

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.10.007

抗菌抗静电 SAN 材料的制备及应用

谢桂容¹, 李雄武², 陈文娟¹, 段锦华¹, 王雄刚³(1. 湖南化工职业技术学院, 湖南株洲 412000; 2. 株洲时代工程塑料科技有限责任公司, 湖南株洲 412001;
3. 湖南工业大学, 湖南株洲 412001)

摘要: 以苯乙烯-丙烯腈共聚物(SAN)、无机抗菌剂、抗静电剂、相容剂、润滑剂和玻璃纤维为原料,使用双螺杆挤出机通过熔融共混法制备了兼具抗菌和抗静电功能的SAN材料,拓宽了其应用功能。研究了抗菌剂种类、抗静电剂种类、相容剂用量及润滑剂用量对材料性能的影响。结果表明,相比银离子抗菌剂和银锌复合离子抗菌剂,锌离子抗菌剂对SAN材料具有更好的广谱抗菌效果;3种聚氧乙烯类高分子抗静电剂中,使用6500为抗静电剂时,SAN材料的表面电阻率最低,力学性能最好;当加入质量分数5.0%相容剂苯乙烯-马来酸酐共聚物(SMA)时,材料的综合性能最好;当加入质量分数0.5%的润滑剂双极性乙撑双脂肪酸酰胺(TAF)时,材料的综合性能最好。当锌离子抗菌剂Z30用量0.5%、抗静电剂6500用量10.0%、相容剂SMA用量5.0%、润滑剂TAF用量0.5%时,材料抗菌率达到99.9%,防霉0级,抗白色念珠菌性能优异,表面电阻率 $1.8 \times 10^{10} \Omega$,拉伸强度达到96.3 MPa,弯曲强度达到127.5 MPa,弯曲模量达到7 253.4 MPa,缺口冲击强度达到6.8 kJ/m²;该功能材料已在空调贯流风扇叶上得到应用。

关键词: 抗菌苯乙烯-丙烯腈共聚物;抗静电苯乙烯-丙烯腈共聚物;无机抗菌剂;永久抗静电;表面电阻率

中图分类号: TQ325.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)10-0040-06

Preparation and application of antibacterial and antistatic SAN materials

XIE Guirong¹, LI Xiongwu², CHEN Wenjuan¹, DUAN Jinhua¹, WANG Xionggang³

(1. Hunan Chemical Vocational Technology College, Zhuzhou 412000, China; 2. Zhuzhou Times Engineering Plastics Technology CO., Ltd., Zhuzhou 412001, China; 3. Hunan University of Technology, Zhuzhou 412001, China)

Abstract : The antibacterial and antistatic styrene-acrylonitrile copolymer (SAN) compounds were prepared with SAN, inorganic antibacterial agent, permanent antistatic agent, compatilizer, lubricant and glass fiber by melt blending method with parallel twin screw extruder. The effects of antibacterial agents, permanent antistatic agents, compatilizer content and lubricant content on the properties of the obtained material were investigated. The results show that zinc ion antibacterial agent has better broad-spectrum antibacterial effect on SAN materials compared with silver ion antibacterial agent and silver zinc composite ion antibacterial agent. Among the 3 kinds of polyoxyethylene polymer antistatic agents, when 6500 is used as antistatic agent, the surface resistivity of SAN material is the lowest and the mechanical properties are the best. When the content of compatilizer styrene-maleic anhydride (SMA) is 5.0 wt%, the overall performance of the achieved material is the best. When the dosage of lubricant bifunctional ethylene bis fatty acid amide (TAF) is 0.5 wt%, the compound has excellent comprehensive performance. When the mass ratios of the zinc ion antibacterial, permanent antistatic agent 6500, compatilizer SMA and lubricant TAF reach 0.5 wt%, 10 wt%, 5 wt% and 0.5 wt% respectively, the antibacterial ratio of the obtained compound reaches more than 99.9%, mildew proof grade is 0-level, surface resistivity is $1.8 \times 10^{10} \Omega$, the tensile strength is 96.3 MPa, the flexural strength is 127.5 MPa, the flexural modulus is 7 253.4 MPa, the notched impact strength is 6.8 kJ/m². The function composites have been applied to cross-flow fan blades in air condition.

Keywords : antibacterial styrene-acrylonitrile copolymer ; antistatic styrene-acrylonitrile copolymer ; inorganic antibacterial agent ; permanent antistatic performance ; surface resistivity

《“健康中国2030”规划纲要》明确提出以预防为主的健康理念。抗菌的核心是预防,是抑制细菌

生长繁殖的有效手段,因此推动抗菌材料的应用,将助力“健康中国”国家战略的实施^[1-2]。此外,多数

基金项目: 湖南化工职业技术学院校级科研创新团队成果(2022KCTD12)

通信作者: 谢桂容, 讲师, 主要从事高分子材料制备及改性研究

收稿日期: 2024-05-23

引用格式: 谢桂容, 李雄武, 陈文娟, 等. 抗菌抗静电 SAN 材料的制备及应用[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(10): 40-45.

XIE Guirong, LI Xiongwu, CHEN Wenjuan, et al. Preparation and application of antibacterial and antistatic SAN materials[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(10): 40-45.

塑料在生产或使用时会因摩擦感应使表面产生静电累积,造成吸尘、放电、击穿甚至是爆炸等危害,因此抗菌、抗静电功能塑料成为研究的新热点^[3-10]。

塑料的抗菌功能,一般通过添加抗菌剂来实现。抗菌剂有无机抗菌剂、有机小分子和有机高分子抗菌剂、天然抗菌剂和复合抗菌剂。有机小分子和有机高分子抗菌剂见效快,但耐热性差,且对人体有一定毒性风险;天然抗菌剂具有安全性好和生物相容性佳等优点,但提取工艺复杂,耐热性差。复合抗菌剂能结合有机、无机抗菌剂的优点,但合成较复杂,成本相对偏高^[11]。相较而言,无机抗菌剂具有抗菌广谱、安全性和热稳定性佳的优点,在家电、卫浴等领域应用广泛^[12]。

塑料的表面电阻在 $10^6\sim 10^{12}\Omega$ 之间时,达到抗静电级别^[13],相对于小分子抗静电剂和导电填料,高分子抗静电剂具有不脱落、长效性好、对材料颜色、加工性能影响小等优点,在塑料抗静电改性中应用较多^[14-16]。

苯乙烯-丙烯腈共聚物(SAN)综合性能优异^[17],通过添加玻璃纤维(GF)可进一步提高力学性能、降低线性热膨胀系数,广泛用于制造空调的贯流风扇叶、轴流风扇叶等高强度零件。同时具备抗菌和抗静电功能的 SAN 材料符合预防的健康理念,且安全性好,应用前景广阔,但相关报道很少。肖华明等^[18]以光触媒抗菌剂和银系无机抗菌剂为复合抗菌剂,通过添加含有金属盐和聚氧乙烯成分的永久抗静电剂,提供了一种具有良好抗菌和抗静电性能增强 SAN 组合物及其制备方法。但该方案中复合抗菌剂含量需达到 1% 以上,才达到 $\geq 95\%$ 的抗菌率,且其使用的光触媒抗菌剂需在光照条件下才能发挥作用,有一定的局限性。

笔者在前期抗菌材料的研究基础上^[1-2],以 SAN 树脂、无机金属离子抗菌剂、永久抗静电剂等为原料,采用熔融共混法制备了兼具抗菌和抗静电功能的 SAN 材料,对材料的抗菌性能、表面电阻和力学性能等进行了研究。

1 实验部分

1.1 主要原材料

SAN 树脂:2200,台化兴业(宁波)有限公司;

抗菌剂:锌离子无机抗菌剂 Z30、银锌离子无机复合抗菌剂 AZ03、银离子无机抗菌剂 A230,3 种抗菌剂均以磷酸锆为载体,其中抗菌剂 AZ03 中银锌

离子浓度比为 3:2,安徽正合雅聚新材料科技有限公司;

抗静电剂:6321,6500,Pelectron AS,日本三洋化成工业株式会社;

色母(MB):ET65091,广东波斯科技有限公司;

苯乙烯-马来酸酐共聚物(SMA):上海华雯电子有限公司;

双极性乙撑双脂肪酸酰胺(TAF):苏州兴泰国光有限公司;

GF:EDR14-2000-988A,浙江巨石玻璃纤维有限公司;

其他原料均为市售。

1.2 主要设备与仪器

双螺杆挤出机:TSE-36,昆山科信橡塑机械有限公司;

注塑机:90T,东华机械有限公司;

微机控制电子万能试验机:CMT-4503,美特斯工业系统(中国)有限公司;

摆锤冲击试验机:ZBC7750-C,美特斯工业系统(中国)有限公司;

高阻计:ZC36,上海精密科学仪器有限公司;

光学显微镜:SVM2515,思瑞测量技术(深圳)有限公司。

1.3 试样制备

按表 1 所示配比,将 SAN 树脂、抗菌剂、抗静电剂、相容剂、润滑剂和色母混合均匀后从主喂斗下料,通过侧喂料口加入 GF,经双螺杆挤出机粒料,挤出温度 $210\sim 230^\circ\text{C}$,螺杆转速 350 r/min 。粒料于 100°C 下干燥 2 h,注射成型为各种标准测试试样,注塑温度 $240\sim 250^\circ\text{C}$ 。

1.4 性能测试与表征

拉伸性能测试:按 GB/T 1040-2006 测试,测试速率为 50 mm/min 。

弯曲性能测试:按 GB/T 9341-2008 测试,测试速率为 2 mm/min 。

缺口冲击强度测试:按 GB/T 1843-2008 测试,冲击能量 2.75 J ,冲击速度 3.5 m/s 。

抗菌和防霉性能测试:按 GB/T 21551.2-2010 测试,抗菌测试采用贴膜法,测试菌种为金黄色葡萄球菌。

霉菌测试:菌种为黑曲霉、土曲霉、宛氏拟青霉、出芽短梗霉、绳状青霉、球毛壳菌、白色念珠菌。

表1 抗菌抗静电 SAN 材料配方

Tab. 1 Formula of antibacterial and antistatic SAN material

Number	SAN	Antibacterial agent			Antistatic agent			SMA	TAF	MB	GF
		Z30	AZ03	A230	6321	6500	Pelectron AS				
1 [#]	78.0									2.0	20.0
2 [#]	77.5	0.5								2.0	20.0
3 [#]	77.5		0.5							2.0	20.0
4 [#]	77.5			0.5						2.0	20.0
5 [#]	67.5	0.5			10.0					2.0	20.0
6 [#]	67.5	0.5				10.0				2.0	20.0
7 [#]	67.5	0.5					10.0			2.0	20.0
8 [#]	66.5	0.5				10.0		1.0		2.0	20.0
9 [#]	64.5	0.5				10.0		3.0		2.0	20.0
10 [#]	62.5	0.5				10.0		5.0		2.0	20.0
11 [#]	62.2	0.5				10.0		5.0	0.3	2.0	20.0
12 [#]	62.0	0.5				10.0		5.0	0.5	2.0	20.0
13 [#]	61.8	0.5				10.0		5.0	0.7	2.0	20.0

表面电阻测试:按 GB/T 1410-2006 测试,试片尺寸 103 mm (直径)×3 mm (厚度)。

2 结果与讨论

2.1 抗菌剂对 SAN 材料性能的影响

研究发现,一般抗菌剂添加质量分数≥0.4%时,可取得较好的抗菌效果^[19]。选取市面常见的四种典型的无机抗菌剂(1[#]~4[#])进行试验,当其添加质量分数为 0.5%时,对 SAN 材料的性能影响见表 2。从表 2 可见,3 种抗菌剂制备的 SAN 材料的抗菌率均可达到 99.9%以上,但是抗菌剂的加入,明显降低了材料的力学性能。3 种抗菌剂中,使用抗菌剂 Z30 的力学性能最优,其拉伸强度、弯曲强度、弯曲模量和缺口冲击强度分别为 106.9, 144.6, 7 289.1 MPa 和 5.9 kJ/m²。原因可能在于,3 种抗菌剂含有活性金属离子,其与 SAN 高温加工过程中释放的少量氨等物质发生反应,引起 SAN 树脂降解而导致力学性能下降,而抗菌剂 Z30 为纯锌离子抗菌剂,反应活性略低于另两种含有银离子的抗菌剂,因此力学性能下降相对较小。

为考察抗菌剂的广谱杀菌性能,对以上 3 种抗菌 SAN 材料进行了防霉测试,如图 1 所示。从图 1

表2 抗菌剂对 SAN 材料性能的影响

Tab. 2 Effect of antibacterial agents on properties of SAN materials

Number	Antibac- terial rate/%	Tensile strength/ MPa	Bending strength/ MPa	Flexural modulus/ MPa	Notch impact strength/ (kJ·m ⁻²)
1 [#]	0	117.8	152.3	7 416.8	6.5
2 [#]	99.9	106.9	144.6	7 289.1	5.9
3 [#]	99.9	103.4	138.3	7 067.2	5.7
4 [#]	99.9	101.5	134.2	6 896.4	5.3

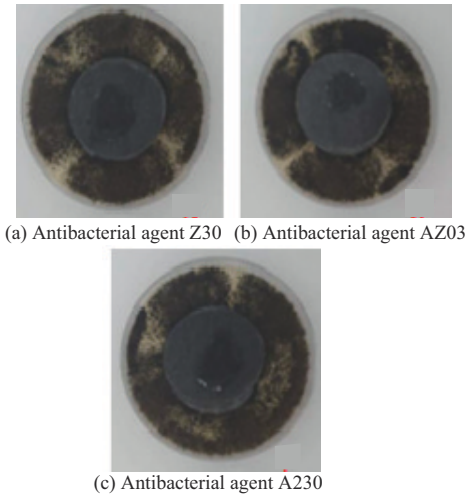


图1 抗菌 SAN 材料防霉测试图片

Fig. 1 Mildew test picture of antibacterial SAN material

可见,无论加入何种抗菌剂,3 种试片表面均未出现明显霉斑,达到防霉 0 级。进一步用白色念珠菌测试发现,使用抗菌剂 Z30 的试片表面无明显霉斑,而添加抗菌剂 AZ03 和 A230 的试片表面霉斑明显,这表明抗菌剂 Z30 具有更好的广谱抗菌性能。无机金属抗菌剂杀菌机理一般认为是:带正电的金属离子在液体环境中自由扩散,通过静电积累吸附在细胞膜上,与细菌中的蛋白质中的巯基结合,导致蛋白质凝固,细菌不再正常分化及生长繁殖;金属离子还可以破坏微生物对细胞壁的渗透,导致细胞质渗漏,最后引起细胞凋亡,杀死细菌^[13]。因此,综合来看,优选抗菌剂 Z30 为 SAN 材料的抗菌剂。

2.2 抗静电剂对 SAN 材料性能的影响

研究表明^[15-18],高分子抗静电剂添加量 10%~20%时,可显著降低材料的表面电阻。固定配方中

抗菌剂 Z30 质量分数为 0.5%,选取 3 种高分子抗静电剂(5[#]~7[#])进行研究。当抗静电剂含量为 10.0%时,对 SAN 材料性能的影响见表 3。从表 3 可知,未添加抗静电剂时,SAN 材料的表面电阻较高,添加抗静电剂后,SAN 材料表面电阻迅速下降至低于 $10^{11} \Omega$,符合抗静电材料的基本要求。但抗静电剂加入后,材料的力学性能下降较大,使用抗静电剂 6500 的 SAN 材料综合性能相对较优,其表面电阻、拉伸强度、弯曲强度、弯曲模量和缺口冲击强度分别为 $1.8 \times 10^{10} \Omega$, 85.3, 116.4, 7 034.8 MPa 和 5.3 kJ/m²。

表 3 抗静电剂对 SAN 材料性能的影响

Number	Surface resistivity/ Ω	Tensile strength/ MPa	Bending strength/ MPa	Flexural modulus/ MPa	Notch impact strength/ (kJ·m ⁻²)
2 [#]	1.6×10^{14}	106.9	144.6	7 289.1	5.9
5 [#]	2.4×10^{11}	81.1	114.7	6 810.2	5.0
6 [#]	1.8×10^{10}	85.3	116.4	7 034.8	5.3
7 [#]	1.3×10^{10}	71.7	110.2	6 572.7	4.9

本试验中选用的 3 种高分子型抗静电剂主要分为聚氧乙烯和金属盐,但聚氧乙烯分子量及含量不同。它们能在聚合物表面呈微细的层状分布,同时在中心部分呈“芯壳结构”的球状结构,以此为通路泄露静电荷。由于聚氧乙烯本体强度相比 SAN 树脂低,导致材料力学性能下降明显,而抗静电剂 6500 含有的聚氧乙烯分子量及含量适中,使得 SAN 材料力学性能下降相对较小。综合来看,优选 6500 为 SAN 材料的抗静电剂。

2.3 相容剂 SMA 对 SAN 材料性能的影响

据文献报道,SMA 含有苯乙烯基团和极性基团,对 GF 增强 SAN 材料具有明显的增韧作用^[20]。固定配方中抗菌剂 Z30 质量分数为 0.5%,抗静电剂 6500 质量分数为 10.0%,以 SAN 和 SMA 总质量分数为 67.5%进行试验(8[#]~10[#]),结果见表 4。由表 4 可见,当 SMA 质量分数为 3.0%时,SAN 材料的拉伸强度和弯曲强度达到最大,继续增加 SMA 用量,其拉

表 4 相容剂 SMA 含量对 SAN 材料性能的影响

Number	Tensile strength/ MPa	Bending strength/ MPa	Flexural modulus/ MPa	Notch impact strength/ (kJ·m ⁻²)
8 [#]	87.1	118.2	7 065.4	5.4
9 [#]	92.2	124.1	7 122.7	5.9
10 [#]	90.5	122.8	7 082.3	6.3

伸强度和弯曲强度开始下降,而缺口冲击强度继续增加。当 SMA 质量分数为 5.0%时,SAN 材料的拉伸强度、弯曲强度、弯曲模量和缺口冲击强度分别为 90.5, 122.8, 7 082.3 MPa 和 6.3 kJ/m²。

未加 SMA 时,SAN 与 GF 的结合力较弱,材料性能较差。加入 SMA 后,SMA 的酸酐基团可与 GF 的表面发生偶联反应,界面的结合力增加;材料受力时,应力能有效传递到 GF 表层进行分散,从而提高了 SAN 材料的力学性能。但 SMA 本体强度比 SAN 树脂差,因此,添加量大时材料的拉伸强度和弯曲强度下降,相应的缺口冲击强度会增加。

对 SMA 添加质量分数为 0%,3.0%和 5.0%的抗菌抗静电 SAN 材料,用显微镜对其冲击断面进行了观察,如图 2 所示。从图 2 对比发现,未加 SMA 时,冲击断面较为平整,加入 SMA 后,冲击断面很不规则,且部分 GF 从树脂基体中脱出,这表明树脂与 GF 界面黏合较好,GF 起到了很好的增强作用。

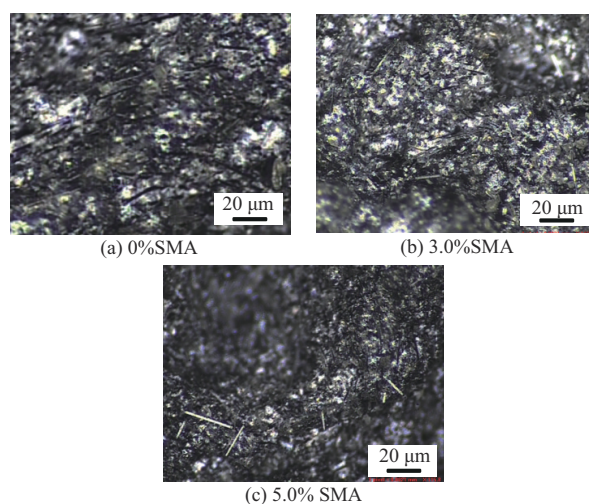


图 2 SAN 材料冲击断面 SEM 图

Fig. 2 SEM images of impact rupture surface of SAN materials

综合考虑,优选质量分数为 5.0%的相容剂 SMA。

2.4 润滑剂 TAF 对 SAN 材料性能的影响

润滑剂 TAF 是带有双极性基团的改性乙撑双脂肪酸酰胺,既能保持一定的润滑特性,又能在 GF 与基体树脂之间形成类似的锚固点,提高材料的力学性能^[21]。固定配方中抗菌剂 Z30 质量分数为 0.5%,抗静电剂 6500 质量分数为 10.0%,相容剂 SMA 质量分数为 5.0%,以 SAN 和 TAF 总质量分数为 62.5%进行试验(11[#]~13[#]),不同含量 TAF 时,SAN 材料力学性能见表 5。从表 5 可见,随着 TAF 含量的增加,SAN 材料的拉伸强度和缺口冲击强度先增加

表5 润滑剂TAF含量对SAN材料性能的影响

Tab. 5 Effect of lubricant TAF content on properties of

SAN materials				
Number	Tensile strength/ MPa	Bending strength/ MPa	Flexural modulus/ MPa	Notch impact strength/ (kJ·m ⁻²)
11 [#]	91.4	123.7	7 166.9	6.4
12 [#]	96.3	127.5	7 253.4	6.8
13 [#]	95.1	129.6	7 388.1	6.6

再下降,而弯曲强度和弯曲模量则逐渐增加。当TAF质量分数达到0.5%时,SAN材料的综合性能最好,其拉伸强度、弯曲强度、弯曲模量和缺口冲击强度分别为96.3,127.5,7 253.4 MPa和6.8 kJ/m²。这表明,添加适量的TAF可以改善SAN材料的力学性能。究其原因:一方面,TAF的极性基团可以与GF表面的硅烷偶联剂产生很强的范德华力,而TAF的柔性链段与基体树脂有一定的相容性,从而改善了GF与基体树脂的黏结状态;另一方面,TAF可以在物料和挤出机螺杆、物料与挤出机料筒的表面形成一层膜,减少加工设备的剪切,使GF维持一定的长度。这两方面的综合作用,使得TAF的加入起到明显的增强作用,提高了材料的力学性能。但是,由于TAF是低分子物质,过量的加入会使得SAN分子链之间产生滑移,造成力学性能下降。由图3a和图3b可以看到,加入了TAF后,GF的整体长度和分散情况都比未加TAF前要好。

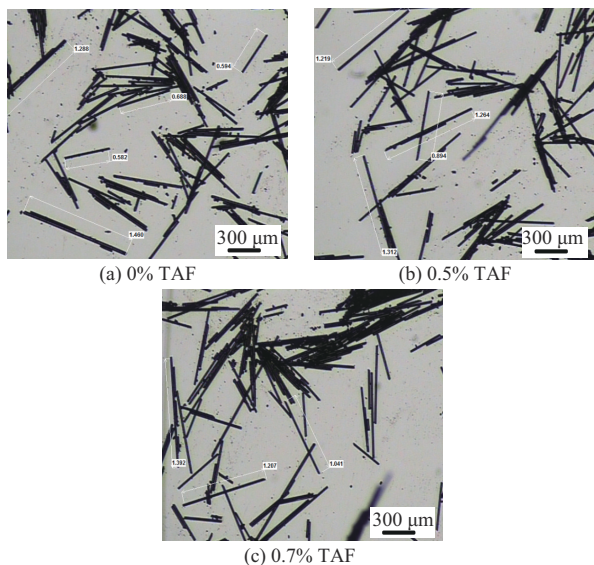


图3 SAN材料中GF分布SEM图

Fig. 3 SEM images of GF distribution in SAN materials

综合考虑,TAF质量分数0.5%的SAN材料性能最佳。

3 应用情况

笔者制备的抗菌抗静电SAN材料,综合性能优异,产品通过跌落试验、高低温试验、反复擦洗抗菌测试、3个月间歇式运转防尘等测试,达到设计要求。目前已在空调贯流风扇叶上得到验证,产品如图4所示。



图4 抗菌抗静电SAN材料在贯流风扇叶上的应用

Fig. 4 Application of antibacterial and antistatic SAN material in cross-flow fan blade

4 结论

(1)相比银离子抗菌剂A230及银锌复合离子抗菌剂AZ03,使用锌离子抗菌剂Z30的SAN材料具有更好的广谱抗菌效果,其质量分数为0.5%时,SAN材料的杀菌率达到99.9%,防霉0级,同时抗白色念珠菌性能优异;另外,由于锌离子活性比银离子活性低,对高温下SAN树脂的降解影响小,3种抗菌剂中以使用锌离子抗菌剂Z30的SAN材料力学性能下降最少。

(2)添加质量分数10.0%的高分子抗静电剂6321,6500和Pelectron AS,均可使SAN材料表面电阻降至10¹¹ Ω以下,达到抗静电级别;由于3种高分子抗静电剂中含有的聚氧乙烯成份强度低,导致SAN材料的力学性能明显下降,其中抗静电剂6500成分中含有聚氧乙烯的分子量及含量适中,SAN材料的力学性能下降最小。

(3) SMA含有苯乙烯基团和极性基团,分别与SAN和GF具有良好的相容性,对GF增强SAN材料起到明显的增韧作用,但过多的加入会降低拉伸强度和弯曲强度。综合来看,质量分数5.0%最佳。

(4)润滑剂TAF能使玻纤保持一定的长度,同时提高SAN和GF的相容性,对SAN材料性能具有明显的提升作用,但TAF分子量低,过多的加入会降低SAN材料的力学性能。综合来看,质量分数0.5%最佳。

(5)当抗菌剂Z30质量分数0.5%,抗静电剂6500质量分数10.0%,SMA质量分数5.0%,TAF质量分数0.5%时,SAN材料的综合性能最佳:抗菌率达到99.9%,防霉等级0级,表面电阻10¹⁰ Ω,拉伸强度达到96.3 MPa,弯曲强度达到127.5 MPa,弯曲模量达到7 253.4 MPa,缺口冲击强度达到6.8 kJ/m²。

笔者研制得到的抗菌抗静电 SAN 材料,抗菌性能和抗静电性能优异,拓宽了普通 SAN 材料的使用功能,已在空调贯流风扇叶上获得应用。

参考文献

- [1] 谢桂容,李崇裔,李雄武,等.抗菌阻燃 ABS 材料的制备与性能[J].工程塑料应用,2023,51(8):39-43.
XIE Guirong, LI Chongyi, LI Xiongwu, et al. Preparation and properties of antibacterial and flame retardant ABS[J]. Engineering plastics application, 2023, 51(8):39-43.
- [2] 李雄武,胡天辉,宋克东,等.一种抗菌高球压温度的无卤阻燃 PC/ABS 复合材料及其制备方法[P]. CN112679932B. 2022-09-09.
LI Xiongwu, HU Tianhui, SONG Kedong, et al. Antibacterial and high ball pressure temperature halogen-free flame retardant PC/ABS composite material and its preparation method[P]. CN112679932B. 2022-09-09.
- [3] 姬祥,江鸿,刘文辉,等.新型抗静电 ABS 树脂的制备及性能[J].塑料工业,2023,51(12):48-53.
JI Xiang, JIANG Hong, LIU Wenhui, et al. Preparation and properties of new antistatic ABS resin[J]. China plastics industry, 2023, 51(12):48-53.
- [4] 李佩瑛,程睿智,夏先荣,等.抗静电 ABS 复合材料的制备及性能研究[J].精细化工中间体,2023,53(3):51-57, 61.
LI Peiying, CHENG Ruizhi, XIA Xianrong, et al. Preparation and properties of antistatic ABS composites[J]. Fine Chemical Intermediates, 2023, 53(3):51-57, 61.
- [5] 潘志军.高耐候抗静电抗菌的透明 ABS 合金材料的研究[J].化学工程与装备,2024(2):13-15.
PAN Zhijun. Study on transparent ABS alloy material with high weather resistance, antistatic and antibacterial[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2024(2):13-15.
- [6] 杨森,赵耀辉,徐淑权,等. ABS/CNTs 复合材料的制备及其应用性能[J].工程塑料应用,2024,52(2):15-20.
YANG Sen, ZHAO Yaohui, XU Shuquan, et al. Preparation and application performances of ABS/CNTs composites[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(2):15-20.
- [7] 游一兰,李笃信,司高杰,等. PA6 基耐磨材料的抗静电改性[J].塑料工业,2022,50(12):40-45, 51.
YOU Yilan, LI Duxin, SI Gaojie, et al. Antistatic modification of polyamide 6 based on wear resistant material[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(12):40-45, 51.
- [8] 杨昕悦,关丽涛,杨崇岭.铝掺杂氧化锌纳米粉末制备及其对 PET 的抗静电改性[J].工程塑料应用,2024,52(1):138-145.
YANG Xinyue, GUAN Litao, YANG Chongling. Preparation of aluminium doped zinc oxide nanopowder and its antistatic modification of PET[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(1):138-145.
- [9] YANG Ming, LI Jian, XIE Wenfeng. Preparation, antibacterial and antistatic properties of PP/Ag-Ms/CB composites[J]. Journal of Wuhan University of Technology-Master. Sci. Edit, 2018, 33(3):749-757.
- [10] DU Youmei, MA Dequan, MAO Jie, et al. Improving the antistatic and antibacterial properties of polypropylene via tetrapod-shaped ZnO@Ag particles[J]. Polymer Testing, 2021, 101. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2021.107301.
- [11] 李阳.稀土-银型无机抗菌材料的制备、机理及应用研究[D].昆明:昆明理工大学,2020.
LI Yang. Preparation, mechanism and application of rare earth-silver type inorganic antibacterial materials[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2020.
- [12] 高凌宇,薛静怡,吴玉楼,等.载 Ag 白炭黑抗菌剂的制备及性能研究[J].化工新型材料,2023,51(12):212-217.
GAO Lingyu, XUE Jingyi, WU Yulou, et al. Preparation and properties of Ag-loaded silica antibacterial agent[J]. New Chemical Materials, 2023, 51(12):212-217.
- [13] 曹利,冯锋,陈渊歆.静电放电防护材料在汽车行业的应用技术[J].上海包装,2024(1):9-13.
CAO Li, FENG Feng, CHEN Yuanyin. Application technology of electrostatic discharge protection materials in automobile industry[J]. Shanghai packaging, 2024(1):9-13.
- [14] 胡纲,赵振伦,潘宇,等.永久抗静电 ABS 性能研究[J].工程塑料应用,2020,48(11):33-37.
HU Gang, ZHAO Zhenlun, PAN Yu, et al. Study on properties of permanent antistatic ABS[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(11):33-37.
- [15] 马伊,赵振伦,柳碧波,等.永久抗静电聚苯乙烯的制备及其性能[J].工程塑料应用,2023,51(9):21-26.
MA Yi, ZHAO Zhenlun, LIU Bibo, et al. Preparation and properties of permanent antistatic polystyrene[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(9):21-26.
- [16] 吕强.无卤阻燃永久抗静电 GFPP 材料研制[J].工程塑料应用,2021,49(1):30-33, 39.
LYU Qiang. Preparation of halogen-free flame retarded and permanent antistatic glass-fiber reinforced polypropylene[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(1):30-33, 39.
- [17] LIAO Y J, WU X L, ZHU L. Synthesis and properties of novel styrene acrylonitrile/poly-propylene blends with enhanced toughness[J]. Chemistry Central Journal, 2018, 12:78-88.
- [18] 肖华明,付锦峰,王扬利,等.一种高性能抗静电抗菌玻纤增强 AS 组合物及其制备方法[P]. CN105462093A, 2016-04-06.
XIAO Huaming, FU Jinfeng, WANG Yangli, et al. A high-performance antistatic antibacterial glass fiber reinforced AS composition and its preparation method[P]. CN105462094A, 2016-04-06.
- [19] 张丽敏,李方军,李雄武,等.高性能抗菌玻纤增强 PP 材料及应用[J].工程塑料应用,2019,47(4):6-10.
ZHANG Limin, LI Fangjun, LI Xiongwu, et al. Antibacterial glass fiber reinforced polypropylene material and its application[J]. Engineering Plastics Application 2019, 47(4):6-10.
- [20] 郭涛,王亮.玻纤增强 AS 材料的性能研究[J].塑料工业,2013,41(7):104-107.
GUO Tao, WANG Liang. Study on properties of glass fiber reinforced AS[J]. China Plastics Industry, 2013, 41(7):104-107.
- [21] 郭恒杰,孙寅.润滑剂 TAF 在尼龙增强改性加工中的应用[J].工程塑料应用,2011,39(2):28-30.
GUO Hengjie, SUN Yin. Application of TAF in process of reinforced Nylon[J]. Engineering Plastics Application, 2011, 39(2):28-30.