DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.06.006

钢芯铝脱氧剂在铸造炼钢中的应用

张学政,张喜臣,赵国伟,邵亮峰,王利民
(宁夏共享能源有限公司,宁夏 银川 750021)

摘　要:钢芯铝作为1种新型脱氧剂,较传统铝锭比重大、加入便利、脱氧效率高、成本低,且LF氧活性降低明显。钢芯铝在一些碳含量要求不高的铸钢件上脱氧更为明显,越来越多的铸造炼钢企业以钢芯铝作为脱氧剂进行推广、具有良好的发展前景。

关键词:钢芯铝;氧活性;铸造;炼钢

中图分类号:TG243　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)06-0529-04

Application of Steel Core Aluminum Deoxidizer in Steelmaking for Foundry

ZHANG Xuezheng, ZHANG Xichen, ZHAO Guowei, SHAO Liangfeng, WANG Limin
(Ningxia Kocel Energy Co., Ltd., Yinchuan 750021, China)

Abstract: As a new deoxidizing agent, steel-cored aluminum deoxidizer had higher deoxidizing efficiency and lower cost than traditional aluminum ingot. The deoxidation of steel core aluminum is more obvious in some steel castings with low carbon content. More and more steel casting and steel-making enterprises use steel core aluminum as deoxidizer to promote and have a good development prospect.

Key words: Steel cored aluminum; oxygen activity; casting; steel-making

在炼钢生产中,用铝脱氧可有效降低氧含量,最大限度地避免碳氧反应生成的气泡,同时可以细化钢组织晶粒,从而提高钢材冲击韧度,降低冷脆和时效倾向性。由于铝比重远小于钢液和钢渣的比重,且极易在空气和钢渣中氧化,铝浮在钢液表面,烧损大,收得率低,因此在实际生产中常采用含铝的复合脱氧剂。钢芯铝是一种新型复合脱氧合金化材料,具有碳含量低、密度大、易穿透钢液渣层、熔点高,约1 280 ℃,不易在钢液渣层中熔化、能到达钢液深层熔化脱氧等特点。将其用于钢液的脱氧合金化,其密度介于钢液、钢渣之间,能有效地提高铝的利用率;另外,钢芯铝便于储存,可用袋装加入,既简化了钢液脱氧合金化工艺,又减轻了工人的劳动强度。

1　背景

随着我国钢铁工业的迅速发展,市场对深冲钢、超深冲钢的数量需求越来越多,质量要求越来越高。长期以来,钢铁企业在冶炼过程中,通常靠金属铝或铝、铁重熔形成的合金进行成份调整及脱氧,这些脱氧剂虽然使脱氧效果有所提高,但还不理想,存在一些难以解决的问题。

金属铝脱氧剂的主要缺点是在脱氧过程中反应剧烈,造成部分铝燃烧掉,不能参与钢液反应而白白浪费了。另一方面因金属铝脱氧剂的比重较轻,不能沉入钢液底部,与钢液反应界面较小,且仅限于钢液上部或表面,从而使金属铝脱氧剂的脱氧效果明显降低,铝的收得率较少。熔融铝铁合金脱氧剂是将铝和铁全部熔化后重新融合而成的脱氧剂,使用熔融生成的铝铁脱氧剂,虽然增大了金属铝脱氧剂比重,但是熔后的合金明显改变了原有金属铝的性质,使其熔点升高,熔速过慢,难于在钢液中熔化,影响铝的收得率,同时降低脱氧效果。纯铝的比重在常态下为2.7 g/cm^{3}左右,和在1 500~1 600 ℃条件下钢液比重(7.0 g/cm^{3}左右)相比,比重相差2.2倍,较大的悬殊造成了纯铝块脱氧剂在直接加入钢液后,不仅有效收得率达不到,同时产生大量的氧化物(Al_2O_3类)进入钢液,导致钢液产生大量的夹杂,严重的影响了成品钢的质量。

共享铸钢有限公司在2019年7月以前一直使用铝在EAF进行脱氧。因每炉钢液的对各合金元素要求不同,EAF过程中的脱氧作为初脱氧,需把钢液中氧含量降到低点,否则会给LF脱氧带来成本上的增加及工艺难度的增加。共享铸钢每年在脱氧剂铝用量较大,成本高;为降低成本共享铸钢决定探

收稿日期:2019-12-26

作者简介:张学政(1990-),黑龙江哈尔滨人,本科,助理工程师.主要从事机械加工、工程焊接的研究及应用方面的工作.电话:0951-2023497,E-mail:542274856@qq.com

索使用钢芯铝代替铝锭对钢液在 EAF 脱氧，文中所提到的钢芯铝是将铝熔化后浇铸在含有同规格钢棒料的金属铸模中冷却脱氧后的脱氧剂。

2 试验方案

将两种炼钢脱氧剂纯铝块和钢芯铝(铝钢占比6:4)分别在 EAF 炼钢过程中加入，待 EAF 炼钢结束后测量铝的回收率及钢液到 LF 炉测量钢液中氧活性，推算钢液中氧达到 5×10^{-4}%最终从 EAF 和 LF 总共用的脱氧剂成本，对测量值铝的回收率和氧活性进行比对分析。

3 试验过程

2019 年 7 月底到 11 月初共享铸钢有限公司对两种炼钢脱氧剂进行了试验。

3.1 试验原理

钢芯铝密度大于熔渣密度，接近钢液密度，投入钢液中后，它的上浮速度明显减慢。虽然钢芯铝熔点比纯铝高，但它不象铝有一层高熔点、致密强的粘状三氧化二铝，因此钢芯铝容易溶解，钢芯铝在钢液中溶解和脱氧反应如下：

(1)钢芯铝铁投入钢中，钢芯铝中铝和铁分别溶解到钢液中；

(2)铝分别溶于钢液中与钢液中的[O]结合，且发生反应：$2Al+3O\rightarrow Al_2O_3$。

3.2 试验脱氧剂加入量

电炉(EAF)铝块的加入量按照 2.5 kg/t 钢液进行；钢芯铝的加入量在 2019 年 7.26~8.20 日按照 4 kg/t 钢液进行；在 2019 年 8.22~11.6 日按 3 kg/t 钢液进行。

3.3 试验数据收集

脱氧试验过程：电炉中脱氧效果的取决于 LF 入炉后氧活性及铝的吸收率，氧化性越低表明脱氧效果越显著，铝吸收率越高表明脱氧效果越显著，为此试验过程主要跟踪这两项数据。表 1 和表 2 为钢芯铝脱氧和铝锭脱氧试验提取数据。表 3~ 表 6 是根据实验数据统计而得的脱氧指标和成本核算结果。图 1 和图 2 分别是钢芯铝和铝锭氧活性及 Al 回收率对比图。

3.4 试验数据分析

铸造炼钢分为 3 个过程：电炉炼钢(EAF)+精炼炉炼钢(LF)+真空精炼(VOD)。试验过程是在 EAF 分别加两种类型的炼钢脱氧剂：

(1)在 EAF 炼钢结束后测量 EAF 铝含量从而

表1 钢芯铝脱氧试验数据

Tab.1 Deoxidation test data of steel core aluminum

序号	钢液量 /t	加入量 /kg	加入比例	钢芯铝成本 / 元	Al 含量	回收率 (%)	LF 氧活性	氧活性目标值 /$\times10^{-6}$	LF 加入铝粒量 /kg	铝粒成本 / 元
1	70	280	4	2 822.4	0.126	52.50	97.0	5	48.50	724.6
2	44	190	4	1 915.2	0.139	53.65	94.5	5	47.25	705.9
3	30	120	4	1 209.6	0.138	57.50	103.0	5	49.50	739.5
4	30	120	4	1 209.6	0.135	56.25	101.0	5	50.50	754.5
5	60	240	4	2 419.2	0.139	57.92	95.0	5	50.50	754.5
6	60	240	4	2 419.2	0.158	65.83	96.3	5	48.15	719.4
7	57	150	3	2 259.0	0.099	41.25	150.0	5	51.50	769.4
8	60	180	3	1 814.4	0.096	53.33	39.8	5	19.90	297.3
9	72	215	3	2 167.2	0.105	58.60	116.0	5	52.50	784.4
10	70	210	3	2 116.8	0.108	60.00	59.0	5	29.50	440.7
11	50	150	3	1 512.0	0.111	61.67	159.0	5	53.50	799.3
12	62	186	3	1 874.9	0.095	52.78	128.0	5	64.00	956.2
13	48	144	3	1 451.5	0.078	43.33	78.0	5	54.50	814.2
14	30	90	3	907.2	0.109	60.56	86.0	5	43.00	642.4
15	45	135	3	1 360.8	0.101	56.11	102.0	5	51.00	761.9
16	33	90	3	907.2	0.092	56.22	101.0	5	52.50	784.4
17	43	125	3	1 260.0	0.104	59.63	126.0	5	63.00	941.2
18	21	60	3	604.8	0.099	57.75	104.0	5	53.50	799.3
19	41	120	3	1 209.6	0.089	50.68	107.0	5	53.50	799.3
20	43	120	3	1 209.6	0.081	48.38	99.0	5	54.50	814.2
21	47	140	3	1 411.2	0.088	49.24	97.0	5	49.00	724.6
合计	1016	-	-	34 061.4	-	55.45	-	-	1 039.30	15 527.0

表 2 铝锭脱氧试验数据

Tab.2 Deoxidation test data of aluminum ingot

序号	钢液量 /t	加入量 /kg	加入比例	铝锭成本 / 元	Al 含量	回收率(%)	LF 氧活性	氧活性目标 /×10⁻⁶	LF 加入铝粒量 /kg	铝粒成本 / 元
1	61	154.0	2.5	2 269.19	0.101	40.01	187.0	5	94	1 396.9
2	45	112.0	2.5	1 650.32	0.099	39.78	128.7	5	64	961.4
3	57	140.0	2.5	2 062.90	0.105	42.75	240.0	5	120	1 792.8
4	70	156.0	2.5	2 298.66	0.102	45.77	150.0	5	75	1 120.5
5	40	91.0	2.5	1 340.885	0.078	34.29	240.0	5	120	1 792.8
6	50	120.0	2.5	1 768.20	0.115	47.92	216.0	5	108	1 613.5
合计	1546	773.0	-	11 390.20	-	41.70	-	-	580.85	8 677.9

表3 脱氧指标对比表

Tab.3 Comparison of deoxidation indexes

项目	加入比例	折合铝比例	LF 氧活性（均值）	回收率（均值)(%)
钢芯铝	4.0	2.4	97.8	57
钢芯铝	3.0	1.8	100.1	54
钢芯铝均值	-	2.1	99.0	55
铝锭	2.5	2.5	193.0	42

表4 共享铸钢历年熔炼量

Tab.4 Smelting capacity of shared cast steel over the years

年份	重量 /t	叶片熔炼量	剩余	备注
2017 年	28 816.0	10 442.0	18 374.0	叶片含碳量要求严格，钢芯铝不宜加入
2018 年	29 431.0	8 262.0	21 169.0	
均值	29 124.0	9 352.0	19 772.0	

表5 出钢氧活性为5×10⁻⁶时还原剂成本统计表

Tab.5 Cost statistics of reducing agent when the oxygen activity of tapping steel with 5×10⁻⁶

还原剂种类	实验钢液总量 /t	加入量 /kg	还原剂成本 / 元	铝粒加入量 /kg	还原剂成本 2 / 元	合计成本 / 元	还原剂成本 /t 钢	市场价 / 元·kg⁻¹
铝锭	323	773	11 390.2	580.85	8 677.9	20 068.1	62.1	14.735
钢芯铝	1 016	3 305	34 061.0	1 039.30	15 527.0	49 439.0	48.8	10.080

表6 铝回收率为定值后还原剂成本对比表

Tab.6 Cost comparison of reducing agent after aluminum recovery rate

项目方法	铝的回收率(%)	加入量 /t 钢	单价元 /kg	成本元 /t 钢	备注
铝锭	50.00	3.00	14.735	44.25	平均回收率 41.70%
6:4 钢芯铝		3.15	10.080	31.75	平均回收率 55.45%

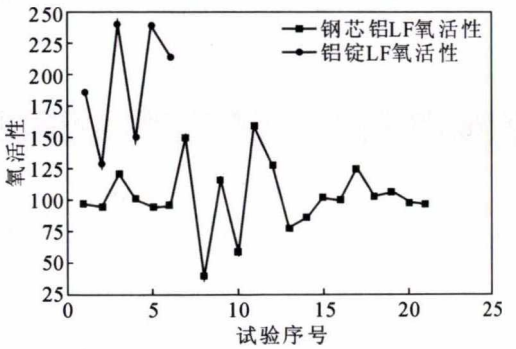


图 1 钢芯铝与铝锭脱氧氧活性对比图

Fig.1 Comparison of deoxidizing activity between steel-cored aluminum deoxidizer and aluminum ingot

计算铝的回收率。

(2)EAF 钢液到 LF 之后测量 LF 中氧活性。

(3)测量整个铸造炼钢过程，使出钢的每吨钢液氧活性达到 5×10⁻⁶ 所需的铝系还原剂成本总和；

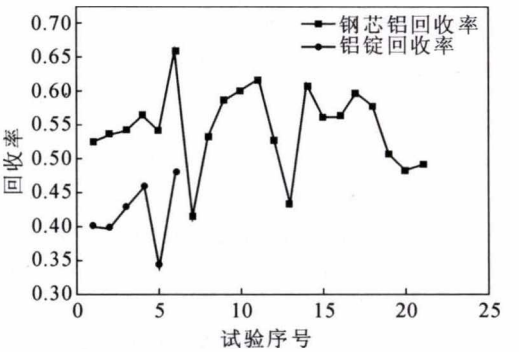


图 2 钢芯铝与铝锭脱氧 Al 回收率对比图

Fig.2 Comparison of deoxidized al recovery rate between steel-cored aluminum deoxidizer and aluminum ingot

Al 的回收率及氧活性是界定脱氧效果的两个关键指标；铝系还原剂成本间接反应脱氧效果。

根据表 1 可得到钢芯铝：①Al 的平均回收率是 55.45%；②氧活性的平均值是 99；③出钢氧活性达到 5×10⁻⁶ 时，每 t 钢液所需还原剂成本（钢芯铝成本+铝粒成本）为 48.8 元。

根据表 2 可得到钢芯铝：①Al 的平均回收率是 41.7%；②氧活性的平均值是 193；③出钢氧活性达到 5×10⁻⁶ 时，每 t 钢液所需还原剂成本（铝锭成本+铝粒成本）为 62.1 元。

根据表 4 因叶片类型的铸件对含碳量要求严格，钢芯铝中有钢，含碳量较高，不适宜加入钢芯铝

进行脱氧。除去叶片的熔炼量2017和2018年熔炼量分别为18 374 t、21 669 t,均值为19 772 t。

根据表5可得钢芯铝较铝锭节约成本13.3元/t钢液；结合表4按共享铸钢2017和2018年熔炼量均值19 772 t(除叶片),可节约26.3万元/年。

根据表6可得钢芯铝较铝锭节约成本12.5元/t钢液；结合表4按共享铸钢2017和2018年熔炼量均值19 772 t(除叶片),可节约24.7万元/年。

4 试验结论

共享铸钢结合自身生产条件,对铸造炼钢钢芯铝脱氧进行了深入试验与实践。

(1)与原铝锭脱氧相比,钢芯铝具有用量调整灵活、加入方便、减轻职工劳动强度的优点。

(2)铝锭LF氧活性是钢芯铝的1.9倍;Al回收率仅为钢芯铝是0.74倍,证明钢芯铝脱氧效果明显。

(3)按历年熔炼量两种计算方法,每年节约的成本在24.7~26.3万元。

综上考虑，在现有条件下采用钢芯铝代替铝锭优化铸造炼钢钢脱氧是可行、成功的。

5 结束语

钢芯铝相比较铝锭脱氧效果更加明显；通过试验分析，钢芯铝对含碳量要求不高的铸造炼钢从脱氧效果、降低成本有很大的优势;在铸造业中利润极低的情况下,可以为企业一定程度的降低成本;从而为企业直接或间接的减负增产。

参考文献：

[1] 夏长松,李小强,谢杰智. 钢芯铝在在转炉炼钢中的应用[J]. 南方金属,2011(2): 53-55.

[2] 王唐林,宋波,宋明明,等. 新型Al基复合脱氧剂脱氧效果研究[J]. 工程科学学报,2015,37(5): 568-572.

[3] 李双江,李阳,李杰,等. 炼钢用脱氧剂的性能及应用现状[J]. 河北冶金,2014(10): 45-48.

[4] 郑良才,彭勇生,张建华. 杭钢电炉钢脱氧剂的选择及相关工艺改进[J]. 浙江冶金, 2004(4): 10-12.

[5] 吴勉华. 转炉炼钢500问[M]. 北京: 中国计量出版社, 1992.

(上接第528页)

[3] Bahnini I, Rivette M, Rechia A, et al. Additive manufacturing tech-nology: the status, applications, and prospects [J]. InternationalJournal of Advanced Manufacturing Technology, 2018,(2): 1-15.

[4] L Guo, J Qiu. Combination of cloud manufacturing and 3D print-ing: research progress and prospect [J]. International Journal of Ad-vanced Manufacturing Technology, 2018, 1-14.

[5] Kang J W, Ma Q X. The role and impact of 3D printing technolo-gies in casting[J]. china foundry, 2017, 14(3):157-168.

[6] 吕志刚. 我国熔模精密铸造的历史回顾与发展展望 [J]. 铸造, 2012,61(4):347-356.

[7] 张敏华. 快速铸造技术的研究与发展[J]. 铸造技术,2009,30(2): 292-294.

[8] 李栋,原晓雷,孟庆文. 3D打印技术在高端铸件研发中的创新应用[J]. 工业技术创新, 2017(4): 67-70.

[9] 傅骏,王泽忠,方辉,等. 3D打印技术及其在铸造中应用现状与发展展望[J]. 中小企业管理与科技, 2014 (9): 299-300.

[10] Walker J, Harris E, Lynagh C, et al. 3D Printed Smart Molds for Sand Casting [J]. International Journal of Metalcasting, 2018(3): 1-12.

[11] 蔡志楷, 梁家辉. 3D打印和增材制造的原理原理及应用 (陈继明,陈晓佳)[M]. 北京:国防工业出版社, 2017.

技术资料邮购

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

本书由西安理工大学魏兵教授编著。共8章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书320页。

特快专递邮购价：226元。

邮购咨询：李巧凤　　电话/传真：029-83222071　　技术咨询：13609155628