

## 210 t 复吹转炉-CAS 精炼-连铸流程生产低碳铝镇静钢的洁净度

张 婷 包燕平 崔 衡 岳 峰 金友林  
(北京科技大学冶金工程研究院,北京 100083)

**摘 要** 洁净低碳铝镇静钢(% :0.05~0.06C,0.04Al)由 210 t 顶底复吹转炉-CAS 精炼-连铸 230 mm 板坯流程冶炼。通过 27~28 min CAS 密封吹氩处理,钢液T[O]由 CAS 前 $(50\sim60)\times 10^{-6}$ 降至 $(19\sim24)\times 10^{-6}$ ,中间包钢水T[O]降至 $(17\sim20)\times 10^{-6}$ ,铸坯总氧含量为 $(11\sim15)\times 10^{-6}$ 。铸坯中主要为 $\leq 3\ \mu\text{m}$ 的球状、块状 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MnS}$ 复合夹杂。 $\geq 50\ \mu\text{m}$ 的大型夹杂物最高含量为 5.18 mg/10kg。

**关键词** 低碳铝镇静钢 复吹转炉 CAS 精炼 板坯 非金属夹杂物

## Cleanliness of Low Carbon Aluminum Killed Steel Produced by 210 t Combined Blown Converter - CAS Refining - Concasting Flow Sheet

Zhang Ting, Bao Yanping, Cui Heng, Yue Feng and Jin Youlin  
(Research Institute of Metallurgy Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

**Abstract** The cleanliness low carbon aluminum killed steel (0.05~0.06C, 0.04Al) was melted by 210 t top and bottom combined blown converter - CAS (composition adjustment by sealed argon bubbling) refining - concasting 230 mm slab flow sheet. With sealed argon bubbling treatment for 27~28 min, the total [O] of liquid steel decreased to  $(19\sim24)\times 10^{-6}$  from  $(50\sim60)\times 10^{-6}$  before CAS treatment, the total [O] of steel in tundish decreased to  $(17\sim20)\times 10^{-6}$  and the total oxygen content in cast slab was  $(11\sim15)\times 10^{-6}$ . The main inclusions in cast slab were  $\leq 3\ \mu\text{m}$  spherical and block shaped  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and combined  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MnS}$  inclusions, and the maximum content of  $\geq 50\ \mu\text{m}$  large inclusions in slab was 5.18 mg/10kg.

**Material Index** Low Carbon Aluminum killed steel, Combined Blown Converter, CAS Refining, Slab, Inclusions

钢厂生产低碳铝镇静钢主要有 3 种工艺流程:  
(1)转炉-LF 精炼-连铸工艺流程;(2)转炉-RH 精炼-连铸工艺流程;(3)转炉-CAS 精炼-连铸工艺流程。其中转炉-CAS 精炼-连铸工艺的生产成本较低,同时能够缓解 LF 生产低碳铝镇静钢的压力。

### 1 主要工艺及研究方法

炼钢用铁水在铁水包中进行喷粉脱硫预处理,在 210 t 氧气顶底复吹转炉炼钢,出钢采用挡渣球挡渣,并在出钢过程中进行脱氧合金化。钢水经 CAS 精炼处理(钢包 Composition adjustment by steeled argon bubbling 密封吹氩合金成分调整法:精炼过程一般加入废钢调温,加锰铁合金化,加保温剂),在 CAS 处理前后分别由钢包中提取钢水和炉渣试样,钢水取样采用提桶式取样器。试验中两炉次的 CAS 精炼过程数据如表 1 所示。

50 t 中间包开浇后浇铸 20 t 钢水时用提桶式取样器在中间包取一钢水试样,随后每浇铸 60 t 钢水时取一钢水试样,共取 4 次钢样,在测温孔位置钢液面下 $\geq 200\ \text{mm}$ 处取样。

在试验炉次浇铸的第 3 块铸坯上截取条形试

表 1 CAS 精炼技术参数

Table 1 Technical parameters for CAS refining

炉次	3 min 温度/°C	结束温 度/°C	总调温 废钢/t	高碳锰 铁/kg	碳粉/ kg	保温剂/ kg	总吹氩 时间/min
1	1 680	1 589	5.50	223	-	140	27
2	1 674	1 591	6.60	199	13	140	28

样,试样尺寸为:拉坯方向 $\times$ 板坯宽度 $\times 230\ \text{mm}$ ,在条形试样的板坯宽度方向的1/4处截取长为 10 mm、宽为 10 mm、高度为 230 mm 的条形试样,对该试样的T[O]、N 和夹杂物水平进行分析。表 2 为试验炉次中间包 4 次钢水试样分析的平均值。

表 2 中间包钢水的化学成分/%

Table 2 Chemical compositions of liquid steel in tundish /%

炉号	C	Si	Mn	P	S	Al	N	T[O]
1	0.057	0.017	0.243	0.008	0.014	0.042	0.003 8	0.001 9
2	0.053	0.020	0.245	0.010	0.013	0.043	0.004 0	0.001 9

### 2 试验结果讨论

#### 2.1 钢中总氧含量的变化

图 1 为两个试验炉次 CAS 处理前后、中间包钢

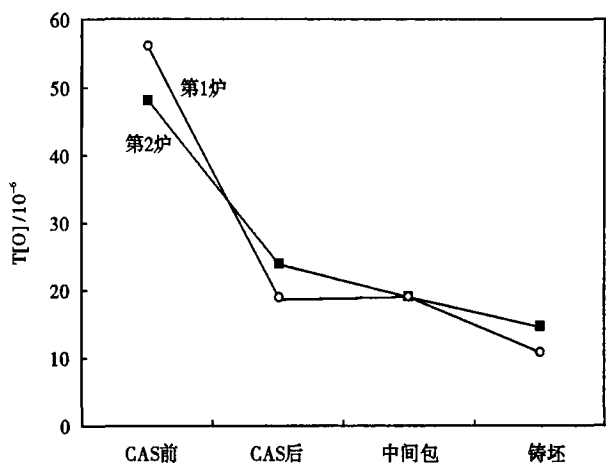


图1 不同阶段钢中总氧含量的变化

Fig.1 Change of total oxygen content in steel at different stage

水和铸坯的总氧含量。第1炉钢CAS处理前Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.048%) 低于第2炉钢CAS处理前Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.050%), 因而第1炉钢T[O]高于第2炉(高出8 × 10<sup>-6</sup>)。CAS处理后两炉钢水T[O]平均为22 × 10<sup>-6</sup>, 中间包钢水T[O]为19 × 10<sup>-6</sup>。从图1中可以得到铸坯T[O]较低, 表明采用转炉-CAS 精炼-连铸工艺可以满足生产较高洁净度连铸坯的要求。

### 2.2 钢中氮含量的变化

从图2中可以得到在CAS精炼过程中, 氮含量增加不多, 表明在CAS精炼处理过程中钢液面控制

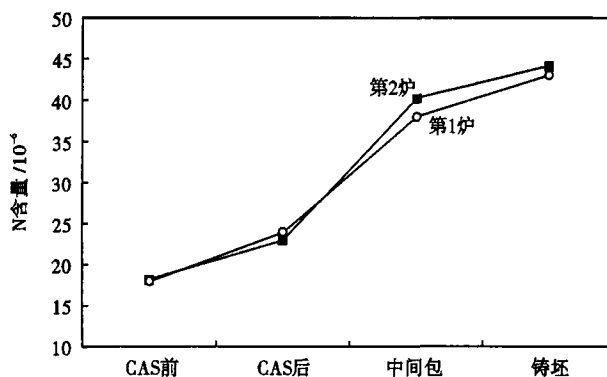


图2 不同阶段钢中氮含量的变化

Fig.2 Change of nitrogen content in steel at different stage

较好, CAS 精炼具有防止钢水被空气二次氧化的作用。钢水从CAS出站至中间包过程中, 氮含量增加比较大, 表明在开浇过程中钢水保护不好或是套管密封不好, 造成了钢水的二次氧化, 因此要加强钢包的保护浇铸, 防止钢水与空气接触造成二次污染。钢水从中间包到形成铸坯过程中氮含量有一定的增加, 需加强保护浇铸和防止结晶器液面波动。

### 2.3 CAS 处理前钢中非金属夹杂物

CAS 处理前钢水试样中观察到非金属夹杂物主要有: 球状、块状 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和簇群状 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。钢中球状夹杂物数量很少, 尺寸集中在 10 μm 以下, 其主要组成成分为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。在转炉出钢过程中加铝进行脱

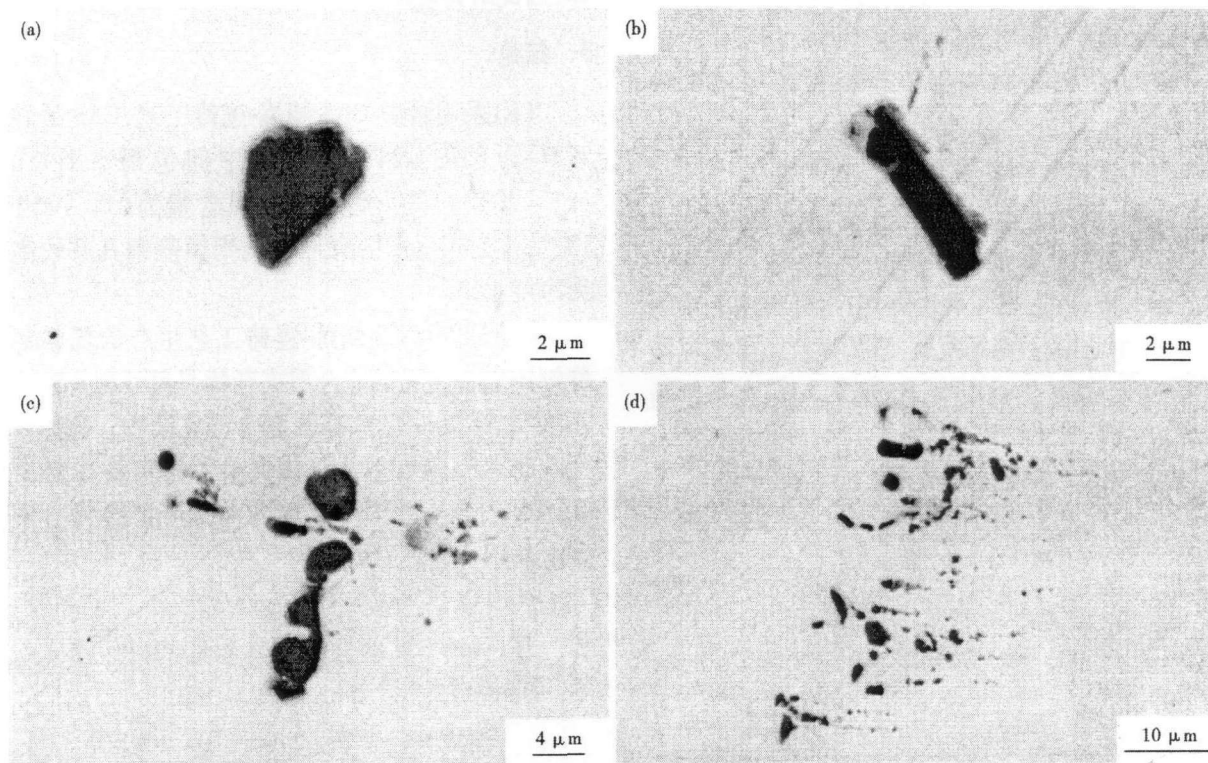


图3 CAS 处理后钢水试样中观察到的典型夹杂物形貌

Fig.3 Morphology of inclusions in sample of steel after CAS treatment

氧合金化,因此钢中存在块状和簇群状  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物,尺寸较小,集中在  $20\ \mu\text{m}$  以下。

#### 2.4 CAS 处理后钢中非金属夹杂物

与 CAS 精炼前相比,CAS 精炼后钢水试样的夹杂物以块状和簇群状为主,尺寸较 CAS 精炼前有所减小,块状夹杂物的尺寸较小,集中在  $5\ \mu\text{m}$  以下。除了块状  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和簇群状  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物之外,夹杂物主要成分中还存在少量的 Ca、Mg,其含量一般在 3% 以下。图 3 为 CAS 精炼后钢水试样中观察到的

典型夹杂物照片。

#### 2.5 中间包钢水试样中的非金属夹杂物

从中间包 4 次提取的钢水试样中观察到的非金属夹杂物主要为球状、块状和簇群状  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。其中球状主要是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物,尺寸都很小,一般在  $1\ \mu\text{m}$  左右。块状和簇群状夹杂物也主要是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物,同时含有极少量的 Mg、S,尺寸一般在  $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 。簇群状夹杂物数量很少,尺寸一般在  $10\sim 20\ \mu\text{m}$ 。

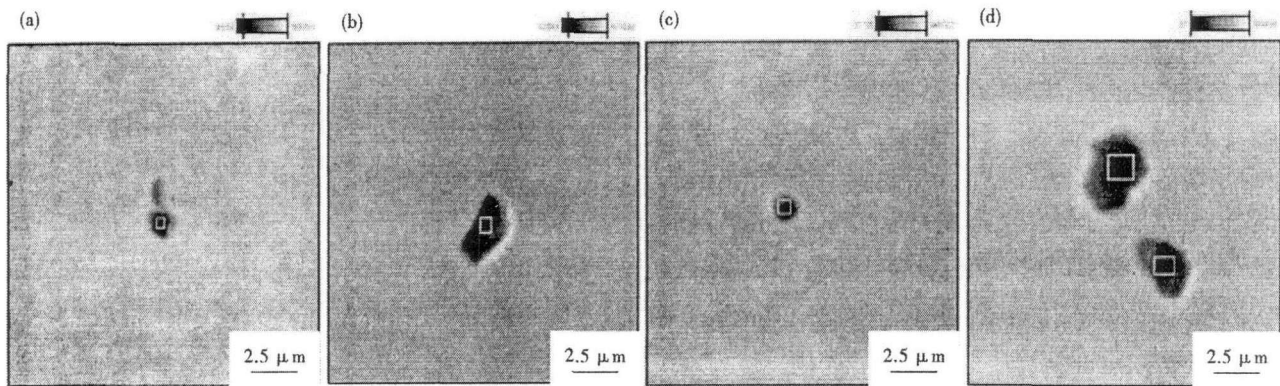


图 4 铸坯内弧面(a,b)和内弧1/4处(c,d)试样典型夹杂物形貌

Fig. 4 Morphology of inclusions in sample at intrados of cast slab (a, b) and at 1/4 distance from intrados (c, d) of cast slab

#### 2.6 铸坯中的非金属夹杂物

图 4(a)、(b)为铸坯内弧面试样中观察到的非金属夹杂物照片,图 4(c)、(d)为铸坯截面近内弧 1/4 高度处试样中观察到的非金属夹杂物照片。铸坯中存在的非金属夹杂物主要为球状和块状的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物,同时夹杂物中还有少量的  $\text{MnS}$ 。与中间包钢水试样中的夹杂物相比,铸坯中夹杂物尺寸有所减少,尺寸大小一般在  $3\ \mu\text{m}$  以下,未发现尺寸在  $10\ \mu\text{m}$  以上的簇群状夹杂物。

从表 3 中可见,第 1 炉次铸坯 1/4 处大型夹杂物多,边缘和中心部位夹杂物少,第 2 炉次边缘部夹杂物最多,中心部夹杂物较少,距边缘 1/4 处夹杂物最

少。从大样电解试样分析结果来看,铸坯中大型夹杂物数量很少,但分布不均匀,分布没有显著的规律,因此对铸坯质量存在一定影响,需要加以控制。

### 3 结论

(1) 采用转炉-CAS 精炼-连铸工艺,CAS 处理后  $T[O]$  为  $(19\sim 24)\times 10^{-6}$ ,中间包钢水  $T[O]$  为  $(17\sim 20)\times 10^{-6}$ ,铸坯中总氧含量为  $(11\sim 15)\times 10^{-6}$ ,该工艺生产的深冲低碳铝镇静钢具有较高的纯净度水平。

(2) 转炉-CAS 精炼-连铸工艺生产的低碳铝镇静钢铸坯中主要的非金属夹杂物是尺寸很小的球状和块状  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MnS}$  复合型夹杂物。铸坯中尺寸  $\geq 50\ \mu\text{m}$  的大型非金属夹杂物含量最高为  $5.18\ \text{mg}/10\text{kg}$ ,但是在铸坯宽度方向上不同位置处夹杂物分布不均匀。

张 婷(1983-),女,研究生,2005 年北京科技大学毕业,低碳铝镇静钢洁净度研究。

表 3 铸坯中  $\geq 50\ \mu\text{m}$  大型非金属夹杂物含量

Table 3  $\geq 50\ \mu\text{m}$  large inclusion content in cast slab

炉次	铸坯试样部位	大型夹杂物含量/ $[\text{mg}\cdot(10\text{kg})^{-1}]$
1	边缘	1.97
	距边缘 1/4	4.79
	中心	1.56
2	边缘	5.18
	距边缘 1/4	0.85
	中心	3.03