

大多数耐火材料系统主要受应变型荷载（热膨胀应力），所以在选择最好的耐火材料时，既应考虑最大压碎应力值，又应考虑最大压碎应变值。

4) 设计材料系统时，应进行合适的热物理分析，以指导识别材料系统较重要地区的转折的位置。

5) 应当注意，我们这里讨论仅是材料系统的物理性能，在选择最好的耐火材料时，其化学性能也应考虑在内。

（郭昕译自《1995 Steelmaking Conference Proceedings, 541~545; 莫自鸣校）

⑩

炉外精炼  
精炼, 钢包, 耐火材料, 炼钢

32-35

# DOFASCO 厂炉外精炼钢包用耐火材料

TF769.2

## A 摘要

该文章将介绍 DOFASCO 厂过去五年内对炉外精炼钢包用耐火材料做的一些改进，并对下列题目进行论述：①整体钢包衬结构；②渣线改进；③包壁的改进；④包底的改进（见图 1）。

## 前言

DOFASCO 厂是一个年产 250 万吨带钢的综合钢厂。1987 年，2# 炼钢车间改为 100% 的钢包精炼和连续铸钢，其工艺流程示于图 2。一座 300t 的 KOBM 转炉向一座具有合熔和再加热能力的 40MVA 的钢包炉提供钢水。脱气槽处理 10% 的超低碳（ULC）脱气钢水。然后钢水注入两流连铸机浇铸。

从钢包耐火材料观点来看，应注意如下几点：

- 1) 100% 的钢包炉处理；
- 2) 100% 的耙渣和合成渣的添加；
- 3) 100% 的吹氩搅拌；

- 4) 85% 的铝镇静钢，15% 的硅镇静钢；
- 5) 15% 的钙处理钢；
- 6) 10% 的脱气超低碳钢；
- 7) 5% 的用喷枪强搅拌。

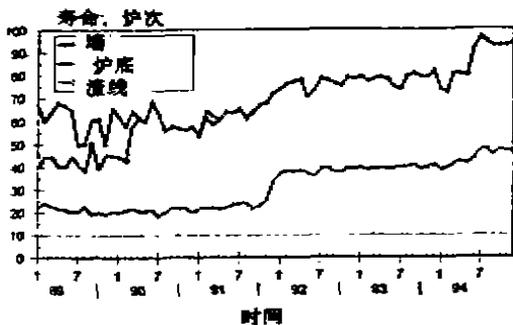


图 1 钢包耐火材料寿命

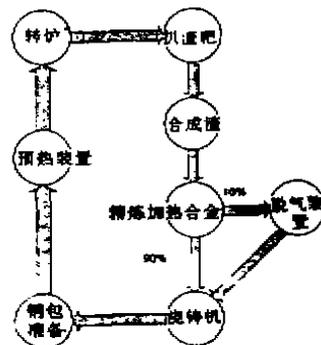


图 2 DOFASCO 厂钢包处理流程

由图 1 可以看出，1989 年渣线寿命为 20 包次，包底寿命为 40 包次，包壁寿命为 60 包次。随着材料和结构的不断改进，渣线的目前寿命提高到 47 包次，包壁的使用寿命达到 94 包次。这为 DOFASCO 厂节省了劳动力和成本。

在这一阶段，车间里淘汰含铬耐火材料的

目标也已经实现。

### 1 整体包衬结构

整体包衬的一个目标是要具有一种防止钢包中钢水烧穿的耐火材料结构, 另一个目标是具有一个钢包各部位蚀损速率相同的经济系统。为了达到这两个目标, 做了下述两种大的结构改变:

a) 将 80% 的高铝砖包底更换成 98% 的刚玉质预浇注包底, 结果使包底寿命提高了 135%, 具体在包底耐火材料部分论述;

b) 将螺旋式半万能结构改变为环状侧拱直的楔型结构, 有助于提高包身和渣线部位的寿命。使用该系统的优点和缺点列于表 1。

表 1 环状侧拱直的楔型结构

优点	缺点
较密实, 比较结实的结构, 交接缝很少有钢水渗透。	不同形状异形砖的存货增加
易修补	层接缝侵蚀增加
减少了砌砖工反复屈身有关的伤害	
由于是一种比较有前途的结构, 故砌砖工的信心比较足。	
由于是单环砖, 热膨胀问题可以比较容易预测。	

值得注意的是, 砖货种较多的缺点可以通过仔细计划及用户与供货厂商间的及时联系来克服。层接缝的侵蚀仅在钢包渣线部位可见, 这将在下面讨论。

### 2 渣线改进

在 1991 年以前, DOFASCO 厂渣线部位 90% 使用的是镁铬砖, 其它 10% 为镁碳砖 (含碳 10% ~ 17%)。结果渣线部位衬的寿命为 20 包次或 1800 分钟 (不包括浇注时间)。那时, 据计算镁碳砖不经济, 而镁铬砖则成为标准用砖。1991 年中期, 由于检查了渣线砖的质量, 故确定了一个共同的目标就是淘汰含铬耐火材料。

1991 年中期, 进行了一次试验, 包身采用白云石砖, 渣线为镁碳砖 (碳含量为 5%), 同时把整个结构改为环状侧拱楔型直体结构。

试验结果表明, 白云石砖不经济 (见包壁一节)。然而渣线部位抗蚀损性很好 (见表 2)。又采用高铝砖砌包壁和镁碳砖 (5% C) 砌渣线的环状半万能结构钢包进行了一次试验, 结果不很理想, 在渣线部位可见大量的层接缝侵蚀。在蚀损方面形成较大差别的原因是由于白云石砖衬具有比较高的膨胀性, 因而造成渣线部位包衬受压, 该压力将层接缝的侵蚀减至最小程度。弄清这一原理, 然后就可通过把高铝砖包壁改变为侧拱楔型直体结构, 在渣线顶层与唇环之间的砖缝减至最小, 使渣线压缩, 这一试验获得成功, 且使包龄提高到 40 包次。

表 2 采用不同包壁砖的镁碳砖渣线的试验

砖种	结果
白云石砖包壁 含 5% 碳的镁碳砖渣线 全环结构, 侧拱直的楔型结构	35 包次
高铝砖包壁 镁碳砖渣线, 含 5% C 全环结构 侧拱直的楔型渣线 半万能型包壁	28 包次 层接缝侵蚀极其严重
高铝砖包壁 镁碳砖渣线, 含 5% C 全环结构 侧拱直的楔型渣线和包壁 唇环与渣线间最小的接缝	40 包次

1994 年初, 决定把钢包渣线的平均寿命从 40 包次 (3600 分钟) 提高到 50 包次, 包壁和包底寿命由 80 包次提高到 100 包次。为使渣线寿命提高 25%, 更好地弄清了砖的侵蚀机理及它们与操作条件的关系。渣线处每一部分的各种侵蚀机理见图 3。已发现 DOFASCO 厂渣线蚀损的最大因素是氧化作用和热循环, 这点通过图 4 的回归分析可得到进一步证实。

渣线蚀损速率与 % 钢水因数具有 85% 的相关性。注意 % 钢水是由下述公式计算出:

$$\% \text{ 钢水} = \frac{\text{钢包装满的时间 (不包括浇钢时间), min}}{\text{总的工作时间, min}}$$

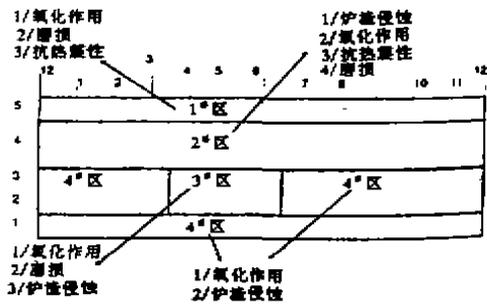


图3 2#炼钢车间渣线耐火材料结构

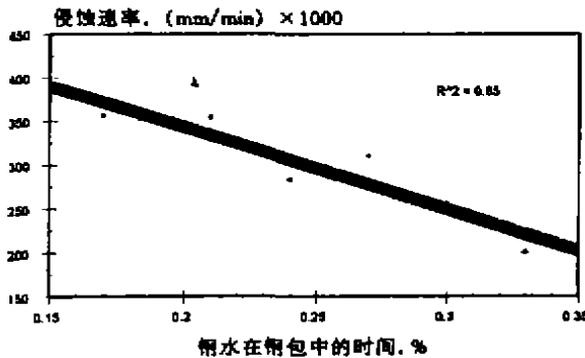


图4 渣线侵蚀分析——侵蚀速率与%钢水的关系

该公式基本上是用分钟和总时间来表示包次/天公式的数量变化。结果是 DOFASCO 厂渣线蚀损速率最重要的部分不是钢水在钢包中的停留时间，而是钢包空着的时间。这一点的理由是基于：当钢包空着时，渣线无论是暴露在空气中还是预先加热，都会发生如下两种情况：

a) 热循环

无论是下降到环境温度还是下降到预热温度 950℃，均低于出钢温度 1605℃，这都会导致层接缝开裂；

b) 氧化作用

无论是空气还是预热气体都会对镁碳砖中的碳产生氧化作用。

知道了这些蚀损机理，和供货厂商一起改变了砖的质量，使钢包的平均寿命由 40 包次增加到了 47 包次（见表 3）。

值得注意的是，为改善钢包周转、实现连续作业，应将目标提高到 50 包次（4500min）。

表3 镁碳砖的蚀损速率

砖型	性能
5% C 高纯镁砂 高纯石墨 抗氧化剂 体积密度, 183 磅/英尺 <sup>3</sup> 抗折强度, (2550°F) 2950 磅/英寸 <sup>2</sup> 抗氧化性 = 100 抗渣性 = 100	40 包次  钢水接触时间为 3600min  最大蚀损速率为 3.02mm/包次
5% C 高纯镁砂 高纯石墨 抗氧化剂 体积密度, 187 磅/英尺 <sup>3</sup> 抗折强度, 3300 磅/英寸 <sup>2</sup> (2550°F) 抗氧化性 = 115(高出 15%) 抗渣性 = 120(高出 20%)	47 包次  钢水接触时间为 4230min  最大蚀损速率为 2.57mm/包次

3 包壁的改革

自从 1987 年连铸机投产以来，DOFASCO 厂一直应用 80% 的高铝砖包壁。1989~1991 年间包壁寿命为 60 包次，而包壁的寿命取决于渣线和包底的寿命，不是由包壁的高度蚀损所决定。据估计，采用螺旋式半万能结构，包壁寿命可达 70 包次，改成环拱楔型直体结构后，降低了包壁的蚀损速率，且使包壁寿命达到 80 包次。有人提出。这种蚀损速率的降低完全是由于结构变化的结果。

在这期间，为确定成本效益，采用白云石砖包衬做过一次试验。结果吹氩塞上部的扇形部位蚀损最严重，白云石砖包壁的平均寿命为 35 包次。据测定，在 DOFASCO 厂的情况下，不能为形成砖的保护层而使炉渣的作用最佳化，这就产生了蚀损问题。由于该原因，白云石砖包衬一直未被采用。

1994 年中期，决定在包壁和包底实现 100 包次的目标，而且对包壁的蚀损速率做了周密的观察，观察到了二个侵蚀部位：

## a) 吹氩扇形区

该范围由于熔池钢水的冲刷导致较高的蚀损速率；

## b) 包底三层砖 (24 英寸)

由于浇注之后炉渣在该区沉积, 从而导致该部位蚀损速率增大。

以上两个问题, 通过把砖中铝含量提高到 85% 而得到了解决。现在一般包壁寿命均能达到 100 包次。

## 4 包底改进

1989 年, 应用了带一个圆冲击衬垫 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  88%)、80% 的高铝砖包底, 钢包底的平均寿命达 40 包次。1990 年为使包底和包壁在 60 包次时的使用效果相匹配, 将包底改用铝-铬质材料, 且整个包底为预浇注而成, 这种包底蚀损速率能使包底寿命达到 80 包次, 然而, 包壁和渣线寿命不能与之相称, 因此寿命仅为 60 包次 (见表 4)。1991 年中期, 随着包壁和渣线的改变, 包底充分发挥了潜力, 达到 80 包次, 与此同时, 铝铬质材料逐渐被淘汰, 而且被 98% 的刚玉质浇注料代替, 也取得了同样的蚀损速率 (见表 4)。

表 4 预浇注包底的侵蚀速率

包底类型	性能
铝铬质 $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 92% 厚度, 229mm	最大蚀损速率 2.22mm/包次 寿命为 80 包次
$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 98% 厚度, 229mm	最大蚀损速率 2.22mm/包次 寿命为 80 包次
$\text{Al}_2\text{O}_3$ , 98% 冲击衬垫厚度, 330mm 包底其余部位厚度, 229mm	最大蚀损速率 2.95mm/包次 寿命为 95 包次
$\text{Al}_2\text{O}_3$ 98%, 加不锈钢纤维 冲击衬垫厚度, 330mm 包底其余部位厚度, 229mm	最大蚀损速率 2.65mm/包次 寿命为 100 包次

从 1991 年至 1994 年, 集中精力提高包底的成本效益, 而且通过改变包底非冲击侧材料的质量做了数次试验。1994 年决定把钢包寿命提高到 100 包次, 在包底冲击区改为加设一个凸起的冲击段 (13 英寸, 标准为 9 英寸)。在包底有一个 2 英寸的安全段, 这一变化已使钢包稳定地达到了 95 包次。注意整个包底的蚀损速率加快了, 这表明冲击衬垫因凸出在包底, 从而使包底蚀损速率较其它部位快。然而, DOFASCO 厂的目标实现 100 包次, 这需要更换材料。根据其它车间蚀损速率的改进情况, 要和供货厂家在包底冲击侧使用不锈钢纤维。其理由是在钢包底冲击侧的主要蚀损机理之一是热面后面裂缝扩展, 这导致了钢水和炉渣的渗透, 最终导致耐火材料剥落。添加不锈钢纤维可防止断裂发生, 且使包底的渗透和剥落减至最小程度。包底蚀损速率降低 10%, 使 DOFASCO 厂包底的寿命实现了 100 包次的目标。

## 5 结 论

本文叙述了 DOFASCO 厂炉外精炼钢包用耐火材料改进的一些情况, 要点如下:

- 1) 淘汰了含铬耐火材料;
- 2) 钢包结构的改变, 由螺旋式半万能型结构改为环形侧拱直的楔型结构;
- 3) 渣线寿命从 20 包次提高到 50 包次;
- 4) 包底寿命从 40 包次提高到 100 包次;
- 5) 包壁寿命从 60 包次提高到 100 包次。

DOFASCO 厂未来的工作将集中在提高现有结构的经济效益上, 然后将整体包衬的使用效果再提高到一个新水平。

(郭清勋译自《1995 Steelmaking Conference Proceedings》, 547~550; 徐庆斌校)