

油缸用 25Mn 钢 100 t EAF-LF-VD-软吹氩-CC 流程 B 类夹杂物的控制

肖鸿光

(湖南衡阳华菱钢管有限公司技术中心,衡阳,421001)

摘要 衡钢采用硅钙脱氧工艺、控制 EAF 钢水中全氧含量、LF 渣系中 Al_2O_3 含量、控制精炼时间 ≥ 40 min、VD 真空脱气、软吹时间 ≥ 20 min、保护浇注防止钢水二次氧化和促使钢中夹杂物上浮等应用工艺措施,可有效降低钢水中 B 类夹杂物 Al_2O_3 数量和尺寸以提高钢的洁净度。生产实践表明:油缸钢生产中精炼炉控制钢水 $[Al]_s \leq 0.004\%$ 、 $T[O] \leq 0.0020\%$ 、精炼终渣 $(FeO) \leq 0.8\%$ 、碱度(R)控制在 2.0~3.2 有利于 B 类夹杂物控制。当 B 类夹杂物不超过 1.0 级有利于控制刮滚工艺“白点”的产生。

关键词 100 t EBT-LF-VD-CC 油缸 硅钙脱氧 夹杂物

Controlling of Grade B Inclusion in 100 t EAF-LF-VD-Soft Ar Browing-CC Flowsheet in 25Mn Steel for Hydraulic Cylinder

Xiao Hongguang

(Technology Center of Hunan Hengyang Valin Steel Pipe Co Ltd, Hengyang, 421001)

Abstract The measures as applying the process of Si-Ca deoxidation, controlling the total content of oxygen in the EAF molten steel and the content of Al_2O_3 in LF slag, Control refining time ≥ 40 min, vacuum degassing (VD), control soft blow time ≥ 20 min, and protecting cast to prevent secondary oxidation of the molten steel and promote the floating of inclusions in the steel are adopted at Hengsteel. The number and size of Grade B inclusion Al_2O_3 in the molten steel are reduced to improve the cleanliness of steel. Production practice shows that controlling steel $[Al]_s \leq 0.004\%$, $T[O] \leq 0.0020\%$, refined final slag $(FeO) \leq 0.8\%$ and alkalinity (R) between 2.0 and 3.2 in liquid of hydraulic cylinder steel are available to control Grade B inclusion. Grade B inclusions not exceeding class 1.0 is beneficial to control the production of “white spots” in the SRB process.

Material Index 100 t EBT-LF-VD-CC, Hydraulic Cylinder, Si-Ca Deoxidation, Inclusion

油缸广泛用于工程机械,如挖掘机、装载机油缸、煤机液压支柱、水利油缸、飞机起落架等,具有广阔的应用领域。油缸用途不一样,对内孔表面质量要求不一样。如挖掘机油缸,内孔粗糙度 $\leq Ra0.8 \mu m$ 。

传统内孔加工工艺:普遍采用镗+珩磨工艺或镗+滚压工艺,该工艺加工效率较低,需要两次装夹工件。数控刮削滚光工艺^[1-3]:采用组合刀具实现工件内孔粗镗、刮削和滚光一次装夹完成加工的高效深孔加工设备,适用于工程机械、煤炭等行业所用各类缸筒零件的高效、高精、大批量的加工。热轧管必须冷拔后,冷拔管毛坯单边余量在 1~2 mm,再进行刮削滚光工艺 SRB(刮滚工艺)。刮削滚光工艺采用复合刀具^[4](多数能装 2~8 片可转位刀片,后部有 4~50 颗滚珠的滚压刀具),油缸加工后内表面粗糙度非常稳定,表面光洁度可达 $Ra0.1 \sim 0.8$ 。

当 SRB 切削速度大于 1 000 r/min,进给量 1.5~3.5 mm/r,滚光头过盈量 0.1 mm 左右时。如果钢水洁净度不高,当 B 类、D 类夹杂物超过一定级

别,脆性夹杂物不随基体变形,随高速旋转的刮刀头带出来,在油缸内表面(镜面)光照下呈现“白色点状”缺陷。油缸加工行业称之为“白点”。

1 白点、烂斑产生的原因

油缸内壁刮削滚光后,若在 LED 灯强光照下,轻微或者难辨的细小“白点”如图 1(a),油缸还可修复,若在 LED 灯强光照下,出现肉眼可见的“白点”如图 1(b),会导致油缸报废。在生产 1737283VL 25Mn 轧制 $\Phi 232 \text{ mm} \times 29 \text{ mm}$ 钢管,SRB 后,油缸内表面发现白点,缺陷长轴 2.14 mm。

通过对 E355 冷拔油缸用钢“白色”缺陷处电镜能谱分析,夹杂物的化学成分主要为 O、Al、Mg、Ca、Si 等元素,分析夹杂物主要是氧化铝(Al_2O_3)、铝镁尖晶石($MgO-Al_2O_3$)及硅酸钙($2CaO-SiO_2$)。

钢管内壁存在的 Al_2O_3 (B 类夹杂物)以链状 Al_2O_3 夹杂存在危害最大。 Al_2O_3 夹杂属于脆性不变形夹杂物,由于高速刮滚,产生大量热量,与基体的热变形能力差异大(Al_2O_3 的变形指数^[5] $\gamma = 0$),

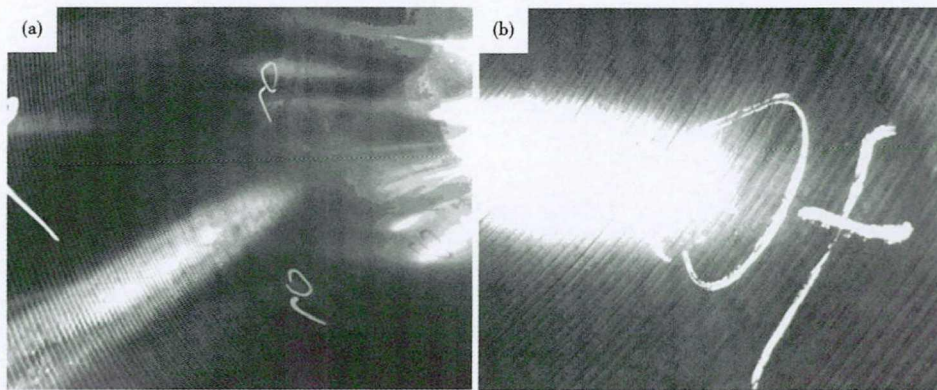


图 1 可以修复的轻微“白点”缺陷(a),不可修复的“白点”缺陷(b)

Fig. 1 Can be repaired minor “white point” defect (a) and can't be repaired “white point” defect (b)

大块 Al₂O₃ 夹杂破碎成小块的带尖锐棱角夹杂,并呈链状分布。这些坚硬的形状不规则的 Al₂O₃ 夹杂能将基体划伤,并在夹杂周围产生应力集中场或与基体脱开形成孔洞,光照下产生白点、烂斑。

2 钢水中 B 类夹杂物的控制

电弧炉出钢时采用 Si-Ca 或 Si-Ca-Ba 或 CaC₂ 脱氧剂脱氧^[6-7],钢水的氧活度小于 0.003% ,LF 精炼采用无铝造渣,在 LF 精炼过程中向罐内加入小粒硅钙钡或硅钙,形成还原性强的白渣,碱度控制在 2.5 左右,对炉渣和钢水进行脱氧,VD 真空后 10 min 软吹,进一步促进夹杂物上浮,使得钢中全氧质量分数在 0.002% 以下,与铝脱氧相比,大幅减少了精炼过程中初始的 Al₂O₃ 夹杂形成,有利于 B 类夹杂物控制。

2.1 控制电弧炉终点 [O] 含量是控制 B 类氧化物的关键

2.1.1 电弧炉氧化终点 [C]、[O] 含量控制

电弧炉氧化终点 [C]、[O] 含量控制,是控制最初生成 B 类夹杂物多少的关键,首先控制钢中夹杂

物来源,提高钢水纯净度。电弧炉氧化终点 C-O 平衡,如图 2。

文献 [8] 表明:在 1 600 ℃,[C]、[O] 浓度积为一常数,[C]、[O] 达到平衡;1 600 ℃,当氧末 [C] = 0.08% 时,钢水中 [O] 含量: 2.5 × 10⁻⁴;

当氧末 [C] ≥ 0.08% 时,钢水中 [O] 虽有降低,但降低幅度不大;

当氧末 [C] < 0.08%

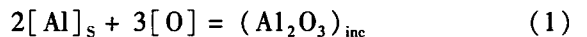
后,钢水中 [O] 会迅速增加,这时脱氧产生的脱氧产物会迅速成倍增加,脱氧产生的夹杂物会成倍增加;

如当氧末 [C] 含量为 0.04% 时,钢水中 [O] 达 6.0 × 10⁻⁴ ~ 7.0 × 10⁻⁴,出钢温度升高时,钢水中 [O] 更高。所以,无论是铝脱氧、还是硅钙脱氧,控制钢水氧末 [C] 含量,是控制 B 类氧化物关键。

2.1.2 Si-Ca 或 Si-Ca-Ba 脱氧精炼过程钢水 [Al]_s 控制

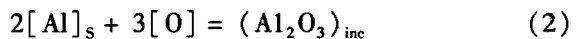
由于 Si-Ca 或 Si-Ca-Ba 脱氧剂中存在铝,铝脱氧、硅钙脱氧工艺存在下列反应式。

铝脱氧工艺

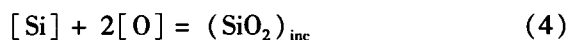


因此,铝脱氧工艺,精炼初期产生大量的 (Al₂O₃)_{inc} 夹杂物。

硅钙脱氧工艺,由于 Si-Ca 或 Si-Ca-Ba 脱氧剂中存在铝,因此也存在:



同时还存在:



钢水中 (CaO)_{inc} 与 (SiO₂)_{inc} 相互结合,碰撞长大形成低熔点的 CaO-SiO₂ 硅酸盐夹杂物或少量的 CaO-Al₂O₃-SiO₂ 硅铝酸盐夹杂物。

若硅钙脱氧 Si-Ca 或 Si-Ca-Ba 或 CaC₂ 脱氧剂中 [Al] 含量高,(1) 反应生成的 (Al₂O₃)_{inc} 相对比较多,文献 [2] 表明,控制 [Al]_s ≤ 0.004%,有利于控制 B 类夹杂物的数量与尺寸。

2.2 铝脱氧与硅钙脱氧对 B 类夹杂物控制区别

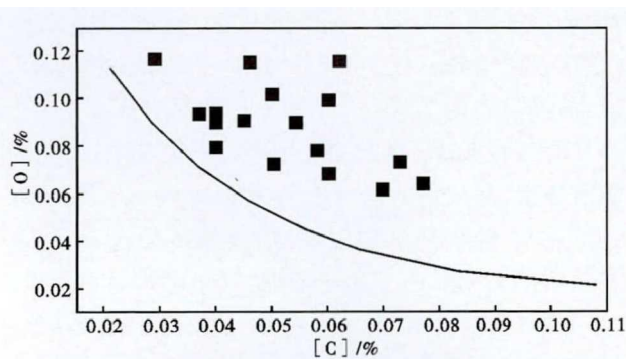


图 2 电弧炉冶炼终点钢水碳含量与氧活度的关系

Fig. 2 Relation between oxygen activity and carbon content in liquid at EAF end

表1 25Mn钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of 25Mn steel/%

C	Si	Mn	P≤	S≤	Cu≤	Ni	Cr	Mo	V
0.25~0.29	0.15~0.30	1.30~1.45	0.025	0.020	0.20	≤0.25	≤0.25	≤0.10	≤0.05

表2 硅钙合金的化学成分/%

Table 2 Chemical constituents of calcium silicate alloys/%

合金牌号	Ca	Si	C	Al	P	S
Ca31Si60	≥31	50~65	≤1.2	≤2.0	≤0.04	≤0.06
Ca28Si60	≥28	50~65	≤1.2	≤2.0	≤0.04	≤0.06

不同的脱氧方式生成的脱氧产物不一样。同时,钢水中的 $[Al]_s$ 显著地影响了夹杂物的尺寸和数量^[3],硅钙脱氧中的夹杂尺寸小于铝脱氧夹杂尺寸,在硅钙脱氧中的精炼后期,大多数夹杂小于5 μm,高铝脱氧方式则为5~10 μm。

3 铝脱氧、硅钙脱氧B类量对比试验

3.1 试验条件

试验钢种:25Mn 高精密冷拔油缸用钢,化学成分如表1。生产工艺流程为:100 t EAF→LF→VD→软吹氩→CC

铸坯坯径:Φ220~330 mm;Φ220 mm 轧制规格:外径尺寸:Φ60~180 mm,壁厚3.5~22 mm;Φ280 mm、Φ330 mm 铸坯轧制规格外径尺寸:Φ133~365 mm、壁厚为5~40 mm。

硅钙合金化学成分如表2

对比研究方案:铝脱氧与硅钙脱氧工艺,对比精炼过程、铸坯、管材中夹杂物的数量、形态等。为了研究不同冶炼工艺条件下钢在100 t EAF→LF→VD→软吹氩→CC流程中非金属夹杂物的演变过程,用特制的桶式取样器在各个工序进行取样。每炉钢分别在钢包、LF结束(喂线前)、喂线后、VD后、中间包取钢水实验样,VD后取渣样、气体样,铸坯取断面样。

取好的桶样由车床车去表层,加工成直径20 mm的圆柱试样,圆柱金相试样经过粗磨、细磨、粗抛、细抛后,采用扫描电镜(SEM)对钢中大型夹杂的成分及形貌进行分析;采用金相显微镜及扫描电镜对显微夹杂物的数量、形貌、尺寸进行分析,采用能谱仪(EDS)对夹杂物进行成分分析;采取常规化学分析方法对钢样及渣样成分进行分析;采用LIM-2000图像分析仪在100倍视场下对金相试样中的典型夹杂物进行拍照,并将所拍照片采用专业软件进行分析处理,按照尺寸大小统计夹杂物个数。

3.2 对比试验结果

3.2.1 铝脱氧与硅钙脱氧能力

Si-Ca 脱氧:出钢过

程中不加铝线段,根据

终点碳情况,加入硅钙3~3.5 kg/t;Al脱氧:根据终点碳情况,加入铝线段1.2~2.0 kg/t;随机各抽查5炉25Mn钢,在LF精炼完毕、VD处理后、中间包内及铸坯中取样, $T[O]$ 、 $[H]$ 、 $[N]$ 的测定结果见表3。

从脱氧能力来看:铝脱氧工艺钢水脱氧能力大,钢水中氧含量更低。但硅钙脱氧也能够将钢水中的 $[O]$ 含量脱到 $T[O]≤0.002%$ 水平。

3.2.2 精炼炉终渣(FeO)含量

渣样化学成分测定结果,见表4。

从表4看出:硅钙脱氧能将精炼终渣控制到较好水平,二元碱度R2.0左右,渣中 $(FeO)≤0.8%$ 。

3.2.3 不同脱氧方式铸坯夹杂物形态、数量变化

3.2.3.1 硅钙脱氧工艺夹杂物形态

采用硅钙、碳化钙、硅石调渣硅钙脱氧工艺,精炼炉精炼初期、中期,观察到的夹杂主要是具有较高含量 Al_2O_3 的球状 $CaO-Al_2O_3-SiO_2-MnO$ 类型夹杂物,这里高含量的 Al_2O_3 来源于硅铁和锰铁合金及硅钙合金残余铝形成的。因此,必需控制各类合金中的Al含量。随着精炼进行,在精炼中后期钢水中 MnO 、 SiO_2 逐渐减少,夹杂物主要是 $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 。研究表明^[9], $[Al]_s≤0.004%$,有利于控制B类夹杂物的。 $[Al]_s$ 越低,生成低熔点的球状 $CaO-Al_2O_3-SiO_2-MgO$ 类型夹杂物越少^[3],精炼过程中越容易上浮排除,钢水中B类夹杂物越少,钢水

表3 工序中 $T[O]$ 、 $[H]$ 和 $[N]$ 的变化/ 10^{-6} Table 3 Changes in $T[O]$ 、 $[H]$ and $[N]$ in processes/ 10^{-6}

工序	铝脱氧工艺			硅钙脱氧工艺		
	$[O]$	$[N]$	$[H]$	$[O]$	$[N]$	$[H]$
LF 毕	12~23	41~57	1.8~2.5	15~32	43~69	1.8~2.7
均值	18.2	55	2.3	23	56	2.5
VD 后	10~21	34~47	1.4~1.9	11~23	33~52	1.3~2.1
均值	14.4	43.2	1.7	17.9	42.5	1.65
铸坯	9~15	34~48	0.8~1.5	11~22	34~47	1.1~1.9
均值	13.8	43.5	1.3	17.5	42.8	1.35

表4 25Mn钢渣样化学成分测定结果

Table 4 Determination of chemical composition of steel slag sample for 25Mn steel

工艺	数值	$(Al_2O_3)/%$	$(FeO)/%$	二元碱度
铝脱氧	范围	21.93~37.11	0.518~0.83	4.01~7.66
	平均值	27.65	0.65	5.27
非铝脱氧	范围	6.69~12.07	0.61~0.93	1.96~2.2
	平均值	9.65	0.73	2.05

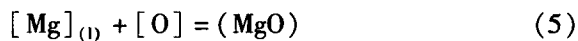
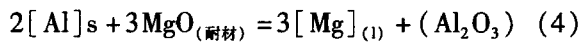
越纯洁。

3.2.3.2 铝脱氧工艺夹杂物形态

铝脱氧工艺中,在 LF1 精炼阶段主要的夹杂是钙铝酸盐夹杂。由于铝脱氧,铝锭和石灰在出钢时加入,氧化产物 Al_2O_3 马上在钢渣界面与石灰反应,产生钙铝酸盐夹杂,具有脱硫作用,CaS 夹杂在其它夹杂上附着析出。在 LF2 精炼阶段,主要的夹杂是 $CaO-Al_2O_3-SiO_2-MgO$ 类型夹杂和 $MgO \cdot Al_2O_3$ 尖晶石夹杂,它们的组织形态是不规则的。在 LF3 精炼阶段仍然存在 $CaO-Al_2O_3-MgO$ 类型的夹杂。在软吹结束后,大多数夹杂是 CaS 夹杂或者是 CaS 夹杂裹挟着复合氧化物夹杂 $CaO-Al_2O_3-MgO$ 类型。

铝脱氧工艺中:由于精炼钢水中 $[Al]_s$ 足量, $[Al]_s$ 还原了耐材和渣中的 MgO 。

反应方程如下:



因此,铝脱氧工艺容易形成 $CaO-Al_2O_3-MgO$ 类型夹杂,这里的 MgO 含量有时高达 15%。由于 $CaO-Al_2O_3-MgO$ 类型夹杂和 $MgO \cdot Al_2O_3$ 尖晶石夹杂是 B 类脆性夹杂物,不易发生塑性变形,高速刮滚时,夹杂物易与基体分开,从而形成烂斑,在 LED 灯强光照射下,呈现出“白点”。

3.2.4 不同脱氧方式钢水夹杂物尺寸和分布

根据文献[9]介绍,在硅钙脱氧工艺中,从 LF1 到 LF5 精炼过程中,小于 $5 \mu m$ 的夹杂是增加的;从 LF5 精炼到铸坯,稍微有点下降,铸坯中大多数夹杂

尺寸为 $0 \sim 10 \mu m$,未检测到大于 $15 \mu m$ 的夹杂。

在铝脱氧工艺中,在每个阶段上小于 $5 \mu m$ 夹杂比例都小于非铝脱氧工艺,数量最多的是 $5 \sim 10 \mu m$,存有大于 $15 \mu m$ 的夹杂。

总体来说,在铝脱氧工艺中,夹杂物的尺寸是大于硅钙脱氧工艺的夹杂物尺寸。而大于 $10 \mu m$ 夹杂物,特别是大于 $15 \mu m$ 的 B 类夹杂,在油缸内壁高速刮滚时是致命的缺陷,容易出现烂斑、白点缺陷。

4 生产过程 B 类夹杂物的控制实践

4.1 终点[C]、[O]控制及 LF 终点渣(FeO)控制水平

统计 3 个月(2017 年 4~6 月)35 炉 25Mn 硅钙脱氧冷拔油缸生产情况,90 t 电弧炉出钢时加入石灰 500~600 kg,高铝精炼渣 100 kg,萤石 100 kg,硅钙(300~350 kg)。加料顺序:高铝精炼渣→合金及硅钙(300~350 kg)→石灰→萤石。表 5 为非铝脱氧 25Mn 终点[C]、[O]控制及 LF 精炼终点渣中(FeO)情况。

控制铁水量,终点[C]含量,能够确保终点[O]含量 $\leq 2.50 \times 10^{-4}$ 、LF 终点渣中(FeO) $\leq 0.8\%$,加强精炼炉脱氧、软吹及保护浇注能使钢水酸溶铝含量 $[Al]_s \geq 98.5\%$ 。

4.2 钢水[O]控制

大部分钢种夹杂物都是以氧化物存在的,如 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MnO 、 CaO 等,钢中 T[O] 过高,则钢中氧化物夹杂及宏观夹杂增多,钢的质量越差。冷拔油缸作为对钢水洁净度要求较高的品种,对钢水脱

表 5 25Mn 钢冶炼关键参数控制
Table 5 Control of key parameters of smelting of 25Mn steel

铁水量/t	EAF 终点 [C]/%	EAF 终点[O]/ $\times 10^{-6}$	LF 终点渣(FeO)/%	吊包钢水[Al]		
				Al/%	Al夹杂物/%	酸溶铝占比/%
50~90	0.05~0.18	151.5~543.3	0.5~1.053	0.0023~0.027	0~0.00085	93.46~100

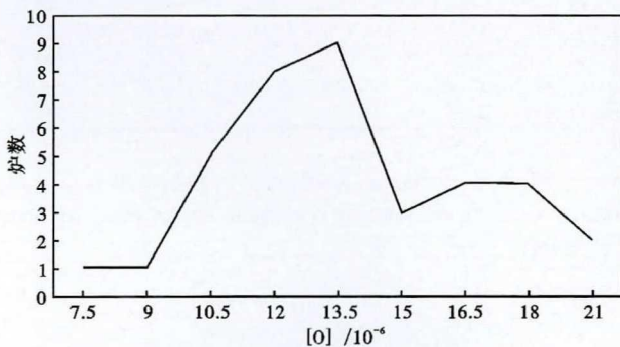


图 3 硅钙脱氧 25Mn 钢中[O]

Fig. 3 [O] in 25Mn steel by Si-Ca deoxidation

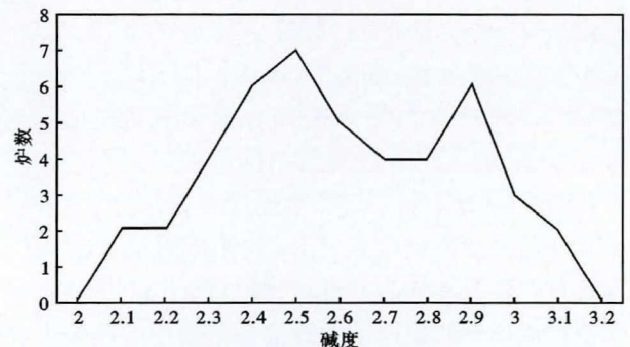


图 4 LF 终渣碱度的控制

Fig. 4 Control of LF end final slag basicity

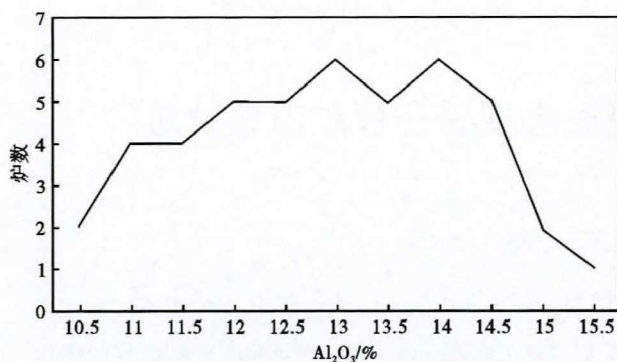
图5 LF终渣(Al_2O_3)的控制Fig. 5 Control of Al_2O_3 of LF end final slag

表6 统计分析冷拔油缸夹杂物级别/级

Table 6 Statistical analysis of the content of inclusion in cold-drawn hydraulic cylinder/rating

项目	A	B	C	D	Ds	刮滚效果
范围	0.5~1.5	0~1.0	0	0~1.0	0.5~1.5	无白点、烂斑
平均值	1.14	0.27	0	0.68	0.82	

氧有较严格的要求,虽硅脱氧能力较铝弱,但是冶炼工序通过控制初炼炉氧末[C]、精炼炉通过控制精炼时间 ≥ 40 min,精炼过程中,少批量、多批次加入脱氧剂SiC、Al粒调渣,能有效弥补这一不足。统计37炉25Mn硅钙脱氧冷拔油缸钢中[O]含量如图3。

分析结果看,冷拔油缸能有效地控制了钢水中[O] $\leq 20.0 \times 10^{-6}$,平均值为 13.6×10^{-6} 。

4.3 硅钙脱氧炉渣碱度控制

硅钙脱氧渣系脱氧产物为 SiO_2 ,因此其终渣碱度较铝脱氧渣系(R:4.0~6.0)要低些,一般硅脱氧冷拔油缸品种精炼终渣碱度要求2.0~3.5,炉渣碱度的控制,一般通过调整钢包料中石灰用量来完成。从取样检测结果如图4,炉渣碱度得到有效控制,碱度控制在2.0~3.2,平均2.61。

4.4 渣中(Al_2O_3)控制含量水平

参考文献

- [1] 战伯良,贾强,王玉梅,深孔油缸刮滚组合加工工艺[J]. 新技术新工艺,2012(4):20-21.
- [2] 宋海林,大直径液压缸内孔的加工方法[J]. 工程机械,2000,31(8):35-37.
- [3] 张丽丽,胡大龙,张重州,液压缸内孔推镗的滚压工艺及设备[J]. 郑州工业大学学报,1999,20(1):110-111.
- [4] 赵伟方,于德润,刘桂花,等. 超削刮滚复合加工工艺浅析[J]. 中州煤炭,2013,35(9):52-54.
- [5] 蒲学坤,李桂军. 时速200 km钢轨钢中B类夹杂物控制技术[J]. 炼钢,2005,21(3):26-28.
- [6] 王玉昌,张家泉. 高速重轨钢洁净度与均质性控制关键技术[J]. 中国冶金,2015,25(4):7-11.
- [7] 李桂军,重轨钢非铝脱氧工艺研究[J]. 钢铁钒钛,2003,24(1):

要改善钢中B类夹杂物的评级结果,应将钢包渣 Al_2O_3 控制在15%以下^[9]。硅钙脱氧,渣中 Al_2O_3 的主要来源为精炼合成渣与合金。在生产过程中,需要加入合成渣以改善顶渣的流动性,但为了控制渣中 Al_2O_3 的含量,精炼渣用量为1.0~1.5 kg/t,在出钢末期加入0.6~0.8 kg/t的萤石,同时在LF精炼也备有少量萤石。炉渣检验结果如图5,渣中 Al_2O_3 控制较好,基本在15%以下,平均12.91%,满足工艺要求。

4.5 冷拔油缸金相分析夹杂物控制水平

分析35炉(2017年4~6月)25Mn钢约3300 t冷拔油缸A、B、C、D、Ds夹杂物含量等级,并跟踪刮滚效果如表6。

采用硅钙脱氧B类、D类、Ds类夹杂物得到有效控制。分别B类 ≤ 1.0 级、D类 ≤ 1.0 级、Ds类 ≤ 1.5 级;未发现无白点、烂斑;

由于是硅钙脱氧,渣的碱度低,脱氧能力差,A类夹杂物有所增加,A类 ≤ 1.5 级,平均为1.14级,由于A类夹杂物可变形,从刮滚效果来看,并未影响刮滚效果。

5 结论

(1)油缸内壁白点、烂斑缺陷主要是氧化铝(Al_2O_3)、铝镁尖晶石($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$)B类夹杂物为基的复合夹杂物;

(2)硅钙脱氧与铝脱氧相比形成B类夹杂物数量少,大多数夹杂尺寸多为 $\leq 10 \mu\text{m}$ 夹杂物;

(3)硅钙脱氧工艺脱氧过程[Al]_s $\leq 0.004\%$ 、钢水中T[O] $\leq 0.002\%$ 、精炼终渣碱度(R)控制在2.0~3.2、渣中(FeO) $\leq 0.8\%$ 有利于控制B类夹杂物。

22-23.

- [8] 刘平,李笑英,智建国,等. 150 t BOF-LF-VD-CC流程无铝脱氧工艺高速轨钢冶炼过程的夹杂物行为[J]. 特殊钢,2013,34(5):51-52.
- [9] 段光豪. 高速重轨钢B类夹杂物控制技术[J]. 武钢技术,2017,55(1):23-25.

肖鸿光(1968-),男,高级工程师,1987年重庆大学(本科)毕业,钢铁冶金新产品、新工艺研发。

E-mail:1178453160@qq.com

收稿日期:2021-01-28