

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.09.002

PEDOT :PSS 的合成及二次掺杂对其导电性的影响

冯春梅¹,曾明²,陈中华¹,李亮¹,刘文艺¹,雷钰君¹,胡章润¹,彭娅¹

(1. 西华大学材料科学与工程学院,成都 610039; 2. 重庆市食品药品检验所,重庆 401123)

摘要: 为改善聚(3,4-亚乙基二氧噻吩)(PEDOT)不溶不熔的特点,用聚苯乙烯磺酸(PSS)作为掺杂剂采用化学氧化法制备了 PEDOT:PSS 复合材料。研究表明,当 PEDOT:PSS 质量比=1:3 时,复合材料的溶解性最佳。在此基础上分别研究了硫酸、甲酸、乙酸作为二次掺杂剂对复合材料导电性能的影响。结果表明,二次酸掺杂的 PEDOT:PSS 电导率较 PEDOT:PSS 复合材料均有明显的提高,且硫酸掺杂效果远优于甲酸、乙酸,且硫酸的浓度达到 8 mol/L 时, PEDOT:PSS 复合材料的电导率可高达 4.22 S/cm。

关键词: 聚(3,4-亚乙基二氧噻吩);聚苯乙烯磺酸盐;掺杂;电导率;溶解性

中图分类号: TQ325.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)09-0007-05

Synthesis and the Effect of Secondary Doping on Its Electrical Conductivity of PEDOT :PSS

Feng Chunmei¹, Zeng Ming², Chen Zhonghua¹, Li Liang¹, Liu Wenyi¹, Lei Yujun¹, Hu Zhangrun¹, Peng Ya¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2. Chongqing Food and Drug Inspection Institute, Chongqing 401123, China)

Abstract : In order to improve the solubility of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT), polystyrene sulfonate (PSS) was used as a dopant to prepare poly(3,4-ethylenedioxythiophene): polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS) composites by chemical oxidation method. It is revealed that the solubility of the composites has the best solubility when the ration of PEDOT:PSS is 1:3. On this basis, the effects of sulfuric acid, formic acid and acetic acid as secondary dopants on the conductivity of the composites were studied. It is showed that the conductivity of PEDOT:PSS doped by secondary acid is significantly higher than that of PEDOT:PSS and the conductivity of PEDOT:PSS doped by sulfuric acid is much higher than that of formic acid and acetic acid. When the concentration of sulfuric acid reaches 8 mol/L, the conductivity of PEDOT:PSS can be as high as 4.22 S/cm.

Keywords : poly(3,4-ethylenedioxythiophene); polystyrene sulfonate; doping; conductivity; solubility

聚(3,4-亚乙基二氧噻吩)(PEDOT)是一种极其重要的导电聚合物,具有高电导率、良好的稳定性和光学性能^[1-2]。但由于 PEDOT 具有不溶不熔的特点,使其加工处理困难,从而限制了其应用,因此改善 PEDOT 的加工性能成了研究的热点^[3-5]。研究发现,在合成 PEDOT 的同时加入聚苯乙烯磺酸(PSS)不仅可以极大程度地改善其加工性能而且合成的 PEDOT:PSS 的水分散体的稳定性也较好^[6]。

PEDOT:PSS 具有良好的成膜性能,可见光范围内的高透明度,优异的热稳定性^[7-8],因此正逐步进入人们的视野。特别是通过各种酸、各种醇

例如山梨醇、有机试剂二甲基亚砜(DMSO)、氧化石墨烯等^[9]进行二次掺杂可以改善其导电性,并且其它性能变化不大,故此方法引起国内外科学家的广泛关注。Y. Özlem 等^[10]研究了硼酸二次掺杂对 PEDOT:PSS 复合材料导电性能的影响。S. Dhar 等^[11]报道了添加 DMSO 加入 PEDOT:PSS 的水溶液可提高其电导率。P. Sungeun 等^[12]研究了山梨醇的掺杂对 PEDOT:PSS 复合材料电导率的影响。以上的方法都在一定程度上提高了电导率。朱雪乔等^[13]研究了不同比例氧化石墨烯掺杂 PEDOT:PSS 改变其导电性能,发现适量比例的掺

基金项目: 四川省教育厅重点项目(12ZA15),教育部“春晖计划”科研项目(Z2010093),“西华杯”大学生创新创业项目(2019050)

通讯作者: 彭娅,教授,主要从事高分子材料合成与性能研究 E-mail: pengyar@163.com

收稿日期: 2019-06-13

引用格式: 冯春梅,曾明,陈中华,等. PEDOT:PSS 的合成及二次掺杂对其导电性的影响[J]. 工程塑料应用,2019,47(9): 7-11.

Feng Chunmei, Zeng Ming, Chen Zhonghua, et al. Synthesis and the effect of secondary doping on its electrical conductivity of PEDOT:PSS[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(9): 7-11.

杂可以提高复合材料的电导率。

笔者拟用 PSS 对 PEDOT 进行一次掺杂,结果表明, PEDOT : PSS 复合材料的溶解性以及电导率有所改善。再用复合材料来进行硫酸、甲酸、乙酸二次掺杂。在整个研究体系中,研究考察不同 PEDOT : PSS 配比和不同酸种类以及浓度对 PEDOT : PSS 复合材料导电性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

3,4-乙撑二氧噻吩(EDOT):分析纯,上海麦克林生化科技有限公司;

聚苯乙烯磺酸钠(NaPSS):工业级,成都金山化学试剂有限公司;

过硫酸铵(APS), DMSO:分析纯,成都金山化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器及设备

傅立叶变换红外光谱(FTIR)仪:Nicolet 380型,美国赛默飞公司;

四探针:FT-203型,广州四探针科技有限公司;

超声波清洗机:KQ-300E型,昆山市超声仪器有限公司。

1.3 不同配比 PEDOT : PSS 复合材料的制备

将 EDOT : PSS 的质量比为 1 : 0.75, 1 : 1.5, 1 : 3, 1 : 4.5, 1 : 6 在 NaPSS 溶液中加入 EDOT 液体并加 HCl 调节溶液的 pH 值为 2~3, 再加入氧化剂 APS 和催化剂硫酸铁。反应结束后,将溶液抽滤、烘干、研磨、过筛,备用。

1.4 二次掺杂 PEDOT : PSS 复合材料的制备

分别配置甲酸溶液、乙酸溶液、硫酸溶液,浓度分别为 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 mol/L, 量取 200 mL 不同浓度的硫酸溶液、甲酸溶液、乙酸溶液,分别加入 2.0 g 的 PEDOT : PSS 粉末反应 2.5 h, 并快速搅拌。反应结束后冷却、抽滤并烘干。

1.5 性能测试

(1) FTIR 表征。

将样品与溴化钾制成压片并使用 FTIR 光谱仪表征样品。

(2) 产率。

成膜干燥后测其产率(P)。

$$P = \frac{M}{M_0} \times 100\%$$

式中:P——产率,%;

M——单体质量,g;

M_0 ——干燥成膜后质量,g。

(3) 溶解性。

将三份等量样品分别放入 DMSO, 四氢呋喃(THF), N,N-二甲基甲酰胺(DMF)中。

$$\omega = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%$$

式中: ω ——溶解度,%;

M_2 ——浸泡前试样的质量,g;

M_1 ——浸泡后试样的质量,g。

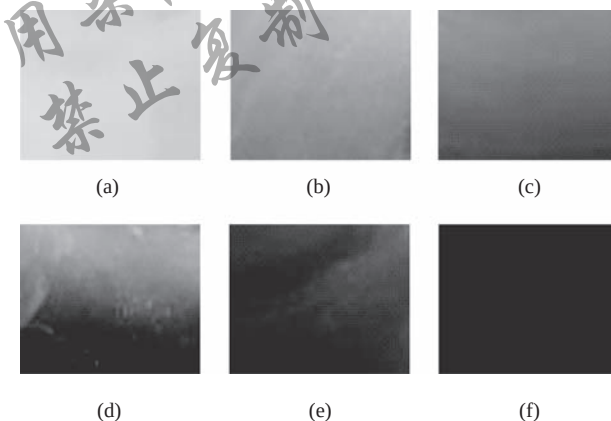
(4) 电导率。

用电动压片机将样品压成具有一定厚度的圆片,再通过四探针测定其电导率。

2 结果分析

2.1 PEDOT : PSS 合成过程的颜色变化

在合成 PEDOT : PSS 过程中,随着反应的进行,在加入氧化剂和催化剂后溶液的颜色随时间变化见图1。



a—0 min, 无色; b—5 min, 较浅色; c—10 min, 浅色;
d—20 min, 略深色; e—40 min, 较深色; f—50 min, 深黑色

图1 加入氧化剂和催化剂后溶液的颜色随时间变化图

由图1可知, PEDOT : PSS 的合成过程中,随着 PSS 含量的增加,颜色是由浅逐渐加深,由无色到较浅色再到浅色、略深色、较深色直至深黑色。可以看出,反应在进行,且合成 PEDOT 的反应从机理上看属于逐步聚合反应, EDOT 在氧化剂的作用下形成阳离子自由基 EDOT^+ ; 经过反应脱去 H^+ 形成二聚体、三聚体等,最后反应形成 PEDOT。颜色也根据相应的聚合物的预聚体改变。

2.2 PSS 掺杂对 PEDOT 的 FTIR 分析

图2为 PEDOT : PSS 复合材料的 FTIR 谱图。图2中的 $1370, 1500, 1640 \text{ cm}^{-1}$ 出现的吸收峰是由 PEDOT 上噻吩环醌式结构中 $\text{C}-\text{C}$ 、 $\text{C}=\text{C}$ 的伸缩造成的,在 1100 cm^{-1} 处是 PSS 中的磺酸盐中

的 SO_3^- 对称伸缩振动吸收峰,且峰较强。在 490 cm^{-1} 处是 $\text{C}-\text{S}$ 的伸缩振动峰。而在 3400 cm^{-1} 处的吸收峰是由于 PEDOT 与 PSS 之间存在氢键作用而缔合形成的。由此可以知道,可以成功合成 PEDOT:PSS。

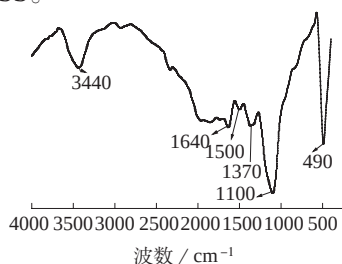


图2 PEDOT:PSS复合材料的FTIR谱图

2.3 PEDOT:PSS溶液的稳定性

将不同 PSS 含量下的 PEDOT:PSS 水分散体静置 1 个月后,其稳定性情况见表 1。

表1 PEDOT:PSS水分散体稳定性情况

$m_{\text{EDOT}}:m_{\text{PSS}}$	静置 1 个月后溶液的稳定性情况
1:0.75	溶液底部有大量小颗粒沉淀物
1:1.5	溶液底部有少许小颗粒沉淀物
1:3	溶液底部几乎没有小颗粒沉淀物
1:4.5	溶液底部有少量小颗粒沉淀物
1:6	溶液底部有许多 PSS 颗粒沉淀物

从表 1 可以看出,随着 PSS 含量的增加, PEDOT:PSS 水分散体的稳定性先增加,后降低。 $m_{\text{EDOT}}:m_{\text{PSS}}=1:3$ 时,稳定性最好。这是因为 PSS 是一种能溶于水的阴离子表面活性剂,能够增加反应单体在水中的溶解度,与 PEDOT 形成稳定的胶体乳液,且可以作为阴离子与 PEDOT 链上的阳离子保持电荷平衡的作用。当掺杂比例低于 1:3 时,由于 PSS 掺杂含量较少,所以与 PEDOT 链上的阳离子相平衡的磺酸根阴离子也相对减少,合成的 PEDOT:PSS 掺杂与分散都不充分,出现分层。随着 PSS 含量的增加, PEDOT 的相稳定性越好,溶液从严重分层变得不分层。在 $m_{\text{EDOT}}:m_{\text{PSS}}=1:3$ 时水分散体中胶粒粒径达到最佳又分散均匀,相稳定性最好。而当 $m_{\text{EDOT}}:m_{\text{PSS}}$ 高于 1:3 时,随着 PSS 含量的增加,体系中磺酸根阴离子增多,与 PEDOT 链段上阳离子不平衡从而影响其相稳定性,因此随着 PSS 含量的增加,溶液中出现沉淀。

2.4 PSS 含量对 PEDOT:PSS 复合材料导电性能的影响

图 3 为不同 PSS 含量的 PEDOT:PSS 复合材料的电导率以及电阻率。由图 3 可知,随着 PSS 含

量的逐渐增加,复合材料的电导率在持续下降。这是因为当 PSS 含量增加时, PEDOT:PSS 的平均粒径迅速减小,而电荷在 PEDOT 链段中传输方式是从一个 PEDOT 富集区到下一个,且大部分 PSS 和缺陷构成富集区之间的连接区域^[14],但 PSS 本身为绝缘体材料,所以 PSS 含量继续增加时,阻碍了电荷的传输导致了 PEDOT:PSS 复合材料的电导率迅速下降。

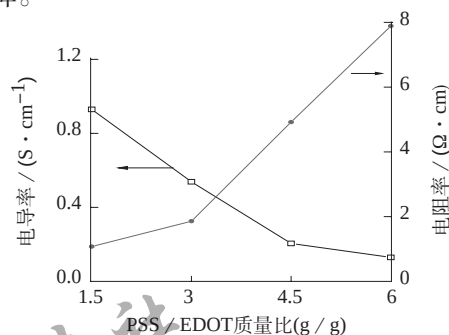
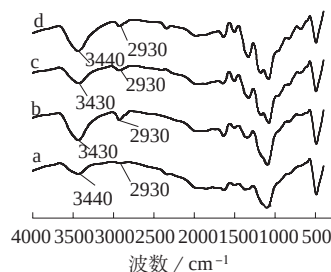


图3 不同 PSS 含量的 PEDOT:PSS 复合材料的电导率以及电阻率
结合以上表 1 以及图 3 分析可知,当 EDOT 与 PSS 掺杂比为 1:3 时, PEDOT:PSS 复合材料的溶解性和电导率较好。为此,以下以 EDOT 与 PSS 掺杂比为 1:3 做进一步的研究。

2.5 不同浓度掺杂酸掺杂 PEDOT:PSS 复合材料性能 FTIR 分析

图 4 为三种酸掺杂的 PEDOT:PSS 复合材料 FTIR 谱图。



a—PEDOT:PSS; b— H_2SO_4 掺杂 PEDOT:PSS;

c—甲酸掺杂 PEDOT:PSS; d—乙酸掺杂 PEDOT:PSS

图4 三种酸掺杂的 PEDOT:PSS 复合材料 FTIR 谱图

从图 4 可以看出,三种酸掺杂的 PEDOT:PSS 复合材料 FTIR 谱图大部分峰位置与未掺杂的 PEDOT:PSS 复合材料无明显区别,说明酸掺杂不影响 PEDOT:PSS 复合材料的结构。但其在酸掺杂后 2930 cm^{-1} — CH_2 —的反对称伸缩振动峰峰值增强。并且在 3440 cm^{-1} 处的 OH 的氢键缔合作用增强。这是因为酸掺杂减少了 PSS 链段与 PEDOT 链段之间的库仑作用,从而使两者分离,使 PEDOT 链段中的— CH_2 —键充分显示出来。

2.6 掺杂酸种类对 PEDOT:PSS 复合材料导电性比较

图5为不同酸加入不同浓度的 PEDOT:PSS 复合材料的电导率,表2列出加入 8 mol/L 不同酸掺杂 PEDOT:PSS 复合材料的导电性。

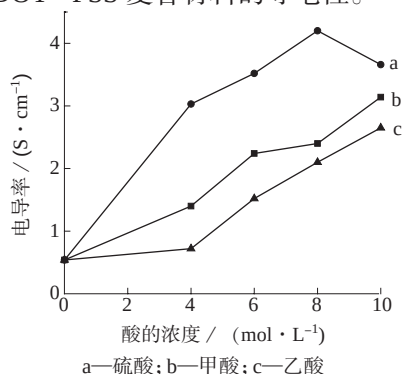
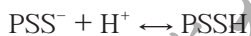


图5 不同酸加入不同浓度的 PEDOT:PSS 复合材料的电导率

表2 8 mol/L 不同酸掺杂 PEDOT:PSS 复合材料的导电性

掺杂酸种类	电导率/(S · cm ⁻¹)
硫酸	4.22
甲酸	2.41
乙酸	2.13

由图5和表2可知,无论甲酸、乙酸还是硫酸,随着酸浓度的增大 PEDOT:PSS 复合材料电导率都会增大。因为酸能够电离产生质子供体和质子受体,而质子供体与 PSS⁻ 结合反应式如下^[7]:



这减少了 PSS 和 PEDOT 链之间的库仑作用,使 PEDOT 链间和链内的能垒降低。在 100℃ 下加入酸诱导了 PEDOT:PSS 膜中 PEDOT 和 PSS 链之间的相分离,可以促进构象发生变化、结构重新定向并增强 PEDOT 链的 $\pi-\pi$ 共轭作用。随着酸浓度的增加,溶液中 H⁺ 浓度升高,可以更充分地、与 PSS 链段结合,促使更多的 PEDOT:PSS 链分离,利于荷电离子在 PEDOT 链段中传输,所以复合材料的电导率会上升。

在相同浓度下,硫酸、甲酸、乙酸掺杂对 PEDOT:PSS 复合材料电导率的提高次序为硫酸最优,甲酸次之,乙酸较差。这是因为三种酸的 pH 值不同。当掺杂酸的浓度均为 4 mol/L 时,硫酸、甲酸和乙酸的 pH 值分别为 0.251, 2.032, 2.513, 因此酸性越强,越能够充分电离出 H⁺,可以和更多的 PSS 链结合,更好地破坏其核壳结构,有利于电导率的提高。另外,二次掺杂剂的介电常数越高^[15],越能够屏蔽 PEDOT 和 PSS 之间的电荷,从而减少带正电的 PEDOT 和带负电的 PSS 掺杂剂之间的

库仑力相互作用。促进 PSS 链与 PEDOT 链的分离。从而产生更多聚集和互连的 PEDOT 链,越有利于电荷转移。而硫酸、甲酸和乙酸介电常数分别为 100, 57.9, 6.2, 故在相同酸浓度下,硫酸二次掺杂的 PEDOT:PSS 电导率最大。

当硫酸浓度继续增加至 10 mol/L 时,样品的电导率开始下降。这是因为硫酸是一种强氧化性酸,浓度过高时会造成 PEDOT:PSS 的局部过度氧化,破坏 PEDOT 的结构,影响了导电通道的连续性,使电导率降低。由此可知,当硫酸浓度增加至 8 mol/L 时,电导率可达到最大值。

3 结论

采用化学氧化法合成了 PEDOT:PSS 复合材料。研究了不同 PSS 含量对 PEDOT:PSS 复合材料性能的影响。当 $m_{\text{PEDOT}}:m_{\text{PSS}}=1:3$ 时合成的复合材料的溶解性较优。为进一步提高 PEDOT:PSS 复合材料的电导率,分别采用不同浓度的硫酸、甲酸、乙酸对 PEDOT:PSS 复合材料进行二次掺杂并研究其导电性能。结果表明,二次酸掺杂 PEDOT:PSS 复合材料时,其电导率均随浓度的增加而增加。硫酸对复合材料电导率的改善明显优于甲酸和乙酸。在硫酸浓度为 8 mol/L 时,电导率最大可达到 4.22 S/cm。

参考文献

- [1] 赵娜, 杜鹃, 罗燕, 等. 还原氧化石墨烯/聚 3,4-二氧乙噻吩: 聚苯乙烯磺酸盐柔性透明导电薄膜的制备以及表征 [J]. 化工新型材料, 2017, 46 (11): 62-65.
Zhao Na, Du Juan, Luo Yan, et al. Preparation and characterization of flexible transparent conductive polystyrene sulfonate films using reduced go / poly(3, 4-dioxyethylene thiophene)[J]. New Chemical Materials, 2017, 46 (11): 62-65.
- [2] Zhu Yu, Wang Shuo, Ma Ruixin, et al. The improvement of inverted perovskite solar cells by the introduction of CTAB into PEDOT:PSS[J]. Solar Energy, 2019, 188 : 28-34.
- [3] Diker H, Yesil F, Varlikli C. Contribution of O₂ plasma treatment and amine modified GOs on film properties of conductive PEDOT:PSS: Application in indium tin oxide free solution processed blue OLED[J]. Current Applied Physics, 2019, 19(8) : 910-916.
- [4] Saurabh K, Mohammad U, Anas S, et al. Electrochemical paper based cancer biosensor using iron oxide nanoparticles decorated PEDOT:PSS[J]. Analytica Chimica Acta, 2019, 1056 : 135-145.
- [5] Shi Jihong, Chen Xiaoping, Li Gengfei, et al. A liquid PEDOT:PSS electrode-based stretchable triboelectric nanogenerator for a portable self-charging power source[J].

- Nanoscale, 2019, 11(15): 7513–7519.
- [6] 乔文远,郭强,李聪,等.基于WO_x/PEDOT:PSS复合空穴传输层的高效稳定平面异质结钙钛矿太阳能电池[J].电化学,2016,22(4):382–389.
- Qiao Wenyuan, Guo Qiang, Li Cong, et al. Efficient and stable planar heterojunction perovskite solar cells based on WO_x/PEDOT:PSS composite hole transport layer[J]. Electrochemistry, 2016, 22(4): 382–389.
- [7] 刘兵,周桂明,贾增民,等.二次掺杂提高聚3,4-乙撑二氧噻吩/聚苯乙烯磺酸钠电导率的研究现状[J].化工新型材料,2018,46(4):234–238.
- Liu Bing, Zhou Guiming, Jia Zengmin, et al. Research status of secondary doping to improve the electrical conductivity of poly 3,4-ethylenedioxythiophene/polystyrene sulfonate[J]. New Chemical Materials, 2018, 46(4): 234–238.
- [8] 杨国深,魏峰,董仕晋,等.二次掺杂对PEDOT:PSS导电性能影响的研究进展[J].染料与染色,2016,53(1):23–29.
- Yang Guoshen, Wei Feng, Dong Shijin, et al. Research progress on the effect of secondary doping on the conductivity of PEDOT:PSS[J]. Dyestuff and Dyeing, 2016, 53(1): 23–29.
- [9] Wang Yu, Hu Yao, Han Dongwei, et al. Ammonia-treated graphene oxide and PEDOT:PSS as hole transport layer for high-performance perovskite solar cells with enhanced stability[J]. Organic Electronics, 2019, 31(2): 63–70.
- [10] Özlem Y, Serkis Y S, Aydın Y, S, et al. Effect of boric acid doped PEDOT:PSS layer on the performance of P3HT:PCBM based organic solar cells[J]. Synthetic Metals, 2016, 212: 12–18.
- [11] Dhar S, Majumder T, Chakraborty P, et al. DMSO modified PEDOT:PSS polymer/ZnO nanorods Schottky junction ultraviolet photodetector: Photoresponse, external quantum efficiency, detectivity, and responsivity augmentation using N doped graphene quantum dots[J]. Organic Electronics, 2018, 53: 101–110.
- [12] Park S, Tark S J, Kim D. Effect of sorbitol doping in PEDOT:PSS on the electrical performance of organic photovoltaic devices[J]. Current Applied Physics, 2011, 11(6): 1299–1301.
- [13] 朱雪乔,杜鹃,袁琪,等.氧化石墨烯掺杂含量对石墨烯/PEDOT:PSS复合材料电化学性能的影响[J].化工新型材料,2018,46(12):151–155.
- Zhu Xueqiao, Du Juan, Yuan Qi, et al. Effects of GO doping content on electrochemical properties of graphene/PEDOT:PSS composites[J]. New Chemical Materials, 2018, 46(12): 151–155.
- [14] 陈杰,胡章润,郑显才,等.高导电PEDOT/PSS复合材料改性研究进展[J].工程塑料应用,2018,46(8):138–142.
- Chen Jie, Hu Zhangrun, Zheng Xiancai, et al. Research progress on modification of highly conductive PEDOT/PSS composites[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(8): 138–142.
- [15] Guan Xunbao, Zhao Liping, Zhang Peng, et al. Self-supporting electrode of high conductive PEDOT:PSS/CNTs coaxial nanocables wrapped by MnO₂ nanosheets[J]. Chemistry Select, 2019, 4(7): 2009–2017.

橙色聚酰胺聚酯化合物用于电动汽车高压元件

使用橙色来识别带电的塑料护套组件在电动汽车上已经得到了广泛的应用,但开发长期显示出高颜色稳定性的橙色化合物是一个挑战。朗盛现在已经成功地做到了这一点。

树脂供应商提供广泛的橙色聚酰胺(PA)和聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)化合物适配这些类型的高压应用。产品将采用高度生动的RAL 2003(朗盛色标200849)色调。该化合物将以标准配方和热稳定两种方式提供,这将有助于当组件暴露在高温下的颜色稳定。

最近在朗盛高性能材料业务部门成立的e-PowerTrain团队经理Julian Haspel说,他们希望为他们所有的化合物提供一张来自美国检测组织承销商实验室的黄牌清单,这意味着制模者不必自己给产品上色,也不必经过耗时的UL认证过程,可以立即部署化合物,有助于削减成本。

这些化合物的标准版本在130℃下经过1000 h的老化后仍然显示出足够高的颜色稳定性。Haspel表示,热稳定材料的设置甚至可以在150℃下耐受1000 h,而橙色不会发生明显变化。

首批采用新颜色的产品包括玻璃纤维增强、无卤阻燃PA6 Durethan BKV20FN01, BKV30FN04 和 BKV45FN04。

这里的一个特色是Durethan BKV45FN04,它由45%的玻璃纤维增强,但仍然容易流动。它通过了UL 94 V-0可燃性测试,测试样品厚度为0.4 mm。Haspel说,这种材料的高硬度和强度使其不仅适用于电池框架和端板等结构部件,而且适用于需要高机械稳定性的大型高压连接器。该化合物还具有高跟踪电阻在高电压下的特点。这也适用于其它两种聚酰胺变体。例如,橙色Durethan BKV30FN04的CTI值(比较跟踪指数IEC 60112)为600。

Durethan BG30XH3.0仍然是超低翘曲度结构塑料的完美选择。它由玻璃纤维和玻璃微珠的混合物增强。H3.0热稳定剂不含铜和卤化物,可防止带电金属部件附近的电腐蚀。

水解稳定的玻璃纤维增强PBT复合材料Pocan BF4232HR也是新产品系列的一部分。在橙色状态下,它在燃烧性能测试中也达到UL 94 V-0级,测试试样厚度只有0.4 mm。美国汽车工程师协会的长期测试SAE/USCAR-2 Rev.5(专为插头连接器设计)证明了高抗水解性。Haspel说,他们的PBT达到了5级的要求,这是该测试中最严格的变体。朗盛将继续扩大其橙色化合物的范围。Haspel说,他们根据市场需求开发特定应用的定制材料变体。

(中塑在线)