

杜 方 編著



04-1

沉淀脱氧在电炉上的应用

上海科学技术出版社

沉淀脫氧在电炉上的应用

杜 方 綱 著

*

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路 2034 号)

上海市书刊出版业营业许可新出 093 号

上海市印刷五厂印刷 新华书店上海发行所总经售

*

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 1 字数 20,000

1959 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

印数 1—5,000

統一書号: 15119·1236

定价: (十) 0.12 元

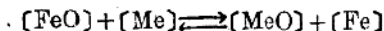
目 录

前言	1
沉淀脱氧的操作方法	3
試驗过程	6
錳的变化	10
矽的控制	11
质量情况	12
一、气体方面	12
二、非金属夹杂方面	13
三、低倍組織	16
四、机械性质	18
五、化学成分	19
經濟效果	25
結論	28

前 言

上海机修总厂电炉炼钢在精炼期原来是采用扩散脱氧法的，这种方法在目前是被認為最好的亦是普遍采用的脱氧方法，主要是因为它能获得还原性强的炉渣，通过钢液与钢渣间氧浓度差的关系，钢液中的氧不断扩散到钢渣中去，达到脱氧的目的。这种脱氧方法对钢液的洁淨起了很大作用，但扩散还原过程需要較長的时间才能完成，所以产量的提高就受到了限制。同时由于钢液長時間在高温下精炼，对氢、氮二种有害气体的吸收量亦会增加，影响了钢的质量。

沉淀脱氧是利用与氧亲和力比鉄强的金属作脱氧剂，将溶解在钢內的氧(其形态为 FeO) 取代出来，成为这种金属的氧化物而排出钢外。这种氧化物具有化学反应中“沉淀”的性质，也就是說它很容易从熔体中析出，但这种“沉淀”的比重比钢液小，因此浮在钢液上面。



由于这种脱氧剂能与钢液直接接触，反应較快，縮短了生产时间。但是这样由另外一种氧化物代替了氧化鉄，就会使钢液中的金属和氧化物夹杂增加。如果能使用綜合脱氧剂，使生成的各种氧化物易于上浮，就可以减少钢中氧化夹杂物的生成。

1953年曾經有人建議过，参照平炉的脱氧方法，在电炉上試用沉淀脱氧来冶炼普碳鋼，加速还原过程，但是因故未能进行試驗。1954年又作为合理化建議提出經批准后試炼2炉，

但由于其中一炉脱格，沒有繼續試驗下去。

1956年在全國鑄鋼會議中，鞍鋼作了沉淀脫氧的試驗報告，試驗爐數雖然不多，但証實了鋼的質量完全符合部頒標準，並且強調了對於普碳鋼鑄鋼件、這種脫氧方法是值得推廣的。在這個報告的启发下，從1957年起我們陸續進行了試驗。1958年4月間，全國煉鋼會議中再次討論到沉淀脫氧法值得進一步研究與推廣，因此加速了我們的試驗進度。5月底我們結束了38爐的普碳鋼試驗工作，得到了顯著的成績，6月份起在日班中作了推廣的試點工作，七月對普碳鋼鑄件作了全面性推廣，在質量上都能符合部頒標準的要求，與擴散脫氧法比較並無遜色，而產量則提高了16%，每噸鋼水的成本可以降低20.75元。本書介紹了我們試驗沉淀脫氧的情況，供大家參考。

沉淀脫氧的操作方法

我厂共进行了38炉試驗，其中8炉为45鋼，30炉为25鋼，都是在1½吨电弧炉内进行冶炼的，澆注的各种鑄件，质量都能达到要求，但在試驗过程中不是一帆风顺的。由于对矽錳的回收估計不足，造成了錳、矽过高脫格各一次。在推广試驗过程中又因擋渣不良，造成了一次矽分过低。根据这一段时间来摸索到的經驗，我們制訂了普碳鋼操作要点(另附冶炼記錄一份，見表1)具体要求如下：

1. 补炉、装料以及熔化期的操作方法与扩散脫氧法大致相同，只不过熔化期更应注意熔渣的碱度，流动性以及氧化性能，来保証氧化期的顺利进行。

2. 为了有利于气体及非金属夹杂物的去除，要求在氧化期脫碳不得少于0.30%，但精炼期增碳生鉄不得超过料重的1.5%。

3. 当炉料全部熔化、鋼液温度到达1470°C(未校正光学高温計)时，待熔渣均匀、流动性良好、碳分符合規定后，方准加入第一批鉄矿进行氧化。

4. 为了便于在沸騰期控制脫碳的速度，除了保持熔渣的碱度外，每批鉄矿的加入量不超过料重的1%，并随加矿量的1/3~2/3的石灰。

5. 如鋼液内含磷过高时，应在熔化末期或氧化初期扒渣，并用适量的石灰、螢石与氧化鉄重造新渣。

6. 氧化中途要經常地查看渣样，保持熔渣的碱度(2.5

以上)与流动性。

7. 加矿时必须保持炉温正常, 因此规定两批铁矿加入的间隔不得少于5分钟。

8. 在保证高温加矿的前提下, 脱碳速度暂不规定。

9. 当碳分降至规格中限, 磷小于0.015%, 熔渣流动性良好时, 方可扒渣 $1/2$ 左右, 进行净沸腾。

10. 净沸腾期不得加入任何造渣材料, 只有当少量镁砂泛起时, 方可加入少量萤石调整熔渣。

11. 净沸腾的时间, 应在末批氧化剂加入5分钟后开始计算, 时间不得少于15分钟。

12. 净沸腾10分钟后取钢样估计碳分, 分析硫磷, 如硫大于0.04%, 磷大于0.015% 时, 应扒渣重造新渣, 必要时重复2次或3次。

13. 净沸腾期应取渣样检查碱度、氧化性能与流动性, 此时渣饼应是表面平滑、底面发暗、断面结实, 一般碱度应在2.5以上。

14. 净沸腾末取样分析碳(目前只是为了检查氧化期脱碳量), 随即加入预热的脱氧剂矽锰铝合金或矽锰合金, 5分钟后充分搅拌取样分析碳、锰、矽、硫、磷, 并进行测温。出钢温度应为扩散法的高限, 因为在出钢时先出钢液约 $1/3$, 等到矽铁与纯铝完全被钢液包没后, 才开始将钢渣推出, 以致钢液温度降低较多。

15. 当温度合适、熔渣良好时, 根据分析报告加入调整成分的锰铁。

16. 出钢时, 在盛钢桶中加入75% 矽铁及纯铝。矽铁的回收率按85% 左右计算, 块度应大于50公厘。铝的加入量

表1 电炉冶炼记录

[illegible]

为1公斤/吨,块度不大于 $50 \times 80 \times 25$ 公厘,否则容易浮入渣中,减低脱氧作用和砂的回收。

17. 出钢时,用木耙或铁耙在出钢口处挡渣,等到钢液流入 $\frac{1}{3}$ 时即将钢渣推出,不使留在炉中。

18. 在盛钢桶中取样估砂,并取圆杯试样验看最后脱氧情况。

钢液在盛钢桶中静止3分钟以后,开始浇铸钢件,在浇注中途取样,并注25公斤圆形小钢锭一支,作为检验质量之用。

25钢及45钢化学成分及机械性能要求如下:

25钢: $C=0.22 \sim 0.30\%$; $Mn=0.50 \sim 0.80\%$;

$Si=0.17 \sim 0.37\%$; $S, P \leq 0.045\%$;

$\sigma_b=45$ 公斤/公厘²; $\delta=22\%$;

45钢: $C=0.42 \sim 0.50\%$; $Mn=0.50 \sim 0.80\%$;

$Si=0.17 \sim 0.37\%$;

$S, P \leq 0.045$; $\sigma_b=55$ 公斤/公厘²; $\delta=16\%$ 。

試驗过程

有20炉钢是按照上述操作要点进行试验的。在冶炼过程中,化学成分的变化以及脱氧剂的加入量等,可见表2~3。

表 2

炉 号	砂 锰 铁 加 入 后 锰 的 回 收 率 %	精 炼 期 加 入 65% 锰 铁 按 100 回 收 增 锰 量	砂 锰 铁 加 入 后, 锰 的 回 收 量 (锰 铁 均 量 在 内)	砂 铁 回 收 率 %	自 淨 淨 脱 10 分 鐘 至 自 淨 淨 脱 10 分 鐘 至	
					成 品 磷 的 回 收 量	成 品 硫 的 回 收 量
51118	75	0.045	0.075	62	0.010	0.002
51119	87-	0.045	0.015	102	0.008	0.011
51121	87	—	0.12	83	0.009	0.012
51123	—	0.045	0.05	83	0.007	0.011
51124	87-	—	0.06	83	0.010	0.004
51126	71	0.09	0.07	75	0.025	0.004
51128	82+	0.03	0.07	73	0.014	0.007
51131	83+	—	0.04	86	0.022	0.024
51133	81-	0.045	0.065	65	0.023	0.005
51135	81+	0.03	0.06	65	0.019	0.006
51138	91+	—	0.05	90	0.016	0.007
51149	87+	0.03	0.02	79	0.010	0.001
51148	66	0.09	0.07	86	0.005	0.006
51141	85	0.045	0.135	58	0.025	0.004
51157	75	0.12	0.02	68	0.006	0.005
50636	86+	0.06	0.05	85	0.017	—
50630	94	0.045	0.005	101	0.017	—
50621	88+	0.015	0.015	78	0.020	—
50628	77+	0.09	0.08	87	0.028	—
50637	79+	0.09	0.08	78	0.019	—

表 3

炉 号	淨沸騰10分鐘后鋼中成分%				加砂錳鉄后	
	C	Mn	S	P	C	Mn
51118	0.16	0.08	0.017	0.010	0.21	0.41
51119	0.16	0.10	0.027	0.010	0.19	0.55
51121	0.27	0.10	0.027	0.010	0.27	0.55
51123	0.18	—	0.029	0.010	0.23	0.48
51124	0.19	0.10	0.022	0.010	0.22	0.55
51126	0.19	0.06	0.018	0.010	0.23	0.53
51128	0.19	0.11	0.021	0.010	0.24	0.54
51131	0.12	0.13	0.033	0.010	0.16	0.58
51133	0.14	0.08	0.017	0.010	0.19	0.50
51135	0.17	0.08	0.024	0.010	0.21	0.52
51138	0.19	0.12	0.025	0.010	0.25	0.59
51149	—	0.07	0.022	0.010	0.22	0.52
51148	—	0.06	0.025	0.010	0.25	0.53
51141	0.28	0.08	0.024	0.010	0.21	0.51
51157	—	0.05	0.020	0.010	0.25	0.44
50639	0.18	0.13	—	0.010	0.25	0.62
50630	0.18	0.13	—	0.010	0.25	0.62
50621	0.18	0.13	—	0.010	0.22	0.59
50628	0.18	0.13	—	0.010	0.24	0.52
50637	0.12	0.13	—	0.010	0.19	0.54

精炼期合金加入量			成品鋼的化学成分%					出鋼溫度
錳鉄68%生鉄	砂鉄75%		C	Mn	Si	S	P	°C
1.5	20	8.0	0.25	0.59	0.22	0.015	0.020	1510
1.5	30	8.0	0.26	0.58	0.34	0.016	0.018	1515
—	—	8.0	0.27	0.62	0.28	0.015	0.019	1510
1.5	5	8.0	0.25	0.53	0.28	0.018	0.017	1495
—	12	8.0	0.25	0.61	0.28	0.018	0.020	1505
3.0	7	8.0	0.26	0.59	0.26	0.014	0.035	1510
1.0	6	8.0	0.25	0.64	0.25	0.014	0.024	1515
—	33	8.0	0.23	0.62	0.29	0.019	0.032	1500
1.5	30	8.0	0.25	0.61	0.23	0.022	0.033	1495
1.0	23	8.0	0.27	0.61	0.23	0.018	0.029	1515
—	—	8.0	0.24	0.64	0.30	0.018	0.026	1490
1.0	14	8.0	0.25	0.57	0.27	0.018	0.020	1505
3.0	—	8.0	0.25	0.59	0.29	0.019	0.015	1495
1.5	18	8.0	0.27	0.69	0.21	0.020	0.035	1510
4.0	—	8.0	0.26	0.58	0.24	0.015	0.016	1500
1.5	—	8.5	0.24	0.67	0.35	0.020	0.027	1500
1.5	—	8.5	0.24	0.67	0.35	0.020	0.027	1500
1.5	22	8.5	0.26	0.65	0.28	0.015	0.030	1500
3.0	—	8.5	0.26	0.70	0.31	0.020	0.038	1505
3.0	20	8.0	0.26	0.71	0.28	0.024	0.029	1515

附註：

1. 氧化末期（淨沸騰結束）加砂錳合金前未取鋼樣分析，因此砂錳中錳的回收只能根據淨沸騰 10 分鐘的試樣計算，但實際上淨沸騰末期回錳已行開展（一般為 0.03%，個別也有不同的），因此砂錳回收計算數字可能稍高。

2. 出鋼前補加錳鐵的回收率假定為 100%，這樣便於找出在冶煉過程中錳變化的規律，但實際上是不可可能的。

3. 砂的回收是假定在加入砂錳後鋼中殘砂為 0.05%，實際上是稍有上下的（砂錳合金成分 Mn 70%，Si 20%）。

4. 硫磷的變化是淨沸騰後 10 分鐘與成品中含量的比較（成品是澆注過程中取的圓杯試樣）。

5. 以上 20 爐統計中，有 15 爐是推廣性試驗後的爐數，因該階段操作較正常成分比較穩定，但後面的質量分析報告都是在試驗階段做的，因此不能從渣的分析結果來研究成分的變化。

從表 1 表 3 中很明顯地看出在冶煉過程中各種主要成分的變化，下面我們分錳、砂兩方面來談。

錳的變化 由於沉淀脫氧採用的是單渣法，溫度是在氧化末期逐步提高的，因此在冶煉過程中應注意錳的變化，根據這些變化可以推測爐況是否正常。從表 3 中可以看到在淨沸騰末期加入砂、錳鐵後，錳的回收一般為 85% 左右，最高為 94%，最低為 64%，這主要決定於淨沸騰末期的鋼液溫度、氧化性以及熔渣的組成和物理性能。還可以看出錳的回收與鋼內的殘錳有關（表 2），這對掌握錳分起着重要的作用。

我們在出鋼前根據分析報告補足錳量，但在補加之前必須注意爐況，因沸騰末期熔池仍較活躍，鋼液溫度較高，同時渣中的 FeO 濃度逐漸降低，而 MnO/FeO 的比值逐漸增加，這都有利於錳的還原。

从熔渣分析也可看到在出鋼前 $MnO/FeO = 1$ ，这对錳的还原是非常有利的。从表 3 中看到在冶炼末期回錳比較剧烈，经过試驗得到的結論是当砂錳鉄加入后，根据分析報告配加錳鉄（錳的回收以 100% 估計，不考虑应有的燒損）在規格的中下限，而成品的錳分都在中限，这主要是由于錳鉄的加入前后以及在出鋼过程中錳的回高量約在 0.07% 左右（見表 2），出鋼温度高、精炼時間長，錳的回收多些，温度低、冶炼時間較短則錳的回收要少些。如果前炉是高錳鋼，應該結合着前炉与本炉的情况要少配些錳鉄，以免錳量过高。

砂的控制 为了减少砂的燒損，将預热的砂鉄与铝块在盛鋼桶吊入出鋼坑前，先加入盛鋼桶內。砂鉄的块度不大于 50 公厘（一般为 30~50 公厘）。出鋼时先出鋼液約 $\frac{1}{3}$ ，然后使鋼和渣同时流出，因此在出鋼前尽可能将熔渣調整得較稠些。在出鋼口內用木耙或鋼耙将熔渣擋住后，傾側炉身进行出鋼，当鋼液流入盛鋼桶內，把砂鉄全部淹沒后，再将熔渣推出。砂的回收率約为 90% 左右（表 2 中有个别炉号砂的回收率达 100% 以上，可能是砂鉄的重量不准）。放渣時間的早迟，对于砂的回收率影响很大，在試驗中曾有一炉因未将熔渣擋好，以致砂的回收率只达到 42~43%。对于这个現象，我們認為：（1）当鋼渣氧化性能較强时，砂与渣接触容易被氧化进入渣中。一般当渣稀时这个可能性較大。（2）当渣流入盛鋼桶內时，部分砂鉄被熔渣包住不易熔化，这种現象都在渣稠时发生（铝块有时也被熔渣包住）。为了弥补砂的成分不足，在出鋼时应准备些砂鉄，当发现渣未擋好或砂鉄为渣包住时，即酌量将砂鉄投入盛鋼桶內，以資弥补砂分的不足。

質量情況

一、氣體方面

1. 氮的情況

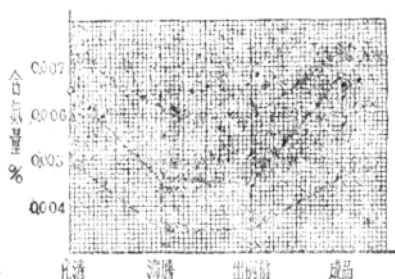


圖 1

(一) 從上圖可以看出鋼液經劇烈沸騰後，能去除一部分氮，在氧化終了時亦是氮的含量最低時。

(二) 由於沉淀脫氧的氧化期脫碳較多（普碳鋼擴散脫氧法規定氧化期脫碳 0.2% 以上），沸騰時間較長，精煉時間較短，所以在氧化期終了時，鋼液含氮量較少而在精煉期從爐氣中吸收的氮也比較少。試驗的結果完全符合上述情況，平均沉淀脫氧的氮為 0.0068 而擴散脫氮為 0.0077。這對鋼的韌性有所提高。

(三) 在出鋼及澆注過程中，鋼液直接接觸周圍大氣吸收了氮，使含氮量上升（成品樣是澆注中途取的）。

2. 氧的情況 用化學方法分析，每次取样均有空白，因此

所测的氧实际上是 FeO 。

这是因为：

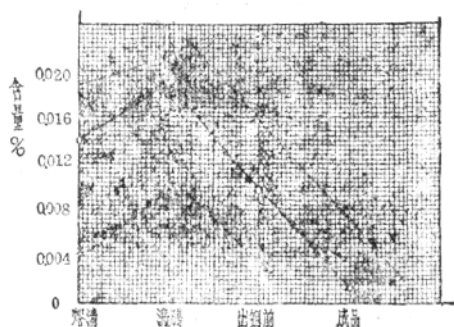


图 2

(一)在加入了矽锰铝或矽锰铁之后，脱氧作用是不够完全的，从试验结果得出平均仍有 0.0106% 的氧。出钢前取的圆杯试样有冒胀现象、出钢时在出钢槽上冒有火花等，这些现象都说明了脱氧仍未完全。

(二)成品中含氧量为 0.0021%，这是由于在盛钢桶中的辅助脱氧剂——矽和铝的脱氧能力较强，钢液倾入盛钢桶时，又发生了激烈搅拌作用，进行了最后脱氧。我们在盛钢桶中取的圆杯试样十分正常，说明了整个脱氧是完全的。

3. 氢的情况 限于设备未能进行检验。

二、非金属夹杂方面

夹杂测定用电解法与金相检查同时进行。

1. 电解测定夹杂结果

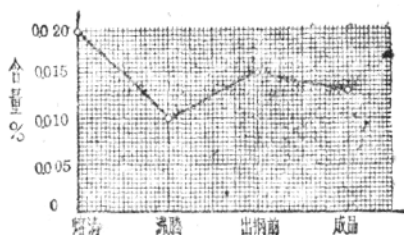


图 3

2. 金相檢驗結果

平均級別:

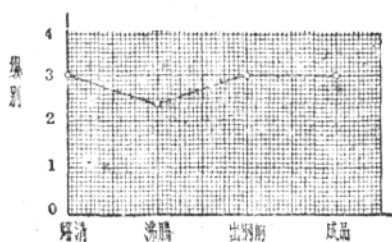


图 4

(一) 熔化后的鋼液, 經過氧化作用夹杂急剧下降, 这主要是由于剧烈沸騰的結果。

(二) 加入矽錳鋁或矽錳鉄后夹杂驟然增加, 这与含氧量的降低有着一定的关系。从沸騰期到出鋼前, 含氧量的降低得多而夹杂物的增加也較多, 这說明还原生成的氧化物代替了氧化鉄。