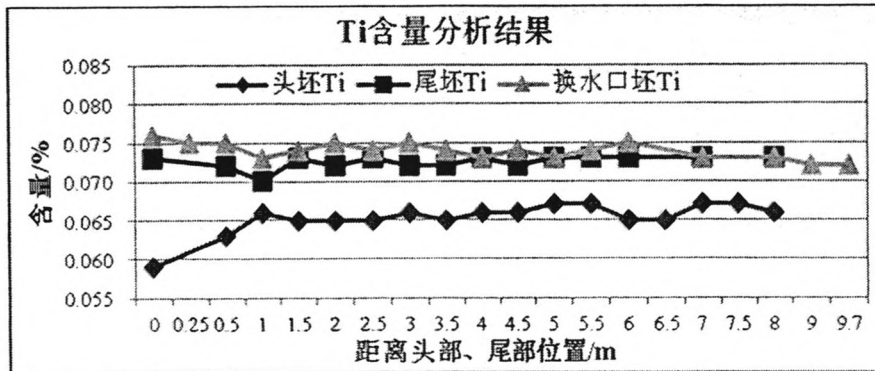


图6 Ti含量分析结果

Fig.6 Analysis Results of Ti Content

从图6中可以看出，头坯合金Ti含量波动范围从0.059%到0.067%，尾坯合金Ti含量波动范围从0.070%到0.073%，换水口坯Ti含量波动范围从0.072%到0.076%，除头坯外，都在目标成分附近波动，且波动范围不大，说明拉速波动对合金Ti也有一定的影响。

头坯Ti含量沿拉坯方向有上升趋势，尤其是头部1m范围内特别明显，这与Als、Alt的变化趋势一致且与T.O含量相互吻合，其变化原因与Al变化原因一致。

### 2.6 大型夹杂物分析

钢中大型夹杂物虽少，但对钢材的质量影响简直是致命的，因此生产洁净钢的重要目标就是去除大型夹杂物。对头坯、正常坯、换水口坯、大包停浇坯、尾坯取样，然后进行大样电解，电解结果如图7所示。

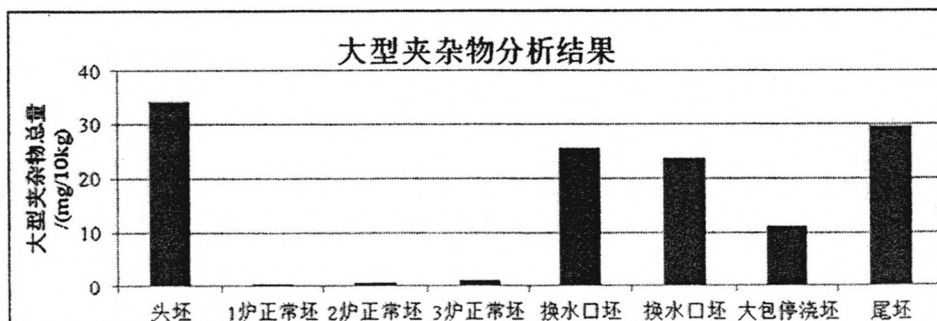


图7 大型夹杂物含量分析结果

Fig.7 Analysis Results of Large-sized Inclusion

从图中可以看出，头坯中的大型夹杂物总量最高，达到34.37mg/10kg，其次是尾坯，29.67mg/10kg，然后是换水口坯25.6、23.89 mg/10kg，再次是大包停浇

坯 11.18 mg/10kg, 而正常坯分别为: 0.53、0.59、1.24 mg/10kg。由于钢中的大型夹杂物主要是由外来夹杂物带来的, 而相比各种非稳定状态带来的大型夹杂物与正常坯比较, 由此可见非稳态浇铸对铸坯质量影响之大。

从以上分析可知, 为保证 IF 钢稳定性, 要做到以下几个方面:

(1) 保证中包本体耐材、中包覆盖剂、结晶器保护渣质量, 使用低碳、低氮耐材, 防止 T.O 含量增加和增碳。

(2) 尽量减少非稳态浇铸, 保持恒拉速。

### 3 结论

通过氧氮分析、成分分析、大样电解分析, 得到以下结论:

1. 头坯 T.O、N、C 含量比其它铸坯高, 且沿拉速方向呈现下降趋势, T.O 含量平均比其它铸坯多 0.0015% 以上, N 含量高 0.0005% 以上。Als、Alt、Ti 含量比其它铸坯低, 且沿拉速方向呈现上升趋势, 尤其是头部 1m 范围内比较明显。

2. 尾坯、换水口坯 T.O、N 含量波动范围不大, C 波动比较大, Als、Alt、Ti 含量波动范围都不大。

3. 大型夹杂物含量最高的是头坯, 其次是尾坯, 然后是换水口坯、大包停浇坯, 而正常坯的大型夹杂物含量不高。

4. 总体来说, 非稳态浇铸对 IF 钢的 T.O 含量、C 含量、大型夹杂物含量影响很大, 对其它元素也都有一定的影响, 为保证铸坯质量, 要尽量减少非稳态浇铸, 保持恒拉速。

### 参考文献

- [1] 崔衡, 岳峰, 包燕平等. IF 钢连铸头坯洁净度研究[J]. 钢铁, 2010, 45(3): 38-41.
- [2] 张乔英, 王立涛等. 非稳态浇铸时 IF 钢铸坯表层夹杂物粒径的分布[J]. 特殊钢, 2006, 27(5): 9-11.
- [3] Kaufmann B. Separation of Nonmetallic Particles in Tundishes[J]. Steel Research International, 1993, 64(4): 203-210.
- [4] Sahai, Yogeshwar, Emi, et al. Melt flow characterization in continuous casting tundishes[J]. ISIJ International, 1996, 36(6): 667-672.
- [5] 贺友多. 更换钢包时中间包的流场[J]. 钢铁, 1990, 25(10): 20-24.
- [6] 张乔英, 王新华, 张立等. 拉速变化对 IF 钢铸坯非金属夹杂物含量的影响[J]. 炼钢, 2006, 22(6): 21.
- [7] ZHANG Qiaoying, WANG Litao, WANG Xinhua, et al. Influence of Casting Speed Variation during Unsteady Continuous Casting on Non-metallic Inclusions in IF Steel Slabs[J]. ISIJ International, 2006, 46(10): 1421.
- [8] 袁方明, 王新华, 李宏等. 不同浇铸阶段 IF 钢连铸板坯洁净度[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(4): 436.
- [9] 孙彦辉, 蔡开科, 赵长亮. 非稳态浇注操作对连铸坯洁净度影响[J]. 钢铁, 2008, 43(1): 22.
- [10] Shi H C, Jin H C. Effect of C on the r-value anisotropy of Ti-added IF steels[J]. Materials Science Forum, 2002, (2): 1073-1078.

[11] 张鹏,汪凌云,任正德.微合金化超深冲-无间隙原子(IF)钢生产技术的进展[J].特殊钢,2005, 26(2):1-5.

作者简介:

高攀(1986.4—),男,2010年毕业于北京科技大学钢铁冶金专业,硕士研究生学历,现为首钢技术研究院薄板所科研人员,目前从事炼钢工艺研究工作,联系电话:13811976544, E-mail: glpon@163.com, 通讯地址:北京市石景山区杨庄大街69号首钢技术研究院薄板所, 1000043。