

提高钢质量的途径

(冶金译丛)

编者说明

遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”和“学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验”的教导，为配合钢厂提高钢质量的需要，我们选编了本专辑。其内容是以提高钢质量为重点，介绍近年来国外在这方面的某些新的理论探讨及有关新工艺，供从事钢铁工业的职工参考。

参加本专辑选题和译校工作的主要单位有上海第一钢铁厂、上海机械学院、上海交通大学、上海钢铁研究所等。

由于我们水平有限，在本专辑中一定会有不少缺点和错误，望读者指正。

1973年10月

目 录

理论探讨

1. 碳素钢和低合金钢脱氧过程的研究 (1)
2. 与夹杂物斗争的新方向 (6)
3. 用锰、硅、铝脱氧时钢液中氧的排除 (10)
4. 钢脱氧产物的形成和去除 (14)
5. 钢的脱氧 (18)
6. 铝镇静钢接触耐火材料时的二次氧化 (37)
7. 钢液二次氧化产生的夹杂物 (47)

平炉冶炼

8. 现代碱性平炉冶炼优质钢的工艺 (83)
9. 平炉吹氧时熔炼低合金钢质量的研究 (88)
10. 熔池吹氧强化冶炼条件下钢管钢质量的改善 (90)
11. 脱氧方法对低合金钢质量的影响 (92)
12. 终脱氧制度对在钢包中用合成渣处理的碱性平炉钢非金属夹杂的影响 (94)
13. 用石灰粉造渣时的成渣和脱硫 (96)
14. 钢的铬合金化工艺的改进 (98)

氧气转炉冶炼

15. 改善氧气转炉工艺及提高钢质量的途径 (100)
16. 氧气转炉吹炼过程中钢液深度脱硫的途径 (103)
17. 连铸用的镇静钢和沸腾钢在转炉中的熔炼特点 (107)
18. 氮对氧气转炉生产的低碳钢质量的影响 (109)

电炉冶炼

19. 冶金过程的新发展 (111)
20. ASEA-SKF 法钢液处理时含氧量变化的研究 (118)
21. 金属精炼水平对高合金钢性能的影响 (121)

炉外处理

22. 高真空感应搅拌盛钢桶除气法 (137)
23. 5 吨和 20 吨钢包内不锈钢的吹氩处理 (145)
24. 100 吨钢包内电炉钢的吹氩去气 (148)

连铸和模铸

25. 连铸高级合金钢及碳素钢的冶金问题 (148)
26. 钢板用的优质连铸扁坯 (165)
27. 提高钢锭质量的某些理论和实践 (172)
28. 保护渣浇铸对钢质量的影响 (175)
29. 氧气转炉钢的快速浇注 (177)
30. 钢液的凝固条件对钢的枝晶组织、非金属夹杂和树枝状化学不均匀性的特性的影响 (179)

1. 碳素钢和低合金钢脱氧过程的研究

В. И. Явойский

除了人为地把钢中溶解氧的活度降至无害的数值(有时它还低于与碳平衡的数值)外,脱氧的重要任务之一是排除钢中脱氧产物:硅酸盐,石英玻璃和刚玉。

从脱氧剂加入开始直至钢液凝固为止的整个过程中都有夹杂物(脱氧产物)的形成。看来,对金属质量起决定性影响的应是钢液在钢锭模内冷却和凝固过程中所形成的夹杂物。这些夹杂物与炉内或钢包内生成的夹杂物有所不同,它们往往不能上浮而留在钢中。所以,生成夹杂物的不同地点对钢质量会产生不同的影响。由此,作者建议可按它生成的时间来分类:

第一类夹杂物——在炉内、钢包内加入脱氧剂后立即生成的夹杂物;

第二类夹杂物——已脱氧的钢液在它冷却至液相线之前所生成的夹杂物;

第三类夹杂物——在液相线与固相线之间的相区内,钢液冷却过程中所生成的夹杂物。

由于第二类、第三类夹杂物很困难,甚

至不可能得到排除,因而,炼钢工作者的任务应是想方设法减少产生这类夹杂物的可能性。

热力学分析结果表明,在炉内或在钢包的脱氧中,若能增大钢中脱氧元素的含量(在国定全苏标准的范围内)可以在很大程度上阻止第二类和第三类夹杂物的形成。热力学的计算是按以下假设条件进行的:

1) 脱氧反应平衡常数与温度的关系式一直可适用至固相线;

2) 钢锭模内钢液的扩散过程尚能保证氧和脱氧元素及时的供应,以满足夹杂物反应和形成的需要。

第一、二、三类夹杂物的数量是以 20# 钢 ($[C]=0.20\%$) 为例进行计算的。即先按硅、铝脱氧反应平衡常数公式计算出生成以上各类夹杂物在不同温度下的不同的氧的活度。然后,根据氧的活度的变化值来推算生成第一、二、三类夹杂物的数量,并且在平炉上采用电动势测量活度的办法直接地进行测定和验证。计算结果列于表 1。

表 1 在不同脱氧剂的用量下,所生成的夹杂物含量(计算数据)

$[Si]+2[O]=(SiO_2)$				$2[Al]+3[O]=(Al_2O_3)$			
硅的加入量 %	0.20	0.30	0.37	铝的加入量, %	0.03	0.05	0.10
夹杂物 $\times 10^3$, %:				夹杂物 $\times 10^3$, %:			
一类	0.96	6.34	7.61	一类	16.83	21.31	25.55
二类	17.08	13.75	13.15	二类	13.43	9.65	6.01
三类	6.01	2.51	2.45	三类	1.16	0.88	0.57
第二、三类夹杂物占总量百分比, %	95.1	71.9	67.2	第二、三类夹杂物占总量百分比, %	46.5	33.1	20.5
第三类夹杂物占总量百分比, %	25.0	11.1	10.5	第三类夹杂物占总量百分比, %	3.7	2.7	1.8

由表 1 可看出, 加入钢中脱氧剂的脱氧能力越强, 数量越多, 生成第二类、特别是第三类的夹杂物就越少。由此可得出这样的结论: 为了提高钢的质量, 在生产上必须强化脱氧, 同时需注意避免它在浇注过程中的二次氧化。

在碳粒炉 (装有石墨加热器的电阻炉) 上, 对纯铁的脱氧动力学也进行了研究, 在采用电动势法测定 $[a_o]$ 中, 发现无论是硅脱氧或用铝脱氧, 在它们加入后的最初几分钟内, $[a_o]$ 值均急剧下降 (图 1)。然而, 对于脱氧剂用量较少的 (0.1%) 试验中, $[a_o]$ 值会有回升的现象; 而对于脱氧剂用量较多的 (0.3%, 0.5%) 试验中, $[a_o]$ 值降至最低值后, 直至试验结束仍保持其水平。

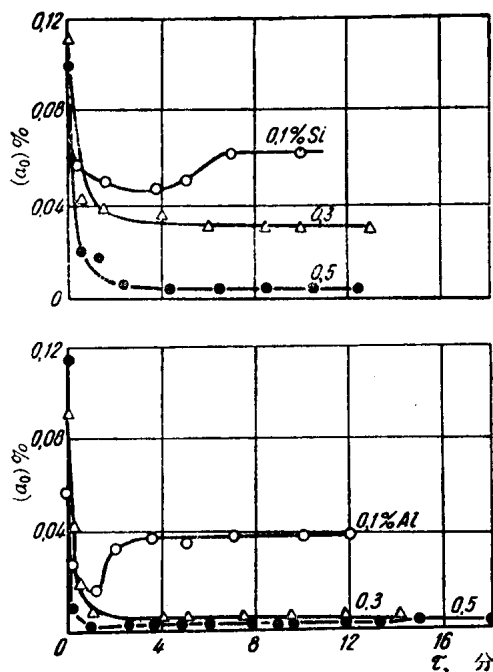


图 1 脱氧剂的元素、数量、镇静时间对 a_o 值的影响

图 2、3 表示了氧和脱氧元素浓度随着时间的变化和它们接近平衡值的速度情况。从图 2、3 中亦可看到, 在脱氧剂加入后, 其浓度也急剧下降, 然后也是直至试验结束仍保持不变的。以上这种保持不变的状况是与本试验的两种情况有关: 钢液镜面上形成的炉

渣能阻止气体中氧的侵入, 保证了达到平衡的外界条件; 在该数量的脱氧剂下, 钢中含氧量已达到平衡的最低值。

从平衡常数的变化情况来看, 钢液接近平衡的速度不仅与脱氧剂的性质有关, 而且与它的用量有关, 即对于不同脱氧元素及不同的用量来说, 脱氧剂的传递时间和化学反应时间也都是不一样的。这点可用脱氧剂的物理化学的差异来进行解释: 用铝脱氧的熔体接近平衡的速度比硅大, 这是因为铝与氧的亲和力大, 其熔点又高, 所以, 比硅更有利

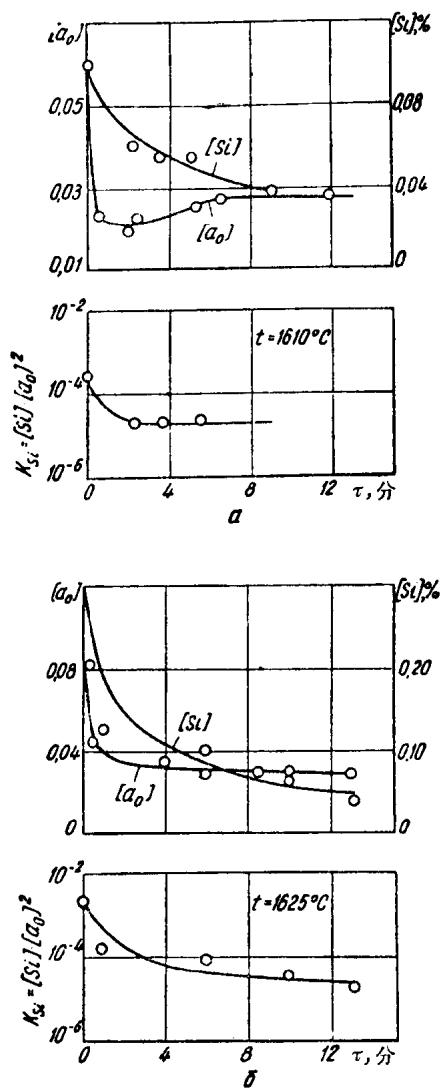


图 2 用硅脱氧 0.1% (a) 和 0.3% (b), 钢液镇静过程中 $[a_o]$, $[Si]$ 和 K_{Si} 的变化

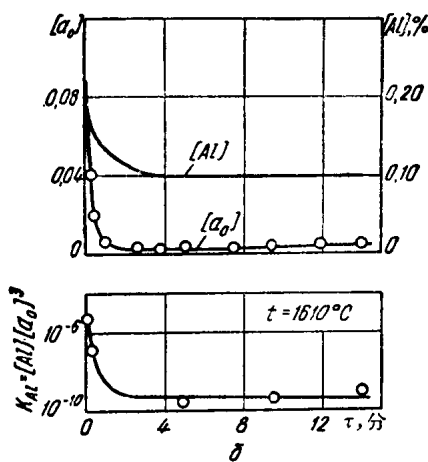
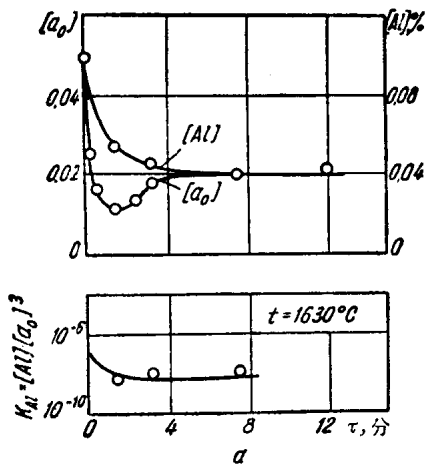


图3 用铝脱氧0.1% (a) 和0.3% (b), 钢液镇静过程中 $[a_O]$, $[Al]$ 和 K_{Al} 的变化

于完成脱氧反应。由此可见, 在本试验条件下, 化学反应速度和扩散过程的速度是相差不大的, 它们可能很相近。因此, 化学反应的速度也会对氧活度的变化产生影响。

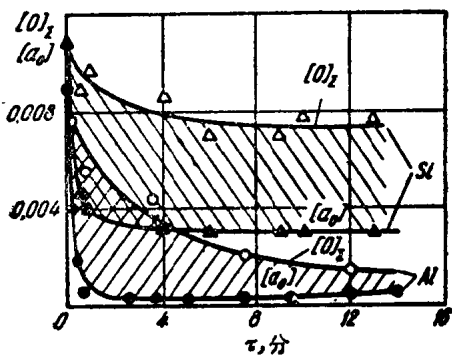
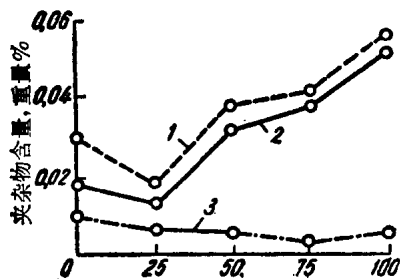


图4 用硅和铝脱氧后, 钢中 $[a_O]$ 值和真空熔法测定的钢中含氧量 $[O]_2$ 的变化

关于钢液中非金属夹杂物排除速度的研究还在钢锭模拉长的装置上进行。在这种情况下, 整个过程中钢液上部是最热的, 形成了一定密度梯度, 从而消除了钢液的对流。这次试验数据 (图5) 表明, 在同样的钢锭拉长

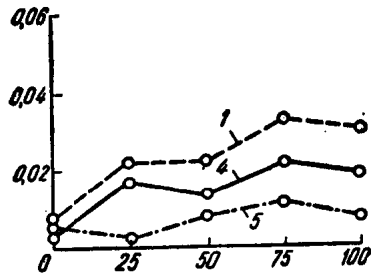


图5 沿钢锭高度的夹杂物含量。拉长速度 $v=20$ 毫米/分。
1—氧化物夹杂总量; 2— Al_2O_3 ; 3—尖晶石; 4—硅酸盐; 5—氧化铁及氧化锰

速度下,在用硅和铝的脱氧中,钢锭底部硅酸盐夹杂物要比铝酸盐,氧化铝夹杂物少得多。由此很好地证明了,在平静钢液中硅酸盐和石英玻璃夹杂物的上浮速度要比 Al_2O_3 和高熔点的尖晶石快得多。

此外,还运用金相鉴定的办法对铝脱氧的夹杂物颗粒度和数量进行分析。结果表明,当钢锭的拉长速度越快,即脱氧后钢液凝固越早时,则钢中会有更多的大颗粒的球状铝酸盐夹杂物。这也证实了以前关于在脱氧初期由于局部过热或氧化铁的助熔会产生液态的大颗粒的铝酸盐的论述。在 $1600^{\circ}C$ 条件下,这些夹杂的成分应是 $(FeO+MnO)$ 大于 55%, Al_2O_3 小于 45%。

在无坩埚的冶炼中,即在十分强烈的搅拌下 ($R_e > 10000$),在用铝脱氧的钢液中,取出钢样作金相分析,其结果是在脱氧镇静时间从 5 秒至 120 秒的波动范围内都没有发现有铝酸盐的夹杂物。可见,在钢液强烈的搅拌下,氧化铝夹杂物的去除速度是十分快的。

综上所述,可得出这样结论:金属熔体水力学的因素(即钢液运动——译注)对夹杂物排除的影响要比它的物化性质和颗粒度更为重要。

脱氧产物(氧化物夹杂)的排除不仅发生在炉内、钢包内的镇静过程中,而且由于钢锭模内有激烈的钢液的热对流的运动,因此它也可以发生在浇注的过程中。并且,在钢液镜面上若有吸附夹杂物的渣相存在,后者能防止夹杂物重新被由下而上的钢流卷入钢液内部,那么,夹杂物的去除效果就会更好一些。这一情况已经完全被发热合成渣的保护

浇注的生产实践所证实。为了验证炉渣吸附夹杂的作用,曾将一般浇注与氧化气氛极低的浇注(用石墨粉、木框、钢锭模涂油——火焰浇注)进行了比较,得出:

1) 从总含氧量和夹杂含量来看,大多数发热渣浇注要低于一般浇注(表 2);

2) 从试验炉的夹杂物的成分来看,除 Al_2O_3 外,所有组成都有下降(看表 2)。

在保护浇注中,总氧量的减少一方面是由于钢液避免了空气的氧化;另一方面,总氧量和夹杂物含量的降低又由于夹杂物向钢液面上渣层的转移所造成。所以夹杂物的去除速度和钢液的纯洁度还取决于它与渣的润湿情况及它被对流通股推向渣层的激烈程度。

在 140 吨碱性平炉沸腾熔池中,电动势法测定氧活度试验和真空熔化法定总氧量的结果表明(图 6),在试验的含碳量 ($0.12 \sim$

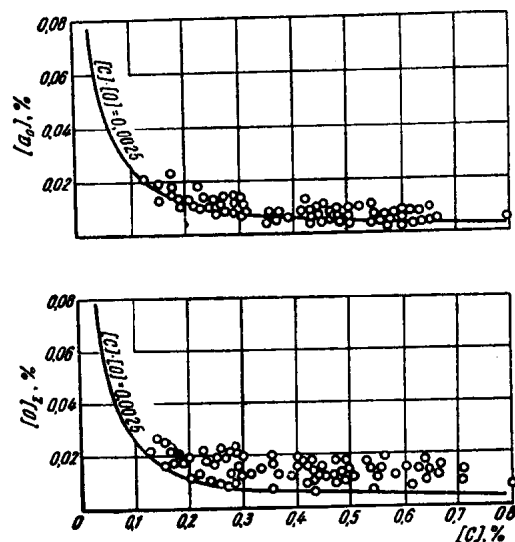


图 6 在平炉沸腾熔池中含碳量对 $[a_O]$ 和 $[O]_z$ 值的影响

表 2 18MnTi-30CrMnTi 钢浇注时发热渣的脱氧作用和对氧化物夹杂的吸收

浇注方法	总氧量 (%)	夹杂含量 (%)	夹杂物的化学成分 (%)					
			SiO_2	FeO	MnO	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3
无渣(15只钢锭)	0.0066	0.029	20.3	5.7	2.6	61.2	4.4	1.3
发热渣(18只钢锭)	0.0042	0.023	16.2	4.9	1.5	55.3	11.2	1.6

0.80%)范围内,沸腾的钢液有点过氧化。钢中含氧量(由电动势法测定 a_o 值而得)要比 $[O]_2$ 值低一些。这个差额应相当于夹杂物中的含氧量。由此可见,在平炉的沸腾的熔池中,除了溶解氧以外,还有一定数量的夹杂物的氧,它主要是由氧化铁组成。

为了研究140吨平炉脱氧中 $[a_o]$ 的变化,采用了以下方案:

- I. 先加25%硅铁,后加锰铁;
- II. 先加锰铁,后加硅铁;
- III. 先加硅锰,后加硅铁。

氧活度的变化和脱氧前后钢中含氧量的变化情况是:

- 1) 在各种方案中,脱氧速度都一样($[a_o]$ 降至最低值的时间均为1~2分钟);
- 2) 在各种方案中,在钢锭模内 $[a_o]$ 值也是一样的,为0.001~0.0015%;

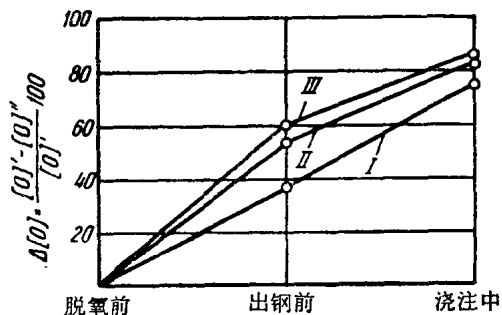


图7 在脱氧、出钢过程中各种脱氧方案对钢中氧量排除的影响

I~III—脱氧方案; $\Delta[O]$ —氧的去除量
 $[O]'$ —前一步骤的氧量; $[O]''$ —后一步骤的氧量

3) 在第三种方案中,脱氧过程中钢中氧的去除量要大一些(图7)。在已脱氧的钢液中,总氧量的减少 $\Delta[O]$ 主要是由于夹杂物(脱氧产物)的排除所造成。因此此方案中 $\Delta[O]$ 值较大这就意味着夹杂物的排除较多一些。由此可见,使用复合脱氧剂脱氧,所产生的夹杂物的化学成分、物理状态、聚集速度和上浮速度都是较好的。

在三个方案中,浇注时的剩余 a_o 值都一样,而且浇注时 $\Delta[O]$ 值也很相近,这二点可证实这样的看法,即决定钢中夹杂物数量水平的因素应是钢的二次氧化、搅拌及渣中夹杂的吸附等。目前,转炉钢品种的不断扩大大,并且它已部分地取代了平炉钢种,因此,很需要对钢包脱氧工艺和炉外合金化进行深入的研究。在140吨碱性平炉上进行了炉内预脱氧和全部是钢包脱氧的对比试验,其结果表明,钢包脱氧有以下一些优越性:

- 1) 可缩短冶炼时间约20~25分钟;
- 2) 不发生回磷;
- 3) 在出钢过程中去硫较多;
- 4) 每100克钢中氢含量可减少约1.0~1.5毫升;
- 5) 减少了脱氧剂的烧损。

试验结果还表明,在同样的钢中 $[Mn]$ 和 $[Si]$ 的成分下,这两种脱氧方法的钢液脱氧程度是相同的。

译自《Современные Проблемы Качества Стали》1970年p. 9~16

2. 与夹杂物斗争的新方向

Ю. А. Шульте

在苏联或国外终脱氧的用铝量均要超过临界值,即保证残铝量有0.02~0.05% Al(光谱)。这种做法是为了获得有尖角状而无取向的III类氧硫化物夹杂、细晶粒的奥氏体组织和应有的致密性。并且十分注意钢中有害杂质硫和磷的含量,因为它们会显著降低钢的塑性和韧性。

在图1上列举了25Л钢在+20至-100°C温度范围内硫含量与钢的冲击韧性的空间关系图。在成品钢的成分范围内(<0.05% S)铸钢的冲击韧性变化就超过了100%。随着硫含量的增加,变形钢(轧制的和锻造的)横向试样的冲击韧性降低更多,并且硫化物夹杂相应增加;增加钢中含磷量同样也降低钢的冲击韧性,并减弱了金属基体。对于重要的结构钢材和铸钢,硫、磷都不应超过0.02%。在这种情况下,III类夹杂物的

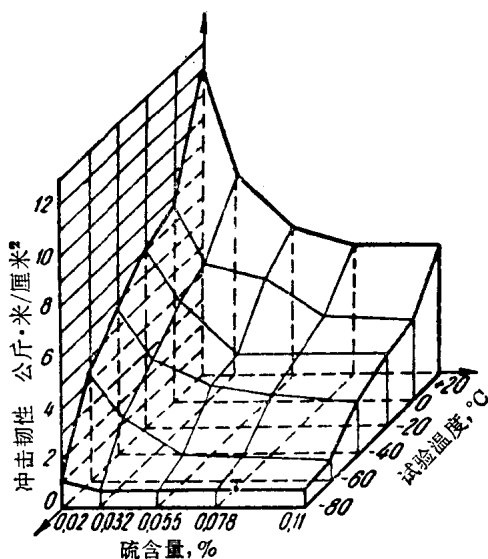


图1 硫和低温对25Л钢冲击韧性综合影响的空间图,900°C正火,680°C回火

存在尚能满足综合性能的需要。

但是,III类夹杂物的存在并不是一种理想的情况,因为钢中形成无取向、尖角状氧硫化物夹杂常会成为应力集中的地方,易造成微裂缝的缺陷。若采用铝和球化剂元素进行综合脱氧,那会生成球状的氧硫化物夹杂,就能进一步提高钢的物理-机械性能。这方面最有前途的应算是稀有和稀土元素,因为它们对氧、硫、氮及一些有色金属的有害杂质的化学亲和力都很大,例如钙或铈加入铝脱氧的钢中会形成包晶的球状的I类夹杂,而不是尖角状的III类夹杂。这样能显著地提高了钢的塑性、韧性和抗冷脆性,并且也减少了产生裂缝的可能性。通过试验已确定了,欲获得最好性能,硅钙和稀土的合理用量应为0.10~0.15%(单用一种或两者兼用)。

在分包浇注和分批调性中,进行了碳素钢和合金钢物理-机械性能的对比试验。在表1中列举了其中一个35Л钢的试验数据。从中可看到综合脱氧对钢的致密性、纯洁度、气体含量、机械性能等都有显著的影响。球化后金属的冷脆温度可降低40~55°C。而且钙所起的作用会与钙和铈两者的总作用相近。

采用综合的方法进行了钢中夹杂物的研究:作了金属试样夹杂物类型和形状的鉴定;并用客观线形法计算夹杂物沾污指数;电解后夹杂物的沉淀物进行了微量的化学分析。在图2上,列举了球化夹杂物过程中典型的夹杂物的形态,尖角状的氧化铝和尖晶石夹杂物均被塑性的硫化物外壳所包围。

用钙和铈进行变性钢中氧化物沉淀物的

表1 终脱氧对35I钢的物理-机械性能的影响

(0.35% C; 0.75% Mn; 0.28% Si; 0.025% S; 0.024% P; 0.04% Al) 900°C 正火; 680°C 回火

脱氧剂组成	致密性 (克/厘米 ³)	夹杂 类型	沾污 指数 1·10 ⁻²	气体含量			机械性能					t _临 , °C 当 a _k =0.35 (公斤·米/厘米 ²)
				[O] (%)	[N] (%)	[H] (厘米 ³ /100克)	σ _s (公斤/毫米 ²)	σ _b (公斤/毫米 ²)	δ (%)	ψ (%)	a _k (公斤·米/厘米 ²)	
0.1%Al	7.775	III	6.5	0.0040	0.010	5.9	38	68	20	30	5.2	-15
0.1%Al+0.1%Si-Ca	7.780	I	4.1	0.0030	0.008	4.5	39	65	24	45	7.5	-60
0.1%Al+0.1%FeCe	7.780	I	4.0	0.003	0.010	4.0	39	65	23	40	8.3	-65
0.1%Al+0.1%Si-Ca +0.1%FeCe	7.782	I	3.6	0.0025	0.009	3.8	38	64	25	45	8.6	-70

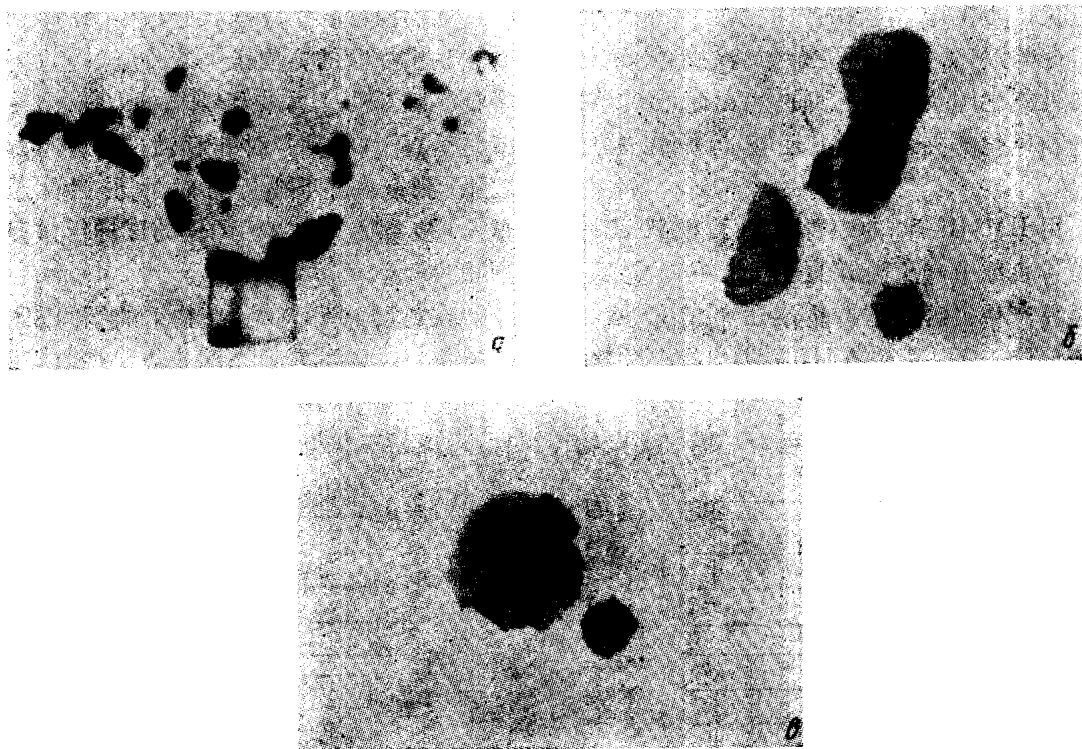


图2 铸态脱氧钢中典型非金属夹杂×1000:

a—0.1% Al; b—0.1% Al+0.1% SiCa; c—0.1% Al+0.1% SiCa+0.1% FeCe

化学分析结果表明, 稳定夹杂物的总量显著下降(1~2倍), 主要是由于氧化铝的减少(图3a), 也改变了夹杂物的相组成, 从而促使其的球化——氧化铝的夹杂分量减少, 二氧化硅的分量增加, 在用钙的炉数中还发现有氧化钙夹杂(图3b)。钙和铈对氧化物沉淀物的影响基本上是相同的。

对大多数中碳钢35I试验炉进行了数据统计, 确定了钢的洁净度(按沾污指数)与综合性能之间是存在着单值的关系(图4), 综合性能中还包括疲劳强度(用MYN-6000机器进行了纯弯曲试验, 频率50赫芝, 周期基数10⁷), 氢脆性(β_H反映了在氢介质中极限强度的降低), 抗腐蚀性(在53% H₂SO₄中试

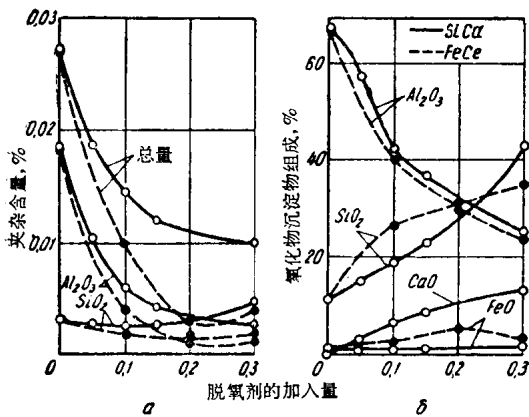


图3 Si-Ca和Ce对35II的电解夹杂物的总量(a)和相组成(b)的影响

样重量的减少)。它们的相关系数是很高的(0.7~0.95)。这说明夹杂物的沾污指数与钢的性能之间关系是密切的。由此可见,包晶的和球化的夹杂物能保证较高的性能指标。

用ИМАШ-5С的装置研究了板状试样在拉伸负载中产生裂缝的过程。并确定了,最容易产生裂缝的是沿晶界分布的II类共晶硫化物夹杂,其次是III类尖角状夹杂物,较有利的是I型包晶的和球化的夹杂物。

在钢的轧制和锻造过程中,钢中夹杂物

也和它的金属母体一起发生变形。在轧制和锻造的温度下,夹杂物的硬度若大于金属,则它的变形程度较小些;相反,若它的塑性比金属更强,则被压延成细丝。氧化铝和尖晶石的晶体夹杂物是一串串地分布于铸钢中,变形时它们虽能保持其形状,但也被压延成行,象塑性的夹杂物那样,组成了层状结构。在纵向冲击试样中夹杂物的排列是垂直于刻槽的底面,在断口处应设计成点状以免减少截面。如是形成了多层次的弹簧式的组织,由于在冲击试验中会产生阶梯形的表面断口,这时夹杂物还会提高其破坏功。

在横向试样中,线状的和条状的夹杂物是按刻槽底面的方向排列的,所以会显著地降低其破坏功。取决于刻槽的取向(平行于或是垂直于轧制面)冲击韧性也会有明显的变化(刻槽垂直于轧制面时冲击韧性值最低)。被条状夹杂沾污的钢的试样断口呈石板状。

在观察14CrMnSi结构钢的纵向和横向试样断口时,可看到许多与条状夹杂排列方向一致的针子和缺口。欲想减少钢的各向异性,可以希望获得这样的夹杂物,它在变形过

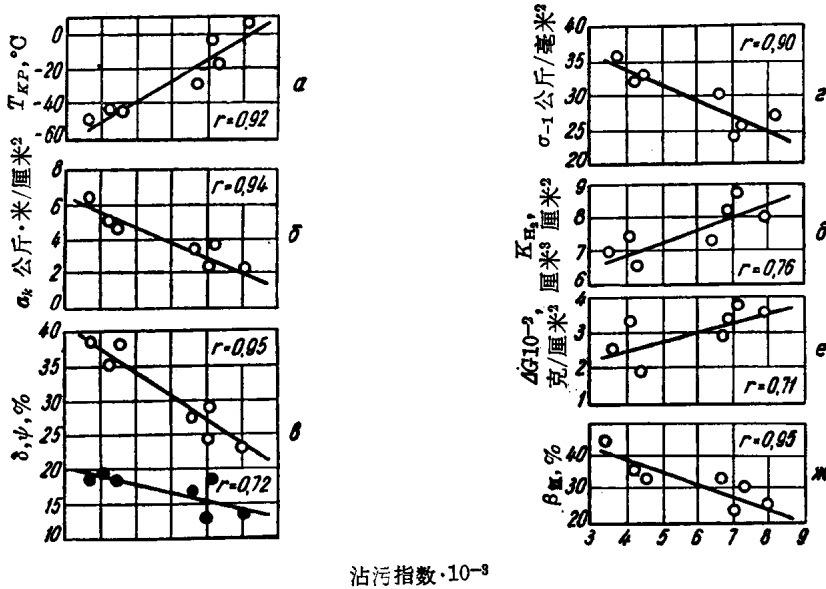


图4 夹杂物的沾污指数对35II钢的临界的冷脆温度(a),冲击韧性(b),塑性(c),疲劳强度(d);抗腐蚀性(d,e);氢脆性的影响

表 2 终脱氧对 14CrMnSi 铸钢和变形钢的机械性能影响

(0.17% C; 1.5% Mn; 0.6% Si; 0.6% Cr; 0.015% P; 0.012% S; 0.045% Al) 正火 -950°C; 回火 -680°C

脱氧剂组成	试样*	机 械 性 能							$\eta = \frac{a_k \text{ 横向}}{a_k \text{ 纵向}}$ 在 $t^\circ\text{C}$	
		σ_s	σ_b	δ	ψ	a_k (公斤米/毫米 ²) 温度($^\circ\text{C}$)				
		(公斤/毫米 ²)	(公斤/毫米 ²)	(%)	(%)	+20	-40	-60	+20	-80
0.1% Al	A	47	65	23	61	13	9	7	0.48	0.50
	B	55	68	29	70	23	16	10		
	B	56	69	24	62	11	9	5		
0.1% Al +0.1% Si-Ca	A	49	66	26	60	22	13	9	0.83	0.75
	B	54	67	27	74	24	18	12		
	B	54	67	25	69	20	13	9		
0.1% Al +0.1% Si-Ca +0.1% FeCe	A	49	65	25	72	21	12	10	0.88	0.78
	B	52	68	28	73	25	20	14		
	B	54	70	26	65	22	15	11		

* A—铸钢; B—纵向; B—横向

程中,既不改变自己的形状,也不按轧制方向取向。试验结果表明:包晶的和球化的夹杂物(钙和铈的氧硫化物最符合上述对夹杂物的要求。

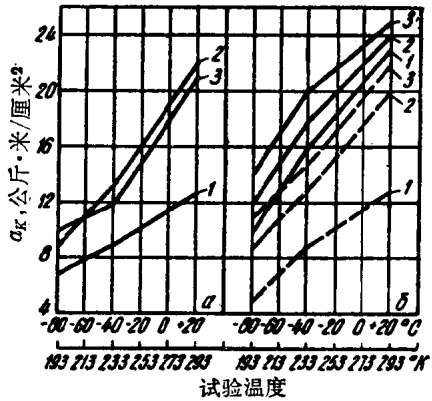


图 5 终脱氧对 14CrMnSi 铸钢(a)和变形钢(b)冷脆性的影响。正火 950°C, 回火 680°C

实线为纵向试样
虚线为横向试样

1—0.1% Al; 2—0.1% Al+0.1% Si-Ca
3—0.1% Al+0.1% Si-Ca+0.1% FeCe。

比碳钢性能更好的低合金钢采用复合脱氧能获得更好的效果。曾对分批调性的 14CrMnSi 钢的夹杂物的形态对性能的影响进行了研究。在表 2 和图 5 中列举了铸钢和变形钢的物理-机械性能的对比数据。从中可看出强度、塑性、韧性、冷脆性等性能之间配合是很好的。并且,夹杂物的形态的改变对铸钢和形变钢的横向试样的冲击韧性的影响是很大的。各向异性得到了显著的改善。试验还表明,用二种或三种成分进行脱氧,所获得的效果是相近的,因此建议对于多数钢种来说,可单用 Si-Ca 进行补充调性脱氧。一系列的平炉和氧气转炉生产的低合金钢质量研究表明,用 Si-Ca 补充调性后,横向试样的冲击韧性提高了 1.5 倍,冷脆温度降低了 30~50°C,机械性能亦稳定,低倍组织和钢锭及成品的表面质量均有显著的提高。

译于 «Современные Проблемы
Качества Стали» p 16~22。

3. 用锰、硅、铝脱氧时钢液中氧的排除

Д. Крамаров 等

单用硅脱氧时，非金属夹杂物的排除要比同时使用硅、锰脱氧时慢得多。因为单用硅时生成了固体的脱氧产物，而后者生成了液态铁-锰硅酸盐。长期以来，人们一直认为用铝脱氧所生成的细小的刚玉晶体在钢水中上浮得非常慢。可是有文献指出，用铝脱氧所生成的夹杂物能从钢水中很快地排出。这是因为刚玉晶体不为钢水所润湿，所以，它从钢水中排出不会遇到什么障碍。因此提出，应该进行那样的脱氧，希望生成的脱氧产物是不为钢水所润湿的固体。

本文是为了弄清脱氧剂的特点对脱氧过程中氧排除的影响而进行的研究。

实验方法

对低碳钢进行了试验。当含碳量为 0.04~0.07% 时，脱氧前钢中含氧量波动在 0.08~0.12%。

研究时，应用了容量为 60 公斤感应炉、

4 吨电弧炉、4 吨钢包和容量为 60 公斤的小钢锭模。使用的钢锭模除一种是生铁模以外，其余都是粘土砖模子。定氧试样是用直径 6 毫米的石英管在感应炉内或钢锭模内吸取的。电弧炉或钢包内的氧样是用样勺蘸渣后取出，然后用石英管在样勺内吸取试样。在 Бальцере 系统内用真空熔融法分析了试样中的氧含量。

用铝脱氧

在感应炉中冶炼时 (图 1, a)，为了脱氧加入 1% 的铝。脱氧前含氧量将近 0.1%。脱氧后仅在 3~4 分钟内，钢中氧含量降低到 1/10 以下。这就说明用铝脱氧时，脱氧产物从钢中排除得很快。

当铝被氧化后，钢中含氧量逐渐升高，这是由于氧由大气和炉衬中进入钢中之故。

在电弧炉内进行了试验 (图 16)，钢中的氧在脱氧后五分钟内有 80% 以上排出钢液。

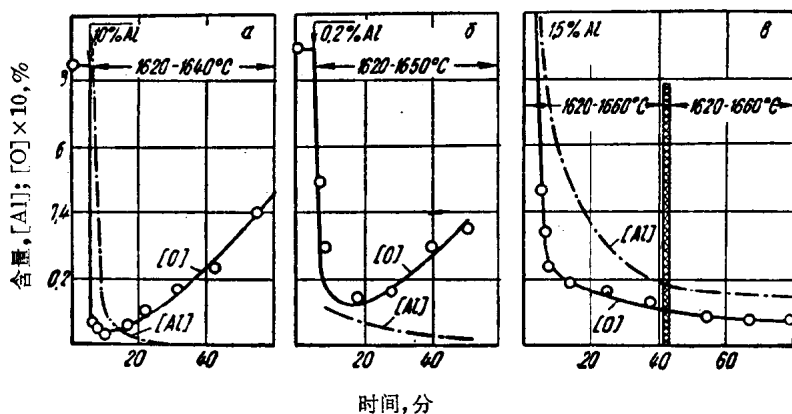


图 1 用铝脱氧后钢水在炉内和钢包内镇静时氧含量的变化
a—60 公斤感应炉；b—4 吨电弧炉；c—4 吨电弧炉

以后,由于钢中的铝全部被氧化,钢中氧含量又升高。若残铝量大,氧含量会继续缓慢地下降(图 1 θ),而且在出钢后钢水中氧含量还在降低,最后降到 0.005%。

出钢前先把脱氧剂加入钢包,然后将未脱氧的钢水冲入钢包,使钢水脱氧。有些炉渣也随钢流混进钢包。出钢时钢中氧含量很快减少。出钢后 2~3 分钟内,钢中氧含量从 0.085% 降低到 0.02% 以下。此后,氧含量又继续降低到 0.005~0.01%。出钢时钢中氧很快地排出的原因是脱氧产物快速上浮之故。出钢后,由于钢水温度降低,铝的脱氧能力提高,结果钢水在钢包中镇静时,剩余的氧仍能慢慢地由钢水中排出。

用硅脱氧

在感应炉内用硅脱氧时,氧从钢中的排除虽然比用铝脱氧时慢一些,但氧的排除速度仍是较快的(图 2, a)。加入脱氧剂后 5~10 分钟内,氧含量可达到最低值。

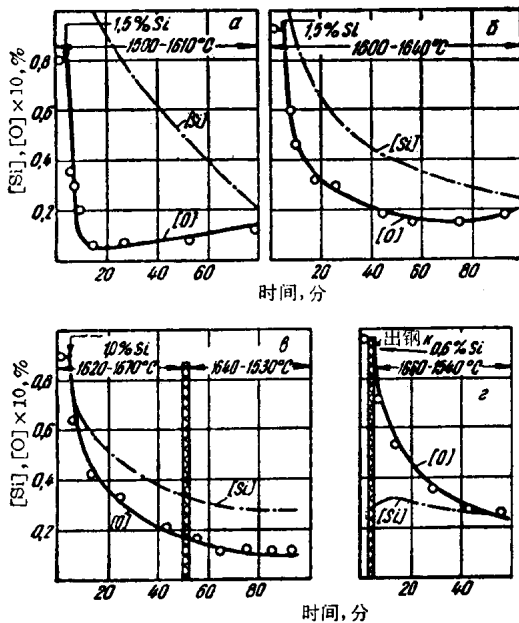


图 2 用硅脱氧后钢中氧含量的变化情况

a —60 公斤感应炉; b —4 吨电弧炉;
 c —4 吨电弧炉; d —4 吨钢包

在电弧炉内用硅脱氧时,氧的排除很缓慢(图 2, b)。当钢水温度为 1600~1650°C 时,氧含量最低值在 0.015~0.020% 之间。脱氧后 30~40 分钟,从起初的氧含量降低到 0.02~0.03%。出钢后,由于钢水温度降低,硅的脱氧能力提高,钢中氧含量继续降低。

在钢包中用硅脱氧时(图 2, d),氧的排出和炉内脱氧时一样缓慢。

同时用硅和锰脱氧

同时用硅和锰脱氧时,脱氧元素很快被氧化,特别是硅(图 3)。剩余的氧,即超过了与硅相平衡的那部分氧的排除虽然比用铝脱氧时稍稍缓慢些,但要比单用硅脱氧时快得多。

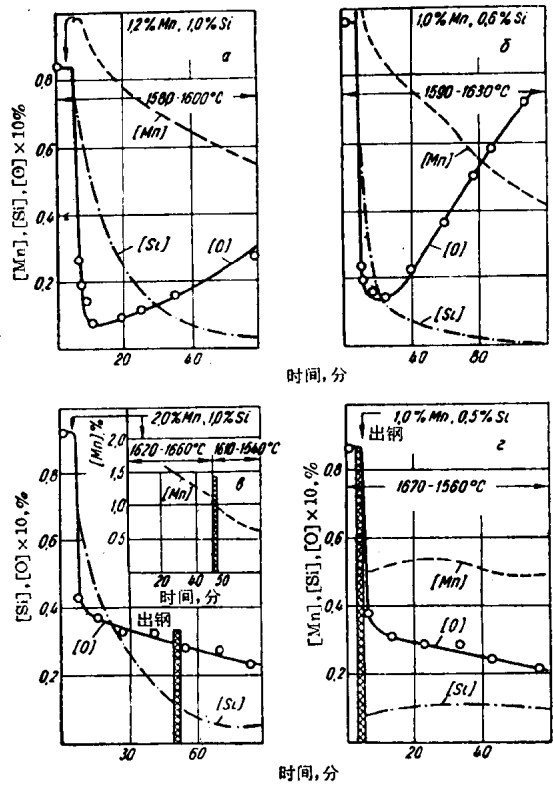


图 3 同时用锰和硅脱氧后钢中氧含量变化情况

a ~ d —同图 2

同时用硅、锰和铝脱氧

试验结果见图4。无论在感应炉内、还是在电弧炉内和钢包内,这样脱氧,氧的排除进行得很快。

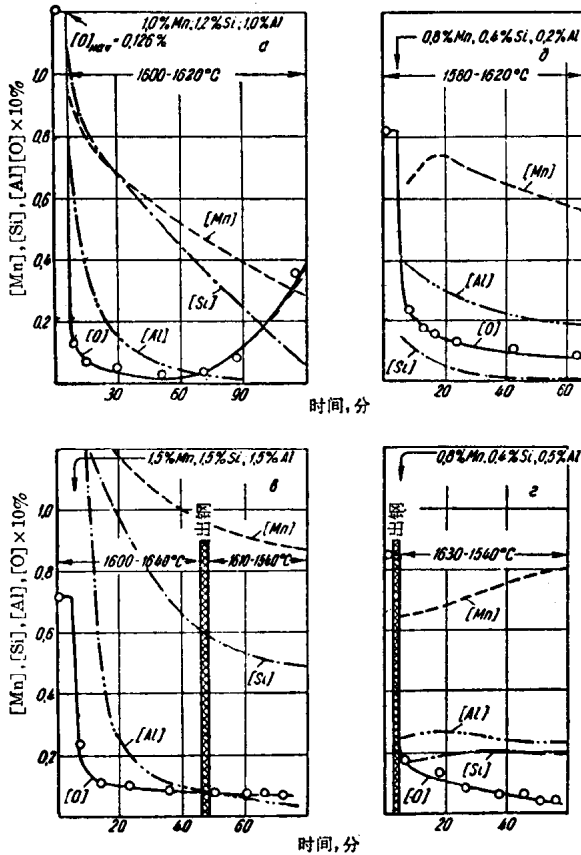


图4 同时用锰、硅和铝脱氧后钢中氧含量变化情况
a~d—同图2

用这种方法脱氧时,氧含量的最低值可达到0.005~0.008%。在此条件下,镇静时,当铝全部氧化后,钢中氧含量又升高(图4, a、b)。

在钢锭模中脱氧

在上述关于脱氧时氧化物夹杂的排除试验中,钢水温度为1570~1650°C。研究在凝固温度下氧化物夹杂的排除过程是很有意义

的。在实验室条件下进行了这样的试验。在感应炉内冶炼低碳钢,并浇注60公斤的钢锭。在一些试验中,钢水不经过中间装置直接从炉内出到粘土砧模子内,在模内进行脱氧。其余试验是钢水从感应炉内出钢至手抬钢包并进行脱氧,然后立即浇入生铁制的钢锭模内。

采用铝或硅铁作为脱氧剂。钢水注满钢锭后,在钢液表面用石英管吸取试样。

在6~8分钟内取了试样。用铝脱氧的钢,在注满模子后6~7分钟内钢中氧含量降至0.006~0.008%。用硅铁作脱氧剂的炉号中,脱氧后钢中氧含量降低得不多(图5)。

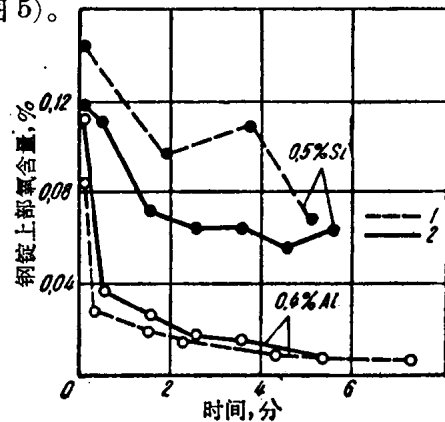


图5 用硅和铝脱氧的钢水在结晶过程中钢锭上部氧含量变化情况
1—粘土砧衬砌模子; 2—生铁模子

钢锭凝固后,每个钢锭在中部割下图片,并在此片上由钢锭边缘到中心的不同部位取样以分析钢中氧含量。分析结果证实,用铝脱氧的钢净化速度很快。在浇注和钢锭凝固过程中,氧含量降低90%以上。而用硅脱氧时,氧的排出是很少的。

实验结果分析

对硅和锰的脱氧能力已经很清楚了。在通常的硅和锰含量(Si0.2~0.37%, Mn0.5~0.8%)下,与脱氧元素相平衡的钢中氧含量取决于硅的脱氧能力,在1620°C时为

0.013~0.018%，而在1550℃时氧含量降低到0.007~0.010%。有关铝脱氧能力的的数据要不精确得多。但是已知，当钢中含铝量不高时，它的脱氧能力就很大。

当单用硅或同时用硅和锰脱氧时，钢中最低氧含量取决于硅含量和温度，即可以达到与硅含量和温度相平衡的氧含量。在电弧炉内和钢包内进行脱氧的那些炉号中，如果硅含量为0.25~0.35%，则最低氧含量为0.017~0.023%。脱氧前原始氧含量为0.08~0.12%，所以，在脱氧过程中，钢中有80~95%的氧被排除。

钢的纯净度取决于这些夹杂物的排出速度。图6表示脱氧后镇静时氧由钢中排除情况的特性曲线。这些数据表明，在感应炉内用各种方法脱氧时，钢中的氧均排除得相当快。甚至在单用硅铁脱氧后4分钟，过剩的氧（即超出了与硅的平衡值的那部分氧）排除了将近80%。

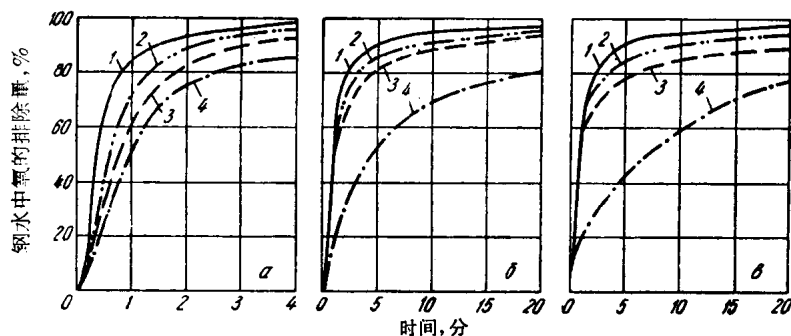


图6 镇静时间对氧的排除量 $\left(\frac{\Delta O}{\Sigma \Delta O} \times 100\%\right)$ 的影响

1—同时用锰、硅、铝脱氧；2—用铝脱氧；3—同时用锰和硅脱氧；4—用硅脱氧
a—60公斤感应炉内；b—4吨电弧炉内；c—4吨浇注盛钢桶内

在电弧炉内和在钢包内同时用锰、硅和铝脱氧或单用铝脱氧时，氧的排出也很快。脱氧后5分钟，有将近90%的过剩氧自钢中排除。

同时用硅和锰脱氧时，钢中氧的排出虽然比用铝脱氧时慢，但还算是快的。而单用硅脱氧时，氧的排出则很慢。脱氧后5分钟，氧仅仅排除了40%。甚至在加入脱氧剂20分以后，自钢中排出的过剩氧也还不到80%。

用上述各种方法脱氧的钢水在钢包中镇静时，钢中氧含量又降低得相当多。这是由于镇静时钢水温度下降，脱氧元素的脱氧能力相应提高所造成的。

上面列出的数据（图1）很清楚，用铝脱氧或同时用锰、硅和铝脱氧时，钢中氧含量可达到最低。这样，如果铝含量不低于0.05%，则氧含量可降低到0.005~0.007%。

单用硅脱氧时，氧的排除程度与其他情况有较大的区别，这是由于单用硅脱氧时生成的氧化物夹杂是含二氧化硅很高的、难熔的颗粒，它为钢水所润湿，又不能凝聚成较大的颗粒，看来，这种夹杂很难从钢水中上浮。

同时用硅和锰脱氧时，氧以硅酸锰的形式从钢水中排除。这种硅酸锰能够凝聚和上浮。

单用铝脱氧时，氧以刚玉结晶颗粒的形式由钢水中排除，这种颗粒很细小，也不能凝聚，但是由于他们不为钢水所润湿，因而能很快地上浮。

同时用硅、锰和铝脱氧时，根据这些元素之间的相对含量，氧或者以刚玉晶体的形式上浮、或者以同时含有硅、锰、铝的氧化物的易熔夹杂的形式上浮。这些夹杂容易从钢水中较快地排除。在这种情况下，既然所生成的非金属夹杂物的成分并不是主

要问题，那么用硅、锰脱氧的同时，用铝进行脱氧是合理的。因为这样既能达到深度脱氧，又可使非金属夹杂较快的从钢水中排除。

但是，若不希望非金属夹杂的组成中有氧化铝存在，则应该用硅和锰同时脱氧所生成的氧化物相也能很快的排除。

译于《Современные Проблемы
Качества Стали》р 22-29