

## 陶瓷纤维在辊道窑中高温粉化过程的初析

曾令可 张明

(华南理工大学材料学院)

李汝湘

(佛山石湾粤华工贸集团公司粤华装饰砖厂)

## 摘要

本文综述了陶瓷纤维分类、主要成份及性能,结合辊道窑的结构特点及陶瓷烧成的工艺特点,分析了热应力、气氛制度、坯釉烧成及燃料燃烧所产生的有害成份、窑内的速度场及窑体结构等对陶瓷纤维粉化的影响,并提出了应用模拟研究的方法探讨陶瓷纤维粉化与各影响因素之间的定量关系,探讨了陶瓷纤维使用寿命的预测方法和在辊道窑使用中的抗粉化方法。

**关键词** 陶瓷纤维, 辊道窑, 粉化

## A PRELIMINARY ANALYSIS OF THE HIGH TEMPERATURE POWDERIZATION PROCESS OF CERAMIC FIBRE IN ROLLER HEARTH KILN

Zeng Lingke Zhang Ming

(Materials College of South China University of Technology)

Li Ruxiang

(Yuehua Decorative Tiles Factory Shinan Yuehua Industry  
and Trade Group Corporation, Foshan City)

## Abstract

This paper sums up the classification of ceramic fibre and its major composition and properties, and also analyses the influences of thermal stress, atmosphere system, body and glaze firing, harmful Products by fuel combustion, velocity field inside the kiln and kiln structure etc on the powderization of ceramic fibre in combination with the structural characteristics of roller hearth kiln and technological characteristics of ceramic firing, and the method of simulated study applied for the exploration of the quatitative relationship between ceramic fibre powderization and each affecting factor is put forward is put forward, the way to calculate the service life of Ceramic fibre, and its anti-powderization methods in roller hearth kiln are also discussed.

**Keywords** ceramic fibre, roller hearth kiln, powderization process

## 1 前言

陶瓷工业是能耗的大户,据统计,我国陶瓷行业年耗标准煤 300 多万吨。其中烧成耗标准煤 180 多万

吨;发达国家在陶瓷行业的能源利用率高达 50% 以上,美国为 57%,而我国仅达 28%~30% 左右。原因是大量采用砖砌式窑炉。由于窑炉结构多采用非轻质耐火材料,烧成热耗最低为国外的 3.5 倍,一般为 10

收稿日期:1997-05-10

国家自然科学基金资助项目和高等学校博士学科专项科研基金资助项目

通讯联系人:曾令可,华南理工大学材料学院,广州:510641

倍,最多可达30倍。据国内外资料统计,采用轻质高效陶瓷纤维做为窑炉衬里,可使燃料消耗减少30~40%,缩短烧成时间40~50%,能有效地提高制品的烧成效率。国外对窑炉的墙体材料从局部铺设轻质陶瓷纤维发展到全纤维炉衬,使得蓄散热损失得以大幅度降低,比普通耐火材料砌筑节能可达50~70%。由于辊道窑不用窑车窑具,是一种节能效果显著的较先进窑型,据统计可比一般窑炉节能50%以上,在国外,尤其是德、美、意、日等国的陶瓷工业快速烧成辊道窑已由建筑瓷的烧成扩展到卫生瓷、日用瓷及工业瓷的烧成,对提高产品质量,增加品种,节能降耗,增加效益有重大意义。据国外有关资料介绍,利用辊道窑烧成日用瓷可比传统窑车式隧道窑节能40~60%左右,烧成周期可缩短为2.5小时,而用传统的窑车式隧道窑一般需25小时左右,即辊道窑的烧成周期是隧道窑的1/10。佛山某厂从意大利莫利公司引进烧卫生瓷全纤维辊道窑,烧成周期已由几十小时降为8小时,比全国卫生陶瓷平均烧成时间16—24小时减少一半以上,能耗仅5900kJ/kg制品,比全国卫生陶瓷平均能耗43.9MJ/kg制品节能7.5倍左右。与较先进的隧道窑相比,能耗是隧道窑的1/6~1/10。

从上可见,陶瓷窑炉采用全纤维结构型式节能显著,是陶瓷窑炉革命的有效方法,已在辊道窑、隧道窑、梭式窑等各种窑型中应用。但从工厂使用实践发现,陶瓷纤维在使用一段时间后,便出现一个致命性的问题——高温粉化。即窑内的陶瓷纤维在长期的高温下

发生老化而粉化。由于陶瓷纤维的不断粉化、脱落,不但减薄了窑体的厚度,而且由于粉化脱落容易沾污产品,特别是全纤维结构的窑顶,陶瓷纤维的粉化更容易剥落在产品上,造成产品质量下降,成品率降低;窑内其他部位纤维的粉化,由于窑内气流的搅动也会沾污制品。故轻型全纤维窑炉如不及时解决陶瓷纤维的老化问题,必将大大地限制它在陶瓷行业的推广应用,是制约节能轻型辊道窑裸装露烧的瓶颈,也是隧道窑、梭式窑及其他窑炉的全纤维化裸装露烧的瓶颈,已为轻型全纤维窑体的推广应用带来了极为棘手的问题。同时因陶瓷纤维粉化的不断脱落,减薄了窑墙厚度,使保温效果变差,增加窑壁散热,使热耗增加,因而大大地影响了窑炉的热效率。我们应用红外线成像测温仪为某厂全纤维辊道窑的窑体进行了测量,从窑表面的热像图温度分布可清楚地看出,由于窑内纤维受腐蚀粉化,窑壁厚薄不匀,致使窑壁外表面温度分布极不均匀。

## 2 陶瓷纤维的分类及主要性能

陶瓷纤维是在传统的陶瓷和耐火材料的基础上发展起来的特种耐火材料,也是一种新型的无机非金属材料。陶瓷纤维的生产方式已形成二大系列,即用熔融法生产的玻璃态纤维和胶体法生产的结晶态纤维。陶瓷纤维的分类如表1所示<sup>[1]</sup>,部份国产及国外同类耐火纤维的比较如表2所示<sup>[2]</sup>。

表1 陶瓷纤维的分类

Table 1 Classification of ceramic fibre

| 方法          | 类别          | 档次 | 纤维类别  | 分类温度<br>℃ | 最高使用温度(氧化) |      |
|-------------|-------------|----|---|-----------|------------|------|
|             |             |    |   |           | 连续         | 短时   |
| 熔<br>融<br>法 | 玻<br>璃<br>态 | 低档 | 普通硅酸铝纤维                                       |           | ≤1000      |      |
|             |             | 中档 | 高纯硅酸铝纤维 45~50% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1260      | 1100       | 1260 |
|             |             | 中档 | 高纯高铝纤维 55~60% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 1400      | 1200       | 1400 |
|             |             | 中档 | 含铬硅酸铝纤维 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5%     | 1400      | 1200       | 1400 |
| 胶<br>体<br>法 | 结<br>晶<br>态 | 高档 | 莫来石纤维   |           | 1350       | 1450 |
|             |             | 高档 | 氧化铝纤维   |           | 1500       | 1600 |
|             |             | 高档 | 氧化锆纤维   |           | 1600       |      |
| 混<br>合<br>态 |             |    | 高纯氧化铝混合纤维                                     | 1500      | 1400       | 1500 |
|             |             |    | 高铝氧化铝混合纤维                                     | 1600      | 1500       | 1600 |

目前在辊道窑上使用的陶瓷纤维多数为硅酸铝纤维,少数应用结晶态莫来石纤维、氧化锆纤维及混合态纤维。而在使用中多采用纤维制品的形式,如陶瓷纤维毡、毯、板等。而低温段如预热带及冷却带还有的使用矿棉式低温毯等,在烧成带的高温窑墙中也根据所

处温度的不同可分别采用矿棉、低温陶瓷纤维和高温陶瓷纤维。陶瓷纤维在辊道窑的应用有散状的,如辊棒周围堵塞用,伸缩缝之间的填充等,大多数是制成毡、板、绳等,特别是全纤维辊道窑基本是板毡状。某厂引进线窑炉用的各种陶瓷纤维的性能如表 3 所示。

表 2 部份国产及国外同类陶瓷纤维的比较表

Table 2 Comparison between some domestic ceramic fibre and foreign ceramic fibre of same type

| 品 种   | 产地 | 化学组成 %                         |                  |                                |                                | 纤维直径<br>μm | 纤维长度<br>mm | 最高使用<br>温度 °C | 长期使用<br>温度 °C | 重烧收缩 %           |
|-------|----|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------|------------|---------------|---------------|------------------|
|       |    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |            |            |               |               |                  |
| 高纯硅酸铝 | 国产 | 51.7                           | 47.6             | 0.2                            |                                | 2.8~4.2    | 10~250     | 1300          | 1100          | 3.3/1260°C × 24h |
|       | 国外 | 51.8                           | 47.9             | 0.1                            |                                | 3.6        | 最长 250     | 1300          | 1100          | 3.8/1200 × 6h    |
| 高 铝   | 国产 | 61.4                           | 38.1             | 0.1                            |                                | 2.5~5      | 20~280     | 1400          | 1200          | 2.5/1400°C × 8h  |
|       | 国外 | 60.2                           | 38.7             | 0.2                            |                                | 2.9        | 平均 130     | 1400          | 1200          | 2.1/1400°C × 8h  |
| 含铬硅酸铝 | 国产 | 43.5                           | 51.0             | 0.2                            | 4.2                            | 2.8~4.5    | 15~350     | 1450          | 1300          | 2.5/1400°C × 8h  |
|       | 国外 | 40.5                           | 55.0             | 0.2                            | 4.0                            | 3.5        | 47         | 1450          | 1300          | 2.3/1400°C × 8h  |
| 混合纤维  | 国产 | 70.33                          | 24.07            | 0.12                           |                                | 6~11       | 7.4        | 1600          | 1450          | 1.0/1400°C × 24h |
|       | 国外 | 71.7                           | 22.8             |                                |                                |            |            | 1649          |               | 3.2/1649°C       |

表 3 某引进线窑炉用的各种陶瓷纤维的性能

Table 3 Properties of various ceramic fibre in an imported kiln

| 最高使用温度 °C               | 870                            | 1260        | 1425        | 14215       |       |
|-------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| 颜 色                     | 白色                             | 白色          | 白色          | 绿色/兰色       |       |
| 纤维直径 μm                 | 3.5                            | 3.5         | 3.5         | 3.5         |       |
| 比热 540°C                | 1.05kJ/kg°C                    | 1.05kJ/kg°C | 1.05kJ/kg°C | 1.05kJ/kg°C |       |
| 1090°C                  | 0.27                           | 0.27        | 1.13        | 1.13        |       |
| 化<br>学<br>成<br>份<br>(%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 40.60       | 46.50       | 35.10       | 42.80 |
|                         | SiO <sub>2</sub>               | 49.50       | 53.00       | 49.70       | 54.00 |
|                         | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |             |             |             | 2.75  |
|                         | ZrO <sub>3</sub>               |             |             | 14.70       |       |
|                         | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.10        | 0.10        | 0.10        | 0.10  |
|                         | TiO <sub>2</sub>               | 0.05        | 0.05        | 0.05        | 0.05  |
|                         | MgO                            | 4.00        | 0.01        | 0.01        | 0.01  |
|                         | CaO                            | 5.50        | 0.04        | 0.04        | 0.04  |
|                         | R <sub>2</sub> O               | 0.20        | 0.20        | 0.20        | 0.20  |
| 比 重                     | 2.65                           | 2.65        | 2.65        | 2.65        |       |

陶瓷纤维及制品的优点主要是它们具有低体积密度和相对低的热容量、低导热性和较高的抗温度变化

性能,其缺点是稳定性较差,即它们只能适用于机械应力和腐蚀都较低的窑炉中。由于现代烧成技术的发

展,特别是高速烧嘴的采用,加剧窑内气体的搅动,在热应力气氛制度、釉气成份等的共同侵蚀下使陶瓷纤维变质而粉化。下面就辊道窑内可能引起陶瓷纤维粉化原因进行分析。

### 3 热应力

陶瓷纤维的热特性表明,普通硅酸铝纤维的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量在 40—50% 左右,常温下的显微组织呈玻璃态,与同质晶态相比具有较高的内能,在常温下相当稳定,但在温度足够高时,就会向晶态转化,释放多余的能量,变为能态最低的晶体。如长期在 1150—

1200℃ 条件下工作,纤维自身发生的析晶及晶体长大使其纤维粉化断裂,这就限制了辊道窑内陶瓷纤维的使用温度范围。辊道窑内陶瓷的烧成温度一般都在 1000—1300℃ 之间,差热分析表明在 980℃ 时,陶瓷纤维有一强烈的放热峰,证明在这一温度下玻璃态向晶态转化,生成莫来石 ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ),析晶量与晶粒尺寸随温度升高和时间的延长而增大,当温度超过 1200℃ 时要使陶瓷纤维经受住窑内长期连续的高温运行考验,必须消除和抑制  $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim \text{SiO}_2$  系陶瓷纤维在 980℃ 以上产生石英、莫来石和刚玉晶体。由不同的晶体构成的陶瓷纤维具有不同的高温特性,如表 4 所示。

表 4 几种不同晶体构成的陶瓷纤维具有不同的高温特性

Table 4 Different high-temperature properties of Ceramic fibre consisting of different crystals

| 晶体种类  | 高温下晶相和体积变化   | 纤维组成的种类 | $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量 | 使用 温度极限 |
|---|--|---------|----------------------------|---------|
| 石英 $\text{SiO}_2$                             | 1020℃ + 15.4%<br>$\alpha$ 石英 $\rightarrow$ $\alpha$ 方石英                  | 硅酸铝纤维   | 45~60%                     | < 1150℃ |
| 莫来石 $3\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$  | 单一晶体   | 莫来石纤维   | 72~75%                     | 1500℃   |
| 刚玉 $\alpha \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ | $h \rightarrow v \rightarrow \rightarrow 0 \rightarrow \alpha$<br>同质异构转变 | 氧化铝纤维   | 80~90%                     | 1500℃   |

在高温下方石英发生的体积变化所产生的热应力,足以使纤维结构碎裂粉化,这是硅酸铝陶瓷纤维不能承受 1150℃ 以上高温的主要原因。由莫来石单一晶相构成的晶体纤维,有效地避免了上述缺陷,其在辊道窑内使用温度极限可提高到 1450~1500℃。

虽然陶瓷纤维粉化的原因很多,但从微观结构分析看,因任何物质都具有使其表面能趋于最低的特性。所以在一定的热力学条件下,总表面积必然趋于最小,即细小的晶粒或颗粒会逐渐合并成大的晶粒或颗粒,并随着温度升高单元体不断长大,其耐急冷急热性差,单元体内形成的温度也越来越大,热应力逐渐增强,稳定相(莫来相)的晶粒长大造成的体积变化为不可逆向性。在密实烧结的氧化物中,裂缝大小与晶粒长大有关,裂缝随晶粒长大而增大,密度随晶体长大而增加。晶体越细整体强度越好,耐急冷急热性越强,这是因为热应力很难穿过细小的晶粒和曲折的晶界。随着温度升高晶粒不断吞并长大,表面能大的小晶粒变成表面能低的大晶粒,无数个薄晶界部分被晶粒吸收(发生微体积收缩),一部分又被挤到大晶粒周围形成较厚的晶界带,此外大多是低熔点的杂质(或化合物)汇聚而成,因此强度很低,由急冷急热产生热应力很容易穿

过晶带和较大的晶粒,从宏观上使陶瓷纤维发生粉化崩裂脱落。

### 4 气氛制度

陶瓷纤维具有较高的化学稳定性,在氧化气氛和中性气氛中使用比较适宜,如在还原性气氛中使用则会受到还原性气体的侵蚀而变质,特别是一些碱金属。由于辊道窑在大多数情况下于氧化气氛中烧成,但某些工艺过程或烧成瓷种需要一定的还原气氛或弱还原气氛,或由于操作上及控制上的不当,使窑内在一定时间内呈还原气氛,这些还原气体如  $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{CH}_4$  等对陶瓷纤维均有侵蚀作用,导致使用温度降低,主要原因是从玻璃相或莫来石中还原  $\text{SiO}_2$  而形成  $\text{SiO}$  气体,而导致材料损坏。这样便会对陶瓷纤维进行侵蚀,有关  $\text{CO}$  对陶瓷纤维侵蚀的作用,文献[3]作过试验,把分类温度为 1400℃ 的陶瓷纤维在同样的加热条件(950—1350℃)下分别于  $\text{CO}$  和氧化条件下用电炉进行 150 小时的热处理,X 射线衍射和 SEM 分析结果发现,在还原条件下热处理的陶瓷纤维试样由于结晶产物增多,表面变得严重粗糙,纤维弯曲度大,更多的纤维交叉点烧结在一起,片状晶体分布在纤维表面上,导

致纤维表面的脆裂,认为这种结晶是纤维开始被破坏的起点,相反在氧化条件热处理的纤维试样表面的粗糙度均匀,说明氧化气氛对纤维结构的侵蚀程度要弱得多。另外 CO 气体在陶瓷纤维中的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  作用下,在  $400\sim 800^\circ\text{C}$  时被还原成 C, C 在纤维气孔内(一般硅酸铝纤维中含有 10% 体积,孔径在  $20\sim 100\text{\AA}$ ) 的沉积会产生较大的应力,陶瓷纤维孔隙的积碳使纤维的导热系数显著增加,促进了陶瓷纤维的损坏,导致纤维窑衬表面的剥落。

## 5 坯釉烧成及燃料燃烧所产生的有害成份

在辊道窑所烧成的制品中,不论是墙地砖、日用瓷、卫生瓷,或是其他瓷种,其坯、釉中所含的有害成份种类较多,如碱金属、硫化物和氟化物等,其中碱金属达 3~4%,最高可达 10% 以上。如某卫生陶瓷厂的坯体中  $\text{K}_2\text{O}_3$  为 2.31%,  $\text{Na}_2\text{O}$  为 0.72%, 在釉式中含  $\text{K}_2\text{O}_3$  为 2.46%,  $\text{Na}_2\text{O}$  为 2.19%, 在酸碱气体侵蚀下会发生一系列的化学变化,能加速形成晶核和晶体生长并与纤维材料发生化学反应导致纤维结构的破坏,使纤维破裂,保温性能变差。据有关资料介绍,在釉气的作用下,碱(约  $950^\circ\text{C}$ ) 将与陶瓷纤维发生反应生成白榴石。文献[3]观察了隧道窑预热带高温段吊顶和窑墙间接缝处使用了 7 个月后的陶瓷纤维呈淡红色粉状,经化学分析,其碱金属和硫化物的含量最高,  $\text{K}_2\text{O}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  分别达到 8.51% 和 5.15%,  $\text{SO}_3$  高达 12.95%。X 射线分析发现在  $600\sim 700^\circ\text{C}$  的低温下莫来石晶体已析出,其原因是碱金属和硫化物与陶瓷纤维反应生成低共熔物白榴石  $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2$ 、正长石  $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$  和明矾  $\text{KA}1(\text{SO}_4)_2$ , 使熔点降低,导致纤维结构在较低温度下发生破坏。

辊道窑中所使用的燃料种类的不同,燃料燃烧所产生的气体成份对陶瓷纤维的老化亦有很大的关系,炉内气体所含有的硫化物、氟化物、氯化物、 $\text{V}_2\text{O}_5$  等物质在高于  $900^\circ\text{C}$  时,对陶瓷纤维存在着严重的腐蚀作用,导致陶瓷纤维的迅速损坏和隔热性能的降低。X-射线分析发现,莫来石和白硅石在  $750^\circ\text{C}$  以下的温度已开始形成,而氧化条件下莫来石晶体要在  $900^\circ\text{C}$  以上才析出,这是由于氟与陶瓷纤维反应生成  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ 、 $\text{K}_2\text{NaAlF}_6$ 、 $\text{AlF}_3$ 、 $\text{AlF}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  等熔剂产物,使液相提前出现,加速了晶体的形成和生长。另外,陶瓷纤维中的  $\text{SiO}_2$  与氟反应生成挥发性  $\text{SiF}_4$ , 导致  $\text{SiO}_2$  含量减少。

$\text{V}_2\text{O}_5$  能促进有害物质对陶瓷纤维侵蚀反应的发生,如可在硫和硫化物与陶瓷纤维反应中起着催化作用,使硫与硫化物与陶瓷纤维反应生成硫酸盐,  $\text{V}_2\text{O}_5$  自身也能与陶瓷纤维发生反应生成低熔点物质,加速纤维的被侵蚀。

## 6 速度场

陶瓷纤维的主要优点为低的体积密度,相应低的与体积有关的热容量,低的导热率以及高的耐温度变化性能,缺点是稳定性低,仅适用于制作受到极小的机械和侵蚀应力的窑衬。由于现代烧成技术在辊道窑中的应用,中、高速喷嘴的安装,加剧了窑内气体的流动和震动,增加了窑内的压力,加上窑内高温,使陶瓷纤维在窑内处于极其复杂的热环境中,经受着随时间而变化的热应力作用;由于纤维的强度低(标准纤维针刺毡抗拉强度为  $0.07\sim 0.1\text{MP}$ ),抗高速气流冲刷的能力差,高速气流的直接冲刷,会使纤维衬表层剥落,加速纤维的损坏,特别是高速烧嘴的喷出速度高达  $100\text{m/s}$ ,如果喷嘴出口角度设计不当,则陶瓷纤维的使用寿命必将大大缩短。故烧嘴型式的选择及喷嘴安装的位置和角度对陶瓷纤维的使用是至关重要的,有必要进行有关方面的研究,以探讨辊道窑内最佳喷嘴型式、喷出速度及喷出角度。

## 7 窑体结构

在辊道窑中,窑炉的内衬承受着最高温度,由内向外随着厚度的增加,温度逐渐降低,而气氛制度及腐蚀性气体的侵蚀也逐渐减弱,故陶瓷纤维在窑墙中的被侵蚀的程度是不同的,是温度场、气氛场、腐蚀性气体的浓度场、窑内气体的速度场的共同作用的结果。据“国际陶瓷评论”中有关国外卫生陶瓷窑炉新进展介绍中谈到,窑炉的气密性是影响陶瓷纤维寿命的主要因素,采用钢质窑衬外壳可将零压点控制在窑内距窑衬内表面  $700\sim 100\text{mm}$  处,以避免高热气体对陶瓷纤维窑墙和钢壳的热冲击,可大大地延长窑衬的使用寿命。故为了探讨陶瓷纤维在辊道窑中的粉化机理,必须结合辊道窑的结构特点及陶瓷生产工艺特点,采用实体模型模拟及计算机模拟的方法,研究陶瓷纤维粉化速度与各影响因素之间的定量关系,探讨陶瓷纤维在窑炉使用中寿命的预测方程及抗粉化的方法。

在辊道窑内的陶瓷纤维安装方式对陶瓷纤维的使用亦有较大影响,如在某厂引进的全纤维辊道窑中,全窑基本上采用叠砌法,纤维毡的侧边为工作面,烧成过

程中,陶瓷纤维的老化仅发生在热面端部而不是沿整块纤维表面同时粉化,特别是在烧成带,由于长期高温已基本上高温熔化,形成一层光滑的玻面,提高了抗剥性和抗风蚀性,故叠砌炉衬较同条件下的层铺炉衬强度高,收缩小,据有关资料介绍,可提高窑衬使用温度 50~100℃。

在一些辊道窑的窑墙衬内采用层铺法,如铺贴窑墙内表面,由于其平面受热,抗腐蚀性差,易层层剥落,而且锚固件暴露于火焰中易被烧蚀。

## 8 展 望

陶瓷纤维在辊道窑中的粉化原因很多,主要影响因素有使用高温、烧成气氛、陶瓷坯釉烧成所产生的气体、燃料产生的气体、窑内的速度场及窑体结构等。陶瓷纤维粉化问题的解决可以从生产厂家的配方调整、选择合适的添加剂或抗腐蚀涂层等方面考虑。但相同纤维材料在不同的行业使用却有不同寿命,说明了使用环境条件的影响亦是非常关键的。耐火材料在各行业使用中的老化、损毁机理,国内外已有很多研究,特别在钢铁、水泥、玻璃工业的损毁机理已根据各自使用对象进行各种研究,就连电子陶瓷工业也对烧成电子陶瓷元件的窑炉所使用的耐火材料进行了受铅气氛侵蚀的研究,日本在钢铁工业中对大型均热炉的炉盖

进行长期的试验,研究了对陶瓷纤维的影响(成份、速度、炉子、压力波动、氧化铁皮散发情况),研究温度的波动对非结晶陶瓷纤维材料质量的变化,发现非结晶陶瓷纤维不同程度的结晶化。而结晶型陶瓷纤维基本上未发现多大变化,热收缩和蠕变性不大。并发现晶粒的生长速度和加热时间有关,而炉子的概率寿命取决于操作条件,并假设以晶粒直径长大到 2 $\mu\text{m}$  的时间为纤维的寿命,而对于一般陶瓷工业使用的耐火材料,特别是陶瓷纤维材料的老化而粉化的机理却仍未见报道。即使是日本、欧美等国陶瓷纤维在陶瓷窑炉中用得比较成熟的国家也未见这方面的报道。故研究陶瓷纤维粉化的机理,揭示粉化与各影响因素之间的定量关系,研究陶瓷纤维寿命的预测方程及抗粉化的方法是非常需要的,也是陶瓷窑炉工作者必须解决的一个关键问题。

### 参 考 文 献

- 1 周季楠. 卫生瓷隧道窑用耐火材料及其国产化问题. 陶瓷导刊, 1993, 4(1): 26-32
- 2 宋岗. 引进陶瓷窑炉用耐火材料国产化问题. 窑炉建筑导报, 1994, (4): 2-43
- 3 王成礼. 陶瓷纤维窑衬损坏原因分析. 中国陶瓷, 1994, (5): 32-36
- 4 张克铭. 多晶莫来石纤维. 保温材料与节能技术, 1995, (1): 22-25
- 5 陈立骏. 纤维耐火保温材料节能效果分析及选材原则. 中国陶瓷, 1991, (6): 46-50