

两款高速铁路桥梁支座滑块的制备及对比研究

姜稳定 黄安民 朱志勇 邓如生

(株洲时代新材料科技股份有限公司, 株洲 412001)

摘要 介绍超高分子量聚乙烯(UHMWPE)和聚四氟乙烯(PTFE)两款桥梁支座滑块的制备方法,并对滑块的性能进行了研究。结果表明,UHMWPE复合滑块具有比PTFE滑块更加突出的综合力学性能,且其承载能力高,自润滑性能好,耐磨损性能突出,是高速铁路桥梁支座的理想之选。就磨损机理而言,PTFE滑块主要表现为粘着磨损,而UHMWPE复合滑块则主要表现为磨粒磨损。

关键词 超高分子量聚乙烯 聚四氟乙烯 滑块 桥梁支座 承载能力 磨损机理

近年来,国内高速铁路大规模建设,列车所设计的高时速对其运行的平稳性和安全性提出了更高要求,这必然要求高速铁路桥梁支座滑块能适应载荷量更大、相对位移速度更快、累计滑动位移量更长和耐磨要求更高的工作环境。聚四氟乙烯(PTFE)滑块具有良好的自润滑性能,在桥梁支座等建筑工程领域被广泛应用,但其存在设计承载能力偏低、载荷位移速率偏小、易冷流、磨损率偏高等缺点。超高分子量聚乙烯(UHMWPE)具有优异的物理力学性能^[1-4],通过复合改性有效地提高其抗蠕变性能、表面硬度,并赋予其良好的摩擦磨损性能^[5-8]。有研究表明,改性复合UHMWPE材料在无润滑磨损条件下的耐磨性是PTFE的4倍,是一种可以代替金属用于摩擦副的新型材料^[9]。笔者采用模压成型及模压烧结成型工艺分别制备了改性UHMWPE复合滑块和PTFE滑块,并模拟高速铁路桥梁支座实际使用工况对两款滑块的性能进行了对比研究。

1 实验部分

1.1 原材料

UHMWPE粉末:相对分子质量大于50万,性能指标见表1,市售;

PTFE细粉:粒径小于50 μm,性能指标见表2,市售;

石墨基固体复合耐磨剂:自制;

复合加工助剂:自制。

表1 UHMWPE粉末的性能指标

项目	密度/ g·cm ⁻³	拉伸强度/ MPa	断裂伸长率/ %	肖氏硬度	熔点/ ℃
数值	0.93	≥32	≥300	61	130~135

表2 PTFE细粉的性能指标

项目	密度/ g·cm ⁻³	拉伸强度/ MPa	断裂伸长率/ %	熔点/ ℃
数值	2.17	≥36	≥350	327±5

1.2 仪器及设备

全自动UHMWPE专用模压成型设备:350 t,自制;

PTFE模压设备:HYL-1000P型,1000 t,衡阳华意机械有限公司;

烧结炉:RFX-Sc14型,16 kW,乐清虹港炉业有限公司;

电子密度分析天平:TEP-30型,湘仪天平仪器设备有限公司;

球压痕硬度仪:TQY-1型,吉林省泰和实验机有限公司;

微机控制电子拉力试验机:CMT-2103型,深圳新三思材料检测有限公司;

万能电子拉力试验机:CMT-4104型,深圳高品检测设备有限公司;

悬臂梁冲击试验机:XJU型,承德试验机厂;

加载试验机:400 t,自制。

1.3 试样制备

(1) UHMWPE复合滑块的制备

取UHMWPE粉100份、石墨基固体复合耐磨剂5份、复合加工助剂1份高速混合均匀后于8 MPa、230±5℃加热熔融3 h后冷却模压定型制得UHMWPE复合滑块。

(2) PTFE滑块的制备

取PTFE细粉于28 MPa冷压,室温静置24 h后于380±5℃恒温烧结5 h制得PTFE滑块。

1.4 性能测试

密度GB/T 1033-1986测试;拉伸强度、断裂伸长率按ISO 527-1996测试;拉伸弹性模量按GB/T 1040-1992测试;冲击强度按ASTM D4020-96测

试;球压痕硬度按 ISO 2039 - 2000 测试。

滑块承载能力采用 400 t 加载试验机进行侧限压缩试验。滑块初始静摩擦系数(μ_{st})、滑动摩擦系数(μ_{yn})及线磨耗率采用如图 1 所示实验工装进行测试,UHMWPE 复合滑块与 PTFE 滑块测试方法分别参照《客运专线桥梁盆式橡胶支座暂行技术条件补充规定》和铁路行业标准 TB/T 2331 - 2004,测试条件如表 3 所示。

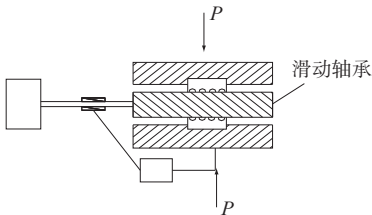


图 1 摩擦磨耗实验工装示意图

表 3 滑块摩擦系数与线磨耗率测试条件

μ_{st} 测试条件	滑块类型		线磨耗率测试条件	滑块类型	
	UHMWPE	PTFE		UHMWPE	PTFE
压应力 /MPa	45	30	压应力 /MPa	45	30
预压时间 /h	1	1	试验温度 /℃	21 ±1	23 ±5
试验温度 /℃	21 ±1	23 ±5	摩擦速度 /mm · s ⁻¹	15	8
相对滑动距离 /mm	10	10	相对滑动距离 /mm	± 10	± 40
相对滑动速度 /mm · s ⁻¹	0.4	0.4	累计滑动距离 /km	15 或 50	1

2 结果与讨论

2.1 力学性能

UHMWPE 复合滑块与 PTFE 滑块材料的力学性能测试结果如表 4 所示。由表 4 可看出,与 PTFE 滑块相比,UHMWPE 复合滑块材料密度小、质量轻,综合力学性能优异。

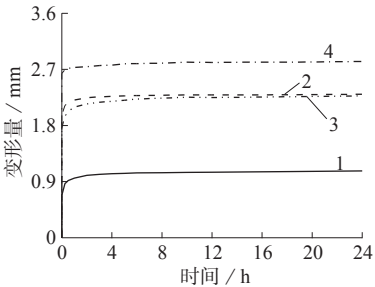
表 4 UHMWPE 复合滑块与 PTFE 滑块的性能对比

项 目	UHMWPE 复合滑块	PTFE 滑块
密度 /g · cm ⁻³	0.95	2.20
拉伸强度 /MPa	37	35
断裂伸长率 /%	310	348
拉伸弹性模量 /MPa	800	428
球压痕硬度 /MPa	30	29
冲击强度 /kJ · m ⁻²	不破坏	15

2.2 承载能力

图 2 为两款不同滑块限位压缩后变形情况,样品初始厚度为 7.0 mm、直径为 100 mm,侧限坑深为 3.5 mm。由图 2 可看出,在同等加载条件下,UHMWPE 复合滑块的厚度变化量明显小于 PTFE 滑块,表明 UHMWPE 复合滑块具有相对更高的承

载能力,该滑块的使用将有力地提升桥梁等工程建筑的设计自由度。



1—UHMWPE 复合滑块,加载 90 MPa ×24 h;
2—UHMWPE 复合滑块,加载 190 MPa ×24 h;
3—PTFE 滑块,加载 90 MPa ×24h;
4—PTFE 滑块,加载 10 MPa ×24 h

图 2 UHMWPE 复合滑块与 PTFE 滑块侧限压缩变形曲线

2.3 摩擦磨损性能

UHMWPE 复合滑块与 PTFE 滑块 μ_{st} 与 μ_{yn} 测试结果如表 5 所示。由表 5 可看出,两款滑块在各自测试条件下 μ_{st} 均较低且基本相同,而 μ_{yn} 则不尽相同,UHMWPE 复合滑块的 μ_{yn} 明显低于 PTFE 滑块。这表明 UHMWPE 复合滑块具有比 PTFE 滑块更突出的自润滑特性。

表 5 UHMWPE 复合滑块与 PTFE 滑块的 μ_{st} 与 μ_{yn} 对比

项 目	UHMWPE 复合滑块	PTFE 滑块
μ_{st}	0.004	0.004
μ_{yn} (滑行 1 km)	0.006	0.012
μ_{yn} (滑行 15 km)	0.007	

UHMWPE 复合滑块与 PTFE 滑块磨耗测试结果如表 6 所示。在压力更大、滑行速率更快、累计滑行距离更长的环境下,UHMWPE 复合滑块的线磨耗率要明显低于 PTFE 滑块,表明 UHMWPE 复合滑块具有比 PTFE 滑块更加突出的耐磨损性能。

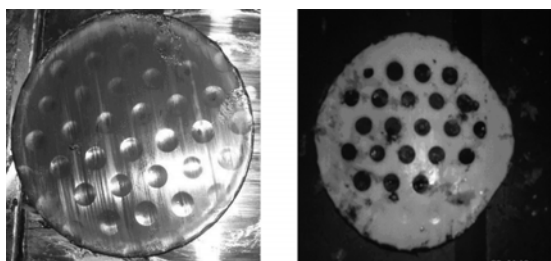
表 6 UHMWPE 复合滑块与 PTFE 滑块磨耗测试结果

项目	UHMWPE 复合滑块		PTFE 滑块	
	1#	2#	1#	2#
累计滑行距离 /km	50	50	1	1
线磨耗率 / $\mu\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$	<0 ¹⁾	<0 ²⁾	9.4	10.6

注:1)、2) 由于 UHMWPE 复合滑块吸收硅脂量大于其磨损量,所以测得磨耗值 <0。

图 3 为 PTFE 滑块与 UHMWPE 复合滑块磨耗测试样品照片。从图 3a 可以看出,UHMWPE 复合滑块磨耗测试滑行 50 km 后表面存在黑色浆状油膜且有轻微划痕,但无明显变形且整体保持完好。从图 3b 可以看出,PTFE 滑块磨耗测试滑行 1 km 后表面无明显划痕,但变形明显且部分储脂坑被磨平,样

品周围有大量白色碎屑存在,这是磨损测试过程中 PTFE 滑块因摩擦而脱落的碎片。正是由于 PTFE 滑块在摩擦过程中大量碎屑脱离本体,因此其线磨耗率高。



(a)

(b)

a—UHMWPE 复合滑块(滑行 50 km); b—PTFE 滑块(滑行 1 km)

图3 PTFE 复合耐磨滑块与 UHMWPE 滑块磨耗测试样品照片

UHMWPE 复合滑块样品表面存在黑色浆状油膜为摩擦过程中小部分滑块材料转移到对磨面成为固体润滑剂转移膜,该转移膜在滑块本身释放出的固体耐磨剂及润滑硅脂存在条件下稳定存在,进而阻碍了滑块与金属之间的直接接触,因此, UHMWPE 复合滑块具有良好的自润滑性能且线磨耗率低。UHMWPE 复合滑块沿主滑行方向存在轻微的划痕现象,这是由于滑块材料中刚性固体耐磨剂颗粒在聚合物表面形成坚硬的突出物,在滑块与不锈钢表面接触并相对滑动的过程中刺入滑块并对附近区域进行微剪切和微切割,直到局部发生张力破坏所致,因此就磨损机理而言主要表现为磨粒磨损。相对而言,PTFE 滑块表面无划痕迹象,但样品变形严重且大量碎屑从本体脱落,这是由于摩擦过程中所形成的转移膜无法稳定存在,使得 PTFE 滑块转移层长期处于动态平衡中,因而其线磨耗率高,就磨

损机理而言,PTFE 滑块主要表现为粘着磨损。

3 结语

通过采用模压成型及模压烧结成型工艺分别制备了改性 UHMWPE 复合滑块与 PTFE 滑块,对比研究发现,UHMWPE 复合滑块具有比 PTFE 滑块更加突出的综合力学性能,且其承载能力高,自润滑性能好,耐磨损性能突出。因此,UHMWPE 复合滑块比 PTFE 滑块更适宜于重载、高滑动速度、高耐磨要求的工作环境,是高速铁路桥梁支座耐磨滑移材料的理想之选。

参考文献

- [1] 沛然,常秋英.滑动表面卷吸速度为零时的热弹流润滑分析[J].摩擦学学报,2000,20(3):207-210.
- [2] Liu Chaozong, Ren Luquan, Amell R D, et al. Abrasive wear behavior of particle reinforced ultrahigh molecular weight polyethylene composites[J]. Wear, 1999, 225-229: 199-204.
- [3] 黄孝龙,葛世荣.珊瑚粉填充改性 UHMWPE 的划痕试验[J].塑料科技,2008,36(5):66-69.
- [4] 徐乃兵,李光凡.超高分子量聚乙烯在输送设备中的应用[J].粮食加工,2007,32(4):56-57.
- [5] 温建萍,甄明辉,沈洲.偶联修饰纳米蒙脱土/超高分子量聚乙烯基复合材料的摩擦磨损性能[J].硅酸盐学报,2007(8):1040-1045.
- [6] 雷毅,郭建良.纳米粒子和聚四氟乙烯填充 UHMWPE 复合材料的摩擦磨损性能研究[J].润滑与密封,2007,32(5):23-26.
- [7] 周健松,阎逢元,单小东.超高分子量聚乙烯摩擦学性能研究进展[J].材料科学与工程学报,2005,23(1):142-145.
- [8] 黄丽,王琛,李效玉.医用超高分子量聚乙烯摩擦磨损性能的研究进展[J].高分子通报,2006,12:1-7.
- [9] 刘云湘,刘廷华.UHMWPE 摩擦磨损性能及其机理的研究进展[J].现代塑料加工应用,2004,16(4):55-59.

PREPARATION AND COMPARATIVE STUDY OF TWO KINDS OF SLIDING BLOCKS FOR HIGH-SPEED RAILWAY BRIDGE BEARINGS

Jiang Wending, Huang Anmin, Zhu Zhiyong, Deng Rusheng

(Zhuzhou Times New Material Technology Co. Ltd., Zhuzhou 412001, China)

ABSTRACT The preparation methods of two kinds of sliding blocks made from ultra high molecular weight polyethylene(UHMWPE) composite and pure polytetrafluorethylene(PTFE) powder were introduced respectively. A comparative research was carried on to differentiate the properties from each other. As the research revealed, UHMWPE composite sliding blocks showed better comprehensive mechanical properties, higher bearing capacity, better self-lubricance and lower linear wear rate to those of PTFE sliding blocks, which renders UHMWPE composite sliding blocks to be preferable options for high-speed railway bridge bearings. As for the wear mechanisms were concerned, PTFE blocks mainly showed adhesive abrasion while UHMWPE composite blocks mainly showed grain-abrasion.

KEYWORDS ultra high molecular weight polyethylene, polytetrafluorethylene, sliding block, bridge bearing, bearing capacity, wear mechanism