

文章编号:1671-6833(2011)01-0054-05

水泥窑用碱性耐火材料的高温力学性能研究

张国平¹, 欧阳世翕², 钟香崇¹, 王杰曾²

(1. 郑州大学 高温功能材料河南省重点实验室, 河南 郑州 450052; 2. 中国建筑材料科学研究总院, 北京 100024)

摘要:采用扭转方法对水泥窑用直接结合镁铬砖、镁铝尖晶石砖和白云石砖的高温力学性能进行了研究,结果表明:3种砖的刚性模量-温度曲线和抗折强度-温度曲线均为I型曲线,刚性模量和抗剪强度由大到小的顺序为:白云石砖>镁铝尖晶石砖>直接结合镁铬砖.白云石砖、镁铝尖晶石砖和镁铬砖的塑性变形开始温度分别为600,800和800℃;在发生快速流动的温度范围内(1250~1350℃),流动量的大小顺序为:白云石砖>镁铝尖晶石砖>直接结合镁铬砖.

关键词:碱性耐火材料;高温力学性能;水泥窑

中图分类号:TQ175.1'5 **文献标志码:**A

0 引言

碱性耐火材料是用于水泥回转窑烧成带和过渡带的关键性耐火材料^[1-2].回转窑在运行过程中,耐火材料会受到各种热应力、机械应力的作用(如砖块之间因热膨胀受限产生的挤压、筒体变形对砖产生的挤压,以及砖和窑筒体之间产生的摩擦)发生损坏^[3-5].窑衬热端表面发生的化学反应会引起耐火材料物理性能的变化,尤其是反应部位热膨胀系数的变化,加剧了机械剥落和热剥落的发生^[6].为深入了解水泥窑用碱性耐火材料的高温力学性能,笔者对水泥工业常用的直接结合镁铬砖、镁铝尖晶石砖和白云石砖在不同温度下进行扭转实验涉及的应力-应变关系、刚性模量、抗剪强度等力学性能进行了系统研究.

1 实验

1.1 实验材料

本试验所采用的材料为辽宁营口青花集团生产,其化学组成与物理性能如表1所示.从表1可知:直接结合镁铬砖、镁铝尖晶石砖和白云石砖的CaO/SiO₂摩尔比分别为1.04、0.69和23.50;白云石砖中熔剂物质Fe₂O₃和Al₂O₃的含量分别为1.09%和0.53%.

1.2 高温扭转及方法

扭转实验设备如图1,试样穿过炉体H由左

表1 试样的化学组成和物理性能

Tab.1 Chemical composition and physical properties of specimens

种类	镁铬砖	镁铝尖晶石砖	白云石砖
$w(\text{SiO}_2)/\%$	1.14	1.09	1.09
$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/\%$	4.06	0.34	1.09
$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	5.50	11.08	0.53
$w(\text{CaO})/\%$	1.11	0.70	23.91
$w(\text{MgO})/\%$	79.03	86.70	70.73
$w(\text{Cr}_2\text{O}_3)/\%$	10.06	—	—
体积密度/(g·cm ⁻³)	2.98	2.92	3.06
显气孔率/%	17	16.5	14.5
常温耐压强度/MPa	50	60	78
荷重软化温度/℃	1700	1700	1700

右夹盘G安装在仪器上.试样左端与转盘B相连,右端固定,转盘B上绕有一条细钢丝绳,绳的两端连着砝码盘A或加重盘.在它上面加砝码即可以通过转盘将扭转应力传递给试样.在夹盘与炉体之间有左右两个金属夹子C,它们被固定在试样上,C连接着位移探头E,当试样发生扭转时金属夹子就会推动位移探头发生移动,仪器会自动记录探头移动的距离.这样就可以计算由于应力而偏转的角度.

收稿日期:2010-07-18;修订日期:2010-08-30

作者简介:张国平(1964-),男,河南济源人,郑州大学讲师,博士研究生,主要从事耐火材料力学性能的研究. E-mail:zdzgp@yahoo.com.cn.

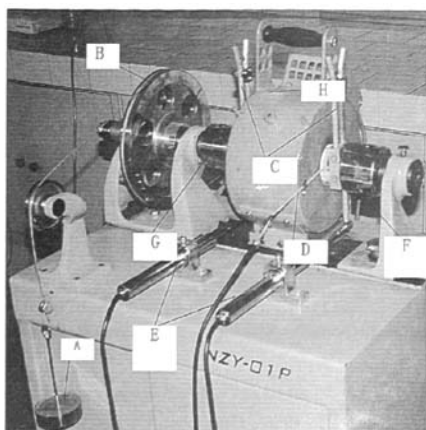


图 1 NZY-01P 型高温扭转试验机

Fig.1 NZY-01P high temperature torsion instrument

扭转实验试样有两种:(1)简单试样:200 mm × 15 mm × 15 mm 的长方形条状样品;(2)标准试样:200 mm × 15 mm × 15 mm 长方形条状样品,试样中部截面尺寸减小到 10 mm × 10 mm.

1.2.1 刚性模量试验

简单试样装妥后,在加重盘上加砝码.每次增加应力之后,即由位移探头把位移传递给通讯仪记录下来,以测量偏转角度.到达最高转矩时(最高转矩为 0.5 N · m,转矩增量为 0.1 N · m)测得的偏转角度为原始偏转角,应力保持 30 min 后的偏转角度为总偏转角度.应力保持期间每隔 1 ~ 5 min 观察流动情况,即测量偏转角度的增加速度.此后,按原定转矩增量逐步去除应力,并测量偏转角度的变化,直到全部应力去除为止.分别在 20, 200, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 250, 1 300 和 1 350 °C 对各试样进行扭转应力 - 应变试验,绘制应力 - 应变曲线,找出各试样的塑性变形开始温度 (T_p) 和塑性流动开始温度 (T_f);根据应力 - 应变试验的数据计算各试样在上述不同温度下的刚性模量,并绘制刚性模量 - 温度曲线,同时找出各试样的刚性模量转折温度 (T_s)^[7].

$$E = \frac{7.11Ml}{S^4\theta} \quad (1)$$

式中: E 为刚性模量, MPa; M 为最高转矩, N · m; S 为断面边长, mm; θ 为总偏转角度, rad; l 为试样长度, mm.

1.2.2 抗剪强度试验

试验采用标准试样,为了保证增加应力的均衡性,采用加水法来传送扭转应力;原来加重盘用

加水桶代替,用流量计控制流速.本实验水流速度为 46 g/min,相当于每分钟 0.046 N · m 的转矩.流速一经确定不得变动.

分别升温到 20, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 350 °C 并保温足够长时间.温度升到预定温度,恒定 10 min 后,打开水流开关并调节流速,开始实验.

试样扭断时,水流即中断.根据试样尺寸,水流速度和时间以及偏转角度(由位移量计算),计算抗剪强度^[7].

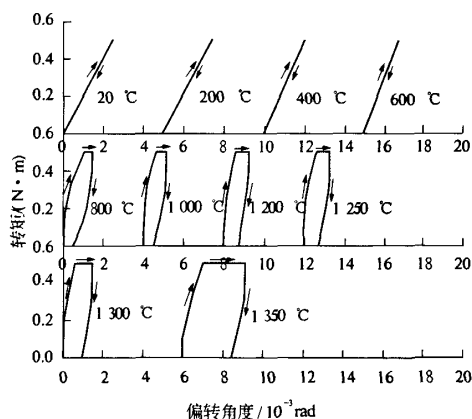
$$T = \frac{M}{0.208a^3} \quad (2)$$

式中: T 为抗剪强度, MPa; M 为扭断时所需的转矩总值, N · mm; a 为试样中间部分的边长, mm.

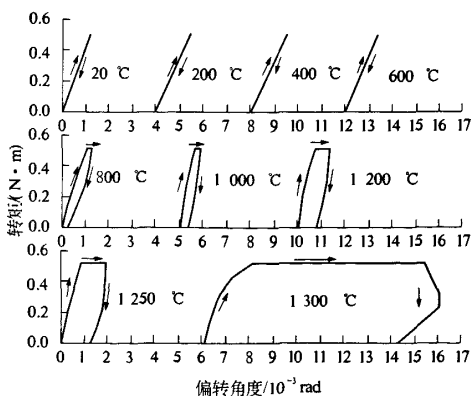
2 结果与讨论

2.1 试样在不同温度下的刚性模量

试样在不同温度 (20 ~ 1 350 °C) 的应力 - 应变曲线如图 2.



(a) 直接结合镁铬砖



(b) 镁铝尖晶石砖

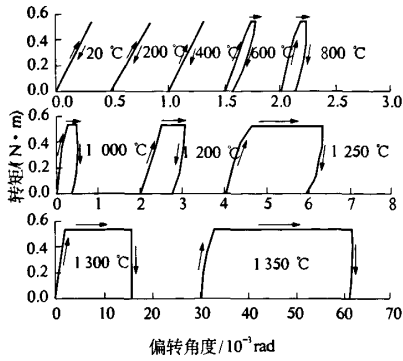


图2 3种砖在不同温度下的应力-应变曲线
Fig.2 Stress-strain curves of three types of brick at different temperatures

结果表明,3种砖的应力-应变曲线基本相似,以直接结合镁铬砖为例(图2(c))可以看出:

(1)在20~600℃范围内,试样加荷过程与卸荷过程的应力-应变曲线是可逆(重合)的直线,在应力撤除后不存在残余变形,试样在应力下的变形属于弹性变形;

(2)从800℃开始,试样卸荷过程的应力-应变曲线与加荷过程的应力-应变曲线不重合,应力撤除后有少量的永久变形,表明试样从800℃进入塑性变形阶段,其塑性变形开始温度(T_p)为800℃.随测试温度增高,保持转矩时间内产生的塑性变形逐渐增加;

(3)温度为1350℃时,变形量显著增大,表明试样已进入塑性流动阶段,其塑性流动开始温度(T_v)为1350℃(见表2);

1300℃保持应力期间,白云石砖的流动量是镁铝尖晶石砖的2倍,是镁铬砖的17倍;在1350℃保持应力期间,白云石砖的流动量是镁铬砖的14倍.在发生快速流动的温度范围内(1250~1350℃),流动量的大小顺序为:白云石砖>镁铝尖晶石砖>镁铬砖.

上述3种材料在不同温度下测出的刚性模量和偏转角见图3,4.

从图3和图4可以看出:3种砖的刚性模量-温度曲线均为I型曲线^[7].在低温阶段,随温度升高刚性模量增加(偏转角度减小),直到某一温度时即达到刚性模量最高值(偏转角度最低),之后随温度继续升高,刚性模量下降,偏转角度逐渐增大.

温度低于1200℃时刚性模量由大到小的顺序为:白云石砖>镁铝尖晶石砖>镁铬砖.

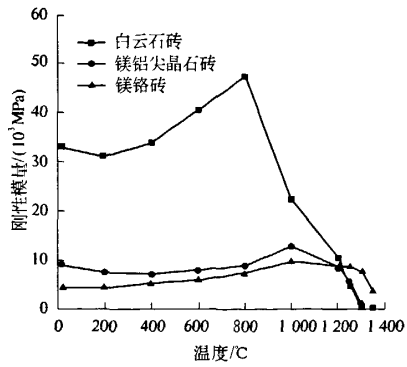


图3 3种砖在不同温度下的刚性模量-温度曲线
Fig.3 MOE-T curves of three types of brick at different temperatures

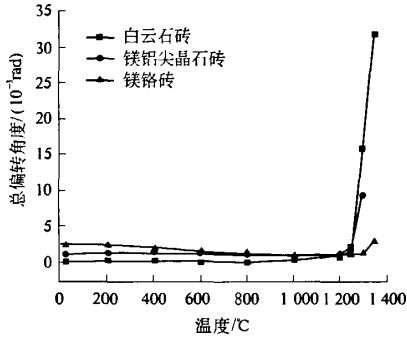


图4 3种砖在不同温度下的偏转角度变化曲线
Fig.4 Deflection angle curves of three types of brick at different temperatures

温度高于1250℃时3种碱性砖刚性模量由大到小的顺序为:直接结合镁铬砖>镁铝尖晶石砖>白云石砖.

高温下由于基质中玻璃相发生软化产生塑性流动,导致在相同应力作用下的应变量增加,材料刚性模量下降,应力作用下产生的转角增大.3种碱性耐火材料的塑性变形开始温度(T_p)、塑性流动开始温度(T_v)、以及刚性模量转折温度(T_z)见表2.

表2 试样的 T_p , T_v 和 T_z
Tab.2 T_p , T_v and T_z of specimens °C

试样	镁铬砖	镁铝尖晶石砖	白云石砖
T_p	800	800	600
T_v	1350	1300	1250
T_z	1000	1000	800

2.2 试样在不同温度下的抗剪强度

在标准试样的轴线方向施加一个连续变动的剪切应力时,产生应变.当剪切应力超过试样所能容许的最大范围时,产生扭断.抗剪强度-温度曲

线如图 5.

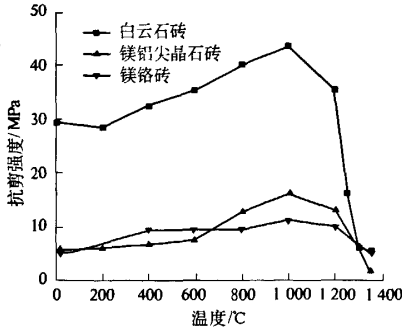


图 5 3 种砖的抗剪强度 - 温度曲线

Fig.5 Shear strength - temperature curves of three types of brick

从图 5 可以看出:从室温到 1 000 °C,抗剪强度随着温度的升高而增加,在 1 000 °C 时达到最大值,白云石砖的抗剪强度为常温的 1.5 倍,镁铝尖晶石砖为常温的 2.8 倍,直接结合镁铬砖为常温的 2.4 倍,此后随着温度的升高抗剪强度迅速下降.抗剪强度 - 温度曲线属于 I 型曲线.在所有温度范围内,白云石砖的抗剪强度均高于镁铬砖和镁铝尖晶石砖.这些结果和前面的刚性模量试验结果,在基本特征方面是相似的.在塑性流动开始之前,刚性模量和抗剪强度都随着温度升高而增加;但是在塑性流动显著产生之后,由于基质中玻璃相的软化导致刚性模量和抗剪强度显著下降.

3 讨论

在中低温(200 ~ 1 000 °C)范围内,刚性模量随温度而提高的现象,主要由于在烧成后的冷却过程中,材料内部不同物相(主晶体、次晶相和玻璃相)之间由于存在热膨胀系数差别可能导致存在微裂纹或残余应力.重新加热过程中,不同颗粒之间的接触变得更为紧密,材料内部的一些微裂纹得以弥合,残余应力得以通过退火消除,一定程度上增强了材料的结构,有利于阻延受扭转应力发生的变形,表现为材料的强度增加、刚性模量提高.

以镁砂为主要原料的碱性耐火材料,当 CaO/SiO₂ 摩尔比小于 2 时,与主晶相方镁石共存含 CaO 的结合相以 CMS 和 C₃MS₂ 等低熔点的矿物存在. CaO/SiO₂ 摩尔比提高则存在 C₂S 和 C₃S 高熔点矿物.镁白云石砖中尽管 CaO/SiO₂ 摩尔比较

高(为 23.50),但 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 含量较多,Fe₂O₃ 和 Al₂O₃ 与 CaO 反应生成较多的低熔点的矿物 C₂F 和 C₄AF 等,高温下这些低熔点相的软化导致白云石砖的高温性能下降.由文献[2]知,当基质里含有 C₄AF 时,形成液相的开始温度为 1 260 ~ 1 320 °C.而镁铬砖中镁铬晶粒之间可形成镁铬尖晶石固溶体为直接结合,少量硅酸盐以孤立状处于晶粒之间,致使直接结合镁铬砖的高温力学性能优于镁铝尖晶石砖.因此白云石砖的塑性流动开始温度(实际上应为黏滞流动开始温度)要低于直接结合镁铬砖和镁铝尖晶石砖.

4 结论

(1)白云石砖、镁铝尖晶石砖和直接结合镁铬砖的塑性变形开始温度分别为 600 °C, 800 °C 和 800 °C;在发生急剧流动的温度范围内(1 250 ~ 1 350 °C),流动量的大小顺序为:白云石砖 > 镁铝尖晶石砖 > 直接结合镁铬砖.

(2)3 种砖的刚性模量 - 温度曲线均为 I 型曲线,刚性模量由大到小的顺序为:白云石砖 > 镁铝尖晶石砖 > 直接结合镁铬砖.

(3)3 种砖的抗剪强度 - 温度曲线与刚性模量 - 温度曲线相似,抗剪强度由大到小的顺序为:白云石砖 > 镁铝尖晶石砖 > 直接结合镁铬砖.

参考文献:

- [1] 夏天祥.水泥工业用耐火材料[J]. 国外耐火材料, 1986(1):11-14.
- [2] 陈旭峰.水泥窑用碱性耐火砖[J]. 国外耐火材料, 1994(4):20-23.
- [3] NAZIRI M, DIDIER W A G. Refractory solutions [J]. International Cement Review, 1996(9): 55-58.
- [4] KUNNECKE M. Wear phenomena of refractory linings in the burning zone of rotary cement kilns[J]. Refrat-echnik Report, 2001(55):1-10.
- [5] 刘素健.水泥回转窑的机械应力对耐火材料内衬的影响[J]. 国外耐火材料, 2003(3):3-9.
- [6] GLYN C. Selecting refractory materials [J]. World Cement, 2000,31(4):76-82.
- [7] 钟香崇. 碱性耐火材料的热机械性质[M]. 北京:冶金工业出版社,1957:9-15.
- [8] GB/T 3002—1982 耐火制品高温抗折强度试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,1982.

Research on High Temperature Mechanical Properties of Basic Refractory for Cement Kilns

ZHANG Guo-ping¹, OUYANG Shi-xi², ZHONG Xiang-chong¹, WANG Jie-zeng²

(1. High Temperature Ceramics Institute, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China; 2. China Building Materials Academy, Beijing 100024, China)

Abstract: High temperature mechanical properties of direct bonded magnesia-chromite brick, magnesia-alumina spinel brick and dolomite brick used in cement kilns have been studied in this paper. The results show that MOE - T curves and shear strength -temperature curves of three types of brick to I - Curve. The MOE and shear strength from strong to weak are: dolomite brick > magnesia-alumina spinel brick > direct bonded magnesia-chromite brick. The temperature of initial plastic deformation is 600, 800, and 800 °C respectively. Within the temperature range (1 250 ~ 1 350 °C), the order of rapid flow is: dolomite brick > magnesia-alumina spinel brick > direct bonded magnesia-chromite brick.

Key words: basic refractory; high temperature mechanical property; cement kiln

(上接第 53 页)

Study on the Phase Structure and the Crystalline Morphology of Toughening Master Batch of Toughened HDPE with Excellent Rigidity

FAN Wei-hua¹, LI Gui-xun², CAO Yan-xia², BAI Juan², CHEN Jin-zhou², WANG Jing-wu²

(1. The Nurseing College of Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. School of Materials Science and Engineering Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Using transmission electron microscope and polarizing light microscope, the phase structure and the crystalline morphology of the toughening master batch (E-TMB) of toughened HDPE with excellent rigidity were studied. The results show that there is different phase structure between the E-TMB and the simple blending master batch contrast(E-SMB): E-SMB has not sausage structure, and there are "cavitation" and "debond" in it. But E-TMB has celluar structure (sausage structure), in which HDPE is continuous phase, elastomer is dispersed phase, the dispersed phase contains considerable HDPE, the elastomer dispersibility of E-TMB's in HDPE is superior to E-SMB's. The crystallite size of E-TMB is remarkably smaller and the number of the crystal is obviously more than that of the pure HDPE. The crystallite size substantially reduces and the refined extend gradually increases with the elastomer ratio (M/N) decreasing.

Key words: HDPE; toughening master batch; phase structure; crystalline morphology

水泥窑用碱性耐火材料的高温力学性能研究

作者: [张国平](#), [欧阳世翕](#), [钟香崇](#), [王杰曾](#), [ZHANG Guo-ping](#), [OUYANG Shi-xi](#), [ZHONG Xiang-chong](#), [WANG Jie-zeng](#)

作者单位: [张国平, 钟香崇, ZHANG Guo-ping, ZHONG Xiang-chong\(郑州大学高温功能材料河南省重点实验室, 河南, 郑州, 450052\)](#), [欧阳世翕, 王杰曾, OUYANG Shi-xi, WANG Jie-zeng\(中国建筑材料科学研究总院, 北京, 100024\)](#)

刊名: [郑州大学学报\(工学版\)](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF ZHENGZHOU UNIVERSITY\(ENGINEERING SCIENCE\)](#)

年, 卷(期): 2011, 32(1)

参考文献(8条)

1. [夏天祥](#) [水泥工业用耐火材料](#) 1986(01)
2. [陈旭峰](#) [水泥窑用碱性耐火砖](#) 1994(04)
3. [NAZIRI M;DIDIER W A G](#) [Refractory solutions](#) 1996(09)
4. [KUNNECKE M](#) [Wear phenomena of refractory linings in the burning zone of rotary cement kilns](#) 2001(55)
5. [刘素健](#) [水泥回转窑的机械应力对耐火材料内衬的影响](#)[期刊论文]-[国外耐火材料](#) 2003(03)
6. [GLYN C](#) [Selecting refractory materials](#) 2000(04)
7. [钟香崇](#) [碱性耐火材料的热机械性质](#) 1957
8. [GB/T 3002-1982. 耐火制品高温抗折强度试验方法](#) 1982

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zzgydxxb201101014.aspx