# 包钢重轨钢稀土加入工艺实践*

谌智勇[1,2],翁 举[1],杨 乐[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古自治区稀土钢产品研发企业重点实验室,内蒙古 包头 014010)

**摘 要**:通过在包钢U75V重轨钢加稀土的工业试验,明确了VD后稀土加入工艺的控制目标,并通过在钢轨取样,分析稀土成分和夹杂物特征,明确了稀土对重轨钢典型夹杂物的变质处理的效果。

**关键词**:稀土;重轨;夹杂物
**中图分类号**:TF713.6 **文献标识码**:B **文章编号**:1009-5438(2019)06-0018-03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.06.005

# Technical Practice on Adding Rare Earth into Heavy Rail Steel of Baotou Steel

*Chen Zhi-yong*[1,2], *Weng Ju*[1], *Yang Le*[1]

(1. *Steel-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Enterprise Key Laboratory of Rare Earth Steel Products Research & Development, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Augonomous Region, China*)

**Abstract**: In this paper, the control targets for the process of adding rare earth after VD are defined through the industrial test of adding rare earth into U75V heavy rail steel of Baotou Steel as well as the effects of rare earth on modification of typical inclusions in heavy rail steel are defined by sampling on the rail, analyzing the components of rare earth and characteristics of inclusions.

**Key words**: rare earth; heavy rail; inclusion

包钢作为国内主要钢轨生产厂,一直以来致力于挖掘自身稀土资源优势,长期研发稀土重轨钢,加快重轨钢中稀土的应用研究和实践,以实现钢轨产品结构调整和产品性能的提升。

通过与中科院金属所合作,在U75V重轨钢进行了添加纯稀土的工业化应用试验,在稀土的加入工艺研究和应用效果研究方面取得了突破性的成果。

## 1 重轨钢生产工艺概况

目前包钢重轨钢工艺路线:KR铁水预处理—转炉—LF/VD精炼—280 mm×380 mm大方坯连铸。采用无铝脱氧工艺,转炉终点采用高拉补吹,终点$w([C]) \geqslant 0.08\%$,脱氧剂使用硅钙钡,消耗3.0 kg/t左右,主要工艺控制参数见表1。

**收稿日期**:2019-09-16

**作者简介**:谌智勇(1975-),内蒙古包头市人,工程硕士,高级工程师,主要从事钢铁冶金工作。

**表 1　包钢重轨钢主要工艺参数**

| 序号 | 参数 | 指标 |
|---|---|---|
| 1 | 铁水 $w$([Si])/% | 0.2 ~ 1.0 |
| 2 | 铁水温度/℃ | 1 280 ~ 1 350 |
| 3 | 脱硫剂单耗/(kg·t$^{-1}$) | 3.5 ~ 4.5 |
| 4 | 转炉冶炼周期/min | 40 |
| 5 | 冶炼石灰/(kg·t$^{-1}$) | 35 |
| 6 | 出钢 $w$([P])/% | 0.015 ~ 0.025 |
| 7 | 出钢温度/℃ | 1 620 ~ 1 650 |
| 8 | LF 熔渣碱度 | 1.8 ~ 2.0 |
| 9 | 单中包连浇炉数/炉 | 14 ~ 18 |
| 10 | 结晶器液位波动/mm | < ±5 |
| 11 | 中包容量/t | 35 |
| 12 | 结晶器类别 | 抛物线 |
| 13 | 轻压下参数/mm | 4.5 ~ 7.0 |

## 2　稀土加入试验

稀土添加工业性试验，在实际生产条件下完成，共计进行 4 炉。试验钢种 U75V 钢，化学成分见表 2。入炉铁水进行预处理，在 150 t BOF 转炉进行，精炼 LF + VD 处理工艺。采用纯稀土合金，稀土含量在 98% 以上，稀土在 VD 后加入，稀土添加量 0.30 kg/t。

**表 2　U75V 钢种的化学成分**(质量分数)　%

| C | Si | Mn | P | S | Al | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.71 ~ 0.80 | 0.50 ~ 0.80 | 0.75 ~ 1.05 | ≤0.025 | ≤0.025 | ≤0.010 | 0.04 ~ 0.12 |

工艺技术要求，LF 工艺保证白渣时间 20 min 以上，全氧含量低于 0.002%，S 含量低于 0.005%；稀土加入后 VD 软吹氩搅拌 10 min 以上；大包 - 中包 - 结晶器之间保证密闭性，避免连铸过程中吸气，过热度和拉速稳定控制，过热度控制在 20 ~ 30 ℃之间。

采用直接投入的加入方式。稀土合金加入前使用铁皮密封包裹，严格避免铁皮生锈、潮湿；加入前关闭钢包氩气系统，保持钢液面稳定；使用吊挂起准备加入的稀土合金，采用逐渐由小到大的方式，打开钢包氩气系统，逐渐将钢水表面的炉渣吹开，吹开区域满足加入需要。对准上述区域，将稀土合金快速投入钢水中，避免稀土合金与炉渣接触；稀土合金加入后，迅速减小氩气流量，达到软吹效果，并保持 10 min以上，促进稀土合金充分均匀溶解到钢液中。

## 3　应用效果

轧制后在钢轨全断面取 9 点分析稀土成分，见图 1。在钢轨头部 3 点取样检验夹杂物，见图 2。

按照 9 点取样的稀土含量见表 3。

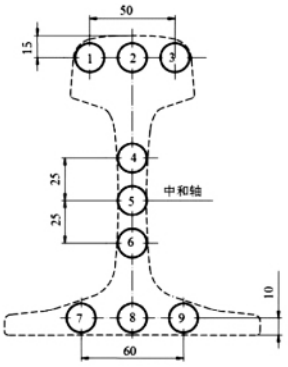



图 1　钢轨全断面 9 点成分取样示意图

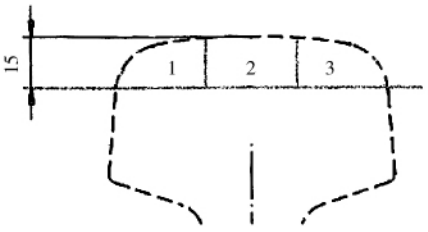



图 2　钢轨 3 点夹杂物取样示意图

**表 3　钢轨全断面稀土含量分析**(质量分数)　%

| 试样编号 | La | Ce | La + Ce |
|---|---|---|---|
| 1# | 0.005 1 | 0.007 6 | 0.012 7 |
| 2# | 0.004 1 | 0.008 1 | 0.012 2 |
| 3# | 0.005 1 | 0.007 6 | 0.012 7 |
| 4# | 0.005 1 | 0.007 6 | 0.012 7 |
| 5# | 0.005 1 | 0.007 6 | 0.012 7 |
| 6# | 0.004 1 | 0.008 2 | 0.012 3 |
| 7# | 0.005 1 | 0.007 6 | 0.012 7 |
| 8# | 0.005 1 | 0.007 6 | 0.012 7 |
| 9# | 0.005 1 | 0.007 6 | 0.012 7 |
| 平均 | 0.004 9 | 0.007 7 | 0.012 6 |

由表 3 可见，La + Ce 含量波动最大为 0.000 5%，平均为 0.012 6%，收得率为 42%。

对比分析未加稀土和加稀土典型夹杂物的组分及形态，见图 3、图 4。

未添加稀土的重轨钢典型夹杂物为窜簇状且尺寸较大,添加稀土后为小颗粒的球状夹杂物。夹杂物尺寸及分布情况如表4。

加稀土后,夹杂物总个数变化不大,但 <5 μm 夹杂物比例由62.9%增加到77.6%,>10 μm 夹杂物比例由10.9%减少到2.5%。

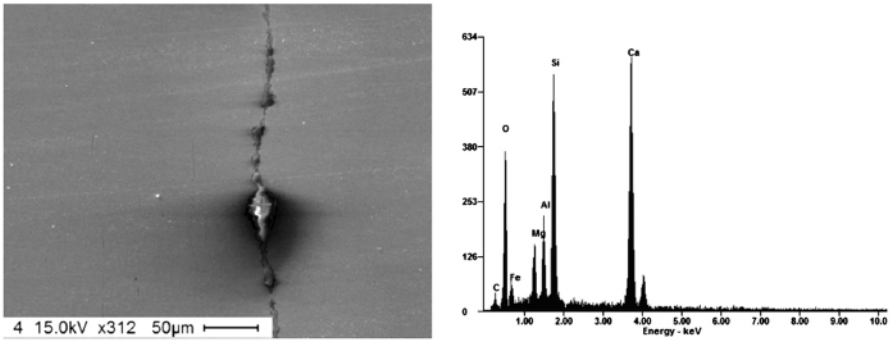



图3 未加稀土炉次铸坯的夹杂物情况

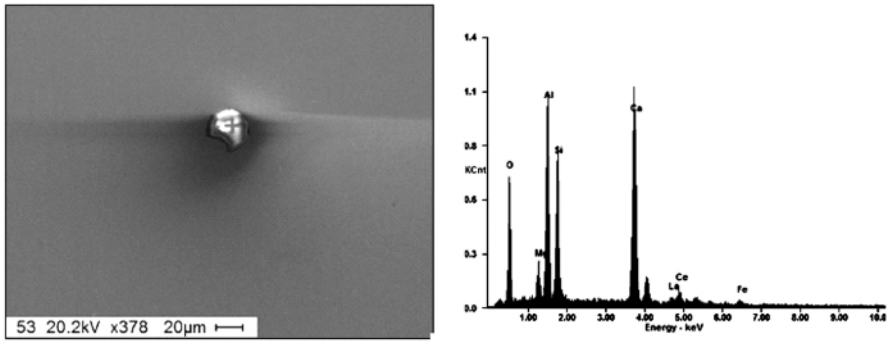



图4 加稀土炉次铸坯的夹杂物情况

表4 重轨钢加稀土和未加稀土的夹杂物尺寸分布

| 编号 | 总数量/个 | 视场数/个 | 1~2 μm | | 2~5 μm | | 5~10 μm | | >10 μm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 数量 | 分布/% | 数量 | 分布/% | 数量 | 分布/% | 数量 | 分布/% |
| U75V-1 | 306 | 20 | 14 | 4.58 | 126 | 41.18 | 102 | 33.33 | 64 | 20.92 |
| U75V-2 | 276 | 20 | 34 | 12.32 | 165 | 59.78 | 63 | 22.83 | 14 | 5.07 |
| U75V-3 | 294 | 22 | 47 | 15.99 | 161 | 54.76 | 66 | 22.45 | 20 | 6.80 |
| U75VRE-1 | 293 | 20 | 48 | 16.38 | 200 | 68.26 | 36 | 12.29 | 9 | 3.07 |
| U75VRE-2 | 368 | 20 | 39 | 10.60 | 257 | 69.84 | 67 | 18.21 | 5 | 1.36 |
| U75VRE-3 | 258 | 22 | 21 | 8.14 | 154 | 59.69 | 75 | 29.07 | 8 | 3.10 |

## 4 结论

(1) 通过VD后使用纯稀土合金收得率可达到40%以上,且稀土在钢中分布均匀。

(2) 稀土对钢中夹杂物的变质处理效果明显,重轨钢原有的典型窜簇状夹杂物变质为颗粒较小的球状夹杂物,<5 μm 夹杂物比例增加,>10 μm 夹杂物比例降低。

### 参 考 文 献

[1] 马海涛. 稀土添加工艺及其在重载汽车车轮钢中的作用[J]. 中国稀土报,2008,26(2):200.

[2] 李春龙. 稀土在钢中的应用及需注意的一些问题[J]. 稀土,2001,22(4):1.