

大型铸锻件文集

太原重型机械集团公司锻冶处

5

1992—1994合刊

机械工业部大型铸锻件情报网

大型铸锻件文集5/92—94

机械工业部大型铸锻件情报网刊

编辑单位: 太原重型机械集团公司铸造处

责任编辑: 夏立洁

印刷单位: 太重福利厂

印刷日期: 1994年4月

目 录

关于Lukens电弧炉底搅拌的评述	石怀玉译	李兆劲校(1)
直流电弧炉	石怀玉译	李兆劲校(9)
不锈钢精炼技术的改进	折宽伟译	苏 安校(11)
低氢和低铝含量的大型电渣重熔钢的制造及其质量	折宽伟译	苏 安校(18)
电渣重熔法制造汽轮机转子用12%Cr钢锭	折宽伟译	阎更生校(24)
电炉冶炼不锈钢技术的开发	折宽伟译	阎更生校(30)
12Cr钢转子锻件的生产	丁光显译	吕镇芳校(38)
钛合金汽轮机长叶片的精密锻造	吕镇芳译	阎更生校(52)
Ti—6Al—4V涡轮机叶片锻件的性能	韩建生译	吕镇芳校(61)
热轧带钢厂高铬钢初轧辊	王剑茂译	苏 安 阎更生校(68)
A286合金大型转子锻件的性能	夏立洁译	阎更生校(76)
抗磨铬白口铁的组织 and 磨损特性	杨国维译	夏立洁校(85)
实现台车炉最佳温度控制的计算机系统	阎建安译	阎更生校(94)
串列探伤试验方法	贾冬青译	阎更生校(98)
球铁铸件的超声波检验	阎更生译	阎建安校(105)
不锈钢的二次精炼	苏 安译	阎更生校(110)

关于 Lukens 电弧炉 底搅拌的评述

C. T. Schade (Lukens 钢公司), R. Schmitt (材料生产中心) 在 Lukens 进行的底搅拌试验证明, 惰性气体从炉底吹入电炉具有冶金优点和经济效益。

欧州和日本的许多公司都报道在电弧炉中采用惰性气体喷吹, 既可以改善冶金效果, 又有益于操作过程。某一公司报道可增加 0.5% 的收得率, 节约电耗 14kwh/t; 另一公司报导节约电耗为 15~20kwh/t; 因钢中熔解的氧含量低, 可减少使用脱氧剂 1.6 磅/吨。报导的其它优点是缩短熔炼时间, 降低 10% 的电极消耗。有一家公司采用天然气作喷吹介质, 降低电耗 40kwh/t, 增加生产率 10%。

美国公司已在逐步实现这些技术, 以及所报道的各种结果, 因为 Lukens 相信, 使用这一技术是会有收益的。三个透气性元件 1990 年 4 月被安装在 165 吨, 22 英尺直径的炉子底部。为了更好地解释电炉中搅拌的优点, 材料生产中心 (The Center for Materials Production) 主持了这个课题研究, Lukens 提供必要的操作和冶金方面的支持。

前面所说的优点是通过底搅拌炉次与未装透气性元件前的炉次比较而得出的, 以只考虑普通碳钢生产来减小废钢种类与操作变化的影响, 这些碳钢构成了 Lukens 大约 60% 的产品。由于炉子延误和机械故障的非典型生产炉次, 从研究中去除了。

由于气体搅拌对收得率的影响具有很高的经济价值, 因而进行了仔细的核查研究, 搅拌引起的渣/钢界面相互作用的增加, 使得暴露于渣中的钢的表面积增加, 从而使

FeO 还原, 铁的回收增加。另外, 还有较少的金属氧化损失到渣中, 也还有较少的金属直接损失到渣中。每周监测的收得率表明: 收得率是搅拌功的函数。收得率增加达到了 0.5%, 这一数据从渣子的分析中得到了验证。

对搅拌和不搅拌炉次的电耗作了比较, 吹 Ar 引起的钢水往复运动, 实际上减小了熔炼过程中的温度梯度, (尤其是电极间的冷点) 改善了热传输。统计数据表明, 尽管受许多操作变化如提高出钢温度的影响, 电耗节约也在 10~20kwh/吨钢水。

我们期望总的冶炼时间也会由于废钢的均匀熔化而缩短。考虑了操作变化的回归分析表明冶炼时间有很大的减少。

吹 Ar 增加的搅拌, 起初引起人们对电极消耗和耐火材料消耗的极大关注, 试验的起始阶段电极消耗增加了, 但是后来高 Ar 流量的试验, 没有表明电极消耗有任何大的增加。另外, 不管是否有意识地努力通过维护炉底, 防止塞头损耗, 炉底材料消耗始终没有很大的增加。尽管很难获得准确的测量, 透气性元件的消耗还是令人满意的, 可连续使用 400 炉次。

对底搅拌的其它潜在优点也进行了研究, 去[S]和去[P]通过分析渣子和钢水成份而得到了验证; 对普通冶炼炉次和底搅拌炉次在不同 C—O 平衡下的 [N] 含量也进行了比较; 还进行了用以比较冶金优点、生产率、安装成本和操作过程成本高低的经济分析。

气体喷吹系统

透气性元件(塞头)置于三个电极之间,紧靠电极中心圆的外面(如图1)。选择这种结构是因为它具有最大的改善热传输的能力,而不影响电极稳定性。透气性元件由镁碳耐火材料制成,它由20支 $\phi 1\text{mm}$ 直径的不锈钢管环绕着,这些管子汇集于同一根供气管上。置于炉底的塞头松配合地安装在底座中,在底座与塞头之间,用打结材料封闭,以防漏钢。塞头、底座和打结材料由Radex提供。

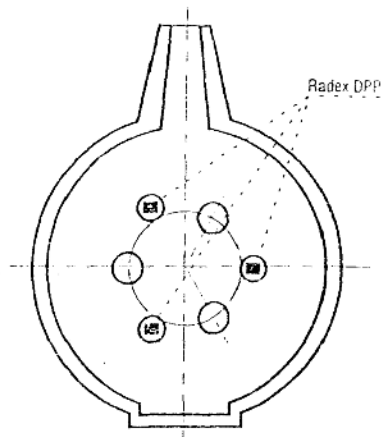


图1 炉子塞头位置示意图

喷吹气体是Ar气,流过每个塞头的流量,可以由位于炉子控制室外的阀门分别调节。流量控制系统由Liquid Air Corporation提供设计,它也是Ar的提供者。为了维持喷吹的连续性,气体喷吹周期由计算机控制,且分为三期。第一期是高流量状态,它在冶炼的起始阶段开始使用;第二期是与冶炼精炼期同步的,在总电耗达到40000kwh时开始启用,在这个点上,每个塞头的流速减小;最后一期是在出钢时启用,在这时,Ar允许通过支路调节阀,并且气流达到满流,“支路”周期是用来保护塞头在出钢时和出钢后不被渣子或钢液喷溅。

除20支开口管道外,每一元件有一附加的不锈钢管,它使塞头的下表面有17英寸被套住,这个管有单独的供Ar管路,气流通过此管时报警,表明塞头已损耗到此水平线上。作为第二种预防措施,热电偶安装在塞头和座砖之间的打结材料中,在炉底下面19英寸处,这是作为第二预警并指示塞头的消耗情况的。

结果

在熔化期(第一期)我们进行了采用不同的气流速度的四种试验,这一期每个塞头的流量变化在1.8~2.6标英尺³/分(scfm)。精炼期每个塞头的气流量保持在1.1scfm,在每个塞头2.2scfm流量时进行两次试验(不同时间内)以得出稳定的结果。以熔化期的搅拌功通常来表示这些试验,它可由下列等式得出:

$$e = \frac{14.23VT}{M} \log[1 + (1.22/1.48P)] \dots (1)$$

这里:e=搅拌功(w/t)

v=气流速度(Nm³/min)

M=钢水量(t,吨)

H=熔池深度(m,米)

T=温度(K)

P=钢液表面的气压(atm)

在研究中,通过只采用普通碳素钢炉次来减少废钢种类和操作变化的影响。由于炉子延误或机械故障的非典型生产炉次从研究中去掉。熔化期的搅拌功常用于比较冶金生产率和经济效益。实验概况如表1所示。

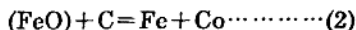
表1 试验概况

试验号	熔化期流量 (scfm)	搅拌功 (W/t)	炉次
基准线	0	0	305
1	2.2	7.5	178
2	1.8	6.1	98
3	2.2	7.5	109
4	2.6	8.8	149

冶金优点

氧化物的还原

Fruehan提出, 搅拌时渣中FeO的还原是由液相中[C]从熔池到渣/钢界面的传输所制约的, 这时下列反应发生:



FeO在渣中, C在钢水中, 因此底搅拌促进了[C]向渣/钢界面的传输, 使得FeO还原。另外, 熔池中较高的[C]含量, 导致渣中(FeO)较低, 图2表示了搅拌功为8.8w/t炉次中熔池[C]与渣中(FeO)间的典型关系。图中显示的是实际数据。

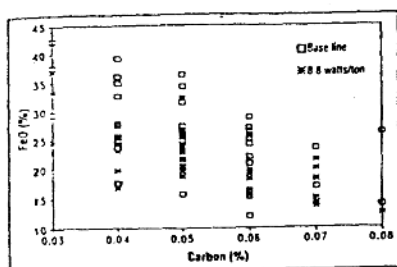


Fig. 2 - The relationship between the FeO in the slag (actual data) and the carbon level of the bath.

图2 熔池中碳与渣中FeO(实际数据)间的关系

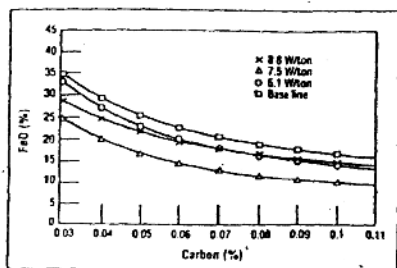


Fig. 3 - The relationship between the FeO in the slag and the carbon level of the bath for different stirring energies.

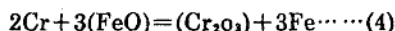
图3 不同搅拌功下熔池碳和渣中FeO间的关系

每一搅拌功下约有30~50个渣样进行分析。图3中的曲线表示了所测各搅拌功下数据的良好配合, 各线表明不论搅拌功如何, 渣中(FeO)都有下降。在低[C]时, 7.5和8.1w/t的试验表明FeO减少5~10%, 而6.1w/t的炉次则表明只有小量的减少。可以看出FeO的减少是收得率提高的主要贡献者。

[Mn]的氧化由下列反应控制:



渣中(FeO)越低, [Mn]就越少被氧化入渣中, 同样, [Cr]的氧化也与(FeO)含量相关, 有较高的(FeO)就有较多的[Cr]氧化入渣子中, 这里决定性反应是:



试验得到的Mn、Cr的分配系数分别表示在图4、5中。图线表明了数据的良好配合, 底搅拌引起的渣中(FeO)的降低, 减少了被氧化到渣中[Mn]、[Cr]量, 这对除6.1w/t试验外的其它三种搅拌功是相符合的, 在6.1w/t搅拌功时氧化到渣中的[Cr], 要高于基准线。

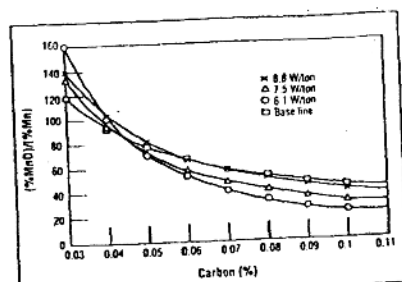


Fig. 4 - The relationship between the manganese partition ratio and the carbon level of the bath for different stirring energies.

图4 不同搅拌功下熔池碳和锰分配系数间的关系

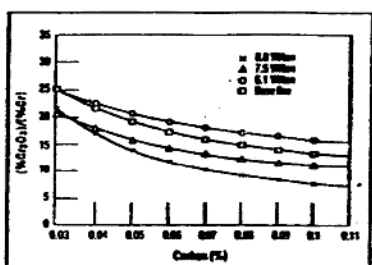


Fig. 5 - The relationship between the chromium partition ratio and the carbon level of the bath for different stirring energies.

图5 不同搅拌功下熔池碳和铬分配系数间的关系
C—O平衡

液体铁中[O]的溶解度取决于铁氧化物的活度即取决于与液态铁相接触的渣中(FeO)的含量。另外,[C]高于某一值就影响钢中的残余[O],我们希望看到底搅拌炉次溶解[O]量降低。图6表示了8.8w/t试验的实际结果。可以看出C—O平衡中的[O]有明显的减少,其它搅拌功的试验结果相同。尽管这一研究没有进行彻底的检验,但脱氧剂的使用量,因熔池中[O]含量低仍可减少一些。低碳钢通过底搅拌也可达到低[O]量。脱碳由下列反应控制:

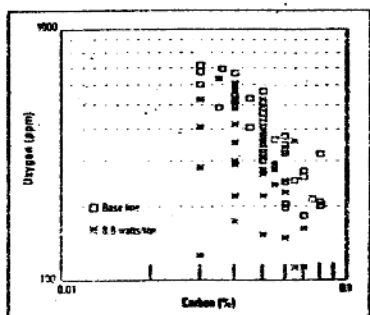


Fig. 6 - Carbon-oxygen equilibria for the base line and a stirring energy of 8.8 w/t.

图6 搅拌功为8.8瓦/吨和基准线时的碳—氧平衡

搅拌能明显地降低熔池中CO的分压力,大大降低熔池中的[C],这使得炉子具有很容易把[C]降到0.03~0.04%的能力,且对生产率没有负作用。

除氮

由于惰性气体如Ar是以气泡通过钢水的,所以钢中[N]被吸附于气泡,[N]的去除主要取决于化学反应速度常数(它取决于钢水中[O],[S]和[Cr]的含量),以及传质系数(它取决于气泡表面积)。 $[O]$ 、 $[S]$ 减小化学反应速度,而 $[Cr]$ 趋向于增加反应速度。Fruehan预计对于含0.03% $[S]$,0.01% $[O]$ 的钢水,气流速度为227scfm(375~400w/t)时,[N]可减少10~20ppm,此研究选择的是出钢 $[S]$ 为0.03~0.04%的炉次。为了确定是否因气体搅拌而降低了[N],取了60炉经搅拌和60炉未经搅拌的出钢前试样测定[N],数据见表2。

表2 [N]含量结果

	未搅拌	搅拌
出钢时[N](ppm)	62.0 ± 12.4	60.5 ± 11.6

此研究采用的是低气流速度,因为传质系数小,用于吸附[N]的有效表面积小,结果[N]的减小不明显。

脱硫

脱硫取决于很多因素,包括温度和炉渣化学成份,硫只能通过形成不溶性硫化物,随后进入渣子而去除。所以,溶解在钢液中的[S]接触到渣/钢界面是必要的。脱[S]以如下反应进行:



高碱度、低FeO含量的渣子有利于去[S]。由于底搅拌引起的FeO的减小,可以期望有良好的去[S]效果。另外,搅拌促进了

渣/钢混合,从而改善了与渣子结合的硫化物的传输,基准线与8.8w/t试验的熔池硫的分配系数如图7,脱硫到渣中明显增加。同时发现硫的分配系数随着搅拌功的增加而增加。

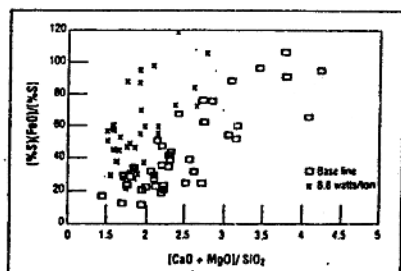


Fig. 7 - Affect of stirring energy on the sulfur partition ratio.

图7 搅拌功对硫分配系数的影响

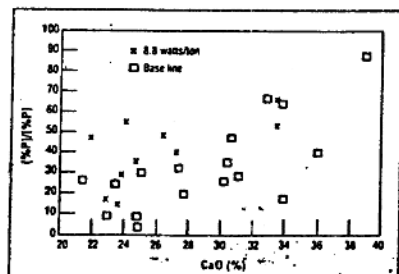


Fig. 8 - Affect of stirring energy on the phosphorus partition ratio.

图8 搅拌功对磷分配系数的影响

脱磷:

脱磷可通过检验磷的分配系数来估计,磷分配系数取决于许多因素,如渣中CaO含量、熔池温度和熔池含氧量。由于磷氧化以及溶入渣中的过程是放热反应,因此低温有利于去磷。由于石灰与 P_2O_5 通过形成磷酸钙降低磷化物活度,所以脱磷取决于渣中的CaO含量。渣子良好的氧化状态,使得钢水

脱[P]成为必然,渣中FeO的水平是熔池中[O]势能的反映,有较高的FeO就可去除较多的[P]。图8表示了8.8w/t试验的数据和基准线数据。两种情况的平均[C]含量和温度范围是相近的,数据点是以渣中CaO含量为函数作出的。尽管搅拌炉次的平均温度较高,FeO含量较低(这些都使分配系数趋于降低),但去除到渣中的磷量还是较高的,这似乎表明传质作用对钢水去磷速度的控制是巨大的。其它搅拌功下的情况相似但没有如此明显的趋势。

过程优点

收得率:

人们期望渣中铁、锰、铬氧化物减少,会使底搅拌炉次的收得率提高。此有效收得率的评估,是在连铸坯炉次上比较而得的,因为其终产品的重量是很少变化的。收得率定义为浇注的钢液总量(由钢坯重量定)除以入炉金属料重量。表3表示了基准线数据与三种不同搅拌功情况下的收得率。

表3 收得率

试验号	搅拌功 (W/t)	钢水收得率 (%)
基准值	0	89.2
1	7.5	89.7
2	6.1	88.7
3	7.5	89.2
4	8.8	89.6

开始,搅拌功为7.5w/t,这时收得有0.5%的增加,这一试验持续了八周,评定了178炉普碳钢。然后搅拌功降到6.1w/t,结果收得率比基准值低。第3号试验搅拌功增到7.5w/t时,收得率回到基准线水平。进一步增加搅拌功到8.8w/t,则收得率又增加0.4%。

收得率在6.1w/t时下降的一个可能的解

释是二级废钢百分数在搅拌功降低的同时增加了, 这种加入料大多数是由细小块、轻薄废钢组成。这样的分析表明, 在这种搅拌功下渣中总铁(氧化的和金属的)较高, 当搅拌功增加时渣中总铁量减少, 轻废钢是在炉子后期加入的, 因而有可能被留在渣子中, 随着搅拌功的增加, 渣/钢间相互作用的改善, 能够使得细碎的废钢粒熔化, 这就如前所述的会通过减少金属直接损失到渣子中而使得收得率提高。另外, 在6.1w/t情况下, 有大多数炉次收得率非常低, 表明有未被熔化的废钢, 这种趋势随搅拌功的增加而减小, 另一解释是碎小废钢用量的增加, 其所含金属量较低, 影响了整个收得率, 这可以用来解释第1号试验和第3号试验间的不吻合。

如前所述, 渣中FeO随熔池中[C]量变化, 按图3的数据估计, 在7.5w/t时渣中FeO有10%的减小。如果估计渣量为12,000磅, 平均炉容量为322,000磅钢水, 这样算出收得率增加0.29%(如表4), 同理, 可估出Mn收得率增加0.04%, Cr收得率增加0.05%。因此据渣子成份估计的总收得率增加为0.38%, 这与第1号试验的生产数据极为相符。

表4 收得率(炉渣成份与生产数据比较)

减少	收得率增加(%)
FeO	0.29
MnO	0.04
Cr ₂ O ₃	0.05
总量 0.38	

能耗:

对搅拌和未经搅拌炉次的电耗进行比较, 吹Ar引起的往复运动使熔池的温度差减小, 尤其是电极间的冷点。为了减少废钢种类及操作变化的影响, 只限于采用了一组普碳钢。表5表示了每一试验的电耗, 除6.1w/t

的试验外, 其它所有试验电耗都降低。但令人遗憾的是, 在试验进行期间, 为了促进钢包精炼的快速过程, 提高了出钢温度。因此, 看到的是经调整后的电耗。这个数字是假设炉子有0.12kwh/t·°F的能力, 和100%的效率, 在这个条件下, 出钢温度每增加10°F, 电耗增加1.2kwh/t。再把这个数字调整到基准出钢温度2317°F, 则可看到, 搅拌功为8.8w/t时能耗最大节约为15kwh/t。

前面提到的另一操作变化是二级废钢的使用量增加, 在试验阶段, 增加了二级废钢以发挥最近安装的钢包炉精炼设备的优点。根据经验, 这种废钢熔化需增加电耗, 因第二种试验比第一种试验采用更多的二级废钢, 这可以解释两个7.5w/t试验有差别的原因。影响能耗变量的回归分析表明, 对于第二种试验, 二级废钢量大则能耗增加4.4kwh/t。这使得两个试验间的能耗很可以比较(388对396.6kwh/t), 并且是取得一致性的一个例子。如果8.8w/t的试验调高使用二级废钢, 将会有20kwh的节约。

表5 电能消耗

试验号	搅拌功 (瓦/吨)	现行实际 电耗 (千瓦小时 /吨)	出钢温度 (°F)	调整的炉 次电耗 (千瓦小时 /吨)
基准线	0	396.6	2917	396.6
1	7.5	390.3	2936	388.0
2	6.1	398.0	2946	394.5
3	7.5	395.3	2953	391.0
4	8.8	385.5	2948	381.8

生产率:

电弧炉每小时生产的实际吨数如表6所示, 数据表明随着搅拌功的增加生产率提高。然而, 搅拌炉次的吨数在未经搅拌炉次的水平之下, 这是因为如下事实, 搅拌炉次有较高的出钢温度和二级废钢较难熔化, 这些因素使得冶炼时间增加。为了对基本数据

和搅拌数据作一客观比较,我们进行了线性回归分析。

在回归中,关键参数如废钢种类、出钢温度、入炉碳、及用氧量作为独立变量,而冶炼时间为因变量,回归的吻合性很好,为0.9平方根。表中的调整值是针对出钢温度为2917°F,和二级废钢用量是相同的情况。结果表明有搅拌功的冶炼时间大大改善,且冶炼时间与搅拌功成正比。如果每小时的调整吨数由回归式得的时间计算,可以看到生产率比基准数有很大的提高。

这里进行的回归分析没有考虑严重拖延的影响,底搅拌实际上减小了延误的次数,因为炉子具有“翻动”和“沸腾”。废钢没有完全熔化或者挂在炉墙上的情况是相当多的,由于熔池温度升高,这一部分过热,熔化快引起局部沸腾,这就引起熔池剧烈上升,钢液溢出炉膛,良好的混合可以使熔化更均匀,减小了大量未熔废钢存在的情况。未安装塞头前炉子翻动和沸腾占18%的时间,而辅以搅拌后只占12%,这是实际情况。

表6 生产率数据

试验号	搅拌功 (瓦/吨)	实际过 程时间 (分)	调整过 程时间 (分)	实际生 产率 (吨/小 时)	调整生 产率 (吨/小 时)
基准线	0	76.9	85.4	125.1	114.5
1	7.5	79	79.2	121.8	121.3
2	6.1	83.9	82.2	116.8	120.0
3	7.5	83.4	81.8	119.1	119.6
4	8.8	80.6	78.6	122.9	124.3

电极和耐火材料消耗:

表7列出了各种试验的电极消耗,试验表明电极消耗增加0.5磅/吨。然而,其它试验表明即使增加搅拌功电极消耗也没有显著增加。因此,很难断定,电极消耗的增加是由于搅拌引起的。

与安装塞头前的Lukens操作一致,炉底的维护是按照需要加入新的炉底材料(除起

始的7.5瓦/吨试验外,其炉底是允许损耗的)。这使得每一试验的炉底材料消耗没有区别。因为炉膛操作的变化,试验中增加了修补材料的使用。表7概括了这些结果。

表7 耐火材料和电极消耗

试验号	搅拌功 (瓦/吨)	电极消耗 (磅/吨)	喷补材料 (磅/吨)	炉底材料 (磅/吨)
基准线	0	5.7	4.7	0.9
1	7.5	6.2	4.9	0.7
2	6.1	5.8	5.0	0.7
3	7.5	5.8	4.6	0.6
4	8.8	5.7	5.0	0.7

塞头损耗:

在有充足生产量的情况下,更换一套塞头所需的时间代价是很高的。Lukens的经验是维修时更换一套塞头需另加4~6个小时,这一延误就减少了生产炉次,从而损失了产量。另外,更换塞头的同时需更换炉壳,这在Lukens是每两周一次。开始试验时用的是低搅拌功,塞头每两周更换一次。这期间不修补炉底以企塞头随炉底均匀损耗。表8表示出每一炉令的塞头损耗,开始试验时的最大损耗是14英寸,这是炉底不进行修补的结果。由于这一尺寸仍在报警管(17英寸)之下,因此决定减小搅拌功以便使四个星期的试验得以进行,在此以后的试验中决定应该修补炉底以减小塞头损失。

6.1w/t时的损耗约为10~12英寸,最多炉数为398炉,更高搅拌功7.5和8.8w/t的试验各进行了四周。从这些试验得出结论,为了避免因塞头过量损耗而延误生产,在搅拌功为8.8w/t时最大可达到的寿命是400炉(四周)。

经济分析

经济分析结果如表9。数值代表与基本

条件相比的成本(负的)或节约(正的),假设更换塞头另外需6小时,产量损失是不变成本。另一不变成本是塞头(以及安装所需的劳动),假设其最大寿命是400炉。其它项是基于试验所得的除能耗外的实际数据,表9采用了出钢温度增加的调整值,废钢混合料的变化没进行调整。

表8 塞头损耗

炉号	搅拌功 (瓦/吨)	炉令寿命 (天)	生产炉数	塞头损耗 (英寸)
1	7.5	15	217	14
2	7.5	14	198	13
3	7.5	13	179	10
4	7.5	14	189	9
5	6.1	27	348	10
6	6.1	29	398	12
7	7.5	28	379	NA
8	8.8	27	412	14

这项投资的最大收益是收得率的增加,这反映在如下事实,尽管6.1w/t试验时生产率增加,能耗降低但收得率没有提高能抵消塞头的成本,这使每吨损失\$0.72元。试验1号7.5w/t的收得率增加0.5%,使每吨节约\$0.36元。试验3号表明有\$0.62元的损失(主要因为没有增加收得率)。8.8w/t的试验表明最多可节约\$0.47元/t。如果车间不限定运转,节约将增加到每吨\$0.90元。根据这些数据和Lukens的年产量,可以认为这个项目每年可节约\$380,000元(当不限定运转时可节约\$729,000元)。

表9 成本分析 (美元/吨钢)

搅拌功 (瓦/吨)	电极	收得率	劳动工时 和塞头	能量
7.5	-0.41	+1.25	-0.24	+0.30
6.1	-0.10	0	-0.24	+0.07
7.5	-0.10	0	-0.24	+0.20
8.8	0	+0.98	-0.24	+0.39

续表9

搅拌功 (瓦/吨)	氢	生产损失	耐火材料	总节约
7.5	-0.05	-0.43	-0.05	+0.37
6.1	-0.04	-0.43	-0.07	-0.71
7.5	-0.05	-0.43	0	-0.62
8.8	-0.06	-0.43	-0.17	+0.47

结论

Lukens底搅拌具有冶金优点和经济效益,这些优点大多数表明是搅拌功的函数,最大的搅拌功伴随有最大的经济效益,试验期间发现的底搅拌主要影响是:

- 1、渣中锰、铬、铁的氧化物含量减小
- 2、一定碳含量钢中溶解氧量减少
- 3、没有明显的去氮
- 4、钢脱硫、脱磷量增加
- 5、节能10—20kwh/t
- 6、收得率增加0.5%
- 7、提高了生产率,炉子翻动和沸腾减小
- 8、喷补和炉底材料没有明显增加
- 9、塞头损耗取决于搅拌功
- 10、每吨钢水生产成本节约\$0.50到\$0.90元。

译自1990年12月国际钢铁工业第48届电炉会议资料(新奥尔良)

翻译 石怀玉 校对 李兆劲

直 流 电 弧 炉

R.J.Fruehan

在美国,目前有两种直流(DC)电弧炉在使用。一种是在纽柯公司的达林顿SC工厂,另一种是在佛罗里达Steels Tampa工厂。在法国的Societe Metallurgique D'Escault(SME)还有一种三电极直流电炉。另外,ASEA(现在的ASEA Brown Boveri)/Krupp在瑞典的Avesta试验用直流电炉生产不锈钢。

直流电炉比传统的三相交流电弧炉的主要优点是减少电极消耗。这是因为大多数直流电炉是用单电极代替一般的三电极构形。电极大约有50%是侧面氧化所消耗的,单石墨电极氧化损失总量少于三电极,并导致了较低的端部损失。降低50—60%电极消耗的情况已有报导。

直流电炉的其它优点是:

a、由于电极置于中心位置,有良好温度分布。

b、由于不存在像交流电炉一样使电弧偏向炉墙的电磁力,炉衬损耗少。

c、由于熔池中的电磁力,使熔池有搅拌作用。

d、较少的网路干扰。

e、由于良好的热传输和较少的热辐射损失,电耗稍稍降低。

主要缺点是供给直流的电力成本,以及与底电极寿命相关联的停炉时间成本。另一

问题是直流电炉有多少功率可有效利用。为了保持电极成本低的优点,炉子应仅限于使用单电极,这就限制了功率的输入,因而也影响炉容量。再有一问题是有多少功率消耗于底电极上,这也限制了炉子的规模。

1985年纽柯公司把一台现有的交流炉改成32美吨(28公吨),12MVA UNARC炉子,Brown Boveri(现在的ASEA Brown Boveri)修整了电气系统,MAN/GHH提供了炉底接触器。炉子使用 $\phi 16$ 英寸的单电极,载流37KA。炉底接触器由两组空冷板组成,其间有风向片。接触器由80支与炉底盘相连的销棒组成,热电偶用来监测销棒,炉底寿命约为300炉次,以前需花16小时更换,纽柯公司改进了设计,把时间减少到约8小时。纽柯公司估计直流炉底的成本比传统的多\$2元/吨钢坯,而电极节约\$6元/吨钢坯。这个公司也报导了有较低的电耗和电弧闪烁:直流电炉电耗为463kwh/吨坯,交流电炉为479kwh/吨钢坯。

1983年ASEA/Krupp在Avesta把一台交流电炉改成了单电极直流电炉。55美吨(50公吨)炉子,18MVA变压器,使用 $\phi 18$ 英寸电极,炉顶以铝矾石为衬,炉墙用白云石,炉底用白云石和镁碳材料。这台炉子生产了300炉,总产钢量为17600美吨(16000公吨),电极消耗约为4.2磅/美吨或2.1公斤/公吨。炉底

电极由紧挨炉壳的铜板和插入耐火材料与熔池接触的薄钢片组成,炉底寿命约为83炉次,第一罐料熔毕的能耗是320kwh/美吨(400kwh/公吨),总能耗没有报导,试验完成后,炉子又改为交流操作。

ASEA/Krupp在佛罗里达Steel, s Tampa把一台交流电炉改成直流电炉,并在1986年3月开始使用,炉子是30美吨(27公吨),由16MVA的变压器供电,采用可控硅整流把交流转化为直流,炉子开始时使用16英寸的电极,1986年11月改为18英寸的电极,炉底采用导电镁碳砖与作为底电极的空冷铜板接触,炉底有三层砖衬,砖的含碳量在10~20%之间,约250~300炉次后更换第一层砖,铜板上有12个热电偶连续记录其温度,从这些数据可以确定耐火材料的厚度,佛罗里达钢厂和ASEA/Krupp正试图开发一种导电的补炉耐火材料,它可以粘附在炉底上,这将使操作者能够延长炉底寿命。

炉子安装有三个4MW的氧燃烧咀,炉子正常运转由剩余钢水引燃,而无需加入碳引燃。从出钢到下炉出钢的时间在1.75~2小时,这与以前交流操作的时间相当。早期的报道表明:电极消耗大大降低为4磅/美吨坯(2公斤/公吨坯),也可能降低能耗。然而

成功的直流电炉取决于炉底寿命。

通常,电极节约的成本要比炉底耐火材料增加的成本多。但是,停炉时间以及炉子的使用率因更换炉底而缺乏预测性,这是不能令人接受的。补炉材料的发展将大大改善炉子的操作状态。

目前使用中的最大直流电弧炉是法国SME的三电极直流电炉,炉子是基于法国工业研究所(IRSID)在Maizieres实验炉上的研究结果设计的。Clecim S.A.在设计中与IRSID取得了联系,并获得了将此技术商业化的许可证。炉子实际容量是82美吨(75公吨),公称容量为68美吨(62公吨)。尽管是直流电炉,但它仍采用传统的三电极臂,以及三个单独的三相,12脉冲的整流管,每一整流管都有其单独的变压器,以及72件水冷可控硅,给 $\phi 20$ 英寸的电极提供40000A的电流,SME报导公称功率为48MW,但可提供更大的功率。炉子安装有三个水冷钢制炉底电极,煤气烧咀,且采用偏心底出钢,SME已经公布了其最初的工作结果,电极消耗为4.4磅/美吨·钢坯(即2.2公斤/公吨钢坯),能耗为454kwh/吨。

译自《Iron and steel maker》1987.7.

翻译 石怀玉 校对 李兆劲

不锈钢精炼技术的改进

Yasunobu等

新日本钢铁公司光厂

前言

我们工厂利用EAF——AOD法生产不锈钢。为了建立一套气体消耗低和熔炼时间很短的AOD新工艺,最近我们完成了各种类型的车间试验和研究工作,其目的是(1)改进脱碳期的气体吹炼技术,(2)开发由计算机控制的气体吹炼工艺以及;(3)发展快速还原技术。通过试验和研究,成功地推出了AOD法中的新的脱碳工艺,它们包括高碳含量范围的“OOB”(单吹氧)法,中碳含量范围内的“ORC”(氧气比例连续变化)法和低碳含量范围内的“OAB”(单吹氩)法,进一步研究出了快速还原法。上述技术的采用,使AOD过程的氩气和还原用的硅铁大大降低,耐火材料的损耗率也大大降低。

(3)在低碳含量范围内仅吹氩气(称为OAB)。

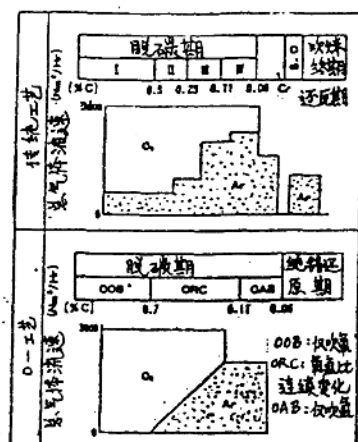


图1 传统工艺和新工艺(称为O—工艺)示意图

不锈钢脱碳技术的改进

1. 工作状况

图1比较了传统工艺和新工艺的气体吹炼技术。

以前的工艺中,按四个不同的氧氩比进行吹炼,后来的工艺中,气体吹炼发生了很大的变化。

(1)在高碳含量范围内仅吹氧气(称为OOB)。

(2)在中碳含量范围内,氧气和氩气的比例连续变化(称为ORC)。

* 译注:原文误为增加。

表1 传统工艺和新工艺的工作状况

碳含量范围 (%)	传统工艺 流量 (Nm ³ /Hr)		新工艺 流量 (Nm ³ /Hr)		名称
	氧气	氩气	氧气	氩气	
>0.70	2880	720	3600	0	OOB
0.50—0.70	2880	720	2880	720	↑
0.25—0.50	2400	1200	连续变化		ORC
0.11—0.25	1200	2400	1200	2400	↓
0.06—0.11	800	2400	0	2400	OAB

2. 结果和讨论

(1) 高碳含量范围内仅吹氧^[1]

图2比较了传统方法和OOB法脱碳率的关系。

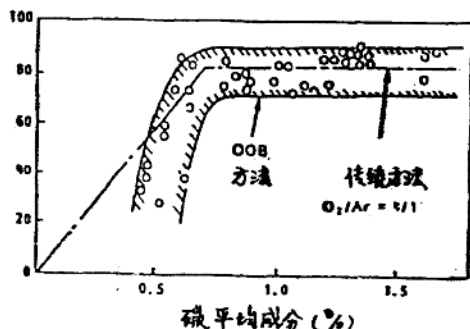


图2 单吹氧阶段的脱碳率

平均碳含量大于0.70%时, OOB法的脱碳率几乎同用氩气稀释氧气的传统方法一样。这个结果可按Hilty^[2]和chipman^[3]的平衡方程(1)和(2)进行讨论。

$$\log = \frac{[\%Cr] \cdot P_{CO}}{[\%C]} = -\frac{13800}{T} + 8.76 \dots (1)$$

$$\log = \frac{[\%Cr]^2 \cdot P_{CO}}{[\%C]} = -\frac{11520}{T} + 7.58 - 0.02[\%Cr] \dots (2)$$

这里 $[\%C]$ 、 $[\%Cr]$ =钢中C和Cr的含量

P_{CO} =CO的分压

T =钢液温度

图3是由(1)、(2)式计算出的温度和平碳含量之间的关系。此处 $[\%Cr]$ =20%, P_{CO} =0.6, 0.8, 1.0, atm. 还给出了AOD精炼过程中 $\%C$ 和温度的变化曲线。

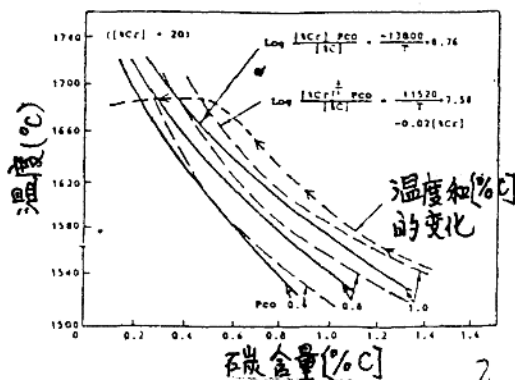


图3 用Hilty和chipman的公式计算的曲线同实际数据所作曲线的比较

当 $[\%C] > 0.70\%$ 时, 精炼过程中的 $\%C$ 总是大于 $P_{CO}=1.0$ atm时的平衡碳含量。因此, 在这个碳含量范围内, 用氩气稀释并不影响脱碳过程。

由于在高碳含量范围内脱碳取决于氧气的流量, 停止吹氩, OOB法中的氧气流量相对于传统方法增加约25%, 而脱碳速度增加0.02%/min, 精炼时间缩短3分钟, 稀释气体消耗减少2.8Nm³/吨钢。

采用这种改进的工艺, 由于不吹氩气, 溅心会增加风口砖的损耗, 但如图4所示, 损耗程度没有变化。

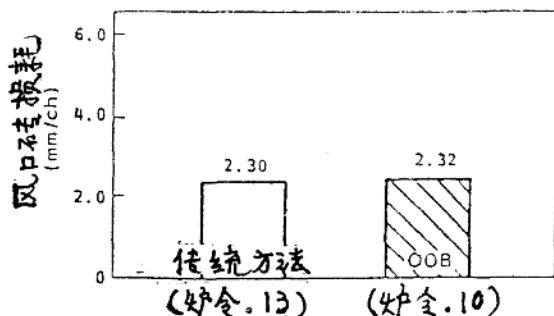


图4 OOB法对风口砖损耗的影响
(2)中碳含量范围内氧氩比连续变化
图5是这种方法控制系统的示意图。

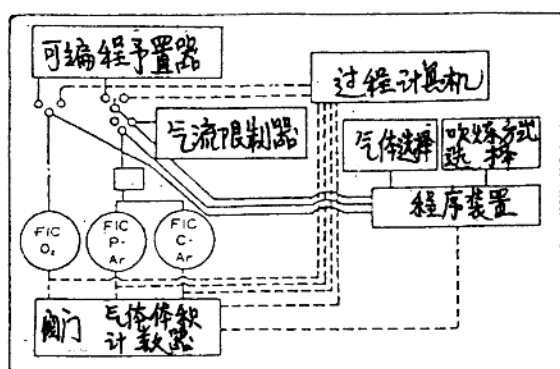


图5 新方法(称为ORC法)示意图

当 $[\%C] < 0.70\%$ 时,脱碳取决于钢中碳的扩散速度,此时的脱碳速度可由(3)式表示。

$$\frac{d[\%C]}{dt} = K\{[\%C] - [\%C]_e\} \dots \dots (3)$$

这里 $[\%C]$ =钢中碳含量

$[\%C]_e$ =钢中平衡时的碳含量

K =反应速度常数

由(3)式可知,当 $[\%C]_e$ 减小时,脱碳速度将增加,脱碳率也将增加。Ohno等人^[4]报导,当氧氢比减小时, $[\%C]_e$ 也相应地减小。

因此,在 $[\%C] = 0.11 \sim 0.70\%$ 范围内,根据钢中碳含量连续地改变氧氢比,脱碳率将提高,见图6。

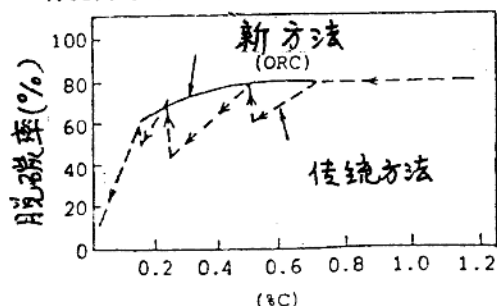


图6 同传统方法对比的脱碳率

图7给出了采用这种方法的结果。在 $[\%C] = 0.11 \sim 0.70\%$ 范围内,脱碳率增加了6%。还原用硅铁减少0.7kg/吨钢,氧气消耗减少0.3Nm³/吨钢。

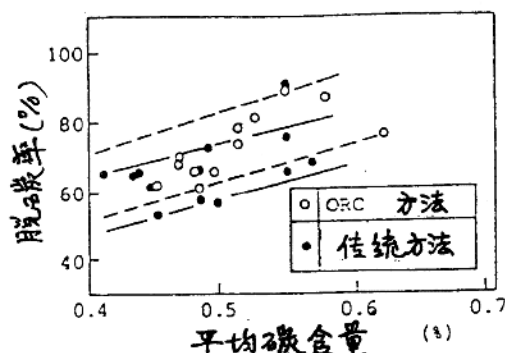


图7 ORC法对脱碳率的影响

(3)低碳含量范围内仅吹氩气

图8比较了传统方法和OAB法的脱碳速度,OAB法的脱碳速度几乎等于氧氢比为1/3时的传统方法的脱碳速度。

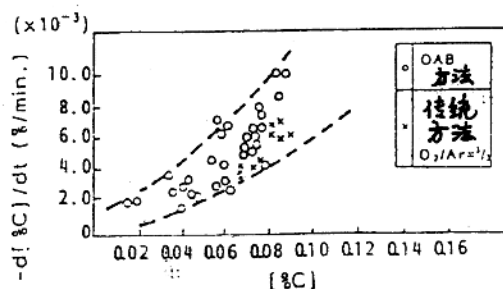


图8 OAB阶段 $[\%C]$ 和 $d[\%C]/dt$ 的关系

图9表示OAB法中氧变化量和碳变化量之间的关系。

图中的虚线表示在此阶段脱碳所需要的由化学算法求出的氧量。

虚线和实际的 $[\%O]$ 线的不同意味着渣中氧和钢水中的碳发生了反应。

图10表示OAB法中脱碳期间碳含量和铬含量变化的关系。

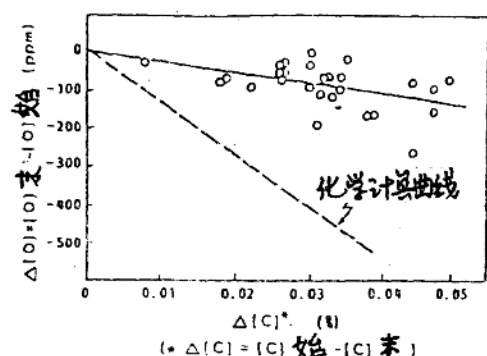


图9 OAB阶段 $\Delta[C]$ 和 $\Delta[O]$ 的关系

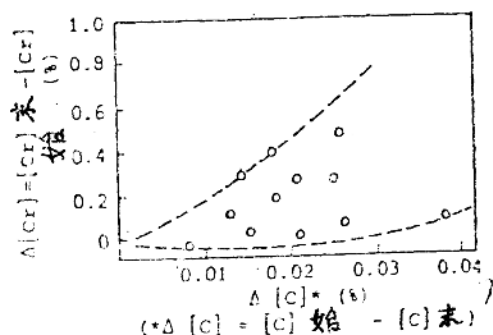


图10 OAB阶段 $\Delta[C]$ 和 $\Delta[Cr]$ 的关系

如图10所示,当 $\Delta[C]$ 增加时 $\Delta[Cr]$ 趋于增加,这表明脱碳需要的氧可以由渣中的 Cr_2O_3 供给,这种脱碳可由(4)、(5)式表示。

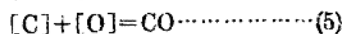
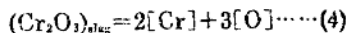


图11表示开始脱碳时渣中 Cr_2O_3 增加,结果脱碳量减小。

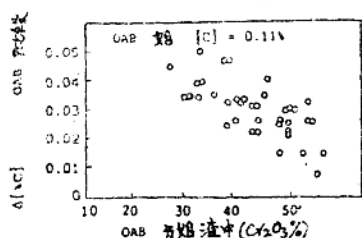


图11 OAB阶段起始($\%Cr_2O_3$)和 $\Delta[C]$ 的关系

由图12中的 $CaO-SiO_2-Cr_2O_3$ 等相图可知,当渣中的 Cr_2O_3 增加时,渣系的熔点将升高,由炉渣向钢液供氧变得困难。因此,当渣中有较高的 Cr_2O_3 时,反应(4)成为脱碳速度的限制环节。

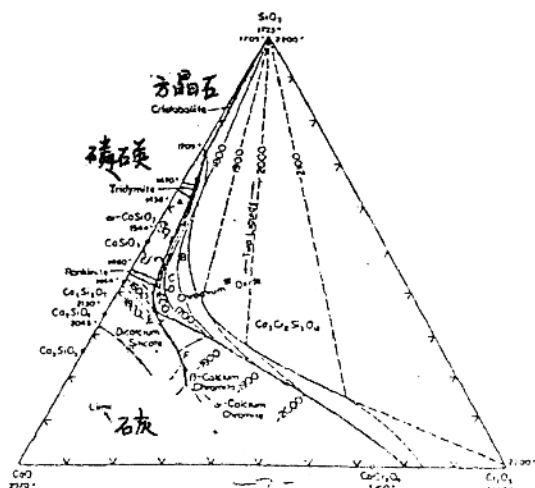


图12 $CaO-SiO_2-Cr_2O_3$ 系相图
用新方法氧气消耗减少 $1.0Nm^3/吨钢$,
还原用的硅铁减少 $0.5kg/吨钢$ 。

不锈钢还原技术的改进

1. 背景

由于在AOD精炼成本中耐火材料所占比率较高,因此,减少耐火材料的损耗显得十分重要。

图13显示了在AOD精炼期间耐火材料损耗的变化情况。可以看出,还原期开始以后耐火材料的损耗在增加。

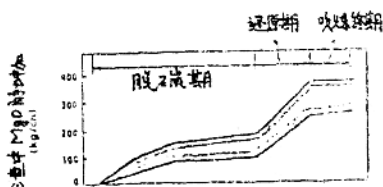


图13 AOD精炼期间耐火材料损耗情况