

聚氨酯改性环氧树脂的浆液冲蚀磨损研究

卢德宏^{1,2}, 苏高申³, 管桂生^{1,2}, 周荣^{1,2}

(1. 昆明理工大学 机电学院, 云南 昆明 650093; 2. 云南省新材料制备与加工重点实验室, 云南 昆明 650093;
3. 长江大学 化学与环境工程学院, 湖北 荆州 434023)

摘要: 研究了聚氨酯 (PU) 增韧环氧树脂 (EP) 的浆液体冲蚀磨损性能. 研究表明: 不同组分的聚氨酯改性环氧树脂的冲蚀磨损率随冲蚀角度的变化规律相同, 最高点出现在 45° 左右, 最低点出现在接近 90° 处, 材料表现出从脆性材料向塑性材料过渡的冲蚀磨损特征; 聚氨酯改性环氧树脂的冲蚀磨损随 PU 含量增加而降低. 但磨损下降不是线性的, 当 PU 加入量在 0~1 份之间时, 环氧树脂的磨损下降速度大, 而随着 PU 加入量进一步升高, 环氧树脂磨损降低速度缓慢.

关键词: 环氧树脂; 聚氨酯; 冲蚀磨损

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2005)04-0035-03

Erosion Resistance of Epoxy Toughened with Polyurethane

LU De-hong^{1,2}, SU Gao-shen³, GUAN Gui-sheng^{1,2}, ZHOU Rong^{1,2}

(1. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;
2. Yunnan Provincial Key Laboratory of Fabrication and Processing of Advanced Materials, Kunming 650093, China;
3. School of Chemical and Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China)

Abstract: The goal of this research is to identify the relationship between composition and mechanical properties of polyurethane (PU) toughened epoxy resins and their erosive wear resistance. It is shown from the result that the wear resistance of the material varies with the erosive angle, with the maximum occurring at the erosive angle of 45° and the minimum at 90°. It is also clear that the wear mechanism of material transfers from that of brittle materials to that of tough materials. In addition, the wear decreases nonlinearly with the content of PU used to toughen the epoxy resin, i.e. when PU contained is less than 1 portion, the wear decreases rapidly; otherwise, it decreases slowly.

Key words: epoxy; polyurethane; erosive wear

0 引言

以环氧树脂为基体制成的复合材料由于具备了优异的耐酸碱、耐磨损等性能,而且涂敷工艺简单,成本低廉,正日益应用于零件耐腐蚀、耐磨损表面的涂覆、工件上缺陷的修补、腐蚀磨损表面的修复等,具有广阔的应用前景^[1~3].但是环氧树脂的脆性限制了其耐磨性和使用性能的进一步提高,所以环氧树脂的增韧改性研究以及有关韧性与耐磨性等性能的关系研究有重要的意义.目前这方面的理论研究的报道较少.本文研究了聚氨酯 (PU) 增韧环氧树脂 (EP) 的韧性变化与磨损性能和机理的关系^[4].

1 试验方法

1.1 实验装置

浆料冲蚀磨损实验在如图 1 所示的砂浆冲蚀磨损实验机上进行^[5].

1.2 试样制备

将聚氨酯 (PU) 增韧环氧树脂材料的冲蚀磨损试样切割成 30 mm × 40 mm × 5 mm 的试块,并在 800# 砂

收稿日期: 2004-09-27. 基金项目: 云南省自然科学基金资助项目 (项目编号: 2001E0008Q).

第一作者简介: 卢德宏 (1968~), 男, 副教授. 主要研究方向: 复合材料和耐磨材料. E-mail: ldhkust@km169.net

纸上打磨,将试块的每个边角都磨成圆角,将磨损表面打磨抛光。

1.3 试验条件和参数

本文重点考察了冲蚀角度、材料性能对耐磨性的影响。其中,冲蚀角度分别为: 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 和 90° ; 聚氨酯改性环氧树脂中 PU 和 EP 的质量比分别为: 0.1、1.9、2.8、3.7、4.6。试验参数和条件如下: 冲蚀速度 24.8 m/s ; 砂浆中冲蚀颗粒选用 40~70(目)的石英砂,浓度的质量分数为 3%; 砂浆温度为室温, pH 值为 7; 每个试样的冲蚀时间为 8 min, 每次试验都新配一次砂浆; 磨损率用试样单位时间的磨损失重来表示, 用精度为 0.1 mg 的 Adventure AR2140 型电子天平称量记录磨损前后试样重量, 称量前都将试样烘干, 每个数据均为三次实验的平均值。

冲蚀磨损试样用扫描电子显微镜 (XL30 - ESEM) 观察其冲蚀磨损形貌。

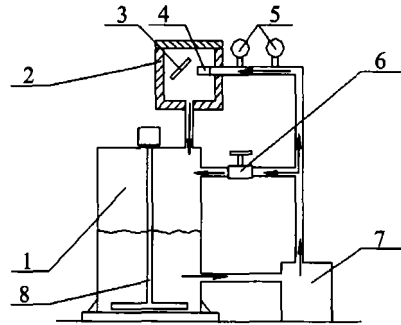
2 结果及分析

图 2 表示各种材料的冲蚀角度变化对耐磨性的影响。可见, 随着冲蚀角度的升高, 纯环氧树脂和所有的聚氨酯改性的环氧树脂材料的冲蚀磨损率都呈现同样的变化规律, 先升高, 达到最高点后下降; 各种材料的最大冲蚀磨损率都出现在 45° , 最小冲蚀磨损率都在 90° 。

一般, 材料的冲蚀磨损存在两种典型的冲蚀模型: 塑性冲蚀和脆性冲蚀^[6]。金属材料一般都表现出比较明显的塑性冲蚀特征, 即在 $20^\circ \sim 30^\circ$ 之间冲蚀率最大, 材料以微切削方式流失为主, 伴有少量的挤压锻造造成的疲劳剥落; 而脆性材料的最大冲蚀率出现在接近 90° 攻角处, 材料以疲劳、裂纹的扩展引起的断裂为主要流失方式。本文中, 聚氨酯改性环氧树脂材料的最大冲蚀磨损率出现在 45° 。这说明, 环氧树脂及其改性材料没有表现出典型塑性材料的冲蚀磨损特征, 也没有表现出典型塑性材料的冲蚀磨损特征, 而是表现出了从脆性材料向塑性材料过渡的特征。

图 3 是在不同角度下不同加入量聚氨酯改性环氧树脂的冲蚀磨损失重变化图。可以看出, 在各个角度下, 磨损失重总体上都随 PU 含量增加而降低, 但是在一些角度下 (如 15° 、 75°) 波动较大。作者认为, 这种波动主要是试验中的系统误差 (如磨损实验的操作、材料制备等) 造成的。为了减小这种误差对分析的影响, 更清楚地表明聚氨酯加入量与材料耐磨性的总体关系, 图中将同一材料在不同角度下的磨损失重数据进行了求平均值处理, 结果如图中虚线所示。该曲线更清楚地表明了磨损失重随 PU 含量增加而降低的规律, 而且表明这种规律不是线性的, 因为在该曲线中, 当 PU 加入量在 0~1 份之间时, 环氧树脂的耐磨性变化较大, 而随着 PU 加入量进一步升高, 虽然磨损失重总体上还是在降低, 但是降低速度很缓慢。

对环氧树脂基体的抗冲蚀磨损性能有较大影响的是环氧树脂材料的冲击韧性、硬度和脆性指标等, 本文试图从这些指标出发解释材料力学性能和耐冲蚀磨损性能之间的关系。“脆性指标”即 H/G_c , H 为材料的硬度, G_c 为材料的断裂能, 是一个硬度和韧性的综合指标, 可以用于表征高分子材料的脆性和冲蚀磨损性能等^[7]。图 4 表示不同聚氨酯改性环氧树脂材料的冲击韧性和脆性指标变化率与磨损失重变化率之间



1. 浆料桶 2. 试样室 3. 试样 4. 喷嘴 5. 水压表
6. 调节水阀 7. 渣浆泵 8. 搅拌器

图1 冲蚀磨损实验机结构原理示意图

Fig.1 The schematic diagram of the erosive wear machine

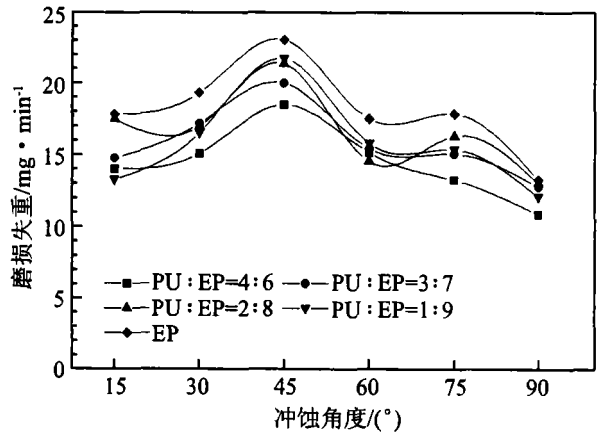


图2 冲蚀角度对材料耐磨性的影响

Fig.2 The influence of erosion angle on the wear resistance of epoxy

的关系.

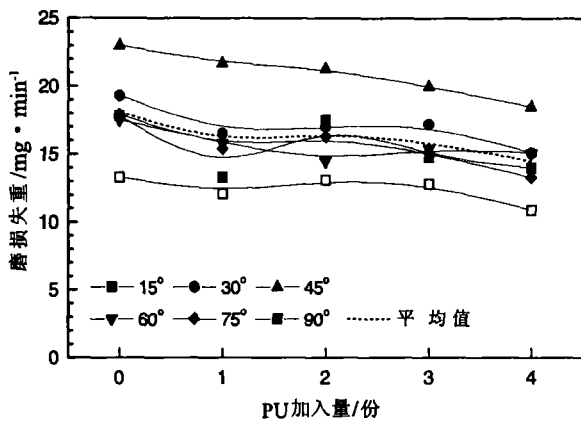


图3 聚氨酯加入量对耐磨性的影响

Fig.3 The influence of PU content on the wear resistance

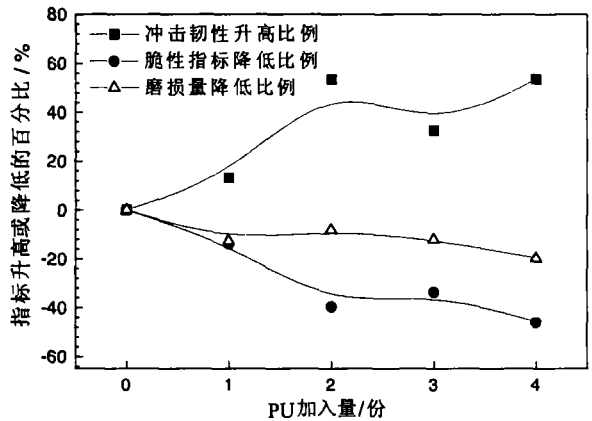


图4 聚氨酯增韧环氧树脂材料力学性能变化与耐磨性变化的关系

Fig.4 The relationship between the variation of mechanical properties and that of wear resistance

从图 4可以看出,改性后环氧树脂材料的冲击韧性随 PU加入量升高而升高,韧性和硬度的综合指标 - “脆性指标”也发生了相应改变,随 PU加入量升高而降低;而且二者变化的趋势是相互对应的,都在 2 份 PU加入前指标的变化趋势大,而更多的 PU加入则指标变化趋势减少.这种良好的对应是因为硬度随 PU加入量升高而变化的量不大^[4],对脆性指标的变化影响不大.图中材料磨损失重随 PU的变化曲线与图 3中相同,只是纵坐标的表达方式不同而已.由图 4可见,随着 PU加入量升高,材料磨损失重的减少与材料冲击韧性的提高,以及脆性指标的降低的变化趋势总体上是相互对应的,只不过磨损失重的变化在 PU小于 1份时大,超过后小,与冲击韧性等略有区别.这种关系一方面说明材料冲击韧性和脆性指标确实对其冲蚀磨损性能有影响,但另一方面也表明,材料冲蚀磨损性能的变化并不完全取决于冲击韧性或脆性指标的变化,因为二者的数量关系并不完全对应.这种不完全对应的原因可能是高分子材料的冲蚀磨损性能还与材料内部的相结构有关.

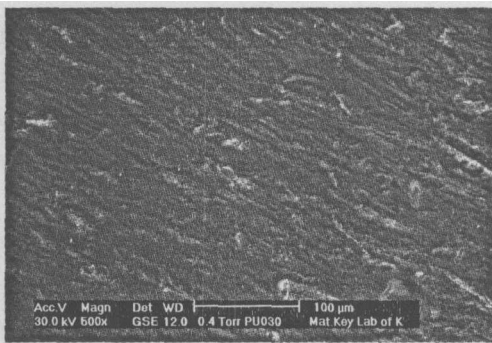


图5 纯环氧树脂在30°时的冲蚀磨损形貌
Fig. 5 The worn surface of pure EP at 30°

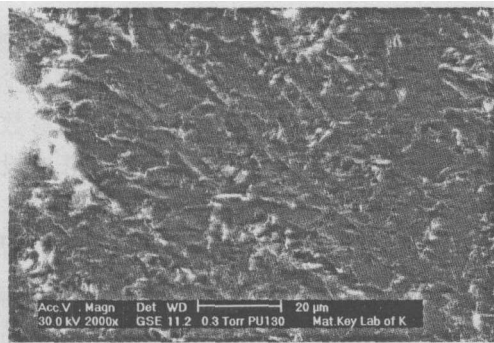


图6 PU加入量为1份的材料在30°时的冲蚀磨损形貌
Fig. 6 The worn surface of EP contained 1 portion PU at 30°

图 5~7分别是纯环氧树脂、PU EP = 1 9、PU EP = 4 6的聚氨酯改性环氧树脂在 30 冲蚀角度下的冲蚀磨损表面形貌.所以,该类材料在 30 冲蚀角度下,磨损表面主要特征是同一方向的犁沟,说明冲蚀磨损机理以犁削为主,材料磨损流失的主要形式是砂粒的犁削和刮擦引起的成块断裂剥落.但是,随着 PU加入量的增加,表面的犁沟越来越不连续,不明显.从图 7可见,材料表面的磨损犁沟和剥落坑被隆起网状物所阻断.这些网状物是环氧树脂中加入的 PU部分,由于其耐磨性好,在 EP基体中象锚一样起到保护基体的作用.所以,造成 PU改性 EP材料冲蚀磨损性能提高的原因从宏观来看是由于环氧树脂经过聚氨酯改性后韧性提高,材料的脆性得到改善,从微观来看是由于 PU部分在 EP中起到阻断磨损破坏和保护基体的作用.

(下转第 42页)

参考文献:

- [1] 陈志新, 刘建雄. 注塑模冷却系统最佳设计的 CAE[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2003, 10.
- [2] Li C S, Shen YK. Optimum design of runner system balancing in injection molding[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, March 1995, 22.
- [3] 申长雨, 李倩. 橡塑模具优化设计技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1997.
- [4] 唐志玉, 李德群, 徐佩弦. 塑料模具设计师指南 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [5] 余卫东, 陈建. Moldflow 技术在注射成型过程中的应用 [J]. 技术应用, 1998.
- [6] Moldflow Corporation. MPI5.0 Tutorial

(上接第 37 页)

3 结论

1) 各个组分的聚氨酯改性环氧树脂的冲蚀磨损率随冲蚀角度的变化规律相同, 最高点出现在 45 左右, 最低点出现在接近 90 处, 材料表现出从脆性材料向塑性材料过渡的冲蚀磨损特征.

2) 聚氨酯改性环氧树脂的冲蚀磨损随 PU 含量增加而降低; 但磨损下降不是线性的, 当 PU 加入量在 0~1 份之间时, 环氧树脂的磨损下降速度大, 而随着 PU 加入量进一步升高, 环氧树脂磨损降低速度缓慢.

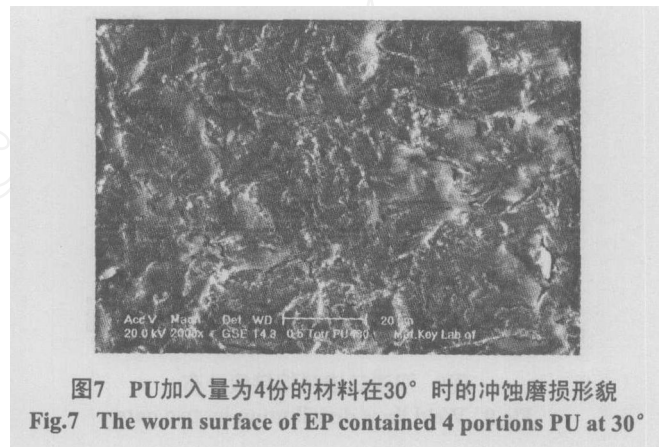


图7 PU加入量为4份的材料在30°时的冲蚀磨损形貌
Fig.7 The worn surface of EP contained 4 portions PU at 30°

参考文献:

- [1] 胡大樾, 林亨耀. 环氧耐磨涂层及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987. 1~5.
- [2] 徐欣. 改性环氧树脂基复合材料的研制及浆体冲蚀磨损特性研究: [硕士学位论文] [D]. 西安: 西安交通大学, 2000.
- [3] 黎清宁, 卢德宏. 环氧树脂基复合材料涂敷渣浆泵叶轮的应用研究 [J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2001, 26(5): 10~13.
- [4] 苏高申. 环氧树脂增韧改性及冲蚀磨损研究: [硕士学位论文] [D]. 昆明: 昆明理工大学环境科学与工程学院, 2004.
- [5] 黎清宁. 颗粒增强聚氨酯基复合材料的制备及其冲蚀磨损性能研究: [硕士学位论文] [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2003.
- [6] 李诗卓, 董祥林. 材料的冲蚀磨损与微动磨损 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987. 35.
- [7] Klaus Fredrich. Erosive wear of polymer surfaces by steel ball blasting[J]. J. Mater Sci, 1986, (21): 3317~3332.