

环氧树脂/蒙脱土涂层耐磨性研究及应用

陈名华,葛文军,夏成宝

(空军第一航空学院,河南 信阳 464000)

[摘要] 为得到耐冲蚀磨损性能良好的环氧树脂涂层,利用正交试验研究了环氧树脂基料、固化剂低分子聚酰胺、有机蒙脱土和 KH-550 的用量对环氧树脂涂层耐冲蚀磨损性能的影响,并在涂层中填充适量陶瓷粉末,优化了固化工艺,试验表明:有机蒙脱土和陶瓷粉末能有效提高涂层的耐冲蚀磨损性能,在最佳配方下,涂层的耐冲蚀磨损性能是 Q235 钢的 7.76 倍。并用该涂层修复了磨损砂浆泵,效果明显。

[关键词] 环氧树脂;蒙脱土;陶瓷;冲蚀磨损性;修复

[中图分类号] TG174.46

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2007)04-0076-03

Study on Erosion Wear Properties of Epoxy Resin/ Montmorillonite Coating and Its Application

CHEN Ming-hua, GE Wen-jun, XIA Cheng-bao

(The First Aeronautic Institute of Air Force, Xinyang 464000, China)

[Abstract] In order to obtain better erosion wear properties of epoxy resin coating, the effect of epoxy resin, curing agent-low molecular polyamide, organic montmorillonite and KH-550 on erosion wear properties of epoxy resin coating was studied through orthogonal experiment, and filled ceramic powders in coating, optimized the cure technics. The results show that erosion wear properties of coating can be improved obviously by organic montmorillonite and ceramic powders. Under the best formulation, the erosion wear properties of coating is 7.76 times of Q235 steel's. And the wear lines of slurry pump were repaired with the coating, the effects were obvious.

[Key words] Epoxy resin; Montmorillonite; Ceramic; Erosion wear; Repair

0 引言

火力电厂使用的砂浆泵叶轮,在工作过程中因受到粉煤灰泥浆的冲刷产生严重的冲蚀和磨粒磨损,使用寿命很低,仅为 3 个月,严重影响了机组正常运行。提高砂浆泵叶轮的耐磨寿命或快速修复叶轮损伤成为急需解决的问题。而环氧树脂胶粘剂具有粘附力强、耐磨性高和收缩率低等优异特点,添加适当的耐磨填料后,可作为优良的耐冲蚀保护涂层,因此可应用于叶轮表面进行磨损修复或延寿。许多研究表明,用蒙脱土对环氧树脂进行改性,使环氧树脂插层于纳米蒙脱土片层结构中,或将纳米蒙脱土片层剥离开来,会得到综合性能十分优异的环氧树脂复合材料。为此,本文将环氧树脂聚合物与蒙脱土(简称 MMT)进行纳米复合,并加入陶瓷粉末,制备了环氧树脂/蒙脱土复合涂层,研究了其抗冲蚀磨损性能,并应用于砂浆泵叶轮的磨损修复。

1 试验部分

1.1 原料

环氧树脂 E51 和 E44,工业级,上海树脂厂;203[#]低分子聚酰胺(PA),上海树脂厂;陶瓷粉,宜兴市永盛陶瓷有限公司生产,将陶瓷块破碎,通过不同目数的筛网,得到粒径不同的粉末;偶联剂 KH560,武汉大学化工厂;钠基蒙脱土,300 目,阳离子交换容量 1mmol/g,浙江临安市青山化工助剂厂;十六烷基三甲基溴化胺,分析纯,上海化学试剂站化工厂;丙酮,工业品,武汉化学试剂厂。

1.2 MMT 的有机化处理

取一定量的 Na-蒙脱土,于球磨罐中水磨 5h 后,静止沉析,烘干,研磨,筛分。取 50g 预处理后的蒙脱土放入 1000mL 的烧杯中,然后加入 500mL 蒸馏水和 3~5g 十六烷基三甲基溴化胺,在 80~85℃下搅拌 1h。冷却至室温,过滤,用蒸馏水洗涤,除 Br⁻至加入 0.1mol AgNO₃ 无白色沉淀生成。将产物干燥,研磨,得到有机蒙脱土(简称 OMMT),备用^[1]。

1.3 陶瓷粉末的表面处理

取质量为陶瓷粉末质量的 0.5%~1.0% 的硅烷偶联剂

[收稿日期] 2007-03-27

[作者简介] 陈名华(1975-),男,湖北咸宁人,副教授,硕士,从事复合材料的研究。

KH560,用丙酮稀释,加入陶瓷粉末充分搅拌,然后将温度升至100~120℃,烘干,待用。

1.4 环氧树脂/蒙脱土复合涂层的制备

称取一定量的 E51 和 E44 加到三口瓶中,加入有机蒙脱土,剧烈搅拌,升温至 80℃,保温搅拌 0.5h。再加入表面处理过的陶瓷粉,超声波震荡,搅拌均匀,待温度接近室温后加入一定量固化剂,混匀,抽真空除气泡,按工艺条件固化即可。

1.5 性能测试

冲蚀磨损性能:在自制的罐式浆体冲蚀磨损试验机上进行冲蚀磨损性能测试,冲蚀磨损试验机的结构示意图见图1。冲蚀试样尺寸为3mm×25mm×100mm,主轴转速400r/min,冲击角90°,磨料为石英砂,粒度为20目,加水配成浆体,磨料与水的质量比为1:3,磨损时间3h,涂层耐冲蚀磨损性能以质量冲蚀磨损率(简称磨损率)来衡量,计算公式为:

$$\Delta \varepsilon = \frac{m_1 - m_2}{A \cdot t}$$

其中, m_1 为试样试验前的质量(g), m_2 为试样试验后的质量(g), A 为试样表观冲蚀磨损面积(m^2), t 为试样冲蚀磨损时间(h)。

涂层的耐磨损性能也可用相对耐磨性 ε 来衡量,计算公式如下:

$$\varepsilon = \text{标准试样的磨损率} / \text{被测试样的磨损率}$$

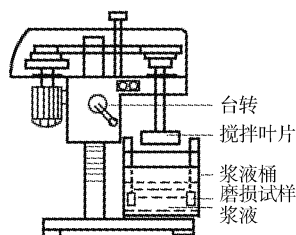


图1 磨损试验机示意图

Figure 1 Schematic diagram of wear machine

2 结果与讨论

2.1 环氧树脂涂层配比正交试验

设计正交试验,选取环氧树脂基料、固化剂、有机蒙脱土、偶联剂4个因素,每个因素取3个水平(如表1所示)来配制环氧涂层,室温固化3d后,测定其冲蚀磨损率,试验结果见表2。

表1 涂层因素水平表

Table 1 Coating factor level

水平	E44 + E51/份	PA 含量/份	OMMT 含量/份	KH560 含量/份
1	70 + 30	60	5	1
2	60 + 40	80	7	2
3	30 + 70	100	9	3

由表2可知,最优化试验方案为第9号试验,即:30份E44、70份E51、100份PA、7份OMMT、1份KH560,此时冲蚀磨损率为最小。具体来说:冲蚀磨损过程中,耐磨性与材料的强度、韧性等方面均有联系,改善材料的综合性能才能改善耐磨性。相同条件下,脆性大的材料受到冲蚀时易产生裂纹而破碎,进而脱落。在不牺牲强度的前提下提高韧性,材料破碎的倾向减小,耐冲蚀磨损性能得到改善。E44分子链长,柔顺性低,刚性大,黏度

表2 涂层基本配方试验结果

Table 2 Examination result of basic formula of coating

	A E44 + E51	B 203#PA	C OMMT	D KH560	冲蚀磨损率/ ($g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)
1	1	1	1	1	9.27
2	1	2	2	2	8.24
3	1	3	3	3	9.15
4	2	1	2	3	7.83
5	2	2	3	1	8.64
6	2	3	1	2	8.37
7	3	1	3	2	7.94
8	3	2	1	3	7.62
9	3	3	2	1	6.38
\bar{y}_{11}	8.89	8.35	8.42	8.10	
\bar{y}_{12}	8.28	8.17	7.48	8.18	
\bar{y}_{13}	7.31	7.98	8.58	8.20	
R_i	1.58	0.37	1.10	0.10	

主次因素为:A,C,B,D

最优配方为: $A_3B_3C_2D_1$

大,浸润性较差;E51则相对柔顺性高,刚性略低,但易与基体表面浸润,当30份E44和70份E51混合后,形成的胶层既有足够强度,又有一定的韧性,因而耐冲蚀磨损性能好^[2]。对环氧树脂而言,PA是一种固化增韧剂,其酰胺基团链接在环氧树脂刚性链段上,并以弹性颗粒状分布在体系内部形成网状结构,从而提高树脂韧性和抗冲击能力。它的加入量决定了树脂强度和韧性配合比,用量少则固化不完全,用量多时,残留的固化剂又会降低环氧树脂的粘接强度。蒙脱土为片层结构,由于插层处理,环氧树脂进入蒙脱土层间,固化后,片层间距被撑大,随环氧树脂含量增加而最终可能被剥离成二维的纳米片层,这些片层表面积大,具有较大强度和刚度,并与环氧树脂结合紧密。一方面,它们作为基体中增强体,阻止大分子链移动,增加环氧树脂整体强度;另一方面,它们能引发大量银纹,较好地吸收外界冲击能,终止微裂纹扩展,起到良好增韧效果,使得环氧树脂力学性能和磨损性能得到较大提高。同时,片层含量少时,增强增韧效果不明显;含量过高,片层又易聚集在一起,降低改性效果。KH560在金属基体和环氧树脂中起架桥作用,用量少,不能有效偶联树脂和金属;用量过高时,易水解,增加环氧涂层孔隙率,导致性能下降^[3-7]。

2.2 固化工艺对剪切强度和冲蚀磨损性能的影响

对上述最优配方的环氧树脂/蒙脱土涂层,分别在室温(25℃、72h)、中温(100℃、2h)、高温(150℃、2h)和阶梯升温(先25℃、1h,再100℃、1h,最后120℃、1h)条件下固化,得到的涂层性能见表3。由表3可知,在中温条件下固化,涂层性能要好于室温和高温,而采用阶梯升温固化,涂层性能最好。可能是因为环氧树脂/蒙脱土涂层固化时存在层内固化和层外固化,当层间环氧与层外环氧固化速度相等时,粘土层间距最大,涂层综合性能最好。温度低时固化剂向层间迁移速度太慢,层间固化剂浓度低于层外固化剂浓度,层间环氧固化速度低于层外环氧固化速度;温度高时则有利于层外环氧固化,使得层外环氧固化速度高于层间环氧固化速度,这都会导致粘土层间距不大。而在阶梯升温条件下固化,会使固化剂扩散均匀,两者固化速度相近,

且固化完全,性能最好^[8]。

表3 固化工艺对涂层冲蚀磨损性能的影响

Table 3 Effect of cure technics on erosion wear of coating

固化工艺	室温固化	中温固化	高温固化	阶梯升温固化
冲蚀磨损率/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	6.38	5.81	6.11	5.47

2.3 陶瓷粉含量和粒径对涂层冲蚀磨损性能的影响

分别将10目、20目、40目的陶瓷粉以一定含量(相对于环氧树脂基料的质量分数)填充到环氧树脂/蒙脱土涂层体系中,阶梯升温固化,测量耐磨性,结果如表4所示。

表4 不同粒径陶瓷粉含量对涂层冲蚀磨损性能的影响

Table 4 Effect of different granularity

ceramic powder amount on erosion wear of coating

粒径	涂层冲蚀磨损率/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)					
	0	10%	20%	30%	40%	50%
10目陶瓷粉	5.47	4.88	3.67	2.84	3.95	6.32
20目陶瓷粉	5.47	4.96	3.81	2.98	4.17	6.44
40目陶瓷粉	5.47	5.12	3.94	3.37	4.29	6.57

由表4看出:陶瓷粉加入后,耐磨性都有一定程度提高,随其含量增加,冲蚀磨损率先减后增。10目、20目、40目的陶瓷粉均在含量30%处时,涂层的耐磨性最佳,并且随陶瓷粉粒度变大,冲蚀磨损率减小。这说明陶瓷粉与蒙脱土具有协同效应,且陶瓷粉粒度大时,涂层的耐磨性更好。这是因为加入有机蒙脱土后形成的纳米环氧复合涂层可以看成是一个强度很好的新基体,加入的陶瓷粉起到耐磨作用,当其含量低时,承受磨损的支点少,涂层得不到有效保护;用量过多时,涂层对陶瓷粉粘接不充分,产生内部缺陷,在摩擦力作用下,一些陶瓷粉会脱落,导致涂层耐磨性下降。同时,在一定粒度范围内,当陶瓷粉粒度较小时,磨粒直接作用在涂层表面,选择性磨损现象出现少。粒度增大,选择性磨损现象多,填料的耐磨作用充分体现,涂层耐磨性好^[9-10]。

表5为不同粒度的陶瓷粉以30%含量(相对于环氧树脂基料的质量分数)填充到环氧树脂/蒙脱土涂层体系中,阶梯升温固化后,测量的耐磨性结果。

表5 混合陶瓷粉对涂层耐磨性影响

Table 5 Effect of ceramic powder mixture on erosion wear of coating

混合陶瓷粉	10目:15%	10目:15%	20目:15%	10目:10%
	20目:15%	40目:15%	40目:15%	20目:10%
冲蚀磨损率/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	2.29	2.37	2.86	2.11

由表5看出:在同一含量下,不同粒度的陶瓷粉混合在一起后,耐磨效果要优于单一粒度的陶瓷粉。这可能因为大小不同的陶瓷粉混合在一起,使得涂层结构更致密,对环氧树脂基体保护作用加强,耐磨性提高。

2.4 环氧树脂/蒙脱土涂层冲蚀磨损特性综合分析

对基体Q235钢在相同条件下进行冲蚀磨损试验,测得其磨损率为 $16.38\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。表6为3种材料在同一条件下的磨损率。由表6看出:在相同条件下,环氧树脂/蒙脱土涂层的耐冲蚀磨损性能要优于Q235钢,加入陶瓷粉后,涂层的耐冲蚀磨损性能进一步提高,最佳配方下,其相对耐磨性为Q235钢的7.76倍。

表6 不同材料的冲蚀磨损率

Table 6 The rate of erosion wear of different materials

材料	环氧/蒙脱土	环氧/蒙脱土+30%陶瓷粉	Q235钢
磨损率/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	5.47	2.11	16.38
相对耐磨性	2.99	7.76	1.0

3 应用

利用环氧/蒙脱土+30%混合陶瓷粉复合涂层,对严重磨损砂浆泵叶轮进行了修复,具体修复工艺如下:损伤处清洗→烘烤→喷砂→丙酮擦洗→配制涂层→涂抹→固化。调试安装后,工作效率由磨损时的60%提高到95%。3个月后拆卸检查,发现叶轮修复处的磨损量约为其它类似部位的磨损量的1/2(相同面积下),并还能正常运行2个月,提高寿命1.7倍。而修复费用经估算,仅为新叶轮的15%左右。因此,采用环氧树脂复合涂层,可有效提高砂浆泵叶轮的使用寿命,经济效益显著。

4 结论

1) E44、E51、PA、OMMT、KH560的比例为30:70:100:7:1时,环氧涂层耐冲蚀磨损性能最好。

2) 环氧树脂/蒙脱土涂层体系采用阶梯固化方式时(先 25°C 、1h,再 100°C 、1h,最后 120°C 、1h),耐冲蚀磨损性能最佳。

3) 在环氧树脂/蒙脱土涂层体系中,加入不同粒度的陶瓷粉能进一步提高涂层的耐冲蚀磨损性能,且最佳用量是10目、20目、40目陶瓷粉的用量均为10%(相对于环氧树脂基料的质量分数),此时,材料的相对耐磨性为Q235钢的7.76倍。

4) 采用该环氧树脂/蒙脱土涂层修复磨损砂浆泵叶轮,可有效提高叶轮的使用寿命,降低维修成本。

[参考文献]

- [1] 陈名华,姚武文,汪定江. 有机蒙脱土/环氧树脂胶的研究[J]. 粘接,2004,25(3):16-19
- [2] 李赫亮,刘敬福,李智超. KH-550对环氧胶涂层机械性能的影响[J]. 表面技术,2002,31(6):53-54
- [3] 潘国顺,曲敬信,邵荷生. 耐磨环氧胶涂层的浆体冲蚀磨损特性研究[J]. 表面技术,1997,26(2):23-24
- [4] 杨军,宋洁,李天虎. 聚氨酯改性环氧树脂耐磨涂料的研制[J]. 电镀与涂饰,2006,25(6):27-30
- [5] 薛维华,刘长海,李智超. 环氧胶涂层冲蚀磨损特性研究[J]. 中国胶粘剂,2005,14(4):24-26
- [6] 宫伟,李智超. 涂层磨损测试方法与环氧树脂耐蚀性能研究[J]. 热固性树脂,2005,20(1):50-52
- [7] 刘敬福,李赫亮,李荣德. 环氧树脂/纳米蒙脱土胶粘剂纳米有机化研究[J]. 中国胶粘剂,2005,14(12):8-10
- [8] 吕建坤,柯毓才,漆宗能,等. 插层聚合制备粘土/环氧树脂纳米复合材料过程中粘土剥离行为的研究[J]. 高分子学报,2000,(1):85-89
- [9] 应鹏展,应放天,贾良菊. 环氧胶涂层在粉煤机风磨磨上的应用[J]. 煤矿机械,2003,24(10):99-101
- [10] 黄智文. 谈谈磨粒磨损[J]. 表面技术,2000,29(4):34-36