

KKG大型冲天炉结构改造及实践

孙长伟, 马振航, 李永亮, 鲍俊敏, 孙业弟

潍柴(潍坊)材料成型制造中心有限公司 山东潍坊 261100

摘要:冲天炉具有高效、节能、连续熔化、铁液质量好及供应量大等诸多优势。对35t/h冲天炉进行了改进提升,提高炉缸深度使焦炭消耗量降低14kg/t,铁液温度降低约30℃,炉衬侵蚀速率降低;采用分层修筑分渣器的方式来延长炉衬寿命,降低材料消耗;设计应用小分渣器调整铁液成分;监控炉衬温度,有针对性地维护炉衬,从而使其满足当前产品高质量、低成本的要求,取得了比较显著的效果。

关键词:冲天炉;电炉;熔炼;铁液

Structural transformation and practice of KKG large cupola

SUN Changwei, MA Zhenhang, LI Yongliang, BAO Junmin, SUN Yedi

Weichai (Weifang) Material Forming and Manufacturing Center Co., Ltd., Weifang 261100, Shandong, China

Abstract: Cupola has many advantages, such as high efficiency, energy saving, continuous melting, good quality of liquid iron and large supply. We have improved the 35t/h cupola, and increased the depth of the furnace cylinder reduces the coke consumption by 14kg/t, the liquid iron temperature by about 30℃, and the erosion rate of the lining is reduced. The method of building slag-separator in layers is adopted to prolong the life of lining and reduce the material consumption. Design and use small slag separator to adjust the composition of liquid iron; Monitor the lining temperature and maintain the lining accordingly. It can meet the requirements of high quality and low cost of current products, and has achieved remarkable results.

Keywords: cupola; electric furnace; smelting; iron; liquid

1 序言

冲天炉作为一种重要的熔炼设备特别适合大批量连续生产高牌号灰铸铁的作业场景。采用冲天炉熔炼的铁液冶金效果好,白口倾向小,铸件切削加工一致性好。我公司铸造二期采用冲天炉-电炉双联熔炼工艺生产柴油机气缸体和气缸盖毛坯,冲天炉熔炼的原始铁液倒入两台80t保温电炉进行保温和成分均匀化,然后出铁液进行孕育和合金化处理后使

用浇包浇注铸件。随着外部行业竞争的加剧,以及内部工艺创新的要求,近年来针对冲天炉熔炼过程进行了若干改进,达到了提升铁液质量、降低生产成本的目的。

2 冲天炉熔炼原理

冲天炉从上到下分为预热区、熔化区、过热区和炉缸区。熔化时从风口鼓入空气,通过空气与炽热的焦炭发生燃烧反应来产生热量,高温炉气上行

第一作者:孙长伟,工程师,硕士,主要从事铸造技术工作, E-mail: suncw@weichai.com。

预热炉料，在熔化区域燃烧最为激烈，使炉料达到熔点熔化成铁液。不同炉料熔点不同，在炉体内熔化发生位置高低略有差别，熔点越低，熔化位置越高。在冲天炉内铁液以液滴的形式存在，铁液滴经过热区和炉缸区下落到炉底，此过程中铁液滴与炉气、焦炭及炉渣等发生复杂的物理-化学反应，C、Mn、S和P等成分发生显著变化。铁液温度在过热区和炉缸上部空气能够到达的区域处于上升阶段，在炉缸下部虽然也有焦炭，但是基本没有空气供给，因此几乎不燃烧发热^[1]，铁液经过此区域时温度降低。在鼓风压力的作用下，铁液到达炉底后被压出炉体进入分渣器，然后在分渣器内完成渣铁分离，整个熔炼过程结束。冲天炉熔炼原理如图1所示。

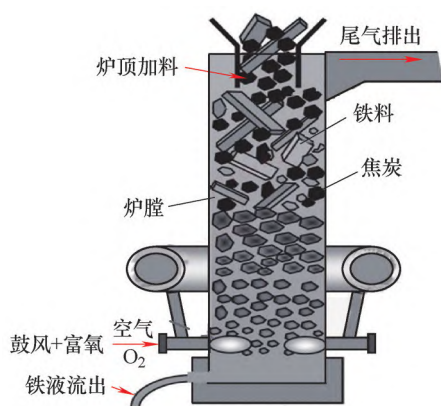


图1 冲天炉熔炼原理

3 KKG冲天炉熔炼参数

我公司冲天炉为德国科特那（KKG）公司设计的35t/h热风富氧水冷长炉龄冲天炉，铁液出炉温度为 $(1540 \pm 20)^\circ\text{C}$ 。熔炼出的铁液倒入保温电炉，铁液碳含量（质量分数）要求 $(3.3 \pm 0.1)\%$ 。实际生产为两班制生产模式，每天化清炉料后打炉，次日重新测量底焦送风熔化。冲天炉连续稳定工作过程中的熔化参数见表1。

在冲天炉运行过程中，由于焦炭消耗量大，吨铁液焦炭平均消耗量高达150kg/t，铁液温度居高不下，出炉温度一度达到1560℃以上，耐火材料侵蚀速度过快，冲天炉周期运行时间短（30天），因此该问题急需解决，以便降低熔炼成本，保障生产安全。

表1 冲天炉连续稳定工作过程中的熔化参数

参数	数值
额定熔化速率/(t/h)	35
铁料批次重量/kg	3000
层焦量(%)	13~15 (占层铁量)
熔剂批用量(%)	20~30 (占层焦量)
首次开炉底焦高度/m	1.3~1.5
熔化周期内底焦高度/m	1.0~1.2
风量/(m ³ /h)	13000~17000
热风温度/℃	450±50
铁液出炉温度/℃	1540±20
熔化速率/(t/h)	30±2
焦炭平均消耗量/(kg/t)	150
炉缸深度/m	1

4 KKG冲天炉熔炼工艺优化

4.1 冲天炉炉体结构改造

2022年对炉缸深度进行了优化，炉缸深度由原来的1m提高到1.15m，提高15%，如图2所示。结构更改后收集生产数据，熔化参数变化见表2。

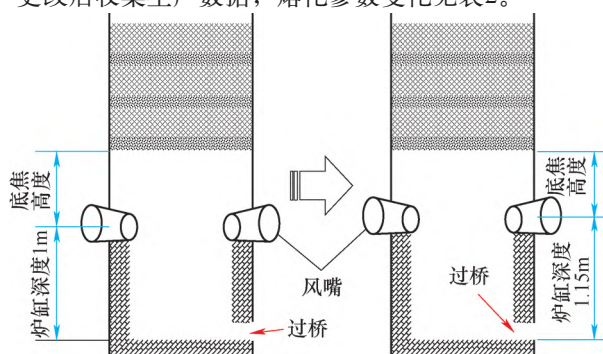


图2 冲天炉炉缸优化示意

(1) 焦炭用量 根据冲天炉熔炼原理^[2]，固态金属料在熔化带开始熔化成铁液滴，其下落过程中经过布满炽热焦炭的底焦层（0.6~0.8m）和炉缸焦炭层（1m）。这是一个增碳的过程，行程越长，增碳越明显，增碳主要在炉缸焦炭层上。因为铁液碳含量工艺要求不变，即总的增碳量不变，所以可将大部分增碳任务放在炉缸层，在增碳总行程基本保持不变的情况下提高炉缸深度，那么需要的运行底焦高度相应降低，反应在实际操作上就是层焦量减少。炉缸加深后增碳效果显著提升，层焦用量降低，焦炭吨铁液消耗量降低到136kg，每年节约成本

表2 炉缸优化后冲天炉熔化参数变化

参数	数值	
	优化前	优化后
层焦量 (%)	13~15 (占层铁量)	11~12 (占层铁量)
熔剂批次用量 (%)	24 (占层焦量)	28 (占层焦量)
首次开炉底焦高度/m	1.3~1.5	1.1~1.3
熔化周期内底焦高度/m	1.0~1.2	0.8~1.0
铁液出炉温度/℃	1540±20	1510±20
焦炭平均消耗量/ (kg/t)	150	136
炉渣量 (%)	—	4.5~5.5
硅铁消耗/ (kg/t)	16.1	16.8
锰硅合金消耗/ (kg/t)	3.8	4.9

500万元以上。

(2) 铁液温度 铁液滴下落到炉底过程中是先升温再降温的过程，升温主要发生在底焦高度和炉缸上沿空气能够到达的地方，也就是所谓的过热区，降温发生在炉缸下层没有空气供给、焦炭不发生燃烧的区域。炉缸结构优化后，在运行底焦高度降低（过热区高度减小）和炉缸深度增加（冷却区高度增加）的双重作用下，使铁液出炉温度降低。铁液出炉温度降低到（1510±20）℃，降低约30℃，铁液温度稳定，耐火材料侵蚀速度降低。我公司在生产灰铸铁气缸体、气缸盖毛坯时，根据产品不同，初浇温度一般要求为1390~1430℃，对应80t电炉保温温度为1440~1480℃。冲天炉熔炼出铁温度1510℃左右，经过流槽降低30℃左右，灌入电炉后刚好满足工艺需要，不需要电炉大量升温^[3]。铸件金相中A石墨达到4级，满足工艺要求，说明铁液质量良好。

(3) 铁液质量 炉渣中FeO含量反应炉内氧化性强弱，一定程度上反应铁液质量的好坏，FeO含量越高，炉内氧化性越强，铁液质量越差。根据相关参考文献介绍^[4]，我公司冲天炉与其余冲天炉的FeO含量对比见表3。

从表3可看出，我公司35t冲天炉炉缸加深后，炉内氧化性增强，并且高于文献[3]介绍的25t/h冲天炉和国外先进冲天炉，说明铁液质量有差距，需要

表3 冲天炉FeO含量对比 (%)

项目	KKG 35t冲天炉		KKG 25t冲天炉	国外先进冲天炉
	炉缸优化前	炉缸优化后		
炉渣FeO含量	1.2	2.2	<2	<1

从生产组织和工艺方面进一步展开研究。另外，硅铁和锰硅合金用量的增加，表明氧化烧损增加，也说明冲天炉氧化性有所提升。

4.2 分渣器修筑工艺改进

冲天炉分渣器采用捣打料修筑，熔化一个周期（30天）后对分渣器进行大修，每次大修时需要剔除所有的耐火材料后重新打结耐火材料。经过多次修筑及测量，发现熔化一个周期后耐火材料侵蚀较为严重的部位侵蚀厚度约占一半，新修筑炉衬厚度320mm，每周熔化结束后剩余的材料厚度为160~200mm。经过讨论研究，尝试采用两种材料分层修筑分渣器。外层紧靠钢板的材料使用浇注料，内层接触铁液的材料使用捣打料，如图3所示。熔化一个周期后内层捣打料基本完全被侵蚀掉，而外层浇注料基本未被侵蚀，修分渣器时只需将剩余薄层捣打料剔除即可，外层的浇注料炉衬仍可以继续使用。另外，由于两种材料产品特性差异，修筑后存在明显的分界线，因此维修时剔除剩余捣打料更加容易，劳动强度大大降低。维修工艺改进后外层浇注料可以使用1年以上。

4.3 小分渣器设计应用

冲天炉熔炼铁液成分因波动较大而无法满足要求时，需要冲调增碳剂、硅铁或锰硅合金，若冲调时未完全熔化的材料进入电炉，则容易导致电炉进铁口堵塞，材料吸收率也不高。通过自主设计安装应用小前炉（见图4），成功解决了这一难题，材料在沟槽位置进行熔化，因铁液液面高度高于通道的上沿，未熔化材料被阻挡在堤坝之前，然后人工清除，确保经过通道的铁液洁净，解决了保温电炉进铁口堵塞的问题，为设备安全稳定运行提供了有效保障。

4.4 炉衬温度监控系统设计应用

由于冲天炉过桥、分渣器和出铁口长期受到高温铁液冲刷和炉渣侵蚀，耐火材料侵蚀速度快，因此使用一段时间（20天左右）后必须对关键部位

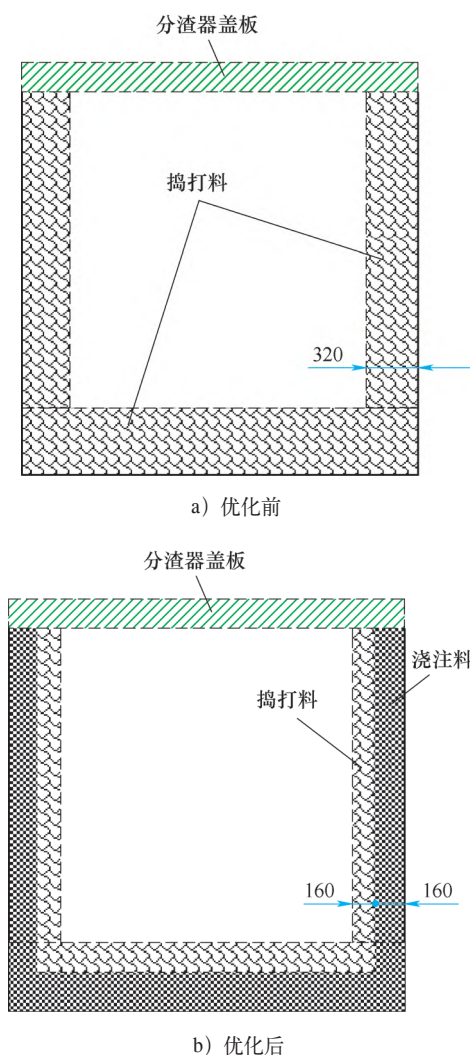


图3 分渣器修筑工艺优化前后示意

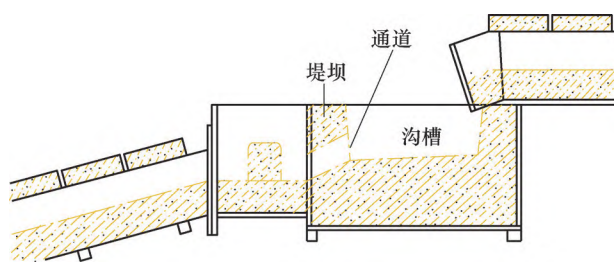


图4 小前炉结构示意图

进行修补。但是修补的时机往往不好把握，若过早修补，则会影响生产效率，若过晚修补，则耐火材料层变薄，由于附近存在冷却水更容易产生安全隐患。因此，需要及时掌握材料侵蚀情况，准确地预估合适的维修时机。为此，设计应用了炉衬温度监控系统（见图5），在过桥（位置1~位置4）、分渣器周围（位置5、位置6）、出铁口底部（位置7）

及出渣口底部（位置8）等风险部位预埋热电偶，实时监控耐火材料温度，掌握材料被侵蚀情况，热电偶显示温度越高，表明耐火材料越薄、侵蚀越快，能够为维修作业提供准确信息，保障冲天炉安全运行。

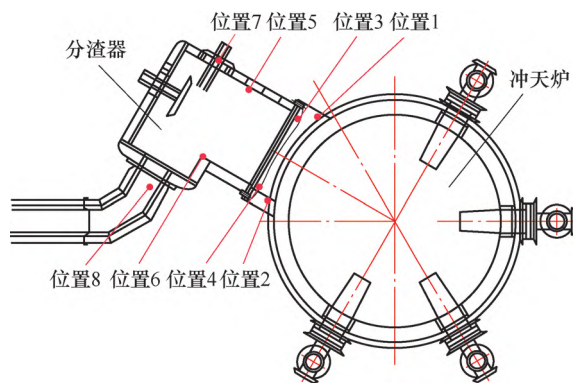


图5 炉衬温度监控系统

5 结束语

针对冲天炉的工艺优化改进，降低了焦炭消耗、耐火材料用量及操作者劳动强度，节约了生产成本。另外，设备安全性升、铁液成分稳定性提升，有助于提高产品可靠性，最终表现为产品竞争力有效提升。该改进思路能够为同行类似生产工艺优化提供成功的经验借鉴。

参考文献：

- [1] 陆文华，李隆盛，黄良余，等. 铸造合金及其熔炼[M]. 北京：机械工业出版社，2002.
- [2] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册（第1卷）：铸铁[M]. 2版. 北京：机械工业出版社，2002.
- [3] 孙长伟，李孝艳，孙帆，等. 大型冲天炉-电炉双联熔炼生产高强度灰铸铁过程控制[J]. 金属加工（热加工），2024（3）：119-123.
- [4] 逯登斌，边庆月，唐文君，等. 25t/h 热风冲天炉的应用及探讨[J]. 铸造工程，2022，46（5）：74-77.

MW 20240812