

# 转炉炼钢脱氧工艺的优化方法分析

于文浩

(青岛特殊钢铁有限公司, 山东 青岛 266000)

**摘要** 近几年来,我国钢铁行业发展十分迅速,转炉炼钢技术有了显著提升,不过对于产品的质量要求也在提高。目前来看转炉炼钢作为核心生产方法,在炼钢过程中必须使用脱氧工艺,这也是整个生产流程的关键环节,虽然可选择的脱氧工艺逐渐多样化、多元化,不过都是为了降低钢水中氧的溶解能力,提高转炉炼钢效率和质量,总体来看脱氧工艺仍然具有发展空间,通过适当优化有利于促进我国炼钢水平的提高。本文对转炉炼钢脱氧工艺的优化方法展开分析,借助工艺优化节约炼钢成本,切实增强转炉炼钢的质量与水平。

**关键词** 转炉炼钢 脱氧工艺 扩散脱氧

中图分类号:TF713.5

文献标识码:A

文章编号:1007-0745(2022)04-0067-03

当下我国钢铁行业应进行适当创新,对传统工艺进行优化改良,从而达到控制成本强化炼钢质量的目标。尽管氧在固态铁中的溶解度非常小,但仍然会由此形成夹杂物,对钢材的性能与质量造成直接影响,所以需要借助脱氧工艺,降低炼钢过程中的氧含量。目前可选择的脱氧工艺种类较多,而每种工艺的使用方法不同,为了提高脱氧效果应注重改良优化,根据实际情况选择脱氧工艺,并按照钢种、要求制定优化方案,对炼钢成本进行有效控制,促使产品质量逐步提高,为钢铁企业的发展奠定良好基础。

## 1 转炉炼钢脱氧工艺分析

转炉炼钢过程中生铁中含有的碳元素,往往会形成氧化现象,并因此精炼出质量较高的钢。不过钢液中存在溶解氧属于相对常见的现象,大多来自于吹氧炼钢与原材料等因素,如果想要将钢液中的硫、磷等元素控制在合理范围内,必须利用大量氧气并产生氧化反应,也可以借助氧化合物分析出更多杂质。在转炉炼钢中使用脱氧工艺,是减少含氧量的重要途径,避免钢液中氧的生成,若不及时处理必然会对连铸坯凝固组织结构与稳定性造成影响。其次钢塑性也会有所降低,最终引发热脆促使钢产品进入氧化物,自身的力学性能将会因此大大降低,并且还会造成一氧化碳气泡,同样会影响密度、强度。由此可见脱氧工艺具有非常关键性的作用,转炉炼钢也不得不借助脱氧剂来提高生产质量,脱氧剂在使用过程中能够与钢液形成化学反应,让钢液与含有的氧进行分离。

当下我国在脱氧工艺上有很多种类,如扩散脱氧、

沉淀脱氧等,都能达到不俗的脱氧作用,主要根据实际情况选择针对性的方法,尤其是钢产品的种类,会作为脱氧工艺选择的基础条件,以此来达到预期的脱氧效果。

## 2 转炉炼钢脱氧工艺问题与氧的产生

### 2.1 转炉炼钢脱氧工艺问题

目前,我国转炉炼钢水平有了很大提高,不过脱氧工艺的使用仍然不够完善,存在影响生产质量的问题和缺陷,导致钢产品强度与硬度达不到要求。比如在普通碳钢脱氧时,大多会通过加入硅铁、锰铁等,实现脱氧合金化目标,在这个过程中必须要与钢液结合,同时在精炼前应适当使用铝粒,确保达到脱氧效果。传统脱氧工艺的合金收得率为80%~90%,并且会在过程中消耗大量铝合金材料,同时采取了一部脱氧方法,导致锰、铝无法做到循环利用,因此很多企业不得不进行调整,在提高土壤效果的同时增强合金回收效率。从实践来看每种脱氧工艺都有不同缺陷,应采取针对性的优化措施,这样才能提高脱氧工艺的经济性,最大程度保障炼钢效率和质量,因此必须基于精炼的角度,对脱氧工艺展开优化完善。

### 2.2 转炉炼钢中氧的产生与危害

溶解氧、非金属杂物是氧的两种主要存在形式,在转炉炼钢过程中氧的形成与原材料、吹氧环节有关,由于炼钢过程中必须清除碳、硅元素,因此会使用吹氧的方法,借助氧化反应清除杂质。由此可见氧的作用非常显著,尤其是吹氧这个步骤必不可少,在氧化

杂物含量高的条件下,必然会消耗大量氧气才能达到清除效果,这也会引起钢液含氧量增加的副作用。如果没能及时处理减少含氧量,在钢液凝固时就会产生氧化反应,形成氧化亚铁造成质量问题。

其次需要注意氧气、硫元素能够产生化学反应,导致钢液中出现氧化硫物质,降低钢产品的力学性能,而氧同样会与碳出现化学反应,并形成一氧化碳造成钢产品物质疏松化的情况,成品钢的密度、强度远远达不到要求,因此转炉炼钢过程中氧的危害很大,并且会影响经济效益。

### 3 转炉炼钢脱氧工艺的优化方法

#### 3.1 沉淀脱氧工艺优化

在转炉炼钢过程中即使接近结束,钢水之中仍然会留有氧,因为转炉炼钢本身就属于氧化过程,而其中的氧也被称为溶解氧。这是转炉炼钢比较常见的问题之一,大多数脱氧工艺都会留有不同溶解氧,所以需要土壤工艺进行优化,从而达到最佳的脱氧效果。在沉淀脱氧工艺中,应利用钙系脱氧剂作为优化方法,因此要对钙系脱氧剂进行有效分析,钙其实属于第二主族元素,可以和很多其他元素进行结合,而钡与钙属于同族元素,若在硅铝铁前使用适量钡,就会形成硅铝钡,促使转炉炼钢脱氧能力大大增强。

当然与之相比钙的脱氧能力会更高,两者的摩尔质量为1:3.43,从比值上就能看出两者存在巨大的差距,如果想要达到1kg盖的使用效果,那必须加入3.43kg的钡。不过钙在应用过程中溶解度存在限制问题,比如即使铁液达到1600℃的高温,其溶解度仍然不高大多为0.03%,同时固态铁中钙无法被顺利溶解,另外钙的蒸汽压力非常高,这也是相对关键的因素,如果直接以钙作为脱氧剂,必然会造成消耗量大的问题,提高转炉炼钢脱氧成本。

由此可见钙是比较好的优化元素,不过应解决溶解问题,通过研究可以在添加钙之前,使用碳、硅、铝等,大多数情况下1%的碳,就能增强1倍钙溶解度,在使用过程中应将钙合金制作成不大于15mm的颗粒状态,若体积太大溶解过程中会受到边界扩散影响,无法达到预期的溶解状态,并且浪费大量钙元素,因此要通过减小体积的形式,增强钙的溶解度。

#### 3.2 脱氧剂工艺优化

通过实验研究在转入炼钢过程中,每1t钢材量必须要加入1.2kg钙系脱氧剂,使用时应该在出钢前加入

到钢包内。以往大多采用一步脱氧的方法,按照提前制定好的顺序依次放入各类元素包括铝合金、硅铁等,就能达到脱氧效果。不过传统一步脱氧仍然存在诸多问题,比如各类元素回收率较低,同时无法循环利用所以大大降低了脱氧效率。为了优化脱氧剂的使用,当下应采取两步式脱氧,第一出钢时添加焦炭与钙系脱氧剂,第二介入锰、硅等合金,以此来实现优化脱氧效果的目标。在实践生产中可以看出,两步式的脱氧剂使用方法,有利于增强合金回收率,同时能够大大降低三氧化二铝的形成率,出水口堵塞的问题将会得到改善<sup>[1]</sup>。

#### 3.3 真空脱氧工艺优化

真空脱氧也是比较常见的工艺,在应用过程中通过抽真空的方式,促使钢包内形成显著的真空状态,这样钢液就会产生碳氧失衡现象,并因此产生CO促使钢液中原有的CO溢出,最终达到良好的脱氧效果。另外在真空脱氧工艺中,需要利用氩气处理的方法,通过吹入钢液借助搅拌增强碳氧失衡速度,这样就能快速形成CO。

由于CO属于脱氧产物,并不会对钢液造成污染问题,还会起到适当的强化效果,大大提高了转炉炼钢脱氧能力,而真空脱氧工艺的优化,减少了石灰、脱氧剂的使用,对炼钢成本进行有效控制<sup>[2]</sup>。

#### 3.4 扩散脱氧工艺优化

扩散脱氧剂目前在转炉炼钢中使用较为广泛,主要借助脱氧剂起到脱氧效果,大大减少氧化铁含量,另外借助分配定律将氧化铁从钢液中有效转移。在脱氧过程中人为降低FeO,就会起到FeO扩散到炉渣内的效果,由此可见熔池内含氧量和钢液碳含量并没有太多关联,反而与炉渣氧化铁含量息息相关<sup>[3]</sup>。当下扩散脱氧工艺主要采用了硅铁脱氧剂,同时搭配碳、硅、铝,在使用效果方面具有很多优势,例如钢液不会轻易被脱氧产物造成污染,另外脱氧剂、合金元素的消耗也会因此降低,缺点则为扩散速度有限,无法保证生产效率,若更改为强脱氧剂进行优化,不仅会出现回磷等现象,还会造成脱氧剂的浪费。因此可以替换为钢桶采取扩散脱氧工艺的形式,虽然这个方法同样对钢液、炉渣接触面积有所限制,同时会影响扩散速度,但通过搅拌作用就能得到改善,有利于提高脱氧反应,目前该优化方法在很多钢铁厂中运用,具有非常好的脱硫与脱氧效果<sup>[4]</sup>。

### 3.5 普碳脱氧工艺优化

为了能够改善脱氧工艺的缺陷,降低脱氧合金消耗问题,可以针对普碳脱氧工艺展开优化,传统工艺在应用过程中,大多出钢时添加FeMn、FeSi、AlMnFe等,以此来展开脱氧合金化,在晶面处理过程中需要注意根据实际情况进行改进,在脱氧没有达到标准要求时应加入铝粒,精炼搬出前再次利用铝粒对脱氧效果进行调整,促使脱氧度满足炼钢需求。该方法的缺陷就在于Mn与Si等合金的收得率非常低,Al消耗量得到增加,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>生成量明显加大。

在优化过程中需要按照顺序添加焦炭、CaC<sub>2</sub>、FeMn等保证达到脱氧合金化效果,另外通过使用铝粒可以对脱氧度、Als含量进行控制,并且避免了脱氧过程中铝合金消耗超标的现象,其次对各个合金的添加顺序进行更换,可以看到合金收得率有所增加,并且Al<sub>2</sub>O的生成量有所降低,在节约成本方面具有显著优势<sup>[5]</sup>。

### 3.6 低碳脱氧工艺优化

该工艺需要依次添加AlMnFe、FeMn,从而达到脱氧的目标,在其他成分合金化处理过程中,可以适当调整脱氧度、Als含量,精炼时需要注意按照脱氧情况展开优化处理,比如在脱氧度无法达到标准时,应适当添加铝粒。该方法的缺陷在于Mn系合金收得率相对较低,AlMnF合金利用率低,并且有着较大的消耗量,同时Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>生成量大,连铸浇注时Als损失大,最终存在较高的氮含量。

在转炉炼钢过程中,必须改变以往的添加顺序,如焦炭或CaC<sub>2</sub>、AlMnFe等以此来达到更好的脱氧效果,脱氧剂的使用应参考出钢后罐内含氧量,大多数情况下 $200 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$ 之间应加强控制,出钢后喂铝线并吹氩3分钟,C、Mn、Nb等合金化处理,需要注意在首次脱氧调整后,从而达到减少合金消耗的效果,合金收得率必然会有所提升,同时避免了钢包渣的氧化性,有效减少了Als的损失。

### 3.7 RH低处理脱氧工艺优化

在RH低处理脱氧工艺中,出钢时按照顺序加入铝锭、FeMn进行脱氧处理,随后进行Cr等成分的合金化。钢方法的缺点在铝锭消耗量非常大,并且出钢过程中脱氧度强,导致钢液中氮含量有所增加,连铸浇筑过程中钢水的Als损失明显。优化后将工艺更改为,转炉出钢时按照顺序添加焦炭或CaC<sub>2</sub>,脱氧合金添加量按

照 $400 \times 10^{-6} \sim 600 \times 10^{-6}$ 之间展开控制,根据钢种进行喂铝线处理,将其中的含氧量控制在合力范围内,结束后应吹氩3分钟左右,添加适当的铝制球渣、还原剂。通过优化整个工艺流程,大大减少了钢包顶渣氧化性的问题,并且连铸坯浇注时Als的损失得到控制。

### 3.8 超低碳脱氧工艺优化

该工艺的优化需要按照顺序加入焦炭、CaC<sub>2</sub>等,再进行后续的脱氧,需要注意脱氧合金的使用量,必须根据出钢后罐内含氧量来决定,大多数情况下会以 $600 \times 10^{-6} \sim 800 \times 10^{-6}$ 之间的标准进行调整。为了调整出钢后的含氧量应及时喂铝线,按照钢种要求即可,喂铝线结束后应吹氩3分钟左右,并加入由铝制作的球渣以及脱氧剂。

## 4 结语

转炉炼钢需要使用铁水、废钢等材料,在不依靠任何外加能源的条件下,通过钢液本身的物理热特点,包括组分间化学反应形成的热量最终完成炼钢过程。不过转炉炼钢中脱氧工艺的使用非常重要,目前有很多脱氧工艺方法可以选择,除了要使用针对性的脱氧工艺以外,必须进行适当优化提高炼钢质量。脱氧工艺的使用能够有效清除炼钢中形成的杂质,同时改善钢水流动性,因此企业必须加强脱氧工艺设计,采取更加可靠的工艺提高精炼能力。

## 参考文献:

- [1] 刘栋,许英飞,王刚.转炉炼钢脱氧工艺的优化[J].冶金经济与管理,2012(02):22-23.
- [2] 夏雪生.炼钢生产中转炉炼钢脱氧工艺的分析[J].中国金属通报,2019(09):23-24.
- [3] 杜家恩,吴春璟.转炉炼钢脱氧工艺的优化研究[J].中国金属通报,2018(09):88-90.
- [4] 张振杰.转炉炼钢脱氧工艺的优化浅析[J].冶金与材料,2021,41(03):49-50.
- [5] 张亚云.探究转炉炼钢脱氧工艺的优化及发展[J].名城绘,2020(08):236.