

80 t 转炉-钢包吹氩-连铸冶炼过程对 Q235A 钢气体夹杂含量的影响

王建昌 张永亮 段建平

(山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 检测和分析了 80 t 顶底复吹转炉-钢包吹氩-连铸流程冶炼 Q235A 钢(0.14% ~ 0.22% C、0.30% ~ 0.65% Mn)在转炉终点、转炉出钢过程合金化后、钢包吹氩、中间包、钢水和铸坯中的氧、氮和夹杂物含量。结果表明,转炉终点氧含量为 350×10^{-6} ,加脱氧剂和合金化后,氧含量降低 42%,经钢包吹氩,钢中氧含量进一步降低,铸坯中平均氧含量 25×10^{-6} ;钢中氮含量由转炉终点 20×10^{-6} 增至铸坯 40×10^{-6} ;钢包加脱氧剂、合金化后吹氩,钢中可去除约 50% 夹杂物,使铸坯中夹杂物含量 $\leq 45 \times 10^{-6}$,一般夹杂尺寸 $\leq 10 \mu\text{m}$,最大尺寸为 $20 \mu\text{m}$ 。

关键词 转炉 Q235A 钢 钢包吹氩 气体 夹杂

Effect of 80 t Converter - Ladle Argon Stirring - Concasting Steelmaking Process on Gas and Inclusion Content in Steel Q235A

Wang Jianchang, Zhang Yongliang and Duan Jianping

(Technique Center, Shangxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The oxygen, nitrogen and inclusion content in liquid steel at converter blowing end point, after added deoxidizer and alloying at tapping of converter, ladle argon stirred, tundish, and in billet of steel Q235A (0.14% ~ 0.22% C, 0.30% ~ 0.65% Mn) melting by 80 t top and bottom combined blown converter - ladle argon stirring - concasting flow sheet have been examined and analyzed. Results showed that end point oxygen content in steel was 350×10^{-6} , after added deoxidizer and alloying the oxygen content decreased by 42%, with ladle argon stirring the oxygen content was further decreased and finally the average oxygen content in billet was $\leq 25 \times 10^{-6}$; the nitrogen content in steel increased from 20×10^{-6} at converter end point to 40×10^{-6} in billet; the inclusion content decreased by about 50% by adding deoxidizer, alloying and argon stirring, and the inclusion content in billet was $\leq 45 \times 10^{-6}$; the size of most inclusions was $\leq 10 \mu\text{m}$, and maximum inclusion was $20 \mu\text{m}$.

Material Index Converter, Steel Q235A, Ladle Argon Stirring, Gas, Inclusion

随着高效连铸技术的发展,连铸坯质量问题日益突出,在高效连铸条件下生产无缺陷铸坯已成为连铸技术进一步发展的方向^[1]。钢中夹杂物是影响钢质量的重要因素,它对钢的加工性能、耐疲劳强度和表面质量等影响很大^[2,3]。

钢中非金属夹杂物包括外来夹杂物和内生夹杂物,外来夹杂物是由于耐火材料的侵蚀剥落、炉渣、钢包渣以及结晶器保护渣等被卷入钢液中,未能有效去除而滞留在钢中,形成了钢中固态的夹杂物。内生夹杂物主要是钢液脱氧及凝固过程中形成的化合物,一般为简单氧化物、复杂氧化物、硅酸盐和硫化物,其在钢中有时为单独存在,有时两种或多种复合存在。本文对冶炼过程中气体和夹杂物的行为进行了试验研究。

1 Q235A 钢的化学成分和生产流程

研究太钢第二炼钢厂 Q235A 钢在生产过程中氧、氮及夹杂物含量的变化情况。Q235A 钢的主要成分如表 1。

表 1 Q235A 钢化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel Q235A / %

| C | Mn | Si | S | P |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 0.14 ~ 0.22 | 0.30 ~ 0.65 | ≤ 0.30 | ≤ 0.050 | ≤ 0.045 |

太钢二炼钢生产 Q235A 钢的主要流程为:铁水预处理→80 t 转炉冶炼→钢包吹氩→连铸前吹氩→连铸。转炉主要技术参数如表 2。

试验过程中分别于 Q235A 钢转炉终点、转炉出

表 2 转炉主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of converter

| | 项目 | 参数 |
|------|--|-------------|
| 转炉 | 转炉公称容量/t | 80 |
| | 熔池直径/mm | 3 860 |
| | 熔池深度/mm | 1 050 |
| | 炉容比 | 0.774 |
| 氧枪 | 喷孔数 | 4 |
| | 喷孔倾角/° | 12 |
| | 供氧强度/ $[\text{m}^3(\text{t} \cdot \text{min})^{-1}]$ | 3.40 ~ 3.75 |
| 底吹系统 | 底吹供气元件数 | 4 |
| | 底吹供气强度/ $[\text{m}^3(\text{t} \cdot \text{min})^{-1}]$ | 0.03 ~ 0.12 |

钢合金化后、钢包吹氩后、连铸吹氩后、中间包、连铸坯取试样,分析整个生产流程中的钢中氧、氮及夹杂物含量。

2 结果和讨论

2.1 钢中氧、氮和夹杂物

对 Q235A 钢冶炼过程进行跟踪取样分析,得到钢中氧、氮和夹杂物含量,如图 1 所示的结果。

由图 1(a)可知,氧含量经过多道冶炼工序呈逐步递减的趋势,铸坯的氧含量 $\leq 20 \times 10^{-6}$ 。转炉吹炼达到终点时氧含量在 350×10^{-6} 左右,在转炉出钢过程中加入合金后,氧含量迅速减少,大约减少 42%。在此过程中,主要是由于所加入的合金及脱氧剂与氧发生反应,生成氧化物,氧化物上浮进入渣

中。当钢包底吹氩气搅拌时,钢中氧含量降低较快,由于氩气搅拌促进了夹杂物的快速去除,因钢中的夹杂物大多是含氧的化合物,所以钢中夹杂物减少,钢中的氧含量也降低;同时,由于吹氩降低了钢中 CO 气体的分压,使碳氧平衡向生成 CO 的方向移动,钢中的碳和氧同时降低。经过钢包吹氩并静置后,在连铸之前进行短时间吹氩,促进了小直径夹杂物的去除^[4],氧含量进一步降低。钢水到达中间包时,钢中氧含量就已经很低了,在经过中间包、结晶器时,由于中间包渣和结晶器保护渣的吸附作用,钢中较大颗粒的夹杂物进入渣中,铸坯中的夹杂物进一步降低,使氧含量降到较低水平。

由图 1(b)可知,钢中氮含量经过多道冶炼工序

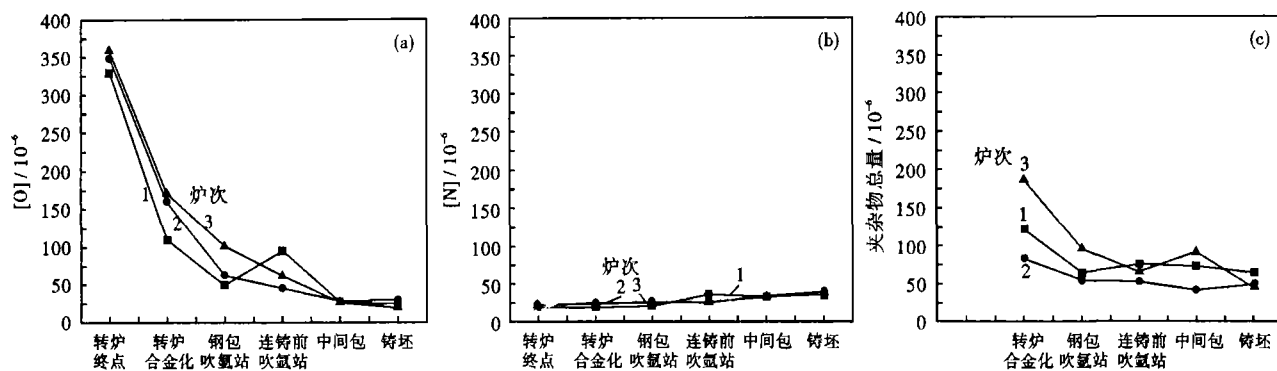


图 1 转炉终点至铸坯的冶炼流程中 Q235A 钢氧含量(a)、氮含量(b)和夹杂物含量(c)的变化趋势

Fig. 1 Tendency of change of oxygen content (a), nitrogen content (b) and inclusion content (c) in steel Q235A during smelting process from converter end point to billet concasting

后,呈逐渐递增的趋势,转炉终点氮含量在 20×10^{-6} 左右,而铸坯的氮含量高达 40×10^{-6} 。从氮含量的变化趋势得知,钢水在合金化(转炉出钢)过程中有吸氮现象,在钢包吹氩过程中,由于吹氩使钢液与空气接触吸氮而使氮含量增加,当喷吹的氩气中含有少量氮气时也会引起增氮。进行连铸操作时,氮含量增加最快,钢水通过长水口从钢包流入中间包时,由于密封不好引起钢水吸气比较严重,而中间包钢液保护不当也造成钢水吸氮,在结晶器中也存在同样的问题。由上述分析可知,钢水中氮含量在转炉终点时较低,但由于后期操作过程中钢水多次与空气接触引起增氮。为了减少钢水增氮,要尽可能减少钢水与空气的接触,在浇铸过程中加强无氧化保护浇铸。

由图 1(c)可知,在合金化时钢中夹杂物含量比较高,其中两炉检测量在 $(70 \sim 120) \times 10^{-6}$ 之间,另一炉检测量 $\geq 180 \times 10^{-6}$,这主要是转炉合金化后生成大量的氧化物夹杂,在取样时还没来得及上浮。

经过钢包吹氩搅拌,钢中夹杂物充分上浮去除,夹杂物含量迅速降低,钢中的夹杂物减少约 50%。在连铸过程中,夹杂物有少量减少,但减少的程度较小。夹杂物的去除主要在合金化后吹氩搅拌期间,由于加入的脱氧剂及部分合金被氧化,新生成的氧化物在氩气搅拌下迅速上浮进入渣中;同时在氩气的搅拌作用下,细小的夹杂物之间也相互碰撞、聚合长大,上浮去除;另外在氩气泡上升过程中也能捕捉一些细小的夹杂物一块去除。在连铸过程中,由于中间包渣和结晶器保护渣有吸附夹杂作用,连铸过程中钢中夹杂物有所降低,但如果过程中保护不好,夹杂物反而会增加。

2.2 铸坯中的氧、氮及夹杂物

为了研究铸坯中氧、氮含量与夹杂物之间的关系,对 11 炉铸坯中氧、氮及夹杂物含量进行分析,分析结果如表 3 所示。

由表 3 可知,铸坯中氧、氮含量都比较低,氧含量平均为 25×10^{-6} ,氮含量在 40×10^{-6} 左右。在 11

表3 Q235A 钢铸坯中氧、氮和夹杂物含量/ 10^{-6}
Table 3 Oxygen, nitrogen and Inclusion content in billet of steel Q235A / 10^{-6}

| 炉次 | [O] | [N] | 夹杂物 |
|----|-----|-----|-----|
| 1 | 34 | 40 | 34 |
| 2 | 18 | 40 | 90 |
| 3 | 36 | 40 | 155 |
| 4 | 23 | 37 | 150 |
| 5 | 23 | 42 | 46 |
| 6 | 23 | 56 | 30 |
| 7 | 20 | 33 | 38 |
| 8 | 20 | 40 | 30 |
| 9 | 20 | 40 | 35 |
| 10 | 20 | 30 | 25 |
| 11 | 40 | 30 | 30 |
| 平均 | 25 | 39 | 60 |

炉次的试验中,大多数夹杂物含量 $\leq 45 \times 10^{-6}$,夹杂物含量 $\geq 90 \times 10^{-6}$ 所占比例约为 27.3%。夹杂物量同氧、氮含量并非为线性对应关系。在第 3、4 炉次中,夹杂物含量接近 160×10^{-6} ,而钢中氧含量 $\leq 40 \times 10^{-6}$,主要是由于铸坯中的夹杂物并不是单纯的氧化物夹杂,还有硫化物及其他含钙的氧化物等复合夹杂。

2.3 夹杂物显微分析

将转炉合金化后和连铸坯样的夹杂物分别示于图 2(a)和图 2(b)。

转炉出钢后(合金化)钢中的夹杂物含量相对较高(图 1c),对其取样进行金相及电镜分析可知

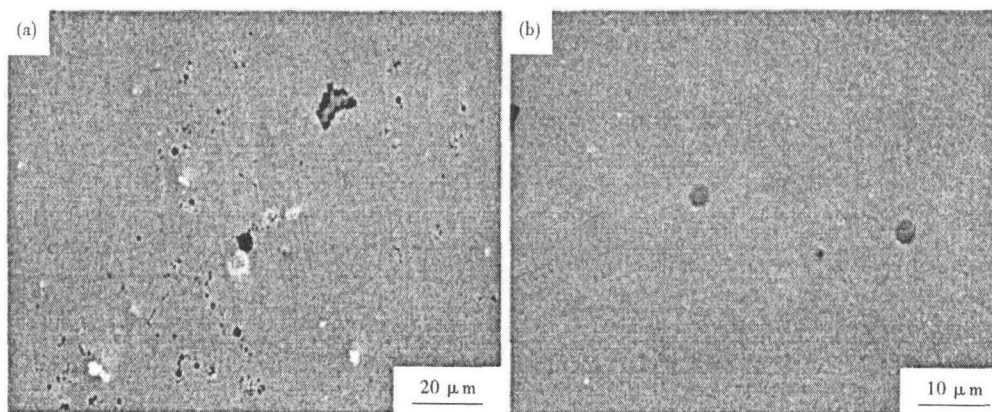


图2 转炉终点钢水(a)和铸坯(b)中夹杂物形貌,SEM

Fig.2 Morphology of inclusion in steel at converter end point (a) and in casting billet (b), SEM

(图 2a),钢中夹杂物数量比较多,但夹杂物的尺寸并不大,大多数夹杂物的尺寸 $\leq 10 \mu\text{m}$,最大的夹杂物尺寸为 $20 \mu\text{m}$,但呈不规则几何形状,存在铸坯中影响钢的质量。此时的夹杂物主要是 Al 的氧化物。

铸坯中的夹杂物含量 $\leq 45 \times 10^{-6}$ (图 1c),取样分析如图 2(b)所示,夹杂物数量很少,所分析的样品中只有几个较小的夹杂,而且尺寸较小,只有 $5 \mu\text{m}$ 左右,形态上也发生改变,只是孤立的圆形夹杂,使夹杂物的危害降到最低程度。能谱分析表明,铸坯中的夹杂物主要还是 Al 的化合物,还有少量 Si、S、Mn 等元素的化合物。

3 结论

(1)在太钢二炼钢生产 Q235A 的工艺条件下,钢中氧含量逐渐降低,铸坯的平均氧含量为 25×10^{-6} ,而氮含量逐渐增加,铸坯中氮含量达 40×10^{-6} ;夹杂物的含量逐渐降低,在处理过程中,夹杂

物的形态也发生改变,铸坯中夹杂物含量少、尺寸小,而且呈圆形,使夹杂物的危害降到最低,提高了铸坯质量。

(2)钢包合金化后吹氩,有利于夹杂物的去除,而且效果非常明显,可以去除约 50%的夹杂物。

参考文献

- 1 蔡开科.连续铸钢原理与工艺.北京:冶金工业出版社,2002
- 2 张爱梅.非金属夹杂物对钢性能的影响.物理测试,2006,24(4):42
- 3 王爱霞.钢中非金属夹杂物对显微组织的影响.宽厚板,2006,12(5):1
- 4 郑淑国,朱苗勇.钢包内喷嘴与透气砖吹氩去夹杂水模型研究.金属学报,2006,42(11):1143

王建昌(1972-),男,工程师,1996年太原理工大学毕业,炼钢工艺和技术。

收稿日期:2007-08-06