

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.06.004

玻纤增强聚酰胺 / 酚醛树脂复合材料制备及性能

丁超, 张亚军, 郑一泉, 王丰

(金发科技股份有限公司, 广州 510663)

摘要: 通过引入酚醛树脂 (PF) 来改善玻纤 (GF) 增强聚酰胺 66 (PA66) 的耐湿性能和耐次氯酸钠性能, 制备了 PA66 / GF / PF 复合材料。系统研究了 PF 含量对 PA66 / GF / PF 复合材料力学性能、耐湿性能、耐次氯酸钠性能、熔体流动速率、结晶和熔融行为的影响。结果表明, PF 可以提高复合材料的力学性能, 当 PF 质量分数为 15% 时, 复合材料的拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量分别为 190, 286, 11 000 MPa, 与不加 PF 时相比, 分别上升了 18.0%, 17.2% 和 25.0%。PF 可以提高复合材料的耐湿性能, 当 PF 质量分数为 20% 时, 复合材料的吸水率从 2.0% 下降至 0.77%。PF 还可以显著提高复合材料的耐次氯酸钠性能, 当 PF 质量分数为 20% 时, 即使经过次氯酸钠溶液处理 2 周, 复合材料表面依然没有明显的腐蚀。此外, PF 有效提高复合材料的流动性, 并降低其熔融温度和结晶温度。

关键词: 玻纤增强聚酰胺; 酚醛树脂; 耐次氯酸钠; 耐湿性能

中图分类号: TQ322.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)06-0021-06

Preparation and Performance of Glass Fiber Reinforced Polyamide / phenolic Resin Composites

Ding Chao, Zhang Yajun, Zheng Yiquan, Wang Feng

(Kingfa Science & Technology Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract : Phenolic resin (PF) was introduced to improve the moisture-resistance and sodium hypochlorite resistance of glass fiber (GF) reinforced polyamide 66 (PA66), and PA66 / GF / PF composites were prepared. The effects of PF content on mechanical property, moisture resistance, sodium hypochlorite resistance, melt flow rate, crystallization and melting behavior of PA66 / GF / PF composites were systematically studied. The results show that PF can improve the mechanical properties of the composites. When the PF mass fraction is 15%, the tensile strength, flexural strength and flexural elastic modulus of the composites are 190, 286, 11 000 MPa, which are increased by 18.0%, 17.2% and 25.0%, respectively, compared with that without PF. PF can improve the moisture resistance of the composites. When PF mass fraction is 20%, the water absorption of the composites decreases from 2.0% to 0.77%. PF can also significantly enhance sodium hypochlorite resistance of PA66 / GF / PF, when the mass fraction of PF is 20%, the surface of PA66 / GF / PF still has no obvious corrosion, even after 2 weeks of sodium hypochlorite solution treatment. In addition, PF increases the fluidity of PA66 / GF / PF and decreases its melting temperature and crystallization temperature.

Keywords : glass fiber reinforced polyamide ; phenolic resin ; sodium hypochlorite resistance ; moisture resistance

聚酰胺 (PA) 具有优异的力学性能、耐磨性能、耐化学性能、阻燃性能和加工性能, 广泛应用于电动工具、铁路交通和电子电气等领域^[1-6]。但 PA 易吸水, 而水分子进入 PA 内部会降低其分子链之间的作用力, 导致力学性能大幅度下降^[6-11]。PA 还具有结晶温度高和结晶速度快的特点, 可以降低制品的成型周期, 但是对于玻纤 (GF) 增强体系, 熔体冷却过快会导致不能充分浸润玻纤, 造成制品表面浮纤

^[12-14]。PA 在水处理领域的应用越来越广泛, 而自来水或污水中含有次氯酸钠, 这要求 PA 不仅具有较好的耐湿性能, 而且要具有较好的耐次氯酸钠性能。

目前, 常用的改善 PA 缺点的方法是添加功能性助剂。例如, 降低吸水率的方法是引入吸水率较低的树脂 (聚丙烯、聚四氟乙烯和长碳链尼龙等) 或无机矿物质 (碳酸钙、滑石粉和蒙脱土等)^[15-17]; 降低结晶温度和结晶速度的方法是添加氯化钙、氯

通信作者: 丁超, 硕士, 主要从事工程塑料改性研究

收稿日期: 2021-03-24

引用格式: 丁超, 张亚军, 郑一泉, 等. 玻纤增强聚酰胺 / 酚醛树脂复合材料制备及性能 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(6) : 21-26.

Ding Chao, Zhang Yajun, Zheng Yiquan, et al. Preparation and Performance of Glass Fiber Reinforced Polyamide / phenolic Resin Composites[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(6) : 21-26.

化锂或苯胺黑等物质,破坏 PA 分子链之间的氢键;而改善耐次氯酸钠性能,目前尚未有文献报道,只有在芳香聚酰胺反渗透膜应用中有一些研究,主要是引入具有较大位阻芳香结构的单体或对反渗透膜表面进行接枝改性^[18],这些方法工艺复杂且成本较高,在 PA 工程化应用中不太实际。综上可知,改善 PA 不同的缺点需要添加不同的助剂,使得复合材料的配方十分复杂,会带来很多无法预估的负面影响,而且会极大地增加材料的成本。

针对以上缺点,笔者以酚醛树脂(PF)为改性剂,将其添加到 GF 增强 PA66 (PA66/GF) 中,制备 PA66/GF/PF 复合材料。系统研究了 PF 对复合材料力学性能、吸湿性能、耐次氯酸性能、流动性能、熔融和结晶行为的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

PA66 树脂:神马实业股份有限公司;

GF:中国巨石股份有限公司;

PF:济南圣泉集团股份有限公司;

抗氧剂 1098、硅酮:珠海金发供应链管理有限公司;

次氯酸钠溶液:浓度 7.5%,广州化学试剂厂。

1.2 设备及仪器

双螺杆挤出机:STS35 型,科倍隆(南京)机械有限公司;

塑料注射成型机:BS80-III 型,博创机械股份有限公司;

材料冲击试验机:BPI-5.5 STAC 型,德国 Zwick 公司;

电子万能试验机:UTM4104 型,深圳三思纵横科技股份有限公司;

差示扫描量热(DSC)仪:DSC 200F3 型,德国 Netzsch 公司;

熔指仪:BMF-003 型,德国 Zwick/Roell 公司;

恒温水浴锅:HWS12 型,上海一恒科学仪器有限公司;

扫描电子显微镜(SEM):S-3400N 型,日本 Hitachi 公司;

电子天平:GR 200 型,日本 AND 公司;

烘箱:RL100 型,常熟市环境试验设备公司。

1.3 试样制备

将 PA66 树脂、PF、抗氧剂和润滑剂按比例混合均匀,然后通过主喂料口加入到挤出机中,而 GF 采

用侧喂的方式加入,制备 PA66/GF/PF 复合材料。挤出机各区温度依次为 160,270,260,230,210,210,210,210,230,250℃,螺杆转速为 350 r/min。挤出完成后,将粒料放入 120℃鼓风烘箱中烘 4 h,通过注射成型机根据不同的测试标准制备相应测试样条。PA66/GF/PF 复合材料质量配方见表 1。

表 1 PA66/GF/PF 复合材料质量配方

样品编号	PA66	PF	GF	助剂 ¹⁾
1 [#]	63	0	35	2
2 [#]	58	5	35	2
3 [#]	53	10	35	2
4 [#]	48	15	35	2
5 [#]	43	20	35	2

注:1) 助剂为抗氧剂 1098 和硅酮,用量分别为 0.5% 和 1.5%。

1.4 测试与表征

(1) 力学性能。

拉伸性能按 ISO 527-2-2012 测试,拉伸速率 10 mm/min;弯曲性能按 ISO 178-2010 测试,弯曲速率 2 mm/min;悬臂梁缺口冲击强度按 ISO 180-2016 测试。

(2) 耐湿性能和吸水率。

将样条放入 100℃沸水中处理 3 h,擦干表面水分,室温放置 1~2 h 再进行力学性能测试。将处理前后的弯曲样条进行称重,分别记为 m_1 和 m_2 ,吸水率通过公式 $C_{\text{复合材料}} = (m_2 - m_1) / m_{\text{处理前}} \times 100\%$, $C_{\text{PA66 树脂}} = C_{\text{复合材料}} / \omega_{\text{PA66}}$ 进行计算求得,其中 ω_{PA66} 为 PA66 在复合材料中的含量。

(3) 耐次氯酸钠性能。

先将次氯酸钠溶液稀释至次氯酸钠含量为 6% 的溶液,然后分别加入装有不同配方样品的玻璃瓶中(为了排除干扰,不同配方样品装入不同的玻璃瓶),旋紧瓶盖密封,放置于 60℃烘箱处理 1~2 周。

(4) 表面形貌及元素成分。

测试前,对试样表面喷金处理,采用 SEM 对次氯酸钠处理前后样品表面形貌进行观察;采用 SEM 配套的能量散射 X 射线光谱仪对样品表面进行元素分析。

(5) 熔体流动速率(MFR)。

根据 GB/T 3682-2000 进行测试,测试温度 280℃,负载 2.16 kg。

(6) 熔融结晶行为。

根据 ISO 11357-2-2013 进行 DSC 测试,样品质量 5~10 mg,温度范围 30℃~300℃,升降温速率 10℃/min。结晶度(X_c)通过公式 $X_c = \Delta H_m /$

($\omega_{\text{PA66}} \times X_{\text{标准}}$) 计算,其中 ΔH_{m} 为 PA66 / GF / PF 的熔融焓; ω_{PA66} 为 PA66 在 PA66 / GF / PF 中的含量; $X_{\text{标准}}$ 为 PA66 在 100% 结晶度的熔融焓,为 226 J/g。

2 结果与讨论

2.1 PF 对 PA66 / GF / PF 力学性能的影响

表 2 为不同 PF 用量 PA66 / GF / PF 复合材料的力学性能。由表 2 可知,不加 PF 时,复合材料的拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量分别为 161,244,8800 MPa,挠度和缺口冲击强度分别为 6.6 mm 和 9.7 kJ/m²。随着 PF 的加入,复合材料的拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量都有明显提高,但其挠度和缺口冲击强度却有一定下降。当 PF 质量分数为 15% 时,复合材料的力学性能最好,其拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量分别为 190,286,11000 MPa,与 PA66 / GF 相比分别上升了 18.0%,17.2% 和 25.0%,其挠度和缺口冲击强度分别为 4.9 mm 和 8.6 kJ/m²,与 PA66 / GF 相比分别下降了 25.7% 和 11.3%。可能原因是 PF 中的酚羟基与 PA66 的酰胺基形成了氢键^[19],而 PF 中的刚性苯环链段使 PA66 分子链内旋转受阻,呈现链段刚性^[20],最终导致复合材料的刚性增强而韧性下降。但当 PF 质量分数增加至 20%,复合材料的拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量、挠度和缺口冲击强度都大幅度下降。

表 2 不同 PF 用量 PA66 / GF / PF 的力学性能

PF 质量 分数 / %	拉伸强 度 / MPa	弯曲强 度 / MPa	弯曲弹性模 量 / MPa	挠度 / mm	缺口冲击强 度 / (kJ · m ⁻²)
0	161	244	8800	6.6	9.7
5	173	261	9000	6.0	7.6
10	189	276	10100	5.7	8.8
15	190	286	11000	4.9	8.6
20	166	233	10300	4.0	8.1

2.2 PF 对 PA66 / GF / PF 耐湿性能的影响

图 1 为不同 PF 用量 PA66 / GF / PF 复合材料和其中 PA66 树脂的吸水率。从图 1 可看出,不添加 PF 时,复合材料的吸水率为 2.00%,随着 PF 用量增加,复合材料的吸水率不断降低。当 PF 质量分数为 20% 时,复合材料的吸水率最低,为 0.77%。由文献可知,将吸水率较低的树脂和填料加入到 PA66 中,都可以降低 PA66 复合材料的吸水率,但这只是由于 PA66 在复合材料的含量降低导致的,其 PA66 纯树脂的真实吸水率并未降低,如 GF、聚丙烯和滑石都是类似作用^[12]。为了验证 PF 降低 PA66 / GF / PF 吸水率的原因是否也是基于降低了

PA66 树脂的含量,通过公式换算求得 PF 用量对复合材料中 PA66 树脂的影响。由图 1 可知,随着 PF 用量增加,复合材料中 PA66 树脂吸水率的确不断下降。当 PF 质量分数为 20%,复合材料中 PA66 树脂的吸水率为 1.77%,与不加 PF 时相比,下降了 43.6%。原因为 PF 的酚羟基与 PA66 的酰胺基形成强氢键作用,而 PF 又含有位阻较大的苯环结构,抑制了水分子与酰胺基的氢键作用,从而降低水分子进入 PA66 内部。

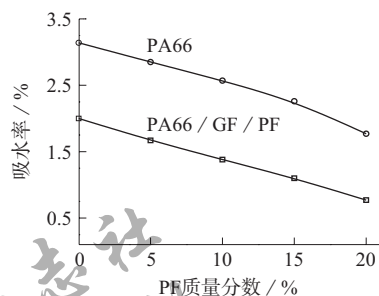


图 1 不同 PF 用量复合材料及其其中 PA66 树脂的吸水率

由于拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量随着吸水率变化的趋势具有一致性,因此以弯曲强度和缺口冲击强度为代表,研究 PF 对复合材料吸湿后力学性能的影响。图 2 为不同 PF 用量 PA66 / GF / PF 复合材料吸湿后的弯曲强度和缺口冲击强度保持率。由图 2 可看出,不添加 PF 时,吸水后复合材料的弯曲强度和缺口冲击强度变化较大,其保持率分别为 71% 和 201%。随着 PF 用量增加,吸水后复合材料弯曲强度和缺口冲击强度的变化越来越小。当 PF 质量分数为 20% 时,弯曲强度和缺口冲击强度的保持率分别为 88% 和 98%,这是由于水分子迁移到 PA66 内部,起到增塑剂的作用,使得分子链柔顺性变好,从而降低复合材料的弯曲强度,提高其缺口冲击强度,而 PF 降低了水分子进入 PA66 基体中,并抑制了水分子与 PA66 分子链的氢键作用,

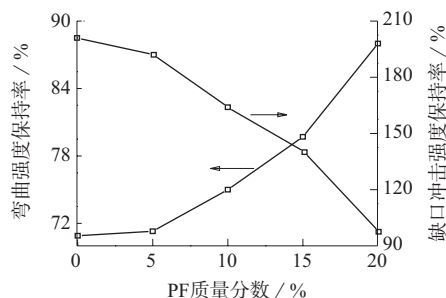
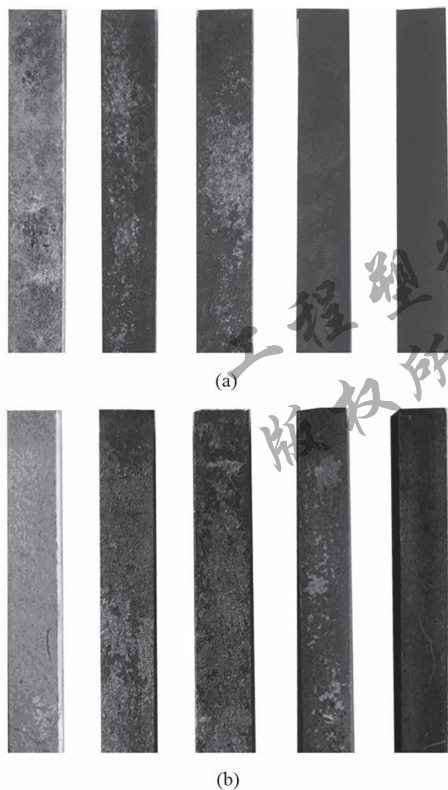


图 2 不同 PF 用量复合材料吸湿后的力学性能保持率

从而避免水分子对 PA66 复合材料的增塑作用,使其力学性能保持较好。

2.3 PF 对 PA66/GF/PF 耐次氯酸钠性能的影响

图 3 为经过次氯酸钠溶液处理不同时间的 PA66/GF/PF 复合材料的数码照片。由图 3 可看出,经次氯酸钠溶液处理 1 周,未添加 PF 的复合材料表面被腐蚀严重,表面裸露出大量的白色物质。PF 的加入明显改善复合材料的耐次氯酸钠性能。当 PF 质量分数为 15% 和 20% 时,复合材料表面基本没有被腐蚀。随着次氯酸溶液处理时间延长,样品表面腐蚀越来越严重。当处理时间为 2 周时,加入 15% PF 的复合材料表面也出现轻微的腐蚀,但加入 20% PF 的复合材料表面依然没有被腐蚀。



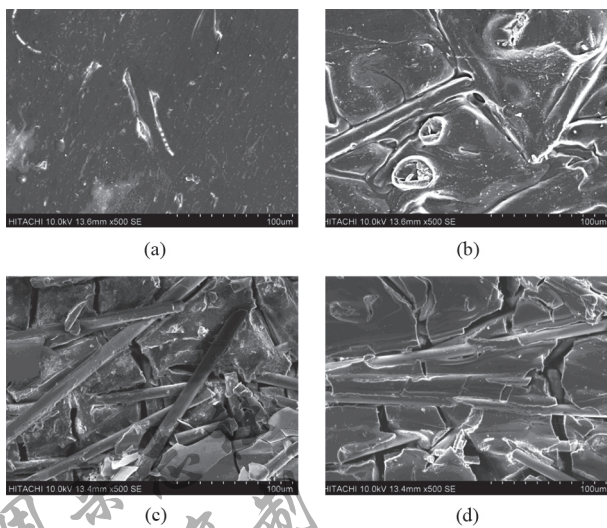
a—处理 1 周; b—处理 2 周

每组样条从左至右 PF 质量分数依次为 0, 5%, 10%, 15%, 20%

图 3 经过次氯酸钠溶液处理不同时间的复合材料数码照片

图 4 为经次氯酸钠溶液处理前后 (处理时间为 2 周) 复合材料表面的 SEM 照片。由图 4 可看出,未添加 PF 的复合材料表面相对比较光滑,而加入 20% PF 的复合材料表面有些崎岖不平,这可能是 PF 分子链迁移到样品表面。经过次氯酸钠溶液处理后,未添加 PF 的复合材料表面出现大量的裂纹,GF 裸露在试样表面,这表明试样表面包覆 GF 的

PA66 已经完全被腐蚀降解。加入 20% PF 后,复合材料表面也出现了裂纹,但相对较少,且表面较为光滑。最重要的是,GF 依然是嵌入树脂内部,没有裸露,这可能是因为试样表面的 PF 消耗次氯酸钠,防止其进一步腐蚀 PA66 树脂。



a—处理前, PF 含量为 0; b—处理前, PF 含量为 20%;
c—处理后, PF 含量为 0; d—处理后, PF 含量为 20%

图 4 经次氯酸钠溶液处理前后复合材料表面的 SEM 照片

图 5 为次氯酸钠腐蚀 PA 分子链的反应机理。次氯酸钠在水中水解生产次氯酸,而次氯酸具有强氧化性,会攻击 PA 分子链中的 N—H 基团,生成 N—Cl。而 N—Cl 基团不稳定,在水分子的作用下会水解生成羧酸基团和氯胺基团,导致 PA 分子链降解^[18]。表 3 为次氯酸钠溶液处理前后复合材料表面元素分析结果。由表 3 可知,经过次氯酸钠溶液处理 2 周,未加 PF 的复合材料表面含有较多的氯

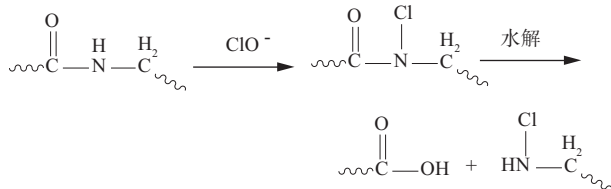


图 5 次氯酸钠腐蚀 PA 分子链反应机理

表 3 次氯酸钠溶液处理前后复合材料表面元素含量 %

元素	未添加 PF	添加 20% PF
C	63.9	65.7
N	5.1	5.4
O	19.6	20.9
Na	2.6	0.7
Al	1.1	1.2
Si	3.4	3.5
Cl	2.7	1.1
Ca	1.5	1.6

元素,为2.7%,而加入20% PF后,复合材料表面的氯元素含量大幅降低,仅为1.1%。这也表明PF降低了次氯酸钠攻击PA分子链。

2.4 PF对PA66/GF/PF加工性能的影响

图6为不同PF用量PA66/GF/PF复合材料的MFR。由图6可知,当不添加PF时,复合材料的MFR为20.5 g/10 min。PF的加入可以显著提高流动性能,当PF质量分数为20%时,复合材料的MFR为40.1 g/10 min,与不添加PF时相比提高了95.6%。可能原因为PF中的酚羟基与PA66分子链中的酰胺基团形成强氢键作用,降低PA66分子链之间的作用;并且PF的苯环具有刚性,这抑制了PA66分子链之间的缠结,这两种原因导致复合材料具有较好的流动性,在薄壁化项目中具有较好的应用前景。

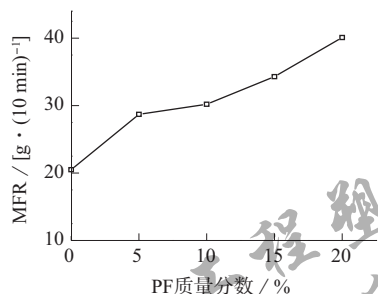
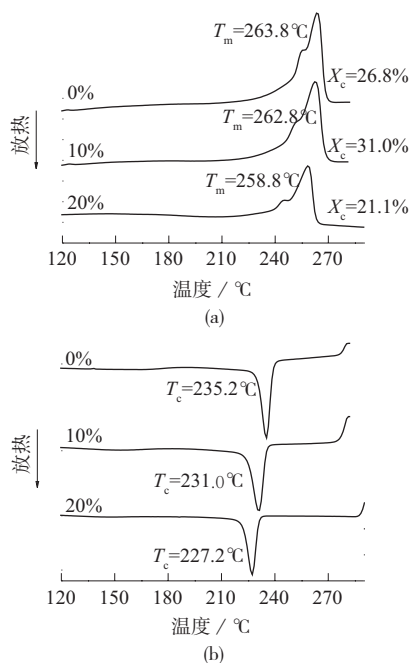


图6 不同PF用量复合材料的MFR

图7为不同PF用量PA66/GF/PF复合材料的熔融曲线和结晶曲线,其中 T_m 为熔融温度, T_c 为



a—熔融曲线;b—结晶曲线

图7 不同PF用量复合材料的熔融曲线和结晶曲线

结晶温度。由图7可知,当PF用量为0时,复合材料的熔融温度为263.8℃,结晶温度为235.2℃,此时结晶度为26.8%。当PF质量分数为10%时,PA66的熔融温度和结晶温度都有一定下降,分别为262.8℃和231.0℃,但其结晶度却有明显提升,为31.0%。当PF质量分数为20%时,PA66的熔融温度和结晶温度分别为258.8℃和227.2℃,与不加PF时相比,分别下降了5.0℃和8.0℃,其结晶度也大幅下降,仅为21.1%。可能原因为PF的羟基与PA66分子链中酰胺基团形成强氢键,导致PA66分子链运动受限,不容易结晶,因此,其熔融温度、结晶温度和结晶度都有一定下降。结晶温度的降低对改善复合材料表面的浮纤有一定帮助。

3 结论

(1) PF可以提高复合材料的力学性能。当PF质量分数为15%时,复合材料的拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量分别为190,286,11 000 MPa,与不加PF时相比,分别上升了18.0%,17.2%和25.0%。

(2) PF可以提高复合材料的耐湿性能。当PF质量分数为20%时,复合材料的吸水率从2.0%下降至0.77%,其吸水后的弯曲强度保持率从71%提高到88%,缺口冲击强度保持率从201%下降至98%。

(3) PF还可以提高复合材料的耐次氯酸钠性能。当PF质量分数为20%时,即使经过次氯酸钠溶液处理2周,复合材料表面依然没有明显的腐蚀。PF会降低PA66的熔融温度和结晶温度,并提高其流动性。

参考文献

- [1] 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.
- [2] Liu C C, Wang L L, Liu X B, et al. Fabrication strategies of polymer-based electromagnetic interference shielding materials[J]. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2020, 4(3):149-159.
- [3] 岑茵,梁惠强,郑一泉,等. 长期热氧稳定玻纤增强PA6研究[J]. 工程塑料应用,2017,45(47):29-32.
Cen Yin, Liang Huiqiang, Zheng Yiquan, et al. Investigation on long-term thermal oxidative stability of glass fiber reinforced

- PA6[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(47):29-32.
- [4] Otaigbe J U, Harland W G. Studies in the properties of nylon 6-glass fiber composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 36(1):165-175.
- [5] Hassan A, Yahya R, Rafiq M I M, et al. Interfacial shear strength and tensile properties of injection-molded, short-and long-glass fiber-reinforced polyamide 6,6 composites[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2011, 30(14):1233-1242.
- [6] Yan C, Li H, Zhang X, et al. Preparation and properties of continuous glass fiber reinforced anionic polyamide 6 thermoplastic composites[J]. Materials and Design, 2013, 46(4):688-695.
- [7] 周雷. 低吸水性 PA6 材料的制备 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(9):41-45.
Zhou Lei. Development of PA6 materials with low water absorption[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(9):41-45.
- [8] Matsunaga T, Sato Y, Goda K. Major cause of strength improvement of a ramie/PA composite with low fiber contents[J]. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2018, 1(1):93-98.
- [9] 郑骏驰, 吴超, 孟征, 等. PA6/GF 复合材料力学性能改进研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(5):137-143.
Zheng Junchi, Wu Chao, Meng Zheng, et al. Research progress on mechanical properties improvement of polyamide 6 / glass fiber composites[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(5):137-143.
- [10] 王作堯, 彭进, 张琳琪. 聚酰胺改性硼酐树脂的制备与性能 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(9):24-28.
Wang Zuoyao, Peng Jin, Zhang Linqi, et al. Preparation and properties of BPF modified by PA[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(9):24-28.
- [11] 江翼, 谭麟, 梁惠强, 等. 玻纤增强尼龙 66 流动性及表面光泽度的研究 [J]. 塑料工业, 2012, 40(10):80-83.
Jiang Yi, Tan Lin, Liang Huiqiang, et al. The study on the mobility and surface gloss of glass fiber reinforced nylon 66[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(10):80-83.
- [12] 宁冲冲, 崔益华, 吴银财, 等. 降低尼龙制品吸水率的研究进展 [J]. 塑料科技, 2013, 43(1):105-109.
- Ning Chongchong, Cui Yihua, Wu Yincan, et al. Research progress of lowering moisture absorption for nylon products[J]. Plastics Science and Technology, 2013, 43(1):105-109.
- [13] 牟丹, 袁伟忠, 盛曼, 等. 玻纤增强尼龙 66 的结晶和力学性能 [J]. 塑料, 2012, 41(6):57-59.
Mu Dan, Yuan Weizhong, ShengMan, et al. Crystallization behavior and mechanical properties of nylon 66 / GF composite[J]. Plastics, 2012, 41(6):57-59.
- [14] Wu T, Huang Z X, Qu J P, et al. Effect of continuous elongational flow on structure and properties of short glass fiber reinforced polyamide 6 composites[J]. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2019, 3(2):93-101.
- [15] 肖华明, 罗文波, 吴忠国, 等. PTFE/PA6 和 PTFE/PA66 共混物的吸水性及流变行为 [J]. 高分子材料科学与工程, 2007, 23(2):179-182.
Xiao Huaming, Luo Wenbo, Wu Zhongguo, et al. Experimental studies on water-absorptivity and rheological behavior of PTFE / PA6 and PTFE / PA66 blends[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2007, 23(2):179-182.
- [16] 孙莉, 钟明强, 徐斌. PA6/PP 复合材料吸水性及摩擦磨损性能研究 [J]. 材料工程, 2006(s1):95-97.
Sun Li, Zhong Mingqiang, Xu Bin. Study on the water-absorption and tribological properties of PA6 / PP blends[J]. Journal of Materials Engineering, 2006(s1):95-97.
- [17] 刘西文, 杨中文. RETM/CaCO₃ 填充改性 PA6 的研究 [J]. 塑料助剂, 2008(4):46-48.
Liu Xiwen, Yang Zhongwen. Study on modification of PA6 by filled with RETM / CaCO₃[J]. Plastics Additives, 2008(4):46-48.
- [18] Verbeke R, Gómezb V, Vankelecoma I. Chlorine-resistance of reverse osmosis (RO) polyamide membranes[J]. Progress in Polymer Science, 2017, 72:1-15.
- [19] Wang F Y, Ma C M, Wu H D. Hydrogen bonding in polyamide toughened novolac type phenolic resin[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1999, 74:2283-2289.
- [20] Yang T P, Wei T K, Pearce E M. Blends and interpenetrating networks of phenolic resins and polyamides[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1990, 41:1327-1332.

本刊声明

近期有不法网站和个人假借本刊名义向广大读者征稿,同时收取高额注册费、审稿费、版面费。本刊特此声明:《工程塑料应用》为中国兵器工业集团第五三研究所(山东非金属材料研究所)主办,杂志社所在地为山东省济南市,本刊唯一投稿网址为 www.epa1973.net,本刊未委托任何机构和个人从事征稿和组稿业务。请广大作者牢记本刊投稿网址,辨别来电属地,不要给个人账户汇款,防止受骗。本刊保留对相关网站和个人追究法律责任的权利。

(工程塑料应用杂志社)