

· 设备研究 ·

中频炉酸性炉衬使用寿命的探讨

周育

(天津市浩湖科工贸有限公司,天津 300074)

摘要 通过对炉衬材料的选择,作用机理及影响石英砂炉衬材料寿命的相关因素的阐述,说明了SD-T-A石英砂干振料可提高中频炉酸性炉衬使用寿命的原因。

关键词 耐火度;热膨胀系数;石英砂;硼酐;烧结

中图分类号: TG232.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-6178(2004)01-0007-05

Discussion of the Life of Acidic Liner for Medium-Frequency Induction Furnace

ZHOU Yu

(Tianjin Haohu Technology Science & trade Co. Ltd, Tianjin 300074, China)

Abstract The choose of liner materials, working principle and factors of influencing the life of liner material were described and the reason of prolonging the life of medium-frequency induction furnace by using SD-T-A silica sand dry material was discussed.

Key Words refractoriness; thermal expansion coefficient; silica sand; B_2O_3 ; sintering

在0.5 t、1 t、5 t、8 t、20 t无芯中频感应炉上采用SD-T-A系列石英砂干振料,熔化使用炉龄稳定达到450炉次,双联24h连续使用炉龄稳定达到5周。创造了使用国内耐火材料的良好记录。下面是我们对提高中频感应炉炉衬炉龄的体会。

1 炉衬材料的选择

感应炉对制作炉衬的耐火材料有严格的要求。

1) 足够的耐火度。作为感应炉炉衬材料,其耐火度应高于1700℃,软化温度应高于1650℃。

2) 良好的热态稳定性。由于炉衬壁内外侧温度梯度差很大,加之受到出铁、加料和停炉等影响,炉壁温度总是在变化,随之而产生体积的膨胀和收缩,因此要求制作炉衬的耐火材料应该有优良的热稳定性。

3) 高的化学稳定性。炉衬材料的化学稳定性和炉衬材料的使用寿命有密切关系,炉衬材料要有一定的低温强度,在高温时不易分解和还原,在熔炼过程中,不易与炉渣形成低熔点物质,不与铁水和添加剂产生化学反应,使铁水成份发生变化。

4) 较高的机械性能。在低温状态时要能随炉料的冲击,在高温状态下能承受铁水的静压力和强力的电磁搅拌作用,在铁水的长期冲刷使用下耐磨和耐蚀。

5) 绝缘性好。炉衬材料在高温状态下不得导

电,否则会引起漏电和短路而造成事故。

6) 施工性能好,烧结性能好,筑炉及维修方便。针对中频炉用于熔化生产灰铁件、球墨铸铁件、碳钢件、低合金钢件以及铸铜的用户,综合考虑以上因素,并经过实践证明,采用石英砂是较理想的炉衬材料。使用石英砂耐火度为1720℃,经过相变处理后,各项热物理参数大幅度提高。打结的酸性炉衬成本低,并且原材料来源广泛、高温强度高、耐急冷急热性强,烧结性能好。

2 酸性炉衬材料对炉衬寿命的影响

2.1 炉衬材料中各成份对炉衬寿命的影响

2.1.1 石英砂纯度

石英砂的耐火度主要取决于 SiO_2 的含量。作为坩埚材料,石英砂中 SiO_2 的含量应大于99%, CaO 和 Fe_2O_3 等杂质含量应低于0.2%,特别是碱金属氧化物含量应小于0.2%,部分集中的杂质能使炉衬产生熔洞,而渗漏铁水,并且部分杂质在炉衬上结疤,严重影响熔化,从而影响炉衬的使用寿命。有关氧化铁杂质的影响如表1所示。

2.1.2 石英砂中含水量

石英砂含水量过高,在石英砂烧结过程中水分不易尽快排出,即使长时间烘炉,也易在加热时引起水蒸汽残留从而在炉衬中出现孔洞。石英砂中水分对炉衬的影响见图1。

表1 氧化铁杂质对炉衬的影响

Fe ₂ O ₃ 在炉衬材料的比率/%	炉衬使用寿命比率/%
0	100
5	90
10	80
15	60

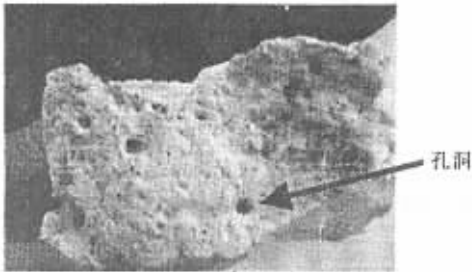


图1 石英砂水分对炉衬的影响

2.1.3 石英砂中的添加剂

1) 在石英砂材料中一般使用硼酸(H_3BO_3)或硼酐(B_2O_3)为添加剂,主要作用是降低烧结温度。因为石英砂材料的烧结温度较高,硼酸在加热时分解,以 B_2O_3 的形式存在于砂料中。在 $1000\text{ }^\circ\text{C} \sim 1300\text{ }^\circ\text{C}$ 时 B_2O_3 和砂料中 SiO_2 等形成低熔点的化合物($SiO_2 \cdot B_2O_3$ 熔点为 $500\text{ }^\circ\text{C}$),从而降低烧结熔点,改善烧结条件,提高烧结质量。并且在砂料中加入硼酸后,会降低砂料在烧结过程中发生的热胀冷缩而导致体积变化产生的裂纹倾向性。

但由于在硼酸受热分解过程中生成大量水蒸汽,如不能及时排出,易在炉衬底部产生蜂窝状气孔。SD-A系列石英砂干振料已将硼酐(硼酸脱水后的产物)作为添加剂。

不同的使用温度对硼酐或硼酸的加入量也有不同要求。作为添加剂如加入量过多,会导致耐火材料的熔点降低,在较高的烧结温度下也会使炉衬的烧结层过厚,体积变化加大,影响使用寿命并对拆炉工作带来难度。表2为添加剂占砂料的比率。

表2 添加剂占砂料的比率

硼酸(H_3BO_3)	最高温度/ $^\circ\text{C}$	工作温度/ $^\circ\text{C}$
1.4	1560	1500
1.6	1530	1470
1.8	1480	1420
硼酐(B_2O_3)	最高温度/ $^\circ\text{C}$	工作温度/ $^\circ\text{C}$
0.8	1560	1500
0.9	1530	1470
1.0	1480	1420

在生产中经常出现炉底材料被熔蚀,而上部完好情况。图2为炉衬状况。

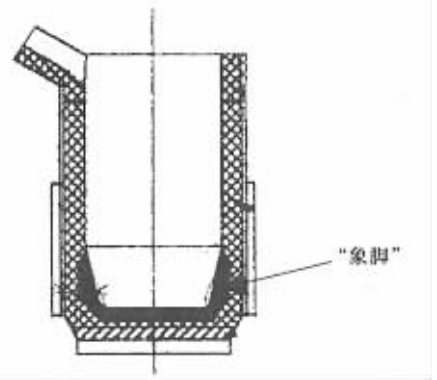


图2 炉衬状况

这一熔蚀问题普遍发生于电炉中,而这一现象往往导致炉衬材料上半部分仍然完好,下半部分已无法使用需重新筑炉,生产效率降低,造成资金的浪费。在长期实践中,我们认为在炉衬材料中添加氧化锆可有效的防止铁水对炉衬底部的侵蚀。SD-A系列干振料的化学成份如下(质量分数,%):

SiO_2 99% ; Al_2O_3 0.3% ; Fe_2O_3 0.02% ; ZrO_2 : 0.08 其它 0.1%。

2.2 炉衬材料的粒度和颗粒形状的选择

2.2.1 粒度选择

炉衬材料中,粗、中、细粒度各起不同作用。对感应炉炉衬的寿命有很大关系。合理的粒度配合比可以使坩埚的气孔率最小,致密性最高,烧结性好和耐激冷激热性好。

粗粒度砂料在炉衬中起着骨架作用,使炉衬具有一定的强度,使炉衬的抗冲击性提高,高温性能好,抗渣性能提高,且能改善炉子的隔热性能。但如果粗粒度砂粒过多,则打结密度差,在与金属接触的表面难以形成稳固和完整的烧结层,并使炉衬烧结时膨胀较大,容易引起炉衬破裂,孔隙率增加,影响炉衬寿命。中粒度砂料可有效填充粗粒度砂料的间隙,增加了堆积密度可改善炉衬的烧结性能,提高炉衬强度。

细粒度砂可保证炉衬的烧结性能和质量,以及烧结网络的连续性,使炉衬具有良好的致密性。但细砂料容易烧蚀,若含量太高,耐火度及抗渣侵蚀性能会降低。同时细砂的表面活性大,易熔融及同炉渣反应,使炉衬的使用寿命缩短。

炉衬材料经振动打实后,容重应在 $2.15\text{ kg/cm}^3 \sim 2.20\text{ kg/cm}^3$ 之间。这是由于炉衬烧结后最终形成稳定的方石英,方石英的体密度为 $2.15\text{ kg/cm}^3 \sim 2.20\text{ kg/cm}^3$ 之间。这一容重的炉衬在整个炉役过

程中保持良好的热态稳定性。SD—A 系列干振料完全符合这一要求。

为了提高炉衬的使用寿命,必须严格控制砂料粒度的配合比。

2.2.2 不同颗粒形状的影响

在我们使用的石英砂材料中砂粒的外形基本有如下几种类型:圆形、椭圆形、多角形、尖角形、复合形。

在原砂线胀率非常小($<3.5\%$, $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$)的情况下,其中除圆形外,其它多种颗粒形状的砂粒组合,在炉衬材料烧结时起到相互交联支撑的作用,打结后的密度最高对提高炉衬的使用寿命也最好。SD—A 系列干振料符合这一条件。

3 烧结对炉衬寿命的影响

对于石英砂坩埚材料,只有经过高温烧结才能出现液相融合,形成连续的烧结网络,通过网络使整个砂料炼成一体,形成稳定化的方石英材料,玻璃化的烧结层,提高炉衬材料的致密度和强度,使其受热体积变化率减少,并具备抵抗铁水的侵蚀作用。

3.1 烧结的作用

石英砂具有较复杂的晶形转变,烧结的目的之一是使炉衬材料烧结层石英晶变进行的较彻底,尤其希望烧结层中含有较多的 α -方石英成份。晶变不彻底的烧结层含有较多的 α -鳞石英甚至残留有 α -石英。如图3所示。

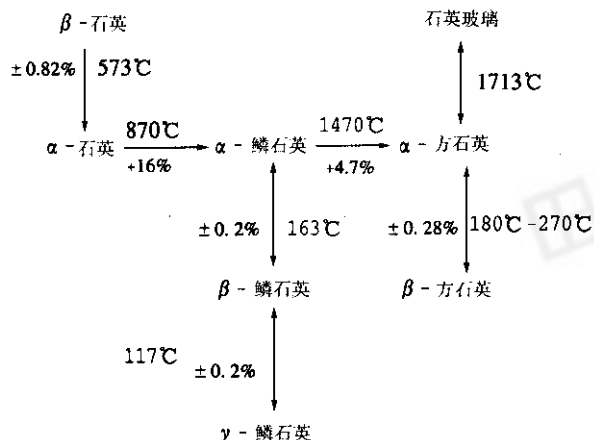


图3 石英的同质异晶转变及体积变化率

在 $573\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 β -石英向 α -石英转化,此时体积膨胀率为 0.82% ,此时升温速度不宜太快,否则将达不到我们所希望的 α -方石英结构,而不再发生相变,直至 $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 形成石英。在 $850\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烧结网络迅速建立,在此期间对烧结起决定作用的是 B_2O_3 和砂料中 SiO_2 等形成低熔点的化合物 $\text{SiO}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ 。在数据上反应的进行,在 $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,烧

结网络完全形成。在 $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时有晶形转变 α -石英向 α -鳞石英转化,此时体积膨胀率为 16% , $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时体积膨胀达到最大值,直到 $1470\text{ }^{\circ}\text{C}$ 止。在此期间升温不宜过快,以防止烧结层因巨大的相变应力而产生的裂纹和疏松。

在 $1470\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,发生 α -鳞石英向 α -方石英的晶型转化,此时体积膨胀率为 4.7% 。坩埚正常工作温度处于 α -方石英区域。在石英的同质异晶转变中,体积发生很大变化,由于 $\text{SiO}_2 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ 的形成,使砂料体积收缩,部分抵消了石英因晶变形成的膨胀。炉衬材料的添加剂为硼酐时,在烧结过程中水分含量较低,可以使烧结时间大大缩短。由于SD—A 系列石英砂干振料使用相变砂—即将石英砂经高温加热,率先发生晶形转变,而后再打筑、烧结形成炉衬坩埚。该方法降低了炉衬烧结时的体积膨胀,提高了炉衬的使用寿命,而且把炉衬的烧结时间缩短为不超过4h。

3.2 改善烧结效果的措施

炉衬材料经烧结后,其烧结结构可分为烧结、半烧结层(过渡层)和未烧结层(松散层)。

烧结层是构成材料的工作层,它直接和铁水及炉渣接触,受到铁水及炉渣的侵蚀和冲刷。另外,它要受到因激冷激热变化造成的炉体膨胀和收缩产生的内应力及铁水的静压力的作用。因此烧结层强度要高,密度要大,表面裂纹要少。这一层砂料颗粒之间应当全部融合,烧结网络均匀完整。随着炉壁的熔蚀,烧结层应不断向内壁推移完整消耗。

过渡层是烧结层和松散层之间的过渡带,它的作用是缓解烧结层的应力,阻止烧结层内产生的裂纹向外延伸。

松散层是没有烧结的砂料,它的作用是缓冲因体积膨胀和收缩造成的危害。烧结层产生裂纹造成钻铁后松散层起阻挡作用,防止漏炉故障的发生。此外松散层也起着绝热作用。具有一定的松散层,可使拆炉工作的强度减低。图4为炉衬材料烧结后断面结构。

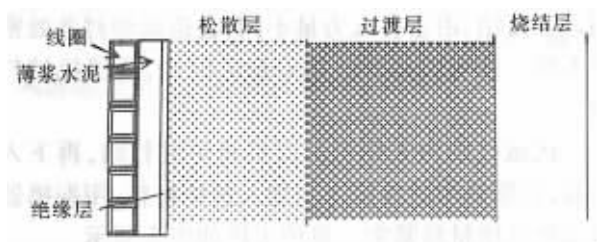


图4 烧结后炉衬断面结构

在打筑炉衬前,一般都在感应器与炉衬材料之

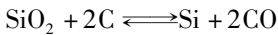
间加云母层,其使用是起到绝缘保护及保温效果,并可便于拆炉。在实际工作中,我们发现如云母层过厚,会使水冷线圈的热交换能力减弱,经长期工作,会使烧结层过厚,烧结层产生裂纹后,没有松散层保护而导致炉衬报废。后我们将原使用的双层云母层板改为双层云母纸,厚度由原来的4 mm降低到目前的0.76 mm,起到了明显效果。提高了炉衬使用寿命。SD-A系列石英砂干振料产品,相对于不同使用温度添加的助熔剂适量,烧结层、过渡层、松散层明显,松散层相对较厚,足可起到良好的保温效果;如果采用线圈绝缘胶泥涂抹线圈,打筑炉衬时可以省略云母保温层。

4 铁水与炉渣对炉衬寿命的影响

4.1 铁水对炉衬的影响

铁水对炉衬的影响主要表现在两个方面:一方面铁水在电磁作用下产生的搅拌力,冲刷炉衬。另一方面高温时炉衬中的 SiO_2 被铁水中的C还原,生成Si和CO造成炉衬材料变薄,铁水降C增Si。

在实际生产中应尽量避免不必要的过热操作。



4.2 炉渣对炉衬的影响

由于炉料中的铁锈、回炉料不净及铁水高温被氧化等因素,产生大量的FeO等炉渣,与炉衬中的 SiO_2 反应形成许多低熔点的熔渣,这些熔渣挂在炉壁上在高温下又不易上浮,严重侵蚀炉衬,大量熔渣如不及早清除,会连成一体影响测温及易产生铁水过热,加速对炉衬侵蚀。并且炉渣会掩盖炉衬真实裂纹,因此及时的清渣也是延长炉衬寿命的一个因素。

5 筑炉和操作对炉衬材料的影响

筑炉和操作对炉衬材料的影响严格筑炉工艺,规范日常操作是提高炉衬寿命的重要一环。

5.1 筑炉对炉龄的影响

打结炉衬分为人工打结和机械打结。目前多采用人工打结,由于各人力量不同,会造成炉衬各处密度不均,影响炉衬的使用寿命。因此,建议机械打结。

机械打结为先用筑炉底机将炉底打结,再下入胎具,在胎具与绝缘层之间加入筑炉材料,用振捣器振动胎具使材料紧实。筑炉工序如图5所示。

使用机械打结可以达到较高的填充密度、降低筑炉工作强度,缩短施工周期,使炉衬材料粒度分布均匀,无偏析是今后大生产的必然方向。

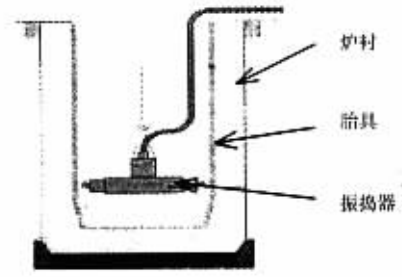


图5 筑炉过程示意图

5.2 操作对炉衬材料的影响

在日常生产中,SD-A系列炉衬材料对冷炉炉体及炉料不需进行预热,不会因急热造成炉衬材料产生裂纹。不用采用低温保温,倒空铁水不会造成炉衬的横纹及拉裂。

对添加的炉料应清理干净,防止铁锈等的带入。在添加炉料时可按照重量由轻至重依次放入,以减少炉衬不必要的机械损伤。

应严格防止含Zn、Pb过高的材料加入,因以上两种元素的熔点相对于铁非常低,在铁还未熔化时,就以蒸汽的形式穿透整个炉衬。导致石英砂炉衬烧蚀洞及裂纹的产生。

6 其他因素对炉衬寿命的影响

6.1 感应线圈

有的公司对线圈进行了改进,极大的延长了炉衬的使用寿命。图6改进前后线圈示意图。

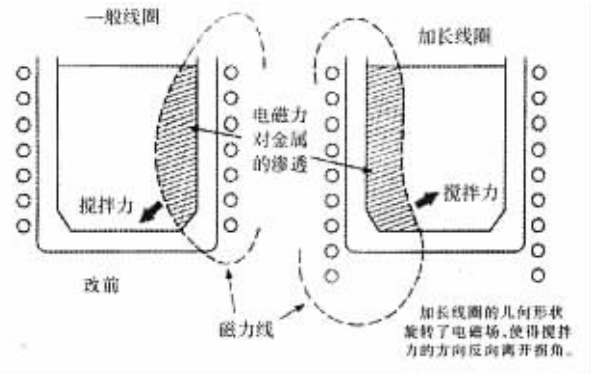


图6 改进前后的线圈

这种加长圈设计,即感应线圈延伸并超过炉衬底部,因此从炉体的顶部到底部炉料负载与磁场的耦合非常均匀,从而提高了能量转换效率。传统的感应线圈所产生的磁场在炉体的底部成弯曲状,这种磁场产生的搅拌力使得炉衬底部拐角过早因侵蚀而破坏。这种加长线圈所产生的磁场在炉体底部引起的搅拌力是向上的,因此减少了对底部炉衬的影响。

6.2 定期维护

另外加强日常点检,做好定期维护也是提高炉衬材料使用寿命的重要因素。如根据铁水的通过吨位,定期检查炉衬受侵蚀情况,做好相应的修衬计划等。

7 结束语

对于炉衬材料的使用寿命同设备、工艺及日常操作是密不可分的。其中优良的筑炉材料是关键,

正确的施工工艺是前提,合理的操作是保证。只有严格的管理,正确的操作才能使炉衬寿命得以不断提高。

参考文献:

- [1] 铸造工程师手册[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 王啸穆.陶瓷工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,1997.
- [3] 韩行禄.不定形耐火材料[M].北京:冶金工业出版社,1996.

(上接第4页)

将被管理和存贮,每种型板的各种造型参数可预先输入。其主界面可显示如下信息:

(1) 目前生产的型板和后续将要投入使用的型板;

(2) 到目前为止,这些型号的型板已生产了多少整型;

(3) 当前班次信息:班次持续时间(已生产了多长时间)、休息持续时间、最近一次的设备循环时间及到目前为止,本班次已生产了多少型浇铸出了多少箱;

(4) Production list 产品列表信息:可以设置一天或者一周将要生产的产品,在产品列表中的型板将被自动更换用以生产,产品列表中的每个条目属于一套(具有相同的)型板参数,这些参数将被自动传送给PLC,每个型板的调试生产都是以预先设置的型板参数来生产的。

3) Casting tracking 铸件跟踪

通过造型机、自动浇注机等的信息录入,计算机软件可对铸型状况如模板号、批次号、是好型还是坏型、是否已浇注等信息进行自动跟踪,并为每个砂箱都分别做出相应标记,以便于查询。

3 应用情况简介

该技术改造项目尽管存在设计难度大、施工周期短、安装复杂程度高等困难,但经过精心设计、严密管理,严格按网络计划实施,仅用4个多月就完成了旧设备拆除、基础施工、新设备的安装与调试工作,并在不到两周的时间内完成了设备的终验收。

经近一年的生产使用,其应用情况简介如下:

1) HWS 静压造型线布局紧凑合理,不仅使现安装面积(2 016 m²)比原 KW 线(2 814 m²)减少 30%,而且增加了多台工艺设备和多个操作工位,砂箱总数由原来的 161 套增加到 225 套,使铸件冷却时间增加了近 30 min。该线布局既兼顾了原有落砂、融化、制芯等流程,又完全利用了原 KW 线地下室、型砂输送平台等。

2) 所选工艺设备先进,流程设计合理,经投产验证,设备运行可靠,主要技术指标完全达到了设计要求。

3) 采用国外先进的静压造型工艺、数控编程三坐标扎气孔技术以及砂处理改造后采用的强力转子混砂系统,使铸型型废由改造前的 15% - 30% 降至目前的 3% 左右,气孔废品降低了 70%,铸件返修和焊补率降低近 80%。

4) 造型线采用了铸件浇注冷却自动跟踪系统,可对铸件即时跟踪,有利于新产品调试与生产管理。

5) 合箱机合型精度高,消除了铸件错箱缺陷。

6) 采用远距离油缸驱动方式(油缸输送距离近 30 m 长)输送砂胎工艺,与原 KW 线鳞板输送工艺相比,具有噪音低、扬尘量少、维修费用低等优点。

7) 铸件一次落砂处环境得到较大改善,将捅箱与落砂机落差从原有 2 000 mm 调整为 150 mm,避免了铸件磕碰,铸件磕碰伤和裂纹废品明显降低。

8) 砂箱尺寸加大后,拓宽了生产品种,满足东风雷诺大马力发动机缸体的生产要求。