

新型脱氧剂碳化硅在碳钢冶炼中的应用

陕西岐山陕西汽车集团有限责任公司技术管理部 (722408) 王 杨 李玉强

以汽车工业为代表的交通运输业,对铁合金及铝合金铸件需求很大,汽车工业的迅猛发展对汽车零部件铸造也提出了更高的要求,对铸件品质的控制及产品成本的降低是当前面临的主要问题。

铸造碳钢的生产过程,本质上讲是“原始炉料—熔体—制品”的系统演变过程,由于原材料来源不一,品质参差不齐,熔体处理方法繁多,使得铸件品质的控制成为一项复杂的系统工程。汽车零部件铸造厂迫切需要从本厂实际出发,在提高现有熔体处理技术的基础上,选择既先进又实用的新材料,应用一些新型有效的中间合金添加剂,发展新处理方法,以实现熔体品质的有效控制,从而提高铸件品质的一致性和稳定性。

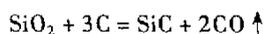
在铸造碳钢的生产中,电炉炼钢还原期的主要任务之一是脱除熔池中的氧。长期以来,国内冶金习惯采用 FeSi 粉、C 粉和 CaC₂ 等作为电炉还原期的扩散脱氧材料,而近年来随着炼钢原材料的不断涨价,FeSi 粉脱氧增加了炼钢成本。

碳化硅代替硅铁粉脱氧是近年来在国内兴起的新工艺,它作为复合脱氧剂,其作用与硅铁粉相似,而价格低廉。碳化硅是一种人工合成的化合物,分子式为 SiC。本文根据有关资料,并结合我厂的实际试验结果对新型脱氧剂碳化硅的脱氧机理、脱氧能力等方面从技术和经济角度予以探讨。

一、碳化硅脱氧的理论分析

1. 碳化硅的生成原理与理化性能

在中间合金制备过程中,由于合金元素的加入方法、熔炼温度、保温时间、凝固条件及固态处理等因素的影响,可以得到不同形态、不同尺寸及不同组织分布的化合物,这种组织差异可以导致中间合金添加剂细化和变质效果的显著差异。试验用碳化硅是以硅石和碳素材料为主原材料,将混好的炉料置于间歇式电阻炉内,经高温加热,当炉料温度达到 1450℃ 以上时,产生下列化学反应:



反应生成物即为 SiC

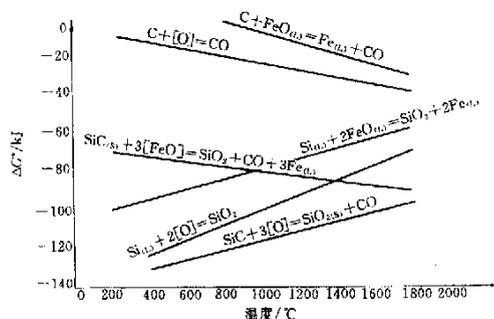
试验用的碳化硅主要化学成分见表 1。

表 1 碳化硅的化学成分(质量分数) (%)

SiC	Si + SiO ₂	游离 C	H ₂ O
62.02	22.10	11.80	< 0.4

2. 碳化硅脱氧的热力学分析

(1) 根据《炼钢学原理》及《炼钢常用数据手册》得到碳粉、硅粉及碳化硅脱氧反应的标准自由能 ΔG° 与温度 T 的关系如下图所示。



脱氧剂脱氧反应标准自由能与温度关系图

(2) 不同脱氧剂脱氧能力的比较 由脱氧剂脱氧反应标准自由能与温度的关系图可以看出:①在炼钢温度下, SiC 与 FeO 反应的标准自由能绝对值大于 Si 与 FeO 及 C 与 FeO 反应的标准自由能绝对值。随着温度的升高, SiC 与 FeO 反应的标准自由能绝对值增大, Si 与 FeO 反应的标准自由能绝对值降低,其差值增大,即 SiC 与 FeO 反应的能力大于 Si 与 FeO 及 C 与 FeO 反应的能力。②在炼钢温度下,各脱氧剂与 [O] 反应时, SiC 与 [O] 反应的标准自由能绝对值大于 C 与 [O] 反应及 Si 与 [O] 反应的标准自由能绝对值。即 SiC 直接脱氧的能力也大于碳粉及硅粉。

综上所述,从热力学角度出发, SiC 扩散脱氧的能力及直接脱氧的能力比硅铁粉与碳粉脱氧的能力强,是电炉炼钢理想的脱氧剂。

3. 碳化硅脱氧的动力学探讨

电炉扩散脱氧的限制性环节是在钢渣界面的扩

散传质过程。用 SiC 扩散脱氧，反应是在炉渣中进行，脱氧产物有 SiO₂ 及 CO，CO 气泡在上浮过程中对炉渣产生搅拌作用，使渣层活跃，促进了反应界面的更替，加快了氧在渣中的传质速度，从而有利于脱氧过程的进行，而 FeSi 粉则不具备这一动力学条件。

以上热力学及动力学的探讨表明，用 SiC 扩散脱氧效果优于 FeSi 粉扩散脱氧效果，试验也证明了这一点。所以用 SiC 代替 FeSi 粉用于电炉炼钢还原期的扩散脱氧是完全可行的。

二、碳化硅脱氧剂的应用试验

(1) 试验条件 试验在我厂的 3t 电弧炉上进行，平均出钢量为 5t/炉，冶炼钢种为 ZG310—570。

(2) 碳化硅的加入量 根据有关资料和经验，初步确定 SiC 用量 8kg/t 钢液，碳粉 2kg/t 钢液。

(3) 碳化硅脱氧操作方法 根据我厂电炉炼钢扩散脱氧工艺要求及其他厂使用碳化硅脱氧的经验，试验开始采用的方法是：①氧化结束后，扒除氧化渣，加入石灰等渣料及部分铁合金，增大电流，待渣料化开及渣液形成后，开始加入脱氧剂粉料，以避免 SiC 及 C 粉与钢液直接接触，而引起增 Si、增 C 现象。②按 1kg/t 钢液加入碳粉、3kg/t 钢液加入 SiC，堵塞出钢口，封闭电极孔及炉盖与炉体接合部位。③关上炉门还原约 5min 左右，补加碳粉 0.5kg/t 钢液，SiC 2kg/t 钢液。④关上炉门还原约 5min，再补加 SiC 2kg/t 钢液、碳粉 0.5kg/t 钢液，间隔 5min 后，充分搅拌取样分析 C、Si、Mn、P、S 含量，再补加下一批碳化硅粉。

三、碳化硅实际应用效果

(1) 试验炉次还原末期 FeO 统计结果见表 2。

表 2 还原末期 FeO 统计结果 (质量分数) (%)

炉号	FeO	炉号	FeO	炉号	FeO
440	2.38	448	0.61	452	1.08
443	1.17	449	0.97	453	1.37
446	0.55	450	0.94	454	0.90
447	0.62	452	1.08	—	—

从统计结果看，SiC 脱氧剂脱氧效果优于 FeSi 粉，大部分试验炉次 w_{FeO} 值在 1% 以下，个别炉次甚至达到 0.55%、0.61%，是近年对 FeO 测试以

来取得的较小值。从而可以断定，钢中 [O] 含量大幅度降低了。

(2) 试验炉次材质力学性能检测结果见表 3。

表 3

炉号	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ (%)	ψ (%)
440	636	397	14	21
443	660	336	16	30
447	673	460	17	30
449	645	378	22	28
平均值	653	380	17.25	27.25

与厂标相比，试验炉次抗拉强度、屈服强度、伸长率和断面收缩率分别高出厂标 14.96%、21.79%、43% 和 36%。

(3) 脱氧效果对材质质量影响的理论分析 脱氧效果直接反应就是还原熔渣中 FeO 的高低。由于氧化亚铁同时存在于炉渣和钢液中，且炉渣中的氧化亚铁与钢液中的氧化亚铁能够互相转移而趋于平衡。扩散脱氧剂能使炉渣中的氧化亚铁逐渐减少，这样就破坏了原来的平衡，于是钢液中的氧化亚铁会自动往炉渣中扩散转移，从而达到了脱氧的目的。

脱氧不彻底的危害是严重的。在钢液中，含碳量与氧化亚铁之间存在着一定的平衡关系，而平衡关系随着温度的变化而变化。如果在高温下，钢液中存在较多的氧化亚铁，以致于达到平衡或接近于平衡时，则当钢液浇注入铸型内，在温度降低的情况下，原来钢液中的含碳量和含氧量超过了平衡值，就会发生 $FeO + C \rightarrow Fe + CO$ 反应。反应生成的一氧化碳气体，会在铸件中造成气孔。钢中的氧除了能造成气孔以外，还使钢的力学性能降低。由于氧化亚铁在钢液中的溶解度很大，而在固态钢中的溶解度极小，所以当钢液中含有较多的氧化亚铁时，则在钢的凝固过程中，氧化亚铁便由于过饱和而析出。由于氧化亚铁的熔点比钢低，所以它经常析出在钢的晶粒周界处，降低钢的强度和塑性。

(4) SiC 脱氧剂还原时间与原工艺的比较 由于 SiC 脱氧剂脱氧能力较强，脱氧过程产生 CO 气泡的搅拌作用，使得 SiC 扩散脱氧的速度加快，实际试验中，炉内气氛浓，炉渣变白时间只有 8min 左右，比 FeSi 粉要快。这样就缩短了还原孕育期，提高并稳定了熔炼处理效果。 (下转第 72 页)

组别为 10) 15% ~ 30%，旧砂 70% ~ 85%，水分 4.4% ~ 5.5%。湿压强度 30 ~ 50kPa，湿透气率 > 30。

树脂砂：选择 KJN-III 型树脂为粘结剂（加入量为原砂的 1.5% ~ 2.0%），固化剂为硫酸乙酯，原砂选用铸造擦洗砂（粒度组别 10）。树脂砂芯采取自硬冷芯盒人工造芯，并刷两遍石墨水基涂料，放置 24h 凉干。

(3) 造型方法 叶轮采取顶注式雨淋浇道与扁平内浇道相结合的浇注系统，厚实部位（1# 芯 $\phi 610\text{mm}$ 的外圆处）安放成形外冷铁（冷铁材料为 ZL104，厚度 60mm，分成 6 块，刷涂料）。

上箱开设直浇道和环形横浇道；2# 芯上做出雨淋浇道与扁平内浇道（雨淋内浇道与扁平内浇道间隔设置）。

因叶片较薄，要快速充型。叶轮铸件的浇注系统尺寸为：直浇道 $\phi 60\text{mm}$ ；横浇道（梯形） $50\text{mm} \times 40\text{mm} \times 50\text{mm}$ ；内浇道为雨淋内浇道 $\phi 16\text{mm}$ （10 个）和扁平内浇道 $38\text{mm} \times 6\text{mm}$ （10 个）。

造型合箱时，在下箱（铸铁金属型）上组芯。组芯的顺序依次是：①下 1# 芯。②组拼 3# 芯，检查型腔尺寸，调整 3# 芯之间的位置。③下 2# 芯。④套中箱，用湿型砂捣实紧固 3# 芯，并做出 3# 芯

（上接第 70 页）

(5) SiC 脱氧引起的增碳、增硅问题 对 SiC 脱氧，有人提心其会给钢液造成增碳、增硅的问题。实际操作证明，只要操作得当，加入 SiC 前炉液渣覆盖钢液，加入分散均匀，就不致引起增碳、增硅，其增碳量一般在 0.01% ~ 0.02%，无明显增硅现象。

四、经济效益

SiC 的价格为 1800 元/t，而 FeSi 粉价格为 4000 元/t，价格差为 2200 元/t，根据我厂工艺规定，按月熔炼钢液 390t 计算，消耗 SiC 3.12t，价格 5616 元，而若用 FeSi 粉则需 2.13t，价格 9360 元。用 SiC 可节约资金 3744 元，年节约资金 44928 元。而且由于 SiC 脱氧剂还原时间短，在一定程度上缩短了炼钢时间，对于电炉的各种耗材都相应会有所降低。当汽车产量大规模增加时，经济效益会更显著。

的排气通道。⑤盖上箱，安放浇道圈、压铁，待浇。

(4) 熔炼、浇注与清理 采用 RG-150 型电阻炉熔炼铝液（ZL104）。每炉加入 90% ZLD104 锭和 10% 回炉料。铝液在 730 ~ 750℃ 下进行精炼变质处理后，扒渣、升温、浇注。

浇注温度以 740 ~ 760℃ 为宜。在浇注过程中，开始要快浇，以保证叶轮的叶片能快速充满，防止产生浇不到、冷隔缺陷；浇注后期要慢浇，浇完后要补浇，使叶轮厚实部位得到补缩。

叶轮的清理重点在叶片，用样板检查并修正叶片形状与轮廓，焊补缺损。

3. 生产效果

长期以来，我厂采取复合型组芯生产的叶轮，内部组织致密，叶片轮廓符合图样要求，经动平衡检测、超速试验及用户多年使用，均达到产品设计要求，经济效益显著。

4. 结语

(1) 对于结构复杂、不易制作模样或实样造型困难的铸件，采取组芯生产是行之有效的。

(2) 应用外冷铁工艺，能增强铸型的激冷作用，实现壁厚不均匀铸件厚实部位的顺序补缩，保证组织致密。

(20021205)

五、结语

随着我国加入 WTO，以及市场的不断扩大和科技的飞跃进步，可供顾客挑选的空间变得更大，于是顾客对产品的要求越来越高。因此，当今的竞争是品质、价格、信誉、效率和服务等综合因素的竞争。尤其是产品的品质与价格将永远是竞争的核心。新型脱氧剂——碳化硅在我厂的 3t 电炉上经过应用试验，可得出如下结论。

(1) SiC 脱氧剂用于电炉扩散脱氧是一种节能降耗的新工艺。

(2) SiC 脱氧剂在炼钢温度下的脱氧能力高于 FeSi 粉。

(3) 用该材料与工艺可以降低电炉炼钢成本。

(4) 用 SiC 脱氧剂不增 Si，增碳不明显，且工艺成熟，使用方便，在汽车零件铸造行业具有较高的推广使用价值。

(20030226)