

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.03.007

膨胀型阻燃剂 PEPA/MPP 阻燃 LGFPP 性能研究^{*}

黄涛^{1,2}, 何敏¹, 刘渝³, 张丽^{1,2}, 田敏^{1,2}, 张峰³

(1. 贵州大学材料与冶金学院, 贵阳 550025; 2. 国家复合改性聚合物材料工程技术研究中心, 贵阳 550014;

3. 贵州凯科特材料有限公司, 贵阳 550014)

摘要: 将季戊四醇磷酸酯 (PEPA) 和三聚氰胺聚磷酸盐 (MPP) 复配成一种膨胀型阻燃剂 (IFR), 用于对长玻纤增强聚丙烯 (LGFPP) 进行阻燃。采用极限氧指数测试、垂直燃烧测试、扫描电子显微镜观察、热重分析、力学性能测试等方法探讨了该 IFR 组成对 LGFPP 的阻燃性能、热稳定性能以及力学性能的影响。结果表明, IFR 的总添加量为 20%, 当 PEPA 与 MPP 质量比为 11:9 时, 复配阻燃效果最佳, 阻燃 LGFPP 的极限氧指数值为 26.1%, UL-94 燃烧等级达到 V-0 级; 生成的炭层致密、连续性好且稳定; 阻燃 LGFPP 表现出较好的热稳定性与力学性能。

关键词: 长玻纤增强聚丙烯; 季戊四醇磷酸酯; 三聚氰胺聚磷酸盐; 阻燃性能; 热稳定性能

中图分类号: TQ322.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)03-0035-05

Study on Intumescent PEPA/MPP Flame Retardant on Properties of LGFPP

Huang Tao^{1,2}, He Min¹, Liu Yu³, Zhang Li^{1,2}, Tian Min^{1,2}, Zhang Feng³

(1. College of Materials Science and Metallurgy Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. National Engineering Research Center for Compounding and Modification of Polymer Materials, Guiyang 550014, China;

3. Guizhou Kumkuat Materials Co. Ltd., Guiyang 550014, China)

Abstract: Intumescent flame retardant (IFR) was prepared by using melamine polyphosphate (MPP) and 1-oxo-4-hydroxymethyl-2,6,7-trioxo-1-phospha-bicyclo[2,2,2]octane (PEPA), which was used for flame-retardant long-glass-fiber-reinforced polypropylene (LGFPP) systems. Effects of IFR component on the thermal stability, flame retardancy and mechanical properties of LGFPP / IFR samples were investigated by the limited oxygen index and UL 94 tests, scanning electron microscope, thermal gravimetry and mechanical tests. The results show that when the content of IFR is 20%, the mass ratio of PEPA and MPP was 3:2, the flame retardancy of LGFPP / IFR is the best, the LOI value reaches 26.1%, and the vertical burning test reaches UL-94 V-0 rating; the more compact and stable carbon layer is formed during the combustion process. Also, LGFPP / IFR system shows good thermal stability and mechanical properties.

Keywords: LGFPP; PEPA; MPP; flame retardancy; thermal stability

长玻纤增强聚丙烯 (LGFPP) 复合材料具有力学性能优良、尺寸稳定性好、耐高温、耐疲劳性能优异等优点, 在汽车、航空等工业领域得到广泛应用^[1-5]。但是 LGFPP 存在“灯芯效应”, 极限氧指数 (LOI) 值很低, 是一种容易燃烧的材料, 并且燃烧过程发热量大, 还会释放大量的不饱和气体, 会进一步促进燃烧。LGFPP 阻燃性能的不足限制了其在某些高端领域的应用, 所以对 LGFPP 进行阻燃改性具有重要的意义。

目前用于 LGFPP 阻燃改性的阻燃剂多为金属氢氧化物 (氢氧化铝、氢氧化镁) 和卤素阻燃剂。其中金属氢氧化物的阻燃效果较好, 但由于较大的添加量, 会严重降低阻燃 LGFPP 的力学性能^[6]; 卤

素阻燃剂的阻燃效果非常不错, 但从环保角度讲, 其燃烧时放出有毒和腐蚀性气体等, 会造成二次污染^[7-8]。膨胀型阻燃剂 (IFR) 作为一种新型“绿色”阻燃剂, 具有独特的性能和应用前景而成为研究开发的热点。最典型的 IFR 体系由聚磷酸铵 (酸源)、三聚氰胺 (气源)、季戊四醇 (碳源) 按一定比例混合组成, 但也存在 IFR 三个组分之间的相容性较差及 IFR 与 LGFPP 之间相容性较差的问题, 这会降低阻

^{*} 贵州省科学技术基金项目 (黔科合 J 字 [2013]2122 号), 贵州省科技计划项目 (黔科合重大专项字 [20116023]), 贵阳市白云区科技计划项目 (白科合同 [2013]30 号)

联系人: 何敏, 副教授, 主要从事阻燃材料研究

收稿日期: 2015-01-08

燃材料的力学性能^[9]。

笔者采用季戊四醇磷酸酯 (PEPA) 和三聚氰胺聚磷酸盐 (MPP) 复配组成的新型 IFR, 其中 PEPA 一般由三氯氧磷和季戊四醇通过合成反应制得, 集碳源和酸源为一体, 目前在阻燃 ABS/ 尼龙 (PA) 6 合金、环氧树脂和乙烯-乙酸乙烯共聚物等改性中已得到应用, 取得了不错的阻燃效果^[10-12]; MPP 在膨胀阻燃体系中作为气源和酸源, 已成熟运用于阻燃长玻纤增强 PA^[13]。由于单独使用 PEPA 或者 MPP 无法获得理想的阻燃效果, 所以需要将 PEPA 与 MPP 结合起来。到目前为止, 该复配体系应用在阻燃 LGFPP 中还未见到相关研究报道。

1 实验部分

1.1 原材料

聚丙烯 (PP): 熔体流动速率为 100 g/10 min, 韩国 SK 公司;

长玻璃纤维 (LGF): ECT4301H, 直径 17 μm , 重庆国际复合材料股份有限公司;

LGFPP 母粒: 自制;

PEPA: 江苏维科特瑞化工有限公司;

MPP: 深圳华研阻燃新材料有限公司。

1.2 仪器及设备

双螺杆挤出机: CTE35 型, 科倍隆科亚机械制造有限公司;

注塑机: CJ80MZ2 NC II 型, 震德塑料机械厂;

氧指数仪: JF-3 型, 南京江宁区分析仪器厂;

水平-垂直燃烧试验仪: SH5300 型, 广州信禾电子设备有限公司;

热重 (TG) 分析仪: Q50 型, 美国 TA 公司;

万能试验机: WdW2 10C 型, 上海华龙测试仪器有限公司;

冲击试验机: WTD-0.5 型, 江都市新真威试验机械有限公司;

扫描电子显微镜 (SEM): JSM-6490LV 型, 日本电子株式会社;

数字鼓风干燥箱: GZX-9240 ME 型, 上海博迅实业有限公司。

1.3 试样制备

将 PEPA、MPP 分别与 PP 放在 80℃ 的干燥箱里 5 h, 均匀混合后通过双螺杆挤出机熔融挤出、造粒、冷却并干燥; 把 LGF 通过挤出机特殊的模具, 用熔融 PP 浸渍、切粒、冷却, 得到 LGFPP 母粒 (玻纤含量 50%); 使 PEPA 与 MPP 组成的 IFR 总量为体

系质量分数的 20%, IFR 与 LGFPP 按表 1 混合, 并注塑成标准样条进行测试。

表 1 阻燃 LGFPP 的配方 %

试样编号	PP	LGF	PEPA	MPP
0 [#]	80	20	0	0
1 [#]	60	20	10	10
2 [#]	60	20	11	9
3 [#]	60	20	12	8
4 [#]	60	20	13	7
5 [#]	60	20	14	6

1.4 性能测试

LOI 按 GB/T 2406.2-2009 测试;

垂直燃烧性能按 GB/T 2408-2008 测试;

TG 分析测试: 取待测试样约 8 mg, 在氮气氛围下, 以 20℃/min 的升温速率升温至 800℃;

拉伸性能按 GB/T 1040.1-2006 测试, 拉伸速率为 50 mm/min;

弯曲性能按 GB/T 9341-2008 测试, 弯曲速率为 2 mm/min;

样品形貌采用 SEM 观察, 样品表面经过镀金处理。

2 结果与讨论

2.1 IFR 组成对 LGFPP 燃烧性能的影响

表 2 示出不同组成 IFR 对 LGFPP 阻燃性能的影响。

表 2 不同组成 IFR 对 LGFPP 阻燃性能的影响

试样编号	LOI/%	UL-94 燃烧等级
0 [#]	19.3	无
1 [#]	25.9	V-0
2 [#]	26.1	V-0
3 [#]	25.4	V-0
4 [#]	23.6	V-1
5 [#]	23.0	无

由表 2 可看出, 随着 MPP 含量的增加, LOI 值先增大后减小; 当 PEPA 与 MPP 的质量比为 11:9 时, IFR 对 LGFPP 的阻燃效果最佳, 材料的 LOI 值为 26.1%, UL 94 燃烧等级达到 V-0 级。这是因为 PEPA 含有季戊四醇作为骨架, 具有优良的成炭性; 由于 MPP 和 PEPA 中都含有磷酸酯, 酸源和碳源分解生成较大浓度的聚偏磷酸和致密的炭层覆盖在材料表面, 起到阻碍聚合物与热源之间的热传导以及氧气扩散的作用; 并且 MPP 能够分解释放不可燃气体三聚氰胺, 有效稀释了材料周围氧气的浓度, 起到气相阻燃的效果^[14]。当 MPP 含量很低时, 尽管材料中炭量增加, 但是可能缺乏足够的气源和酸源使材料膨胀成炭^[15]; 当 MPP 含量较高时, 由于玻纤容易破坏炭层的连续性, 导致形成的炭层相对比

较脆弱,当 MPP 产生较多的气体时,可能会影响炭层结构。所以,确定 PEPA 与 MPP 的最优质量比为 11:9。

2.2 IFR 组成对阻燃 LGFPP 热稳定性的影响

图 1 为 LGFPP 及阻燃 LGFPP 复合材料的 TG 曲线,相关热性能数据见表 3。由表 3 可知,在 LGFPP 中加入 IFR,体系的起始分解温度从 404℃ 降到 390℃ 左右。这是由于一方面阻燃剂 PEPA 与 MPP 早期脱水、脱氨气等热降解所导致,反应机理见图 2、图 3(MPP 受热分解成三聚氰胺磷酸盐 MP);另外一方面可能是 PEPA 与 MPP 热分解过程中形成的含磷酸加快了聚合物的降解。

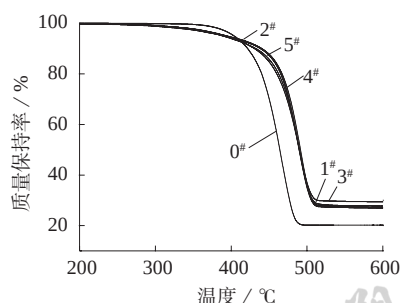


图 1 LGFPP 及阻燃 LGFPP 的 TG 曲线

表 3 LGFPP 及阻燃 LGFPP 的热性能数据

试样编号	$T_{5\%}^{(1)}$	$T_{\max}^{(2)}$
0 [#]	404.00	465.26
1 [#]	392.43	488.54
2 [#]	394.22	489.35
3 [#]	394.45	490.14
4 [#]	391.42	491.14
5 [#]	388.20	489.94

注: 1) $T_{5\%}$ 表示质量损失 5% 时所对应的温度; 2) $T_{\max}$ 表示最大热失重速率时所对应的温度。

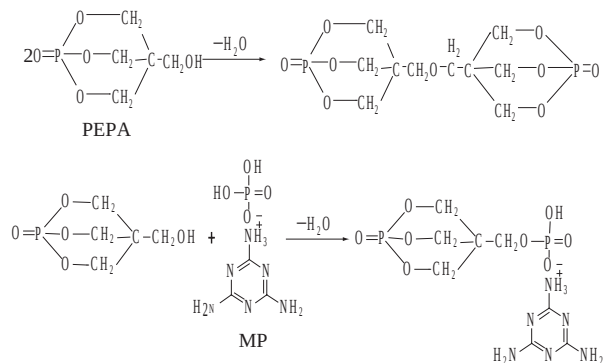


图 2 PEPA 及 PEPA 与 MP 发生脱水反应

而体系的最大热分解温度从 465℃ 提高到 490℃ 左右,可能的原因是: LGFPP 被氧化成过氧化物以后,并没有发生分子间的脱水,而是与阻燃剂

中的一 OH 或者焦磷酸盐类化合物的降解中间产物 ($O=P-O-$) 反应生成了含有 $P-O-C$ 类基团的化合物^[16]。因此,阻燃 LGFPP 相对纯 LGFPP 来说具有更高的热稳定性。

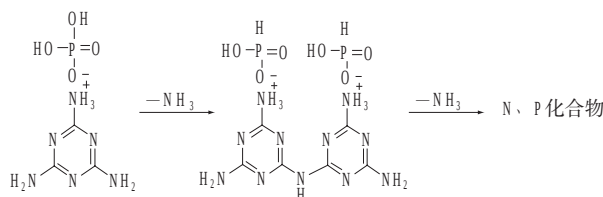
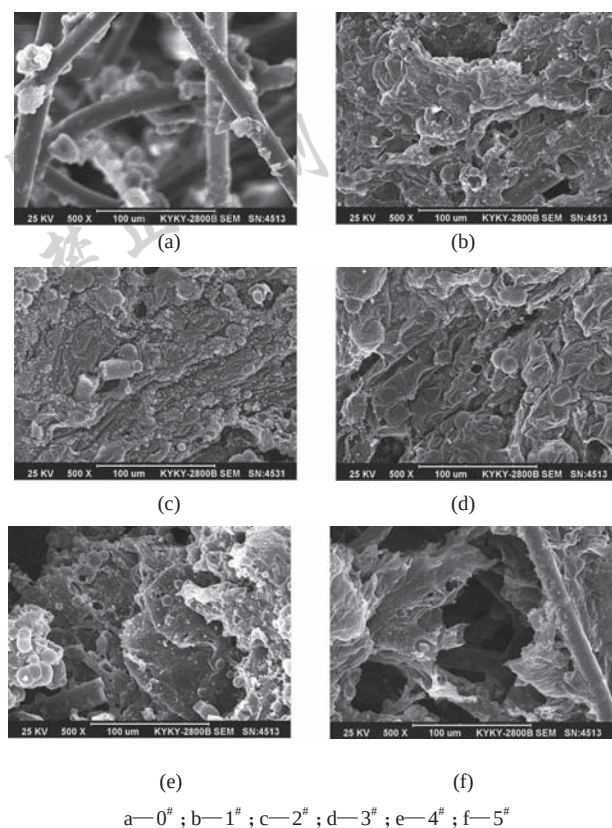


图 3 MP 发生脱氨气反应

2.3 IFR 组成对阻燃 LGFPP 残炭形貌的影响

图 4 为 LGFPP 及阻燃 LGFPP 在 400℃ 燃烧后残余物的 SEM 照片。



a—0[#]; b—1[#]; c—2[#]; d—3[#]; e—4[#]; f—5[#]

图 4 LGFPP 及阻燃 LGFPP 的 SEM 照片

从图 4 可以看出,当不添加阻燃剂时, LGFPP 燃烧后除了极少的残余物,几乎都是光滑的玻纤。当 PEPA 与 MPP 质量比为 14:6 时,成炭过程中由于缺乏足够的气源,无法形成膨胀致密的炭层;当 MPP 的含量较多时,形成的炭层表面不致密,出现许多孔洞。这是由于玻纤容易破坏炭层的连续性,导致形成的炭层相对比较脆弱, MPP 产生较多的气体在高压下对炭层冲击所致,从而会影响炭层结构。

当 PEPA 与 MPP 质量比为 11 : 9 时,阻燃 LGFPP 燃烧后的炭层致密连续性更好,且稳定性更高。能够更好起到隔热隔氧的效果,从而阻燃效果也最佳,与表 2 的阻燃性能结果相一致。

2.4 IRF 组成对阻燃 LGFPP 力学性能的影响

表 4 示出 LGFPP 和阻燃 LGFPP 的力学性能。

表 4 LGFPP 及阻燃 LGFPP 的力学性能

试样编号	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa
0 [#]	102.4	137.8
1 [#]	98.7	133.1
2 [#]	99.6	134.3
3 [#]	97.1	133.6
4 [#]	96.4	132.7
5 [#]	91	130.3

由表 4 可见, LGFPP 的拉伸强度与弯曲强度分别为 102.4 MPa 和 137.8 MPa。阻燃 LGFPP 的拉伸强度和弯曲强度略有下降,但降幅很小,当 PEPA 与 MPP 的质量比为 11 : 9 时,阻燃 LGFPP 的拉伸强度和弯曲强度最佳,分别为 99.6 MPa 和 134.3 MPa ;这是因为 PEPA 分子具有刚性的笼状结构,集碳源和酸源为一体,且 MPP 是集气源和酸源为一体,相对于 IFR 三组分之间相容性较差的问题, PEPA 与 MPP 的结合对 IFR 之间的相容性得到一定的改善。且由于 PEPA 与季戊四醇相比较分子结构中的羟基大量减少,分子极性减弱,提高了阻燃剂与 LGFPP 基体之间的相容性,并且阻燃剂在 LGFPP 的分散性也得到有效的改善。

3 结论

(1) 由 PEPA 与 MPP 组成的 IFR 对 LGFPP 具有优良的协同阻燃效应;当 IFR 的添加量为 20%, PEPA 与 MPP 质量比为 11 : 9 时,阻燃 LGFPP 的 LOI 值为 26.1%, UL-94 燃烧等级达到 V-0 级。

(2) TG 曲线分析表明, PEPA 与 MPP 复配阻燃 LGFPP 相对 LGFPP 具有更高的热稳定性。

(3) 当 PEPA 与 MPP 质量比为 11 : 9 时,阻燃 LGFPP 燃烧后的炭层致密、连续性好,且稳定性好,能够起到隔热隔氧的效果,从而阻燃效果最佳。

(4) 添加阻燃剂后,当 PEPA 与 MPP 质量比为 11 : 9 时,阻燃 LGFPP 的力学性能最佳。与 LGFPP 相比,拉伸强度和弯曲强度略有下降,但幅度很小。

参考文献

[1] Kumar K S, Ghosh A K, Bhatnagar N. Mechanical properties of injection molded long fiber polypropylene composites, part 1:Tensile and flexural properties[J]. Polym Compos, 2007, 28(2):259-266.

[2] Dai X Y, Bates P J. Mechanical properties of vibration welded short-and long-glass-fiber-reinforced polypropylene[J]. Composites Part A:Applied Science and Manufacturing, 2008, 39(7):1159-1166.

[3] Kumar K S, Bhatnagar N, Ghosh A K. Development of long glass fiber reinforced polypropylene composites:mechanical and morphological characteristics[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2007, 26(3):239-249.

[4] 张志坚,龚颖,卢康利,等. 玻纤含量对长纤维增强聚丙烯性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2013, 41(1):35-38.

Zhang Zhijian, Gong Ying, Lu Kangli, et.al. Influence of fiber content on properties of long glass fiber reinforced polypropylene[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(1):35-38.

[5] 方鲲,吴丝竹,黄永强,等. 长玻纤增强聚丙烯热塑性复合材料制备风光互补发电系统风能叶片的模具设计和注射成型 [J]. 中国塑料, 2013, 27(3):110-116.

Fang Kun, Wu Sizhu, Huang Yongqiang, et.al. Mold design and injection moulding of small wind turbine blades manufactured by long glass fiber reinforced polypropylene composites[J]. China Plastics, 2013, 27(3):110-116.

[6] 付强. 无卤阻燃增韧增强 PA66 的研究 [D]. 广州:华南理工大学, 2010.

Fu Qiang. Study on toughened and reinforced nylon 66 with non-halogen flame-retardants[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2010.

[7] Law R J, Allchin C R, De Boer J, et al.Levels and trends of brominated flame retardants in the European environment[J]. Chemosphere, 2006, 64(2):187-208.

[8] Rakotomalala M, Wagner S, Döring M. Recent developments in halogen free flame retardants for epoxy resins for electrical and electronic applications[J]. Materials, 2010, 3(8):4 300-4 327.

[9] 王军,蔡绪福. 无卤膨胀型阻燃剂的研究进展 [J]. 中国塑料, 2011, 25(6):7-13.

Wang Jun, Cai Xufu. Research progress in halogen-free intumescent flame retardants[J]. China Plastics, 2011, 25(6):7-13.

[10] 蔡绪福,陈钊,鲁成祥,等. ABS / PA6 合金的无卤膨胀性阻燃研究 [J]. 四川大学学报:工程科学版, 2008, 40(6):95-100, 196.

Cai Xufu, Chen Tan, Lu Chengxiang, et.al. Study on the effect of flame retardation based on the halogen-free intumescent flame retardant for ABS / PA6 alloy[J]. Journal of Sichuan University:Engineer Science Edition, 2008, 40(6):95-100, 196.

[11] 姜兴三,邱桂花,于名讯. PEPA 阻燃环氧树脂的性能研究 [J]. 工程塑料应用, 2009, 37(6):9-12.

Jiang Xingsan, Qiu Guihua, Yu Mingxun. Performance of flame retarded EP containing PEPA[J]. Engineering Plastics Application, 2009, 37(6):9-12.

[12] 李昕,欧育湘. 膨胀型双环笼状磷酸酯阻燃乙烯-醋酸乙烯酯共聚物的研究 [J]. 北京理工大学学报, 2002, 22(5):650-654.

Li Xin, Ou Yuxiang. A study on EVA flame retarded with

- intumescent flame retardants containing caged bicyclic phosphates[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2002, 22(5):650-654.
- [13] 王建荣,刘治国,欧育湘,等.聚磷酸三聚氰胺阻燃玻纤增强 PA66 和 PA6 的区别[J].北京理工大学学报,2004,24(10):920-923.
- Wang Jianrong, Liu Zhiguo, Ou Yuxiang, et.al. Differences in flame retardancy of melamine polyphosphate between fiber glass reinforced PA66 and PA6[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2004, 24(10):920-923.
- [14] 邓前军,张五一,陈东初,等.PM/PEPA 协同阻燃硬质聚氨酯泡沫塑料的性能研究[J].塑料工业,2014,42(5):74-76,102.
- Deng Qianjun, Zhang Wuyi, Chen Dongchu, et.al. Study on properties of synergistic flame retardant rigid polyurethane foam plastics by PM / PEPA[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(5):74-76,102.
- [15] 王岩,曾幸荣.4A 分子筛对三聚氰胺磷酸盐/季戊四醇阻燃 PP 性能的影响[J].塑料工业,2007,35(5):62-64.
- Wang Yan, Zeng Xingrong. Effect of 4A Zeolite on property of flame retardant PP by melamine phosphate / pentaerythritol[J]. China Plastics Industry, 2007, 35(5):62-64.
- [16] 周顺.膨胀阻燃和硅烷接枝交联聚丙烯及其三元乙丙橡胶材料的制备和性能研究[D].合肥:中国科学技术大学,2009.
- Zhou Shun. Preparation and characterization of intumescent flame retardant and silane-crosslinked PP and its EPDM composites[D]. Hefei:University of Science and Technology of China, 2009.

特诺尔爱佩斯携手阿科玛共同开发房屋外封薄膜

定制材料制造商特诺尔爱佩斯携手化工产品生产商阿科玛公司,计划扩宽用作房屋外封材料的透气性薄膜的种类。

该战略联盟将把阿科玛的 Pebax 热塑性弹性体与特诺尔爱佩斯的 Terraloy 生物塑料结合起来,生产出不同透湿性的薄膜,增加房屋外封材料制造商的产品种类。

在 1 月份于拉斯维加斯举行的国际建筑博览会上,特诺尔爱佩斯和阿科玛北美总部的代表介绍了这种由复合材料制成的新家。

“我们用到了 Pebax,这是一种透气性聚合物,将它与我们的生物聚合物融合到一起,通过进一步的配方,增强了材料的性能,因为透湿性不同也拓宽了类别。”特诺尔爱佩斯新战略计划总经理 Edwin Tam 说道。

加入不同量的 Terraloy 生物塑料,就能实现不同级别的混合材料。Terraloy 生物塑料的设计是为了替代石油基塑料,这种聚乳酸生物聚合物加强了 Pebax 的透气性,同时又能维持轻量化和良好的粘附能力。

房屋外封材料作为一种防水屏障,能控制建筑围护结构的湿度,同时允许水汽蒸发,避免出现霉斑。

阿科玛业务开发经理 Laurent Cartier 说道:“我们的目的是提高 Pebax 的性能,能够应用于所有的建筑细分市场,这种新材料的价值体现在质量轻、生物性以及性能增强。”

目前这款薄膜已在市场上进行供应。Tam 说道,他正与客户进行取样和试验。

Cartier 补充道,这次战略联盟可能还将开发应用于不同市场的其它产品,比如医疗服。

“透气性薄膜的需求非常大,这种材料完全不受水、液体和血液的影响,而且能够使水汽自由进出,”他说道,“在建筑市场,这种材料的主要目的是帮助防止发霉和腐烂。在医疗服上,它可控制内科医生在高温灯光下工作时流出的汗水,这在手术期间非常重要。” (中塑在线)

新加坡大学开发出 3D 打印概念车

新加坡南洋理工大学 (NTU) 的学生创造出一辆 3D 打印汽车。这款太阳能混合动力 NTU Venture (NV) 8 将作为城市概念车,现身于今年的壳牌生态马拉松比赛亚洲站(于菲律宾举行)。

NV8 的底盘由碳纤维制成,车身、内饰件及其它零部件由 150 个乳白色及其它颜色的 ABS 零部件装配而成,这些零部件经 Stratasys Dimension Elite 和 Fortus 400MC 3D 打印机打印成型。

“我们为这台电动汽车设计并安装了 3D 打印的车身外壳,对此我们感到非常骄傲。”Ng Heong Wah 作为该团队的指导员说道,“这款 3D 打印车身突破了现有技术的限制,我们很高兴能看到这样的成效。”

Ilmi Bin Abdul Wahab, 这名计算机工程专业大四学生是 3D 打印 NV8 的主要开发人员,他说道:“我们决定用轻量化塑料来 3D 打印出车身外壳,因为我们想在实现内部空间最大化和驾驶员舒适性的同时,仍能将车体质量降至最低。”车体外板厚度仅为 1 mm,并通过一层厚度同为 1 mm 的蜂巢式结构进行加固。尽管这是一辆城市概念车,但它并不笨拙,最高时速可达 60 km,同时维持低能耗优势。

机械工程系学生 Kam Sen Hao 作为 NV8 电动汽车的设计者说道:“最初我们想把它设计成一辆概念跑车,但考虑到比赛对尺寸的要求,最终我们设计了这辆外形可爱,配备了垂直滑动门的小车,可以吸引每一个年龄层。”

另一名设计者 Ng Jun Wen 也来自机械工程系,他表示,将车体外壳组装起来是一项挑战。这些零部件都是不同的打印机和其他赞助公司所生产的,打印和组装就花费了 3 个月。

“为了实现纤薄、轻质,但牢固的特点,我们加入了一个蜂巢结构,同时还采用了一种独特的连接设计将这些部件组装在一起。在灯光下看这辆车,会有一种半透明的效果,就像蜻蜓的翅膀,令人赏心悦目。”Ng 说道。 (工程塑料网)