

无石棉自增强摩擦材料的研制与性能研究^{*}

翟玉生 张金中 李 安 张友森

(石油大学应用摩擦学研究室 山东东营市 257062)

摘要 为了消除石棉基增强摩擦制动材料对环境和人体的危害,以 α -氨基丙基三乙氧基硅烷为活化剂,对取自粉煤灰的漂珠进行活化处理,再以其作为基础增强填料替代石棉,成功地研制出新型无石棉自增强摩擦材料。这种新材料的基本组成除增强剂漂珠外,还有树脂-橡胶粘结剂和摩擦改善剂等。检测和试用结果证明,在给定的试验条件下,与石棉增强的摩擦材料相比,这种无石棉自增强摩擦材料的摩擦学性能好,制动时间短,偶件的磨损很小,而且漂珠价廉易得,并为粉煤灰的再生利用找到了一条新途径。

关键词 摩擦材料 制动 摩擦 磨损 漂珠 石棉

在机械设备的摩擦制动和传动装置中,作为能量传递和转换元件用的摩擦材料应当具有良好的摩擦磨损性能、耐热性能、足够高的机械强度和对环境的污染小等特点。

在传统的摩擦材料中,一直是用石棉作为摩擦基础增强材料。然而,自本世纪50年代发现石棉是一种强致癌物质以来,工业发达国家对石棉的生产及其制品的使用,制订了严格的标准^[1]。在积极研究和开发石棉摩擦材料替代物的同时,对传统石棉摩擦材料的生产也进行了大量的试验研究和改进工作,包括石棉处理设备和方法的改进,产品的加工工艺和制造方法的改进,新型填料的应用和半石棉摩擦材料的研制。尽管如此,目前还不能有效地解决摩擦材料生产过程中石棉对人体和环境的危害问题。

随着高速、重载制动的需要和日益增多的新型摩擦制动装置的研制,对摩擦制动材料的性能要求越来越高,在许多工程应用的场合,石棉摩擦制动材料已经难以达到所需要的制动效能和寿命指标。

因此,近年来,各国都投入巨额资金和大量的科研技术力量,研制与开发石棉摩擦制动材料的替代品,已经问世的有玻璃纤维、钢纤维、碳纤维和芳纶纤维等。但是,由于这些产品的制造工艺和技术都比较复杂,或其生产能耗、成本和价格都很高,或者质量的可靠性和综合性能不理想,使其推广应用受到限制,难以在近期完全代替石棉摩擦材料。因此,在目前的商品摩擦制动材料中,石棉基摩擦材料依然约占80%。

为了适应高速、重载传动和制动装置发展的需要,减少环境污染,降低成本,作者确定以取自粉煤灰的漂珠为主要填料研制无石棉自增强摩擦材料。

^{*} 石油天然气总公司“八五”攻关项目

1995-03-24 收到初稿,1996-04-23 收到修改稿

本文通讯联系人翟玉生

1 新型无石棉自增强摩擦材料的研制

1.1 非石棉基础增强剂漂珠的获取

我国燃煤电厂每年要排放大量的粉煤灰, 占用大片耕地^[2], 而且干灰质轻, 随风飘扬, 污染大气, 堵塞植物叶片孔, 影响光合作用, 降低农产品产量。由此可见, 工业废料粉煤灰已经成为污染生态环境的一大公害。

为了保护环境, 人们对粉煤灰再生利用所进行的研究工作在建筑材料、化肥和塑料等方面取得了初步成效, 目前已有 20% 的粉煤灰得到合理利用。按粒径、密度和悬浮程度的不同, 粉煤灰中的颗粒可分为漂珠、悬珠和沉珠 3 种。从粉煤灰中浮选出来的漂珠是空心球状固体颗粒, 粒径 $1 \sim 300 \mu\text{m}$, 密度 $200 \sim 400 \text{ kg/m}^3$, 熔点 $1400 \sim 1500^\circ\text{C}$ 。

以质量分数计, 漂珠所含主要化学组成为: $40.0\% \sim 70.0\% \text{SiO}_2$, $20.0\% \sim 40.0\% \text{Al}_2\text{O}_3$, $3.0\% \sim 5.0\% \text{Fe}_2\text{O}_3$, $1.0\% \sim 3.0\% \text{CaO}$ 和 $0.5\% \sim 2.0\% \text{MgO}$ 。由此可见, 漂珠的主要成分是元素 Si 和 Al 的氧化物。漂珠具有良好的分散性、耐磨性、耐热性和稳定的物化性能, 可以用作复合材料的填充剂。研究表明, 利用漂珠填充的不饱和聚酯复合材料是一种轻质(相对密度 0.6)和高强度的新型材料^[3]。

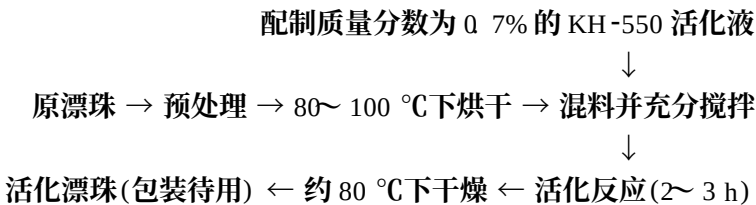
由于漂珠与石棉的形态和性能等基本相同, 通过一定的化学处理, 用它替代石棉作为摩擦材料的基础增强材料, 既能够满足摩擦磨损性能的要求, 又能够节约石棉资源, 还可为工业废料的再生利用开拓一条新路, 减少环境污染, 具有明显的综合社会效益。

基于以上所述, 作者确定从粉煤灰中提取漂珠, 以其作为研制新型无石棉自增强摩擦材料的基础增强剂。

1.2 基础增强剂漂珠的性能与活化

漂珠是一种无机极性物质, 在形成过程中受到炉内高温炉气的侵蚀, 表面粗糙, 具有很强的亲水性, 而与有机组分不相容, 为了使其能同粘结剂很好地结合, 必须进行表面活化处理。采用偶联剂 α -氨丙基三乙氧基硅烷(KH-550)作为活化剂, 其所含多种官能团均能与漂珠表面的羟基反应, 形成牢固结合的 $\text{Si}-\text{O}-\text{C}$ 和 $\text{Al}-\text{O}-\text{C}$ 键, 在一定的条件下又能够与树脂、橡胶等有机组分反应生成高强度的化学键, 达到增强的目的。

经活化处理后的漂珠表面具有亲油性, 容易在树脂中分散, 同树脂的界面结合力强, 可以与有机组分相互形成很强的键合力而牢固地结合起来。漂珠的活化处理工艺流程如下:



配制质量分数为 0.7% 的 KH-550 活化液, 再用喷雾法将其喷洒在经过预处理的漂珠上并充分搅拌, 使活化液与漂珠均匀接触, 完全润湿。在确定的活化温度下反应 2~3 h, 然后在约 80°C 下进行干燥处理, 直到漂珠表面的溶剂完全挥发为止。

1.3 无石棉摩擦材料的配方设计

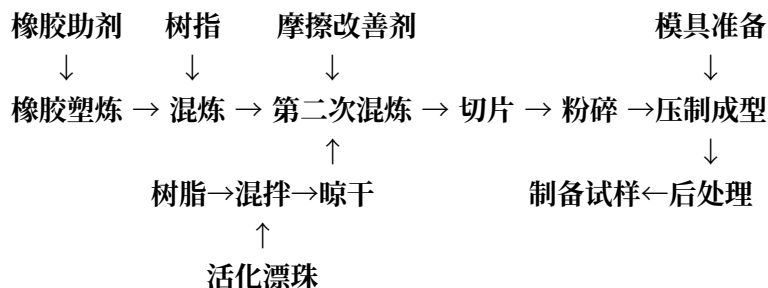
配方设计的关键是选择性能优良的粘结剂、各种填充材料、增强材料和摩擦改善剂。作

者研制无石棉自增强摩擦材料的基本配方(以质量分数计)是: 酚醛树脂 10% ~ 18%, 丁腈橡胶 8% ~ 15%, 漂珠 24% ~ 40%, 摩擦改善剂 15% ~ 35% 和助剂 10% ~ 15%。针对传统石棉基摩擦材料大都具有明显的热衰退性和变温摩擦系数波动大的缺点, 采用高温性能良好的树脂-橡胶体系作为粘结剂。通过机械搓合, 在剪切力的作用下, 橡胶的链状大分子被切断, 产生大分子自由基, 使其容易形成接枝或嵌段共聚物, 从而增强了体系的相容性, 更有利于与树脂分子的结合。这样, 在橡胶硫化过程中, 通过化学交联使之成为具有弹性的网状结构, 可以填入大量的填充材料和摩擦改善剂。用热固性酚醛树脂作为丁腈橡胶的补强剂, 在硫化过程中可以与橡胶形成牢固结合的化学键, 从而能够提高橡胶的机械强度和硬度, 对橡胶起改性作用。研究证明: 用酚醛树脂补强的硫化橡胶的抗拉强度高达 17.9 MPa; 通过调整树脂和橡胶的比例, 可以改善摩擦材料的硬度、冲击强度、耐温性和摩擦磨损性能。

以漂珠为主要增强填料替代石棉生产摩擦材料, 是通过机械捏合将经过活化处理的漂珠均匀地嵌入到粘结剂的网状结构中。表面活化处理后的漂珠与粘结剂的粘结强度高, 对热固性酚醛树脂具有一定的增强作用, 可以提高树脂-橡胶体系的刚性和强度; 漂珠中主要含 SiO_2 和 Al_2O_3 等氧化物, 因而制品具有摩擦系数高、磨损率低和耐温性能良好等优点。

1.4 主要工艺流程

在开放式炼胶机上对橡胶进行塑炼, 加入必需的橡胶助剂后进行第一次混炼, 当辊温升高到约 80 °C 时, 加入热固性酚醛树脂继续进行混炼。待胶片混炼均匀后, 通入冷却水将辊温降低到 60 °C 以下, 然后加入各种填料和摩擦改善剂进行第二次混炼。将混炼均匀的粗料切片停放 24 h 后再进行样品加工。产品性能取决于胶片的质量和混料的均匀程度, 因而应当严格控制炼胶过程中的温度和时间。加工工艺流程如下:



在进行模压成形之前要将模具预热到 100 °C 左右, 再进行装料。在温度 160 ~ 180 °C 下于 20 MPa 时保压, 保压时间依产品的形状和尺寸而定。出模后在 160 ~ 210 °C 的温度范围内进行后处理, 后处理时间视试样的尺寸和升温方式而定。

2 摩擦磨损性能试验与结果分析

2.1 基础试验

根据确定的配方体系和加工工艺, 在系统试验的基础上, 对多种配方作了对比筛选, 优选出分别满足不同刹车装置要求的基本配方。依据评价摩擦材料基本性能的参数指标, 按照相应的标准分别在 MDS、MD-240 摩擦材料试验机和圆盘试验机上对不同样品进行了基本性能试验和评价检测, 并与石棉摩擦材料作了对比试验, 结果见表 1 和 2 所列。

由试验结果可知, 新研制的无石棉自增强摩擦材料的摩擦磨损性能均达到有关标准规

表 1 某种无石棉增强摩擦材料的摩擦磨损性能

Table 1 Tribological performances of some asbestos-free frictional material

Temperature /°C	Coefficient of friction		W ear rate/ $10^{-7}\text{cm}^3\cdot\text{J}^{-1}$	
	Standard	M easured	Standard	M easured
100	0.30~0.60	0.46	0.51	0.23
150	0.30~0.60	0.47	0.77	0.40
200	0.25~0.60	0.39	1.02	0.64
250	0.20~0.60	0.44	2.04	0.50
300	0.15~0.60	0.32	3.57	0.37

Note: Standard GB5763-86, tested by Changchun Motor Institute

注: 执行标准 GB5763-86, 由长春汽车研究所测试

表 2 几种摩擦材料的性能对比

Table 2 Performance comparison of several frictional materials

M aterial	Coefficient of friction			W ear/mm (30m in) $\cdot^{-1}$		Impact strength /Nm $\cdot\text{cm}^{-2}$
	(120±5)°C	150~250°C	(250±5)°C	(20±5)°C	150~250°C	
W 1	0.57	0.52	0.53	0.042	0.063	0.425
W 2	0.56	0.51	0.52	0.041	0.056	0.420
W 3	0.59	0.47	0.53	0.092	0.170	0.342
A 1	0.43	0.39	0.32	0.075	0.257	0.352
A 2	0.44	0.38	0.30	0.138	0.364	0.366
Standard	> 0.42	> 0.38	> 0.35	< 0.10	< 0.21	> 0.31

Note: Standard SY5023-82, A means the asbestos frictional material brake block, W means that new asbestos-free frictional material brake block

注: 执行标准 SY5023-82; A 是现场在用石棉摩擦材料刹车块; W 是新研制的无石棉摩擦材料刹车块

定的性能指标, 与石棉摩擦材料相比, 其在 3 种温度下都具有比较高而稳定的摩擦系数。由表 2 所列数据还可以看出, 在相同的试验条件下, 新型无石棉自增强摩擦材料的抗热衰退性能好, 冲击强度高, 耐磨性明显比石棉摩擦材料的好。

2.2 摩擦制动性能的模拟对比试验

依据文献 [4] 报道的石油钻机刹车副的系统试验方法, 在室内进行了钻机刹车副连续下钻的模拟对比试验。在下放钻柱质量 40 kg, 下放速度 1.75 m/s, 刹车副摩擦表面滑动速度 20.5 m/s 的条件下, 模拟惯量为 8.43 kg·m², 试验机主轴模拟转动速度为 6 000 r/min, 制动间隔时间为 60 s, 摩擦面平均温度在 300~400 °C 之间。试验数据如表 3 所列。

表 3 无石棉与含石棉摩擦材料的性能对比

Table 3 Performance comparison of frictional materials

Frictional material	A verage coefficient of friction	W ear rate of brake block / $10^{-6}\text{g}\cdot\text{J}^{-1}$	W ear rate of steel pair / $10^{-6}\text{g}\cdot\text{J}^{-1}$	A verage braking time /s
New asbestos-free				
W 1	0.47	1.962	0.154	4.2
W 2	0.52	1.161	0.125	3.0
With asbestos material				
A 1	0.35	3.083	0.504	4.5
A 2	0.32	4.337	0.561	5.2

由表3可以看出,与在用石棉基摩擦材料相比,新研制的无石棉自增强摩擦材料的平均摩擦系数高,磨损小,制动时间也短,尤其偶件的磨损很小,这对使用钢制刹车鼓的石油钻机刹车副具有实用意义

3 结论

a 从粉煤灰中提取漂珠,经化学活化处理后用作基础增强材料替代石棉生产摩擦制动制品,不仅具有原料价廉易得和制备工艺简单等优点,而且消除了制动过程中石棉对环境 and 人体的危害,也为工业废料粉煤灰的综合利用开拓了新路

b 在给定的试验条件下,与石棉摩擦材料相比,新型无石棉自增强摩擦材料具有优良的摩擦磨损性能,而且制动时间短,尤其偶件的磨损很小,这对延长摩擦制动装置的使用寿命和降低维修费用具有实际意义,是石棉摩擦材料理想的替代物

参 考 文 献

- 1 姜承 石棉的危害及应用前景 环境科学, 1990, 11(1): 91~92
- 2 吕瑶姣, 张季爽 粉煤灰表面改性的研究 环境科学, 1992, 13(4): 45~47
- 3 林薇薇, 徐文友, 钱鸿萍 漂珠/不饱和聚酯复合材料的耐化学腐蚀性 工程塑料应用 1992, 20(2): 12~16
- 4 张嗣伟, 翟玉生 石油钻机刹车块材料筛选的原理与试验方法 石油大学学报, 1988, 3: 116~124

Study on the Properties of Asbestos-free Self-Enhanced Frictional Material and Its Development

Zhai Yusheng Zhang Jinzhong Li An Zhang Yousheng

(Applied Tribology Research Office

University of Petroleum Dongying Shandong 257062 China)

Abstract In order to eliminate the harmfulness of asbestos-enhanced frictional material on the environment and human body, the floating pearl obtained from fly-ash was activated with the activator KH-550, and the treated material was used as basic enhanced filling material instead of asbestos to develop a new asbestos-free self-enhanced frictional material. This new material consists of the alcohol rubber-phenolic resin and frictional modifying agent, besides the floating pearl. Testing results showed that under the given conditions, this asbestos-free self-enhanced frictional material has the advantages of the good tribological properties, short braking time, very weak pairs' wear and easy to obtain the floating pearl over the asbestos-enhanced material. This research opens a new route for making full use of fly-ash.

Key words frictional material brake friction wear floating pearl asbestos