

动车组表面聚氨酯涂层冲蚀性能分析

刘仁^{1,2}, 张世欣³, 王小成³, 高方圆¹, 武传田³, 李光¹

(1.中国科学院力学研究所,北京 100190 2.中材科技风电叶片股份有限公司,北京 102101;

3.南车青岛四方机车车辆股份有限公司,山东 青岛 260000)

摘要:采用气流喷砂式冲蚀试验机,对动车组聚氨酯涂层进行冲蚀性能研究。利用扫描电子显微镜及表面轮廓测量仪,检测了聚氨酯涂层的表面冲蚀形貌及冲蚀磨损,比较分析了粒子速度、入射角度对聚氨酯涂层冲蚀磨损率及冲蚀形貌的影响规律。研究发现:聚氨酯涂层冲蚀磨损机制为低角度冲蚀时微切削机制起主导作用,高角度冲蚀时脆性破碎机制起主导作用。冲蚀参数对涂层的冲蚀磨损率影响规律为:随粒子速度呈现指数增长(指数为 2.27),随入射角度先增后减规律(峰值在 30°入射时)。

关键词:聚氨酯涂层;冲蚀;冲蚀参数;冲蚀机制

中图分类号:TQ 323.8

文献标志码:A

文章编号:1002-2333(2015)12-0060-03

Erosion Performance of Polyurethane Coatings on Motor Train Unit Surface

LIU Ren^{1,2}, ZHANG Shixin³, WANG Xiaocheng³, GAO Fangyuan¹,

WU Chuantian³, LI Guang¹

(1. Sinomatech Wind Power Blade Co., Ltd., Beijing 102101, China 2. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China 3. CSR Sifang Co., Ltd., Qingdao 260000, China)

Abstract: By using air-blast erosion test machine, the erosion experiments of polyurethane coatings on motor train unit surface are carried out. Scanning electron microscopy and surface profile measuring instrument are used to study the morphology of surface and erosion wear of polyurethane coatings. The effects of particle velocity and incident angle on the erosion rate and the erosion morphology are comparatively analyzed. The results show that erosion wear mechanism is micro cutting mechanism for low angle erosion and brittle broken mechanism for high angle erosion. The impact of erosive parameters on law of erosion rate is shown. The erosion rate of polyurethane coating exponential grew with erosion velocity while the index is 2.27, and the erosion rate increases and then decreases with impacting angle while the peak value appears in 30°.

Key words: polyurethane coatings; erosion; erosive parameter; erosive mechanism

0 引言

动车组在运行中由于空气中微细粒子的存在,其表面涂层会因冲蚀而产生不同程度的磨损与破坏。随着现

代发展速度的要求,动车组运行速度普遍在 250 km/h 以上,加之风沙环境下空气中含沙量的增加,动车组表面聚氨酯涂层的冲蚀磨损成为其磨损破坏的重要原因。

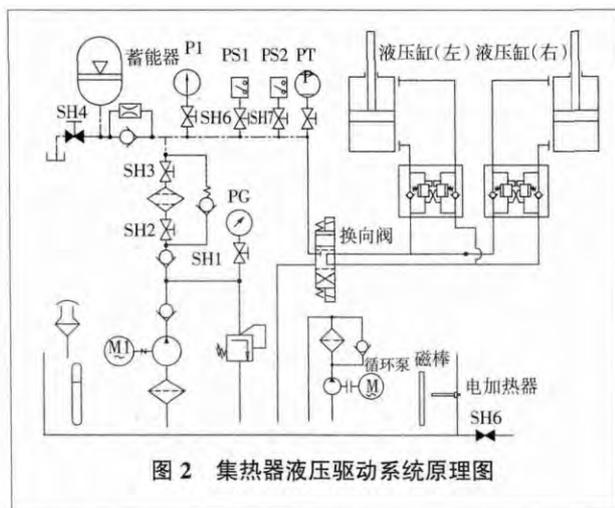


图 2 集热器液压驱动系统原理图

有杆腔最大体积

$$V_2 = \pi(R^2 - r^2)L = \pi \left[\left(\frac{75}{1000} \right)^2 - \left(\frac{40}{1000} \right)^2 \right] \frac{860.2}{1000} = 0.01 \text{ m}^3$$

总体积(完成一次-30°~210°总用油量) $V = V_1 + V_2 =$

$0.02523 \text{ m}^3 = 25.23 \text{ L}$ 。

最大范围快速运行要求时间(最大行程)为 15 min。

流量 $Q = V/t = 25.23/15 = 1.682 \text{ L/min} = 1682 \text{ mL/min}$, 无杆腔最小输出力 $F_1 = P \times S = 14 \times 0.0177 \times 1\,000\,000 = 247\,275 \text{ N}$, 有杆腔最小输出力 $F_2 = P \times S = 14 \times 0.0126 \times 1\,000\,000 = 176\,939 \text{ N}$ 。

3)控制块组件。控制块组件由三位四通电磁阀和平衡阀组成。

3 结论

通过以上的分析,对集热器液压驱动系统有了一定的了解,为后续集热器液压驱动系统的国产化研究具有重要的意义。

[参考文献]

[1] 王君一,徐任学.太阳能利用技术[M].北京:金盾出版社,2008.

(编辑 吴天)

作者简介:梁志涛(1982—),男,工程师,硕士研究生,从事汽轮机控制系统设计工作。

收稿日期:2015-06-25

研究动车组表面聚氨酯涂层冲蚀磨损行为,了解其冲蚀磨损特性,可为其抗冲蚀性能设计奠定基础。本文采用冲蚀磨损实验的方法研究了动车组表面聚氨酯涂层冲蚀磨损行为,分析了微细粒子的速度和入射角度对涂层冲蚀磨损率的影响规律,确定了涂层冲蚀破坏机制,为动车组表面涂层抗冲蚀性能设计提供了科学依据。

1 试验材料及方法

实验材料为现有动车组表面聚氨酯涂层^[1-2],其表面及截面形貌如图1所示。聚氨酯涂层样品表面平整光滑,聚氨酯涂层总厚度在570 μm左右,涂层分为3层:表层聚氨酯,厚度为150 μm左右;中间的聚酯腻子,厚度为240 μm左右;底漆环氧树脂,厚度为180 μm左右。将聚氨酯涂层样品制备为25 mm×25 mm大小,按照表1所示的冲蚀实验方案进行实验。

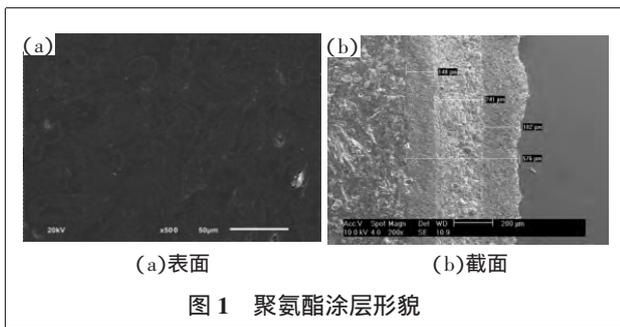


表1 冲蚀实验设计方案

方案	冲蚀时间/s	粒子速度/(m·s ⁻¹)	入射角度/(°)	粒子粒径/μm	供料速度/(g·min ⁻¹)
1	5~60	70	90	100	0.76
2	30	50~100	90	100	0.76
3	30	70	15~90	100	0.76

采用气流喷砂式冲蚀实验机进行涂层的冲蚀实验。通过冲蚀实验时间控制入射粒子质量,完成聚氨酯涂层冲蚀时间历程,通过喷射气流气压控制入射粒子速度,完成不同粒子速度冲蚀实验,通过更换试样托架,完成不同入射角度冲蚀实验。

采用Li-3表面轮廓测量仪测量涂层冲蚀后的冲蚀坑轮廓及粗糙度。采样长度根据冲蚀坑大小及形状确定,得到冲蚀坑轮廓曲线。通过Origin软件对冲蚀坑轮廓曲线进行积分处理,得出冲蚀坑的体积。采用FA1604型精密天平测量冲蚀实验机供料速度,其精度为0.1mg。据此得出聚氨酯涂层的冲蚀磨损率。

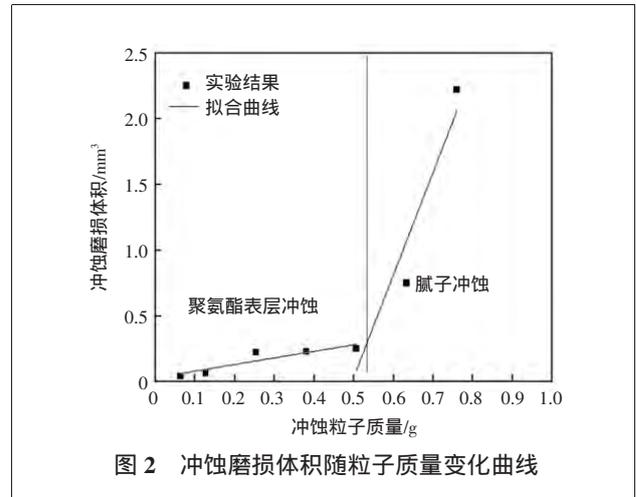
采用TESCAN LYRA 3 FEG-SEM/FIB扫描电子显微镜对涂层试样的表面形貌及截面形貌进行观察分析,分析聚氨酯涂层冲蚀磨损机制。

2 试验结果及分析

2.1 聚氨酯涂层冲蚀磨损率计算

根据方案1进行冲蚀实验,可得聚氨酯涂层冲蚀磨损体积随粒子质量的变化曲线,如图2所示。可知当粒子质量超过0.51 g时,聚氨酯涂层的冲蚀磨损体积呈现急

剧上升。通过涂层试样观察发现,主要是因为粒子质量超过0.51 g时聚氨酯表层被完全冲破,已经开始露出聚酯腻子,因此在此之后的冲蚀均为聚酯腻子的冲蚀。而由于聚酯腻子的抗冲蚀能力远小于聚氨酯表层,因此其冲蚀磨损体积急剧上升。

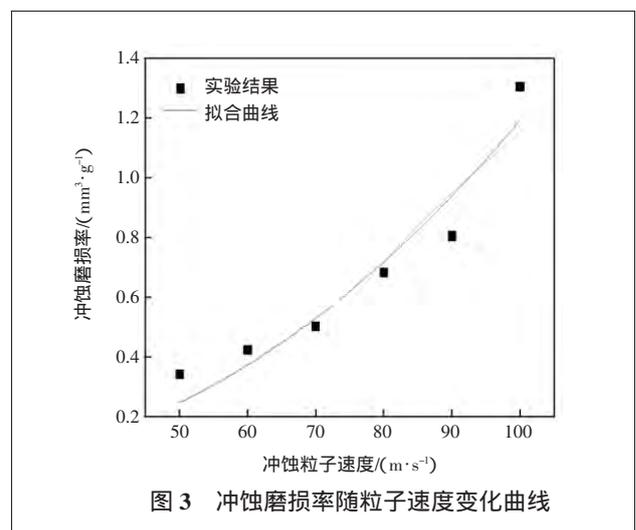


对冲蚀磨损体积随粒子质量变化曲线进行线性拟合,以粒子质量0.51 g为分界线,聚氨酯表层的冲蚀磨损体积随粒子质量关系为 $y=0.50x+0.13$,其中 y 为磨损体积 x 为粒子质量,则冲蚀体积磨损率为 $E_v=0.50 \text{ mm}^3/\text{g}$;聚酯腻子的冲蚀磨损体积随粒子质量关系为 $y=7.79x+2.21$,其中 y 为磨损体积 x 为粒子质量,则冲蚀体积磨损率为 $E_v=7.79 \text{ mm}^3/\text{g}$ 。

综上,通过聚氨酯涂层冲蚀磨损实验测得涂层在粒径为100 μm的粒子以70 m/s的速度垂直入射环境下的冲蚀磨损率约为 $E_v=0.50 \text{ mm}^3/\text{g}$ 。该冲蚀磨损率数值可用于评价现有聚氨酯涂层的抗冲蚀性能,即确定涂层冲蚀评价方法。

2.2 冲蚀参数对冲蚀磨损率的影响

根据表1中的实验方案2、3进行冲蚀实验,通过改变粒子速度和入射角度研究冲蚀参数变化对聚氨酯涂层冲蚀磨损率的影响^[3-6],其结果如图3、图4所示。



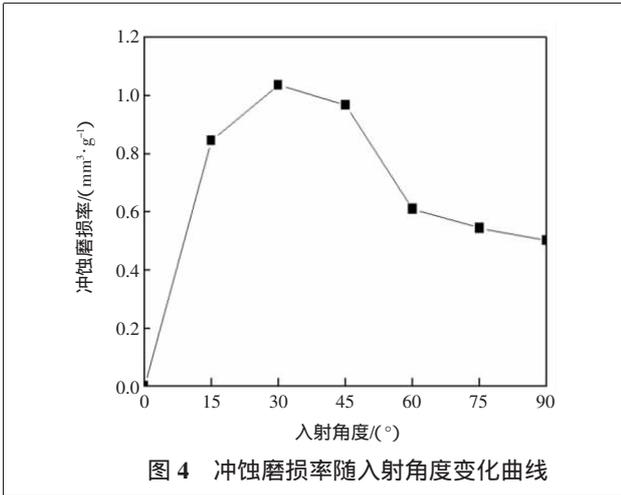


图 4 冲蚀磨损率随入射角度变化曲线

如图 3 所示,对聚氨酯涂层冲蚀磨损率随粒子速度的变化曲线进行乘幂拟合得到下式:

$$E_r = 3.40 \times 10^{-5} \cdot v^{2.27} \quad (1)$$

式中 E_r 为涂层冲蚀磨损率 v 为粒子速度 2.27 为速度指数。不同材料抗冲蚀性能不同,速度指数表征冲蚀磨损率随粒子速度变化的剧烈程度,在一定程度上能映应材料的抗冲蚀性能。聚氨酯涂层的冲蚀磨损速度指数为 2.27,其冲蚀磨损率随粒子速度的增加而呈现急剧增长,表明特定聚氨酯涂层对于应用的动车组具有较严格的速度限制。

图 4 为聚氨酯涂层冲蚀磨损随入射角度的变化曲线,可知在低角度入射时,聚氨酯涂层的冲蚀磨损率普遍偏高,随着入射角度的增加,冲蚀磨损率逐渐下降并趋于稳定,其中最大值出现在 30°入射时,最小值出现在 90°入射时。

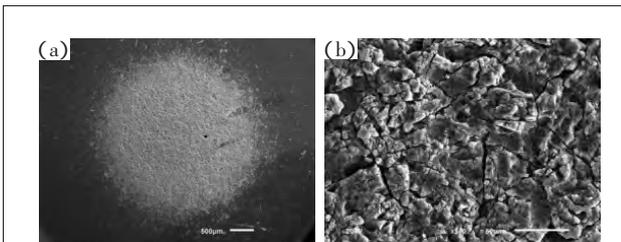


图 5 聚氨酯涂层冲蚀表面形貌

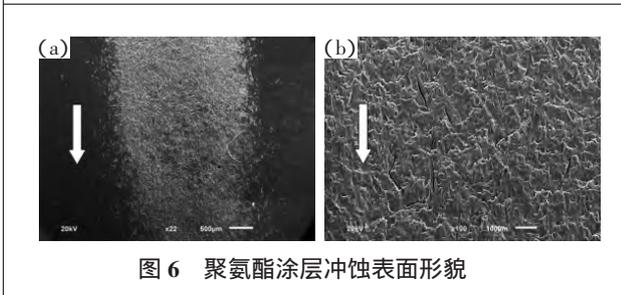


图 6 聚氨酯涂层冲蚀表面形貌

2.3 聚氨酯涂层冲蚀磨损机制

不同材料在冲蚀磨损下体现出不同的冲蚀磨损机制,其最直观的结果体现在冲蚀形貌上。本文对聚氨酯涂层冲蚀后的表面形貌进行分析^[7-8],结合其冲蚀磨损率规律,完成涂层冲蚀磨损机制分析。

粒子入射造成聚氨酯表面材料变形,变形达到临界

值时产生微细裂纹,随着粒子的持续入射裂纹交错扩展导致表面材料破碎脱落,从而形成冲蚀磨损。如图 5 所示为聚氨酯涂层 90°冲蚀后表面形貌,可以清晰地看到裂纹的交错以及涂层表面材料的破碎和即将脱落。因此,聚氨酯涂层在粒子高角度冲蚀情形下表现出脆性材料破碎脱落冲蚀磨损机制。

粒子硬度远高于涂层硬度且入射角度较低时,粒子入射在涂层表面造成划擦与切削带走材料,使得涂层微切削形成冲蚀坑从而产生冲蚀磨损。如图 6 所示为聚氨酯涂层 15°冲蚀后表面形貌,看出冲蚀坑为沿粒子入射方向的长条形,长条形冲蚀坑中布满类似与铲削与点削的痕迹。因此,聚氨酯涂层在粒子低角度冲蚀情形下表现出韧性材料微切削冲蚀磨损机制。

综上,聚氨酯涂层的冲蚀磨损由微切削和脆性破碎两种机制控制,随着入射角度的变化而不同,低角度冲蚀时微切削机制起主导作用,冲蚀磨损体积由粒子的切削和划擦造成,高角度冲蚀时脆性破碎机制起主导作用,冲蚀磨损体积由微细裂纹交错材料破碎脱落造成。

3 结论

本文采用气流喷砂式冲蚀实验机对聚氨酯涂层进行冲蚀实验,通过轮廓测量法计算冲蚀磨损体积,实现了涂层冲蚀磨损率的计算;通过改变粒子速度和入射角度研究了冲蚀参数变化对聚氨酯涂层冲蚀磨损率的影响,得到不同冲蚀参数下聚氨酯涂层的冲蚀磨损率变化规律;通过对聚氨酯涂层冲蚀后的表面形貌进行分析,研究了聚氨酯涂层的冲蚀磨损机制。

[参考文献]

- [1] 杨松柏,张宝祥,赵民.高速动车组车体用涂料标准的探讨[J].铁道技术监督,2013(9):1-3.
- [2] 董双良,王文凭.高速动车组涂装工艺简介[J].现代涂料与涂装,2009(12):23-24.
- [3] HUTCHINGS I M, WINTER R E. The erosion of ductile metals by spherical particles [J]. Journal Of Physics D -Applied Physics, 1975(8):8-14.
- [4] LINDSLEY B A, MARDER A R. The effect of velocity on the solid particle erosion rate of alloys [J]. Wear, 1999, 225-229: 510-516.
- [5] OKA Y I, OHNOGI H, HOSOKAWA T, et al. The impact angle dependence of erosion damage caused by solid particle impact [J]. Wear, 1997, 203-204:573-579.
- [6] SHIPWAY P H, HUTCHINGS I M. The role particle properties in the erosion of brittle materials [J]. Wear, 1996, 193:105-113.
- [7] HUTCHINGS I M. Ductile-brittle transitions and wear maps for the erosion and abrasion of brittle materials [J]. J. Phys. D: Appl. Phys, 1992, 25:212-221.
- [8] FINNIE I. Some reflection on the past and future of erosion [J]. Wear, 1995, 186-187:1-10.

(编辑 吴天)

作者简介:刘仁(1990—),男,工程师,硕士研究生,主要研究方向为涂层制备及性能检测。

收稿日期:2015-10-13