

## 可量化的引流砂烧结性实验研究

邵俊宁<sup>1</sup>, 曹 勇<sup>2</sup>, 郭汉杰<sup>3</sup>

(1 河北省首钢迁安钢铁有限责任公司, 迁安, 中国, 064404; 2 首钢技术研究院, 北京, 中国, 100043; 3 北京科技大学, 北京, 中国, 100083)

**摘 要:** 本文通过量化引流砂的烧结性研究, 探讨了调整引流砂烧结性和引流砂烧结性—钢水静压力—自开之间最佳平衡点, 获得了相对稳定、趋势一致的引流砂烧结强度和铬矿砂:石英砂比例, 改善了引流砂的烧结性; 在引流砂调配过程中找到了烧结性—钢水静压力—自开之间的最佳平衡点。并发现, 烧结强度高于钢水静压力和浇钢时热应力引起脆性烧结层裂纹迅速扩展是引流砂调配的关键。

**关键词:** 钢包; 引流砂; 自开率

### The Quantifiable Experimental Research on Sintering

#### Character of Drainage Sand

Junning SHAO<sup>1</sup>, Yong CAO<sup>2</sup>, Hanjie GUO<sup>3</sup>

(1. Hebei Shougang Qianan Iron and Steel Co., Ltd, Qianan, China; 2. Shougang Research Institute of Technology, Beijing, China; 3. University of Science and Technology Beijing, Beijing, China)

**Abstract:** Through quantifiable research on sintering properties of drainage sand, adjustment of drainage sand's sintering properties and the best balance between sintering properties of drainage sand and static pressure of steel and opening rate of tapping hole are discussed. Relatively stable sintering strength of drainage sand and ratios with consistent tendency between chromium sand and quartz sand are got and sintering properties of drainage sand are improved. By adjustment of drainage sand the best balance between drainage sand sintering properties and static pressure of steel and opening rate is realized. The sintering strength of drainage sand which is higher than the steel static pressure and the rapid crack expansion of brittle sintering layer caused by heat stress when casting are the two keys for adjustment of drainage sand.

**Key Words:** ladle; drainage sand; opening rate

## 1 引言

钢包上水口在钢水浇铸时能否成功自开关系到钢水的连续浇铸和质量, 在迁钢公司生产高档汽车板钢、硅钢的产品定位中意义重大。

引流砂的作用机理是: 填充于钢包上水口内引流砂的上表面在钢水的热作用

下产生了较薄的烧结层，形成“壳体”，一旦滑板打开，水口内绝大多数未烧结的砂体自由下落，同时钢水静压力压破“壳体”，钢水自动流出。因此，引流砂的烧结性应与钢水静压力建立关系。

文献<sup>[1-9]</sup>对不同容量钢包，从引流砂的配制、特性，以及改善钢包自开率的技术措施等方面已有一定的研究。但对引流砂烧结性迄今仍停留于定性的表述上。例如，有人把引流砂自然填充于 $\phi_{\text{外}}70\text{mm} \times \phi_{\text{内}}50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的氧化铝坩埚内，在电炉中烧成后，依靠测定者的手指触摸来判断其烧结程度<sup>[1, 4]</sup>，并分为 $S_0 \sim S_6$ 六个级别进行评价。 $S_0$ 的评价为：根本未烧结； $S_1$ ：微烧结，用手一碰就散了； $S_2$ ：开始烧结用手指能掘动； $S_3$ ：开始烧结用手指勉强掘动； $S_4$ ：开始烧结用手指能取下颗粒； $S_5$ ：完全烧结。烧结程度的最佳范围为 $S_3 \sim S_4$ 。这种定性方法所描述的引流砂烧结性因人而异，也因时而异，与钢包钢水静压力不能建立量化的联系，实际较难根据级别推断和掌握引流砂表层的烧结程度。

本研究从实验室角度，实验并推出一种能量化引流砂烧结性的方法，通过有形的引流砂实验样品，研究可靠、稳定的数值，将烧结性量化，以助判断引流砂质量的适宜性，指导引流砂的改进，有助于改善钢铁企业改善钢包自开率。

## 2 引流砂烧结性量化实验

### 2.1 引流砂烧结性量化实验方法

烧结后的强度值是表征引流砂的烧结性的最重要的指标，而要测试强度值必须将散状的引流砂成型。因此必须避免成型用的结合剂对引流砂烧结强度产生干扰。针对烧结后强度表征的特点，本研究设计了量化引流砂烧结性实验。

#### 2.1.1 实验原理

通过试样焙烧后的强度来体现引流砂烧结性，用焙烧试样的抗折强度值大小表征引流砂在高温下的烧结性的强弱。用以上量化的引流砂的烧结性，准确判断引流砂能否在钢水静压力下被压碎、能否实现自开，以便对引流砂作出相应的调整，保障出钢过程的顺行。

#### 2.1.2 实验方法

1) 将1~10% (重量比) 的暂时性结合剂(如：淀粉、树胶、纤维素等)与100% (重量比) 引流砂均匀混合，加2~10% 的自来水(重量比)进行搅拌均匀；

2) 通过压力机，在3000N 压力下将均匀混有结合剂的散砂压制成 $25 \times 25 \times 130\text{mm}$  的条形试样。

3) 成型后的试样在室温、大气条件下自然干燥1天，然后在 $110^\circ\text{C}$ 烘箱内干燥；

4) 干燥后的试样按设定的实验温度, 在高温炉 (SiC 棒炉或 SiMo 棒炉) 内进行焙烧, 并随炉冷却至室温, 冷却后, 测试其抗折强度。

### 2.1.3 结合剂的选择

选择适宜的结合剂是本实验关键所在。要想获得令人相信和准确的引流砂烧结性量化结果, 制样所用结合剂不能对试样的焙烧强度产生任何影响。即试样开始烧结后所表现出的强度值只应是引流砂自身烧结产生的, 与所用的结合剂无关。表 1 所示的测试结果显示了所选用的结合剂对烧结强度的影响。

表 1. 烧结性实验量化结果

测试条件	实验样/MPa
110℃×0.5h	1.6
500℃×0.5h	0.0
1000℃×0.5h	0.0
1200℃×0.5h	0.0
1400℃×0.5h	<0.2
1500℃×0.5h	0.5
1600℃×0.5h	1.2

表 1 测试结果显示, 所选用的暂时性结合剂在低温可提供试样出/入炉所需要的足够结合强度, 当温度在 500~1200℃ 范围时, 结合剂所提供的结合强度丧失殆尽, 表现为手触即溃, 不再为试样提供结合强度。温度升高到 1400℃ 之后所显示的强度就是引流砂因烧结而产生的强度, 它未受但结合剂结合作用的影响。

### 2.2 不同条件下的烧结性量化实验

对不同制样方式、制样条件和热处理条件下引流砂的烧结强度进行了测试比较。实验采用暂时性结合剂, 制成 25×25×125mm 试样。烧结强度测试结果示于图 1、图 2 和图 3。

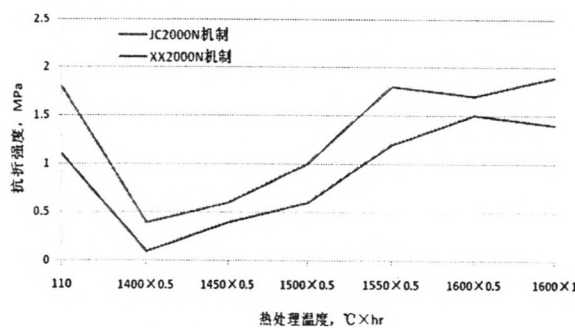


图 1. 两种引流砂 2000N 机制样的烧结强度对比

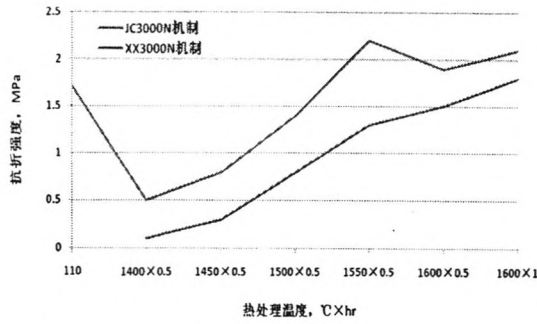


图 2. 两种引流砂 3000N 机制样的烧结强度对比

由图 1 和图 2 比较两种引流砂，JC 砂的烧结性略高于 XX 砂，而且，两种引流砂随着热处理温度的提高，烧结强度变化具有类似走势，且压制压力在 2000~3000N 间对试样的烧结强度基本没有显著的影响。

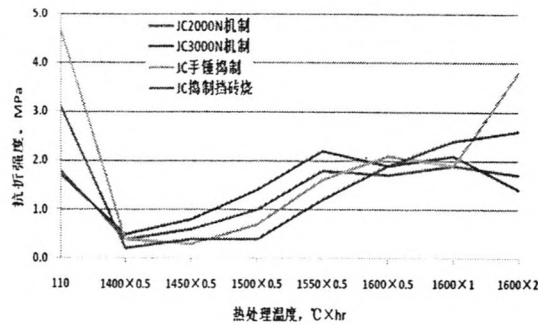


图 3. 引流砂不同制样方式的烧结强度对比

从图 3 看，机制试样的测试数据相对比较稳定且接近，捣制试样的测试数据与机制试样的测试数据有偏差。分析认为，这是手工捣制试样的捣致力量因制样人的差别和制样时间的不同，使所制试样的密度有差异，即试样内部颗粒的接触存在差异，而在一定程度上影响到颗粒间的烧结程度有关。因此制样应采用机制的方式，在相同的压制压力下，求得均匀一致的致密结构。

另外，由图 3 还看到，挡砖烧制的试样随温度升高，烧结强度呈现稳定的提升走势，且烧结强度普遍低于未挡砖烧制的试样。分析认为这是由于在实验室加热炉内进行烧结处理时，试样的五个表面都受到来自加热棒的热辐射，其烧结状态与引流砂实际使用时单面受热的状态不一样所致。因此，未挡砖烧制的试样的烧结强度总体高于挡砖烧制的试样。说明在进行引流砂烧结性测试时应将试样置于匣钵中，或在试样周围挡砖进行烧结处理，以最大程度地接近引流砂的实际使用状态。

总体来看，测试实验所获烧结性数据基本稳定，具有一定重复性，也呈现出随烧结温度升高强度增大的趋势，说明所涉及烧结性量化实验方法可行。

### 2.3 铬矿砂与石英砂比例与烧结性研究

利用引流砂烧结性量化实验方法,对引流砂中铬矿砂和石英砂比例对其烧结性的影响进行了实验研究,结果示于表 2。

表 2. 不同铬矿砂:石英砂比的烧结强度比较

项目	调整砂 1	调整砂 2	调整砂 3	对比砂
SiO <sub>2</sub>	79.35	66.38	59.31	20.40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.19	14.43	16.74	29.46
1400℃×0.5h	0.0	0.1	0.1	0.2
1500℃×0.5h	0.0	—	—	0.4
1600℃×0.5h	0.1	0.2	0.2	1.9
1600℃×2h	0.1	0.3	0.6	2.6

从表 2 看,随着 SiO<sub>2</sub> 含量的降低,或者 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量的增加,引流砂的烧结性提高。而且与 210 吨钢包钢水静压力 0.25MPa 相比较,调整砂 2 和调整砂 3 的烧结强度与之相当,预示着钢水静压力可以压碎引流砂的烧结层。

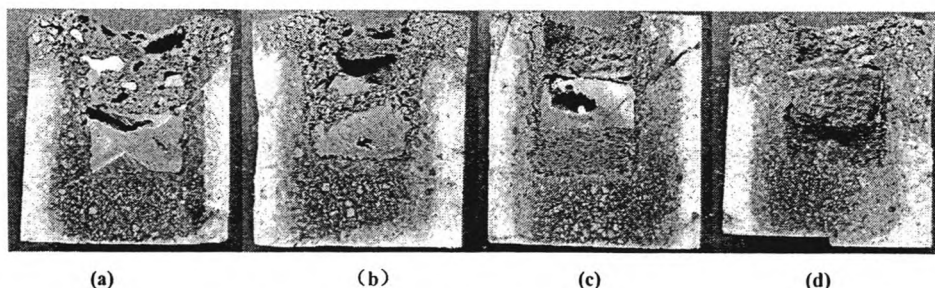
### 3 引流砂烧结性与“钢砂冻结”现象之间的关系

有了这种量化引流砂烧结性的方法,砂的烧结强度—钢水静压力—自开之间应该如何平衡将是下一步关注的问题。下面的初步实验反映出三者之间存在最佳平衡点。

在这里,我们先定义由于引流砂上浮,钢水下沉所引起的钢砂混合且钢水凝固的现象为“钢砂冻结”。

从图 4 看到,低烧结强度的调整砂无论是否经过预烧结处理,在加入钢块后的 1600℃×4hr 实验过程中,最终都发生了引流砂上浮至钢水表面,而钢块化为钢水后都沉到了引流砂之下,二者的相对位置发生了根本性的改变。对比砂则不然,无论是否经过预烧结处理,在加入钢块后的 1600℃×4hr 实验过程中,钢块化为钢水后,仍然留在引流砂的表层之上。但从留存的对比砂的高度看,差异在于未经过预烧结处理的对比砂高度略有不足,似有一些砂上浮了。

这种现象说明调整引流砂的烧结性需要有限度,不能仅根据钢包钢水静压力来调整,如果砂的烧结性太低,由于烧结不足、钢水冲刷,以及砂、钢间很大的比重差异,在出钢或钢水搅动过程中,未形成连续烧结层的引流砂存在上浮的可能性。又由于上水口区域温度是钢包温度最低区域,当钢水下沉至足够深度后,就存在钢水冷凝并冻结引流砂的可能性。特别是假若出钢过程存在仿真分析所显示的砂丘背面(相对钢流而言)形成旋涡状态时,由于引流砂丘被破坏,可能加剧这种砂上浮钢下沉引起的砂被冻结的状况。从而导致需多支氧枪才能烧通上水口的情形发生。实验说明为避免由于引流砂上浮和钢液下沉而造成上水口内砂被冻结,砂的烧结性应高于钢水静压力。



(a)调整砂, 未经过预烧结处理 (b)经过预烧结的调整砂 (c)对比砂, 未经过预烧结处理 (d)经过预烧结的对比砂

图 4. 钢水下沉而引流砂上浮过程的坩埚实验(1600℃×4hr)

但引流砂烧结强度高于钢包钢水静压力, 是否又存在不能压碎引流砂烧结层难以自开的问题呢? 根据相关文献获知, 由适宜数量铬矿砂配制的引流砂在使用条件下, 铬铁矿中 FeO 反应脱溶并形成二次尖晶石, 使烧结层体积发生变化, 浇钢时, 砂流出水口后, 由于冷空气的进入, 造成引流砂烧结层上下两侧产生很大的热应力, 热应力引起脆性烧结层裂纹迅速扩展, 在钢水的静压力作用下烧结层完全被破坏, 烧结强度从而降低, 实现被钢水压碎而自开。

因此, 引流砂调配过程中应该在烧结性—钢水静压力—自开之间寻求最佳平衡点。使用过程中烧结强度高于钢水静压力和浇钢时热应力引起脆性烧结层裂纹迅速扩展应该是引流砂调配的两个关键点。

## 4 结论

通过量化引流砂的烧结性研究, 探讨了调整引流砂烧结性和寻求引流砂烧结性—钢水静压力—自开之间最佳平衡点, 得到如下结论:

- 1) 设计的可量化引流砂烧结性的方法, 获得了相对稳定、趋势一致的引流砂烧结强度;
- 2) 通过研究调整铬矿砂:石英砂比例, 改善了引流砂的烧结性;
- 3) 在引流砂调配过程中找到了烧结性—钢水静压力—自开之间的最佳平衡点。在使用过程中, 当烧结强度高于钢水静压力和浇钢时热应力引起脆性烧结层裂纹迅速扩展是引流砂调配的关键。

作者简介: 邵俊宁男, 男, 高级工程师, 1992年毕业于济南大学, 目前研究生在读, 技术质量部耐材管理, 从事钢铁流程耐火材料的使用管理, 联系方式: 13932527372 (手机), 0315-7703916 (座机), E-mail: sjn1026@yahoo.com.cn, 邮编:064404

## 参考文献

- [1] Miyajima masakazu, The improvement of technology on sliding nozzle' s natural opening in ladle for the first steel plant in steel company[J], *Foreign Refractory*, 1990, №12, P20-26 (Ch).

- 宫岛正和等, 钢铁厂第一炼钢车间钢包滑动水口自然开孔技术的改进[J], 国外耐火材料, 1990, №12, P20-26.
- [2] Liu Kaiqi, Development of chromite-based stuffing sand for ladle[J], *Refractory Material*, 2001, 35(4), P219-220 (Ch).  
刘开琪等, 钢包用铬质引流砂的研制[J], 耐火材料, 2001, 35(4), P219-220.
- [3] Qiu wending, Investigation on improving ladle free-opening performance[J], *Refractory Material*, 2003, 37(1), P19-21, P27 (Ch).  
邱文冬等, 提高连铸钢包自动开浇率的研究[J], 耐火材料, 2003, 37(1), P19-21, P27.
- [4] Mi yuan, Factors influencing rate of ladle free-opening and its control measures[J], *WISCO TECHNOLOGY*, 2007, 45(2), P17-20 (Ch).  
米源, 影响钢包自动开浇率的因素分析及措施[J], 武钢技术, 2007, 45(2), P17-20.
- [5] Zhu Hongxi, Flowability and sintering performance of stuffing sands used for ladle[J], *J. of Wuhan Uni. of Sci. & Tech. (Natural Science Edition)*, 2007, 30(6), 592-594, 628 (Ch).  
祝洪喜等, 钢包用引流材料的流动性能与烧结性能[J], 武汉科技大学学报(自然科学版), 2007, 30(6), 592-594, 628.
- [6] A. G. Tomba M, Ladle filler sand evaluation[J], *ANGANG TECHNOLOGY*, 2007, №6, P48-50 (Ch).  
A. G. Tomba M 等, 钢包引流砂性能的测定[J], 鞍钢技术, 2007, №6, P48-50.
- [7] Zhu Hongxi, Features and influence factors of stuffing sand used for ladle[J], *STEEL MAKING*, 2008, 24(5), P49-53 (Ch).  
祝洪喜等, 钢包用引流材料的特性与控制参数[J], 炼钢, 2008, 24(5), P49-53.
- [8] You Liang, Increase Automatically Open Casting Ladle Rate[J], *Friend of Science Amateurs*, 2010, P7~9.  
尤良, 提高钢包自动开浇率[J], 科学之友, 2010, P7~9.
- [9] Liu Feng, Effect of water content of stuffing sand on ladle free-opening performance[J], *Refractory Material*, 2011, 45(2), P112-114  
刘锋等, 引流砂含水量对钢包自动开浇率的影响[J], 耐火材料, 2011, 45(2), P112-114