

YE JIN SHI YONG JI SHU CONG SHU



冶金实用技术丛书

氧气顶吹转炉炼钢

冯聚和 主编

冶金工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

氧气顶吹转炉炼钢/冯聚和主编. -北京:冶金工业出版社,1995.6

(冶金实用技术丛书)

ISBN 7-5024-1701-X

I. 氧… I. 冯… II. 氧气顶吹转炉炼钢 IV. TF724

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 03517 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

三河市双峰印刷厂印刷

冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1995年6月第1版,1995年6月第1次印刷

850mm×1168mm 1/32;9.375印张;245千字;291页;1-3000册

11.80元

前 言

为了满足冶金企业广大职工学习技术知识,提高操作水平的愿望,我社组织编写了一套冶金实用技术丛书。本书是这套丛书之一。

全书共分 14 章,包括氧气顶吹转炉炼钢的基本原理、炼钢用原材料、炼钢工艺、炉衬和炉龄、钢的品种和质量、转炉本体设备、供氧系统、烟气净化及回收系统、原材料供应系统、转炉车间布置、转炉炼钢新技术和炉外精炼等内容。书中收集了大量的现场数据,参阅并吸收了大量的近期资料 and 观点,既有基础理论,又有操作实践。在编写过程中充分考虑到中、小型转炉炼钢厂现有职工的文化素质,力求深入浅出,通俗易懂,理论联系实际。

本书由河北理工学院冯聚和主编。第 1、3~14 章由冯聚和编写,第 2 章由万爱珍编写。在编写过程中得到了吴勉华教授的指导和现场工程技术人员的帮助,在此一并表示感谢。

由于水平有限和编写时间仓促,书中缺点和错误在所难免,欢迎各位读者批评指正。

1994 年 10 月

目 录

1 氧气顶吹转炉炼钢概述	(1)
1.1 氧气顶吹转炉炼钢法演变和发展概述	(1)
1.2 氧气顶吹转炉炼钢特点	(3)
1.3 炼钢过程的基本任务	(5)
1.4 氧气顶吹转炉炼钢过程简述	(7)
2 氧气顶吹转炉炼钢的基本原理	(10)
2.1 炼钢过程的基本反应	(10)
2.2 氧气射流及其对熔池的作用	(25)
2.3 炉渣性质	(32)
3 氧气顶吹转炉炼钢用原材料	(39)
3.1 金属材料	(39)
3.2 造渣材料	(45)
3.3 氧化剂、冷却剂和增碳剂	(48)
4 氧气顶吹转炉炼钢工艺	(50)
4.1 装入制度	(50)
4.2 供氧制度	(52)
4.3 造渣制度	(63)
4.4 温度制度	(77)
4.5 终点控制	(86)
4.6 脱氧合金化	(91)
4.7 吹损和喷溅	(98)
4.8 开新炉操作	(103)
4.9 操作事故及回炉钢的处理	(105)
5 特种生铁吹炼	(109)

5.1	含钒生铁吹炼	(109)
5.2	高磷铁水吹炼	(114)
6	转炉的炉衬与炉龄	(117)
6.1	耐火材料的主要工作性能	(117)
6.2	转炉常用耐火材料	(120)
6.3	炉衬的破损机理	(127)
6.4	提高炉龄的措施	(130)
7	钢的品种和质量	(134)
7.1	钢的品种分类和钢号表示方法	(134)
7.2	钢中的气体	(146)
7.3	钢中的非金属夹杂物	(151)
7.4	钢的质量检验	(155)
✓8	转炉系统设备	(158)
8.1	炉型设计	(158)
8.2	炉衬组成及厚度确定	(170)
8.3	转炉炉体金属结构	(172)
8.4	转炉倾动机构	(177)
✓9	供氧系统	(182)
9.1	氧气转炉炼钢车间供氧	(182)
9.2	氧枪	(184)
9.3	氧枪的升降机构和更换装置	(194)
9.4	氧枪的安全使用	(198)
10	氧气顶吹转炉烟气净化及回收系统	(199)
10.1	转炉烟气净化及回收的意义	(199)
10.2	转炉烟气及烟尘的性质	(200)
10.3	转炉烟气净化方法	(202)
10.4	转炉湿法烟气净化及回收系统主要设备	(204)
10.5	典型的转炉烟气净化及回收系统简介	(219)
10.6	转炉烟气净化及回收系统的防爆和防毒	(222)
10.7	含尘污水的处理	(224)

10.8	车间除尘	(225)
11	原材料供应系统	(226)
11.1	铁水供应系统	(226)
11.2	散状料供应系统	(229)
12	氧气顶吹转炉炼钢车间	(235)
12.1	转炉车间的组成和类型	(235)
12.2	转炉跨布置	(240)
12.3	加料跨布置	(246)
12.4	浇铸跨布置	(248)
13	氧气顶吹转炉炼钢新技术	(250)
13.1	铁水预处理	(250)
13.2	转炉顶底复合吹炼	(258)
13.3	计算机自动控制冶炼过程	(265)
14	炉外精炼	(270)
14.1	合成渣洗	(270)
14.2	钢包吹氩	(271)
14.3	钢液的真空处理	(273)
14.4	吹氧化学热法	(278)
14.5	喂丝法	(282)
14.6	LF(V)精炼法	(287)
附录	氧气顶吹转炉炼钢的主要技术经济指标	(289)
	参考文献	(291)

1 氧气顶吹转炉炼钢概述

1.1 氧气顶吹转炉炼钢法演变和发展概述

氧气顶吹转炉炼钢法是最近 40 多年所产生和发展起来的一种炼钢技术,但是它的产生过程却经历了上百年的历史。早在 1855 年英国人亨利·贝塞麦(Henry Bessemer)发明了酸性空气底吹转炉炼钢法,用铁水直接炼钢,第一次解决了大规模生产液态钢的问题,使钢铁工业开始转变成现代生产。贝塞麦本人在宣布转炉炼钢成功之时,就提出了用纯氧或富氧空气代替空气炼钢的设想,但是当时没有获得廉价氧气的方法。由于贝塞麦转炉是采用酸性炉衬,不能在冶炼过程中脱磷、脱硫,必须使用低磷、低硫铁水作原料,而西欧各国(法国、德国、比利时、卢森堡)又都是高磷铁矿,铁水含磷高达 1.0~2.5%,使贝塞麦法转炉炼钢受到了限制。1878 年英国人西德尼·托马斯(Sidny Thomas)发明了碱性空气底吹转炉炼钢法,用白云石加少量粘土作炉衬,在吹炼过程中向炉内加入石灰造碱性渣,解决了高磷铁水炼钢问题。由于它具有生产率高,成本低,设备简单等特点,因而从这时起,转炉炼钢法开始迅速发展起来,直至第一次世界大战前托马斯法始终是欧洲的主要炼钢方法。由于它使用含氮 78% 的空气作为氧气的来源,所以钢中含氮量高,不能承受强烈冷加工。

本世纪中叶,从空气中大量分离氧气技术的成功,能为工业生产提供大量的廉价的氧气,使得贝塞麦使用纯氧炼钢的设想成为可能,从此产生了各种氧气炼钢法。氧气顶吹转炉炼钢法产生于本世纪 40 年代末期,由瑞士人罗伯特·杜勒(Robert Durrer)试验成功。采用从转炉炉口伸入炉内的水冷氧气喷枪,在熔池上方供氧进行吹炼,经过不断改进形成了氧气顶吹转炉的雏形。因为当时奥地利缺乏废钢和燃料,不适合发展平炉和电炉炼钢法,而铁矿含磷量

低,发热量少,不适合发展底吹转炉炼钢法,因此氧气顶吹转炉炼钢法在奥地利最先得到发展。奥地利钢铁公司根据罗伯特·杜勒的设计在 2t、10t、15t 转炉上进行氧气顶吹试验,取得了丰富的经验。于 1952 年在林茨(Linz)城,1953 年在多纳维茨(Donawitz)城先后建成了 30t 氧气顶吹转炉炼钢车间并投入生产,所以氧气顶吹转炉炼钢法又称为 LD 法(取这两个城市名称的第一个字母 L、D 做为代称)。

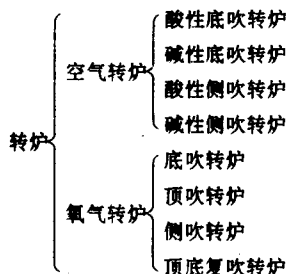
由于氧气顶吹转炉炼钢法具有反应速度快、热效率高等优点,又克服了空气吹炼钢时质量差、品种少的缺点,还可以使用近 30% 的废钢,因此生产率高,成本低,质量不亚于平炉钢,加之基建投资少,便于自动化控制等优点,使它成为冶金史上发展最迅速的新技术。1961 年氧气顶吹转炉钢产量占世界总产钢的 4%,到 1979 年氧气顶吹转炉钢产量就达 44700 万 t,占总产钢量 74530 万 t 的 60% 左右,有的国家转炉钢比高达 90% 以上,如比利时、荷兰等。

1951 年,我国唐山钢厂开始试验碱性空气侧吹转炉炼钢法获得成功,并于 1952 年正式投入工业性生产。1954 年开始氧气顶吹转炉炼钢法的小型试验研究,1956 年决定在首钢建设一座氧气顶吹转炉炼钢车间,1958 年破土动工,1962 年把首钢碱性空气侧吹转炉改建成 3t 氧气顶吹转炉进行工业性试验。1964 年 10 月我国第一座 30t 氧气顶吹转炉炼钢车间在首钢建成并投入生产。以后又在唐山、杭州等地相继建成了一些 3.5~5t 的小型氧气顶吹转炉,上海钢铁一厂把原来的碱性空气侧吹转炉车间改建成 30t 氧气顶吹转炉车间,于 1966 年 8 月投入生产,并在我国首次采用了先进的烟气净化回收装置,还配置了弧形连铸机,扩大了钢的品种,为我国大力发展氧气顶吹转炉炼钢提供了宝贵的经验。

70 年代以前建成的一批小型氧气顶吹转炉有天津钢厂 20t、济南钢厂 13t、安阳钢厂 15t、邯郸钢厂 15t;中型的有太原钢铁公司 50t、包头钢铁公司 50t、武汉钢铁公司 50t、马鞍山钢铁公司 50t;大型的有鞍山钢铁公司 150t、本溪钢铁公司 120t、攀枝花钢铁

公司 120t。80 年代又建成具有 70 年代末期世界先进水平的宝钢 300t 转炉。到 1993 年我国转炉钢产量已达到 5474.6 万 t, 占总钢产量 8868 万 t 的 61.7%。

按照转炉的发展历史, 炉衬所砌耐火材料性质的不同, 引入炉内气体的种类和部位的不同, 转炉可分为以下几种:



1.2 氧气顶吹转炉炼钢特点

1.2.1 吹炼速度快, 生产率高

氧气顶吹转炉吹炼过程中铁水中的硅、锰、碳氧化速度很快, 硅的氧化速度为 $0.16 \sim 0.40\%/\text{min}$, 锰的氧化速度为 $0.13\%/\text{min}$, 碳的氧化速度最大可达 $0.40\%/\text{min}$, 而平炉的脱碳速度为 $0.15 \sim 0.40\%/\text{h}$, 可见脱碳速度比平炉快几十倍。氧气顶吹转炉的冶炼周期为 30 分钟左右, 吹氧时间仅十几分钟, 而平炉的冶炼周期为 8~12 小时。一座 $3 \times 30\text{t}$ 的氧气转炉炼钢车间, 年生产能力可达 150 万 t, 如果采用平炉炼钢要达到相同产量则需要 500t 平炉 5~6 座。

1.2.2 投资少, 建厂快

与平炉相比, 氧气顶吹转炉炉体轻, 炉子结构简单, 厂房占地面积小, 基础工程比平炉车间简单, 因此投资少, 建设速度快。建设一座氧气顶吹转炉的投资, 一般只有相同规模的平炉车间的 60~70% 左右。

1.2.3 品种多, 质量好

氧气顶吹转炉能冶炼出平炉冶炼的全部钢种和电炉冶炼的部

分钢种,碳素钢、低合金钢、中合金钢都能冶炼,配合 VOD 炉外精炼还可以冶炼出超低碳不锈钢。各种炉外精炼技术的发展,使转炉冶炼的钢种更多,平炉不容易冶炼的某些钢种,氧气顶吹转炉也能顺利冶炼。

钢的质量也是比较好的。由于氧气顶吹转炉冶炼时熔池搅拌激烈,反应更接近平衡,使得钢中的氧、氢、氮和非金属夹杂物含量都比平炉、电炉和侧吹转炉钢低。如电炉钢含氧量在 $5\sim 8\text{ppm}$,含氮量在 $0.005\sim 0.014\%$,而氧气顶吹转炉钢含氧在 $1.5\sim 6.5\text{ppm}$,含氮在 $0.002\sim 0.004\%$ 。对于重轧钢,平炉成品中平均含氢在 $4.56\text{mL}/100\text{g}$,而转炉成品中平均含氢 $3.6\text{mL}/100\text{g}$ 。因此,平炉重轧钢必须进行缓冷处理,而氧气顶吹转炉冶炼的重轧钢,不用缓冷就能得到没有白点,且合格率高重的重轧钢。

氧气顶吹转炉钢的许多基本性能与平炉钢相同,而冷加工变形性能、抗时效性能、抗脆裂折断性能和焊接性能等方面都优于平炉钢,有些性能也优于电炉钢,尤其是深冲性能和延展性能较好,所以用于轧制板材、管材、丝、带钢更为优越。

1.2.4 原料适应性强

氧气顶吹转炉炼钢对原料的适应能力较强,不仅能吹炼平炉生铁,而且能吹炼中磷($P=0.5\sim 1.5\%$)和高磷($P>1.5\%$)生铁,还能吹炼含钒钛的特殊成分生铁。这对于充分利用我国各地的丰富资源有重大的意义。

1.2.5 原材料消耗低,炉衬寿命高,热效率高,成本低

氧气顶吹转炉的金属料消耗一般为 $1100\sim 1140\text{kg}/\text{t}$ 钢,比平炉稍高些,但是比碱性侧吹转炉低 $58\sim 110\text{kg}/\text{t}$ 钢。国内氧气顶吹转炉的炉衬寿命已突破 2500 炉以上,日本最高可达 8000 炉以上,远高于平炉和电炉。耐火材料消耗一般 $4\sim 9\text{kg}/\text{t}$ 钢,只有平炉消耗的 $15\sim 30\%$ 。

氧气顶吹转炉炼钢充分利用铁水的物理热和元素氧化的化学热,不需外加热源,热效率高。因此,燃料和动力消耗都比平炉和电炉低。如果充分回收利用转炉煤气,有可能实现零能或者负能炼

钢。由于氧气顶吹转炉炼钢的各项消耗都比较低,生产率高,所以炼钢成本也比较低。

1.2.6 与连铸容易配合

平炉和电炉冶炼周期比较长,配连铸比较困难。而氧气顶吹转炉的冶炼周期与连铸浇铸周期容易协调配合,比较容易实现多炉连浇。转炉和连铸的生产能力均衡,也可使连铸机的作业率提高。

1.3 炼钢过程的基本任务

氧气顶吹转炉炼钢法是把一定成分的铁水冶炼成成分和温度符合钢种要求的钢水。那么生铁和钢有什么区别,为什么要把生铁炼成钢,炼钢过程的任务是什么呢?

我们通常所说的钢铁是一个笼统的名称,实际上钢和生铁是有区别的。虽然钢和铁都是以铁元素为主要成分的铁碳合金,但是由于碳含量不同将引起铁碳合金在不同温度下所处的状态和结构的变化,因而在性能上表现出差异。钢和铁在性能上的区别如表1-1表示。

表 1-1 钢和生铁性能比较

性 能 材 料	机 械 性 能	冷 热 加 工 性 能	焊 接 性 能	铸 造 性 能	刚 性	耐 腐 蚀 性 能	熔 化 温 度 ℃
生 铁	差	差	差	好	好	较好	1100~1150
钢	好	好	好	差	差	较差	1450~1530

由表1-1可见,生铁无塑性,不易变形,无法进行压加工,焊接性能差,因此,生铁的用途在很大程度上受到了限制。而钢的这些性能都比较好,特别是钢中加入一定数量的合金元素后,还能具有某些特殊性能,如强度高、耐磨性、耐热性、抗腐蚀性好等,使钢的用途更为广泛。这就是要把生铁炼成钢的原因所在。

生铁和钢在性能上存在差异的根本原因是它们的化学成分不同,如表1-2所示。

表 1-2 生铁和钢化学成分比较

材 料 \ 成分, %	C	Si	Mn	P	S
普通炼钢生铁	3.5~4.5	0.6~1.6	0.20~0.80	0.1~0.4	0.05~0.07
普通镇静钢	0.06~1.5	0.12~0.37	0.25~0.80	≤0.045	≤0.055
沸腾钢	0.05~0.27	≤0.07	0.25~0.70	≤0.045	≤0.055

由表 1-2 可以看出:

(1)生铁含碳量高,碳是生铁和钢区别的主要标志。含碳量大于 2%的叫生铁,小于 2%的叫钢。钢和铁的性能差异主要决定于含碳量不同,一般生铁含碳量高达 3.5~4.0%,这是造成生铁硬而脆的根本原因,因此,炼钢过程的首要任务是脱碳,通过氧化反应将碳降低到钢种规定的范围内。

钢中还含有氢、氮、氧和非金属夹杂物,它们对钢的质量有影响,在炼钢过程中要尽量降低其含量。脱碳时熔池内生成大量一氧化碳气泡,一氧化碳气泡的上浮造成钢液沸腾,搅动熔池,从而起到去气、去夹杂物、均匀成分和温度、加速钢渣反应的作用。

(2)生铁的硫、磷含量都比较高。硫高使钢产生热脆,磷高使钢产生冷脆现象。所以硫、磷都是钢中的有害元素(少数钢种除外),炼钢过程中必须将其脱除到钢种规定的范围。

(3)在冶炼过程中吹入熔池内的氧,一部分将残留在钢液内使钢的性能变脆,因此,炼成的钢水必须加入脱氧剂进行脱氧。常用的脱氧元素是:锰、硅、铝等。此外,在冶炼过程中铁水的硅基本氧化完了,锰也氧化掉大部分。因此在脱氧的同时要把钢水中的硅和锰调整到钢种要求的含量。合金钢和特殊用途的钢还要根据成分要求,加入其他合金元素,如铬铁、钛铁、钒铁等,这项操作称为合金化。

(4)铁水温度只有 1300℃左右,炼钢必须在一定的高温下进行,还要把炼出的钢水浇注成合格的钢锭(坯),出钢前必须把钢水加热到 1600~1700℃。因此,炼钢过程必须不断地给熔池供热。

综上所述,炼钢过程的基本任务是脱碳、脱磷和脱硫,以及脱氧合金化和加热钢水。氧气顶吹转炉为完成这四项基本任务所采

取的方法是：

(1)氧化。通过水冷氧枪向熔池内吹入氧气，氧化铁水中的碳、磷、硅、锰等元素。

(2)造渣。冶炼过程向炉内加入石灰、铁皮等造渣剂，造高碱度、氧化性和流动性良好的炉渣，脱除铁水中的磷和硫。

(3)升温。转炉无外加热源，依靠氧化铁水中的硅、锰、碳、磷等元素所放出的热量来加热钢水。

(4)加入铁合金。在出钢过程中向钢包内加入铁合金进行脱氧合金化。

1.4 氧气顶吹转炉炼钢过程简述

1.4.1 吹炼过程的操作步骤

上炉钢出完并倒出炉渣后，检查炉体正常，堵好出钢口，然后进行下一炉操作。

把转炉向加料一侧倾动 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ，用起重机将铁水和废钢装入炉内，装料顺序一般是先装废钢后兑铁水，防止因废钢含有水分而可能引起的爆炸，也可以先兑铁水后加废钢，减缓废钢对炉底的撞击。摇正炉体开始降枪吹氧，与此同时从炉口上方的散状料系统加入第一批造渣材料（石灰、白云石、萤石、铁皮或铁矿石等），加入量约为全部造渣料的 $\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3}$ ，为了迅速化渣，应采用高枪位操作，增加渣中的氧化铁含量，约 3~4 分钟，第一批渣料熔化以后，加入第二批渣料，加入量为剩余料的 $\frac{1}{3}\sim\frac{1}{2}$ 。第二批料也可以视炉渣熔化情况分成几小批加入，视炉渣熔化情况决定每小批加入量，每次不宜加入太多，维持炉温均匀上升，防止产生爆发性碳、氧反应引起喷溅。根据判断确定钢水含碳量和温度同时到达终点时，立即提枪停止吹氧，当氧枪提出炉口后倒炉测温，取样，进行炉前化学成分快速分析。钢水温度用装有铂-铑快速热电偶的测温枪插入钢液内测量，也可以通过秒表测量样模内钢水的结膜时间确定。炉前化验室主要分析钢水中的磷、硫含量，含碳量通过钢花的分叉多少凭经验判断确定。当钢水温度和成分合格后便组织出钢。出钢过程

中向钢包内加入铁合金进行脱氧和合金化操作,然后镇静或送去炉外精炼,之后浇铸成钢锭(坯)。

1.4.2 吹炼过程中元素氧化规律和炉渣成分的变化特点

氧气顶吹转炉炼钢的一个显著特点是熔池搅拌激烈,反应速度快,一般吹氧时间只需十几分钟,在这短短的十几分钟内完成脱碳、脱磷、脱硫、去气、去夹杂物、硅、锰氧化和升温等全部冶金反应。金属液中各种元素的氧化顺序取决于各种元素与氧的亲合力大小,亲合力随温度而变化:

1400℃以下时氧化顺序为:Si、V、Mn、C、P、Fe;

1400~1530℃时氧化顺序为:Si、C、V、Mn、P、Fe;

1530℃以上时为:C、Si、V、Mn、P、Fe。

一般根据脱碳速度的变化规律将吹炼过程分为三期:

(1)吹炼前期,也称硅锰氧化期。开吹后的3~4分钟内,熔池平均温度通常低于1400℃,此期主要是硅、锰氧化,但是由于在一次反应区温度很高,因此碳也会被少量氧化。

由于硅、锰的迅速氧化,初期渣中二氧化硅和氧化锰含量较高,炉渣碱度较低。铁的氧化及废钢带入的铁锈等,使渣中氧化铁含量很快达到最高值。随着加入的石灰逐渐熔化和硅逐渐氧化完了,渣中(CaO)含量不断增加,(SiO₂)含量相应降低,因而炉渣碱度逐渐升高。

由于前期熔池温度比较低和碱性氧化渣的迅速形成,正好符合脱磷反应的热力学条件,所以前期渣具有较强的脱磷能力,铁水中的磷在前期能被大量氧化,因此应采用高枪位操作,以增加渣中氧化铁含量,快速成渣,提高前期脱磷率。

(2)吹炼中期,也称碳氧化期。吹炼3~4分钟后,硅、锰已被大部分氧化掉,熔池温度已上升到1500℃以上,碳开始激烈氧化,进入碳氧化期。此期的脱碳速度很大(可达0.36~0.38%/(t·min)),且几乎不变,不仅吹入熔池内的氧大部分消耗于脱碳反应,而且渣中氧化铁也消耗于脱碳反应,使渣中的氧化铁逐渐降低直到某一最低值,一般10%左右。此期应降低枪位,加强熔池搅拌,

加快脱碳速度,同时应防止渣中氧化铁降低过多导致炉渣返干。吹炼前期进入渣中的锰,在激烈脱碳的同时,由于渣中氧化铁降低,会被碳还原由渣中慢慢返回钢中一部分。

(3)吹炼末期。随着脱碳反应的进行,钢液中碳的含量降低,脱碳速度减小,进入吹炼末期。石灰已全部熔化,炉渣碱度较高,流动性良好。因此,钢液中的硫含量下降,一般单渣法可脱硫 30~40%。此时应进一步降低枪位,加强熔池搅拌,使反应达到平衡,同时降枪可以均匀钢液成分和温度,以便于准确地控制终点。

2 氧气顶吹转炉炼钢的基本原理

2.1 炼钢过程的基本反应

2.1.1 元素氧化顺序

炼钢反应主要是元素的氧化反应,各种元素与氧的结合能力是不相同的,这就决定了在转炉炼钢过程中元素氧化有先有后,即元素的氧化有顺序。表示元素与氧结合能力(也称亲合力)的一种参数是氧化物的分解压。众所周知,元素氧化的逆反应则是氧化物的分解。在一定温度下,氧化物的分解反应达到平衡时氧的压力称为分解压(p_{O_2})。显然,元素氧化物分解压越小该氧化物越稳定,元素与氧的亲合力就越大,元素易被氧化。

图 2-1 表示不同温度下各种纯氧化物的分解压,图中位置高的曲线即代表氧化物的分解压大,位置低的氧化物分解压小。因此,从理论上来说,元素氧化的顺序应该是图中下部的元素氧化在先,上部的元素氧化在后。但实际上元素氧化顺序并非固定不变,炼钢过程影响元素氧化顺序的主要因素有:

(1)温度。氧化物分解压是随温度的升高而增大,但各元素氧化物的分解压随温度增大的比率是不同的,因而,在转炉炼钢过程的各个温度阶段元素氧化顺序也就不同。例如,温度小于 1400°C 时,金属中元素氧化顺序是 $\text{Si} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{P} \rightarrow \text{Fe}$,当温度在 $1400 \sim 1530^{\circ}\text{C}$ 时,元素氧化顺序是 $\text{Si} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{Mn} \rightarrow \text{P} \rightarrow \text{Fe}$ 。

(2)氧化物能否生成稳定的复杂化合物。当氧化物可以生成更加稳定的复杂化合物时,该元素的氧化过程就可提前。例如,由图 2-1 中所示,磷的氧化只有在金属中碳全部氧化完毕之后才能开始,但由于钢渣中的自由 CaO 能与磷的氧化物(P_2O_5)生成稳定的复杂化合物磷酸钙($4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$),因此实际炼钢过程中,磷的氧化(脱磷)可以与碳的氧化同时进行。

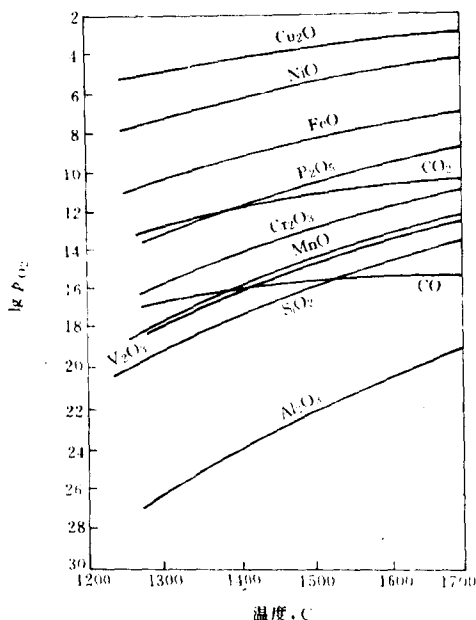


图 2-1 不同温度下各种纯氧化物的分解压力

(3)金属中元素的浓度。根据化学反应的分子碰撞理论,氧化反应是元素分子与氧分子相互碰撞的结果,元素分子越多(或浓度越大),两种分子碰撞的几率就越大,可见,金属中各种元素的浓度大小将影响其氧化反应的进程。例如,转炉炼钢吹氧初期熔池温度较低,按图 2-1 所示,碳是不会氧化的,但由于铁水含碳量较高(>4%),而 Si、Mn 含量不高,吹氧开始,碳可以少量地氧化。又如,铁元素的氧化应该在最后进行,但金属液中 94% 以上是铁元素,因而,铁元素的氧化贯穿于炼钢全过程。

2.1.2 炼钢过程的基本反应

2.1.2.1 硅的氧化反应

硅的氧化是炼钢的重要反应之一,氧化时放出大量的热,是转炉炼钢的重要热源之一。硅与氧的亲合力很强,硅的氧化为放热反应,因此,低温有利于硅的氧化,硅在任何炼钢法中都在熔炼的初