

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.02.025

尼龙弹性体增韧尼龙 6 性能研究

胡纲

(北京旭阳科技有限公司,北京 100070)

摘要:为考察尼龙弹性体 (TPAE) 作为增韧剂使用的性能,使用马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物 (POE-g-MAH) 和两种 TP AE (硬度分别为 30D,45D) 作为增韧剂添加至尼龙 6 树脂,研究不同增韧剂添加量情况下,改性尼龙 6 的性能的变化规律。研究发现,材料的拉伸强度、弯曲强度、耐热性能和流动性都随着增韧剂用量的增加而下降,而且下降比例高于添加比例,POE-g-MAH 和 45D 弹性体表现差异不大,30D 弹性体则下降较多;断裂伸长率和缺口冲击强度则随着增韧剂添加量的增加而升高。当添加量不超过 10% 时,POE-g-MAH 增韧效果与 45D 和 30D 差别不大,当添加量大于 15% 时,POE-g-MAH 增韧效果明显优于 45D 和 30D,但也使尼龙 6 材料的流动性降低得更多。另外,30D 和 45D 与尼龙 6 的相容性好,其合金的差示扫描量热谱图上只出现一个熔融峰。

关键词:尼龙弹性体;冲击强度;增韧剂;熔体流动速率;马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物;改性尼龙 6

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)02-0144-06

Study on Properties of Nylon6 Toughened by TP AE

Hu Gang

(Beijing Risun Sci & Tech Co. Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract : In order to investigate properties of modified nylon6 including thermoplastic polyamide elastomer (TPAE) as a toughening agent. Maleic anhydride grafted ethylene-octene copolymer (POE-g-MAH) and two grades of TP AE, 30D and 45D were added to nylon6 resin as components to found how the mechanical properties change with their proportion. It is found that tensile strength, flexural strength, vicat softening point and melt flow rate of modified nylon6 decrease as the toughening agent increase, and the decrease ratio is higher than the addition ratio. There is little difference between POE-g-MAH and 45D in above mentioned properties, while 30D effect them much. The Elongation at break and impact strength rise as the adding proportion increases. When the addition of toughening agent is no more than 10 percent, toughening effect of POE-g-MAH is not much different from that of 45D and 30D. As the proportion is more than 15 percent, toughening effect of POE-g-MAH is much better than 45D and 30D, at the same time decreasing the flowability much than 45D and 30D. 30D and 45D also have good compatibility with nylon6, for only one melting peak is investigated in the differential scanning calorimetry thermogram of modified nylon6.

Keywords : thermoplastic polyamide elastomer ; impact strength ; toughening agent ; melt flow rate ; maleic anhydride grafted ethylene-octene copolymer ; modified nylon6

尼龙 6 是聚酰胺类材料中产量最大的品种,具有力学强度高、电气绝缘性好、耐磨、自润滑、密度低、耐油、加工流动性好等优良的特性,因此在汽车、家电、电动工具、机械设备、电气设备、服装和包装行业都获得了广泛的应用。尽管尼龙 6 基础性能优异,但在许多使用场合中仍然需要改性^[1],改性尼龙通常有增韧尼龙、增强尼龙、增强阻燃尼龙等等,也包

括一些特殊功能化的尼龙^[2-3]。常温干态下或者低温下的尼龙 6^[4-5] 具有较低的缺口冲击韧性,需要提高,常见的方法包括:①使用与聚合物极性近似的增塑剂^[6],从而扩大了自由体积,链段活动性增加;②加入弹性体,如橡胶类和热塑性弹性体^[7-9],这一类增韧剂为了增加与尼龙的相容性,通常需要使用马来酸酐接枝、环氧基团接枝等方法来处理^[10-11];

通信作者:胡纲,硕士,主要研究方向为尼龙弹性体应用和聚酰胺改性开发

收稿日期:2021-12-02

引用格式:胡纲.尼龙弹性体增韧尼龙 6 性能研究[J].工程塑料应用,2022,50(2):144-149.

Hu Gang. Study on properties of PA6 toughened by TP AE[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(2):144-149.

③通过刚性核壳型粒子进行增韧,比如纳米蒙脱土等^[12]。在这几种方式中,第三类别通常因为相容性和分散性等问题,造成增韧效果不明显,若要进行界面改性或者原位聚合,处理过程较麻烦,所以多见于实验室阶段研究。第一类别增塑剂是液体,不如常温下为固态粉末和颗粒的热塑性弹性体方便添加,因此改性塑料行业多采用热塑性弹性体进行增韧,最常见增韧剂品种包括乙烯-辛烯共聚物(POE)、乙烯-丙烯-环戊二烯三元共聚物(EPDM)等^[7]。

尼龙弹性体(TPAE)是一类以尼龙类分子链段为硬段、聚醚胺类/聚醚酯类链段为软段而合成的热塑性嵌段共聚物^[13-16],这一类弹性体常温下软段处于玻璃化温度以上的高弹态,而硬段部分则由于范德华力和氢键的作用,通常处于无定形区和晶区相结合的相态结构,这部分属于物理交联而非化学键,当受热以后会发生熔融,冷却以后分子链又可以结晶和无定形态折叠排列,所以这类材料具备热塑性,从这个原理看,热塑性弹性体的力学性能很大程度上由硬段的分子结构决定,TPAE的硬段更换可以得到聚醚酯弹性体(TPEE),聚氨酯弹性体(TPU)等。TPAE的硬段可以是尼龙12、尼龙6、共聚尼龙等,市面上最为常见的是阿珂玛Pebax系列、赢创的Peba系列和日本宇部UBESTA系列产品。国内可提供商业化TPAE的有北京旭阳科技和浙江心源科技,国外产品多以尼龙12为硬段,国产产品由于原料的难获得性和专利限制的关系,多以尼龙6、共聚尼龙为硬段。尼龙12弹性体具有较好的回弹性、较低的熔点、密度和吸湿性,尼龙6弹性体则具有较好的耐热性和力学性能。另外,它具有一定长度的尼龙6的硬段,因此和尼龙6树脂具有相容性,是一类可以用于尼龙6改性的添加剂。笔者将硬度为30D和45D的两种尼龙6弹性体作为增韧剂添加到尼龙6树脂,研究其基本性能,与常见的马来酸酐接枝乙烯-辛烯共聚物(POE-g-MAH)进行比较,从而探讨各自的优势和不足。

1 实验部分

1.1 原材料

尼龙6:F136-C,帝斯曼(中国)有限公司;

抗氧剂:IRGANOX 1098,巴斯夫(中国)有限公司;

抗氧剂:IRGAFOS 168,巴斯夫(中国)有限公司;

TPAE:3010,30D,北京旭阳科技有限公司;

TPAE:4510,45D,北京旭阳科技有限公司;

POE-g-MAH:KT-9,沈阳科通塑胶有限公司;

润滑剂乙撑双硬脂酰胺(EBS):韩国信元化学株式会社。

1.2 主要设备及仪器

双螺杆挤出机:ZTE35型,科亚挤出装备有限公司;

注塑机:UN120SM型,广东伊之密精密机械有限公司;

万能试验机:Z020型,德国Zwick公司;

冲击试验机:HIT25P型,德国Zwick公司;

熔体质量流动速率(MFR)仪:1221型,承德金建检测仪器公司;

维卡软化点热变形温度测试仪:德国Coesfeld公司;

差示扫描量热(DSC)仪:DSC214型,德国netzsch公司。

1.3 试样制备方法

设计配方为,抗氧剂1098、抗氧剂168和EBS用量均为0.2%、0.3%和0.3%,三种增韧剂用量为5%~25%,每5%为一个梯度,称取物料,手工摇匀。双螺杆挤出机喂料一段设置温度为200℃,其他各段设置温度为235~240℃,保证在各物料熔点以上,转速为300 r/min,将混好的物料倒入挤出机主喂料斗,挤出、水冷拉条切粒,冷却以后,在120℃干燥4 h,注塑,成型条件为260℃,中等注射速度,中低注塑压力,加保压。使用ISO弯曲、拉伸、冲击样条模具进行注塑成型,制成样条,测试样条在23℃的室温条件下,用塑料袋密封,放置24 h冷却,然后进行性能测试。

1.4 性能测试

拉伸性能按照GB/T 1040-2006测试,样条截面10 mm×4 mm,拉伸速率为50 mm/min;

冲击性能按照GB/T 1843-2008测试,缺口样条截面为8 mm×4 mm,V型缺口,缺口深度为2 mm,摆锤选择为11 J;

弯曲性能按照GB/T 9341-2008测试,速率为2 mm/min,样条尺寸为10 mm×4 mm,弯曲形变达到6 mm结束实验;

MFR按照GB/T 3682-2000进行测试,条件260℃,总载荷为2.16 kg;

维卡软化点温度按照GB/T 1633-2000进行测试

试,试样厚度 4 mm,载荷选择为 10N 对应的砝码,升温速率为 120℃/h;

熔点使用 DSC 仪按照 GB/T 19466.3-2004 进行测试,试样质量 10~15 mg,升温速率 10℃/min。

2 结果与讨论

通常情形下添加增韧剂对材料的性能影响不仅仅只是在于冲击性能,除了可以增韧以外,弹性体的加入会导致材料受力时承载能力变差,即刚性下降,耐热性同时也下降;通常流动性会变差,因为微观下大颗粒的橡胶粒子通常流动性不好;同时,多数用于增韧的弹性体阻燃性不好,EPDM 和 POE-g-MAH 均为完全的碳链分子结构,乙烯-丙烯酸酯-缩水甘油醚类嵌段共聚物由碳氢氧组成,不含有磷氮等杂环结构,也没有类似苯环等容易成炭的分子结构,容易燃烧,所以添加较多比例会影响材料阻燃性。TPAE 跟这些增韧剂相比,分子含有酰胺结构,有 N 杂原子,阻燃性能可能会表现得更好一些,另外 TPAE 材料流动性很好。笔者研究比较了 TPAE 与 POE-g-MAH 用作增韧体系的差异,考察这两类尼龙增韧剂的优缺点,以方便在设计配方时能够扬长避短,将两类添加剂应用到更加适合的场合。

2.1 增韧剂对拉伸性能的影响

图 1 和图 2 分别是采用不同增韧剂及其添加量不同时尼龙 6 材料的拉伸强度和断裂伸长率。由图 1 可知,由于弹性体本身强度不如尼龙 6,所以拉伸强度会随着增韧剂的添加而降低,当添加到 25% 时,

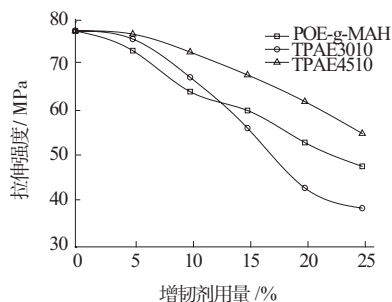


图 1 采用不同增韧剂及其添加量时尼龙 6 的拉伸强度

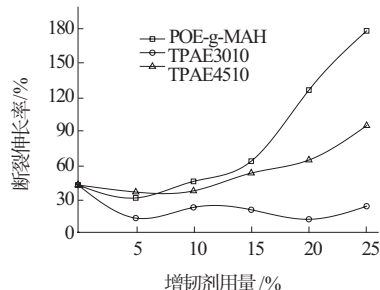


图 2 采用不同增韧剂及其添加量时尼龙 6 的断裂伸长率

尼龙 6 材料的拉伸强度下降超过 25%, 分别达到 34%, 38%, 50% (添加 4510, POE-g-MAH, 3010), 三种里面 4510 保持最好, 3010 最差。断裂伸长率是衡量材料在受到拉伸载荷时发生形变的能力, 尼龙 6 的变形能力不如增韧剂弹性体好, TPAE 和 POE-g-MAH, 其本体断裂伸长率都在 250% 以上。从图 2 可以看出, 弹性体 4510 和 POE-g-MAH 和尼龙 6 具有较好的相容性, 当添加量较少时, 伸长率与纯尼龙 6 相比, 变化不大, 而添加量较大时, 弹性体均能够起到传递载荷的作用, 靠弹性体中软段的变形提供伸长率, 而在拉伸过程中, 硬段起到了与尼龙 6 较好的连接作用, 所以两种增韧剂均能提供较高的伸长率, POE-g-MAH 的伸长率更高一些。3010 本体的伸长率在 300% 以上, 而添加 3010 的尼龙 6 材料伸长率明显不高, 这可能与硬段较短, 与尼龙 6 连接不好有关系。

2.2 增韧剂对弯曲性能的影响

图 3 和图 4 分别是采用不同增韧剂及其添加量不同时尼龙 6 材料的弯曲强度和弯曲弹性模量。

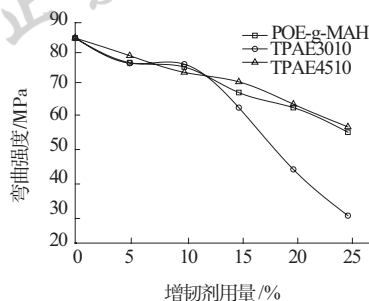


图 3 采用不同增韧剂及其添加量时尼龙 6 的弯曲强度

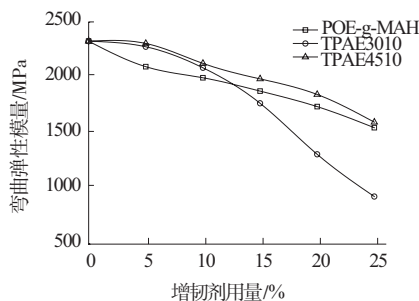


图 4 采用不同增韧剂及其添加量时尼龙 6 的弯曲弹性模量

由图 3 和图 4 可以看出, 表征材料刚性的弯曲强度以及弯曲弹性模量随着增韧剂增加, 而呈现不断单调下降的趋势。添加 POE-g-MAH 和 4510 的尼龙 6 体系, 其弯曲强度和弯曲弹性模量下降幅度最多时均在 35% 左右, 添加 3010 的尼龙 6 材料则下降超过 50%。由于弹性体本身弯曲强度极低, 弹性模量通常也只有几百 MPa, 体系的刚性大小,

即承受弯曲载荷的能力取决于基体中尼龙 6 含量多少,增韧剂比例越高,尼龙 6 含量越低,改性材料整体的弯曲强度和弯曲弹性模量就越差。就 4510 和 POE-g-MAH 的表现来看,可以说在刚性保持率上并无明显差异,当添加量较多时,4510 比 POE-g-MAH 保持略好,与前两者相比,3010 体系较差,因为 3010 本体弯曲强度较低,添加量多时会大大影响体系刚性。

2.3 增韧剂对冲击性能的影响

缺口冲击强度,从测试方法上说,是材料在瞬间受到摆锤冲击作用时,发生断裂能够短期耗散多少冲击能量的能力,对于聚合物的增韧,业界比较认可的说法是,较少的组分和较多的组分呈现海岛状结构分布,“海-岛”状的橡胶粒子通过自身变形、拔出、产生银纹、阻断裂纹等方式消耗冲击能量。图 5 为增韧剂添加量对尼龙 6 材料缺口冲击强度的影响。

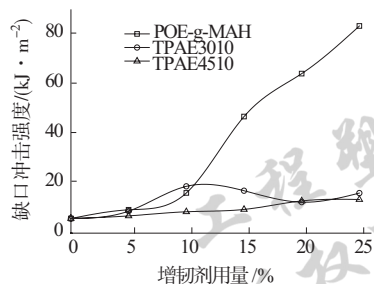


图 5 采用不同增韧剂及其添加量时尼龙 6 的缺口冲击强度

从图 5 看出,随着增韧剂添加量的增加, POE-g-MAH 和 4510 体系的缺口冲击强度随之上升,而 3010 体系则是在 10% 左右有一个峰值。当添加量较少,小于 5% 时,三种增韧剂效果差别不大,但添加量较多 ($\geq 15\%$) 时, POE-g-MAH 对尼龙 6 的增韧效果非常明显,出现了大幅度增加,当添加量达到 25%,缺口冲击强度由纯尼龙 6 的 5.9 kJ/m^2 上升到了 80 kJ/m^2 以上,是原始数据的 13 倍。而 3010 和 4510 增韧效果则没有那么好,在 25% 以内的添加量时,尼龙 6 的缺口冲击强度都达不到 20 kJ/m^2 ,只比原始数据多 3 倍。3010 添加量达到 10% 时达到最大值,此后继续增加也不能提高尼龙 6 体系的缺口冲击强度,甚至还有轻微下降。4510 则需要达到 25% 时达到最大值,但 20% 时和 25% 时差异不大。弹性体粒子分布在尼龙 6 中,可以通过自身发生一定的形变耗散能量,同时可以起到阻断裂纹的作用, POE-g-MAH 增韧效果要好于 TPAE,需要制作较高冲击性能的产品如电动工具等,可以考虑使用 POE-

g-MAH 增韧尼龙 6。就 3010 和 4510 的增韧表现来看,更像是分布在海岛中的增塑剂。

2.4 增韧剂对 MFR 的影响

表 1 是不同比例添加量的增韧剂制作的改性尼龙 6 的 MFR。从表 1 可以看出,增韧剂的加入降低了改性材料的流动性,但就三种增韧剂来说, POE-g-MAH 的影响更大,添加比例达到 25% 时, MFR 为原始树脂的 1/7,而添加 4510 时还能保持在 1/2 的水平。 POE-g-MAH 增韧尼龙 6 流动性大幅度下降的原因可能是,增韧剂自身的流动性不好,经查阅供应商的产品资料可知,其 MFR 在 190°C , 2.16 kg 载荷下,是 0.8 g/(10 min) ,证实了这一点。添加 4510 的尼龙 6 的 MFR 在 230°C , 2.16 kg 载荷下大约是 6 g/(10 min) ,添加 3010 的尼龙 6 的 MFR 在 210°C , 2.16 kg 载荷下为 25 g/(10 min) ,则流动性排序为, $3010 > 4510 > \text{POE-g-MAH}$,添加 3010 仍然保持了尼龙 6 材料的流动性。

表 1 采用不同增韧剂及其添加量时尼龙 6 的 MFR g/(10 min)

增韧剂	增韧剂质量分数 / %					
	0	5	10	15	20	25
POE-g-MAH	14.2	13.2	9.9	5.8	3.6	2.1
3010	14.2	13.2	14.0	13.5	12.7	12.3
4510	14.2	13.3	10.1	8.5	7.8	7.4

2.5 增韧剂对维卡软化点温度的影响

增韧尼龙的热变形温度不高,当不添加玻纤时,通常热变形温度在 60°C 以上,采用维卡软化点温度来衡量材料的耐热性变化,表 2 是采用不同增韧剂及其添加量时尼龙 6 材料的维卡软化点。由表 2 可知,增韧剂的添加会导致尼龙 6 合金材料的耐热性小幅度下降,4510 和 POE-g-MAH 在相同添加比例下,耐热性相当,没有明显差异,添加 3010 则比这两者都要低。因为测量耐热性通常是用材料在升温过程中达到一定的变形幅度来衡量的,弹性体本身没有载荷能力,承载能力主要靠尼龙 6 树脂提供,添加弹性体越多,尼龙 6 含量越低,刚性就越低,受热时形变达到一定幅度越容易,所以耐热性降低。

表 2 采用不同增韧剂及其添加量时尼龙 6 的维卡软化点 $^\circ\text{C}$

增韧剂	增韧剂质量分数 / %					
	0	5	10	15	20	25
POE-g-MAH	216.8	214.7	214.0	213.6	212.5	212.1
3010	216.8	215.3	214.4	211.7	204.1	201.3
4510	216.8	215.8	214.2	213.9	212.5	211.8

2.6 尼龙 6 和 TP AE/POE-g-MAH 的相容性

尼龙 6 中添加 TP AE,两者都有尼龙 6 的分子链,所以具有一定的相容性。此相容性可以通过测

试材料的熔点进行评价,两个完全不相容的材料会各自呈现自己的熔点,出现双峰结构,如果部分相容,此温度会向对方移动,但仍然是保持两个峰形;如果完全相容,则会在中间一个位置出现单一的峰形。基于这一点,用DSC方法测试了尼龙6、3010、4510以及改性尼龙6材料(增韧剂含量均为25%)的熔点,如图6所示。

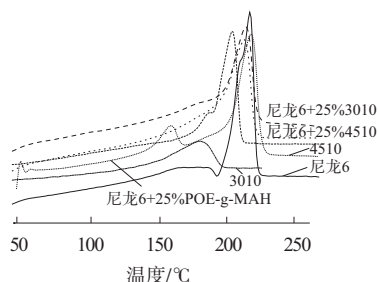


图6 尼龙6、3010、4510及不同配方改性尼龙6的DSC曲线

从图6可以看出,3010、4510和尼龙6的熔点分别是185,209和221℃。3010的峰高度明显比较低,而且比较宽,峰的高低是由相转变时的热焓引起的电信号所决定的,做DSC实验时会称取10~15mg粒子,每一个实验中称取的不同粒子的质量相差不超过50%,相转变时的热焓低,很可能的原因是3010的软段较多,硬段较少,导致材料结晶度低,在熔点附近没有发生大量的晶体熔融导致的相变热。跟4510、3010以及改性尼龙6不同,尼龙6显得最为尖锐,峰也最高,说明其结晶度最高。而添加25%3010和4510的材料,其熔点介于两者之间,且图线较平滑,只有一个峰形,这说明在这两个比例下,3010、4510和尼龙6的相容性都较好,在图中只出现一个熔融相转变的吸热峰。另外,对POE-g-MAH添加到尼龙6的改性材料也进行了熔点测试,发现图中有两个峰,一个峰在160℃,另一个在220℃和尼龙6一致,说明在25%的添加量情况下,POE-g-MAH和尼龙6不是完全相容,这一点不如两种TPAE。

3 结论

(1) 当加入增韧剂时,改性尼龙6的缺口冲击强度上升,添加量在5%以内,POE-g-MAH稍高于4510和3010,但在15%以上,含POE-g-MAH的尼龙6材料缺口冲击强度迅速上升,大幅度高于添加4510和3010的尼龙6,加入25%时,尼龙6材料缺口冲击强度达到80 kJ/m²,这几种弹性体都可以起到增韧作用,但POE-g-MAH效果更好。

(2) 增韧剂导致改性尼龙6材料的拉伸强度、刚

性和耐热性下降,而且添加量越多,下降得越多,添加25%时,添加4510和POE-g-MAH的尼龙6弯曲强度和弯曲弹性模量下降幅度在35%左右,添加3010的下降幅度在50%,都高于添加比例。另外,断裂伸长率在添加10%以内变化不大,但在15%以上会随着添加量增加迅速增加,最大可达100%以上,POE-g-MAH表现更好;同时,增韧剂的加入也会使尼龙6体系的流动性下降,POE-g-MAH下降得更多,而3010能保持体系的流动性。

(3) POE-g-MAH适合需要较高增韧性的体系,而4510和3010适合对流动性有要求,但增韧效能要求不特别高的薄壁制件。

(4) 两种弹性体3010和4510和尼龙6的相容性都较好,熔融曲线上只出现一个熔点。

参考文献

- [1] 刘歌,曹新鑫,罗四海,等.尼龙6共混改性研究进展[J].塑料包装,2013,23(4):15-20.
Liu Ge, Cao Xinxin, Luo Sihai, et al. Research progress of the blending modification of nylon6[J]. Plastics Packaging, 2013, 23(4):15-20.
- [2] 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.
- [3] 郭威男.高韧性尼龙6/EVOH阻隔材料的制备、形态结构及性能研究[D].太原:中北大学,2012.
Guo Weinan. Investigation of the preparation, morphology and properties of PA6/EVOH barrier blends with high toughness[D]. Taiyuan: North University of China, 2012.
- [4] 李敏,刘长维,李小宁,等.低温增韧尼龙6的制备与研究[J].塑料,2009,38(2):59-61.
Li Min, Liu Changwei, Li Xiaoning, et al. The preparation and study of Nylon 6 by low temperature toughness[J]. Plastics, 2009, 38(2):59-61.
- [5] 冯德才,许鸿基,郭唐华,等.尼龙6/沙林合金的制备及其性能研究[J].塑料工业,2019,47(9):24-27.
Feng Decai, Xu Hongji, Guo Tanghua, et al. Preparation and properties of Nylon 6/surlyn alloy[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(9):24-27.
- [6] 王晓斌.尼龙6的增韧增透改性及性能研究[D].广州:华南理工大学,2016.
Wang Xiaobin. Study on the properties of toughening and transparent modified nylon 6[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.
- [7] 张凤兰,王玉,赵文聘,等.接枝POE和EPDM增韧尼龙6的性

- 能[J]. 塑料科技, 2006, 32(5):32-34.
- Zhang Fenglan, Wang Yu, Zhao Wenpin. Properties of graft POE-and graft EPDM-toughened nylon6[D]. *Plastics Science & Technology*, 2006, 32(5):32-34.
- [8] 王萍丽, 孔壮志, 季君晖. POE-g-MAH 对尼龙 6 的增韧改性[J]. *高分子材料科学与工程*, 2012, 28(4):38-45.
- Wang Pingli, Kong Zhuangzhi, Ji Junhui. Toughing modified PA6 by POE-g-MAHP[J]. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2012, 28(4):38-45.
- [9] 徐铭韩. 二元乙丙橡胶接枝马来酸酐增韧改性尼龙的研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2012.
- Xu Minghan. Study on toughening modification of polyamides with maleic anhydride grafted ethylene propylene rubber[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2012.
- [10] 王岚. 接枝 POE 弹性体的制备及其在聚酰胺改性中的应用研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2000.
- Wang Lan. Study on preparation of grafted POE elastomer and its application in polyamide modification[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2000.
- [11] 胥成, 郭强, 汪晓明. 反应挤出法制备马来酸酐接枝 POE[J]. *塑料*, 2006, 35(1):54-57.
- Xu Cheng, Guo Qiang, Wang Xiaoming. Preparation of POE grafted with maleic anhydride by reactive extrusion[J]. *Plastics*, 2006, 35(1):54-57.
- [12] 张彦飞, 刘昭特, 李迎春, 等. PA/POE/OMMT 复合材料的制备及性能研究[J]. *工程塑料应用*, 2013, 41(4):5-8.
- Zhang Yanfei, Liu Zhaote, Li Yingchun, et al. Study on preparation and properties of PA/POE/OMMT composites[J]. *Engineering Plastics Application*, 2013, 41(4):5-8.
- [13] 雷景新, 郭东阳, 高峻, 等. 聚酰胺弹性体的合成及结构与性能分析[J]. *高分子材料科学与工程*, 2014, 30(2):100-103.
- Lei Jingxin, Guo Dongyang, Gao Jun, et al. Synthesis, characterization and properties analysis of polyamide elastomers[J]. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2014, 30(2):100-103.
- [14] 陈广建. 新型聚酰胺热塑性弹性体合成及性能研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2018.
- Chen Guangjian. Synthesis and characterization of the novel thermoplastic polyamide elastomer [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2018.
- [15] 吕小龙. 热塑性尼龙 610 弹性体合成及结构与性能研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2016.
- Lyu Xiaolong. Synthesis structure and properties of polyamide 610 thermoplastic elastomer[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2016.
- [16] 王豪健. 聚酰胺 6 型热塑性弹性体的合成表征及性能研究[D]. 上海: 东华大学, 2010.
- Wang Haojian. Study on the preparation and structure-property of thermoplastic polyamide-66 elastomer[D]. Shanghai: Donghua University, 2010.
-
- (上接第 131 页)
- catheter materials[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2020.
- [16] 张昊博, 武德珍, 程珏, 等. 聚酰亚胺表面光接枝对粘接性能的影响研究[J]. *中国胶粘剂*, 2021, 30(11):1-5, 18.
- Zhang Haobo, Wu Dezhen, Cheng Yu, et al. Effect of photografting on adhesion properties of polyimide[J]. *China Adhesives*, 2021, 30(11):1-5, 18.
- [17] Rosi F, Miliani C, Gardner P, et al. Unveiling the composition of historical plastics through non-invasive reflection FT-IR spectroscopy in the extended near-and mid-infrared spectral range[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2021. DOI:10.1016/J.ACA.2021.338602.
- [18] Sandt C, Waeytens J, Deniset-Besseau A, et al. Use and misuse of FTIR spectroscopy for studying the bio-oxidation of plastics[J]. *Spectrochimica Acta ; Spectrochimica Acta Part A:Molecular Spectroscopy*, 2021. DOI:10.1016/J.SAA.2021.119841.
- [19] Sushkevich T A, Falaleeva V A. Hyperspectral model of solar radiation transport in an atmosphere with cirrus clouds[J]. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2021, 57(3):277-285.
- [20] Jiménez-González M A, De la Rosa J M, Aksoy E, et al. Spatial distribution of pyrogenic carbon in Iberian topsoils estimated by chemometric analysis of infrared spectra[J]. *Science of the Total Environment*, 2021. DOI:10.1016/J.SCITOTENV.2021.148170.