

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.02.022

熔融缩聚透明共聚酰胺的制备及表征^{*}

方春晖¹, 胡国胜¹, 张静婷¹, 王忠强^{1,2}, 刘冰肖¹

(1. 中北大学高分子与生物工程研究所, 太原 030051; 2. 东莞市信诺橡塑工业有限公司, 广东东莞 523860)

摘要:采用癸二胺、间苯二甲酸、2,2'-二甲基-4,4'-亚甲基双(环己胺)(DMDC)为单体,通过熔融缩聚法制备了透明间苯二甲酰癸二胺-间苯二甲酰2,2'-二甲基-4,4'-亚甲基双(环己胺)共聚酰胺(PA10I/DMDCI),利用偏光显微镜对其结构进行观察,并通过差示扫描量热和热失重对其热性能进行了表征。结果表明,获得的透明PA10I/DMDCI为非晶高聚物,特性黏度在0.73 dL/g以上,具有良好的热性能。当DMDC的加入量由0 mol增至0.11 mol时,透明PA10I/DMDCI的玻璃化转变温度由98℃提高至114℃,起始热分解温度由400℃提升至434.4℃,热分解活化能较高。

关键词: 癸二胺; 间苯二甲酸; 2,2'-二甲基-4,4'-亚甲基双(环己胺); 熔融聚合; 透明聚酰胺; 热性能

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)02-0111-05

Preparation and Characterization of Transparent Copolyamides via Melt Polycondensation

Fang Chunhui¹, Hu Guosheng¹, Zhang Jingting¹, Wang Zhongqiang^{1,2}, Liu Bingxiao¹

(1. Institute of Macromolecules & Bioengineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Dongguan Sinoplast Industrial Co., Ltd., Dongguan 523860, China)

Abstract: By using the monomer of decanediamine, isophthalic acid and 2,2'-dimethyl-4,4'-methylenebis(cyclohexylamine) (DMDC), transparent isophthaloyl decamethylene diamine-isophthaloyl 2,2'-dimethyl-4,4'-methylene bis(cyclohexylamine) copolyamide (PA10I / DMDCI) was synthesized through the process of melt polycondensation. The morphology was studied by polarizing microscope. The thermal properties were characterized by means of differential scanning calorimetry and thermal gravimetric analysis. Results show that, transparent PA10I / DMDCI is amorphous, its intrinsic viscosity is above 0.73 dL / g. Transparent PA10I / DMDCI has good thermal stability. When the amount of DMDC increase from 0 mol to 0.11 mol, the glass transition temperature of transparent PA10I / DMDCI increase from 98℃ to 114℃, the starting decomposition temperature increase from 400℃ to 434.4℃, its thermal degradation activation energy is higher.

Keywords: decanediamine; isophthalic acid; 2,2'-dimethyl-4,4'-methylenebis(cyclohexylamine); melt polycondensation; transparent polyamide; thermal property

透明聚酰胺是一种无定型或微晶的热塑性聚酰胺,具有很好的透明性,较高的力学强度,优异的热稳定性、尺寸稳定性、电绝缘性、耐老化性和耐化学药品性,同时容易加工成型^[1]。透明聚酰胺目前在汽车、电子电气、机械、光学、体育等领域应用较为广泛^[2-3]。由于其无臭无毒,也可用于食品包装膜、可视杯以及医药包装等^[4]。

由于透明聚酰胺无结晶相,故其耐热性由玻璃化转变温度(T_g)决定。为了满足工程塑料实用要求的耐热性,透明聚酰胺的 T_g 必须高于100℃^[5]。在分子链中引入芳环、脂环结构,能够增加分子链的刚性,提高聚酰胺的硬度和热变形温度,但刚性结构的过多引入会降低其韧性,造成粘流温度过高,难以加工。增大分子链中亚甲基($-\text{CH}_2-$)的链节长度,

则可以改善加工性能,同时可降低吸水率,改善其冲击韧性^[6-8]。蒋爱云等^[9-10]对固相缩聚SA型透明聚酰胺的结构和性能进行了系统研究,但固相缩聚工艺较为复杂,聚合周期长,生产成本较高。孙并臻等^[11]制备了透明间苯二甲酰癸二胺-氨基十一酸共聚酰胺(PA10I/11),其加入能够增强分子链柔性的11-氨基十一酸后,导致聚合物的 T_g 降低,限制了其在透明制品中的应用。

笔者以癸二胺、间苯二甲酸、2,2'-二甲基-4,4'-亚甲基双(环己胺)(DMDC)为原料,通过一步

^{*}广东省2013年度省部(院)产学研结合项目(2013B090500003)

联系人: 胡国胜,教授,博士生导师,主要从事高分子材料的合成、改性以及高性能化研究

收稿日期: 2015-11-12

熔融聚合法制备了透明间苯二甲酰癸二胺-间苯二甲酰2,2'-二甲基-4,4'-亚甲基双(环己胺)共聚酰胺(PA10I/DMDCI),并对其性能进行了表征。

1 实验部分

1.1 主要原材料

癸二胺:工业级,无锡殷达尼有限公司;

间苯二甲酸:工业级,中国石化扬子石油有限公司;

DMDC:工业级,深圳市业旭实业有限公司。

1.2 主要仪器与设备

高压聚合釜:WDFSK型,威海自控反应釜有限公司;

偏光显微镜(PLM):XTP-7型,上海光学仪器厂;

差示扫描量热(DSC)仪:DSC822^e型,瑞士Mettler Toledo公司;

热重(TG)分析仪:TGA-7000型,美国Perkin-Elmer公司。

1.3 透明PA10I/DMDCI的合成

将癸二胺、DMDC和间苯二甲酸按照表1配方混合均匀后加入反应釜中,同时加入100 mL蒸馏水。用氮气置换釜内空气数次,然后加压至0.2~0.4 MPa。开始加热的同时开启搅拌,2.5 h内匀速升温至200~220℃,保持釜内压力在1.6~2.0 MPa,恒温反应2 h后缓慢放气至常压,同时升温至230~240℃,常压下反应2 h,然后抽真空至-0.09 MPa,反应30 min,加压出料,即得到透明PA10I/DMDCI产物。

表1 透明PA10I/DMDCI的配方

组分	序号					mol
	1	2	3	4	5	
癸二胺	1	0.97	0.95	0.93	0.89	
DMDC	0	0.03	0.05	0.07	0.11	
间苯二甲酸	1	1	1	1	1	

1.4 性能测试与表征

特性黏度:取透明PA10I/DMDCI样品0.125 g,溶于25 mL浓度为98%的浓硫酸中,配制透明PA10I/DMDCI浓度为5 g/L的硫酸溶液。用稀释法测定其特性黏度。

PLM分析:取少量透明PA10I/DMDCI样品放置于干燥洁净的载玻片上,在热台上加热熔融,将PA10I/DMDCI熔体压成薄片,然后缓慢冷却后测试观察。

DSC测试:在氮气氛围下,将2~3 mg透明PA10I/DMDCI样品置于铝坩埚中,以10℃/min

的升温速率升温至300℃,恒温10 min消除热历史,然后以20℃/min降温至50℃,恒温10 min消除热历史,最后以10℃/min升温至300℃,记录所有过程的DSC曲线。

TG测试:取2~3 mg透明PA10I/DMDCI样品,将其置于干燥洁净的铝坩埚中,在氮气氛围下,以10℃/min的升温速率升至700℃,并记录升温过程中样品质量的变化。

2 结果与讨论

2.1 特性黏度

通过测定浓度为98%的浓硫酸和透明PA10I/DMDCI浓度为5 g/L的硫酸溶液在毛细管中的流动时间,计算溶液的相对黏度 η_r 和增比黏度 η_{sp} 。以溶液浓度 c 为横坐标,分别以 $\ln\eta_r/c$ 和 η_{sp}/c 为纵坐标作图。通过两组点各作直线,外推至 $c=0$,根据截距可得出特性黏度^[12]。图1为利用外推法计算加入0.11 mol的DMDC时透明PA10I/DMDCI的特性黏度。

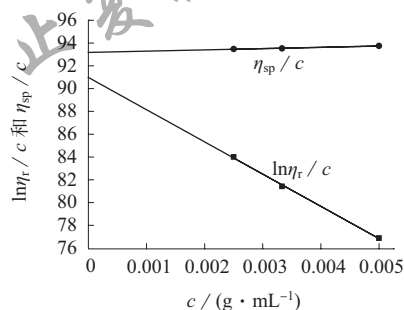


图1 外推法计算加入0.11 mol的DMDC时透明PA10I/DMDCI的特性黏度

根据图1可计算得出两直线外推截距的平均值为92 mL/g,即加入0.11 mol的DMDC时,透明PA10I/DMDCI的特性黏度为0.92 dL/g。用同样的方法可以得到分别加入0,0.03,0.05,0.07 mol的DMDC后,透明PA10I/DMDCI的特性黏度分别为0.73,0.77,0.81,0.85 dL/g。可以看出,随着DMDC含量的增加,透明PA10I/DMDCI的特性黏度不断增大。这可能是因为脂环结构的引入,溶质与溶质之间、溶质与溶剂间的摩擦力增大,造成流动时间延长,表现为特性黏度增大。

2.2 透明PA10I/DMDCI的PLM分析

图2为纯PA10I及加入0.11 mol的DMDC时透明PA10I/DMDCI放大100倍时的PLM照片。

由图2可以看出,纯PA10I及加入0.11 mol的DMDC时透明PA10I/DMDCI在PLM下均表现为暗场,没有出现清晰的亮点和消光黑十字。说明制

备的透明 PA10I/DMDCI 呈现光学各项同性,没有生成晶体结构,是非晶高聚物。这是因为间苯二甲酸的存在破坏分子链的规整性,使得透明 PA10I/DMDCI 很难结晶,得到无定形非晶产物。

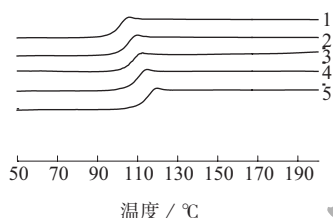


DMDC 含量: a—0 mol, b—0.11 mol

图2 纯 PA10I 及透明 PA10I/DMDCI 的 PLM 照片 ($\times 100$)

2.3 DSC 分析

图3为不同 DMDC 含量下透明 PA10I/DMDCI 的 DSC 曲线。



DMDC 含量: 1—0 mol; 2—0.03 mol;
3—0.05 mol; 4—0.07 mol; 5—0.11 mol

图3 透明 PA10I/DMDCI 的 DSC 曲线

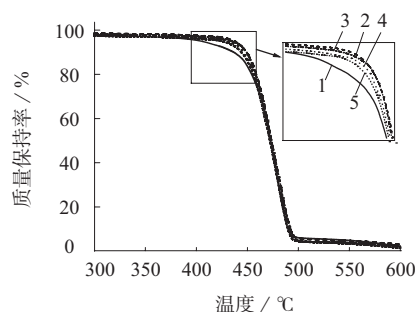
由图3可以看出,曲线中并没有出现相变吸收峰,只是出现了玻璃化转变,说明合成的产物为无定形非晶高聚物,这和 PLM 分析的结果是一致的。

根据 GB/T 19466.2-2004 中确定 T_g 的方法,当 DMDC 含量分别为 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.11 mol 时,透明 PA10I/DMDCI 的 T_g 分别为 98, 103, 106, 108, 114 °C。随着 DMDC 含量的增加,透明 PA10I/DMDCI 的 T_g 有所升高。这是由于脂肪族环结构的运动能力比柔性链段—CH₂—的运动能力弱,随着 DMDC 含量的增加,透明 PA10I/DMDCI 中可以内旋转的—CH₂—链段相对减少,半刚性的脂环单元所占的比例上升,增加了链的刚性,阻碍链的旋转,使其变硬,分子链的柔顺性下降,则透明 PA10I/DMDCI 的 T_g 升高。

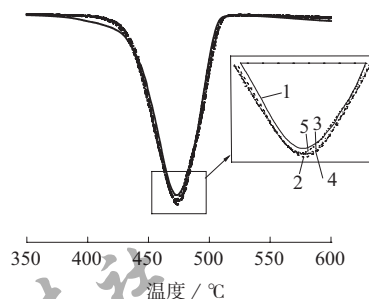
2.4 TG 分析

图4为不同 DMDC 含量下透明 PA10I/DMDCI 的 TG 和 DTG 曲线。

由图4a可以看出,不同 DMDC 含量下透明 PA10I/DMDCI 的起始分解温度均在 400 °C 以上,说明其具有较高的热分解温度,终止分解温度在



(a)



(b)

DMDC 含量: 1—0 mol; 2—0.03 mol;
3—0.05 mol; 4—0.07 mol; 5—0.11 mol
a—TG 曲线; b—DTG 曲线

图4 透明 PA10I/DMDCI 的 TG 和 DTG 曲线

500 °C 附近,温度超过 500 °C 基本完成分解。TG 曲线在 400 ~ 550 °C 温度范围内只有一个失重平台,可以推断 PA10I/DMDCI 在氮气氛围下的分解是一步分解过程,DMDC 的加入没有改变它的分解过程。这与缩聚反应产物的热分解为无规断链的机理相吻合。

由图4b可以看出,不同 DMDC 含量下的透明 PA10I/DMDCI 在 400 ~ 550 °C 范围内只有一个单峰,且最大热分解温度均在 475 °C 附近。

不同 DMDC 含量下的透明 PA10I/DMDCI 的 TG 和 DTG 数据见表2。

表2 透明 PA10I/DMDCI 的 TG 和 DTG 数据

序号	DMDC 含量/mol	起始热分解温度/°C	最大热分解温度/°C	分解 50% 时的温度/°C
1	0	404.7	473.2	472.8
2	0.03	430.2	476.4	473.7
3	0.05	436.8	478.0	472.3
4	0.07	434.6	478.3	473.8
5	0.11	434.4	473.8	472.0

从表2可以看到,与未加入 DMDC 的 PA10I 相比,加入 DMDC 后,透明 PA10I/DMDCI 的起始热分解温度由 404.7 °C 提升至 435 °C 左右,具有优异的热稳定性。这可能是透明 PA10I/DMDCI 中引入半刚性的脂环结构,分子链的刚性增加,使得其热分解温度提高,耐热性增强。

2.5 热分解活化能 (E) 的计算

利用 Coats-Redfern 积分法^[13]对 TG 和 DTG 数据进行处理分析,通过分解过程中不同温度下的转化率和对应温度之间的关系可求出热分解活化能 E ,其表达式为:

$$\ln\left[\frac{G(\alpha)}{T^2}\right] = \ln\left(\frac{AR}{\beta E}\right) - \frac{E}{RT}$$

式中: E ——热分解活化能;

A ——指前因子;

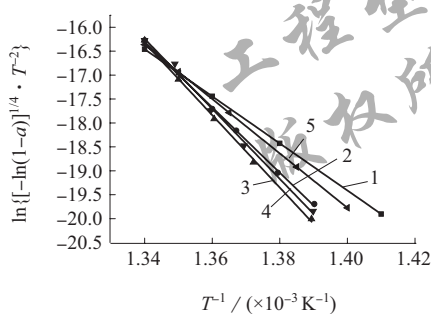
R ——气体普适常数;

T ——绝对温度;

β ——升温速率;

$G(\alpha)$ ——热分解机理函数。

由透明 PA10I/DMDCI 的 TG 和 DTG 曲线得到失重率 α 和对应的分解温度 T ,以 T^{-1} 为横坐标,以 $\ln[G(\alpha)/T^2]$ 为纵坐标作图,并进行线性拟合,根据斜率求出热分解活化能 E 。 $G(\alpha)$ 取自文献中报道的 30 种机理函数^[13]。利用试凑法可以发现,当 $G(\alpha)=[-\ln(1-\alpha)]^{1/4}$ 时,有很好的线性相关性,如图 5 所示。



DMDCI 含量: 1—0 mol; 2—0.03 mol;

3—0.05 mol; 4—0.07 mol; 5—0.11 mol

图 5 Coats-Redfern 积分法中透明 PA10I/DMDCI 的 α 与 T 的关系图

利用 Coats-Redfern 积分法得出的透明 PA10I/DMDCI 的热分解活化能 E 和拟合直线的线性相关系数 γ 见表 3。

表 3 透明 PA10I/DMDCI 的热分解活化能 E 和线性相关系数 γ

DMDCI 含量 / mol	T/K	$\alpha/\%$	$E/(kJ \cdot mol^{-1})$	γ
0	710 ~ 745	0.10 ~ 0.60	409.13	0.9982
0.03	710 ~ 745	0.10 ~ 0.60	594.08	0.9977
0.05	710 ~ 745	0.10 ~ 0.60	594.76	0.9977
0.07	710 ~ 745	0.10 ~ 0.60	594.57	0.9977
0.11	710 ~ 745	0.10 ~ 0.60	572.84	0.9965

从表 3 可以看出,当 $G(\alpha)=[-\ln(1-\alpha)]^{1/4}$ 时, $\ln[G(\alpha)/T^2]$ 的线性相关系数 γ 都比较大,有很好的线性相关性。不同 DMDCI 含量下的透明 PA10I/DMDCI 都有较高的热分解活化能,说明其具有较

好的耐热性。

3 结论

(1) 以癸二胺、间苯二甲酸和 DMDC 为原料,采用一步熔融聚合法成功制备了透明 PA10I/DMDCI。

(2) 制备的透明 PA10I/DMDCI 为非晶态,其特性黏度在 0.73 dL/g 以上,可达到工业需求。

(3) 当 DMDC 的加入量由 0 增加至 0.11 mol 时,透明 PA10I/DMDCI 的 T_g 从 98℃ 提高至 114℃,起始热分解温度由 400℃ 提升至 434.4℃,热分解活化能较高,合成的透明 PA10I/DMDCI 热稳定性优异。

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, 2011:923-925.
Zhu Jianmin. Polyamide resin and its application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011:923-925.
- [2] Saillard, B., Blondel P., Michalowicz C. Copolyamide, composition comprising such a copolyamide and their uses:US, 20110171408[P].2011-07-14.
- [3] 曹民, 肖中鹏, 张传辉, 等. 透明尼龙的性能与应用 [J]. 化工新型材料, 2014, 42(6):213-215, 225.
Cao Min, Xiao Zhongpeng, Zhang Chuanhui, et al. Characterization and application of transparent nylon [J]. New Chemical Materials, 2014, 42(6):213-215, 225.
- [4] 姚臻, 周亚单, 曹莹. 透明聚酰胺的研究进展 [J]. 化工进展, 2014, 33(12):3 276-3 282.
Yao Zhen, Zhou Yadan, Cao Kun. Developments of transparent polyamides [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2014, 33(12):3 276-3 282.
- [5] Bühler F S, Rytka C. Transparent mold made of a polyamide molding material:US, 8268956B2[P].2012-09-08.
- [6] Amimoto Y, Ogo Y, Sakka M. Semiaromatic polyamide resin composition:US, 6117942[P].2000-09-12.
- [7] 王佩刚. 含芳环尼龙的合成与表征 [D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
Wang Peigang. Synthesis and Characterization of nylon with aromatic ring [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [8] García J M, García F C, Serna F, et al. High-performance aromatic polyamides [J]. Progress in Polymer Science, 2010, 35(5):623-686.
- [9] 蒋爱云, 赵磊, 李新法, 等. 固相缩聚半芳香透明聚酰胺的流变性能 [J]. 塑料, 2012, 41(1):81-82, 66.
Jiang Aiyun, Zhao Lei, Li Xinfu, et al. The rheological behavior of semi-aromatic transparent polyamide prepared by solid state polycondensation [J]. Plastics, 2012, 41(1):81-82, 66.
- [10] 蒋爱云, 赵磊, 李新法, 等. 固相后缩聚 SA 型透明聚酰胺的热降解及机理研究 [J]. 合成材料老化与应用, 2013, 42(2):7-10.
Jiang Aiyun, Zhao Lei, Li Xinfu, et al. Thermal degradation and kinetics of semi-aromatic transparent polyamide synthesized by

- solid state polycondensation[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2013, 42(2): 7-10.
- [11] 孙并臻. 半芳香族透明共聚酰胺 10I/11 的合成与表征 [D]. 太原: 中北大学, 2014.
- Sun Bingzhen. Synthesis and characterization of semiaromatic transparent copolyamides 10I/11[D]. Taiyuan: North University of China, 2014.
- [12] 朱志伟, 胡国胜, 王保国. 一种测定尼龙-11 特性粘度的方法 [J]. 现代塑料加工应用, 2000, 12(6): 31-33.
- Zhu Zhiwei, Hu Guosheng, Wang Baoguo. A new method of measuring the characteristic viscosity for nylon-11[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2000, 12 (6): 31-33.
- [13] 胡荣祖, 史启祯. 热分析动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 63-64.
- Hu Rongzu, Shi Qizhen. Thermal analysis kinetics[M]. Beijing: Science Press, 2008: 63-64.

朗盛推动工程塑料业务的全球化

特殊化学品公司朗盛表示, 位于美国北卡罗来纳州加斯托尼亚的第二条高性能塑料混配生产线如期正式投入使用。这条全新的生产线投资约 1 500 万美元, 使该厂的年生产能力从 2 万 t 翻番至 4 万 t。

朗盛加斯托尼亚工厂根据客户要求, 采用特殊的添加剂与玻璃纤维将聚酰胺 (PA) 和聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT) 混合精炼, 生产出高性能塑料产品线杜力顿和保根。它们主要用于汽车工业, 用来制造轻量化塑料部件, 以替代汽车中的金属部件, 从而增加汽车的能效并降低排放。

朗盛集团管理董事会成员 Hubert Fink 表示, 这项投资体现了朗盛对高性能聚合物领域的关注, 凸显了公司向高附加值市场转型的战略。

朗盛高性能材料业务部全球负责人表示, 在未来几年中, 朗盛计划投资 5 000 万 ~ 1 亿欧元以促进高性能塑料业务的有机增长。通过这些投资项目, 他们将进一步平衡公司 PA 价值链的产能并推动工程塑料业务的全球化。

朗盛预计, 到 2020 年, 全球市场对汽车工程塑料的需求将以每年 7% 的速率增长。汽车生产规模的扩大以及向低油耗、轻量化发展的趋势推动着工程塑料需求的增长。

朗盛在塑料 / 金属复合材料技术领域处于全球领先地位, 该技术可降低汽车部件质量。与金属部件相比, 采用高性能塑料的汽车零部件质量可减轻 10% ~ 50%。朗盛的高科技塑料被广泛应用于汽车的各个部位, 如: 汽车引擎、车门结构、前端、脚踏板、车辆内饰部件等。此外, 高性能塑料产品也可以用于电子电气产业。

科思创推出超强抗冲击聚碳酸酯材料

在工作场所内发生的眼损伤是严重的职业危害, 对员工和企业都可能造成严重后果。仅在美国, 每天就有超过 2 000 人因与工作有关的眼伤需要就医。其中三分之一的人需要在医院接受急诊治疗, 100 多人因此误工一日或多日。据美国职业安全与健康管理局 (OSHA) 估计, 每年眼损伤造成的损失 (工期延误、医疗费用、工伤赔偿) 超过 3 亿美元。

科思创研发出一种超强抗冲击聚碳酸酯材料来保护劳动者的眼镜。由 Makrolon® 3207 制成的镜片不仅材质轻巧, 而且透明度堪比玻璃, 能够满足美国个人防护用品供应商 MCR Safety 公司的严格要求。该公司用此材料生产的古士 (Crews®) 防护眼镜、US Safety® 系列防护眼镜与防护面罩都通过了美国国家标准学会 Z87.1 标准的认证。

科思创用塑料制成的镜片具有工业防弹功能, 并且通过了防弹测试 (用 45 g 实心钢子弹以 45 ~ 121 m/s 的速度向

镜片进行射击)。这种极端条件下的测试很有必要, 有助于保障操作人员的眼睛免受日常工作中各种情况 (坠落物或飞出物、火花、金属屑、钉子或接触到有害物质等) 的危害。

MCR Safety 公司在亚洲地区研发出新型 US Defense® 系列防护眼镜, 以应对该地区更加严格的产品安全法要求。MCR Safety 产品经理 David Smith 说道, 40 多年来, MCR Safety 一直引领着个人防护用品行业的发展, 这次他们希望打造出一款世界顶级的产品, 并寻求能够帮助他们实现这一愿望的合作伙伴, 这些防护眼镜结实耐用, 不仅光学性能佳、耐冲击性强, 而且抗紫外线性能也非常出色。

科思创聚碳酸酯中国台湾地区大客户经理林忠庆补充说, 设计自由度高是 Makrolon® 3207 的另一个优势。它可以用于生产更薄的镜片, 提高顾客舒适性的同时也降低了企业的生产成本。

(中国聚合物网)

新聚合物膜遇光吸热按需放热

美国麻省理工学院官网近日发布消息称, 该校研究人员研制出一种能实现化学储能的固体材料——透明聚合物薄膜, 它能在白天存储太阳能, 并在需要时放热, 可用于窗户玻璃或衣服等多种不同的表面。

研究人员之一杰夫瑞·格罗斯曼教授解释称, 要想长期稳定地存储太阳能, 关键是将以化学变化而非热量的形式存储起来。目前建立在化学反应基础上的储能材料名为太阳热燃料 (STF), 已被研制出来, 但只能在液体中使用, 无法制成持久耐用的固态薄膜。新研制的聚合物薄膜是首个基于固态材料的聚合物, 不仅原材料便宜且制造过程简单。

研究人员尤金·周指出, 制造这种新材料只需两步, 非常简单。他们以偶氮苯进行实验, 通过改变分子组成来对光做出反应, 随后在小的热脉冲刺激下, 恢复到原始状态, 并在此过程中释放出更多热量。在实验中, 研究人员修改其化学属性从而改进能量密度, 形成光滑的表层和对热脉冲的反应能力, 最终得到了这种极其透明的新材料。

研究表明, 新透明薄膜可整合进汽车的前挡风玻璃, 吸收太阳光并存储起来, 随后只要一点热量“激活”, 它就能释放出热量, 融化玻璃上的冰。该系统可改进电动汽车的性能。在寒冷天气, 电动汽车需消耗太多能量来加热和融冰, 新聚合物有望大幅降低此类消耗。

格罗斯曼表示, 目前, 这种新材料呈微黄色, 影响了透明度, 他们正在进行改进。另外, 释放的热只能比周围环境高 10℃, 他们希望能提高到 20℃。

相关研究成果发表在最新一期的《先进能源材料》杂志上。

(中国聚合物网)