

高炉耐火材料使用性能的研究

宋木森, 于仲洁

(武汉钢铁(集团)公司 研究院, 湖北 武汉 430080)

摘要:阐述了高炉耐火材料使用性能对高炉长寿的重要性, 介绍导热率、抗铁水溶性、抗碱侵蚀性、抗渣侵蚀性和微气孔等指标的试验方法和试验装置, 对比分析了国内外典型高炉耐火材料的重要使用性能。此外, 对完善高炉耐火材料产品标准和加强高炉耐火材料新产品开发工作提出了建议。

关键词:高炉; 耐火材料; 试验方法; 使用性能; 产品标准

中图分类号:TF52.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1447(2009)02-0001-06

Research on operating performances of refractory for blast furnace lining

SONG Mu-sen, YU Zhong-jie

(Research & Development Center, Wuhan Iron & Steel (Group) Co., Wuhan 430080, China)

Abstract: The operating performances of refractory play an important role in extending the campaign life of blast furnace. This paper introduces key indexes of refractory, such as conductivity, resistance to hot metal solution, resistance to alkali erosion, resistance to molten slag erosion and micro-pore index, and describes the testing methods and devices. The above-mentioned indexes for typical grades of refractory produced by both domestic and foreign refractory plants are compared in the paper. In addition, recommendations for completing the refractory product standards and developing new refractory products are also put forward.

Key words: blast furnace; refractory; testing method; operating performance; product standard

1 问题的提出

耐火材料的使用性能是影响高炉寿命很重要的一个因素。20世纪80年代以前, 国内高炉炉衬一般采用高铝砖、粘土砖和普通炭砖砌筑, 寿命很短。当时对高炉耐火材料使用性能的研究很少, 因为产品标准中只有几项常规指标, 如炭砖的灰分、抗压强度、气孔率、体积密度, 高铝砖的抗压强度、气孔率、体积密度、耐火度、荷重软化点、 Al_2O_3 含量、 Fe_2O_3 含量等。这些常规指标不能反映生产过程中高炉炉衬的实际工作状态, 因而这些指标的高低与高炉寿命的关系并不密切。

在20世纪70—80年代, 武钢利用大修机会对几座高炉的破损状况开展了系统的调研工作。

在调研过程中, 我们对观察到的炉缸炭砖环状裂缝、炉底炭砖溶蚀, 硅铝质耐火材料的碱金属侵蚀和炉渣侵蚀留下了深刻的印象。为了寻求减缓炉衬侵蚀的对策, 我们模拟高炉内的温度、气氛等条件, 在实验室开展了系统的高炉耐火材料使用性能的研究。对于炭砖, 主要研究其抗氧化性、铁水渗透性、铁水溶性、导热率、气孔分布特性、抗碱性; 对硅铝质耐火材料, 主要研究其抗渣性、抗碱性、气孔分布特性等指标。我们设计了专门的试验装置和试验流程, 对高炉耐火材料的上述性能进行试验, 以比较其优劣。1991—1997年期间, 武钢接受了起草7个高炉耐火材料试验方法标准的任务, 随着这些试验方法标准的发布和实施, 这些试验装置和试验方法已逐渐规范化, 它们在鉴

作者简介: 于仲洁(1940—), 男, 山东济南人, 教授级高工, 主要从事炼铁科研工作, 本刊主编。

别耐火材料使用性能的优劣和开发新型耐火材料中起到了重要的作用。

本文针对近年我国高炉寿命的薄弱环节,对导热率、抗铁水溶性、抗碱侵蚀性和气孔分布特性等指标的重要性以及试验方法要点进行介绍,并比较国内外各种高炉耐火材料的使用性能。

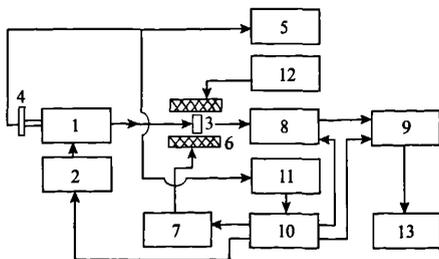
2 高炉耐火材料主要使用性能及试验方法要点

2.1 导热率

高炉耐火材料的导热率,特别是对炉缸、炉底炭砖而言,是一个非常重要的指标。高炉炉衬靠冷却壁等冷却设备的冷却加以保护,而冷却设备要充分发挥作用同样需要炉衬耐火材料有较高的传热能力。对炉缸、炉底炭砖而言,希望在高温下有较高的导热率,以加强冷却效果,减缓砖衬的侵蚀速度。众所周知,降低炉衬温度对多种原因引起的炉衬侵蚀都有减缓作用。例如,炉衬受炉渣侵蚀、铁水渗透和溶蚀的程度都会随炉衬温度的降低而降低;碱金属和锌对炉衬的侵蚀主要发生在 800~1 000 °C,若炉衬温度冷却到 800 °C 以下,碱金属和锌对炉衬的侵蚀就会大大缓解。

高炉有些部位的炉衬则不要求高导热率,如陶瓷杯用砖要求保温性能好、导热率低,炉身上部的砖衬也不要高导热率等。

高炉炭砖导热率试验方法的标准号为 YB/T 5291-1999,试验流程见图 1。



1. 激光发射器 2. 激光电源 3. 试样 4. 激光控制器 5. 激光能量测量系统 6. 加热炉 7. 温度控制系统 8. 温度能增大器 9. 高速贮存转换器 10. 停止-启动转换器 11. 测量检测系数 12. 抽真空系统 13. 数据处理系统

图 1 炭砖导热率试验流程

导热率测定所用炭砖试样为硬币形,直径 10 mm,厚度 2.5~3.0 mm。将炭砖试样安装在仪器的试样架上装入高温炉,封闭出口后抽真空,然后升温。根据要求的温度,检测该温度下试样的导

热率。升温达到要求的检测温度时激光发射器发出激光,通过测温 and 计算机处理,测出不同温度下试样的导热率。

此前高炉耐火材料导热率的测定有平板法和平行热线法,它们只适用于测定陶瓷质耐火材料的导热率,不适合检测炭砖、铝碳砖、碳化硅砖等碳素耐火材料。本试验方法适用于碳素耐火材料导热率的测定,表 1 列出了国内外典型高炉碳素耐火材料的导热率测定结果。从表 1 看出,我国近年研制的高炉炭砖和其它碳素耐火材料的导热率已有很大提高,逐步赶上了世界先进水平,完全可以满足建设长寿高炉的需要。

表 1 耐火材料导热率测定结果 W/(m·K)

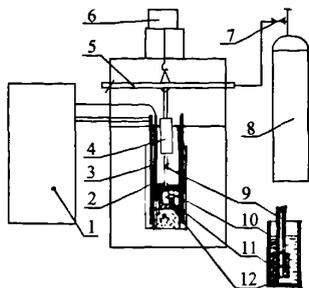
试样名称	室温	300 °C	600 °C	800 °C
日本 BC-5 炭砖	7.42	11.10	12.57	11.76
日本 BC-7S 炭砖	7.55	11.30	12.40	12.40
美国热压炭砖 NMA	4.96	11.30	16.10	16.60
国产普通炭砖	3.46	4.45	5.00	5.00
国产微孔炭砖	6.92	11.59	13.30	13.55
微孔铝炭砖	16.50	14.70	13.60	13.40
Si ₃ N ₄ 结合 SiC 砖	8.72	9.94	12.70	17.40
法国 AM102 炭砖	8.85	11.80	14.00	15.90
国产超微孔炭砖	19.13	20.89	22.97	21.59

2.2 抗铁水溶性

高炉炉底多用炭砖砌筑,铁水溶蚀是炭砖被侵蚀的主要原因。高炉铁水的 $w(C)$ 一般为 4% 左右,而在武钢 1 号高炉第一代大修破损调查时发现,某个炉底炭砖试样中 $w(Fe)$ 高达 40.37%,呈网络状分布,另一炉缸炭砖试样中 $w(Fe)$ 也达到 11.59%,呈弥散的颗粒状分布,这表明铁水对炉缸、炉底炭砖的溶蚀作用很严重^[1]。20 世纪 90 年代初,我们设计了测定铁水溶蚀性的试验设备,该试验方法标准号为 YB/T 4036-1991,试验流程见图 2。

该试验方法试图模拟高炉内铁水温度、流动状况和成分等条件,是为测定碳素耐火材料的抗铁水溶蚀性设计的。炭砖试样加工成 $\phi 30$ mm、长 40 mm、中间有 $\phi 8$ mm 孔的形状,试验时将生铁块装入坩埚,在高温炉中熔化,升温到 1 420 °C 并保温。试样与平衡锤、刚玉管、通气管联接,然后将试样插入熔化的铁水中并悬挂好。通 N₂ 搅拌铁水,使铁水与试样保持流动状态。经 40 min 试验后取出试样,冷却后称量试验后试样的重量,即可计算出试样被铁水侵蚀量的百分率,以铁水溶

蚀指数表示。

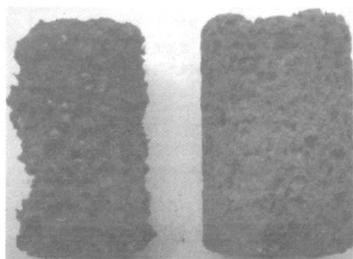


1. 温度控制仪 2. 铂铑电偶 3. 硅钼棒 4. 平衡重锤
5. 通气软管 6. 电子天平 7. 流量计 8. 氮气瓶
9. 刚玉连接管 10. 刚玉坩埚 11. 试样 12. 铁水
图2 炭砖铁水溶蚀指数试验流程图

采用该试验方法,结果的重现性和稳定性较好。几种典型高炉耐火材料铁水溶蚀指数的测定结果见表2,铁水溶蚀试验后耐火材料试样的外观照片见图3。从表2可知,不同炭砖和碳素耐火材料的铁水溶蚀指数指标有较大差别,因此降低耐火材料的铁水溶蚀指数对延长高炉寿命至关重要。

表2 几种高炉耐火材料的铁水溶蚀指数

试样名称	铁水溶蚀指数/%
日本 BC-7S 炭砖	15.79
国产微孔炭砖	25.65
国产普通炭砖	55.67
微孔铝炭砖	0.32
高铝砖	0.00
刚玉莫来石砖	0.00
半石墨炭砖	29.92



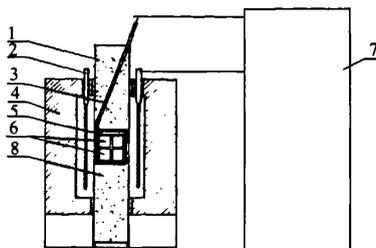
左图:半石墨炭砖 右图:模压微孔小炭
图3 炭砖试样铁水溶蚀试验后的外观

2.3 抗碱侵蚀性

烧结矿、焦炭等原燃料带入高炉的碱金属和锌是引起炉衬侵蚀和破坏的重要因素。在一定温度下产生的钾蒸气能渗透到砖衬内部,与硅铝质

成分发生反应,生成硅酸钾、钾霞石等化合物。这些反应过程中伴随有体积膨胀,因而会破坏砖衬,特别是炉身到炉腹常用的硅铝质砖衬。很多高炉炉缸、炉底侧墙炭砖中存在环缝,也与碱金属和锌的侵蚀作用有关。

抗碱侵蚀性试验方法标准号为 GB/T14983—1994,试验流程见图4。



1. 刚玉管 2. 硅炭棒 3. 热电偶 4. 加热炉
5. 石墨坩埚 6. 试样 7. 控温仪 8. 焦炭颗粒
图4 抗碱侵蚀性试验流程图

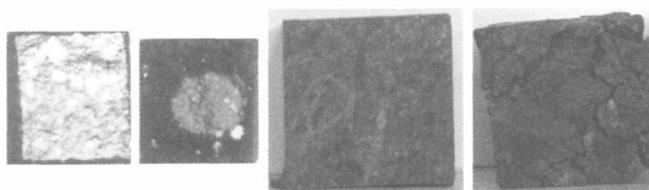
该试验方法是模拟高炉内的温度、气氛和碱金属形态等条件设计的。高炉内的碱金属侵蚀主要是钾,该试验方法以 K_2CO_3 作为带入钾的试剂。试验采用还原气氛,温度选择 $1100^\circ C$ 是考虑高炉内碱金属和锌还原反应的情况。试验时间、检验结果表示方法及评价也是经过大量试验,经过反复探索确定的。

该试验方法采用 $30\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 的立方体试样,以木炭和 K_2CO_3 为试剂。将试样放入密封的坩埚中,用试剂将试样周围的空隙填满,然后放入加热炉中升温到 $1100^\circ C$,保温 30 h。试样冷却后检测其试验前后性能的变化,包括抗压强度下降率、体积膨胀率和试样的外观、裂纹等,以综合判断其抗碱性的优劣。典型高炉耐火材料抗碱试验的结果见表3。

从表3数据可清楚地分辨不同耐火材料抗碱性的优劣。例如,国产普通炭砖、高铝砖、刚玉莫来石砖的抗碱性都很差,表现为抗碱试验后抗压强度大幅度下降,下降率分别达到55.40%、77.78%和93.00%。此外,抗碱试验后其体积膨胀率很大,分别为11.84%、38.18%和31.86%,试验后的试样变为疏松或粉化状。日本炭砖、国产微孔炭砖、 Si_3N_4 结合 SiC 砖、微孔铝炭砖则具有优良的抗碱性,表现为抗碱试验后抗压强度下降很小或者未下降,试样无裂纹,体积膨胀小等。几种高炉耐火材料抗碱试验后的外观照片对比见图5。

表 3 典型的高炉耐火材料抗碱试验结果

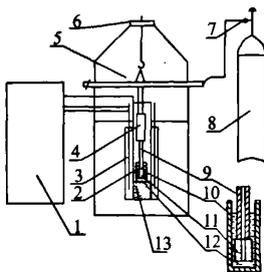
试样名称	原抗压强度/ MPa	后抗压强度/ MPa	强度变化率/ %	体积膨胀率/ %	试样外观	评价
日本 BC-7 炭砖	46.58	51.13	+9.77	6.23	有微裂	优(U)
国产微孔炭砖	38.57	43.37	+6.15	4.07	有微裂	优(U)
国产普通炭砖	34.30	15.30	-55.40	11.84	开裂疏松	差(C)
Si ₃ N ₄ 结合 SiC 砖	205.10	192.00	-6.31	3.10	无裂纹	优(U)
微孔铝碳砖	70.68	69.34	-1.90	7.23	无裂纹	优(U)
高铝砖	82.25	18.28	-77.78	38.15	疏松	差(C)
刚玉莫来石砖	92.20	20.19	-78.10	31.86	粉化	差(C)
自焙炭砖	52.45	37.40	-28.69	7.08	有大裂纹	差(C)



自左向右：磷酸浸渍粘土砖；普通粘土砖；抗碱试验前炭砖；抗碱试验后炭砖
图 5 几种高炉耐火砖抗碱试验后的试样外观

2.4 抗渣侵蚀性

在高炉内的矿石软融区域，初渣开始形成，其基本特点是 FeO 含量较高，对砖衬有很强的侵蚀性。炉身下部、炉腰、炉腹和炉缸区域的砖衬都会受到炉渣的侵蚀。如果用于这些部位的砖衬抗渣侵蚀性不好，就将很快被侵蚀。20 世纪 80 年代以前，武钢高炉炉身下部用高铝砖或粘土砖砌筑，虽然厚度很大，一般生产 2~3 年就被侵蚀殆尽，主要是这些耐火材料的抗炉渣侵蚀性很差。基于这些认识，我们设计了高炉耐火材料抗渣性试验方法，标准号为 YB/T117-1997，其试验流程见图 6。



1. 温度控制仪 2. 铂-铑热电偶 3. 硅钼棒 4. 平衡重锤
5. 通气软管 6. 支架 7. 流量计 8. 氮气瓶 9. 刚玉连接管 10. 刚玉坩埚 11. 试样 12. 炉渣 13. 刚玉管

图 6 高炉耐火材料抗渣侵蚀性试验流程

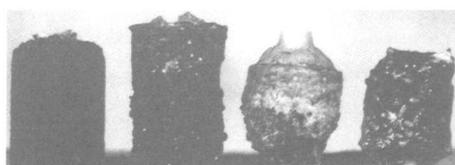
该试验方法以高炉渣为试剂，试样加工成

φ30 mm、长 40 mm 的圆柱形，中间有 φ8 mm 的贯通孔。试验时将炉渣放入坩埚，在高温炉中加热熔化，升温到 1460 °C 开始保温。耐火材料试样和刚玉管、平衡重锤、气管联接并安装好。炉渣温度稳定后将试样插入炉渣中悬挂好，并通 N₂ 气搅拌。40 min 以后取出试样冷却，称量剩余的重量，计算出侵蚀量的百分率。几种典型高炉耐火材料的抗渣性试验结果见表 4，抗渣试验后的试样外观见图 7。

表 4 几种高炉耐火材料抗渣试验结果

试样名称	炉渣侵蚀率/%
法国陶瓷杯砖	23.08
刚玉莫来石砖	57.00
微孔铝碳砖	19.32
高铝砖	100.00
磷酸浸渍粘土砖	100.00
碳化硅砖	0.00
复合棕刚玉砖	100.00
炭砖	0.00

从表 4 和图 6 看出，几种高炉耐火材料抗渣侵蚀性的优劣顺序为：炭砖、Si₃N₄ 结合 SiC 砖、微孔铝碳砖、法国陶瓷杯砖和刚玉莫来石砖。高铝砖、磷酸浸渍粘土砖和复合棕刚玉砖属同一等级，抗渣性很差，试验 20 min 后试样就全部熔化。



炭砖 铝炭砖 高铝砖 硅线石砖

图 7 耐火材料抗渣试验后的外观照片

2.5 耐火材料的微气孔指标

高炉破损调查中发现,炉缸、炉底的炭砖中存在严重的铁水渗透侵蚀,有的炭砖中铁水渗透深度可达 700 mm。铁水侵蚀炭砖时首先侵蚀碳质颗粒周围的基料,渗入炭砖的空隙、裂缝,将炭砖割裂成碎块,使炭砖失去强度。因此炭砖的气孔结构与铁水的侵蚀程度密切相关。砖衬侵蚀还有其它原因,如碱金属、锌的化学侵蚀,CO₂和水蒸气的氧化侵蚀等。这些侵蚀的共同之处也是气体首先渗入砖衬,在适宜的温度条件下沉积并与砖衬发生化学反应,破坏砖衬。也就是说,不论是碳质或是硅铝质砖衬,它们在高炉内的侵蚀程度都与其微孔结构有很大关系。因此,微气孔结构是表征高炉耐火材料抗侵蚀性的重要指标。

高炉耐火材料的微气孔指标包括透气度、小于 1 μm 孔容积率和平均孔径。透气度指标的试验方法标准号为 GB/T3000-1999,是在原有的耐火材料透气度试验方法基础上加以修改,用于炭砖的透气度测定。小于 1 μm 孔容积率和平均孔径指标试验方法则是根据耐火材料微气孔孔径分布新制定的,标准号为 YB/T118-1997,该试验方法的原理见图 8。

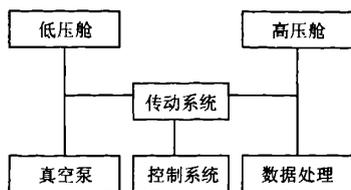


图 8 耐火材料微气孔孔径分布试验方法原理图

耐火材料微气孔孔径分布试验方法是采用 9320 型压汞仪进行测定,其工作原理是:液体进入毛细孔时,由于液体有表面张力,将阻止液体进入毛细孔。微孔砖的微气孔类似毛细孔,同样会阻止液体进入微气孔。压汞仪是以汞为工作液体,因其浸润性极小,常压下不会渗入微气孔。在汞承受的压力增加时,汞可以克服表面张力进入

微气孔,压力越大可以进入更小的微气孔。通过测量不同压力下进入微气孔的汞量,就可计算不同孔径的孔容积百分率、平均孔径及孔径分布等指标。

该试验方法可用于微孔炭砖、微孔铝碳砖等耐火材料的微气孔指标检测,可准确测定孔径范围为 0.006~360 μm 的微孔孔径分布、平均孔径和不同孔径下的微气孔容积的百分率。典型的高炉耐火材料微气孔检测指标见表 5。

表 5 几种高炉耐火材料的微气孔指标检验结果

试样名称	平均孔径/μm	<1 μm 孔容积/%
德国炭砖 7RDN	0.157 0	76.81
日本炭砖 BC-7S	0.234 3	76.00
法国炭砖 AM-102	0.111 2	79.00
美国热压小炭砖 NMA	1.083 0	53.40
国产微孔炭砖	0.240 0	73.69
国产半石墨炭砖	2.430 0	26.48
法国陶瓷杯砖	0.175 0	95.33
微孔刚玉砖	0.116 0	87.17
国产超微孔炭砖	0.099 0	82.41

从表 5 数据可知,国外微孔炭砖的微气孔指标较好,如法国 AM-102 型炭砖和陶瓷杯砖。近年开发的国产超微孔炭砖和微孔刚玉砖,其微气孔指标也进入了国际先进行列,并已优于某些国外产品。

3 高炉耐火材料试验方法的应用情况

多年来,我们使用上述试验方法对国内外各种高炉耐火材料进行对比检测,从试验结果可以较好地分辨它们使用性能的优劣,部分数据见表 6~表 8。

4 结 语

武钢开发的高炉耐火材料使用性能试验方法,基于模拟高炉炉衬的工作条件,试验结果能较好地反映高炉内的实际情况。使用这些试验方法和使用性能指标,对高炉耐火材料新品种的开发、长寿高炉的设计和建设和起了重要作用,是我国高炉长寿技术进步的一个重要环节。近年来,很多设计部门、炼铁厂和耐火材料厂逐渐认识到高炉耐火材料使用性能的重要性,在高炉设计和订货合同中采用了这些使用性能指标。但是,高炉耐火材料使用性能的推广应用还存在以下问题:

表 6 国内外典型高炉耐火材料的使用性能对比

试样名称	体积密度/ (g·cm ⁻³)	显气孔率/ %	透气度/ MPa	氧化率/ %	铁水溶蚀 指数/%	炉渣侵蚀 性/%	平均孔径/ μm	<1 μm 孔 容积分率/%
日本 BC-7S 炭砖	1.58	13.99	5.98	2.49	15.79	—	0.234	76.33
法国 AM-102 炭砖	1.56	17.00	0.28	8.09	13.46	—	0.109	78.67
兰州微孔炭砖	1.56	17.00	2.42	8.89	25.65	—	0.232	73.69
国产普通炭砖	1.57	14.10	151.00	33.69	29.20	—	2.170	26.48
美国热压小炭砖 NMA	1.62	18.86	4.44	18.06	28.18	—	1.083	53.40
国产超微孔炭砖	1.69	17.29	0.49	5.60	26.77	—	0.100	82.51
微孔铝炭砖	2.69	13.39	0.30	0.93	0.32	19.32	0.708	75.76
法国陶瓷杯砖	3.29	10.00	6.08	0.00	0.00	23.08	0.175	95.33
国产刚玉莫来石砖	2.86	18.00	119.00	0.00	0.54	57.00	—	—
国产复合棕刚玉砖	3.02	13.00	435.00	0.00	0.00	100.00	—	—
Si ₃ N ₄ 结合 SiC 砖	2.67	14.00	1.07	0.34	27.96	—	0.994	53.4.0
磷酸浸渍粘土砖	2.40	13.30	15.54	—	—	100.00	—	—

表 7 国内外典型高炉耐火材料抗碱性、试样外观、评价对比

试样名称	原抗压 强度/MPa	后抗压 强度/MPa	强度下 降率/%	体积膨胀 率/%	试样外观	评价
日本 BC-7S 炭砖	46.58	51.13	9.77	6.32	光洁无裂纹	优(U)
法国 AM-102 炭砖	29.41	37.10	26.00	3.23	无裂纹	优(U)
兰州微孔炭砖	43.20	55.26	27.92	3.15	无裂纹	优(U)
国产普通炭砖	40.90	24.07	-41.65	16.51	有大裂纹	差(C)
美国热压小炭砖 NMA	29.93	32.15	17.4	2.84	无裂纹	优(U)
国产超微孔炭砖	45.28	54.16	19.61	3.32	无裂纹	优(U)
微孔铝炭砖	70.90	64.96	-7.65	6.70	无裂纹	优(U)
法国陶瓷杯砖	66.08	67.05	2.38	5.84	无裂纹	优(U)
国产刚玉莫来石砖	105.00	35.80	-66.00	17.0	松散	差(C)
国产复合棕刚玉砖	98.41	6.55	-93.00	31.86	粉化	差(C)
Si ₃ N ₄ 结合 SiC 砖	175.00	226.00	28.86	6.40	无裂纹	优(U)
磷酸浸渍粘土砖	47.68	41.36	-15.28	7.05	无裂纹	良(LC)

表 8 国内外典型高炉耐火材料导热率对比

试样名称	导热率/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)			
	室温	300 °C	600 °C	800 °C
日本 BC-7S 炭砖	7.55	11.30	12.40	12.40
法国 AM-102 炭砖	8.85	11.8	14.00	15.00
兰州微孔炭砖	6.55	11.55	13.38	13.55
国产普通炭砖	3.57	3.67	5.00	5.49
美国热压小炭砖 NMA	4.96	11.30	16.10	16.60
国产超微孔炭砖	20.22	22.06	24.07	22.93
微孔铝炭砖	16.00	15.50	14.80	15.90
法国陶瓷杯砖	6.35	4.93	5.42	4.61
国产刚玉莫来石砖	4.16	4.48	4.46	5.08
国产复合棕刚玉砖	—	5.03	—	—
Si ₃ N ₄ 结合 SiC 砖	28.24	24.53	23.61	19.61
磷酸浸渍粘土砖	—	—	—	—

(1)有些高炉耐火材料的产品标准没有列出对上述使用性能指标的要求,订货单位不便向耐火材料生产厂家提出这些要求,而有些耐火材料的缺点恰恰是某些使用性能很差。例如,目前国内普遍采用刚玉莫来石砖和复合棕刚玉砖作为陶瓷杯用砖,它们的抗炉渣侵蚀性和抗碱性都很差,砌筑这种耐火砖的高炉有的发生了风口上翘,甚至引起炉壳开裂,表明它们不适合用作陶瓷杯砖。

(2)有些耐火材料产品标准中虽然规定了使用性能指标,有些炼铁厂对这些使用性能指标的重要性认识不足,订货合同中未将使用性能作为考核指标,不要求取样检验,使这些耐火材料产品的使用性能指标处于失控状态,最后影响高炉寿命。

(下转第 40 页)

图 5 示出了双相钢和 TRIP 钢的组织,双相钢为铁素体和马氏体,TRIP 钢实际上是多相钢,它的组织由铁素体、贝氏体、马氏体和残余奥氏体组成。对于 TRIP 钢,钢中的残余奥氏体含量对

钢的性能影响很大,武钢开发的 TRIP 钢残余奥氏体的含量在 8 % 左右,这保证了该钢具有良好的相变诱导塑性。

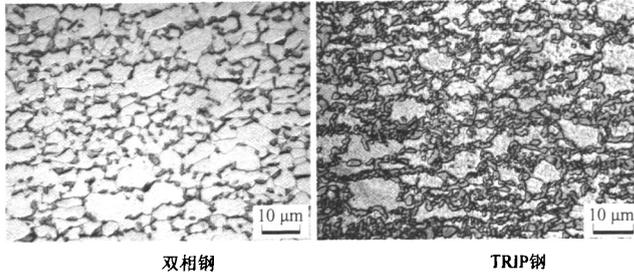


图 5 双相钢和 TRIP 钢的组织

4 高强度钢板的生产

通过多年的建设,武钢已建成完整的汽车板生产线,现在不仅生产软钢系列产品,而且也在批量生产高强度钢系列产品,目前 800 MPa 级产品还在试制,700 MPa 级及以下级别的各类产品都可批量向用户供货,表 4 示出了国内两家汽车厂最近在武钢订购的冷轧汽车板情况。

表 4 国内某两家汽车厂订购武钢冷轧板情况 (2008 年第 2 季度)

厂名	不同钢种的比例/%	
	高强度钢	软钢
A 厂	18	82
B 厂	11	89

总体来看,这 2 家汽车厂订购的高强度钢板的比例还较低,都未超过 20 %,这表明我国一些汽车厂在它们的车型上使用高强度钢板还处于起步阶段,今后这些汽车厂使用高强度钢板还具有

很大的潜力。武钢有能力为我国汽车厂提供高强度汽车用钢板,只要用户有需求,武钢能够满足他们的需要。

5 结 语

对于高强度汽车用钢板,武钢主要开发车身覆盖件用钢板、车身刚性结构件用钢板和车身软体结构件用钢板等 3 类高强度钢板产品,这些产品符合于当今汽车车身设计轻量化和安全性的发展趋势,基本上能够满足目前我国汽车工业的需要。今后武钢将进一步稳定已开发钢种的质量和增加新的品种,并不断探索生产更高强度汽车用钢板的方法。

[参考文献]

[1] Paul J. Belanger and Marcio Milititsky. Automotive high strength sheet steel trends in north america[J]. IF Steel 2003(5):8-15.

(收稿日期:2008-10-28)

(上接第 6 页)

我们认为,修订高炉耐火材料产品标准时应列出对使用性能指标的要求,以保证高炉使用优质的耐火材料。此外,对研制开发新型高炉耐火材料而言,应将改善其使用性能作为主要研究目标,使耐火材料新产品在延长高炉寿命方面发挥更大的作用。

[参考文献]

[1] 彭承系. 1 号高炉第一代大修破损调查及长寿原因分析 [M]. // 武钢炼铁四十年. 武汉:华中理工大学出版社, 1998:249-255.

(收稿日期:2008-11-14)

高炉耐火材料使用性能的研究

作者: [宋木森](#), [于仲洁](#), [SONG Mu-sen](#), [YU Zhong-jie](#)
作者单位: [武汉钢铁\(集团\)公司, 研究院, 湖北, 武汉, 430080](#)
刊名: [钢铁研究](#) **ISTIC**
英文刊名: [RESEARCH ON IRON AND STEEL](#)
年, 卷(期): 2009, 37(2)
被引用次数: 1次

参考文献(1条)

1. [彭承系](#) [1号高炉第一代大修破损调查及长寿原因分析](#) 1998

本文读者也读过(10条)

1. [梁丽华](#), [戈青](#), [Liang Lihua](#), [Ge Qing](#) 浅析高炉耐火材料的选用[期刊论文]-[太原科技](#)2004(5)
2. [宋木森](#), [邹祖桥](#), [于仲洁](#), [SONG Mu-sen](#), [ZOU Zu-qiao](#), [YU Zhong-jie](#) 我国高炉耐火材料发展现状[期刊论文]-[中国冶金](#)2005, 15(11)
3. [郑伟栋](#), [王庆祥](#), [Zheng Weidong](#), [Wang Qingxiang](#) 我国高炉用耐火材料的进展[期刊论文]-[耐火材料](#)2000, 34(3)
4. [徐国涛](#), [马道贵](#), [杜鹤桂](#) 高炉耐火材料的致密结构与性能问题分析[期刊论文]-[耐火材料](#)2003, 37(5)
5. [宋木森](#), [唐德明](#) 高炉耐火材料的特殊要求及发展状况[会议论文]-2001
6. [李左丹](#), [LI Zuo-dan](#) 高炉长寿技术的应用[期刊论文]-[包钢科技](#)2009, 35(3)
7. [彭达岩](#) 高炉用耐火材料的应用与发展[会议论文]-2002
8. [王安杰](#), [高长贺](#), [王艳玲](#), [赵春燕](#), [李燕京](#), [王林俊](#) 高炉主沟用耐火材料概况及长寿化研究[会议论文]-2009
9. [李勇](#), [薄钧](#), [张建芳](#), [刘雄章](#) 大型高炉用非氧化物复合耐火材料的演变及性能[期刊论文]-[耐火材料](#)2009, 43(2)
10. [霍慧芳](#), [彭达顺](#), [常耀超](#), [袁朝新](#), [王云](#) 直接还原铁回转窑耐火材料的选配、设计与施工[期刊论文]-[有色金属\(冶炼部分\)](#) 2010(5)

引证文献(1条)

1. [李付](#), [吕春江](#), [李杰](#), [王建栋](#), [吴吉光](#), [黄志刚](#) 高炉用新型自结合碳化硅砖性能研究[期刊论文]-[耐火材料](#) 2011(5)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gtyj200902001.aspx