

## 耐火材料的性能对使用效果的影响

田守信

宝山钢铁股份有限公司研究院 上海 201900

**摘要** 本文就耐火材料理化指标对使用效果的相关性进行了分析讨论。通过理化指标对抗侵蚀性、抗冲刷性、溶解性能、剥落、膨胀和重烧线变化等使用效果的影响进行了分析研究,找出各种耐火材料理化指标与使用效果的相关性。这对提高耐火材料的使用水平具有指导意义。

**关键词** 耐火材料,使用效果,性能,结构

耐火材料炉衬在线使用到一定程度而下线,使用寿命终结或判废的标准是:最小残衬厚度必须大于一定值,或炉衬因剥落或钢渗透而下线拆除。即影响炉衬使用寿命的关键点是侵蚀、剥落和开裂渗钢。耐火材料的理化指标对这些关键点有什么影响,即耐火材料的理化指标对使用寿命的关系,很少有人专门分析讨论。有些耐火材料指标好,反而使用效果差,很难把耐火材料性能与使用效果挂上号,使得在耐火材料理化指标面前有些耐火材料使用者显得很迷茫。分析和探讨耐火材料理化指标对使用效果的影响,从而找到耐火材料理化指标与使用寿命的对应关系,这对指导耐火材料的使用和选材具有重要的意义,对提高我国耐火材料使用水平起到指导作用。

## 1 侵蚀的影响因素

一般来说,耐火材料炉衬使用到一定厚度,就要判废而下线。影响侵蚀或残厚的因素有:耐火材料的熔化、耐火材料与侵蚀介质的反应侵蚀和侵蚀介质对炉衬的冲刷。

### 1.1 熔化侵蚀

耐火材料熔化侵蚀分为两方面,即耐火材料本身高温熔化和耐火材料与渣等侵蚀介质相互作用的熔蚀。

#### 1.1.1 耐火材料熔化

耐火材料一般是多相材料,没有固定的熔点,液化温度是一定范围,即在不同温度下,材料内部具有一定的液相量。不同温度生成液相量可以利用相图分析计算出来,要从相图分析体系的液相,需要化学成分。即化学成分是判断体系生成液相及其数量的依据,反映到耐火材料的物理指标是耐火度和荷重软

化点。一般情况下,液相量越少,液化温度越高,生成液相的黏度越高,材料的耐火度和荷重软化点就越高,耐火材料的熔蚀也就越慢。因此,耐用性就越好。

下面从相图来分析几种材料。

铝硅耐火材料典型的一个二元相图见图1。由图可知:在  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  组成区域,有一个最低共熔点,该点  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量( $w$ ,下同)为75%, $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量从75%增加,体系的熔化温度增加,生成液相量增加;而在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  从莫来石组成的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量71.8%增加到75%,液相量增加和液化温度降低;同样  $\text{Al}_2\text{O}_3$  从75%到71.8%,液化温度增高,和液相量减少。从图2可知,引入第三成分  $\text{MgO}$ (作为杂质),显著降低了液化温度,增加了液相量。

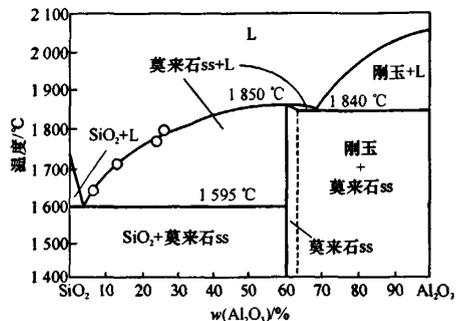


图1  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  系相图

同样对于镁铝系材料, $\text{SiO}_2$  是杂质,它的存在或增加,导致熔化温度降低和液相量增加。同样,氧化铝增加,导致液相量也增加和熔化温度降低。而对于刚玉尖晶石(A-MA)材料,随着  $\text{MgO}$  增加,尖晶石含

\* 田守信:男,1956年生,教授级高级工程师。  
E-mail: tianshouxin@sina.com  
收稿日期:2010-08-26

编辑:卜相编

量增加,液相量增加和熔化温度降低,但是不显著。

由图3可知:镁钙材料是高熔点的材料。尽管MgO以33%为分界点。即在MgO为0~33%范围

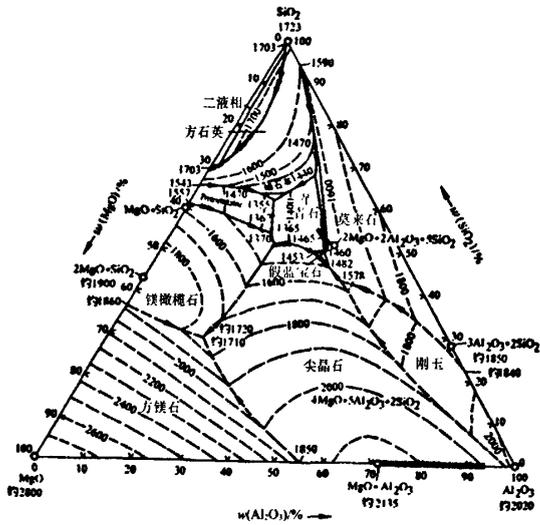


图3 MgO-CaO系相图

内,随着MgO含量增加,熔化温度降低和生成液相量增加;而在MgO含量为33%~100%范围内,随着MgO含量增加,熔化温度提高和液相量减少;在镁钙材料内出现SiO<sub>2</sub>和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,都导致熔化温度降低和液相量增加。这就是发展高纯材料的理论依据。

因为镁铬尖晶石可以与Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO等形成固溶体或复合尖晶石(见图4),因此该体系能固溶吸收很多成分,而熔化温度下降不明显。

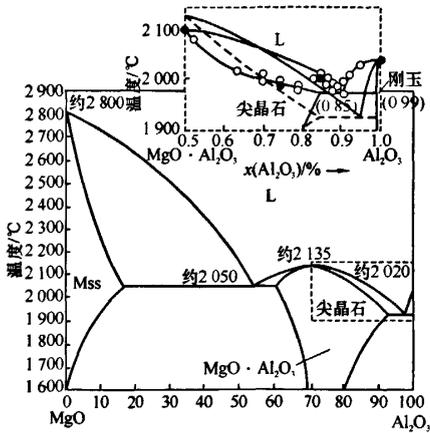
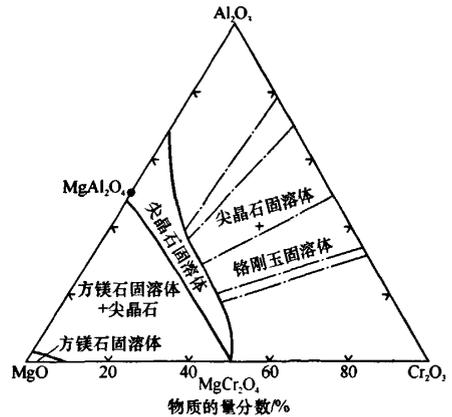


图2 MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>系相图



1700℃等温截面,图中虚线为尖晶石固溶体与铬刚玉固溶体之间的结线(Tie lines)

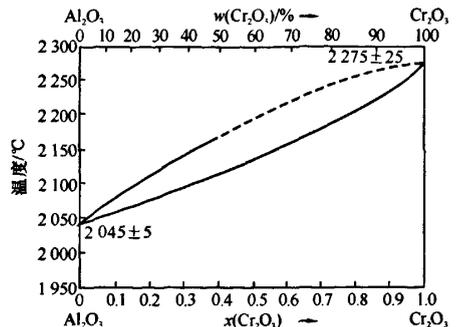
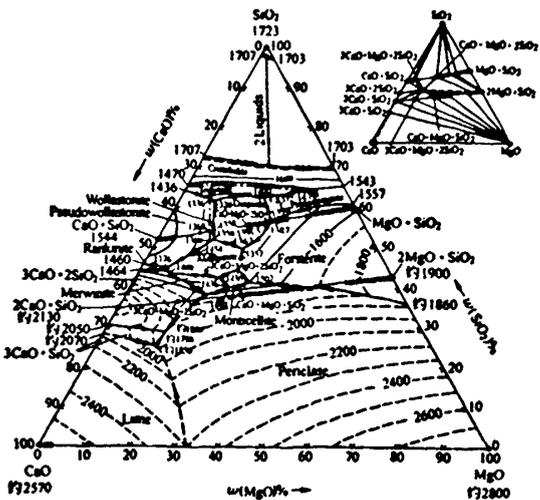


图4 MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系相图

总之,体系每增加一相组分,都会导致熔化温度的降低和液相量的增加。因此,在提高抗熔蚀性能方



面,应该适当减少耐火材料的组分数。另一方面,在高温下能形成固溶体的材料,对熔化温度下降较少,生成液相量也较少,这有利于改善性能。

### 1.1.2 耐火材料和侵蚀介质的相互作用

在使用过程中,耐火材料与渣等侵蚀介质接触,经过扩散和反应,等于向耐火材料内引入了杂质成分。根据相图可知:引入第三成分,导致熔化温度降低和熔化量增加,侵蚀加快。为提高抗侵蚀性,应该采用下列措施:

1) 选用耐火材料或渣,使它们的互溶度小。如非氧化物难在渣中溶解,氧化物难溶解在钢液内。这样,渣线采用含非氧化物的耐火材料,而熔池采用氧化物为主的耐火材料。

2) 在不影响高温性能的情况下,选用成分相同的渣和耐火材料,减少浓度差。这样一方面可以降低溶解速度,另一方面也避免第三相的引入,这样有利于提高抗熔化性能。如白云石造渣,对应碱性渣用成分相同的碱性耐火材料等。

3) 选用渣和耐火材料时,可以根据相图,使它们反应时,形成高温化合物,这样有利于提高抗熔化性能,同时也能形成高温相挡墙,有利于提高抗渣的渗透能力。如对于低碱度渣,选择高钙的镁钙系材料,可以形成高熔点的  $C_2S$  挡墙。

4) 选择能够形成高温固溶材料。形成固溶体可以减少熔化性能。如氧化铁与氧化镁形成有限固溶体,氧化铝与氧化铬形成固溶体等,

5) 选择不易发生氧化还原反应的渣和耐火材料成分。如高炉渣没有氧化铁等氧化剂,可以选择含碳化硅的材料。铝脱氧的高铝渣系的冶金炉不易采用镁钙材料等。

6) 提高耐火材料的致密度,降低材料的气孔率,减少侵蚀介质与耐火材料的接触面积。

## 1.2 溶解

实际上,材料的高温溶解是耐火材料熔蚀的一个非常重要步骤。耐火材料成分向钢渣等侵蚀介质内溶解,是与成分在熔蚀介质的饱和浓度与本体浓度差成正比,与扩散系数成正比,与静止层厚度成反比。即

$$v = D/\delta(C_0 - C)。$$

式中: $\delta$  为界面边界层厚度, $D$  为溶质的扩散系数, $C_0$ 、 $C$  分别为边界层和熔渣本体中溶质的浓度。边界层厚度与液体渣的流动性有关,一般流体流动越快,紊流程度越高,边界层厚度越薄,溶解速度就越快。可以用流体的相关准数求得。

由上式可知:通过提高渣中耐火材料成分的浓

度,如白云石造渣,可以提高渣中  $MgO$  含量,因而降低镁碳砖的熔蚀速度,提高镁碳砖的使用寿命。

溶解速度与温度的关系符合 Arrhenius 方程式。即

$$v = Ae^{-E/RT}。$$

式中: $E$  为扩散活化能, $T$  为绝对温度, $R$  和  $A$  为常数。由该式可知,提高温度,溶解速度增加,因此耐火材料的使用寿命下降。有关资料报道,一般每提高  $50^\circ C$ ,耐火材料侵蚀提高 1 倍。

## 1.3 沉淀和结晶

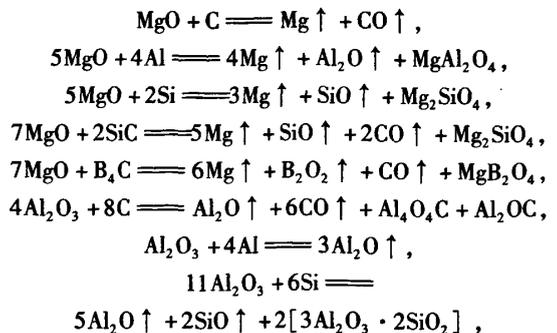
耐火材料的损毁不一定是侵蚀造成的。当侵蚀介质的某一成分的浓度大于饱和浓度时,该成分就会结晶黏附在耐火材料壁上,这样就会造成炉壳变厚或钢液流通道变细,最后导致堵塞。这方面的例子有:1) 当浇铸铝镇静钢时,浸入式水口内壁有氧化铝沉积堵塞,导致了浇钢速度降低,连铸不能顺利进行而终止;2) 钢包内渣出现镁铝尖晶石饱和而结晶沉积在内壁上,随着使用次数的增加,沉积黏附增加。这样造成盛钢量不足或钢包超重,导致了钢包下线。

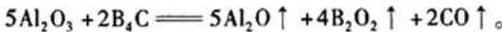
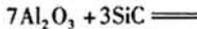
防止沉淀和结晶的方法就是使体系处于不饱和状态。不使本体的氧化物沉积在内壁,而是内壁的耐火材料成分向本体溶解。对于浇铸铝镇静钢的浸入式水口内壁,采用含氧化钙的材料,它与本体的氧化铝反应形成低温相铝酸钙而脱离水口内壁,这样防止了堵塞。对于钢包粘钢渣增重,采用含  $CaO$  内壁或  $CaO$  造渣,它可以形成低温液相,导致包衬侵蚀,而不是黏附。

## 1.4 氧化还原反应

含碳耐火材料是由氧化物 ( $MgO$ 、 $CaO$ 、 $Al_2O_3$  等) 和非氧化物 ( $C$ 、 $Si$ 、 $Al$ 、 $SiC$ 、 $B_4C$  等) 组成的复合材料,这种复合往往在如超高温、真空等特定条件下,处于不稳定状态,耐火材料内部和耐火材料与侵蚀介质之间的氧化还原反应显著起来,它们对耐火材料的侵蚀或使用寿命产生了重要影响。

在耐火材料内部,当环境条件处于高温或真空条件下,将会发生下列气化反应:

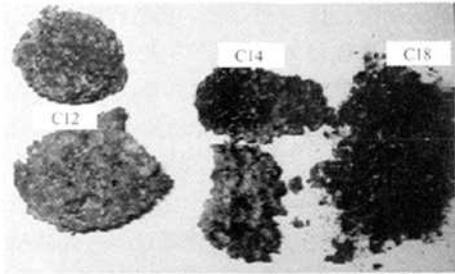




我们的试验结果(见图5和表1)证明这些反应的确进行得很激烈。这些反应有很大的质量损失,导致了耐火材料内部结构破坏,材料疏松甚至粉化,抗侵蚀和冲刷能力大大降低,使材料的使用寿命显著降低。

在含碳耐火材料外部,除了含碳耐火材料中氧化物与接触的介质发生熔蚀反应外,衬内非氧化物还与这些介质中的氧化剂,如空气中的氧气、渣中的 $\text{FeO}_x$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 等发生氧化还原反应,导致含

碳耐火材料中的非氧化物消失,因而导致材料的抗侵蚀性和抗渗透性能降低。因此,提高含碳耐火材料的抗氧化性是非常重要的。



C12—碳12镁碳砖;C14—碳14镁碳砖;C18—碳18镁碳砖

图5 真空试验试样的形貌

表1 1780℃ 10h 镁碳砖的质量损失和强度变化情况

试样	镁碳砖的配料组成(w)/%					成型体积密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	1780℃ 10h 碳化	
	电熔镁砂	石墨	铝粉	硅粉	结合剂		CCS/MPa	质量减小率/%
1	88	7	5	0	5	2.97	极小	很大
2	93	7	0	0	5	3	14.8	22.1
3	90.5	7	2.5	0	5	2.98	8-10	很大
4	88	7	0	5	5	2.92	很小	很大

### 1.5 冲刷消耗,用高温强度和高温耐磨来表征

冶金炉衬的某些部位,如出钢口、透气砖周围、冲击区、转炉前大面等受到钢水的严重冲刷。为了提高抗高温钢水的冲蚀性,就需要提高材料的热态强度和高温下的耐磨性。热态强度高,才不致于被高速流体冲走,高温下耐磨了,才不致于被高速流体磨损。因此,在这些地方,应该提高材料的高温强度和耐磨性。这两个指标与材料的使用效果是对应的。

这里值得指出的是,有些人把常温强度以及烧后强度与热态强度混为一谈。认为常温强度高就耐冲刷,就好。其实,这是基本概念不清楚,把耐火材料高温使用误认为常温使用。耐火材料是高温冲刷而不是常温冲刷。因此,耐火材料常温强度高不一定高温强度高。对于陶瓷结合的制品,经过烧成后,往往形成玻璃相焊接结合,即使常温强度高,但是到高温时玻璃相液化,强度消失。这种情况下,常温强度越高,热态强度越低,耐冲刷性越差。同样,对于低温结合剂,如水玻璃、磷酸钠、水泥等结合剂的不烧制品也是如此,在高温下它们往往形成液相,结合强度很低。因此,不要追求常温强度高,只要能够满足运输、搬运、砌筑等移动过程中不破损就应该是好的。

### 1.6 关于耐火材料的显气孔率和体积密度

耐火材料的气孔率 $P$ 与体积密度 $D$ 和真密度 $D_0$ 有下列关系: $P = D_0/D - 1$ 。耐火材料的气孔率和密度是材料致密度的体现。材料的致密度高,气孔率就低,侵蚀介质与材料的接触面积就小,因此溶解、反应

等侵蚀量(侵蚀量与接触面积成正比)就小,因而耐火材料侵蚀速度就低,使用寿命就高。另一方面,材料致密度越高,它的强度也就越高,特别是对于高温结合的材料的热态强度越高,这也导致了抗冲刷能力提高,使用寿命会进一步提高。因此,要提高耐火材料的抗侵蚀性或残余厚度,提高耐火材料的致密度是非常重要的。

## 2 剥落

耐火材料使用寿命除了由侵蚀决定外,还有一个重要因素就是剥落。耐火材料炉衬剥落导致了衬的厚度不均匀,冶金窑炉的运转是以安全不漏钢为前提的,耐火材料炉衬的使用寿命是由最薄处决定的。因此,耐火材料剥落导致局部变得很薄而提前下线,这导致了耐火材料炉衬使用寿命显著降低和废弃耐火材料量增加,同时也给冶金炉判废带来困难。下面讨论影响剥落的因素。

### 2.1 渣渗透和结构剥落

耐火材料被侵蚀介质渗透是符合  $X = \sqrt{\frac{\rho \sigma \tau \cos \theta}{2\eta}}$

关系的,即耐火材料被渣渗透深度 $X$ 是随着耐火材料的显气孔半径 $r$ 、表面张力 $\sigma$ 、渗透时间 $\tau$ 和润湿角 $\theta$ 的余弦的增加而增加,随着侵蚀液体介质的黏度 $\eta$ 而降低。为了降低耐火材料的侵蚀介质的渗透深度,应该使颗粒细小而导致的显气孔半径减少,材料致密也

是导致气孔半径减少的一个方法;把材料制成氧化物和非氧化物组成的复合材料,这样组成的润湿角大于 $90^\circ$ ,因此,就不会出现渗透的现象;再就是通过造渣,提高渣的黏度,因而降低了渣的渗透深度。

渣渗透形成了渣渗透层,该层几乎没有气孔,非常致密,组成和材料的原始层是根本不同的(见表2)。由表2可知:在温度波动条件下,渣渗透层和原始层之间形成很大的应力,导致了在交界面处形成了平行于两层的裂纹和剥落。因此,解决渣渗透是防止剥落非常有效的方法。这就是近年来含碳耐火材料发展和有好的使用寿命的重要原因。

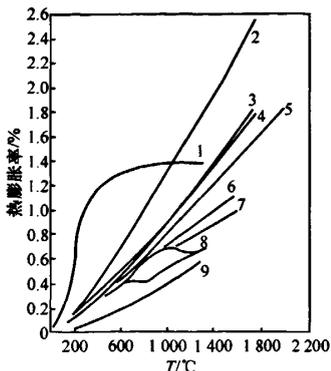
表2 渣渗透层和材料原始层的差别

原始层	多孔	高温相组成	抗热震好	弹性模量较小
渗透层	致密, 气孔率很低	低温相组成	抗热震差	弹性模量较大

## 2.2 温度波动和热剥落

上述讲述的变质层的剥落是属于结构剥落。而没有变质层的材料在温度波动条件下也可以出现剥落,这种剥落叫做热剥落。实际上冶金窑炉是在不停地温度波动下运转的。这种运转的过程中,就会在材料内部出现热应力: $S = E\alpha\Delta T$ 。式中: $S$  热应力, $E$  弹性模量, $\Delta T$  温差。材料内产生的热应力与材料的弹性模量、热膨胀系数和温差成正比。材料的热应力越大,就越易产生裂纹和开裂以及剥落。因此,要防止热剥落的发生,应该提高材料的韧性,降低材料的热膨胀系数和减少使用过程中的温度波动。

由图6不同材料的热膨胀系数可知:锆英石热膨胀系数最低,因此,它产生的热应力最小,最不易出现热剥落;而硅砖和碱性的镁砖因膨胀大而产生大的热应力,最易产生热裂纹或剥落。对于氧化锆质材料,当升温到 $1180^\circ\text{C}$ 左右, $m\text{-ZrO}_2$  转变为  $t\text{-ZrO}_2$ , 体积



1— $\text{SiO}_2$ (与稳定程度有关); 2— $\text{MgO}$ ; 3— $\text{BeO}$ ; 4— $\text{TiO}_2$ ;  
5— $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 6— $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 尖晶石; 7— $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 莫来石;  
8— $\text{ZrO}_2$ ,稳定化的(与晶型有关); 9— $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ 锆英石

图6 不同材料的热膨胀系数

收缩7%,这正好消除了因升温造成的膨胀热应力;同样当该材料在高温降温到 $1000 \sim 850^\circ\text{C}$ 时, $t\text{-ZrO}_2$  转变为  $m\text{-ZrO}_2$ , 体积增加约7%,这也正好消除了因温度降低所导致的收缩热应力。这就是所谓的相变增韧。另一方面的解释是因为相变,在颗粒结合部形成微裂纹,导致了材料的断裂韧性增加,提高了材料的抗热剥落性。

一般情况下,材料的烧成温度越高,弹性模量越大,它的抗热震性变差,越易出现热裂纹或剥落现象,这可以用抗热震断裂参数和抗热冲击损伤参数表示。

材料中适当的气孔率,可以使裂纹分叉和终止,提高材料的抗热震性。耐火材料的气孔率合适为好,一般气孔率为28%~32%时抗热震性最好;通过调整材料的显微结构,使材料结晶不要大,组成复相材料,物相之间形成微裂纹,适当大的颗粒组成等都会提高材料的抗热震性。

## 3 开裂渗钢

炉衬开裂造成渗钢到衬背面,甚至漏钢,造成安全事故。产生的原因主要有下列4个方面。

### 3.1 砖尺寸公差

砖的尺寸公差大,导致了砌筑炉衬时,砖之间的缝隙大。这样在冶金炉盛钢液期间,钢液对外有很大静压力,导致钢液从缝隙处钻出来。轻者在永久层与工作层交界处凝固成钢片。重者钢液可能通过永久层的裂缝而漏出,造成安全事故。因此,耐火材料制品的一个重要质量指标就是砖的尺寸公差。尺寸公差越小越好,这样砖之间的缝隙就小,在砖缝处渗钢、穿钢和漏钢的可能性就小,冶金炉使用过程中的安全度就提高。砖尺寸公差大主要是管理问题,当然也有装备水平低的问题。

### 3.2 砖缝火泥的质量问题

人们十分重视对耐火砖和浇注料等的研究,但是耐火泥很少得到重视。火泥所处的砖缝是薄弱环节,是最易出问题的地方。火泥是由细粉组成的,气孔率很高,一般都达到30%以上,甚至超过50%,这样低致密度的材料显然抗侵蚀性较差;另一方面细粉的活性较高,与渣等侵蚀介质的反应较快。因此,一般火泥的侵蚀速度比砖要明显地快,甚至有几倍的差距。而火泥又处在这个侵蚀薄弱的环节,这当然就是在使用过程中砖缝变大的一个重要原因。因此,必须提高火泥的档次。主要应该集中在提高火泥抗渣等侵蚀介质的熔蚀性,以减少火泥气孔率高的不足;同时要降低

水泥的加水量和采用高效结合剂系统,使火泥的致密度和高温结合性能提高,以进一步提高使用效果。

### 3.3 重烧线变化和高温蠕变性能

耐火材料重烧线变化和蠕变对于长期处于高温环境下且要求使用寿命长的冶金炉衬,如热风炉、高炉和加热炉等是一个非常重要的指标。它们在高温下长期使用,如果重烧线收缩和高温蠕变大,可能造成炉衬开裂,造成漏气甚至坍塌。若这种砖应用到炉底,可能造成砖上浮起来。

而对于一般炉衬,可能制品外部温度低,而接触侵蚀介质的内部高,这样如果重烧线收缩大可能造成衬工作面形成大的缝隙,特别对于吹氩的精炼钢包,一旦因为高温收缩形成砖缝,氩气流向这里集中,可能形成更大的紊流,加大了对薄弱环节的冲刷和侵蚀,容易形成馒头状(见图7)。因此,对于钢包这样的冶金设备,可以适当重烧线变化为正值,不可以出现较大负值。

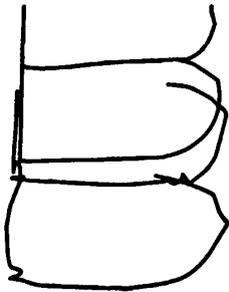


图7 砖包使用出现馒头状

### 3.4 热膨胀率

炉衬材料的热膨胀是影响耐火材料的一个极其重要的因素。热膨胀大,导致了材料的抗热震性下降,出现剥落和和断头。对于间歇式运转的冶金设备,如钢包,材料衬的热膨胀大,可能导致下列后果: 1)当温度升高时,即工作面温度高而背面低,这样工作面膨胀大而产生很大的热压应力,衬从内到外不同位置产生很大的热剪切应力。严重时可能造成鼓裂和剥落。2)当温度从高温下降时,工作面温度下降的多,衬内部温度下降的少。这导致了工作面收缩大而产生大的热拉应力,衬从内到外不同位置产生很大的

热剪切应力。严重时可能造成崩落。3)当从使用后停止下来,温度降低下来而导致了工作面收缩大形成很大的砖缝,当下次间接钢水时,温度没有来得及升上来,砖缝没来及膨胀弥合,钢和渣就钻进缝隙内,并被钢渣冲刷侵蚀。这样多次反复就形成了很大的砖缝和砖的蘑菇状(图7所示)。因此,要解决钢包在使用过程中砖形成馒头或蘑菇状的一个重要方法就是要控制砖的热膨胀系数不能过大,特别是对于大钢包更是如此。

总之,砖热膨胀大会导致热剥落、导致砖缝侵蚀过快和形成馒头状。也是造成钢包衬不均匀侵蚀的一个重要原因。因此,在制造钢包衬砖时,一定要控制好制品的热膨胀。

## 4 结论

(1)为了提高耐火材料炉衬的抗熔蚀性能,应该根据相图,选择合适化学成分的耐火材料和合适的造渣制度;为了降低侵蚀速度,应该制造高致密度的材料。

(2)耐火材料炉衬的剥落主要是热膨胀大和渣渗透造成的。解决炉衬剥落这些异常损耗的方法就是采用低热膨胀和没有渣渗透的耐火材料,即氧化物和非氧化物复合耐火材料是最佳的选择。

(3)对于氧化物非氧化物复合耐火材料,在真空或超高温下,容易发生氧化还原反应,导致内部结构破坏,使用寿命显著降低。在这种情况下,应该采用在这些特殊条件下热力学稳定的耐火材料。

(4)耐火材料冲刷是钢液和铁液冲击区、出钢口、转炉迎钢面和透气砖以及周围损耗快的主要原因之一。这种情况应该适当提高材料的热态强度为好。

(5)无论是渗钢或是漏钢,一般都是从砖缝这个薄弱环节发生的。产生的原因主要有砖的线膨胀大、火泥质量差、砖尺寸公差大和砌筑质量不好造成的。总之,砖热膨胀大是不好的。无论是热膨胀或是重烧收缩都易导致在使用过程中出现裂缝,使钢包形成砖的馒头状。因此控制砖的热膨胀和重烧线变化是非常重要的。要加快周转和保温,尽可能地使温度波动小。

# 耐火材料的性能对使用效果的影响

作者: 田守信

作者单位: 宝山钢铁股份有限公司研究院 上海 201900

## 本文读者也读过(10条)

1. 叶国田, 贾全利, 李素平, 刘新红, 黄亚冬, 陈留刚, 许大燕 耐火材料研究中的几个问题和体会[会议论文]-2010
2. 陈肇友 抑制含Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>耐火材料中六价铬化合物形成的途径[会议论文]-2010
3. 彭锦庚, 王永辉, 李明智, 王文学 RH真空精炼炉炉衬耐火材料的设计与选择[会议论文]-2010
4. 李庭寿, 张颐, 魏新民, 姚朝胜 我国热风炉及耐火材料的技术发展[会议论文]-2010
5. 李红霞 我国耐火材料工业科研发展方向[会议论文]-2010
6. 俱彦国, 毛庆龙, 魏昌晟 碳含量对尖晶石碳材料性能的影响[会议论文]-2010
7. 周薇薇 影响滑板拉不动的因素及改进措施[会议论文]-2010
8. 苑桂英 提高LAEIS液压机生产滑板效率之浅见[会议论文]-2010
9. 林生铸 100 t钢包下水口环状裂纹的原因分析[会议论文]-2010
10. 李心慰, 李志坚, 吴锋, 徐娜 矾土基浇注料基质浆体 $\zeta$  电位和流变特性的研究[会议论文]-2010

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference\\_7353091.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_7353091.aspx)