**了解碱性氧气炉的炼钢操作**

基础氧气炉（BOF）的炼钢操作有时也被称为基础氧气炼钢（BOS）。这是世界上最强大和最有效的炼钢技术。大约71%的粗钢是由这种工艺制造的。BOF工艺于20世纪50年代初在奥地利林茨和多纳维茨的两个钢铁厂开发，因此BOF工艺也被称为LD（这两个城市的第一个字母）炼钢。

在BOF工艺上存在几种变化。主要有顶吹、底吹，以及两者的结合，也就是所谓的联合吹炼。

炼钢工艺是自发的，或者说是自给自足的能源，利用气态氧（O2）将液态铁（热金属）转化为钢，以氧化热金属（HM）中不需要的杂质。所用的氧气必须是高纯度的，通常最低为99.5%，否则钢可能会吸收有害的氮气（N2）。

炼钢厂的主要原料一般是来自高炉的HM（约80%或更多）和剩余的废钢。这些都被装入BOF容器中。氧气以超音速被吹入BOF。它氧化了HM中的碳（C）和硅（Si），释放出大量的热量，使废钢熔化。铁（Fe）、锰（Mn）和磷（P）的氧化所产生的能量较少。这个过程中使用的熔剂主要是煅烧石灰（CaO含量超过92%）。这种石灰是由二氧化硅（SiO2）含量低的石灰石煅烧而成的。一氧化碳（CO）在离开转炉后的燃烧也将热量传回熔池。炼钢厂的产品是具有特定化学分析的液体钢，温度约为1650摄氏度。

术语 "基本 "是指炉子的耐火衬里，由碱性材料（白云石和菱镁矿）制成。耐火衬必须具有特定的性能，以承受高温、高度氧化和碱性炉渣的腐蚀作用，以及装料和吹炼过程中的磨损。碱性炉渣需要用来去除液体装料中的P和硫（S）。

沸腾炉容器也被称为转炉，是一个带有耐火材料衬里的桶状钢壳，支撑在一个倾斜的机构上。转炉的高度（H）和直径（D）之间的比率在1.0到1.3之间。 转炉外壳由三部分组成，即（i）球形底部，（ii）圆柱形外壳，以及（iii）上锥体。转换器外壳被连接到一个装有耳轴的支撑环上。支撑环在吹氧过程中提供了转换器的稳定位置。转炉能够在垂直平面内围绕其水平轴旋转360度，由电动机驱动的耳轴，可以保持在任何位置。这种旋转（倾斜）对于加热期间的各种转炉操作是必要的。加热后，只有8%至12%的转炉容积被钢液填满。熔池深度约为1.2米至1.9米。

炼钢厂转炉的容量（热量大小）从30吨到400吨不等，但大多数转炉都在100-250吨之间。一个BOF熔炼车间通常有一到三个转炉。一个转炉加热的水龙头到水龙头的时间约为40-50分钟，其中50％是吹氧时间。这种生产速度使该工艺与液态钢的连续铸造相适应，这反过来又对从粗钢到出货产品的产量以及下游轧制钢的质量产生了巨大的有利影响。

顶吹转炉配备了用于向熔池吹送O2的喷枪。喷枪是水冷的，有一个多孔（从3到6）的铜（Cu）尖端。O2流量通常在6到8cum/min.t之间，O2压力通常在12到16大气压之间。

通常需要六层楼的建筑来容纳BOF转炉，以容纳高架合金和焊剂仓，以及从BOF转炉中降下和升起的长的O2喷枪。图1显示了转炉车间的典型截面示意图。

图1 转炉车间的典型截面示意图

 在转炉开始加热之前，对HM进行称重，取样进行化学分析和温度分析。这些数据以及牌号规格被用来计算所需的废钢、助焊剂和氧气的数量。这些数量还取决于Si和C等的含量以及HM的温度，因为杂质氧化产生的热量必须平衡将废料、助焊剂和热金属带到所需温度的要求。在现代钢铁熔炼车间，一旦知道了HM的温度和化学分析，计算机收费模型就会确定废钢和HM的最佳比例、助焊剂的添加、喷枪高度和吹氧时间。

当转炉向装料区倾斜约45度时，开始加热，在废料装料吊车的帮助下，预先称好的废料装料从废料装料箱中装入转炉口。通过HM装料起重机，HM立即从一个转移勺中直接倒在废钢上。烟雾和kish（来自C型饱和热金属的石墨片）从转炉口排放出来，由污染控制系统收集。充电通常需要2-3分钟。充电后，转炉被旋转到垂直位置，喷枪被降低到离转炉底部约2.5米至3.0米处。通过这个喷枪，O2被吹到混合燃料中。喷枪将O2高速吹向混合燃料，反应开始。几秒钟后，当反应产生的CO燃烧成二氧化碳（CO2），在转炉口产生明亮的火焰时，就会发生点火。每生产一吨粗钢所使用的O2量约为55-60立方。喷枪在液态金属上方的高度对吹气特性和钢的分析有重要影响。操作开始时，喷枪处于高位吹气位置，离转炉中的金属液面约3米。几分钟后，在加入熔剂并形成足够的熔渣后，喷枪被降到低吹位置。

点火后，从高架箱中向转炉中投下称量的煅烧石灰/白云石熔剂。有时，萤石也会被扔进转炉。这些都是形成炉渣的助熔剂。在吹炼的早期，有必要形成流动的炉渣，它具有防止火花的功能，即由于O2射流的冲击而从转炉中喷出金属。为了促进熔渣的快速形成，使用了煅烧石灰。如果使用生石灰，其煅烧会吸收工艺中的热量。加入萤石是为了促进炉渣的流动性。任何需要的铁矿石（以调整温度），然后与剩余的助熔剂装料一起加入，同时继续吹气。复杂的助熔剂是在吹炼的最初几分钟内加入的。

当吹炼开始时，会听到一声刺耳的尖叫。随着HM中的硅被氧化形成二氧化硅（SiO2），并与基本的助焊剂发生反应，形成一种含气的熔渣，将长矛包裹起来，这种声音很快就被掩盖了。 该气体主要是来自HM中的C的CO。气体演化的速度是转炉容积的好几倍，常见的情况是熔渣在转炉的唇边滑动，特别是当熔渣太粘稠时。根据金属炉料的化学成分和钢液的规格，吹炼会持续一个预定的时间。这通常是15至20分钟，喷枪通常被预设为在吹炼期间移动到不同高度。然后，喷枪被抬起，以便转换器可以转向下方的装料区，进行取样和测温。然而，静态电荷模型并不能确保在指定的C和温度下有一致的转化率，因为HM分析和金属电荷的重量并不精确知道。此外，在低于0.2%的温度下，铁的高度放热氧化会随着脱碳发生不同程度的反应。转换器口的火焰下降预示着低摄氏度，但转炉的温度可能偏离正负30摄氏度至50摄氏度。

钢材样品通过气动管被送到钢材测试实验室。同时，在一次性热电偶的帮助下，测量钢液的温度。在温度和分析的基础上，决定是否需要进一步调整。可以加入冷却剂，将温度降低到所需的出钢温度，也可以对氧气进行短暂的重新吹扫，以纠正分析结果或提高温度，或两者兼而有之。当测试和温度读数令人满意时，转炉将倾斜到出钢位置。石灰石、废料、铁矿石、烧结矿和直接还原铁都是潜在的冷却剂，可以添加到被吹得过热的热量中。经济性和处理设施决定了每个车间的选择。

早些时候，重新吹气或添加冷却剂会导致从水龙头到水龙头的时间增加。但是现在，随着更多的操作经验、更好的计算机模型、对金属输入质量的更多关注，以及用于调整温度的钢包炉的出现，降温控制更加稳定。在一些钢铁熔炼车间，副炉在吹炼预定结束前两分钟提供温度和C值检查。这一信息允许在最后两分钟内进行修正，从而提高转炉性能。 副枪允许计算机达到终点，并大大减少了吹扫结束和出钢之间的时间。然而，副枪的操作是昂贵的，而且由于传感器的故障，所需的信息可能并不总是可用。

一旦准备好出钢，预热过的钢水包（STL）被放置在炉下的钢包车中，转炉向出钢口倾斜，钢液通过出钢孔从浮渣下涌入下面的STL。分接孔位于转炉上部锥体部分的一侧。通常情况下，挡渣器是用来防止转炉下转时渣子进入STL的。有几种类型的挡渣器（也被称为挡渣飞镖）可供选择。挡渣器通常与操作员的视觉观察一起工作，这仍然是最主要的控制装置。钢包中的熔渣会导致P的还原，脱硫延迟，可能还会导致钢的清洁度降低。钢包添加剂可用于降低渣中的氧化铁（FeO）含量，但无法改变磷的含量。

在将钢水攻入STL后，转炉被倒置，以便将剩余的渣攻入渣罐。然后将转炉恢复到直立位置。对于一些加热，残渣用N2吹出，以涂抹在容器的筒体和耳轴区域。这个过程被称为溅渣。在活动接近尾声时，也可能需要在高磨损区域用耐火材料进行炮击。一旦转炉维护完成，转炉就可以接受下一次加热的装料。

在联合吹炼的情况下，惰性气体将通过转炉底部的多孔塞子或壶嘴注入。底部喷气可以促进混合，并由于减少倾斜而提高产量。(在吹氧过程中，当炉渣和钢水从转炉中排出时，就会出现坍塌现象）。

转炉工艺不使用额外的燃料。HM杂质（C、Si、Mn和P）的氧化提供了热量。熔融金属的氧化和炉渣的形成是一个复杂的过程，分几个阶段进行，并同时发生在不同阶段（气体-金属、气体-炉渣、炉渣-金属）的边界上。在BOF中炼钢的化学成分将在另一篇文章中给出。

大多数氧化物被炉渣吸收。气态产物CO和CO2被转移到大气中，由排气系统排出。大气的氧化潜力由燃烧后的比率来描述，它被定义为CO2/（CO2+CO）。

炼钢厂工艺的脱硫能力是有限的，因为在炼钢厂中形成的炉渣是氧化性的（不是还原性的），因此在该工艺中硫的分布系数的最大值约为10，这可能是在含有高浓度氧化钙（CaO）的炉渣中实现。

在BOF炼钢中，炉渣中高的CaO/SiO2比率（通常为3或以上）是理想的。一个经验法则是，石灰的添加量应是所加Si重量的6倍。氧化镁的添加量取决于最终出钢温度，通常设计为出钢温度在1650摄氏度左右时占最终炉渣重量的8%到10%。

铁合金从高架仓装入转炉。常见的合金是锰铁、硅锰和硅铁。

基本的耐火材料被用于转炉的内衬。氧化镁-碳质耐火衬是转炉中使用最多的耐火衬。

环境问题

转炉工艺在废气中产生密集的棕色氧化铁烟。煤炉车间的环境问题包括以下内容。

捕获和清除转炉热和脏的一次废气中的污染物

与转炉充电和出气有关的二次排放

控制辅助操作的排放，如HM转移和脱硫等。

回收和/或处理收集到的氧化粉尘或淤泥

转炉渣和转炉泥的处理。

大多数转炉一次气体处理系统是根据抑制燃烧系统的原理设计的，气体在未燃烧的状态下被处理，并在静电除尘器或湿式气体洗涤系统中进行清洁，将气体与粉尘分离，然后以固体或泥浆的形式收集，而清洁的气体通过烟囱进入大气或收集在气体支架中。这种气体具有相当好的热值（1700-2000千卡/立方米），在钢铁厂中被用作燃料。抑制燃烧系统提供了回收能源的潜力。

与BOF转炉装料和出料有关的二次逃逸排放物，或吹氧时从主罩逃逸的排放物，可由服务于局部罩或位于车间桁架上的高顶罩或两者的排气系统捕获。通常情况下，使用织物收集器或袋式房来收集这些逃逸性排放物。同样，辅助操作，如HM转运站和脱硫等，通常由排入织物过滤器的局部烟罩系统提供服务。

在初级系统中捕获的颗粒物，无论是以来自湿式洗涤器的污泥还是来自沉淀器的干粉尘的形式，都必须在回收之前进行处理。来自湿式洗涤器的污泥需要一个额外的干燥步骤。转炉粉尘或污泥不是列出的危险废物。它可以在压块或造粒后被回收到高炉或烧结厂。

炼油厂炉渣由于石灰含量高，经常通过烧结厂和高炉循环使用。 炼钢炉渣也被用作铁路路基。