

铁质金属杂质对酚醛树脂基复合材料耐热性能的影响研究

高守臻 魏化震 李大勇 袁 君 罗长宏 王晓立

(山东非金属材料研究所, 济南 250031)

摘要 采用氧-乙炔烧蚀试验方法研究了掺杂铸钢砂杂质的酚醛树脂/高硅氧布复合材料的烧蚀性能,并利用 X 射线对烧蚀前的试样进行了无损检测。结果表明,X 射线透射可以明显地显示铸钢砂的透射影像。复合材料的烧蚀率随着杂质粒径的减小而增加,随着杂质含量的减少而减小;掺有杂质的试样烧蚀后出现分层。

关键词 酚醛树脂 高硅氧布 铸钢砂 烧蚀率 X 射线 无损检测

酚醛树脂(PF)基复合材料的耐烧蚀性能良好,尤其具有突出的瞬时耐高温烧蚀性能和较好的耐冲刷性能,因而长期作为弹箭武器用耐高温抗烧蚀复合材料^[1-4]。随着近代高新技术的发展,复合材料的缺陷大为减少,然而还无法避免复合材料中金属杂质的混入。金属杂质会增大复合材料的烧蚀率,使复合材料的耐热性能劣化。前人的研究表明,金属杂质的数量及分布形态是衡量复合材料质量的重要指标之一,但是目前尚未见有关金属杂质对复合材料烧蚀性能影响的相关报道。笔者现结合烧蚀试验来探讨铁质金属杂质的含量及其分布形态对复合材料烧蚀性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PF: S-157, 棕黄色粘稠液体, 自制;
助剂 A: 自制;
助剂 B: 自制;
铸钢砂: GP 18, 山东开泰金属磨料厂;
高硅氧玻璃纤维(简称为 GF) 布: GGY12 × 12-100, 陕西华特玻璃纤维有限公司。

1.2 主要仪器、设备

液压机: Y/TD71-45A 型, 天津市天锻瑞丰压力机制造有限公司;
X 射线探伤机: XXH-2005 型, 丹东新力探伤机厂;

氧-乙炔烧蚀机: YS-IV 型, 中国航天科技集团四十四研究所。

1.3 试样制备

将 PF、助剂 A、助剂 B 按一定比例配制成胶液。将树脂胶液与 GF 布按配比混合、浸渍均匀后铺展, 室温晾置 1 d 以上, 将浸渍 GF 布剪成 30 mm 的布片, 铺层后模压成烧蚀试样, 具体制备过程如图 1 所示。

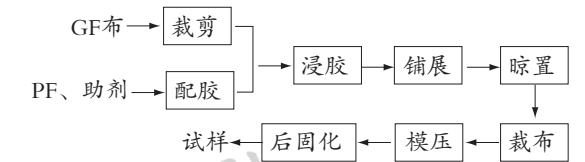


图 1 试样制备工艺流程图

在试样制备过程中, 需要把铸钢砂预置在一定的位 置, 加料时如图 2 所示, 分成两部分加料, 确保铸钢砂基本在烧蚀试样的一定位置。

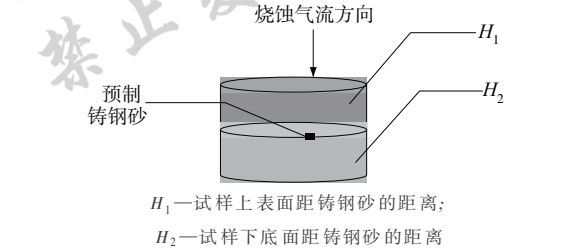


图 2 在试样中预置铸钢砂位置示意图

1.4 性能测试

(1) 氧-乙炔烧蚀试验 按照 GJB 323A-1996 测试线烧蚀率、质量烧蚀率, 其烧蚀条件为: 喷嘴直径 2 mm, 烧蚀距离 10 mm, 烧蚀时间 20 s, 试样尺寸为 30 mm × 10 mm;

(2) 烧蚀形貌分析 用数码相机拍摄掺杂铸钢砂试样的表现烧蚀形貌;

(3) 无损检测影像分析 利用垂直透射法和平行透射法进行 X 射线探伤, 立体地识别掺杂铸钢砂复合材料的缺陷。

2 结果与讨论

2.1 掺杂铸钢砂的 PF/GF 布复合材料的烧蚀性能

(1) 掺杂不同粒径的铸钢砂

图 3 为铸钢砂质量分数 0.3% 及其位于 $H_1/H_2 = 1.5 \text{ mm}/8.5 \text{ mm}$ 时, 掺杂不同粒径铸钢砂的 PF/GF 布复合材料的氧-乙炔烧蚀试验测试结果。

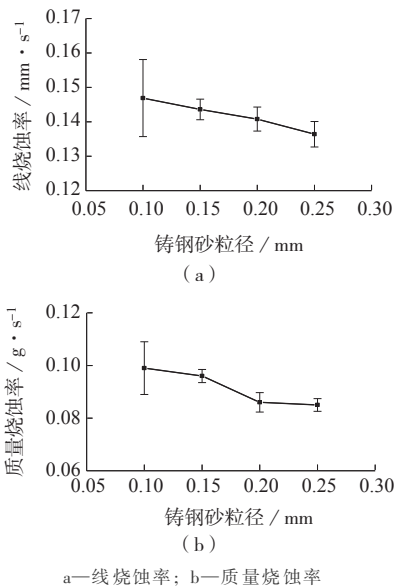


图3 掺杂不同粒径铸钢砂的PF/GF布复合材料的烧蚀率及离散系数

由图3可以看出,随着铸钢砂粒径的增大,复合材料的线烧蚀率和质量烧蚀率都有减小的趋势。当掺杂铸钢砂粒径为0.15~0.25 mm时,复合材料线烧蚀率和质量烧蚀率的离散系数较小;掺杂铸钢砂粒径为0.10 mm时,复合材料线烧蚀率和质量烧蚀率的离散系数都较大。从图3还可看出,铸钢砂粒径越小,对复合材料烧蚀率的影响越大。这是由于烧蚀时气流对金属杂质的强烈冲刷,金属杂质被熔化飞溅,从而增加了试样的烧蚀率;在相同的含量下,金属杂质粒径越小,在烧蚀试样中越分散,对复合材料烧蚀率的影响也越大。

(2) 掺杂不同含量的铸钢砂

图4为铸钢砂粒径为0.20 mm及其位于 $H_1/H_2 = 1.5 \text{ mm}/8.5 \text{ mm}$ 时,掺杂不同含量铸钢砂的PF/GF布复合材料的氧-乙炔烧蚀试验测试结果。

由图4可以看出,掺杂铸钢砂对复合材料的烧蚀率有影响,并且随着铸钢砂含量的增加,复合材料的线烧蚀率和质量烧蚀率都有增加的趋势。由两种烧蚀率的离散性可以看出,掺杂不同含量的铸钢砂后复合材料质量烧蚀率的离散系数较小,线烧蚀率的离散系数较大。这是由于金属杂质越多,试样烧蚀时熔化飞溅物越多,烧蚀后的凹坑越大,复合材料的烧蚀率亦越大。

(3) 掺杂不同含量及不同粒径的铸钢砂

图5为铸钢砂在试样中位于 $H_1/H_2 = 1.5 \text{ mm}/8.5 \text{ mm}$ 时,掺杂不同含量和不同粒径铸钢砂的PF/GF布复合材料的氧-乙炔烧蚀试验测试结果。

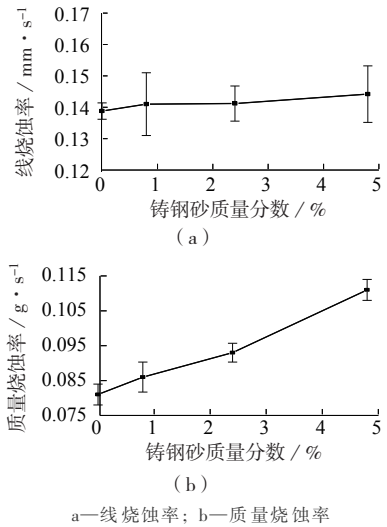


图4 掺杂不同含量铸钢砂的PF/GF布复合材料的烧蚀率及

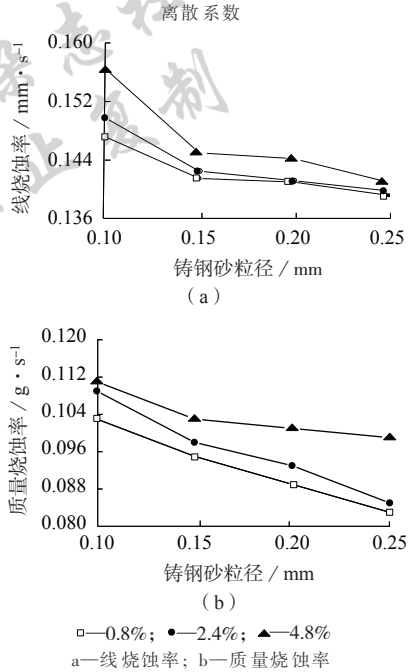


图5 掺杂不同含量、不同粒径铸钢砂的PF/GF布复合材料的烧蚀率

GF布复合材料的氧-乙炔烧蚀试验测试结果。

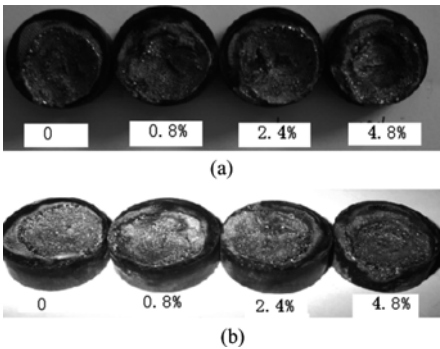
由图5可以看出,掺杂铸钢砂后复合材料的质量烧蚀率和线烧蚀率都呈规律性变化,即随着铸钢砂粒径的增大,其线烧蚀率和质量烧蚀率都有减小的趋势;铸钢砂含量越高,复合材料的线烧蚀率和质量烧蚀率越大,与图3、图4显示的数据分布规律一致。

2.2 掺杂铸钢砂的PF/GF布复合材料的烧蚀形貌

(1) 掺杂不同含量铸钢砂

铸钢砂粒径为0.20 mm、在试样中位于 H_1/H_2

= 1.5 mm/8.5 mm 时, 掺杂铸钢砂含量的变化对 PF/GF 布复合材料的烧蚀形貌影响较大。图 6 为掺杂不同含量铸钢砂的 PF/GF 布复合材料烧蚀后的数码照片。

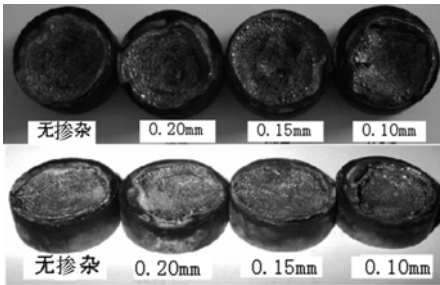


a—垂直于烧蚀面；b—与烧蚀面成 45°角
图 6 掺杂不同含量铸钢砂的 PF/GF 布复合材料
试样烧蚀后的照片

从图 6 可以清晰地看出, 未添加铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样, 表面烧蚀均匀, 无明显凹坑, 并且烧蚀表面无分层现象; 而掺杂铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样, 烧蚀表面均匀度降低, 表面凹坑较多, 烧蚀部分逐渐出现分层现象, 并且随着铸钢砂含量的增加, 烧蚀分层越来越明显。

(2) 掺杂不同粒径铸钢砂

铸钢砂的质量分数为 0.3%、在试样中位于 $H_1/H_2 = 1.5\text{ mm}/8.5\text{ mm}$ 时, 铸钢砂粒径的变化对 PF/GF 布复合材料的烧蚀形貌也有很大的影响。图 7 为掺杂不同粒径铸钢砂的 PF/GF 布复合材料烧蚀后的照片。



a—垂直于烧蚀面；b—与烧蚀面成 45°角
图 7 掺杂不同粒径铸钢砂的 PF/GF 布复合材料
试样烧蚀后的照片

从图 7 可以清晰地看出, 未添加铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样, 表面烧蚀均匀, 无明显凹坑, 并且烧蚀表面无分层现象; 而掺杂铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样, 烧蚀表面均匀度降低, 表面凹坑较多, 烧蚀部分逐渐出现分层现象; 在铸钢砂含量不变的情况下, 铸钢砂的粒径越小, 烧蚀表面均匀度越

低, 分层也越明显。

2.3 掺杂铸钢砂的 PF/GF 布复合材料的 X 射线透射图像

(1) 掺杂不同粒径铸钢砂

图 8 为铸钢砂的质量分数为 0.3%、其粒径不同, 在试样中位于 $H_1/H_2 = 1.5\text{ mm}/8.5\text{ mm}$ 时 PF/GF 布复合材料的 X 射线透射图像。从图 8 可以看出, 铸钢砂在 X 射线透射图像中呈亮斑, 颗粒的大小在图像中可以清晰地显示出来, 颗粒越大, 亮度越高, 并且在 X 射线透射图像中可以清晰地显示金属杂质的位置。

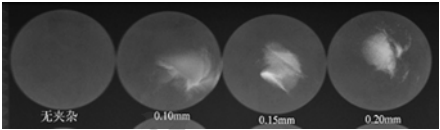


图 8 掺杂不同粒径铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样
烧蚀前 X 射线透射图像

(2) 掺杂不同含量铸钢砂

图 9 为铸钢砂粒径为 0.20 mm, 其含量不同, 在试样中位于 $H_1/H_2 = 1.5\text{ mm}/8.5\text{ mm}$ 时 PF/GF 布复合材料的 X 射线透射图像。

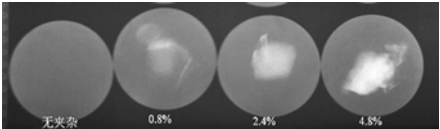


图 9 掺杂不同含量铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样
烧蚀前 X 射线透射图像

由图 9 可以看出, 未掺杂铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样无亮斑, 而掺杂铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样呈亮斑, 并且在铸钢砂粒径不变时, 其含量越高, 亮斑越明显。

3 结论

(1) 铸钢砂的粒径或含量的变化对 PF/GF 布复合材料的烧蚀率有影响。随着铸钢砂粒径的增大或含量的减小, PF/GF 布复合材料的烧蚀率都有减小的趋势。

(2) 掺杂质量分数为 0.3% 以上铸钢砂时, PF/GF 布复合材料烧蚀后, 烧蚀表面均匀度降低, 凹坑较多, 且有分层现象, 并且随着铸钢砂含量的增加, 烧蚀分层越来越明显。

(3) 未掺杂铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样无亮斑, 掺杂铸钢砂的 PF/GF 布复合材料试样呈亮斑, 颗粒的大小和位置在 X 射线图像上可以清晰地显示出来; 在铸钢砂粒径不变时, 其含量越高, 亮斑

越明显;在铸钢砂含量不变时,其粒径越大,亮度越高。

参 考 文 献

[1] 白侠,李辅安,李崇俊,等.耐烧蚀复合材料用改性酚醛树脂研究进展[J].玻璃钢/复合材料,2006(6):50-53.

[2] 魏化震,高永忠,李乃春,等.抗烧蚀复合材料用新型烧蚀树脂的研究[J].工程塑料应用,2000,28(5):4-7.
[3] 魏化震,王成国,王海庆.新型抗烧蚀酚醛树脂的研究[J].材料工程,2002(7):36-39.
[4] 魏化震,王成国,王海庆.高交联密度酚醛树脂的合成[J].塑料工业,2003,31(2):16-18.

EFFECTS OF CAST STEEL SAND ON THE ABLATIVE PROPERTY OF PHENOLIC-MATRIX COMPOSITE

Gao Shouzhen, Wei Huazhen, Li Dayong, Yuan Jun, Luo Changhong, Wang Xiaoli
(Shandong Institute of Non-materials, Jinan 250031, China)

ABSTRACT Phenolic resin/high-silica glass fabric composite adulterated with cast steel sand was studied by oxygen acetylene ablation test and X-ray non-destructive test. The results were as follows, X-ray could clearly show the cast steel sand of the composite, the ablative rate of the composite increased with the diameter of the sand decreasing and deceased with the content of the sand decreasing, the composite delaminated after ablation.

KEYWORDS phenolic resin/high-silica glass fabric, cast steel sand, ablation rate, X-ray, non-destructive test

2009 年《塑料》征订启事

《塑料》杂志创刊于 1972 年,是一本国内外公开发行的专业技术期刊,《塑料》杂志是全国中文核心期刊,中国科技论文统计源核心期刊,中国科学引文数据库来源期刊,美国化学文摘(CA)收录期刊。

栏目设置:合成与制备、结构与性能、原料与助剂、改性与合金、成型加工与理论、机械与设备、机头与模具、计算机辅助设计与数据库、标准与测试、发展与动态、国内快讯、国际市场传真、期刊文摘、最新专利及广告发布等。

涉及领域:化工、轻工、机械、农业、建材、包装、汽车、电

子、医学、军工、信息等产业。

《塑料》杂志为双月刊,逢双月 18 日出版,大 16 开本。国内订户请向全国各地邮局订阅,邮发代号 82-268。漏订的读者可与本编辑部联系补订。国外订户请与中国国际图书贸易总公司(中国国际书店)北京 399 信箱联系订阅,国外代号 BM909。全年 6 期订价 108 元。

地址:北京市西城区旧鼓楼大街 47 号《塑料》编辑部,邮编:100009,电话:010-84022529 84035979,传真:010-84022529 64057552, E-mail: plasticsbj@yahoo.com.cn, plastics@163bj.com, 网址:www.slyjs.com.cn

上海材料研究所招聘高级研发人员

上海材料研究所已有 60 余年历史。原属国家从事材料技术开发的综合性部属研究机构,现已成为既有自主创新能力又有高新技术产品的面向国内外市场的高新科技企业(详见 www.srim.com.cn)。

为进一步提升技术创新和自主研发能力,增强本所核心竞争力,现向社会招聘若干名高级研发人员,欢迎符合条件者应聘。

招 聘 岗 位 及 要 求

序号	招聘岗位	人数	专业要求	学历	性别	年龄	薪酬(万元)	岗 位 要 求	备 注
1	工程塑料及功能材料高级研发人员	1	高分子材料及相关专业	硕士以上	男	40岁以下	10~15	1. 高分子材料及相关专业毕业,高级以上技术职称。 2. 有 10 年以上从事功能高分子材料、工程塑料研发或生产工作经历,作为主要负责人承担过省部级以上重大科研、生产项目,并获得相关奖项。 3. 有较强的组织管理能力,能够组建并带领团队开展工作。 4. 担任研究所技术岗位或中层以上技术管理岗位或带项目者优先考虑。	外地来沪者可提供二室一厅廉租住房,3 年后胜任本岗位工作并根据所创效益可给予相应购房补贴
2	功能涂料研发工程师	1	高分子材料及相关专业	本科以上	男	40岁以下	10	1. 高分子材料及相关专业毕业,高级以上技术职称。 2. 有 8 年以上从事功能涂料技术及研发工作经历,独立承担过省部级以上重大科研、生产项目。 3. 能独立进行市场前景良好的功能涂料新产品的研发、生产及管理,具有开拓并驾驭市场的能力。 4. 有在涂料研究所或涂料厂工作经历或带项目者优先考虑。	外地来沪者可提供二室一厅廉租住房,3 年后胜任本岗位工作可给予购房补贴