

# 超支化环氧树脂改性尼龙6的制备与性能研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2020.05.007

靳奇峰 冯培勇

刘跃军

湖南工业大学

包装与材料工程学院

湖南 株洲 412007

**摘要:** 为改性尼龙6, 以含有脂肪族结构的超支化环氧树脂(AHEP)作为尼龙6的改性剂, 制备出不同质量比的AHEP-PA6共混体系。利用熔融指数仪、广角X射线衍射分析仪(WAXD)、力学万能试验机及扫描电子显微镜测试AHEP-PA6共混体系的加工流动性、结晶性能和力学性能。结果表明: AHEP的加入使PA6的结晶度有一定的提高, PA6的晶型发生变化,  $\gamma$ 晶型弱化, 转化为稳定性较好的 $\alpha$ 晶型。AHEP在PA6基体中能够均匀分散, 二者间较强的相互作用及微交联结构提高了PA6的力学性能, 共混体系断面形貌呈现原位增韧增强特征。

**关键词:** 超支化环氧树脂; 尼龙6; 结晶

**中图分类号:** TB332 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2020)05-0052-07

**引文格式:** 靳奇峰, 冯培勇, 刘跃军. 超支化环氧树脂改性尼龙6的制备与性能研究[J]. 包装学报, 2020, 12(5): 52-58.

## 1 研究背景

尼龙(polyamide, PA)具有良好的耐化学性、机械性能和耐热性, 是大家公认的性能比较佳的工程塑料, 因而广泛应用于薄膜包装、汽车工业、电子电气、轨道交通、机械工业、纺织等领域<sup>[1]</sup>。在实际使用过程中, 尼龙存在缺口和低温冲击性能差、吸湿性大、尺寸稳定性差等缺点, 使其应用受到一定的限制<sup>[2-4]</sup>。因此, 对尼龙进行改性, 以提高其力学性能、热机械性能, 改善其加工性能一直以来是研究热点。

目前, 常用的尼龙改性方法主要是经改性剂如弹性体<sup>[5-8]</sup>、“壳-核”结构聚合物<sup>[9-12]</sup>、刚性聚合物<sup>[13-16]</sup>和纳米材料<sup>[17-20]</sup>等处理后, 采用共混、共聚等方法制备改性尼龙。在常规改性剂使用过程中存在

如下问题: 改性剂用量较大, 过多的添加量稀释了基体材料, 破坏其连续相作用, 导致材料部分性能会有较大程度下降; 基体树脂与改性剂两相间相容性不好、结合力不足, 受到冲击力时界面易发生分离, 改性效果不理想, 因此, 在改性过程中, 必须引入增容剂, 以改善两相的界面相容性, 但这导致了多元改性体系出现; 纳米材料易团聚, 因而通常在改性前需先对纳米材料进行表面处理, 提高纳米材料在尼龙树脂中的分散性, 从而制得性能较优异的尼龙纳米复合材料。以上问题增加了尼龙改性的难度和产品质量的不可控性。

超支化环氧树脂分子呈椭球形, 分子链末端带有大量的环氧官能团<sup>[21]</sup>, 其具有高度支化的结构, 类似于树枝状聚合物, 因而能表现出与线形聚合物

收稿日期: 2020-07-22

基金项目: 湖南省自然科学基金资助面上项目(2017JJ2064)

作者简介: 靳奇峰(1976-), 男, 吉林吉林人, 湖南工业大学副教授, 博士, 主要从事高性能聚合物的开发及应用方面的研究, E-mail: jqf701@sina.com

不同的性能, 可以作为热塑性树脂的新型加工助剂、流变学改性剂和增容剂等<sup>[22-23]</sup>。区别于常用的超支化聚酰胺改性尼龙树脂<sup>[24-25]</sup>, 本课题组自制的脂肪族超支化环氧树脂 (aliphatic hyperbranched epoxy, AHEP) 具有特殊的球形分子结构及多官能度特点, 且其合成方法简单。因此, 本研究拟以脂肪族超支化环氧树脂作为尼龙 6 (PA6) 的改性剂, 制备具有良好加工流动性和力学性能的尼龙 6 改性体系, 以期为尼龙改性提供参考。

## 2 实验部分

### 2.1 原料与仪器

#### 1) 原料

脂肪族超支化环氧树脂, 实验室自制; PA6, 株洲时代新材料科技股份有限公司; 四氢呋喃 (tetrahydrofuran, THF), 分析纯, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

#### 2) 仪器

广角 X 射线衍射分析仪 (wide-angle X-ray diffraction analysis, WAXD), Uitima-IV 型, 日本理学株式会社; 熔融指数仪, FR-1811A 型, 上海发瑞仪器科技有限公司; 力学万能试验机, CMT6104 型, 深圳新三思材料有限公司; 摆锤冲击试验机, 501B-4 型, 深圳万测实验设备有限公司; 扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM), JEOL-6380LV 型, 日本 JEOL 公司。

### 2.2 AHEP 改性尼龙 6 的制备

首先, 通过质子转移聚合方法<sup>[26]</sup>一步合成 AHEP, 采用溴化氢-冰醋酸非水滴定法<sup>[27-28]</sup>测定 AHEP 的环氧值为 0.25 mol/100 g。然后, 将 PA6 新料置于 85 °C 下干燥 24 h, 按质量配比称取 AHEP 并用适量 THF 溶解, 加入恒压漏斗, 滴入装有 PA6 的烧瓶中, 边滴加边搅拌。最后, 将混合好的 AHEP-PA6 放入 60 °C 鼓风干燥箱烘干 3 h 以上。

调整双螺杆挤出机不同分区设定温度, 依次为 220, 228, 235, 240, 240, 240, 240, 230, 230 °C, 预热一段时间, 达到目标温度后, 将 AHEP-PA6 混合料倒入双螺杆挤出机, 在造粒机中得到共混颗粒。其中 AHEP 的添加质量分数分别为 0, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% 和 3.0%。

### 2.3 测试与表征

1) 晶型测试。采用广角 X 射线衍射分析仪测定

AHEP-PA6 共混料的微晶结构。CuK<sub>α</sub> 辐射源, λ 为 0.154 nm, 管电压为 40 kV, 电流为 20 mA, 扫描范围为 5°~40°, 扫描速度为 2°/min。

2) 熔融指数测试。取适量烘干后的 AHEP-PA6 共混料, 在负载为 2.5 kg、温度为 230 °C 的条件下, 利用熔融指数仪测试相应共混物的熔融指数。

3) 力学性能测试。将共混颗粒制备成样条, 参考国家测试标准, 在力学万能试验机上测试其力学性能。其中, 拉伸强度测试的速率设置为 50 mm/min, 弯曲强度测试的速率设置为 2 mm/min。

4) SEM 检测。截取冲击试验的样品断面, 利用扫描电子显微镜观察断面微观形貌。

## 3 结果与分析

### 3.1 AHEP-PA6 的流动性能分析

AHEP 具有高度支化的结构 (见图 1), 分子呈椭球形, 内部含有大量的醚键和脂肪链, 表现出与线形聚合物 PA6 不同的理化性能, 如分子链不易缠结、溶液和本体的黏度低等, 因而其在加工成型过程中具有相对较低的黏度和较好的流动性<sup>[25]</sup>。图 2 为 PA6 与不同的 AHEP-PA6 共混颗粒在负载为 2.5 kg、温度为 230 °C 条件下的熔融指数。从图 2 可以看出, 当 AHEP 添加质量分数为 0.5% 时, 其熔融指数与纯树脂 PA6 相差不大, 但当 AHEP 添加质量分数增加到 1.0% 时, AHEP-PA6 共混体系的熔融指数有了明显提升, 且当 AHEP 添加质量分数达到 3.0% 时, 共混体系熔融指数为 30.21 g/10 min, 相较于未添加改性剂的 PA6 提升了 84%。

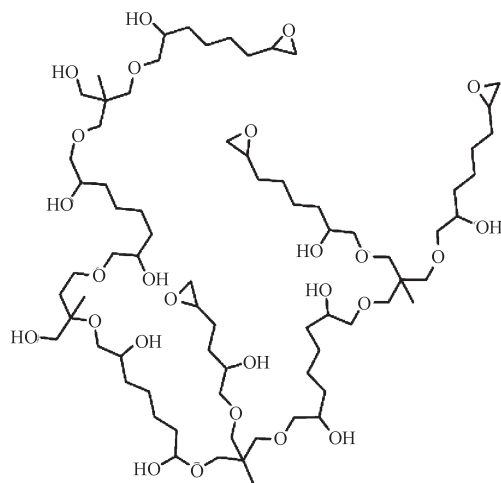


图 1 AHEP 结构

Fig. 1 Structure of AHEP

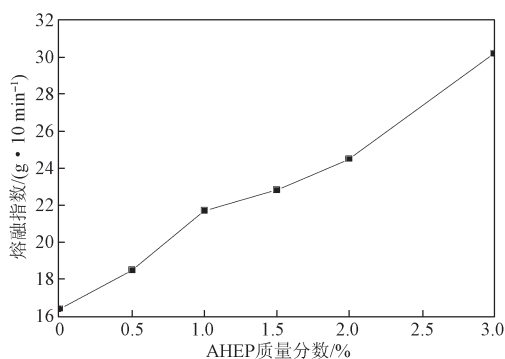


图2 PA6与AHEP-PA6的熔融指数

Fig. 2 Melt indices of PA6 and AHEP-PA6

### 3.2 AHEP-PA6的结晶性能分析

PA6是一种多晶型的高分子聚合物,不同的聚合及加工成型条件使其存在 $\alpha$ (单斜晶系)、 $\beta$ 和 $\gamma$ (六方晶系)等不同的晶体结构。图3是AHEP-PA6的WAXD衍射曲线图。从图3可以看出:在 $2\theta$ 为 $21.46^\circ$ 和 $21.38^\circ$ 处,PA6和AHEP添加质量分数为0.5%的改性PA6共混体系均有一个尖锐的衍射峰,此峰为PA6的 $\gamma(200)$ 晶型特征衍射峰,这说明纯PA6树脂及低添加量改性体系的晶型结构以 $\gamma$ 晶型为主。随着AHEP含量增加,改性体系分别在 $20.1^\circ \sim 20.4^\circ$ 和 $23.1^\circ \sim 23.5^\circ$ 区域出现一个新的衍射峰,此衍射峰为PA6典型的 $\alpha(200)$ 和 $\alpha(002/220)$ 晶面衍射峰,这表明当AHEP含量增加到一定程度时 $\alpha$ 晶型会逐步形成。同时也可以观察到,当改性体系中AHEP含量逐渐增加,新生成的两个 $\alpha$ 衍射峰的峰宽越来越窄即变得尖锐,且两峰的间距越来越小,这说明改性体系中 $\alpha$ 晶型的晶粒逐渐变大且结晶程度趋于完善<sup>[29]</sup>。

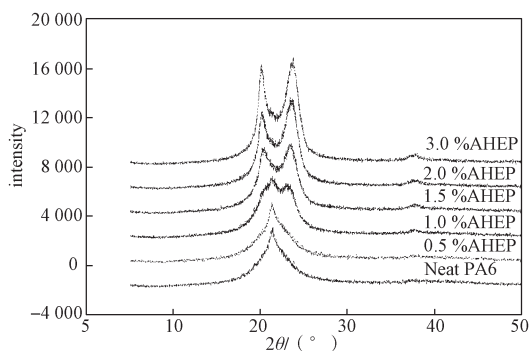


图3 PA6与AHEP-PA6的WAXD衍射图

Fig. 3 WAXD curves of PA6 and AHEP-PA6

在PA6基体树脂中引入AHEP后,改性体系不利于热力学亚稳态的 $\gamma$ 晶型生长,且促进 $\gamma$ 晶型向

$\alpha$ 晶型转变。这种晶型结构变化的原因主要归结于AHEP具有高度支化的球形结构、较低的黏度以及优良的工艺性能,使得改性体系在熔融共混挤出造粒过程中,更有利于非晶区链段经过运动重排形成相对稳定的 $\alpha$ 晶型。 $\alpha$ 晶型及其结晶度的增加有利于AHEP-PA6改性体系力学性能的提升。

### 3.3 AHEP-PA6的力学性能分析

除AHEP-PA6具有相对稳定、相对完善的 $\alpha$ 晶型外,AHEP还含有大量反应活化点,在一定条件下能与PA6中的氨基、羧基官能团相互作用,生成微交联结构<sup>[25]</sup>,使体系界面的相互作用增加,有利于改善树脂的力学性能。

图4和图5分别为AHEP-PA6的拉伸强度、冲击强度随AHEP含量变化的曲线图。

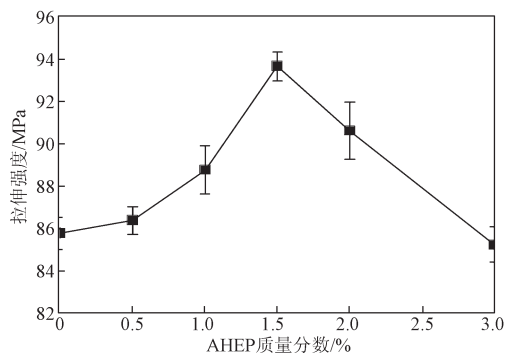


图4 AHEP-PA6的拉伸强度与AHEP含量的关系

Fig. 4 The relation curve between tensile strength and AHEP content of AHEP-PA6

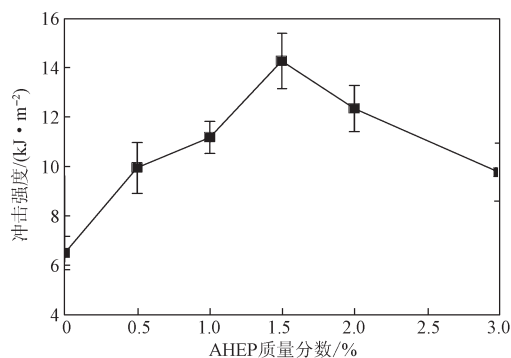


图5 AHEP-PA6的冲击强度与AHEP含量的关系

Fig. 5 The relation curve between impact strength and AHEP content of AHEP-PA6

由图4和5可知,AHEP可以明显提高基体树脂的力学性能,且当加入质量分数为1.5%的AHEP时,改性体系的拉伸强度、冲击强度同时达到最大值,分别为93.67 MPa和14.28 kJ/m<sup>2</sup>,相较于纯PA6树脂,

其拉伸强度提升了 9%，冲击强度提高了 1.2 倍，继续添加 AHEP，其力学性能开始下降。PA6 中引入适量的多官能度 AHEP，AHEP 与 PA6 基体树脂之间的相互作用增强，微交联结构使材料受到外力作用时，高分子链沿着外力方向取向，使周围区域基体产生屈服，能很好地传递并承受外应力，因而 AHEP 改性 PA6 的拉伸强度和冲击强度明显提升，且达到了协同作用效果。

图 6 和图 7 分别为 AHEP-PA6 的弯曲强度和弯曲模量与 AHEP 含量的关系。

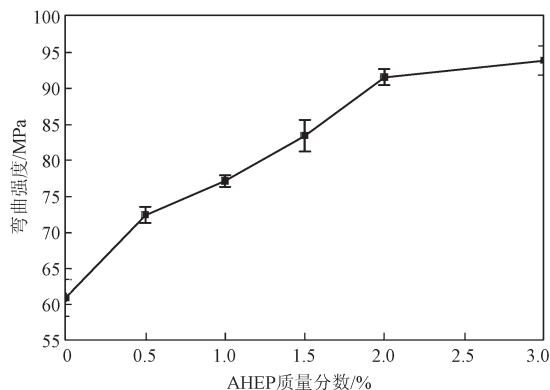


图 6 AHEP-PA6 的弯曲强度与 AHEP 含量的关系

Fig. 6 The relation curve between flexural strength and AHEP content of AHEP-PA6

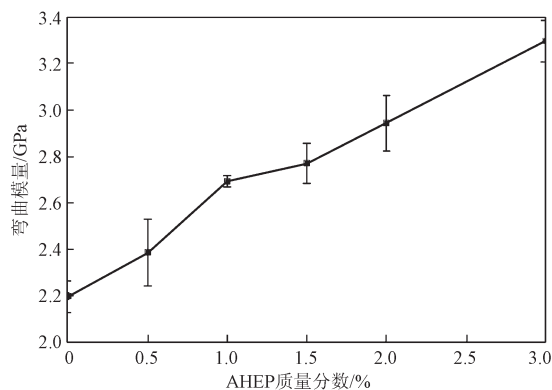


图 7 AHEP-PA6 的弯曲模量与 AHEP 含量的关系

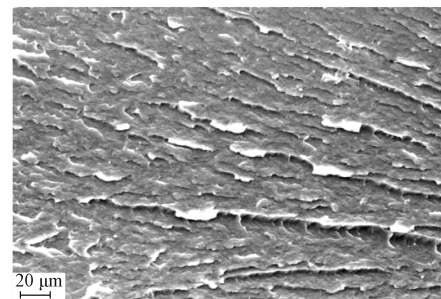
Fig. 7 The relation curve between flexural modulus and AHEP content of AHEP-PA6

由图 6 和图 7 可知，改性体系的弯曲强度、弯曲模量随着 AHEP 含量增加而增加，且当 AHEP 含量达到 3.0% 时，AHEP-PA6 的弯曲强度、弯曲模量分别为 93.89 MPa 和 3.3 GPa，相对于纯树脂分别提高了 54% 和 50%。其原因是：AHEP 除含有环氧端基外，其内部还有大量“悬垂”的羟基（见图 1）。PA6 的端氨基、端羧基与 AHEP 环氧端基反应后便将 AHEP

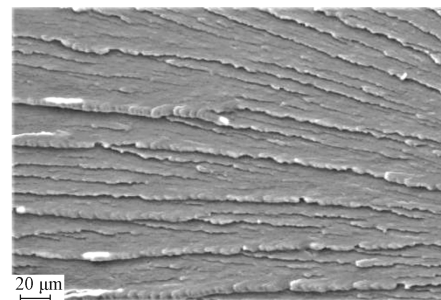
中“悬垂”的羟基引入到体系中。这些羟基与基体树脂含有的 O、N 杂原子可形成分子内和分子间的氢键。这种次价键（氢键作用）会大大增强分子间的作用力，提高交联网络的内聚能密度，结合改性体系相对完善的晶型结构，使改性体系呈现高模量特征。

### 3.4 AHEP-PA6 的 SEM 分析

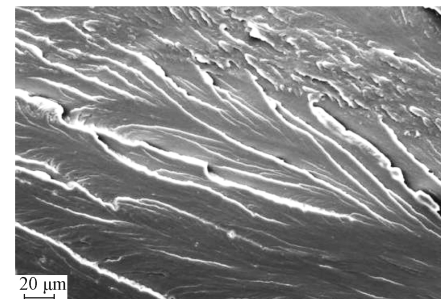
图 8 为不同含量 AHEP-PA6 样品的冲击断面扫描电镜图。



a) PA6



b) AHEP 添加质量分数为 1.5% 的 AHEP-PA6



c) AHEP 添加质量分数为 3.0% 的 AHEP-PA6

图 8 不同含量 AHEP-PA6 样品的 SEM 断面相貌图

Fig. 8 SEM images of samples with different contents of AHEP-PA6

由图 8a 可知，PA6 的断面略显光滑，层状断面不连续、不完整，断面层次不分明，呈现脆性断裂特征，在力学性能上就表现出较低的冲击韧性。引入适量的 AHEP 后（如添加质量分数为 1.5% 的 AHEP，见图 8b），改性体系的断面层次结构清晰，层次分

明,且层状断面连续、完整,没有出现断裂现象。改性体系中较多的层状结构可以吸收断裂能并阻止裂纹发生及扩展,从而有效改善 PA6 树脂基体的韧性。在 AHEP 添加质量分数达到 3.0% 的情况下(见图 8c),断面形貌中的层状结构和银纹减少,表明其冲击强度开始出现小幅下降。另一方面,从 SEM 图中还可以看到,改性体系为均相体系,未出现明显的两相结构,结合力学性能分析结果,其断裂形貌呈现原位增韧增强特征<sup>[25]</sup>。

## 4 结语

本课题组以脂肪族超支化环氧树脂为改性剂,制备了 AHEP-PA6 共混体系。实验结果表明:加入 AHEP 改善了共混体系的流体加工性能,促进改性体系晶型结构的变化,有利于更加稳定的  $\alpha$  晶型产生并趋于完善。PA6 与 AHEP 的相互作用形成了均一体系,其生成的微交联结构使改性体系的力学性能比基体树脂有较大幅度的提高。当 AHEP 添加质量分数为 1.5% 时,改性体系的拉伸强度、冲击强度达到最大值,且改性体系的弯曲强度和弯曲模量随 AHEP 含量增加而逐渐提高。改性体系断裂形貌为均相体系,呈现原位增韧增强特征。可见,AHEP-PA6 的综合性能较好,有望在汽车工业、机械工业、电子电气、通讯工业等领域获得广泛应用。

### 参考文献:

- [1] 朱建民. 聚酰胺树脂及其应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 5-7.  
ZHU Jianmin. Polyamide Resin and Application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011: 5-7.
- [2] 曹鹏飞, 刘少敏, 夏勇, 等. 基于化学镀银法制备尼龙 6/银复合材料 [J]. 包装学报, 2019, 11(5): 31-37.  
CAO Pengfei, LIU Shaomin, XIA Yong, et al. Preparation of Nylon 6/Ag Composites Based on Electroless Silver Plating Method[J]. Packaging Journal, 2019, 11(5): 31-37.
- [3] 赖登旺, 李玉华, 刘跃军, 等. 碱化蒙脱土改性浇铸尼龙 6 复合材料的制备及性能研究 [J]. 包装学报, 2017, 9(6): 25-31.  
LAI Dengwang, LI Yuhua, LIU Yuejun, et al. Preparation and Properties of Nylon 6 Composites Modified by Alkalized Montmorillonite[J]. Packaging Journal, 2017, 9(6): 25-31.
- [4] HAN K Q, ZHANG X, ZHAN S, et al. Simultaneously Enhancing Mechanical Properties and Melt Flow Ability of Polyamide 6 by Blending with a Hyperbranched Polymer[J]. Journal of Macromolecular Science: Part B, 2010, 50(2): 225-235.
- [5] KUMAR S, SATAPATHY B K, MAITI S N. Correlation of Morphological Parameters and Mechanical Performance of Polyamide-612/Poly (Ethylene-Octene) Elastomer Blends[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2013, 24(5): 511-519.
- [6] YI Z, BING H, LIN Y. Preparation and Structure of Poly(Vinyl Alcohol)/Polyacrylate Elastomer Composite Hydrogels and Their Application in Wastewater Treatment by Immobilizing with Microorganisms[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2016, 55(37): 9934-9943.
- [7] CHEN T, QIU J H, ZHU K J, et al. Achieving High Performance Electric Field Induced Strain: A Rational Design of Hyperbranched Aromatic Polyamide Functionalized Graphene-Polyurethane Dielectric Elastomer Composites[J]. The Journal of Physical Chemistry B, 2015, 119(12): 4521-4530.
- [8] QIU G X, LIU G Y, QIU W, et al. Phase Morphology and Mechanical Properties of Polyamide-6/Polyolefin Elastomer-g-Maleic Anhydride Blends[J]. Journal of Macromolecular Science: Part B, 2014, 53(4): 615-624.
- [9] XU C, MA J, LI G H, et al. Enhanced Toughness for Polyamide 6 with a Core-Shell Structured Polyacrylic Modifier[J]. Journal of Polymer Research, 2017, 24(9): 147.
- [10] AZIZI A, AREFAZAR A, JAZANI O M. Tensile Behavior of Polypropylene/Polycarbonate/Poly(Styrene-b-(Ethylene-co-Butylene)-b-Styrene) Ternary Blend[J]. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2016, 29(3): 297-311.
- [11] ZHOU C, TENG Y, ZHOU L, et al. Morphology and Mechanical Properties of PA6/Organoclay Nanocomposites Toughened by Bulk Rubber and Core-Shell Rubber[J]. Plastics, Rubber and Composites, 2015, 44(8): 339-344.
- [12] DOU R, SHEN C, BO Y, et al. Tailoring the Impact Behavior of Polyamide 6 Ternary Blends via a Hierarchical

- Core-Shell Structure in Situ Formed in Melt Mixing[J]. RSC Advances, 2015, 5(19): 14592–14602.
- [13] MEHRABI MAZIDI M, RAZAVI AGHJEH M K. Synergistic Toughening Effects of Dispersed Components in PP/PA6/EPDM Ternary Blends; Quantitative Analysis of the Fracture Toughness via the Essential Work of Fracture (EWF) Methodology[J]. RSC Advances, 2015, 5(58): 47183–47198.
- [14] WU Y J, ZHANG H, SHENTU B Q, et al. Preparation of Poly(Phenylene Oxide)/Polyamide-6 Nanocomposites with High Tensile Strength and Excellent Impact Performance[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2015, 54(22): 5870–5875.
- [15] ZHOU S, LI Y B, MORSE Y S, et al. Effects of Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer on the Morphology and Mechanical Properties of Hydroxyapatite/Polyamide 66 Composites for Bone Tissue Engineering[J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2014, 53(3): 290–297.
- [16] KHANAL S P, MAHFUZ H, RONDINONE A J, et al. Improvement of the Fracture Toughness of Hydroxyapatite (HAp) by Incorporation of Carboxyl Functionalized Single Walled Carbon Nanotubes (CFSWCNTS) and Nylon[J]. Materials Science & Engineering C, 2016, 60: 204–210.
- [17] VLASVELD D P N, GROENEWOLD J, BERSEE H E N, et al. Moisture Absorption in Polyamide-6 Silicate Nanocomposites and Its Influence on the Mechanical Properties[J]. Polymer, 2005, 46(26): 12567–12576.
- [18] HEDICKE K, WITTICH H, MEHLER C, et al. Crystallisation Behaviour of Polyamide-6 and Polyamide-66 Nanocomposites[J]. Composites Science and Technology, 2006, 66(3/4): 571–575.
- [19] WILKINSON A N, MAN Z, STANFORD J L, et al. Tensile Properties of Melt Intercalated Polyamide 6-Montmorillonite Nanocomposites[J]. Composites Science and Technology, 2007, 67(15/16): 3360–3368.
- [20] MENG H, SUI G X, FANG P F, et al. Effects of Acid- and Diamine-Modified MWNTS on the Mechanical Properties and Crystallization Behavior of Polyamide 6[J]. Polymer, 2008, 49(2): 610–620.
- [21] 刘晓东, 程珏, 林欣, 等. 环氧树脂和环氧/环硫树脂与胺的固化反应动力学[J]. 化工学报, 2013, 64(11): 4046–4053.
- LIU Xiaodong, CHENG Jue, LIN Xin, et al. Curing Kinetics of Epoxy Resins/Amine System and Epoxy/Episulfide Resins/Amine System[J]. CIESC Journal, 2013, 64(11): 4046–4053.
- [22] 靳奇峰, 姜冬月, 佟丽娜, 等. 超支化环氧树脂增韧增强苯并噁嗪树脂[J]. 材料研究学报, 2017, 31(2): 145–151.
- JIN Qifeng, JIANG Dongyue, TONG Lina, et al. Simultaneously Toughening and Reinforcing Modification of Benzoxazine Resin with Hyperbranched Epoxy[J]. Chinese Journal of Materials Research, 2017, 31(2): 145–151.
- [23] LI S P, WU Q S, LV T, et al. Synthesis and Characterization of Hyperbranched Polymer with Epoxide-Terminated Group and Application as Modifier for Epoxy/Polyamide System[J]. Polymer Science: Series B, 2017, 59(3): 328–336.
- [24] 傅光华, 王天晴, 景铮, 等. 超支化聚酯酰胺的合成及在尼龙加工中的应用[J]. 武汉工程大学学报, 2020, 42(4): 395–400.
- FU Guanghua, WANG Tianqing, JING Zheng, et al. Synthesis of Hyperbranched Polyester Amide and Its Application as an Additive in Nylon[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2020, 42(4): 395–400.
- [25] LI J J, ZHU W J, ZHANG S F, et al. Amine-Terminated Hyperbranched Polyamide Covalent Functionalized Graphene Oxide-Reinforced Epoxy Nanocomposites with Enhanced Toughness and Mechanical Properties[J]. Polymer Testing, 2019, 76: 232–244.
- [26] JIN Q F, MISASI J M, WIGGINS J S, et al. Simultaneous Reinforcement and Toughness Improvement in an Aromatic Epoxy Network with an Aliphatic Hyperbranched Epoxy Modifier[J]. Polymer, 2015, 73: 174–182.
- [27] 肖军, 陈建敏, 孙曼灵, 等. 一种快速、准确、简便实用的环氧当量测定方法: 溴化氢-冰乙酸非水滴定法[J]. 热固性树脂, 2006, 21(5): 28–31.
- XIAO Jun, CHEN Jianmin, SUN Manling, et al. A Quick, Precise and Simple Method to Determine Epoxy Equivalent Weight: Non-Water Titration with Hydrobromide/Glacial Acetic Acid[J]. Thermosetting Resin, 2006, 21(5): 28–31.
- [28] 赵仁翔, 张德震, 陆士平, 等. 三官能团环氧树脂的合成及表征[J]. 热固性树脂, 2013, 28(5): 6–9.
- ZHAO Renxiang, ZHANG Dezhen, LU Shiping, et al. Synthesis and Characterization of Trifunctional Epoxy

Resin[J]. Thermosetting Resin, 2013, 28(5): 6-9.

[29] 张 雄, 占 珊, 韩克清, 等. 超支化聚合物对尼龙6结晶及力学性能的影响[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2008, 34(1): 15-19.

ZHANG Xiong, ZHAN Shan, HAN Keqing, et al. The

Effect of Hyperbranched Polymers on the Crystalline and Mechanical Properties of Nylon 6[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2008, 34(1): 15-19.

(责任编辑: 邓 彬)

## Preparation and Characterization of Polyamide 6 with Hyperbranched Epoxy Modifier

JIN Qifeng, FENG Peiyong, LIU Yuejun

( College of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China )

**Abstract:** To modify polyamide 6, hyperbranched polyether epoxy (AHEP) with combination of aliphatic moieties was incorporated at different concentrations into polyamide 6 resin. The melt flow behavior, crystallization behavior, and mechanical properties of the AHEP-PA6 blends were investigated by using melt flow indexer, WAXD, mechanics universal texter and SEM. The results showed that the degree of crystallinity was improved to certain degree with the addition of AHEP. The crystal form of PA6 changed into more stable  $\alpha$ -form crystal, with the weakening of  $\gamma$ -form. AHEP could be uniformly dispersed in PA6 matrix. The strong interaction between the two and the microcrosslinking structure improved the mechanical properties of PA6, and the fracture appearance of the blend system presented the characteristics of in-situ toughening and strengthening.

**Keywords:** hyperbranched epoxy; polyamide 6; crystallization