

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.07.010

耐紫外无卤阻燃增韧增强 PA66 制备及性能

孔伟, 秦凡, 陈超

(上海日之升科技有限公司, 上海 201109)

摘要: 通过电子万能试验机、摆锤冲击试验机、水平-垂直燃烧测定仪、紫外加速老化设备、傅立叶变换红外光谱仪、热失重分析仪等测试手段,评价了阻燃剂含量、增韧剂含量、耐紫外老化助剂种类对聚酰胺 66 (PA66) 力学性能、阻燃性能、耐紫外老化及热性能等的影响,制备了耐紫外无卤阻燃增韧增强 PA66。研究结果显示,添加 17 份有机次磷酸盐,3 份聚磷酸三聚氰胺,增强 PA66 的阻燃性能就可以达到 UL 94 V-0 级 (1.6 mm),简支梁缺口冲击强度为 7.5 kJ/m^2 。添加 9 份增韧剂聚烯烃弹性体接枝马来酸酐 (POE-g-MAH) 时,无卤阻燃增强 PA66 的简支梁缺口冲击强度达到 10 kJ/m^2 ,与未添加时相比提高了 33.3%。添加耐紫外老化助剂可以大大改善无卤阻燃增韧增强 PA66 在紫外老化下的色差,且对材料力学性能和阻燃性能的影响较小,添加 0.4 份三嗪-亚氨基类高聚物,材料的色差最小,为 7.5。紫外老化后, $\text{C}=\text{O}$ 在 1730 cm^{-1} 处的峰面积增大,材料的外延起始分解温度降低。

关键词: 无卤阻燃; 聚酰胺; 增韧增强; 紫外老化

中图分类号: TQ325.1+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)07-0060-05

Preparation and Properties of Toughened and Reinforced PA66 with UV-resistant and Halogen-free Flame-retardant

Kong Wei, Qin Fan, Chen Chao

(Shanghai Sunny Technology Co., Ltd., Shanghai 201109, China)

Abstract : By means of electronic universal testing machine, pendulum impact testing machine, horizontal-vertical combustion tester, ultraviolet accelerated aging equipment, Fourier transform infrared spectrometer and thermogravimetric analyzer, the effects of flame retardant content, toughening agent content and types of UV aging resistance additives on the mechanical properties, flame retardancy, ultraviolet aging resistance and thermal properties of polyamide 66 (PA66) were evaluated, the toughened and reinforced PA66 with UV-resistant and halogen-free flame-retardant was prepared. The research results show that when 17 phr of organic hypophosphite and 3 phr of melamine polyphosphate are added, the flame retardancy of reinforced PA66 can reach UL 94 V-0 grade (1.6 mm), and the Charpy notched impact strength is 7.5 kJ/m^2 . When 9 phr polyolefin elastomer grafted with maleic anhydride (POE-g-MAH) is added, the Charpy notched impact strength of halogen-free flame-retardant reinforced PA66 reaches 10 kJ/m^2 , which is 33.3% higher than that without POE-g-MAH. The delta-E of toughened and reinforced PA66 with halogen-free flame-retardant under ultraviolet aging can be greatly improved by adding anti ultraviolet aging additive, and has little effect on the mechanical properties and flame retardancy of the material. Adding 0.4 phr triazine imino polymer, the delta-E of the material is the smallest, which is 7.5. After ultraviolet aging, the peak area of $\text{C}=\text{O}$ at 1730 cm^{-1} increases, the epitaxial initial decomposition temperature of the material decreases.

Keywords : halogen-free flame retardant ; polyamide ; toughening and strengthening ; ultraviolet aging

聚酰胺 (PA) 是一种综合性能优良的工程塑料,具有高强度、易加工、耐溶剂、耐热性好等特点,广泛用于汽车、家电、电动工具等领域,是应用较广泛的工程塑料之一^[1]。虽然聚酰胺 66 (PA66) 已具备较

好的力学、加工及耐热等性能,但在实际使用中还是不能满足具体的应用需求,常需要根据下游客户具体使用需求进行增强、增韧、阻燃以及耐老化等进一步的优化改性。

通信作者: 孔伟,工程师,主要从事高分子材料的加工和改性研究

收稿日期: 2021-05-27

引用格式: 孔伟,秦凡,陈超. 耐紫外无卤阻燃增韧增强 PA66 制备及性能 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(7) : 60-64.

Kong Wei, Qin Fan, Chen Chao. Preparation and properties of toughened and reinforced PA66 with UV-resistant and halogen-free flame-retardant[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(7) : 60-64.

目前,研究者较多地研究了 PA 的增强、阻燃、增韧、激光标记^[2-3]、紫外老化^[4]等,如王忠强等^[5]研究了良好外观高玻璃纤维 (GF) 含量 PA66 复合材料的制备,秦铭骏等^[6-8]从阻燃机理方面对次磷酸铝、有机次磷酸铝及含磷有机硅阻燃改性 PA 进行了较深入的研究,吴长波等^[9]从下游使用环境的湿热影响考虑,研究了湿热老化条件对二乙基次膦酸铝阻燃增强 PA66 的阻燃、析出及结晶等方面的影响,方基永等^[10]评估了 GF 增强 PA66 的耐冷却液性能,为后续类似应用提供了借鉴。

笔者从下游实际的应用需求出发,优选了最佳的阻燃剂、增韧剂等,制备了具有较高韧性的无卤阻燃增强 PA66,并评估了不同紫外老化助剂对材料耐老化性能的影响,得到了具有较好色差衰减的无卤阻燃高韧性增强 PA66 材料,为下游类似材料在户外应用提供借鉴方案。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PA66 :EPR27,神马工程塑料有限责任公司;

无卤阻燃剂-1 (FR-1):有机次磷酸盐,Exolit OP1230,瑞士科莱恩化工有限公司;

无卤阻燃剂-2 (FR-2):聚磷酸三聚氰胺,Melapur 200,巴斯夫(中国)有限公司;

GF:TCR735,直径为 13 μm :泰山玻璃纤维有限公司;

抗氧剂-1 (AO-1):Irgafos 168:巴斯夫(中国)有限公司;

抗氧剂-2 (AO-2):Irganox 1098:巴斯夫(中国)有限公司;

聚烯烃弹性体接枝马来酸酐 (POE-g-MAH):CMG5805-L,佳易容聚合物(上海)有限公司;

耐紫外老化助剂-1 (UV-1):双(2,2,6,6-四甲基-4-哌啶基)癸二酸酯,市售;

耐紫外老化助剂-2 (UV-2):三嗪-亚氨基类高聚物,市售;

耐紫外老化助剂-3 (UV-3):高分子量三嗪-哌啶缩合物,市售。

1.2 主要仪器及设备

双螺杆挤出机:KS36 型,昆山科信机械设备有限公司;

注塑机:HTF80X1 型,宁波海天塑机集团有限公司;

电子万能试验机:CMT6104 型,深圳新三思集

团有限公司;

摆锤冲击试验机:ZBC85 型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

水平垂直燃烧测定仪:CZF-3 型,南京上元分析仪器有限公司;

紫外加速老化设备:自制;

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪:Nicolet iS10 型,美国 Thermo Scientific 公司;

色差仪:CE-7000A 型,美国 X-Rite 爱色丽公司;

热重 (TG) 分析仪:TG 209 Tarsus 型,耐驰科学仪器商贸(上海)有限公司。

1.3 试样制备

将 PA66、阻燃剂、增韧剂、抗氧剂以及耐紫外老化助剂按相应配方称量,在高速混合机中混合 5~6 min,出料,将混合物料在 260℃ 下经双螺杆挤出机挤出、冷却、切粒。在 120℃ 烘料 1 h,然后于 270℃ 注塑成相应的标准试样。

1.4 性能测试

拉伸强度按照 ISO 527-2-2012 测试,测试速率为 5 mm/min,测试 5 个样品,结果取平均值;

简支梁缺口冲击强度按照 ISO 179-1-2010 测试,测试 5 个样品,结果取平均值;

弯曲强度按照 ISO 178-2019 测试,测试速率为 2 mm/min,测试 5 个样品,结果取平均值;

阻燃性能按照 UL 94-2016 测试,样品厚度为 1.6 mm,测试 5 个样品,结果取平均值;

色差 (ΔE) 测试:能量设置为 1.55 W/m² (高于一般标准的能量),黑板温度为 60℃,在 2 周后取出,用色差仪测试样品老化前后的 ΔE ,测试 5 个样品,结果取平均值;

FTIR 测试:取紫外加速老化前后的样品,剪取面积为 0.5 mm×0.5 mm 的样品,厚度不小于 0.3 mm,用衰减全反射 (ATR)-FTIR 测试样品的红外羰基峰变化,测试范围为 400~4000 cm⁻¹,分辨率为 4 cm⁻¹,扫描次数为 32 次;

TG 测试:升温速率为 20℃/min, N₂ 气氛,流速为 20 mL/min,试样质量为 (10.00±0.50) mg,升温区间为 50~600℃,对老化前后的样品进行分析。

2 结果与讨论

2.1 无卤阻燃剂含量对增强 PA66 力学性能及阻燃性能的影响

不同无卤阻燃剂含量的增强 PA66 配方见表 1,

无卤阻燃增强 PA66 的力学性能及阻燃性能测试数据见表 2。

表 1 无卤阻燃剂增强 PA66 配方 份

原材料	样品编号			
	AFR-1	AFR-2	AFR-3	AFR-4
PA66	62	58	55	52
GF	25	25	25	25
FR-1	10	14	17	20
FR-2	3	3	3	3
AO-1	0.2	0.2	0.2	0.2
AO-2	0.2	0.2	0.2	0.2

表 2 无卤阻燃增强 PA66 的力学性能及阻燃性能测试数据

项目	样品编号			
	AFR-1	AFR-2	AFR-3	AFR-4
拉伸强度 /MPa	134	133	130	128
简支梁缺口冲击强度 /($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	8.6	8.1	7.5	6.9
弯曲强度 /MPa	180	180	185	186
UL 94 阻燃等级	HB	V-1	V-0	V-0
余焰时间 (t_1, t_2)/s	$\geq 30, \geq 30$	10, 14	1, 2	1, 1
是否滴落	滴落引燃	不滴落	不滴落	不滴落

注: t_1 表示第一次点燃之后的余焰持续时间, t_2 表示第二次点燃之后的余焰持续时间。

从表 2 可以看出,随着无卤阻燃剂 FR-1 含量的增加,无卤阻燃增强 PA66 的拉伸强度和简支梁缺口冲击强度降低,弯曲强度增大,当添加 17 份无卤阻燃剂 FR-1 时,拉伸强度、简支梁缺口冲击强度和弯曲强度分别为 130 MPa、7.5 kJ/m^2 和 185 MPa。这主要是因为添加的无卤阻燃剂并不是完全密实无缺陷的,随着无卤阻燃剂添加量的增加,无卤阻燃增强 PA66 基体内部会产生局部缺陷,从而导致拉伸强度及简支梁缺口冲击强度降低。随着无卤阻燃剂 FR-1 含量的增加,无卤阻燃剂增强 PA66 的阻燃等级越高,当添加 17 份无卤阻燃剂 FR-1 时,无卤阻燃增强 PA66 的阻燃等级达到 UL 94 V-0 级,余焰时间 t_1, t_2 分别为 1 s 和 2 s。无卤阻燃剂 FR-1 为有机次磷酸盐,随着 FR-1 含量的增加,无卤阻燃增强 PA66 中的磷元素含量增大,在高温下能够分解更多的磷酸,并形成磷酸的非燃性粘稠液态膜,覆盖于燃烧体表面,隔绝空气;在气相中,二乙基次磷酸盐抑制自由基连锁反应,控制热分解。同时,磷酸脱水生成的水蒸气既可以降低凝聚相的温度,又能够稀释气相中可燃物的浓度,从而起到阻燃作用。由于膨胀炭层的形成,阻隔了热量进一步向上传递,避免了样品的熔化滴落^[11-13]。

2.2 增韧剂含量对无卤阻燃增强 PA66 力学性能及阻燃性能的影响

不同增韧剂含量的无卤阻燃增强 PA66 配方见

表 3,无卤阻燃增强增韧 PA66 的力学性能及阻燃性能测试数据见表 4。

表 3 无卤阻燃剂增强增韧 PA66 配方 份

原材料	样品编号				
	AFR-3	AFR-31	AFR-32	AFR-33	AFR-34
PA66	55	55	55	55	55
GF	25	25	25	25	25
FR-1	17	17	17	17	17
FR-2	3	3	3	3	3
AO-1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
AO-2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
POE	0	3	6	9	12

表 4 无卤阻燃增强增韧 PA66 的力学性能及阻燃性能测试数据

项目	AFR-3	AFR-31	AFR-32	AFR-33	AFR-34
拉伸强度 /MPa	130	129	127	127	125
简支梁缺口冲击强度 /($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)	7.5	8.0	9.8	10	12.5
弯曲强度 /MPa	185	180	174	166	160
UL94 阻燃等级	V-0	V-0	V-0	V-0	V-1
余焰时间 (t_1, t_2)/s	1, 1	1, 2	2, 3	4, 5	7, 5
是否滴落	不滴落	不滴落	不滴落	不滴落	不滴落

从表 4 可以看出,随着增韧剂含量的增加,无卤阻燃增强增韧 PA66 的简支梁缺口冲击强度增大,当 POE 含量为 9 份时,无卤阻燃增强增韧 PA66 的简支梁缺口冲击强度为 10 kJ/m^2 ,与未添加时相比提高了 33.3%。增韧剂的加入使其作为应力集中点,将受到的冲击力分散在基体之中,通过基体内部的形变及应力传递吸收,使共混体系能够较好地吸收冲击能而具有优良的韧性。同时,随增韧剂含量的增加,无卤阻燃增强增韧 PA66 的弯曲强度和拉伸强度降低。这是因为增韧剂的分子链的柔韧性较好,在受到弯曲力或拉伸力时其分子链产生迁移,致使弯曲强度及拉伸强度降低。

从表 4 还可看出,随着增韧剂的增加,无卤阻燃增强增韧 PA66 的阻燃性能变差,添加 9 份 POE 时材料的阻燃等级达到 UL 94 V-0 级, t_1, t_2 分别为 4 s 和 5 s;而添加 12 份 POE 时材料阻燃等级降为 UL 94 V-1 级, t_1, t_2 分别为 7 s 和 5 s。这是因为所用增韧剂为烯烃聚合物,在燃烧时易释放出较多热量,燃烧火焰在短时间无法熄灭,这与阻燃剂的作用相反,添加量增大导致材料燃烧时间变长。

2.3 耐紫外老化助剂对无卤阻燃增强增韧 PA66 色差的影响及 FTIR 分析

添加不同耐紫外老化助剂的无卤阻燃增强增韧 PA66 配方见表 5,由于耐紫外老化助剂的添加量很少,其对无卤阻燃增强增韧 PA66 的力学性能以及阻燃性能影响较小,耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 老化前后的 ΔE 见表 6。

表 5 耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 配方 份

原材料	样品编号			
	UR-1	UR-2	UR-3	UR-4
PA66	56	56	56	56
GF	25	25	25	25
FR-1	17	17	17	17
FR-2	3	3	3	3
AO-1	0.2	0.2	0.2	0.2
AO-2	0.2	0.2	0.2	0.2
POE	9	9	9	9
UV-1		0.4		
UV-2			0.4	
UV-3				0.4

表 6 耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 老化后的 ΔE

项目	样品编号			
	UR-1	UR-2	UR-3	UR-4
ΔE	11	8.3	7.5	8.0
黄变程度	严重黄变	一般黄变	轻微变黄	一般黄变

从表 6 可以看出,耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 老化后的 ΔE 变化较大,未添加耐紫外老化助剂的 UR-1 的 ΔE 为 11.0,添加耐紫外老化助剂的 UR-2, UR-3, UR-4 的 ΔE 相对较小,分别为 8.3, 7.5, 8.0, 其中 UR-3 样品的降幅最小,下降幅度为 31.8%。图 1 为耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 老化前后的 FTIR 谱图,从图 1 可以看出,随着 ΔE 的增加,FTIR 谱图向高波数方向偏移,整体峰面积增大。PA66 在光老化后,酰胺键断裂会产生大量的醛酮基,而醛酮基上的 C=O 在 1730 cm^{-1} 处有伸缩振动特征吸收峰。由图 1 可以看出,未老化 UR-1 在 1730 cm^{-1} 处出现了伸缩振动特征峰,这是因为在加工过程中,由于较高加工温度的影响,导致 PA66 中的酰胺键断裂,产生了少量的醛酮基。而老化后 UR-2, UR-3, UR-4 的 FTIR 谱图并没有明显的特征吸收峰,而是相应波数处的面积增大。这可能是由于 PA66 老化后产生的醛酮基上的 C=O 伸缩振动特征吸收峰与 PA66 本身酰胺键中的 C=O 伸缩振动特征吸收峰 (1650 cm^{-1} 附近) 重叠的原因,导致 C=O 在 1730 cm^{-1} 处随着 ΔE 的增加而面积不断增大^[14-15]。

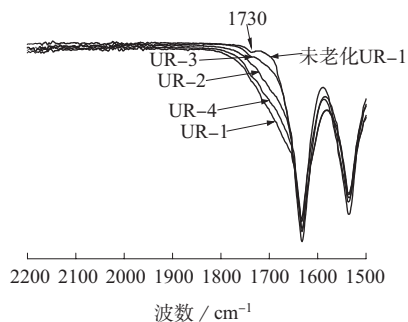


图 1 耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 老化前后的 FTIR 谱图

2.4 耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 的 TG 分析

耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 的 TG 曲线如图 2 所示,其外延起始分解温度 (T_d) 数据见表 7。

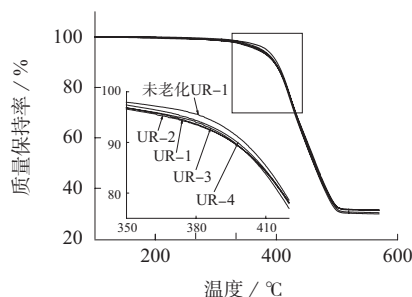


图 2 耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 老化前后的 TG 曲线

表 7 耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 老化后的 T_d $^{\circ}\text{C}$

项目	样品编号			
	UR-1	UR-2	UR-3	UR-4
T_d	386.3	387.2	387.6	387.9

未老化 UR-1 的 T_d 为 392.6°C 。从表 7 可以看出,老化后 UR-1, UR-2, UR-3, UR-4 的 T_d 分别为 $386.3, 387.2, 387.6, 387.9^{\circ}\text{C}$, 相对未老化 UR-1 分别降低 $6.3, 5.4, 5.0, 4.7^{\circ}\text{C}$; 老化后的 T_d 降低, 说明在紫外老化作用下产生的基团诱导材料提前分解。

3 结论

(1) 随着无卤阻燃剂含量的增加,无卤阻燃增强 PA66 的 UL94 阻燃等级提高,余焰时间变短。当无卤阻燃剂总添加量为 20 份时,无卤阻燃增强 PA66 的 UL94 阻燃等级达到 V-0 级,简支梁缺口冲击强度为 7.5 kJ/m^2 。

(2) 随着增韧剂含量的增加,无卤阻燃增强增韧 PA66 的简支梁缺口冲击强度增大,当增韧剂添加量为 9 份时,简支梁缺口冲击强度达到 10 kJ/m^2 ,与未添加时相比提高了 33.3%。

(3) 添加不同耐紫外老化助剂可以大大改善无卤阻燃增强增韧 PA66 的 ΔE , 其中 UR-3 的 ΔE 最小,为 7.5。FTIR 谱图显示,老化后,耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 的羰基在 1730 cm^{-1} 处随着 ΔE 的增加面积不断增大。TG 分析显示,老化后耐紫外无卤阻燃增强增韧 PA66 的 T_d 降低,说明在紫外老化作用下生成的基团诱导材料提前分解。

参考文献

- [1] 蒋铭豪,周健,章震,等. 环保型无卤阻燃剂在 PA6 材料中的应用[J]. 工程塑料应用,2020,48(8):135-138.
Jiang Minghao, Zhou Jian, Zhang Zhen, et al. Application of environmentally friendly halogen-free flame retardant in PA6 material[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(8):135-138.
- [2] 梁惠强,李皓,钟毅文,等. 激光打标参数对黑色无卤阻燃尼龙打

- 标效果的影响[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(6): 76-80.
- Liang Huiqiang, Li Hao, Zhong Yiwen, et al. Impacts of laser marking parameters on black halogen-free flame-retardant nylon marking effects[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(6): 76-80.
- [3] 田际波, 郑友明, 张磊, 等. 黑色无卤阻燃尼龙复合材料激光标识性能的研究[J]. 塑料工业, 2020, 48(7): 90-94, 98.
- Tian Jibo, Zheng Youming, Zhang Lei, et al. Study on laser marking properties of black halogen-free flame retardant nylon composite[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(7): 90-94, 98.
- [4] 倪金平, 路丹, 叶耀挺, 等. 阻燃玻璃纤维增强 PA6 的紫外光稳定性[J]. 塑料工业, 2021, 49(2): 63-67.
- Ni Jinping, Lu Dan, Ye Yaoting, et al. Ultraviolet stability of flame retardant reinforced PA6 composites[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(2): 63-67.
- [5] 王忠强, 易庆锋, 王灿耀, 等. 良外观高玻纤含量聚酰胺 66 复合材料的制备与性能[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(9): 7-12.
- Wang Zhongqiang, Yi Qingfeng, Wang Canyao, et al. Preparation and properties of PA66 composites with high glass fiber content and good appearance[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(9): 7-12.
- [6] 秦铭骏, 翟一霖, 郭承鑫, 等. 高稳定微胶囊次磷酸铝制备及其阻燃 PA6 应用[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(9): 139-143.
- Qin Mingjun, Zhai Yilin, Guo Chengxin, et al. Preparation of high stability microencapsulated aluminum hypophosphite and its application in flame retardant PA6[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(9): 139-143.
- [7] 邹梦浩, 罗钟琳, 乔艺卉, 等. 二乙基次磷酸铝协同含磷有机硅阻燃 PA66 热分解动力学[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(4): 105-111.
- Zou Menghao, Luo Zhonglin, Qiao Yihui, et al. Thermal degradation kinetics of aluminum diethylphosphinate in synchronizing phosphorous silicone flame-retarded PA66[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(4): 105-111.
- [8] 陶四平, 索倩倩, 张现军. 二乙基次磷酸铝在增强聚酰胺体系中的阻燃机理[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(12): 133-139.
- Tao Siping, Suo Qianqian, Zhang Xianjun. Flame retardant mechanism of aluminium dipropylphosphinate in reinforced polyamide system[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(12): 133-139.
- [9] 吴长波, 张永, 丁超, 等. 湿热老化对二乙基次磷酸铝阻燃增强 PA66 的影响研究[J]. 塑料工业, 2018, 46(8): 95-99, 115.
- Wu Changbo, Zhang Yong, Ding Chao, et al. Study on the influences of hydrothermal aging on halogen-free flame-retarded glass fiber reinforced PA66 composite[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(8): 95-99, 115.
- [10] 方基永, 李波, 俞雁, 等. 玻璃纤维增强聚酰胺 66 耐冷却液性能研究[J]. 中国塑料, 2020, 34(3): 14-19.
- Fang Jiyong, Li Bo, Yu Yan, et al. Study on coolant resistance of glass-fiber-reinforced polyamide 66[J]. China Plastics, 2020, 34(3): 14-19.
- [11] 许林利, 王成望, 丁斌, 等. 阻燃玻纤增强尼龙 66 的制备及性能研究[J]. 广州化学, 2015, 40(3): 13-18.
- Xu Linli, Wang Chengwang, Ding Bin, et al. Preparation and Properties of flame-retardant nylon-6, 6 (PA66) composites reinforced with glass fibers[J]. Guangzhou Chemistry, 2015, 40(3): 13-18.
- [12] 鲁哲宏, 冯伟丽, 康兴隆, 等. 苯并噁协效二乙基次磷酸铝阻燃 PA66 的研究[J]. 精细化工, 2019, 36(2): 322-327.
- Lu Zhehong, Feng Weili, Kang Xinglong, et al. Research of flame retardant PA66 composites with benzoxazine and diethyl-phosphate aluminum[J]. Fine Chemicals, 2019, 36(2): 322-327.
- [13] 王金泳, 王兴旺. 无卤阻燃剂二乙基次磷酸铝的热降解和阻燃机理[J]. 中国塑料, 2019, 33(2): 82-85, 130.
- Wang Jinyong, Wang Xingwang. Study on thermal degradation and flame retardant mechanisms of aluminum diethylphosphinate[J]. China Plastics, 2019, 33(2): 82-85, 130.
- [14] 舒颖, 叶林, 杨涛. 聚酰胺的长期紫外光氧化行为[J]. 高分子材料科学与工程, 2008, 24(7): 98-101.
- Shu Ying, Ye Lin, Yang Tao. The long-term ultraviolet-oxidative aging behavior of polyamide[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2008, 24(7): 98-101.
- [15] 龙俊元, 李光吉, 李超, 等. PA6 在紫外光老化中的变色与结构变化[J]. 塑料工业, 2010, 38(12): 47-51.
- Long Junyuan, Li Guangji, Li Chao, et al. Changes in the discoloration and structures of PA6 during the course of ultraviolet aging[J]. China Plastics Industry, 2010, 38(12): 47-51.
- [16] 魏刚, 彭娅, 黄锐. 官能化聚烯烃弹性体增韧 PBT[J]. 合成树脂及塑料, 2006(1): 29-32.
- Wei Gang, Peng Ya, Huang Rui. Toughening PBT by functionalized polyolefin elastomers[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2006(1): 29-32.
- [17] 朱文, 李坤泉, 柴生勇, 等. 不同增韧剂对 PBT 增韧效果研究[J]. 塑料工业, 2019, 47(5): 43-48.
- Zhu Wen, Li Kunquan, Chai Shengyong, et al. Study on the toughening effect of the PBT by different toughening agents[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(5): 43-48.

(上接第 59 页)

30(2):54-58.

Liu Qi, He Xiang, Lyu Tongjian, et al. Study on polybutylene terephthalate toughened by ethylene-methyl acrylate-glycidyl methacrylate terpolymer[J]. China Plastics, 2016, 30(2):54-58.

- [15] 汤俊杰, 史鹏伟, 李心良. GMA 官能化改性剂对 PC/PBT 合金材料性能的影响[J]. 塑料工业, 2018, 46(6): 13-17, 22.

Tang Junjie, Shi Pengwei, Li Xinliang. Effect of modifier containing GMA functional group on the properties of PC/PBT alloy[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(6): 13-17, 22.