

# 首钢 72A 钢洁净度研究

靳庆峰 王海涛 许中波 唐恩 王彦锋

(北京科技大学)

**摘要:**对“转炉冶炼—LF 精炼—VD 脱气—小方坯连铸”工艺生产的 72A 钢各工艺阶段钢中的非金属夹杂物、酸溶铝和总氧进行了系统研究。分析了钢中夹杂物、酸溶铝和总氧的变化趋势,为进一步提高 72A 质量提供了一些建议和解决方案。

**关键词:**非金属夹杂物 酸溶铝 总氧 纯净度

## RESEARCH ABOUT THE CLEANLINESS OF 72A

Jin Qingfeng Wang Haitao Xu Zhongbo Tang En Wang Yanfeng  
(University of Science and Technology Beijing)

**Abstract:**Investigation was made systematically during various stages of producing 72A followed by “Converter—LF—VD—CC”. And the investigation was mainly about the non-metallic inclusions, soluble aluminum and total oxygen. We have analyzed the trend of their changes, and provided some suggestions and resolvent for improvements of the quality of 72A.

**Keywords:**the non-metallic inclusions [Al], T[O] cleanliness

### 1 引言

由于世界各国国防、交通、石油和汽车等行业的发展和科技进步,对钢材的性能和要求日益苛刻,为适应高强度、长寿命、耐腐蚀和在恶劣环境下工作的需要,对石油套管、深冲薄板、高质量管线钢和焊条钢等钢种的高纯度、高均匀度、细晶粒度的要求越来越高,由此形成了一批称为纯净钢的钢种。

首钢三炼钢对帘线钢 72A 进行了试制,其生产工艺为“转炉冶炼—LF 精炼—VD 脱气—小方坯连铸”。本文就其各个工段及最终成品的夹杂物形貌、成分进行了统计;并对酸溶铝和总氧变化进行了研究。

### 2 研究方法

所采用的取样器为自制,并已获得专利,如图 1 所示。

2002 年 12 月,对首钢帘线钢的取样结果进行了分析,对现场取样和最终盘条样进行化学分析,并对其各个工段的样品进行洁净度评级。

线切割  $\phi 5\text{mm} \times 50\text{mm}$  的钢棒做总氧分析,并取钢屑做酸溶铝分析,在试样上切割小样做夹杂物分析。夹杂物试样抛光后在德国 Zeis 双筒显微镜下进行观察。其放大倍数为 640 倍,金相观察 100 个视场。对视场内的夹杂物数量、类型和尺寸分布进行统计。按尺寸分为  $<2.5\mu\text{m}$ ,  $2.5 \sim 5\mu\text{m}$ ,  $5 \sim 10\mu\text{m}$ ,  $10 \sim 20\mu\text{m}$ ,  $>20\mu\text{m}$  五级,计算中按各级夹杂的平均直径,



图 1 取样器示意图

即 1.25、3.75、7.5、15 $\mu\text{m}$  进行计算(大于 20 $\mu\text{m}$  的按实际尺寸计算)。按照形状可分为球形、三角形、条形和方形。然后计算其洁净度(其中,洁净度是指钢中单位面积上的夹杂的个数),并对典型夹杂物进行电子探针扫描,得出其形状、成分和光谱图。洁净度的计算公式为:

$$I = \frac{\sum(S_i n_i)}{N \pi B^2 D^2 / 16}$$

式中  $I$ ——单位面积上直径相当于  $B$  的夹杂的个数,个/ $\text{mm}^2$ ;

$B$ ——夹杂当量直径,本计算中  $B=7.5\mu\text{m}$ ;

$S_i$ ——不同级别夹杂的平均面积, $\mu\text{m}^2$ ;

$n_i$ ——各级夹杂个数;

$D$ ——视域直径,640 倍时, $D=300\mu\text{m}$ ;

$N$ ——视场数,本计算中  $N=100$ 。

### 3 结果及讨论

首钢当日生产的 72A 一共四炉,对其中的第三炉、第四炉进行了各个工段现场追踪、取样。并对最终的成材,即盘条样进行了分析。其中编号方法为:LF 前后、VD 前后以及中间包开始浇铸和最后结束浇铸(每 20 分钟取一个样)的试样。编号分别为 3L1、3L2、3V1、3V2、3C1、3C4; 4L1、4L2、4V1、4V2、4C1、4C4。对盘条样编号 2、3、4 炉各取两个试样分析。主要进行酸溶铝( $[\text{Al}]_s$ )和总氧分析,部分样品做了总铝( $[\text{Al}]_t$ )分析。分析结果如下。

#### 3.1 各个工段洁净度结果

从图 2 中可以看出,随着精炼过程的进行,两炉的夹杂物虽然过程中有略微的差异,但夹杂物数量减少的趋势还是比较明显的。从第四炉看,LF 处理后,纯净度骤然降低;到达 VD 炉前由于喂线来降低钢液中氧含量而导致夹杂物有所增加,VD 处理后,夹杂上浮,纯净度再次降低;从 VD 到中间包过程中,受空气二次氧化,夹杂物又略有升高。

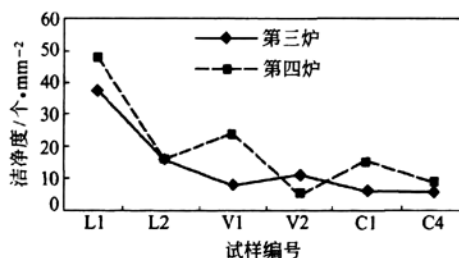


图 2 各个工段钢水的洁净度

#### 3.2 典型夹杂物形貌及能谱

典型夹杂物形貌及能谱如图 3~图 6 所示。

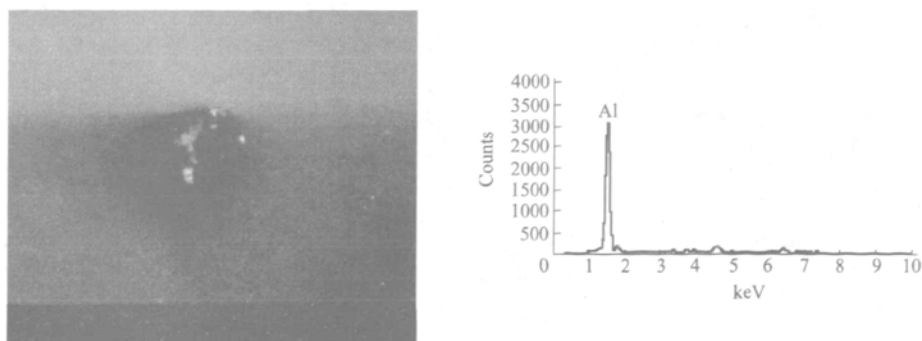


图 3 典型三氧化二铝夹杂物形状及能谱图(编号:3L1-07)

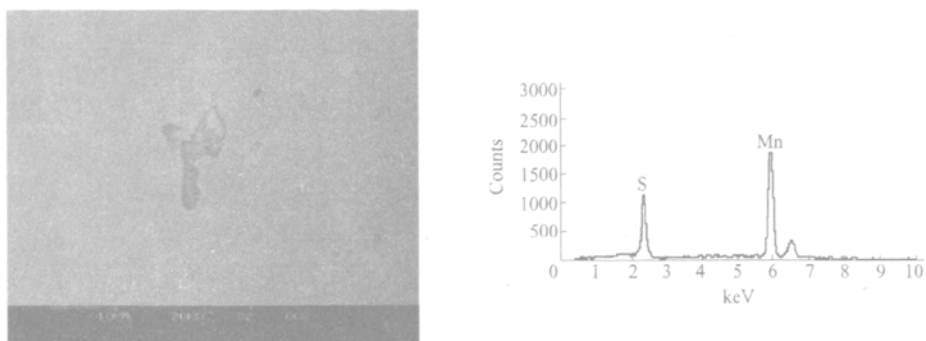


图4 典型硫化锰夹杂物形状及能谱图(编号:322-03)

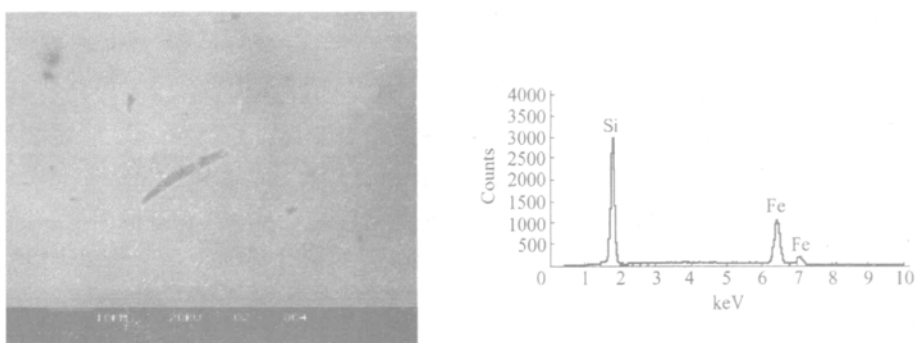


图5 典型二氧化硅夹杂物形状及能谱图(编号:3L1-06)

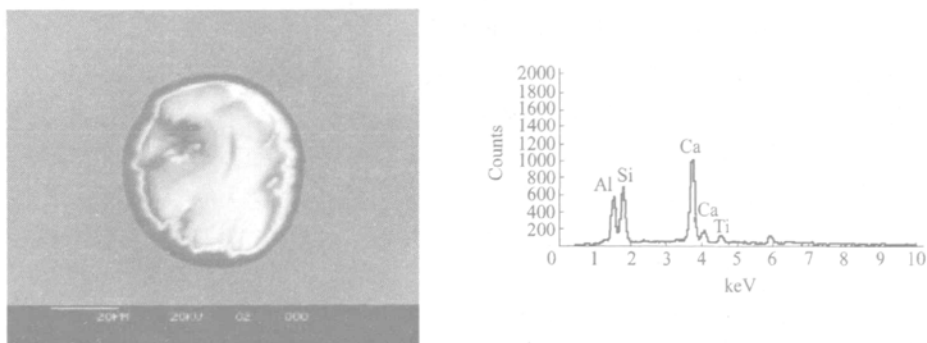


图6 典型CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>夹杂物形状及能谱图(编号:4L1-05)

非金属夹杂可分为氧化铝系、硅酸盐系、铝酸盐系和硫化物等四大类。

钙铝酸盐夹杂主要由钙、铝、硅组成,有时还含有铁、钛。其形状一般为球形,属于不可变形夹杂物,是在脱氧以及后面的喂线时产生的。硫化锰夹杂主要由硫、锰组成,有时含有铁、钛。其形状不规则,是塑性夹杂,在轧制过程中可以变形,对帘线钢的影响不大。二氧化硅夹杂形状多为三角形或长条状,是在用硅脱氧的过程中产生的,属于脆性夹杂。三氧化二铝夹杂形状多为三角形。这种夹杂占少数,是脱氧剂中含铝和钢液中氧反应生成的,属于脆性夹杂物,在帘线钢的拉拔过程可导致断裂。

经过扫描电镜观察的结果看出,夹杂物多为钙铝酸盐,其次为硫化物夹杂,纯的二氧化硅和三氧化二铝夹杂占少数。

### 3.3 各个工段酸溶铝、总氧分析

从图 7 和图 8 中可以看到第三、四炉中钢液的酸溶铝变化情况。经过 LF 处理以后,钢液中酸溶铝明显减少,但是到达 VD 炉后测得酸溶铝又突然猛增,原因是在 LF 处理结束后,进行了喂线,另外可能原因还有 LF 处理过程中加入的合金以及脱氧剂中含有铝;经过 VD 处理以后,两炉的酸溶铝含量均降低,这是因为经过真空处理,夹杂物上浮并被上层液体渣所吸收;到达中间包后测量的两炉酸溶铝却出现了不同的变化趋势,这可能与现场操作不规范有关。但由于从 VD 处理段出来后受空气氧化等原因,酸溶铝含量会略有所上升。因而要在 VD 后加强对钢液的保护,才能确保前面工段降低酸溶铝的成果,从而使浇铸时的钢液最终达到酸溶铝最大含量要求。

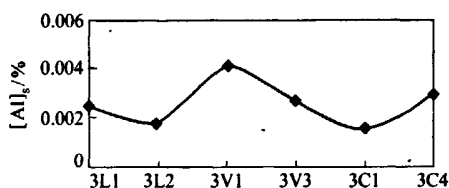


图 7 第三炉各工段酸溶铝含量变化

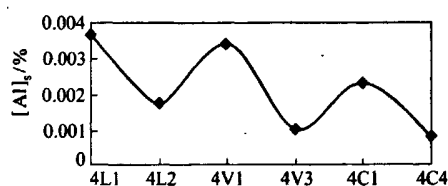


图 8 第四炉各工段酸溶铝含量变化

从图 9 和图 10 中可以看出,经过 LF 处理后,总氧含量降低的相当明显。这表明 LF 炉的精炼效果很好。两炉均降低了大约 0.005%,LF 处理结束后两炉总氧含量均在 0.0043% 左右;再经过 VD 处理,钢液中的总氧降低到理想的含量,这表明在不用铝脱氧的情况下,钢水达到了很高的洁净度,说明 VD 炉的脱氧效果很好。合理的温度制度、处理时间和有效的搅拌,可以使总氧含量明显降低,但过长的真空时间对脱氧不利;钢液从 VD 到中间包的过程中,由于二次氧化,两炉总氧均增加了 0.001% 左右,根据现场记录在两炉的开浇的时候均出现了未自开的现象,这必然引起空气中的氧进入钢液,从而使钢中氧含量升高。

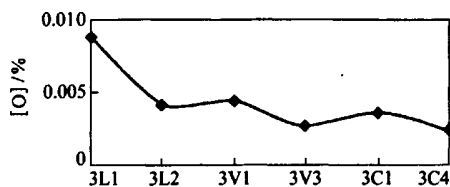


图 9 第三炉各工段总氧含量变化

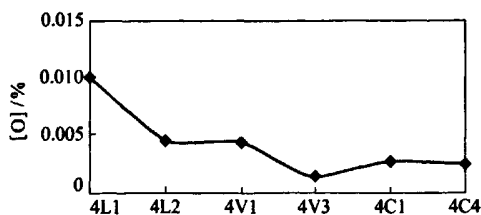


图 10 第四炉各工段总氧含量变化

### 3.4 最终盘条样酸溶铝、总氧、总铝分析结果

从图 11 中第二、三、四炉的统计情况看,酸溶铝和总铝的所成比例大约为 1:3。最终这三炉的酸溶铝含量都降到了 0.001% 以下,但距离国际先进水平(0.0006% 左右)尚有一

定距离。

图 12 中显示了第二、三、四炉的总氧含量,第二炉的总氧情况稍好,为 0.0017%。而第三、四炉总氧含量均在 0.0023%左右,而 72A 质量要求为小于 0.002%,所以尚需改进。

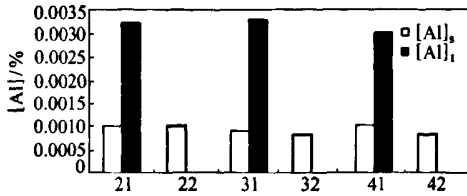


图 11 第二、三、四炉酸溶铝和总铝含量对比

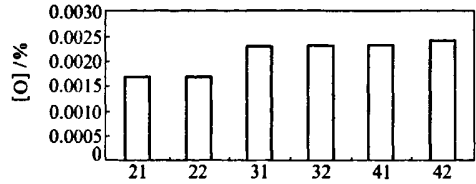


图 12 第二、三、四炉总氧含量对比

#### 4 结论

通过上述分析可得到以下结论:

(1) LF 处理前后对比发现,夹杂物数量、总氧和酸溶铝含量都大幅度降低,说明 LF 精炼效果显著。

(2) LF 结束到 VD 开始这段过程,酸溶铝明显增多。可能原因是在 LF 处理中加入的脱氧剂合金中铝含量高,所以应该尽量减少合金中铝含量;另外,喂线应该避免使用含有铝的脱氧剂。

(3) VD 处理效果较好,在 VD 处理过程中夹杂数量、总氧和酸溶铝含量都有一定程度降低。

(4) 出 VD 炉后,应减少二次氧化,通过加保护渣等措施尽量保证前面精炼的成果。

(5) 制定合理的温度制度、处理时间和有效的搅拌制度,以期达到最好的冶炼效果。

#### 参考文献

- 1 蔡开科,等. 连续铸钢原理与工艺. 北京:冶金工业出版社,1994
- 2 董履仁,刘新华等. 钢中大型非金属夹杂物. 北京:冶金工业出版社,1991
- 3 胡勤东,蔡开科. 高拉速小方坯铸坯中夹杂物行为. 钢铁,2001,36(3):23~25
- 4 史宸兴,等. 实用连铸冶金技术. 北京:冶金工业出版社,1998