

Optimization and Analysis of 40 t Steel Ladle Baking Process

Minghua Liu, Xiaoming Dong, Shitao Zhang, Chengwei Tang

Long Products Business Division of Ma'anshan Iron & Steel Company Limited, Ma'anshan Anhui
Email: 610537955@qq.com

Received: May 14th, 2018; accepted: May 28th, 2018; published: Jun. 14th, 2018

Abstract

In order to save energy and reduce the cost, on the basis of analyzing the DTA-TGA data, a new process of steel ladle baking was put forward, and the field test was done. In the new baking process, temperature field data of the steel ladle shell were collected. Through analyzing the data of temperature distribution in the end point and heating rate in different stages, a conclusion was reached, and the steel ladle can reach the thermal saturation state and satisfy the requirement of safety in production in the new baking process.

Keywords

DTA-TGA, Steel Ladle Baking, New Process, Temperature Field, The Heat Saturation State

40吨钢包烘烤工艺的优化与分析

刘明华, 董小明, 张世涛, 唐成伟

马鞍山钢铁股份有限公司长材事业部, 安徽 马鞍山
Email: 610537955@qq.com

收稿日期: 2018年5月14日; 录用日期: 2018年5月28日; 发布日期: 2018年6月14日

摘要

为节约能源降低成本, 在差热分析的基础上提出了钢包烘烤新工艺, 并开展现场实验和分析。采集新烘烤工艺下钢包包壳温度场数据, 通过对终点温度分布和不同阶段升温速率的分析, 发现采用新烘烤工艺的钢包达到了热饱和状态, 能满足安全生产要求。

关键词

差热热重, 钢包烘烤, 新工艺, 温度场, 热饱和

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

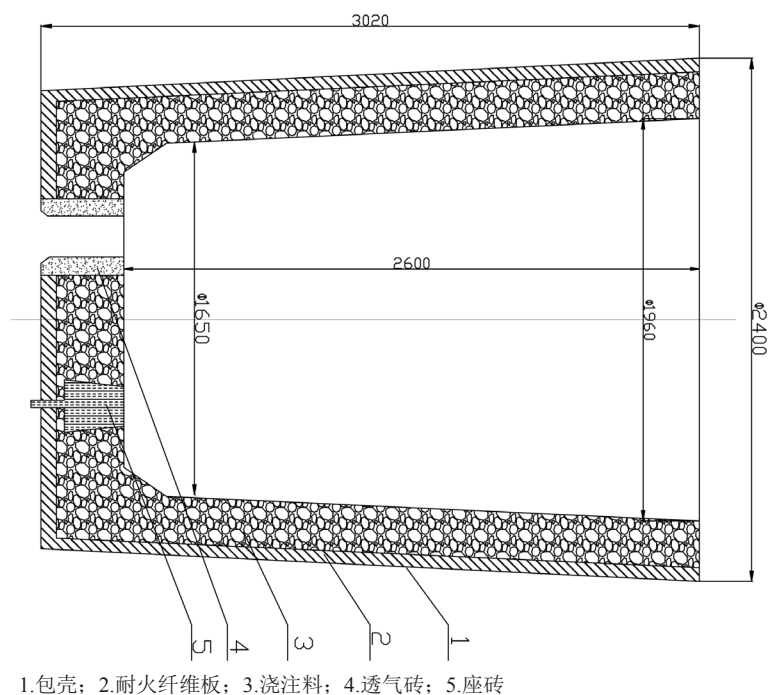
1. 引言

钢包作为钢铁冶炼的重要容器, 起着运输、浇注和炉外精炼作用[1]。本厂钢包分整体和剥拆两种。整体钢包指全部更换内衬的钢包, 剥拆钢包指更换部分内衬的钢包[2]。整体钢包浇注料用量 13.5 吨, 剥拆钢包浇注料用量约 7.0 吨。

本厂钢包采取套浇工艺, 内衬工作层和永久层为同种铝镁浇注料, 无保温层结构。其结构如图 1 所示[2]。

钢包浇注料由不同颗粒级别的不定型耐火材料组成, 施工时加入适当比例的水以确保浇注料具有良好的流动性, 搅拌后放入钢包内, 采用振动棒进行振动使其致密, 并按照规定的时间养护[3]。加入的水分少部分在养护期间自然干燥除去, 大部分存留在浇注料内, 为确保生产安全和钢包的良好使用, 必须对钢包进行一定的烘烤。

浇注后钢包的烘烤为新包烘烤[4]。新包烘烤的目的不仅是将钢包浇注料中水分缓慢充分排出、更重要的是使钢包的内衬达到一定的温度以形成较好的晶相结构, 提高抗冲刷和蓄热保温作用, 最终起到减小



1.包壳; 2.耐火纤维板; 3.浇注料; 4.透气砖; 5.座砖

Figure 1. Schematic diagram of ladle lining structure

图 1. 钢包内衬结构示意图

使用过程中温差过大而导致的内衬热应力过度集中,减少内衬出现剥落、断裂等现象,提高钢包使用寿命的目的[5][6]。

在钢包烘烤器的发展过程中,有三个方面的进步对提高钢包烘烤的效率和质量比较明显:1) 钢包加盖、2) 烧嘴的改进、3) 余热的利用[7]。其中烧嘴的改进又经历了简易高速烧嘴、油气两用烧嘴、自身预热式烧嘴和蓄热式烧嘴四个阶段,目前大多数烘烤器为蓄热室烘烤器[8]。蓄热式钢包烘烤装置集自身预热式烧嘴和新型蓄热式燃烧技术于一体。它主要由换向阀、蓄热室、烧嘴及换向控制装置等主要部分组成。一般分为空气预热、煤气不预热和空气煤气双预热两种形式[9]。

李丽丽等[10]以某钢厂 180 t 钢包和蓄热式烧嘴为基础建立了物理模型,选取包衬中心界面的若干点进行温度跟踪,设定若干初始条件,模拟出不同氧浓度和烘烤时间下钢包跟踪点温度变化趋势图,并进行现场实验,发现实际工况和数值工况几乎相吻合,且钢包从冷包烘烤到工作最低要求温度,经历了升温速度从快变慢的过程,在烘烤 12 h 后升温速度明显下降,到 16 h 后温度变化即不明显,而随着富氧量的增加,烘烤时间也应逐渐减少,富氧到 25% 时需要 14.6 h,富氧到 29% 时仅需要 13.9 h。

2. 浇注料热重分析和钢包烘烤工艺方案设定

目前本厂钢包烘烤器主要由一个钢结构和耐火材料做成的钢包盖和垂直于钢包盖安装的烧嘴构成,采用立式放置[7]。为节约能源,降低成本,本厂技术人员在结合上述分析和以往钢包烘烤工艺提出新的烘烤工艺。新烘烤工艺如下:整体钢小火 24 小时、中火 18 小时、大火 8 小时;剥拆钢包小火 16 小时、中火 16 小时、大火 8 小时。

实验设备:综合热分析仪:型号:STA449C,生产厂家:德国耐驰仪器制造有限公司;手持红外测温仪:生产厂家:香港希玛,型号:852B,测量范围为 $-50^{\circ}\text{C}\sim 950^{\circ}\text{C}$,精度: 1°C 。

首先对浇注料进行差热热重分析[11]。现场取样粉碎加入 6% 的水搅拌均匀。其差热热重曲线如图 2 所示。

图 2 为浇注料样品 DSC-TG 曲线。由 TG 曲线可知,样品从室温加热到 115°C 有大量失重,失重为 6%,主要是加入的水。样品的主要失重阶段为 50°C 至 115°C ,且观察 DSC 曲线可知样品在 60°C 存在一个明显的吸热峰,根据样品的组成,可以判断此阶段的失重主要为配加的水。随着温度的不断升高直至结束,浇注料还有一定的失重,但较小为 0.5%。

通过测量得知烘烤终点时刻钢包内衬包口温度可以达到 813°C 。以浇注料样品 DSC-TG 曲线分析为基础。针对新烘烤工艺开展现场实验,但由于设备限制包膛内部的温度无法精准测量,结合实际情况采用手持红外测温仪测量钢包外壳的温度作为参考温度[12][13]。

本实验钢包热状态研究和数据分析的思路为[12]:浇注料差热分析 \rightarrow 提出优化方案 \rightarrow 现场温度测量 \rightarrow 温度数据分析确定钢包烘烤是否饱和。根据新烘烤方案开展相关工业实验,对烘烤过程钢包包壳测温点的温度进行测量并记录[10][13]。

实验方案如下[10][12][13][14]:在新烘烤工艺下以钢包包底为零位,距离包底 0、100、210、800、1200、1600、2200 mm 的位置作为测温点,标记为 1-7[#]。钢包烘烤一段时间后开始测温,每隔一段时间测温一次。

3. 数据采集和分析

本实验的主要目的是验证新烘烤工艺下钢包浇注料是否达到热饱和状态,也确认浇注料中加入的水完全除去。烘烤阶段钢包截面温度分布规律大致相同,故取某一时间点进行分析[1]。通过对烘烤过程中测温点温度场的分布和在不同阶段升温速率的分析来确认浇注料是否达到热饱和状态。本次实验数据采集

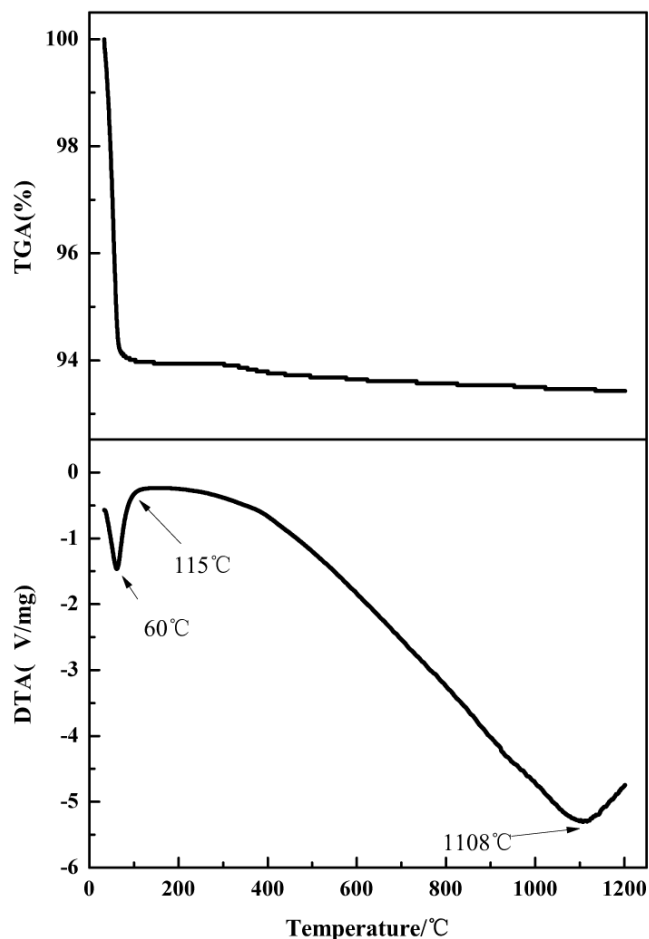


Figure 2. The DSC-TG curve of ladle pouring material
图 2. 钢包浇注料 DSC-TG 曲线

分整体钢包和剥拆钢包两种。初步分析比对发现两种类型的钢包在新烘烤工艺下温度场分布几乎相同。剥拆包浇注料用量约为整体包的 50%，而烘烤时间为整体包 80%，故本文只对整体钢包作细致分析。

整体钢包烘烤过程中测温点温度场分布和变化如表 1 和图 3 所示。

由表 1 和图 3 可知钢包外壳温度与烘烤时间基本上呈正比关系[10] [12] [13] [14]，烘烤结束时距离包底 0.8 m 至 1.6 m 的区间温度在 221°C 至 230°C，包口位置温度高达到 303°C。40 小时后此区间温度场差异不大几乎重合。特别是在中火结束大火开始时，各点的升温曲线几乎重叠。钢包此区域的温度趋于一致，说明在烘烤后期钢包上部的温度趋于平衡，此区域浇注料达到热饱和状态。烘烤结束时包底 0.00 m 至 0.21 m 处温度差异较大，仍具有一定的升温空间。钢包烘烤到第 47 小时最低温度在 1#测温点处为 123°C，已高于浇注料水分几乎完全分解的 115°C。但现场浇注料用量与热重分析量存在巨大差别，且钢包外壳具有一定的封闭性，考虑到气体的扩散以及煤气热值的波动，为确保安全生产需要在高于浇注料完全失水的温度下保温一定的时间。本厂钢包浇注料内衬具有一致性，比热、导热率等物性参数相同。研究表明耐材浇注料的导热和厚度呈线性关系。将终点温度和壁厚做乘积，包底 $380 \times 132 = 50,160$ ，包墙 $210 \times 228 = 47,880$ ，二者相差 2280，考虑到包口散热的因素，说明钢包受热较为均匀。

钢包烘烤过程中测温点在不同阶段的升温速率也是判断烘烤是否饱和的指标之一。测温点在中火和大火阶段的升温速率如表 2 所示。

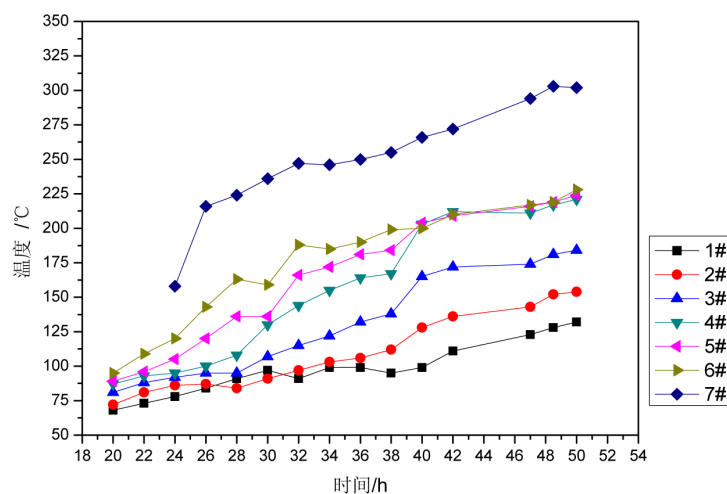


Figure 3. Temperature changing curve during the ladle baking process
图 3. 整体钢包烘烤过程中温度变化曲线

Table 1. Temperature field distribution in the process of ladle baking (°C)

表 1. 整体钢包烘烤过程中温度场分布(°C)

Test time/H	Test point	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#
20		68	72	81	87	89	95	-
22		73	81	88	93	96	109	-
24		78	86	92	95	105	120	158
26		84	87	95	100	120	143	216
28		91	84	95	108	136	163	224
30		97	91	107	130	136	159	236
32		91	97	115	144	166	188	247
34		99	103	122	155	172	185	246
36		99	106	132	164	181	190	250
38		95	112	138	167	184	199	255
40		99	128	165	203	204	200	266
42		111	136	172	212	209	210	272
47		123	143	174	211	216	217	294
48.5		128	152	181	217	219	219	303
50		132	154	184	221	224	228	302

由表 2 可知在烘烤过程中只有 0.21 m 以下测温点在大火阶段的升温速率大于中火, 其中包底最为明显, 其大火阶段的升温速率是中火阶段的 2 倍。其他区域测温点大火升温速率明显低于中火[10]。

综上分析说明烘烤结束时钢包已达到热饱和状态水分几乎全部除去。新烘烤工艺的钢包在使用过程中跟踪观察未出现异常情况, 实践进一步证明新烘烤工艺能够满足容积 40 吨钢包安全生产的需要。在后期的工作中要做好钢包气孔的疏通, 以便烘烤过程中水汽的排出, 确保烘烤效果。

Table 2. Rate of heating during middle and big fire phases at the temperature measuring point
表 2. 测温点中火和大火阶段升温速率

K(°C/h)	Test point	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]
	中火		1.53	2.33	3.63	5.58	5.86	5.47
大火		3.10	2.48	1.84	1.51	1.83	2.34	3.97

4. 节约效益

新烘烤工艺相比就烘烤工艺整体包缩短 8 小时、剥拆包缩短 6 小时, 中火煤气消耗约 200 元/小时。根据 2016 年数据: 整体包和剥拆包比为: 9.3:90.7, 包龄 77.65 炉, 每炉单重 38.00 吨算得吨钢降本 0.4193 元。

5. 结论

在分析浇注料差热重和以往钢包烘烤工艺的基础上提出了钢包烘烤新工艺, 通过对钢包测温点烘烤结束时刻温度场、不同阶段升温速率的分析以及上线使用发现新烘烤工艺能满足生产的需要。

参考文献

- [1] 程本军, 等. 整体浇注钢包烘烤过程中内衬温度场和应力场分析[J]. 硅酸盐学报, 2012, 31(1): 25-26.
- [2] 马鞍山钢铁股份有限公司长材事业部. 连铸工艺技术规程(2015 版) [Z]. 17-19.
- [3] 陈颖, 李春红, 等. 组合浇注整体包底减少钢包烘烤时间的探析[J]. 中国新技术新产品, 2013, 250(12): 125-126.
- [4] 冯聚和, 等, 编. 铁水预处理与钢水炉外精炼[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 242-243.
- [5] 刘占增, 郭鸿志. 钢包传热研究的发展现状[J]. 钢铁研究, 2007, 35(1): 59-61.
- [6] 金从进, 丘文冬, 等. 烘烤过程钢包包壁温度场的有限元研究[J]. 耐火材料, 2001, 35(1): 24-35.
- [7] 饶荣水. 钢包烘烤技术的发展[J]. 工业加热, 2000(3): 8-10.
- [8] 李淑芬. 钢包烘烤装置的发展[J]. 冶金能源, 2003, 22(3): 37-39.
- [9] 吴光亮, 朱荣, 等. 蓄热式钢包烘烤装置优化设计[J]. 特殊钢, 2003, 24(1): 24-26.
- [10] 李丽丽, 郑丽君, 等. 富氧蓄热式钢包烘烤工艺技术可行性研究[J]. 材料与冶金学报, 2015, 14(3): 171-174.
- [11] 周海球. 热分析技术在陶瓷材料烧结过程中的应用研究[D]. [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2012: 7-9.
- [12] 陆富汉, 唐捷. 钢包烘烤新工艺的开发和应用[C]//中国金属学会. 2004 全国能源与热工学术年会论文集. 北京: 中国金属学会, 2004: 27-28.
- [13] 潘树敏, 张征辉, 等. 邯宝炼钢厂 250t 包烘烤研究[C]//中国金属学会. 第八届(2011)中国钢铁年会论文集. 北京: 中国金属学会, 2011.
- [14] 田乃媛, 梁柏勇, 等. 迁钢 210t 钢包烘烤过程热测试[J]. 冶金能源, 2009, 28(6): 54-55.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2373-1478，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：meng@hanspub.org