

无芯炉炉衬侵蚀的一种普遍现象

——“大象脚”现象

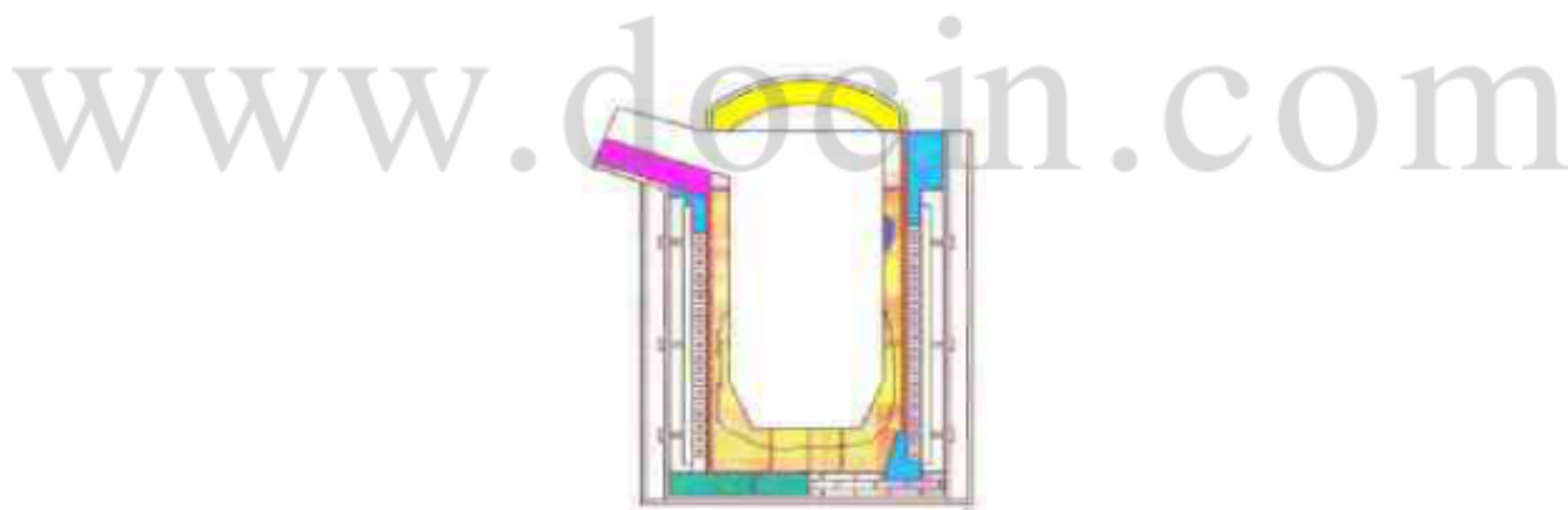
作者： Mr. David C. Williams, Dr. Ying H. Ko---Allied Mineral Products, Inc.

简介

“大象脚”侵蚀是无芯感应电炉下部，斜面部分和炉底石英砂炉衬的一种快速侵蚀现象。这种现象一般在无芯炉用于熔化球铁时发生，但有时也发生于灰铁和玛铁的熔化。这种不寻常的侵蚀导致下部炉衬侵蚀后状似大象脚。非常不幸的是这种侵蚀发生在感应线圈之内，因此如果炉衬材料为金属所渗入，过热将加快材料的被侵蚀速度。考虑到这一问题发生位置，在安装过程中松散层材料的加入厚度需要认真的控制。但是当模具已经安放在炉内，站在炉子上是很难控制加入松散层材料的厚度。

这种侵蚀同时也涉及到首批加入的炉料与石英砂炉衬之间的化学反应；模具斜面部分的设计；炉内低铁水液面时的过热；与炉衬结构有关的温度梯度。这篇文章的目的就是深入分析这一现象产生的原因以及为铸造厂推荐一些补救的方法。

通过图一可以看到“大象脚”侵蚀是炉体下部、斜面部分和炉底部分的耐火材料被侵蚀掉，而不幸的是当这一现象发生时，其余部分的炉衬材料并未受到很多的侵蚀。而大多数耐火材料制造商推荐使用石英砂的无芯炉炉衬应在整体厚度被侵蚀掉 33%或局部侵蚀 50%时拆除炉衬。



图一、无芯感应电炉中的“大象脚”侵蚀

产生“大象脚”侵蚀的原因

当分析这一现象产生的原因时，我们必须从具体情况中去考察，我们发现以下几条因素将对这种侵蚀产生影响：

工作炉衬的安装；

炉衬的烧结；
石英砂炉衬材料与首批炉料的化学反应；
模具斜面部分的设计；
低铁水液面时的过热；（包括加料过程中的搭棚现象）
下部炉墙和炉底的温度梯度；
钻铁和局部金属渗入；
有色合金的加入。

工作炉衬的安装

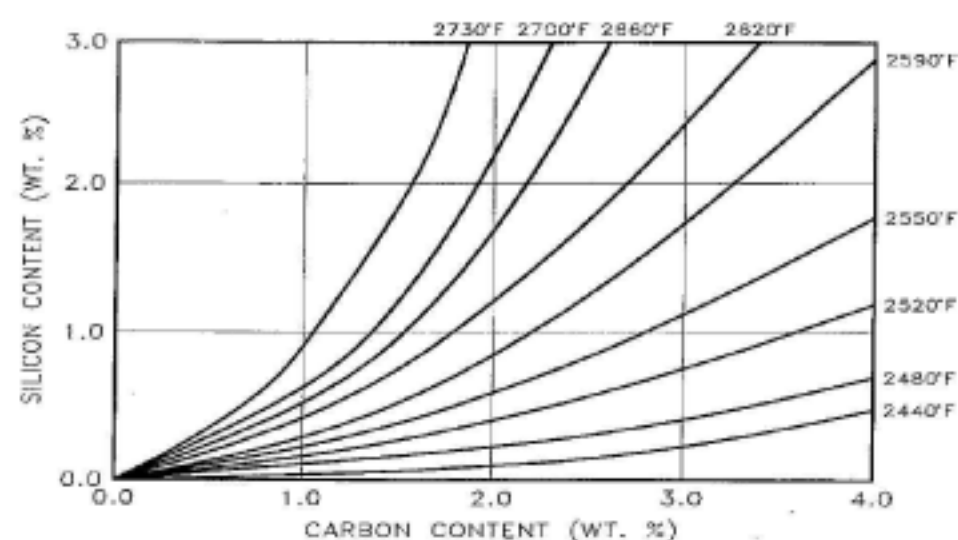
当我们考虑无芯炉炉衬干振料的安装时，最基本的控制松散层的加入厚度。这是因为炉墙第一层耐火材料的安装非常困难，当我们把模具放置在已经打结完成的炉底并加入石英砂，确认松散层耐火材料的加入厚度为 4 英寸（100mm）是非常困难的。当我们把石英砂加入后，一般来讲下一步应该是除气，但对于这一层首先将材料刮平是非常重要的。这将确保每一部位的材料厚度都是 4 英寸。一些铸造厂将第一批材料的加入厚度降低为 2—3 英寸（50—75mm），事实证明这是有效的。

工作炉衬的烧结

对炉衬烧结的目的是使干振料的表面形成一层陶瓷热面，对于石英砂材料来讲就是方石英相，这一层方石英相将直接接触熔融金属。形成陶瓷热面的目的也是为了防止金属的渗入。烧结工艺一般由耐火材料制造商推荐，烧结炉衬时需要使用放置在模具内的 K 型热电偶精确控制温度，仔细的选择首批炉料或起熔块，认真控制感应能量。如果任何一个方面被忽略，首先受到影响的将是斜面部分和炉底。

炉衬与首批炉料的化学反应

当熔化球铁时，石英砂炉衬与铁水中的碳的反应将加速，从热动力学角度分析，碳与二氧化硅在一定的温度下有一个平衡比率，如下图所示。

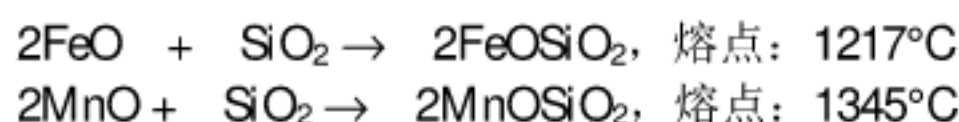


在球铁成份的铁水中碳与硅的比率远远偏离这一平衡比率。因此球铁成份的铁水将炉衬中

的二氧化硅还原为硅来平衡这一比率，这将形成大象脚现象。

无芯炉加入的炉料一般由回炉料、生铁、碳钢组成。材料的加入顺序对于防止对斜面部位炉衬材料的早期化学侵蚀有明显的影响。

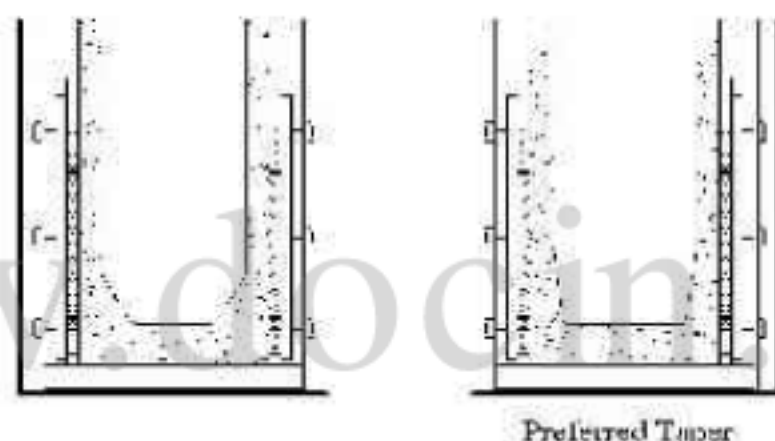
当首批加入的炉料为碳钢时，我们可以想象到最初熔化的金属的碳含量和硅含量是非常低的，这将导致氧化铁和氧化锰数量的增加，所有的这些氧化物将与炉底和斜面部位的石英砂炉衬反应：



加料中的生铁一般扮演中性角色。对于灰铁成份的生铁由于其碳硅含量相对较高，对石英砂炉衬的侵蚀较小。对于高碳低硅成份的球铁基生铁料，将需要更多的硅来平衡碳/硅比率。这种成份的生铁也是球铁所必须的。当回炉料加入时，这种化学侵蚀的倾向将有所降低。许多铸造厂向空炉内加入高碳、低硅成份的生铁，当这种情况发生时，最初得到的铁水碳量非常高，而硅含量非常低，这将加速局部耐火材料的侵蚀，特别是炉底和斜面部分。为了避免这一情况的发生，应首先在炉底加入回炉料，再加入高碳成份的生铁或碳钢。

斜面部位的设计

斜面部位的设计对于安装的影响很大，此处材料的密度将直接取决于这一部位的几何形状。如果这一部位的角度很大，将使安装和对材料的除气工作非常难以进行。



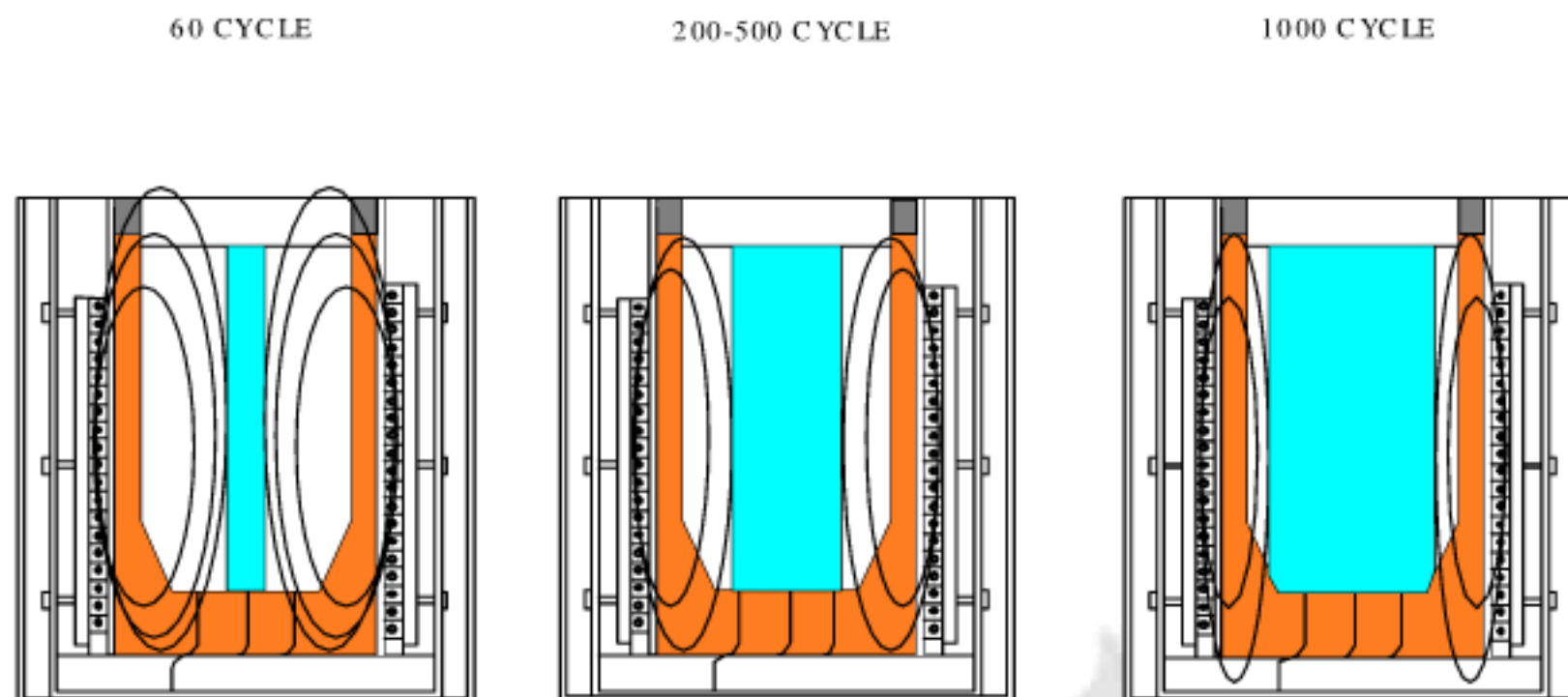
如果使用 **BOSCH** 振动器进行安装工作，对斜面部位的打结会很困难。如果使用内部振动模具的方法来安装材料，比如使用 **MARTIN** 振动器或高频振动器，我们也很难在这一部位得到理想的密度，这是因为在振动过程中，材料是依靠自身的重力作用紧实的，也就是说垂直方向上紧实。因此我们希望斜面的角度越小越好。如果材料安装密度不够理想，在烧结过程中陶瓷热面的形成将不足，因此易于在此部位发生侵蚀。

低铁水液面的过热

在工频感应炉中，感应能量的穿透深度非常大，几乎覆盖整个电炉空间，因此对斜面部位的烧结非常有效，因此大象脚现象有时并不明显。

在中频或高频感应炉中，对炉衬的烧结作用并不因为增加投入功率而上升，这些电炉能够很快的将加入的铁料熔化，也允许铸造厂使用半炉熔化。但是如果后续加入的炉料有所延误，

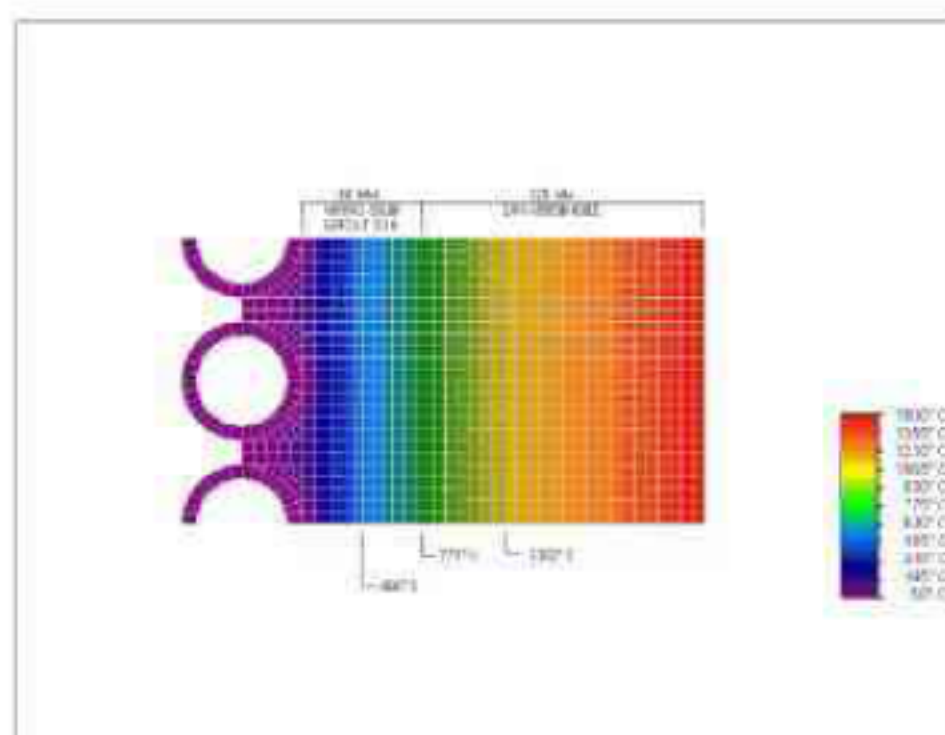
比如搭棚现象的发生，或者炉内只有半炉铁水而并未降低投入功率，炉底的铁水温度将上升的非常高，实际上是过热了耐火材料，这一情况通常发生在炉底和斜面部位。因此认真控制熔化过程，包括连续测温是非常重要的。

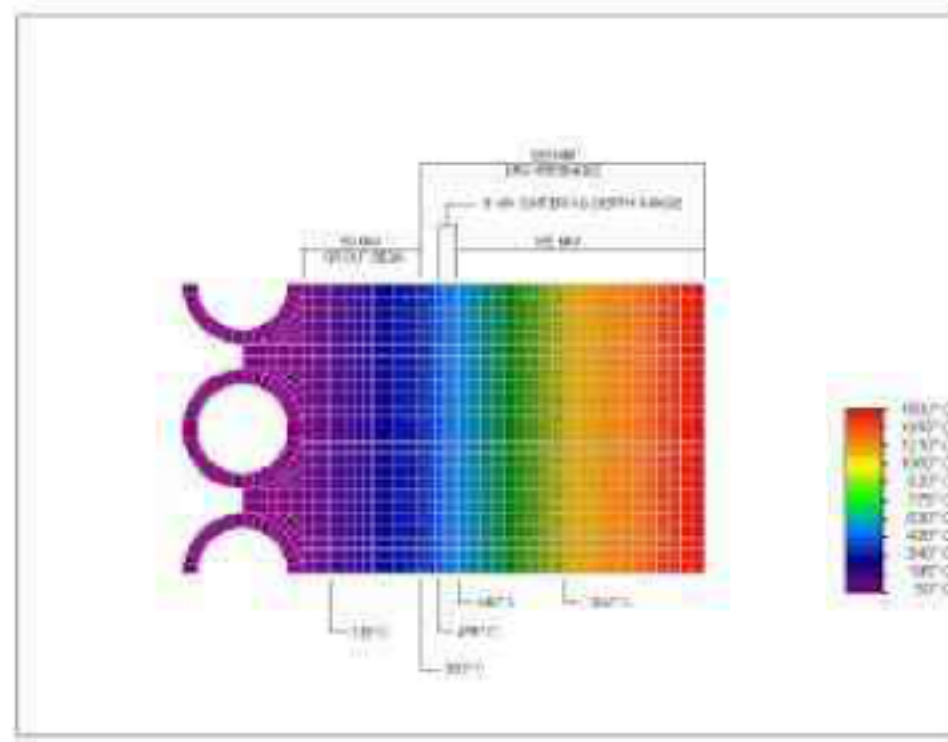


一般的来说，当电炉转入保温状态而并未降低功率时，将发生过热。当铁水温度非常高、搅拌作用非常强时，侵蚀速度将被加速。另外，加入清洁的炉料和认真操作将避免搭棚现象的产生。

下部炉墙和炉底的温度梯度

在所有的无芯炉中，由于水冷的作用将在耐火材料中产生一个温度梯度。在下图中我们可以对比氧化硅基线圈浆料和氧化铝基线圈浆料对温度梯度的影响。同时这一温度梯度也将直接影响到耐火材料烧结的厚度。同时这也将影响到铁水和渣对炉衬材料的渗入，如果使用氧化硅基线圈浆料，水冷作用降低，将加剧金属和渣对炉衬材料的渗入。





当我们考虑石英砂炉衬在斜面部位的厚度时，由于材料厚度的不同，将加剧金属和渣对此部位的渗入。为解决这一问题，非常必要认真研究斜面部位的温度梯度，包括认真考虑此部位的背衬材料。高铝浇注料具有很好的热传导能力，能够很好的将热量通过水冷系统带走。如果对炉衬结构有任何的变动，在作出改变之前，非常必要向电炉制造商进行咨询。

炉衬钻铁和局部金属渗入

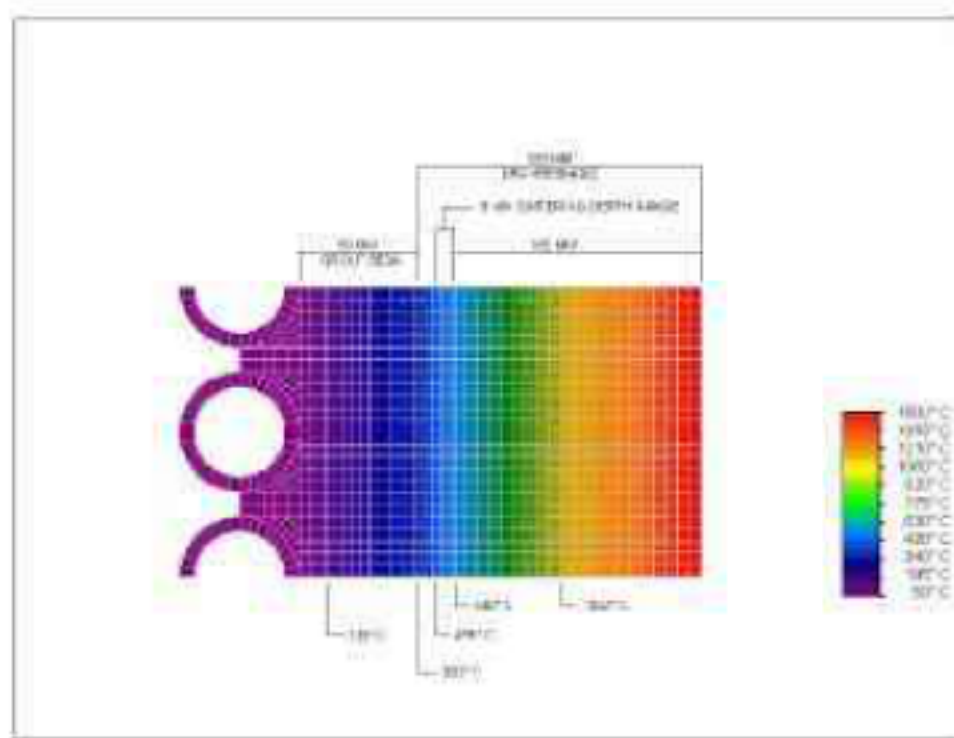
炉衬钻铁一般是由于炉衬材料的裂纹造成的。而裂纹的形成一般是由于冷热冲击或加料过程中的机械冲击引起的。当有铁存在于炉衬材料的横截面中，使用电炉时感应热量将加热这一部分金属引起周围耐火材料的渗入，由于温度梯度原因，这种钻铁一般发生在斜面部分，这种温度梯度的不同是由于材料厚度不同造成的，背衬材料的结构不同可在以下照片中看到。



在中频高功率感应电炉中，严重的金属渗入将导致石英砂炉衬的熔化，造成严重侵蚀，这种启动时钻铁可通过适当的冷却和冷启动工艺来减少。

有色金属炉料的影响

有色金属对炉衬材料的影响变得非常普遍，由于经常在铁中加入合金来提高其性能，比如镀锌铁，任何镀锌表层都含一层很薄的锌，其他镀层可能会含一层锡或其他成份，这些有色金属的熔点相对于铁非常低，当考虑到这些成份对炉衬的渗透作用时，它将完全穿透炉衬工作层，比如说相对于锌，它的熔点只是 420°C ，汽化温度只有 910°C ，在下图中可以发现锌在 910°C 铁还未熔化时就以蒸汽形式穿透整个炉衬，通过以下横截面图我们可以看出锌由气体形式变为液体形式，当到达温度为 420°C 的炉衬界面位置，一层固体锌将存在于与线圈浆料平行的炉衬材料内部。



由于这种穿透是在低温下发生，因此非常难以预防，对于斜面部分，由于材料厚度的增加冷却效果下降，这种穿透也将达到更大的深度，任何有色金属的穿透将最终造成炉衬钻铁，减小这种情况发生的最好方法是不使用含有有色合金的加入料。

补救措施

1. 严格执行适当的施工烧结工艺。

多年来的实践证明认真执行烧结工艺、增加安装密度将减少大象脚侵蚀现象的发生，耐火材料理想陶瓷热面的形成将会把金属渗入降低到最小程度。

2. 加入炉料的质量和适当的加料顺序。

在熔化球铁时，为减小大象脚侵蚀现象的发生，必须注意加料的顺序，回炉料应该作为首批加入炉料来代替首先加入碳钢、高碳生铁或碳来减少这一部位的化学侵蚀。这些材料应在得到半炉铁水时加入到炉内。

这将明显的减少侵蚀现象，相对熔化回炉料和碳钢，电炉的功率投入也相对有所降低。当回炉料作为首批加入料时也不需要加入增碳剂。另外熔化碳钢将产生氧化铁和氧化锰也将加速炉衬的侵蚀。

3. 石英砂材料中氧化锆的添加。

近来的研究发现，在石英砂中加入氧化锆有利于防止大象脚现象的产生，氧化锆的加入

有利于提高石英砂炉衬的不粘性，将使铁水与炉衬之间的反应降低到最小。

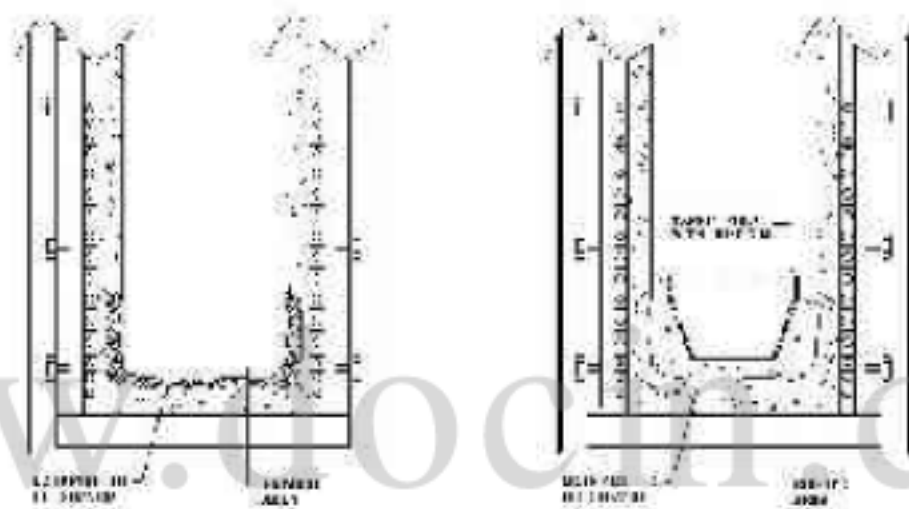
4. 对于熔化模斜面部位的设计。

模具斜面部位的角度将影响炉衬材料的打结密度，特别是对于大炉子。在此部位材料难于达到理想密度这一点已经被证实。我们曾改变斜面的角度，但成效不大。为了易于这部分材料的安装，加大炉底的直径来减小斜面部位的倾斜角度，使材料更容易得到理想的密度。

5. 修补

为了延长炉衬寿命，有些铸造厂修补炉底。他们将炉底和斜面侵蚀的部位进行清理，包括渣子和金属渗入部分。得到一个干净的材料表面。但这一切工作必须认真谨慎的进行，以防止整体炉衬的崩塌。

如果炉底需要修补首先修补炉底。对炉底材料的打结需要高出所需高度 25mm，然后刮到所需高度以得到一个坚实的材料表面，同时也减少粒度偏析。把一个稍高于斜面部位的模具安放在已完成的炉底上，继续使用 BOSCH 振动器打结这一部位直至完成。然后再执行一次与新炉衬相同的烧结工艺。决定是否进行修补是需要衡量消耗材料的数量与能够延长的炉衬寿命是否可以获得经济效益。



总结

大象脚侵蚀现象是可以减小的。首先需要合理的材料安装和适当的烧结。其次选择适当的加料顺序。第三，选用加入氧化锆的炉衬材料以防止金属对石英砂的渗入。为达到延长炉衬寿命，必要时进行局部修补。