

文章编号: 1005-3026(2006)11-1244-03

钢包工作衬用无碳预制块的研制与应用

陈敏¹, 王楠¹, 于景坤¹, 刘伟²

(1. 东北大学材料与冶金学院, 辽宁沈阳 110004; 2. 鞍钢新钢铁公司第二炼钢厂, 辽宁鞍山 114000)

摘 要: 以高铝刚玉为骨料, 电熔镁砂、氧化铝微粉和氧化硅微粉为基质料, 研制了钢包工作衬用无碳预制块。结果表明: MgO 与 Al₂O₃ 反应形成尖晶石伴随的体积膨胀效应使预制块获得了较小的烧后线收缩率。与传统的 Al₂O₃-MgO-C 砖相比, 由氧化物微粉结合的预制块具有较低的显气孔率, 较高的高温抗折强度和良好的抗渣性。现场实际应用结果表明, 用预制块砌筑的钢包工作衬具有较好的保温效果, 能够有效地减小精炼过程中钢水的温降, 并可以有效地防止钢水增碳, 有利于低碳钢和超低碳钢的生产。

关键词: 无碳预制块, 耐火材料, 钢包工作衬, 抗渣性, 保温

中图分类号: TB 332 **文献标识码:** A

镁铝碳砖因其具有良好的抗热震性、高耐火度和优良的抗渣性、抗结构剥落而作为钢包工作衬材料长期使用^[1,2]。但镁铝碳砖较高的热导率不仅会引起钢水在精炼过程中有一定程度的温降, 还常常引起包壳因过热而变形。此外, 作为含碳材料, 在生产低碳钢时, 容易使钢水增碳, 因此, 传统的 Al₂O₃-MgO-C 砖不适合低碳钢和超低碳钢的生产^[3,4]。

近年来, 耐火材料向低消耗、低污染的方向发展, 可浇注耐火材料因其生产工艺简单、成本低和整体性好等优点而得以迅速发展^[5,6]。其中, 无碳镁铝浇注料制成的钢包工作衬已经得到广泛应用, 有效地促进了低碳钢和超低碳钢的生产。

但在钢包浇注料的实际使用过程中也遇到了一些问题, 如: 用于浇注的模床需要较高的初期投资, 包衬寿命低及修补困难(特别是渣线以下部位); 一旦包壳发生变形则不易浇注, 特别在北方的寒冷地区, 需要较长养生时间和施工周期等。为了克服传统 Al₂O₃-MgO-C 砖及目前应用的无碳浇注料的不足, 本文研究了无碳钢包预制块的合成及其使用效果, 希望促进我国北方地区无碳钢包工作衬的开发与应用, 促进低碳和超低碳钢的生产。

1 实验研究方法

1.1 实验原料

所用主要原料包括骨料和基质料, 其中, 骨料

为高铝刚玉(化学成分见表1), 骨料粒度分为5个等级, 最大粒级 30~50 mm, 最小粒级为 0.088 mm(粒度配比如表2所示), 基质料种类及其化学组成如表3所示, 包括电熔镁砂、氧化铝微粉(Uf-Al₂O₃)和氧化硅微粉(Uf-SiO₂)。添加氧化硅微粉的目的是提高预制块的强度和抗热震性。电熔氧化镁颗粒包括 0.088, 0.044 mm 两个粒级, Al₂O₃ 微粉和 SiO₂ 微粉平均粒径均小于 2 μm。

表1 骨料的化学成分

Table 1 Chemical composition of aggregate materials %

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
98.25	0.25	0.05	0.71

表2 刚玉骨料的粒度配比

Table 2 Particle size distribution of corundum aggregate

粒级/mm	ω/%
30~10	10~30
10~5	5~10
5~3	5~10
3~1	10~20
<0.088	20~40

表3 基质料的化学组成

Table 3 Composition of matrix materials %

基质料	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O
电熔 MgO	0.16	0.90	0.84	0.45	97.47	5.42
Uf-Al ₂ O ₃	99.65	0.03	—	0.02	—	—
Uf-SiO ₂	0.68	98.0	0.29	0.07	0.18	0.21

收稿日期: 2005-11-08

基金项目: 国家自然科学基金和宝钢基金联合资助项目(20574021)。

作者简介: 陈敏(1969-),男,河北迁安人,东北大学副教授;于景坤(1960-),男,辽宁康平人,东北大学教授,博士生导师。

1.2 试样制备与性能检测

首先将骨料和基质料准确称量,其中基质料所占质量分数为 20%~40%,并加入其他添加剂(如防爆剂)和水混合,然后将混合料浇注成尺寸为 150 mm×230 mm×~100 mm 的预制块,将预制块养生、脱模后,在不同温度下加热。

通过测定试样的烧后线收缩率、体积密度、显气孔率(AP)、高温抗折强度(HMOR)、抗渣性等考察预制块的各种性能。其中,抗渣性采用坩埚法和旋转渣法^[7,8]进行评价(渣成分见表 4)。此外,通过对比某厂目前正在使用的由传统 Al₂O₃-MgO-C 砖砌筑的钢包和无碳预制块砌筑的钢包在精炼过程中钢水的温降情况,考察了合成预制块的保温效果。

表 4 抗渣实验用渣的化学成分

Table 4 Chemical composition of slag sample for corrosion test %

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
30.82	13.99	8.85	20.28	13.05	3.47	5.42

2 实验结果及考察

图 1 所示为 MgO 含量对预制块在 1 600 °C 加热 3 h 后的线收缩率的影响。由于基质中 MgO 与 Al₂O₃ 反应形成尖晶石时伴有 5%~8% 的体积膨胀效应,补偿了因烧结产生的收缩,随着 MgO 含量的增加,烧后线收缩率线性减小,当添加 3.6% MgO 时,产生了轻微的一线膨胀。当 MgO 添加量大于 4.8% 时,烧后线变化率受氧化镁添加量影响更为明显。这主要是由于 MgO 添加量增加时,因尖晶石化反应产生的体积膨胀过大而在预制块内产生应力并导致裂纹形成所致。众所周知,对钢包预制块而言,烧后线收缩过大,则砖缝太大,会产生钻钢现象,烧后收缩率太小(或膨胀过大)则应力较大,易引起结构剥落。因此,适宜的 MgO 添加量应为 4.8% 左右。

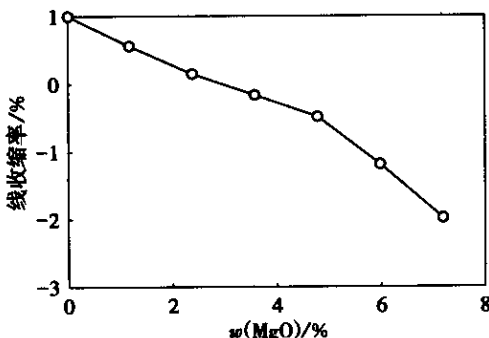


图 1 氧化镁含量对预制块烧后线收缩率的影响

Fig. 1 Relationship between MgO content and linear shrinkage of precast block

表 5 是预制块与传统 Al₂O₃-MgO-C 砖的物理性能比较结果。110 °C 下干燥 24 h 后预制块和 Al₂O₃-MgO-C 砖的致密度相近,预制块的显气孔率为 17.0%,Al₂O₃-MgO-C 砖的显气孔率为 17.5%。而在 1 600 °C 下加热后,预制块的显气孔率明显低于 Al₂O₃-MgO-C 砖。1 600 °C 加热 24 h 后,Al₂O₃-MgO-C 砖的显气孔率为 21.7%,而预制块的显气孔率为 18.4%。高温下 MgO 与 Al₂O₃ 尖晶石化反应伴随的体积效应使预制块比铝镁碳砖具有较小的线收缩率,并产生轻微烧后线膨胀。由于在 1 000 °C 时开始观察到膨胀现象,因此可以认为氧化镁与氧化铝的尖晶石化反应在大约 1 000 °C 时已经开始。这个结果与以前的研究结果一致^[9]。与 Al₂O₃-MgO-C 砖相比,预制块中氧化铝微粉和氧化硅微粉产生的氧化物微粉结合机理,使预制块中具有较高比例的陶瓷结合,并具有较低的气孔率,其抗折强度明显高于 Al₂O₃-MgO-C 砖。1 600 °C 加热后 Al₂O₃-MgO-C 砖的高温抗折强度为 18.5 MPa,而预制块为 25.6 MPa。

表 5 预制块和 Al₂O₃-MgO-C 砖的物理性能

Table 5 Comparison of physical properties of precast block with Al₂O₃-MgO-C brick

物理性能	烧成条件	MgO-Al ₂ O ₃ -C 砖	预制块
显气孔率	110 °C × 24 h	17.5	17.0
	1 000 °C × 24 h	18.0	17.2
	1 600 °C × 24 h	21.7	18.4
体积密度	110 °C × 24 h	3.05	3.00
	1 000 °C × 24 h	3.06	3.02
	1 600 °C × 24 h	2.95	2.98
线收缩率	1 000 °C × 24 h	0.02	-0.06
	1 600 °C × 24 h	-0.1	-0.50
HMOR (1 450 °C)	110 °C × 24 h	7.2	8.6
	1 000 °C × 24 h	8.2	12.3
	1 600 °C × 24 h	18.5	25.6

表 6 是预制块和 Al₂O₃-MgO-C 砖的抗渣实验结果。假定 Al₂O₃-MgO-C 砖各项指数为 100,预制块的侵蚀(或渗透)深度与 Al₂O₃-MgO-C 砖侵蚀(或渗透)深度相比较的结果,即为预制块的抗渣侵蚀性能指标。坩埚法和旋转渣法的实验结果均表明,预制块比 Al₂O₃-MgO-C 砖具有较小的熔蚀指数和渗透指数,即预制块具有较好的抗渣侵蚀性。

图 2 是由 Al₂O₃-MgO-C 砖和预制块砌筑的钢包在使用过程中的钢水温降统计结果。Al₂O₃-MgO-C 砖在使用过程中钢水的最小温降、最大温降和平均温降分别为 0.47、1.85、1.09 °C/min,而以预制块砌筑的钢包的各项温降则分别只有

0.12, 1.52, 0.91 °C/min. 后者明显小于前者, 即预制块比 Al₂O₃-MgO-C 砖具有更好的绝热保温效果. 这个结果主要是由于预制块中没有高导热率的碳成分, 降低了钢包工作衬因导热引起的热损失所致.

表 6 Al₂O₃-MgO-C 砖和预制块的渣蚀测试结果

Table 6 Slag corrosion test results of Al₂O₃-MgO-C brick and precast block

烧成条件	MgO-Al ₂ O ₃ -C 砖	预制块
静态坩埚法熔蚀指数	100	63
静态坩埚法渗透指数	100	34
回转抗渣法熔蚀指数	100	72
回转抗渣法渗透指数	痕	痕

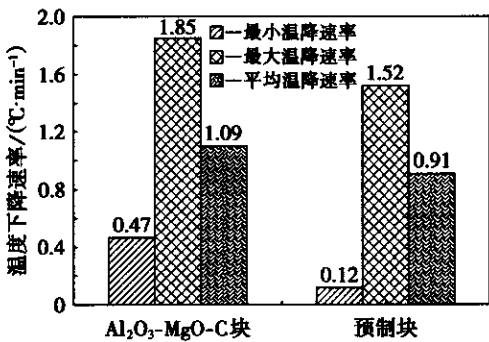


图 2 Al₂O₃-MgO-C 砖和预制块砌筑的钢包在精炼过程中钢水温降情况

Fig. 2 Temperature drop rates of molten steel in the ladle with Al₂O₃-MgO-C brick lining and precast block during the refining process

由于预制块不含有碳, 在精炼低碳钢和超低碳钢过程中, 钢包工作衬不会引起钢水增碳, 故可认为无碳预制块的应用有利于促进低碳钢和超低碳钢生产.

3 结 论

(1) 由氧化物微粉结合的钢包工作衬用无碳预制块具有良好的致密性、烧后线收缩率及高温抗折强度等.

(2) 无碳预制块具有良好的抗渣侵蚀性.

(3) 无碳预制块具有良好的绝热性能, 能有效地减少钢水精炼过程中的温降.

(4) 无碳预制块能够有效地促进低碳钢和超低碳钢的生产.

参考文献:

- [1] Ewais, Emad M M. Carbon based refractories[J]. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 2004, 112(10):517-532.
- [2] Semler C E. Global development of refractories[A]. *Proceedings of UNITECR '95*[C]. Kyoto, 1995:77-80.
- [3] 阮国智, 李楠, 吴新杰. Al₂O₃-C 耐火材料对超低碳钢的增碳作用[J]. *耐火材料*, 2004, 38(6):399-401, 406. (Ruan G Z, Li N, Wu X J. Research on carbon pick-up of ultra-low-carbon liquid steel by Al₂O₃-C refractories[J]. *Refractories*, 2004, 38(6):399-401, 406.)
- [4] Ruan G Z, Li N. Carbon pickup of interstitial free steel from Al₂O₃-C refractories[J]. *Ironmaking and Steelmaking*, 2004, 31(4):342-344.
- [5] Zhang S, Lee W E. Carbon containing castables: current status and future prospects[J]. *British Ceramic Transactions*, 2002, 101(1):1-8.
- [6] Lee W E, Vieira W, Zhang S, et al. Castable refractory concretes[J]. *International Materials Reviews*, 2001, 46(3):145-167.
- [7] Lee W E, Zhang S. Melt corrosion of oxide and oxide-carbon refractories[J]. *International Materials Reviews*, 1999, 44(3):77-104.
- [8] 许晓明, 冯改山. 耐火材料技术手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000:40-43. (Xu X M, Feng G S. *Technical handbook of refractories* [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2000:40-43.)
- [9] Faghihi-Sani M A, Yamaguchi A. Formation of spinel-carbon composite clinker[J]. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 2001, 109(10):851-857.

Development and Application of Carbon-Free Precast Block for Ladle Lining

CHEN Min¹, WANG Nan¹, YU Jing-kun¹, LIU Wei²

(1. School of Materials & Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. The Second Steelmaking Plant, Anshan Iron & Steel Group Corporation, Anshan 114000, China. Correspondent: CHEN Min, E-mail: slakejp@163.com)

Abstract: A carbon free precast block was developed by using fused high-Al corundum as aggregate and electro-melting magnesia and ultra-fine Al₂O₃ and SiO₂ powders as matrix materials. A small linear shrinkage of the precast block was found through the volume expansion due to the spinel which was produced from the reaction of MgO with Al₂O₃ in matrix. The precast block shows lower apparent porosity and higher hot modulus of rupture and slag corrosion resistance in comparison to conventional Al₂O₃-MgO-C brick. Practical applications revealed that bonding the precast blocks together as ladle lining can provide better thermal insulation which will effectively reduce the temperature drop of molten steel in refining process and prevent molten steel from carburization. The carbon-free precast block is thus regarded as a new type of ladle lining material that is beneficial to the production of low-carbon and ultra-low-carbon steel.

Key words: carbon free precast block; refractory; ladle lining; slag corrosion resistance; thermal insulation

(Received November 8, 2005)

作者: 陈敏, 王楠, 于景坤, 刘伟, CHEN Min, WANG Nan, YU Jing-kun, LIU Wei
作者单位: 陈敏, 王楠, 于景坤, CHEN Min, WANG Nan, YU Jing-kun (东北大学材料与冶金学院, 辽宁沈阳, 110004), 刘伟, LIU Wei (鞍钢新钢铁公司第二炼钢厂, 辽宁鞍山, 114000)
刊名: 东北大学学报(自然科学版) **ISTIC EI PKU**
英文刊名: JOURNAL OF NORTHEASTERN UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE)
年, 卷(期): 2006, 27(11)
被引用次数: 2次

参考文献(9条)

1. [Ewais Emad M M Carbon based refractories](#)[外文期刊] 2004(10)
2. [Semler C E Global development of refractories](#) 1995
3. [阮国智;李楠;吴新杰 Al2O3-C耐火材料对超低碳钢的增碳作用](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2004(06)
4. [Ruan G Z;Li N Carbon pickup of interstitial free steel from Al2O3-C refractories](#)[外文期刊] 2004(04)
5. [Zhang S;Lee W E Carbon containing castables:current status and future prospects](#)[外文期刊] 2002(01)
6. [Lee W E;Vieira W;Zhang S Castable refractory concretes](#)[外文期刊] 2001(03)
7. [Lee W E;Zhang S Melt corrosion of oxide and oxide-carbon refractories](#)[外文期刊] 1999(03)
8. [许晓明;冯改山 耐火材料技术手册](#) 2000
9. [Faghihi-Sani M A;Yamaguchi A Formation of spinel-carbon composite clinker](#)[外文期刊] 2001(10)

本文读者也读过(10条)

1. [李秉强, 于华财, 富强, 孙凤春, 程官江 钢包工作衬用无炭预制块的研制与应用](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2004, 38(2)
2. [彭胜堂, 吴峰, 卫杰峰 精炼钢包用刚玉质无碳预制块砖的研制与应用](#)[会议论文]-2007
3. [白长柱, 牛智旺, 楚振芳, 孙晓敏 钢包包衬用铝镁质浇注预制块的开发与使用](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2004, 38(5)
4. [易碧辉 铝镁质预制块的研究和使用](#)[学位论文]2005
5. [高文军, 王迎春 无碳钢包衬砖的生产与应用](#)[期刊论文]-[辽宁建材](#)2004(4)
6. [谈芬芳, 卫杰峰, 吴峰, 帅汉州 钢包用镁尖晶石预制块的研制](#)[会议论文]-2008
7. [李公法, 蒋国璋, 孔建益, 陈世杰, 何婷婷, LI Gong-fa, JIANG Guo-zhang, KONG Jian-yi, CHEN Shi-jie, HE Ting-ting 钢包复合结构体的钢包底内衬膨胀缝对钢包应力的影响研究](#)[期刊论文]-[机械设计与制造](#)2010(1)
8. [黄奥, 汪宁, 顾华志, 汪厚植, 万少锋 300 t精炼钢包温度场和应力场的有限元分析](#)[期刊论文]-[耐火材料](#) 2009, 43(4)
9. [周康 三炼钢厂无碳砖钢包构筑工艺研究](#)[会议论文]-2005
10. [卫杰峰, 汪洋, 熊力, 张俊韬 精炼钢包用刚玉质无碳耐材的研制与应用](#)[会议论文]-2008

引证文献(2条)

1. [党金海, 孙凤晓, 李长新 无碳新技术钢包及在济钢的应用](#)[期刊论文]-[山东冶金](#) 2010(6)
2. [冯海霞, 柳军, 韦祎 精炼钢包衬用刚玉尖晶石质免烧砖的研制与应用](#)[期刊论文]-[材料工程](#) 2010(z2)