

简 报

β -sialon 结合 SiC 复相材料的分相抗氧化行为

隋万美, 宋然然

(青岛大学物理系, 山东 青岛 266071)

摘 要: 对粘土类原料碳热还原及氮化反应法合成的 β -sialon 结合 SiC 复相耐火陶瓷材料进行了不同氧化条件下的抗氧化性实验。研究表明: 1 300 °C 时的氧化过程在 12 h 内为化学反应控制阶段, 12 h 后为扩散控制阶段。扩散控制阶段反应符合 Ginstleringer 扩散动力学关系。首次分别得到复合状态下的 β -sialon 基质相、SiC 颗粒相及 β -sialon 结合 SiC 复合相在 1 300 °C 下的分相扩散控制型抗氧化反应动力学方程, 从各相的扩散控制型反应级数确认了 β -sialon 基质相对 SiC 颗粒相的高温氧化保护作用以及复相材料具有的优异抗高温氧化性能。

关键词: 碳化硅; 抗氧化; sialon; 耐火材料; 陶瓷

中图分类号: TQ174, TQ175 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-5648(2003)09-0883-05

OXIDATION RESISTANCE BEHAVIORS OF β -SIALON BONDED SiC MULTIPHASE MATERIALS

SUI Wanmei, SONG Ranran

(Department of Physics, Qingdao University, Qingdao, Shangdong 266071, China)

Abstract: The oxidation resistance behavior of β -sialon bonded SiC multiphase ceramics refractory manufactured by the method of carbon-thermal-reduction reaction and nitridation reaction of clay mineral with the addition of SiC particle phase was investigated. The results show that the obvious starting temperature of oxidation reaction is about 1 000 °C. The oxidation reaction under 1 000 °C mainly takes place in sialon matrix phase. The oxidation process above 1 300 °C makes about 50% reduction in the open pores volume of the multiphase materials. The oxidation reaction process at 1 300 °C can be divided into two reaction kinetics periods, one of which is called the chemical reaction controlling stage at the beginning period of 12 h, the other is the diffusion controlling stage after 12 h. The latter is coincided with the Ginstleringer's kinetic models of diffusion controlling type. The oxidation kinetic equation of diffusion controlling type are obtained separately for sialon matrix phase and SiC particle phase and sialon bonded SiC multiphase materials in multiphase materials firstly, which illustrate the protective effect of sialon matrix phase to SiC particle phase.

Key words: silicon carbide; oxidation resistance; sialon; refractory; ceramics

采用不同高温结构陶瓷材料(如氧化硅、氧氮化硅、莫来石、氮化硅、sialon 等)作为结合剂形成的颗粒 SiC 复相耐火材料具有高温强度高、耐气相及液相高温介质腐蚀、导热系数大、热膨胀系数小而抗热震性优异等特点, 其制品已相继在建材窑炉及黑色、有色冶金高温炉中作为优质耐火材料得到广泛的研究与应用^[1~2]。在含氧高温工况下的使用

情况表明, 高温环境下除要求材料有良好的高温物理机械性能外, 材料的抗氧化性能也是影响制品使用性能的重要因素。目前, 对单相 SiC 材料及陶瓷结合 SiC 复相材料的整体抗氧化性已有人进行过实验分析^[3~5], 但对 β -sialon 结合 SiC 材料中 β -sialon 基质相及处于基质相包裹状态下的 SiC 颗粒相的单独抗氧化行为尚缺乏了解。为此, 首先采用

收稿日期: 2003-02-14。修改稿收到日期: 2003-04-03。

作者简介: 隋万美(1957~), 男, 博士, 教授。

Received date: 2003-02-14. Approved date: 2003-04-03.

Biography: SUI Wanmei(1957-), male, doctor, professor.

E-mail: wlswm@qdu.edu.cn

相同工艺条件制备出β-sialon结合SiC及β-sialon结合刚玉复相耐火材料,再对在相同高温氧化条件下2种材料的抗氧化性进行了对比测试分析,分别考察了复相材料中基质相、颗粒相及其复合相的抗氧化行为,建立起β-sialon结合SiC复相耐火陶瓷材料的氧化动力学方程,为该类材料的高温使用寿命研究提供理论依据。

1 实 验

1.1 试样制备

β-sialon 基质相由一步合成工艺法^[5,10]制备,按化学式Si₄Al₂O₃N₆(以下用sialon表示)设计配料,即添加SiO₂微粉到粘土原料中调整其SiO₂与Al₂O₃质量比为2.35,工业碳粉加入质量比为20%,采用碳热还原氮化反应法合成。β-sialon结合SiC试样中sialon基质相质量分数为26%,SiC级配颗粒料选用绿色磨料级SiC,其粗:中:细3级颗粒级配质量分数为(35~45)%:(10~15)%:(35~45)%。混合原料利用半干压法成型后于氮气氛下1430~1530℃高温合成。X射线衍射相分析表明^[5]制备出的材料相组成为较纯净的SiC与sialon相,材料体积密度为2.4~2.5g/cm³,真空排水法测得开口气孔率为11~15%。然后将材料机加工成长方体形状试样,表面积约16cm²左右,以供抗氧化实验用。

1.2 氧化实验

实验用试样表面首先经超声波处理除去附着物,在200℃恒温2h后采用万分之一克精度光电天平称重,然后放入自动温控电炉中进行高温氧化处理,试样分别在1000,1150,1300℃及1450℃下恒温氧化30h,另取一组试样在1300℃下分别恒温6,12,18,24h及30h,恒温结束时从炉中取出试样快速风冷至室温,然后称量试样质量增加以考察材料的抗氧化行为。高温氧化过程中向电炉内吹入空气以保证氧化过程的充分进行。

为获得sialon结合SiC试样中sialon基质相及SiC颗粒相的单相抗氧化行为,作为对比,采用相同工艺条件制备出sialon结合刚玉试样,按相同高温条件同时进行了试样的抗氧化性实验。在sialon结合刚玉试样中,仅sialon基质相为氧化相,刚玉颗粒相不参与氧化反应,但刚玉以同样的颗粒级配及颗粒度代替了同体积分数的SiC颗粒,保证了sialon基质相在2类材料中具有基本相同的化学组分及显微结构,因而可以用sialon结合刚玉试样的整体抗氧化行为来模拟代替sialon结合SiC试样中sialon基质相的氧化过程。以下sialon基质相的氧化数据均来自sialon结合刚玉试样的抗氧化性能测试。

2 结果与讨论

sialon结合SiC复相材料的高温氧化过程属气-固相化

学反应,其高温反应包括sialon基质相及SiC颗粒相的共同氧化,可以认为sialon相表面与SiC颗粒相界面是氧化反应发生的场所,高温氧化行为与各相材料的诸多内在品质及外在氧化条件有关。内在品质包括SiC纯度、SiC颗粒度及颗粒级配,sialon结合相烧结体密度、复相材料的气孔率及气孔分布,高温氧化产物结构及其致密度等。sialon相作为连续基质包裹相也会对SiC颗粒的氧化过程产生显著保护作用。影响氧化行为的外在条件主要包括反应温度、反应时间、反应气氛的组成及压力与流动状态等。

通常情况下,sialon结合SiC复相材料的高温氧化首先是从材料的表面开始的,而材料内部特别是SiC颗粒的氧化则需要O₂通过sialon结合相扩散到其内表面才能进行。氧化过程中O₂正向扩散与产物气体反向扩散的通道机构主要有不同尺寸分布的开口气孔、缝隙裂纹、晶界、相界与高温融体玻璃相等。随着氧化反应的进行,氧化产物将在反应界面形成产物层,成为气体扩散的阻碍机构而对氧化过程产生影响。

2.1 不同氧化温度下的抗氧化行为

图1是不同氧化温度下sialon结合SiC试样与sialon结

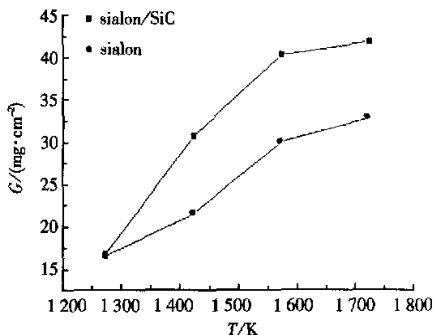
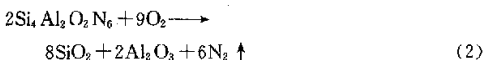


图1 样品氧化质量增加与氧化温度

Fig. 1 Oxidation mass-increase vs temperatures
Sample sialon represents sialon/Al₂O₃ and volume content of Al₂O₃ is same as the content of SiC in the sialon/SiC

合刚玉试样(图中用sialon表示)恒温30h后的氧化质量增加关系曲线。在对氧化反应动力学关系式的讨论中,把反应转化率G定义为单位面积的氧化质量增量(Δw, mg/cm²), $G = \Delta w A = (m_2 - m_1) / S$, m₂, m₁分别为氧化前后试样质量(mg), S为试样的表面积(cm²)。从图1可以看出,随着氧化温度的提高,氧化增重随之增大,说明SiC颗粒相与sialon基质相的氧化是增重过程,则SiC颗粒相与sialon结合相应按以下两式作为主要氧化反应:



由此可得到SiC相与Si₄Al₂O₃N₆相的氧化后的质量增加之

比分别为 1.5 和 1.2。

图 1 中的氧化质量增加曲线表现出类抛物线形式,说明氧化温度愈高,氧化质量增加愈快,这主要与此时氧气扩散系数增大,反应活化能升高有关。基本符合 Arrhenius 经验式 $K = K_0 \exp(-E/RT)$ 所表示的关系。但 1 300 °C 以上其氧化质量增加速率减慢,则与氧化进行到一定程度后材料开口气孔率的明显降低及氧化产物层厚度增加及致密度增大,阻碍了气体的正反向扩散速度所致。需要特别指出,在 1 000 °C 时 sialon 结合 SiC 及 sialon 结合相材料的高温氧化质量增加的情况基本相同,说明该温度以下的氧化仅发生在 sialon 相, SiC 颗粒基本不参与氧化。1 000 °C 以上 sialon 结合 SiC 材料的氧化质量增量明显高于 sialon 结合刚玉材料,这是因为 SiC 颗粒此时开始参与了氧化反应。从图 1 还可以发现,在 sialon 结合 SiC 材料中, sialon 结合相的单位面积氧化质量增加明显高于 SiC 颗粒相,而复相材料中 sialon 结合相与 SiC 颗粒相的质量比约为 1/4,说明 sialon 基质相作为包裹体,确实起到了保护 SiC 颗粒相的作用。

图 2 表明,从 1 000 °C 到 1 450 °C 氧化 30 h 后,材料的开口气孔率明显减少,气孔减少变化率由 24.5% 增加到 57.4%。显然,气孔率的减少及材料致密度的增加抑制了后期氧气的扩散及氧化反应的进行,有利于抗氧化性的提高。

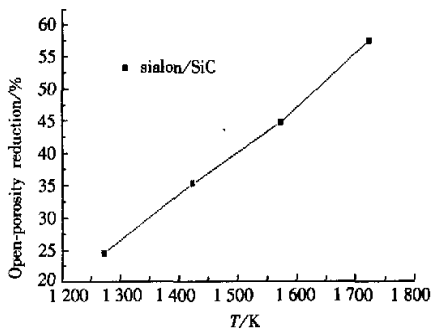


图 2 氧化后样品开口气孔率降低

Fig. 2 Reduction percentage of porosity after oxidation

2.2 不同氧化时间下的抗氧化行为

图 3 是 sialon 结合 SiC 与 Sialon 相在 1 573 K 时不同氧化时间后的质量增加曲线。可以看出,二者的氧化质量增加与氧化时间关系曲线均近似抛物线形状,将氧化数据代入扩散型抛物线形式反应动力学方程 $G^2 = Kt$, 结果如图 4 所示。可以看出,开始氧化至 12 h 以前是曲线,而氧化 12 h 以后是直线,说明后一阶段符合抛物线变化规律。因而可以判断, sialon 结合 SiC 复合相与 sialon 基质相的氧化过程应是分别由化学反应及扩散过程两种机制控制。将不同氧化时间下的氧化质量数据分别代入 Ginstleringer 扩散动力学方程

$$1 - \frac{2}{3}G - (1-G)^{\frac{2}{3}} = Kt \quad (3)$$

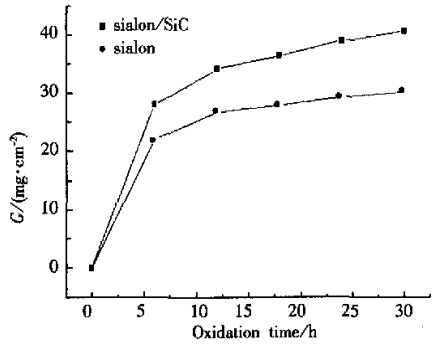


图 3 1 573 K 时, 样品氧化质量增加与氧化时间的关系
Fig. 3 Changes of oxidation mass vs oxidation time at 1 573 K

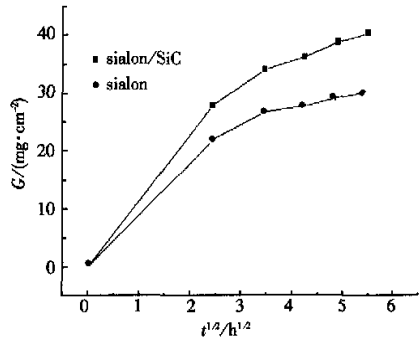


图 4 抛物线型反应动力学关系曲线

Fig. 4 Parabola-type relation curve on reaction kinetics

用方程式数据对不同氧化时间 t 作图, 结果如图 5 所示。可以看出, sialon 结合 SiC 与 sialon 基质相从氧化开始到氧化 12 h 以前均为曲线, 不符合 Ginstleringer 扩散动力学关系, 进一步说明氧化过程开始阶段是化学反应控制阶段。而氧化 12 h 以后为直线, 符合 Ginstleringer 扩散动力

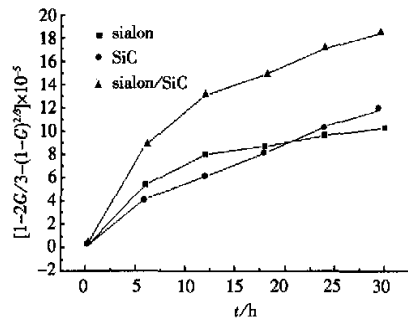


图 5 1 573 K 时, Ginstleringer 关系曲线

Fig. 5 Oxidation curve of Ginstleringer formula at 1573 K

学关系,说明 12 h 以后氧化反应确为扩散控制过程。据此可以认为,在氧化反应之初,空气中的氧气接触到材料表面 sialon 基质相或通过气孔进入基质相内部按反应式(1)开始反应,而 SiC 颗粒被基质相包裹难以接触氧气,仅有极少量暴露在试样表面或开口气孔、孔隙表面的颗粒参与氧化反应。在此阶段,氧化反应产物层较薄,氧气的向内扩散以及反应生成 N₂ 气体或 CO₂ 气体的反向扩散基本不受影响,化学反应控制阶段持续到 12h 左右。随着反应的进一步进行,氧化产物形成的薄膜对氧气向内扩散形成的阻碍作用使氧化反应减慢,以致氧气扩散速率成为氧化的控制机制。而 SiC 颗粒也因氧气需通过包裹相及产物层后扩散到颗粒的外表面才能开始发生氧化。因而,总的氧化反应 12h 后为扩散控制反应阶段。

从图 5 中 SiC 颗粒的 Ginsterlinger 动力学方程曲线形状还可以看出, SiC 颗粒在氧化开始 6h 时以后为直线,呈现出扩散控制反应特征。显然, SiC 颗粒的氧化更早进入扩散控制反应阶段。说明 sialon 基质相不仅起到粘结 SiC 颗粒作用,赋予材料优异物理机械及高温性能,而且其包裹作用对改善 SiC 颗粒的抗氧化性能及抗高温介质的侵蚀性能可发挥重要作用。

2.3 sialon 基质相、SiC 颗粒相及 sialon 结合 SiC 复合相的反应动力学方程

由以上分析知 1300 °C 下氧化开始 12 h 后为扩散控制氧化过程,氧化过程中的气-固相反应的动力学关系符合方程: $G = Kt^n$, 式中 G 为反应时间为 t 时的反应转化率,而 K 为反应速度常数, n 为反应级数。将该温度下 sialon 基质相、SiC 颗粒相及 sialon 结合 SiC 复合相的氧化数据处理后分别以 $\ln t$ 对 $\ln G$ 作图,结果如图 6 所示。由方程 $\ln G = n \ln t + \ln K$ 可分别得到各相的氧化动力学方程中的 K 值及 n 值。据此, 1573 K 温度下各相的氧化动力学方程(式中量纲 $G: g/cm^2, t: h$)可分别表达为 $G_{sialon} = 26.0 \times 10^{-3} t^{0.10}$; $G_{SiC} = 7.22 \times 10^{-3} t^{0.39}$; $G_{mp} = 33.4 \times 10^{-3} t^{0.19}$ (mp 代表复合相)。

sialon 基质相的反应级数 n 为 0.10, SiC 颗粒相的反应级数 n 为 0.39, Sialon 结合 SiC 复合相的反应级数 n 为 0.19,

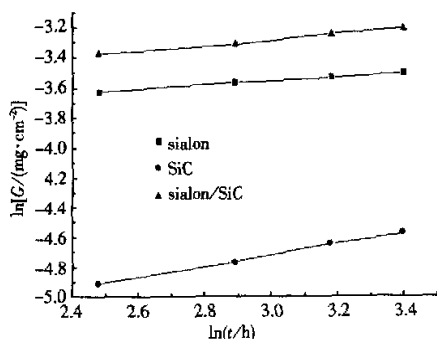


图 6 1573 K 时, lnG-ln t 关系曲线
Fig. 6 lnG vs ln t at 1573 K

说明 sialon 基质相的抗氧化性优于 SiC 颗粒相, sialon 结合 SiC 复相材料的抗氧化性介于二者之间。从各直线的相对位置可知,在 sialon 基质相对 SiC 颗粒相的保护作用下, SiC 颗粒相的氧化程度却低于 sialon 基质相。

与 1300 °C 下的纯 SiC 氧化动力学方程^[7] $G = 6.1 \times 10^{-5} t^{0.38}$ 以及粘土结合 SiC 复相材料氧化动力学方程^[6] $G = 7.26 \times 10^{-5} t^{0.79}$ (式中 t 的量纲为 s) 的反应级数 n 比较可以看出, sialon 结合 SiC 复相材料中的 SiC 颗粒相的反应级数仅为纯 SiC 材料的 2/5 左右,说明 sialon 基质相确实起到保护 SiC 颗粒相的作用。而 sialon 结合 SiC 复相材料的反应级数仅为粘土结合 SiC 复相材料的 1/4 左右,其优异的抗高温氧化性能显而易见。

3 结 论

(1) Sialon 结合 SiC 复相材料的显著氧化温度开始于 1000 °C, 1000 °C 以下的氧化质量增加主要由 sialon 基质相的氧化引起。1300 °C 以上的氧化过程可引起开口气孔率降低 50% 左右,对提高后期抗氧化性极为有利。

(2) 1300 °C 下的氧化结果说明,复相材料的氧化过程在 12 h 内为化学反应控制阶段, 12 h 后为扩散控制阶段。扩散控制阶段反应符合 Ginsterlinger 扩散动力学关系。

(3) 1300 °C 下的相扩散控制型氧化动力学方程分别为: $G_{mp} = 33.4 \times 10^{-3} t^{0.19}$; $G_{sialon} = 26.0 \times 10^{-3} t^{0.10}$; $G_{SiC} = 7.22 \times 10^{-3} t^{0.39}$ 。相氧化动力学方程中的 sialon 基质相反应级数小于 SiC 颗粒相反应级数表明了 sialon 基质相对 SiC 颗粒的包裹效果及其抗高温氧化保护作用。

参考文献:

[1] MULLER S. 优质莫来石结合碳化硅窑具[J]. 硅酸盐学报, 1995, 23(1): 115—119.
MULLER S. J Chin Ceram Soc(in Chinese), 1995, 23(1): 115—119.
[2] MORRISON F C R, MAHER P P, HENDRY A. In-situ formation of sialon in refractories containing silicon carbide[J]. Br Ceram Trans J, 1989, 88(5): 157—161.
[3] 蒋友康. Si₃N₄/SiC 砖在电炉钢包上的应用[J]. 耐火材料, 1993, 27(5): 266—268.
JIANG Youkang. Naihuo Cailiao(in Chinese), 1993, 27(5): 266—268.
[4] 曹顺华, 王才德. sialon 结合 SiC 耐火材料的化学稳定性[J]. 耐火材料, 1998, 37(1): 263—265.
CAO Shunhua, WANG Caide. Naihua Cailiao(in Chinese), 1998, 37(1): 263—265.
[5] 隋万美. sialon/SiC 复相材料研究进展[J]. 硅酸盐通报, 1995, 14(1): 36—40.
SUI Wanmei. Bull Chin Ceram Soc(in Chinese), 1995, 14(1): 36—40.
[6] 卓克祥, 阮玉忠. 粘土结合 SiC 窑具材料抗氧化性的研究[J]. 耐火材料, 1991, 25(3): 149—152.

- ZHUO Kexiang, RUAN Yuzhong. Naihua Cailiao (in Chinese). 1991, 25(3): 149—152.
- [7] 梁训裕. 碳化硅耐火材料 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981. 70.
- LIANG Xunyu. Silicon Carbide Refractory (in Chinese). Beijing: The Metallurgy Industry Press, 1981. 70.
- [8] 茹红强, 张宁, 于佩志. Sialon/SiC 复相材料的高温抗氧化行为 [J]. 东北大学学报, 2001, 22(4): 417—419.
- RU Hongqiang, ZHANG Ning, YU Peizhi. J Northeast Univ (in Chinese), 2001, 22(4): 417—419.
- [9] 赵志江, 孙伟. Sialon/SiC 复相材料的抗氧化性研究 [J]. 现代技术陶瓷, 1998, 19(suppl): 288—290.
- ZHAO Zhijiang, SUN Wei. Adv Ceram (in Chinese), 1998, 19(Suppl): 288—290.
- [10] 隋万美. 赛隆结合碳化硅耐火陶瓷材料 [P]. CN 1092053. 1994-09-14.
- SUI Wanmei. Sialon-bond silicon carbide refractory ceramics (in Chinese). CN 9310290074. 1995-3-13.

※ ※ ※ ※ ※ ※ ※ ※

第十五届中国国际玻璃展亚洲领先、空前火爆 厂商已预定 28,000 平方米

第十五届中国国际玻璃工业技术展览会将于 2004 年 4 月 11—14 日在北京中国国际展览中心举行。这将是国际玻璃工业界又一次盛大聚会。展览会由中国硅酸盐学会主办, 中国日用玻璃协会共同主办, 北京中硅展览有限公司承办。

中国国际玻璃工业技术展览会是得到国家批准每年一次(单年在上海、双年在北京)举办的全国性国际玻璃工业技术展览会, 在国内外享有盛誉。展览会得到所有有关玻璃工业的国家政府主管部门和全国性行业协会的赞助和全力支持。本届展览会的赞助单位有: 中国建筑材料工业协会、中国轻工业联合会、中国机械工业联合会、科学技术部、信息产业部、中国科学院、中国科学技术协会、中国建筑玻璃与工业玻璃协会、中国玻璃纤维工业协会。本展览是亚洲领先、世界上有重大影响的国际玻璃展。

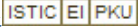
2002 年在北京举办的中国国际玻璃工业技术展览会的展览面积超过 20,000 平方米, 参展商达 436 家, 其中 171 家外国参展商来自德国、美国、意大利、英国、法国、比利时、荷兰、芬兰、捷克、瑞士、瑞典、奥地利、澳大利亚、以色列、日本、韩国、新加坡、泰国、印度等 19 个国家; 参观人数超过二万人, 有 800 多位是来自五大洲 38 个国家的外国参观者。第十五届中国国际玻璃工业技术展览面积将超过 35,000 平方米, 规模比上届成倍增加。在“2003 年上海展会”上预定并经进一步落实, 七月份中外展商已确定和预定的展馆面积达 28,000 平方米。

主要展出内容: 1、玻璃制品及应用: 建筑和装饰玻璃、玻璃门窗和五金配件、工业玻璃、玻璃器皿、玻璃瓶罐、艺术玻璃、电子玻璃、电光源玻璃、特种玻璃、玻璃纤维、玻璃棉及其制品; 2、玻璃生产仪器设备、自动控制和各种配套系统; 3、玻璃深加工设备、磨料磨具、玻璃工具; 4、耐火材料、原料及辅助材料等。

联系电话: 010-68345515、68348139

传 真: 010-68345392

β -sialon结合SiC复相材料的分相抗氧化行为

作者: 隋万美, 宋然然
 作者单位: 青岛大学物理系, 山东, 青岛, 266071
 刊名: 硅酸盐学报 
 英文刊名: JOURNAL OF THE CHINESE CERAMIC SOCIETY
 年, 卷(期): 2003, 31(9)
 被引用次数: 6次

参考文献(10条)

1. Muller S [优质莫来石结合碳化硅窑具](#) 1995(01)
2. MORRISON FCR;MAHERPP;HENDRYA [In-situ formation of sialon in refractories containing silicon carbide](#) 1989(05)
3. 蒋友康 [Si₃N₄/SiC砖在电炉钢包上的应用](#) 1993(05)
4. 曹顺华;王才德 [sialon结合SiC耐火材料的化学稳定性](#) 1998(01)
5. 隋万美 [Sialon/SiC复相材料研究进展](#) 1995(01)
6. 卓克祥;阮玉忠 [粘土结合SiC窑具材料抗氧化性的研究](#) 1991(03)
7. 梁训裕 [碳化硅耐火材料](#) 1981
8. 茹红强;张宁;于佩志 [Sialon/SiC复相材料的高温抗氧化行为\[期刊论文\]-东北大学学报\(自然科学版\)](#) 2001(04)
9. 赵志江;孙伟 [Sialon/SiC复相材料的抗氧化性研究](#) 1998(Suppl)
10. 隋万美 [赛隆结合碳化硅耐火陶瓷材料](#) 1994

本文读者也读过(10条)

1. 黄朝晖. 潘伟. 孙加林. 王金相. 洪彦若 [\$\beta\$ -sialon-Al₂O₃-SiC系复相材料的高温强度和显微结构\[期刊论文\]-硅酸盐学报](#)2004, 32(7)
2. 卜景龙. 王志发. 王瑞生. 王榕林. 宋焕巧. 孙加林. Bu Jinglong. Wang Zhifa. Wang Ruisheng. Wang Ronglin. Song Huanqiao. SUN Jialin [sialon结合SiC材料的氮化动力学研究\[期刊论文\]-硅酸盐学报](#)2005, 33(2)
3. 侯新梅. 钟香崇 [高铝矾土碳热还原氮化合成SiAlON的反应过程\[期刊论文\]-耐火材料](#)2006, 40(4)
4. 岳卫东. 钟香崇. Yue Weidong. Zhong Xiangchong [不烧Al-Si复合低碳Al₂O₃- \$\beta\$ -SiAlON材料的抗氧化性能\[期刊论文\]-耐火材料](#)2007, 41(2)
5. 葛振斌. 陈克新. 刘光华. 周和平. 郭俊明. 傅仁利 [燃烧合成成长柱状Yb \$\alpha\$ -Sialon粉体\[期刊论文\]-稀有金属材料与工程](#)2003, 32(9)
6. 韩波. 张海军. 钟香崇. Han Bo. Zhang Haijun. Zhong Xiangchong [矾土基 \$\beta\$ -SiAlON结合刚玉-碳化硅复合材料抗氧化性能的研究\[期刊论文\]-耐火材料](#)2007, 41(3)
7. 金胜利. 李亚伟. 张忻. 李楠. 陈汀水 [\$\beta\$ -sialon/Al₂O₃/SiO₂系材料烧结性能及反应过程研究\[期刊论文\]-硅酸盐学报](#)2003, 31(1)
8. 茹红强. 张宁. 于佩志. 孙旭东 [Sialon/SiC复相材料的高温氧化行为\[期刊论文\]-东北大学学报\(自然科学版\)](#) 2001, 22(4)
9. 侯新梅. 周国治. HOU Xinmei. ZHOU Guozhi [sialon块体的变温氧化动力学\[期刊论文\]-硅酸盐学报](#)2007, 35(6)
10. 高瑛. 蒋明学. 蔡一非. Gao Ying. Jiang Mingxue. Cai Yifei [中高温下SiAlON-SiC和Si₃N₄-SiC材料的氧化行为\[期刊论文\]-耐火材料](#)2007, 41(3)

引证文献(6条)

1. 卜景龙. 王志发. 王瑞生. 王榕林. 宋焕巧. 孙加林 [sialon结合SiC材料的氮化动力学研究\[期刊论文\]-硅酸盐学报](#)

2005(2)

2. 高瑛, 蒋明学, 蔡一非. 中高温下SiAlON-SiC和Si₃N₄-SiC材料的氧化行为[期刊论文]-耐火材料 2007(3)
3. 高瑛, 蒋明学, 权艳. Sialon/SiC和Si₃N₄/SiC材料的性能及氧化研究[期刊论文]-工业炉 2007(3)
4. 徐斌. 泥沙制备SiAlON材料及其注浆成型工艺的研究[学位论文]硕士. 2006
5. 乐红志. Sialon结合SiC窑具材料的研究[学位论文]硕士. 2005
6. 王体壮. 大宗矿产资源合成先进氮氧化物材料[学位论文]硕士. 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gsyxb200309014.aspx