

# 钛酸钾晶须在陶瓷基摩擦材料中的应用

王东<sup>1</sup>, 刘英才<sup>1</sup>, 张宁<sup>1</sup>, 韩野<sup>1,2</sup>, 田晓峰<sup>1</sup>

(1 中国海洋大学材料科学与工程研究院, 青岛 266100; 2 山东科技大学材料科学与工程学院, 青岛 266510)

**摘要** 采用热压烧结的方法制备了陶瓷基摩擦材料, 对钛酸钾晶须在陶瓷基摩擦材料中的应用进行了研究, 试验结果表明掺加晶须后材料的力学性能和摩擦磨损性能都得到了显著提高。采用试验优化设计中的综合评分法对材料的综合性能进行评价, 经分析可知当晶须的掺加量为 10wt% 时, 材料的综合性能最优。

**关键词** 钛酸钾晶须 陶瓷基摩擦材料 摩擦磨损性能 综合评分法

## Study On Application of Potassium Titanate Whiskers in Ceramic Friction Material

WANG Dong<sup>1</sup>, LIU Yingcai<sup>1</sup>, HAN Ye<sup>1,2</sup>, TIAN Xiaofeng<sup>1</sup>

(1 Institute of Material Science & Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100; 2 School of Material Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510)

**Abstract** Ceramic friction materials are prepared by hot pressing. Application of potassium titanate whiskers in ceramic friction materials have been studied. The experimental results showed that the tribological properties and mechanical properties of friction materials have been improved a lot after adding potassium titanate whiskers. The grading methods are applied to make comprehensive evaluation of friction materials. It is found that optimum addition of potassium titanate whiskers is 10wt%.

**Key words** potassium titanate whiskers, ceramic friction material, friction and wear behavior, grading methods

随着科学技术的发展, 机器的功率、速度和载荷日益提高, 工况条件日益严峻。为了保证制动系统和摩擦传动的可靠性, 对摩擦材料的要求也越来越高。陶瓷是一种无机非金属材料, 通常具有高热容量、低磨损率以及抗热冲击的特点, 而且一般具有较高的摩擦系数。基于陶瓷的这些性能特点, 人们很早就开始对它在摩擦学领域的应用做出了研究<sup>[1-4]</sup>, 但陶瓷存在容易断裂的严重缺点, 制约了它的应用。陶瓷基体经纤维或晶须增强后, 不仅强度提高, 而且韧性大大上升, 为它在其他领域的广泛应用提供了保证。因此, 纤维或晶须增强陶瓷是陶瓷基复合材料中最有发展前景的。美国、日本和西欧都将陶瓷基复合材料作为 21 世纪重要研究开发项目。

钛酸钾晶须是世界上最新一代高性能复合材料增强剂<sup>[5,6]</sup>, 它尺寸细小、结晶完美, 具有高强度、高模量、耐磨耗、耐高温、隔热及优异的红外反射等优良的力学性能和物理性能, 可作为复合材料的补强增韧剂。钛酸钾晶须用于增强陶瓷可提高材料的冲击强度、弹性模量、拉伸强度和耐磨性能等, 而且比其它陶瓷晶须便宜得多。晶须表面经处理后其分散性得到改善, 用其增强的复合材料具有良好的切削加工性<sup>[7]</sup>。因此, 研究晶须增强陶瓷基摩擦材料具有十分重要的意义。

## 1 实验

### 1.1 材料制备

将氧化铝粉、钛酸钾晶须、助烧剂及其他添加剂按一定比例混合, 在 KM-1 型快速磨中球磨 1h, 保证混合均匀。120 下在 ZK-30 电热真空干燥箱中烘干 2h。在日本富士电波株式会社生产的 FVPHP-R-5 型多功能热压气氛烧结炉中进

行烧结(氮气保护), 30min 内从常温烧至 1200 , 然后保温 1h(保持 6MPa 的压强), 最后循环水冷却至室温。为了进行对比试验, 共有 4 个不同组分的试样, 配方如表 1 所示。

表 1 原料的配比(wt%)

Table 1 Mixture ratio of raw materials (wt%)

配方编号	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> Ti <sub>6</sub> O <sub>13</sub> 晶须	SiO <sub>2</sub>	MgO	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
1-1	65	15	10	5	5
1-2	70	10	10	5	5
1-3	75	5	10	5	5
1-4	80	0	10	5	5

### 1.2 性能测试

用阿基米德排水法测量试样的真实密度和气孔率; 硬度用 HRS-150 型数显洛氏硬度计测定; 用 RGL-10 型电子万能试验机测量材料的抗弯强度, 试样尺寸为 3 mm × 4 mm × 36 mm, 测量时跨距为 20 mm, 加载速率为 1 mm/min。

摩擦磨损性能试验在室温下于 MM200 型磨损试验机上进行, 试样尺寸为 30mm × 10mm × 6mm, 对偶磨轮材质为高速钢。试验条件: 干滑动摩擦, 滑动速度为 400r/min, 载荷选取 10kg (98N), 摩擦周期为 20min 试样摩擦系数通过摩擦力矩求得, 用感量为万分之一的 BS/BT 型电子天平测量试样磨损质量损失, 并根据试样的真实密度换算为试样的体积磨损量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 物理性能

添加晶须后, 氧化铝基陶瓷材料的力学性能有了显著提

高，硬度、抗弯强度等都得到了不同程度的优化。见表 2。

**表 2 摩擦材料的物理和力学性能**

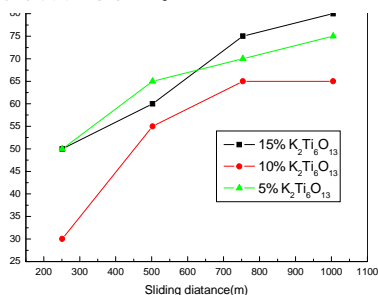
Table 2 Physical and mechanical properties of friction materials

Friction Materials	Density g/cm <sup>3</sup>	Hardness HRC	Porosity %	Bending strength MPa
1-1	1.58	43	5.57	180
1-2	1.57	45	6.30	235
1-3	1.54	42	6.46	185
1-4	1.49	39	7.77	190

相对于金属材料，陶瓷材料的密度较低，对于摩擦材料，我们也尽可能的要求密度小，以减轻零部件的重量。从表 2 可以看出尽管添加钛酸钾晶须后材料的密度有提高的趋势，但是密度仍然比较小。材料密度小的原因是材料中有气孔。气孔的存在导致应力集中，使材料的力学性能下降，但对于摩擦材料，有一定的气孔率也是有益的，气孔的存在有两方面的作用：一可以吸收在摩擦过程中产生的热量，二也可以吸收在制动过程中产生的部分噪音<sup>[8]</sup>。随着晶须含量的增加气孔率呈下降趋势，这是因为晶须尺寸细小，将气孔填充起来，导致气孔率下降，密度变大。在材料的硬度方面，晶须的加入也使材料的硬度得到提高，当加入量为 10wt%时，材料的硬度值达到最高，有利于提高材料的耐磨损性能。

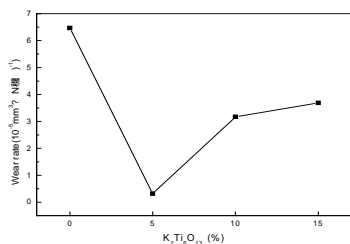
**2.2 摩擦磨损性能**

摩擦系数指的是在摩擦磨损过程中测出的动摩擦系数，是表征摩擦特性的主要参数之一。如图 1 所示，摩擦系数随滑动距离的增加逐渐变大，且晶须含量不同时，材料的摩擦系数也不同，含量为 5wt%和 15wt%时，摩擦系数太大，当晶须含量为 10wt%时，摩擦系数适中，并且随着滑动距离的增加，摩擦系数趋于稳定。



**图 1 摩擦系数随滑动距离的变化**

Fig.1 The friction coefficient as a function of sliding distance



**图 2 磨损率随钛酸钾晶须含量的变化**

Fig.2 Variations of wear rate with percentage of potassium titanate whiskers

磨损率是衡量材料摩擦性能的最重要标志之一，磨损率

越小则材料的耐磨性越好。从图 2 可以看出，加入钛酸钾晶须后材料的磨损率大幅下降，当加入量为 5wt%时，磨损率最小，即材料最耐磨。但并不是磨损率越小越好，还要考虑对偶件的磨损情况。

**2.3 材料性能的综合评价**

为了符合摩擦材料发展的要求，我们对摩擦材料性能大体上有如下要求：强度、硬度越大越好；磨损量和密度越小越好。为了更好地评价材料的性能，我们引入试验优化设计中的综合评分法，对材料的综合性能进行评价<sup>[9-12]</sup>。根据各个指标的重要程度，对得出的试验结果进行分析，给每一个试验评出一个分数，作为这个试验的总指标，然后根据这个总指标(分数)，就可以对材料的性能有更直观的认识。具体来说，需要将摩擦材料的 4 个性能(强度、硬度、磨损量和密度)评价指标值转化为一个指标即综合评分，用每一个配方的得分(各项指标相应的分数之和) 来代表对这个配方的评价。各指标的打分标准是：在 4 个配方中，抗弯强度和硬度最高的分别给 4 分，最低的给 1 分；而磨损量和密度则相反，最低的给 4 分，最高的给 1 分。考虑到诸因素在评价中所处的地位不同，本文确定分别给予抗弯强度、磨损量、密度、硬度这 4 个因素的权重分别为 5、4、3、3。最后采用加权评分的经典综合评判法计算总分，见公式(1)。

$$M = M_1 A_1 + M_2 A_2 + M_3 A_3 + M_4 A_4 \quad (1)$$

其中，M 为综合评分；M<sub>i</sub> 为性能得分，i=1、2、3、4；A<sub>i</sub> 为权值，i=1, 2, 3, 4(1、2、3、4 分别代表材料的抗弯强度、磨损量、密度和硬度)。

材料的综合评定如表 3 所示，可以看出，配方 1-2 得分最高，也就是说它的综合性能最优异。

**表 3 摩擦材料的综合评价**

Table 3 Comprehensive evaluation of friction materials

配方编号	强度得分	磨损量得分	密度得分	硬度得分	总分
1-1	1	2	1	3	25
1-2	4	3	2	4	50
1-3	2	4	3	2	41
1-4	3	1	4	1	34

**3.结论**

(1)晶须的加入使氧化铝基陶瓷材料的力学性能有了变化，硬度、抗弯强度、断裂韧性等都得到了不同程度的提高，同时，随着晶须含量的增加，材料的体积磨损率下降，显然晶须的引入提高了材料的耐磨性能；

(2)当加入晶须的含量在 10wt%左右时，材料的综合性能最好；

(3)钛酸钾晶须可以运用到陶瓷基摩擦材料中以提高陶瓷摩擦材料的综合性能，使陶瓷基摩擦材料得到更加广泛的应用。

**参考文献**

- 1 陈志刚，陈晓虎，刘军．Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基陶瓷摩擦材料的摩擦磨损特性[J]，摩擦学学报，1997(3)：267
- 2 陈晓虎．固态润滑剂六方氮化硼在陶瓷摩擦材料中的

- 应用研究[J], 陶瓷学报, 1999(3): 128
- 3 Poser K, et al. Development of  $Al_2O_3$  based ceramics for dry friction systems[J]. Wear, 2005, (259): 529
- 4 宋剑敏.  $Al_2O_3$  陶瓷摩擦材料的结构与性能研究[D]. 武汉, 2006
- 5 魏明, 王春波, 等. 钛酸钾晶须在复合材料中的应用[J]. 盐湖研究, 2005, (3): 56
- 6 陈尔凡, 田雅娟, 周本廉. 晶须增强体及其复合材料研究进展[J]. 高分子材料与工程, 2002, (7): 1
- 7 Kim S J, Cho M H, Lim D-S, et al. Synergistic effects of aramid pulp and potassium titanate whiskers in the automotive friction material[J]. Wear, 2001, (251):1484
- 8 李静. Fe-3Al 基复合摩擦材料的制备与研究[D]. 济南, 2004
- 9 吕亚非. 组合摩擦材料研究[J]. 世界科技研究与发展, 2004, (6): 22
- 10 曹献坤, 杨晓燕. 新型摩擦材料配方设计及优化[J]. 非金属矿, 2004, (4): 50
- 11 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005. 78
- 12 李云雁, 胡传荣, 等. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 87