

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.09.009

柔性挤出尼龙材料的制备及性能

马学彬¹, 王乐阳¹, 冀文广¹, 李振伟¹, 潘如帅¹, 付鹏²

(1. 山东祥龙新材料股份有限公司, 山东潍坊 262605; 2. 郑州大学材料科学与工程学院, 郑州 450001)

摘要: 为了研究增塑剂 *N*-丁基苯磺酰胺含量和尼龙树脂种类对长碳链尼龙材料性能的影响, 采用熔融共混挤出改性的方法, 以尼龙 612 (PA612) 树脂为基材, 制备了不同增塑剂含量的 PA612 材料; 然后分别以尼龙 610 (PA610)、PA612、尼龙 1012 (PA1012) 和尼龙 12 (PA12) 树脂为基材, 将增塑剂质量分数固定为 12.5%, 制备了 4 种柔性挤出尼龙材料。测试了 PA612 材料的热性能和力学性能以及 4 种柔性挤出尼龙材料高温水解老化前后的性能。结果表明, 随着增塑剂含量的增加, PA612 材料的拉伸屈服强度、弯曲强度、弯曲模量、表面硬度和熔融温度均下降, 而熔体流动速率、断裂伸长率和常温缺口冲击强度提高, 低温缺口冲击强度基本保持不变; 4 种柔性挤出尼龙材料经过防冻液高温水解老化后, 拉伸断裂强度、断裂伸长率、缺口冲击强度和质量呈现减少趋势, 弯曲强度和弯曲模量总体上表现为增大趋势, PA1012 和 PA12 材料的耐高温水解性能优于 PA610 和 PA612 材料。

关键词: 长碳链尼龙; 汽车管路; 柔性; 挤出; 增塑剂; 耐水解

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)09-0057-07

Preparation and properties of flexible extruded nylon materials

MA Xuebin¹, WANG Leyang¹, JI Wenguang¹, LI Zhenwei¹, PAN Rushuai¹, FU Peng²

(1. Shandong Xianglong New Materials Co., Ltd., Weifang 262605, China;

2. School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract : In order to investigate the effects of plasticizer *N*-n-butyl benzene sulfonamide content and the types of nylon resin on the properties of long carbon chain nylon materials, the method of melt blending extrusion modification was adopted for preparing nylon 612 (PA612) materials with different plasticizer contents with using PA612 resin as substrate. Then, four flexible extruded nylon materials were prepared with using nylon 610 (PA610), PA612, nylon 1012 (PA1012) and nylon 12 (PA12) resins as substrates, with a plasticizer content of 12.5 wt%. The thermal and mechanical properties of PA612 materials, as well as the performances of the four flexible extruded nylon materials before and after high-temperature hydrolysis aging were tested. The results show that with the increase of plasticizer content, the tensile strength at yield, flexural strength, flexural modulus, surface hardness, and melting temperature of PA612 material all decrease, while the melt flow rate, elongation at break, and room temperature notched impact strength increase, the low-temperature notched impact strength remains basically unchanged. After high-temperature hydrolysis aging with antifreeze fluid, the tensile strength at break, elongation at break, notched impact strength and mass of the four flexible extruded nylon materials show a reducing trend, while the flexural strength and modulus show an increasing trend as a whole. The high-temperature hydrolysis resistance of PA1012 and PA12 materials are better than that of PA610 and PA612 materials.

Keywords : long carbon chain nylon ; automotive piping ; flexibility ; extruded ; plasticizer ; hydrolysis resistance

在日益提高的节能环保标准下, 汽车产业在新型发动机研发、新能源化转型、汽车轻量化等领域进行的全新探索, 以及汽车产业的变革为尼龙等工程塑料带来了巨大增量市场^[1]。在节能减排的背景

下, 由于尼龙材料具有轻量化、耐高温、耐油等多重优势, 在汽车行业中的应用正在逐步增加^[2]。不论是传统燃油车还是新能源汽车领域, 汽车流体管路都是汽车各个子系统的 key 组成部分, 这些管路用

通信作者: 王乐阳, 硕士, 研究方向为聚酰胺及特种聚酰胺的设计与制备、改性

收稿日期: 2024-06-11

引用格式: 马学彬, 王乐阳, 冀文广, 等. 柔性挤出尼龙材料的制备及性能[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(9): 57-63.

MA Xuebin, WANG Leyang, JI Wenguang, et al. Preparation and properties of flexible extruded nylon materials[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(9): 57-63.

于输送各种液体和气体,如燃油、润滑油、制冷剂和冷却液等,帮助汽车各个子系统正常运行,确保整车顺利工作。

汽车管路零部件不仅需要材料具备良好的力学性能,还需具备优异的耐水解性、耐候性以及耐高温性等特性。相较于短碳链尼龙,长碳链尼龙酰胺键密度较低,吸水率较小,因此成为管路零部件中最常采用的尼龙材料之一,包括输油管、冷却液管、制动管路、波纹管、汽车空调软管等^[3]。与橡胶管和金属管相比,尼龙管具有明显的轻量化优势,尤其在管路长度较长时表现更加突出^[4]。尼龙类塑料冷却液管路被视为未来新能源汽车中最主要的产品类型之一^[5]。

长碳链尼龙通常指的是其链段中酰胺键之间的亚甲基数量在10以上的尼龙类型^[6-8]。随着分子链长度的增加,聚酰胺材料的性能会发生改变,包括吸水率降低、密度减小、柔韧性增强以及耐醇解性更高等^[9]。汽车用软管材料需要具有一定的韧性、强度和柔软性,满足较高的爆破压力和低温冲击测试要求,也可以实现复杂的管路设计和布局。新能源电池包冷却系统通常采用水和乙二醇的混合液作为冷却介质,材料需要更高的耐水解性。

笔者以长碳链尼龙为基材,通过添加各种辅助材料改性后,制备了一系列柔性挤出尼龙材料。首先考察不同增塑剂含量对尼龙612(PA612)材料热性能和力学性能的影响,然后进一步考察不同基体尼龙树脂对材料高温水解前后力学性能的影响,进而为高耐水解的柔性长碳链尼龙材料的研发提供技术支持。

1 实验部分

1.1 主要原材料

尼龙610(PA610)、PA612、尼龙1012(PA1012):12型,熔体流动速率(MFR)均为4 g/10 min (230 °C, 2.16 kg),山东祥龙新材料股份有限公司;

尼龙12(PA12):L3000,万华化学(烟台)石化有限公司;

增塑剂:*N*-丁基苯磺酰胺(N-BBSA),浙江普威伦化工有限公司;

抗氧剂:2'-(2'-羟基-3'-叔丁基-5'-甲基苯基)-5-氯苯并三唑(抗氧剂310)、四(3,5-二叔丁基-4-羟基)苯丙酸季戊四醇酯和3-(1,1-二甲基乙基)-B-[3-(1,1-二甲基乙基)-4-羟基苯基]-4-羟基-B-甲基苯甲酸-1,

2-亚乙基酯混合物(抗氧剂326),天津利安隆新材料股份有限公司;

润滑剂:季戊四醇硬脂酸酯(PETS),意大利法基有限公司;

G12防冻液:市售。

1.2 主要仪器及设备

同向双螺杆挤出机:CTE 35 Plus,科倍隆(南京)机械有限公司;

注塑机:SA860/2600,中国海天集团有限公司;

MFR仪:RL-11B1,上海思尔达科学仪器有限公司;

电子拉力试验机:E44.204,美特斯(中国)工业系统有限公司;

摆锤式冲击试验机:ZBC8400-B,美特斯(中国)工业系统有限公司;

差示扫描量热(DSC)仪:HSC-1,北京恒久实验设备有限公司;

邵氏硬度计:LX-D,上海六菱仪器厂;

恒温油槽:HH-SA,常州金坛良友仪器有限公司。

1.3 柔性挤出尼龙材料的制备

根据表1和表2中的配方,首先将经过干燥处理的尼龙树脂、抗氧剂和润滑剂按照一定比例均匀混合。然后,将混合好的材料通过主喂料口加入双

表1 不同含量增塑剂N-BBSA的PA612材料的配方(质量分数)

Tab. 1 Formulations (mass fraction) of PA612 materials with different plasticizer N-BBSA contents

Samples	PA612	N-BBSA	Antioxidants		PETS
			310	326	
1 [#]	99	0	0.2	0.2	0.6
2 [#]	96.5	2.5	0.2	0.2	0.6
3 [#]	94	5	0.2	0.2	0.6
4 [#]	91.5	7.5	0.2	0.2	0.6
5 [#]	89	10	0.2	0.2	0.6
6 [#]	86.5	12.5	0.2	0.2	0.6
7 [#]	84	15	0.2	0.2	0.6

表2 含不同尼龙树脂的尼龙材料的配方(质量分数)

Tab. 2 Formulations (mass fraction) of nylon materials containing different nylon resins

Samples	PA610	PA612	PA1012	PA12	N-BBSA	Other additives
8 [#]	86.5				12.5	1
6 [#]		86.5			12.5	1
9 [#]			86.5		12.5	1
10 [#]				86.5	12.5	1

螺杆挤出机中进行熔融混合,增塑剂则通过压力泵注入挤出机的侧喂料口。在设定好的转速和温度下,进行挤出混合,将挤出的材料经过水冷、风干、切粒和烘干处理,最终获得柔性挤出尼龙材料,然后通过注塑机制备标准试样。挤出过程中,主机转速设定为 300 r/min,挤出机 1~9 区温度分别设为 220, 240, 240, 240, 240, 230, 230, 230, 230 °C,机头温度设为 240 °C。注塑过程中,注塑温度设为 220~240 °C,模具温度设为 50~70 °C,注塑压力设为 60~80 MPa。

1.4 测试与表征

(1)力学性能测试:拉伸性能按照 GB/T 1040.1-2018 测试,拉伸速度设定为 50 mm/min;弯曲性能按照 GB/T 9341-2008 测试,弯曲速度设定为 2 mm/min,跨度为 64 mm;冲击性能按照 GB/T 1043.1-2008 测试,摆锤能量设定为 4 J。

(2)硬度测试:按照 GB/T 2411-2008 测定材料的邵氏硬度。

(3) MFR 测试:按照 GB/T 3682.1-2018 测试材料的 MFR,测试温度为 230 °C,砝码质量为 2.16 kg。

(4) DSC 测试:在 N₂ 气氛下,将样品以 10 °C/min 的升温速率从室温加热至 280 °C,恒温 5 min;以 10 °C/min 的降温速率降至 25 °C;最后再以 10 °C/min 的升温速率升高至 280 °C。

(5)水解老化测试:将样品放入三口烧瓶中,其中装有 G12 防冻液,并带有冷凝装置;将烧瓶放入恒温油槽中,将温度升至 120 °C,在老化 48, 250, 500, 750, 1 000 h 后,取出样品;用蒸馏水清洗样品表面的防冻液,然后将样品置于 23 °C, 50% 相对湿度的环境中静置 24 h,随后测试样品水解后的力学性能和质量变化。

2 结果与讨论

2.1 增塑剂含量对 PA612 材料熔融温度和 MFR 的影响

图 1 为不同增塑剂含量的 PA612 材料的熔融 DSC 曲线,表 3 为不同塑剂含量的 PA612 材料的熔融峰温度数据,图 2 为不同增塑剂含量的 PA612 材料的 MFR 变化。从图 1、图 2 和表 3 可以看出,随着增塑剂含量的增加,PA612 材料的熔融峰向低温处偏移,熔融峰温度呈下降趋势,而 MFR 呈上升趋势。增塑改性后,树脂基体的熔点和熔体黏度会下降,而冲击性能则会有所提升^[10]。熔点和熔体黏度的下

降有利于柔性尼龙材料的挤出成型。

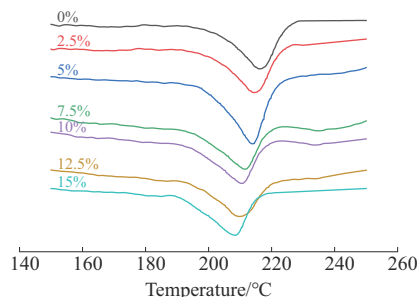


图1 不同增塑剂含量的 PA612 材料的熔融 DSC 曲线

Fig. 1 Melting DSC curves of PA612 materials with different plasticizer contents

表 3 不同增塑剂含量的 PA612 材料的熔融峰温度数据

Tab. 3 Melting peak temperature data of PA612 materials with different plasticizer contents

Item	Mass fraction of plasticizer/%						
	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15
Melting peak temperature/°C	216.3	214.5	213.8	211.5	210.5	209.8	208.5

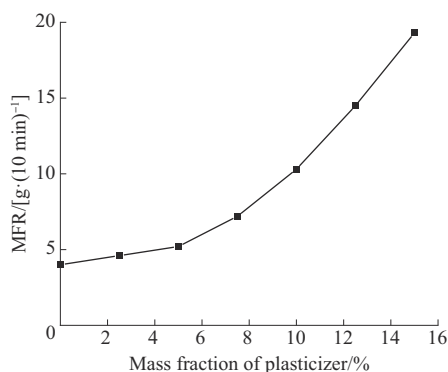


图2 不同增塑剂含量的 PA612 材料的 MFR

Fig. 2 MFR of PA612 materials with different plasticizer contents

2.2 增塑剂含量对 PA612 材料力学性能的影响

图 3~图 6 分别是不同增塑剂含量的 PA612 材料的表面硬度、拉伸性能、弯曲性能、常温 and 低温冲击强度的变化。从图 3~图 6 可以观察到,随着增塑剂含量的增加,PA612 材料的断裂伸长率和常温缺口冲击强度呈现增加的趋势,这表明材料的韧性提高,但低温缺口冲击强度变化不明显,说明增塑剂对提高材料的低温韧性没有太大影响;表面硬度、弯曲强度和弯曲模量呈现下降趋势,这表明材料的强度和刚性降低;尼龙材料的拉伸断裂强度变化不大;在增塑剂质量分数低于 7.5% 之前,材料的拉伸屈服强度呈现下降趋势,当增塑剂质量分数超过 7.5% 以后,材料没有出现明显的屈服点。

尼龙材料的主要结构单元是酰胺键,与苯磺酰胺类化合物在结构上类似,分子量较低的苯磺酰胺

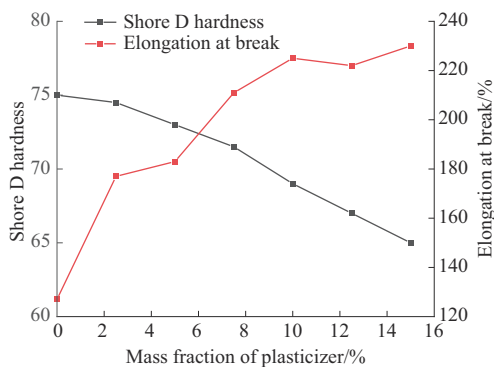


图3 不同增塑剂含量的PA612材料的表面硬度和断裂伸长率

Fig. 3 Surface hardness and elongation at break of PA612 materials with different plasticizer contents

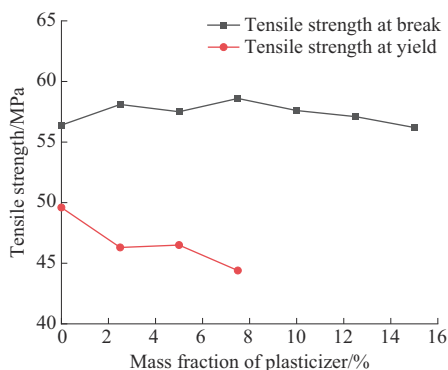


图4 不同增塑剂含量的PA612材料的拉伸强度

Fig. 4 Tensile strength of PA612 materials with different plasticizer contents

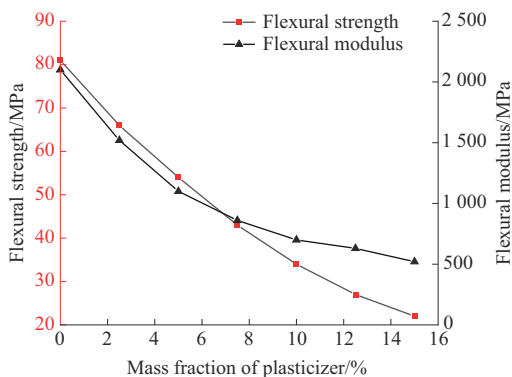


图5 不同增塑剂含量的PA612材料的弯曲强度和弯曲模量

Fig. 5 Flexural strength and flexural modulus of PA612 materials with different plasticizer contents

类化合物是尼龙材料的优良增塑剂。增塑剂与尼龙的相互作用及自由体积决定了增塑剂的效率,而苯磺酰胺类增塑剂与尼龙的溶解度参数接近^[1]。增塑剂分子结构中的苯磺酰胺极性基团和聚酰胺分子链中的酰胺基团能形成氢键,可以削弱聚酰胺分子链间的氢键作用,改善了聚酰胺材料加工性能,提高了材料韧性。同时增塑剂的加入对聚合物起了稀释作用,减少了高分子链之间的作用力,因而

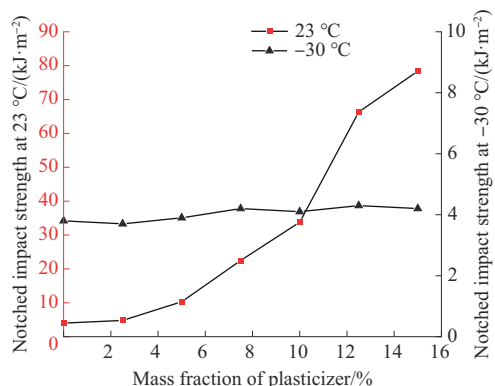


图6 不同增塑剂含量的PA612材料的常温 and 低温缺口冲击强度

Fig. 6 Normal temperature and low temperature notched impact strength of PA612 materials with different plasticizer contents

材料的强度和刚性降低,强度和刚性的降低值与增塑剂的加入量成正比。低分子量增塑剂的加入使链段运动能力增强,故随着增塑剂含量增加,材料的冲击强度提高^[12]。

增塑剂能够降低高分子材料的硬度,同时增加其延展性,但会导致材料的拉伸强度下降^[13]。这与增塑剂含量较低时,材料的拉伸屈服强度下降的情况一致。拉伸屈服强度是指材料在拉伸过程中发生屈服时的强度。当增塑剂添加到尼龙材料中后,材料往往会伴随显著的塑性变形而失去原有的使用价值^[14]。增塑剂含量越高,PA612晶区变形所需外力就会越小,导致分子链取向、滑移更加容易,最终使材料的拉伸屈服强度不断减小^[15]。但当增塑剂含量超过某一数值时,柔性挤出尼龙材料表现为硬弹性材料特性,这种材料拉伸时没有明显的屈服变化,不会发生颈缩现象,因而继续拉伸时应力会以较慢的速度上升^[16],这也是增塑剂含量增加,材料在拉伸过程中屈服点消失,而拉伸断裂强度几乎不变的原因。

2.3 不同尼龙树脂的柔性尼龙材料高温水解后质量变化

综合2.1和2.2中增塑剂含量对尼龙树脂性能影响,同时考虑增塑剂添加量太高会存在迁移析出的问题,因此固定增塑剂的质量分数为12.5%,进一步研究不同种类尼龙树脂对柔性尼龙材料水解老化前后性能的影响。

图7为不同尼龙树脂的柔性尼龙材料经高温水解后的质量变化。从图7能够看出,随着高温水解时间延长,4种尼龙材料的质量都呈现减少趋势,但趋势不同:PA1012和PA12的质量在48 h前迅速减

少,持续下降到500 h趋于稳定;PA610和PA612的质量减少趋势要低于前两者,在500 h以后趋于稳定。最终质量减少情况排序为:PA610<PA612<PA1012~PA12,PA1012和PA12的质量变化曲线几乎一致。

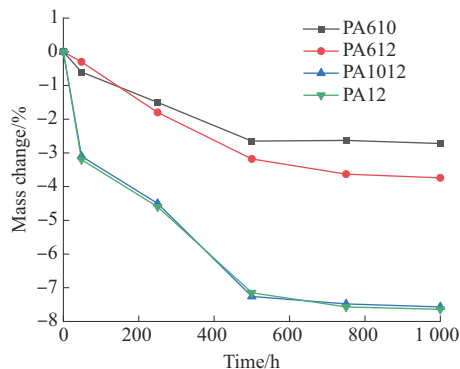


图7 不同尼龙树脂的柔性尼龙材料经高温水解后质量变化

Fig. 7 Mass changes of flexible nylon materials with different nylon resins after hydrolysis at high temperature

尼龙分子中的酰胺基团(—NHCO—)是亲水基团,使尼龙具有很强的亲水性,并且酰胺基团密度越大,尼龙吸水率越高^[17]。在高温水解过程中存在两个过程:尼龙吸水和尼龙中增塑剂外溢到防冻液中。在沸水环境下浸泡24 h,尼龙材料基本达到饱和吸水率的状态^[18],前期尼龙吸水和增塑剂外溢同时进行,当达到饱和吸水状态后,增塑剂持续外溢到防冻液中直至稳定。经过笔者单位实验室测试,发现4种尼龙材料的饱和吸水率排序为:PA610>PA612>PA1012~PA12。PA1012和PA12材料饱和吸水率较低,前期防冻液外溢的效果大于吸水的效果,会出现前期质量迅速减少,之后持续减少趋于稳定的现象。PA610和PA612材料饱和吸水率较高,前期吸水的效果大于防冻液外溢的效果,会出现前期质量缓慢减少,最后持续减少进而趋于稳定的现象。

2.4 不同尼龙树脂的柔性尼龙材料高温水解后力学性能变化

图8~图12为不同尼龙树脂的柔性尼龙材料经高温水解后拉伸断裂强度、断裂伸长率、缺口冲击强度、弯曲强度和弯曲模量的变化。从图8~图12能够看出,随着高温水解时间延长,4类尼龙材料的拉伸断裂强度、断裂伸长率和缺口冲击强度都呈现下降趋势,PA1012和PA12材料的弯曲强度和弯曲模量总体呈现上升趋势,PA610和PA612材料的弯曲强度和弯曲模量呈现略微下降后上升趋势。

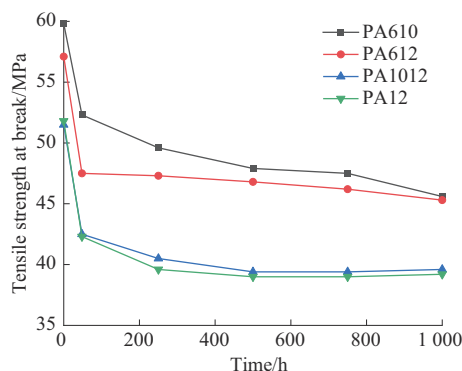


图8 不同尼龙树脂的柔性尼龙材料经高温水解后拉伸断裂强度变化

Fig. 8 Changes in tensile strength at break of flexible nylon materials with different nylon resins after hydrolysis at high temperature

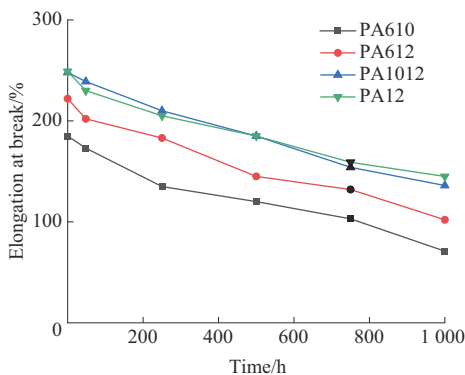


图9 不同尼龙树脂的柔性尼龙材料经高温水解后断裂伸长率变化

Fig. 9 Changes in elongation at break of flexible nylon materials with different nylon resins after hydrolysis at high temperature

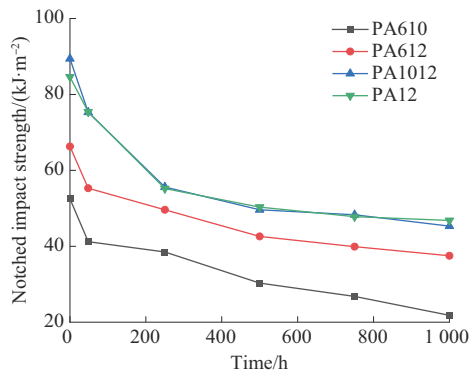


图10 不同尼龙树脂的柔性尼龙材料经高温水解后缺口冲击强度变化

Fig. 10 Changes in notched impact strength of flexible nylon materials with different nylon resins after hydrolysis at high temperature

从图4能够得出增塑剂含量对尼龙材料的拉伸断裂强度影响不明显,而在高温水解过程中增塑剂持续外溢到防冻液中,从图8可以看到,4类尼龙材料的拉伸断裂强度先迅速下降,在250 h后趋于稳定。拉伸断裂强度、断裂伸长率、缺口冲击强度下降是尼龙材料的增塑剂含量降低和水解老化两种因素共同作用的结果。图13为不同尼龙树脂的柔

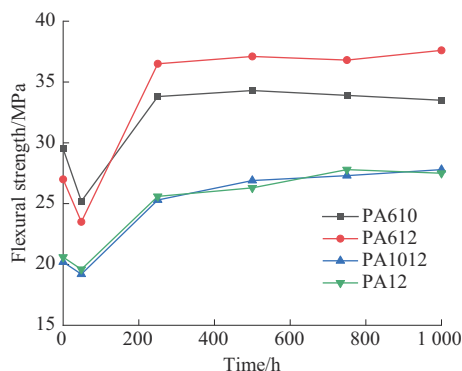


图 11 不同尼龙树脂的柔性尼龙材料经高温水解后弯曲强度变化

Fig. 11 Changes in flexural strength of flexible nylon materials with different nylon resins after hydrolysis at high temperature

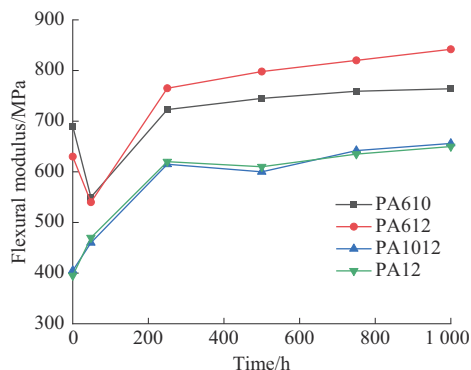


图 12 不同尼龙树脂的柔性尼龙材料经高温水解后弯曲模量变化

Fig. 12 Changes in flexural modulus of flexible nylon materials with different nylon resins after hydrolysis at high temperature

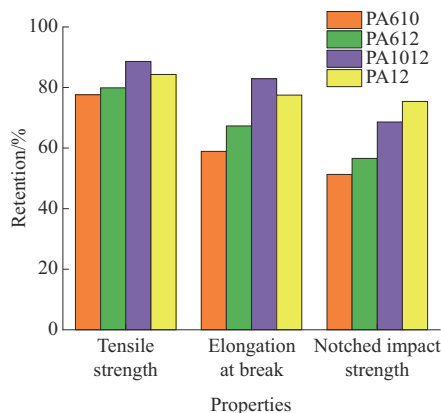


图 13 不同尼龙树脂的柔性尼龙材料高温水解 1 000 h 后的性能保持率

Fig. 13 Properties retention of flexible nylon materials with different nylon resins after 1 000 h hydrolysis at high temperature

性尼龙材料高温水解 1 000 h 后的拉伸强度、断裂伸长率及缺口冲击强度保持率。从图 13 可以看出, PA1012 和 PA12 材料的耐高温水解性能优于 PA610 和 PA612 材料。

从图 5 能够得出,随着增塑剂含量降低,尼龙材料的弯曲强度和弯曲模量呈现上升趋势,因此从图

11 和图 12 可以看出,随着高温水解时间延长, PA1012 和 PA12 材料中增塑剂含量降低,弯曲强度和弯曲模量总体呈现上升趋势。PA610 和 PA612 在水解前期出现略微下降趋势,原因可能是这两种材料的饱和吸水率高,和 N-BBSA 增塑剂相比,水对尼龙材料的增塑效果更明显。

3 结论

(1)随着增塑剂含量的增加,PA612 材料的熔融峰向低温处偏移,熔融峰温度呈下降趋势,MFR 呈上升趋势;PA612 材料的韧性提高,表现为断裂伸长率和常温缺口冲击强度提高,但低温缺口冲击强度变化不明显;PA612 材料的强度和刚性降低,表现为拉伸屈服强度、弯曲强度、弯曲模量和表面硬度降低。

(2)经过高温耐水解后,由于增塑剂外溢到防冻液中,4 类尼龙材料的质量都有减少,PA1012 和 PA12 的质量比 PA610 和 PA612 减少更明显,质量减少情况排序为:PA610<PA612<PA1012≈PA12。

(3)随着高温水解时间的延长,4 类尼龙材料的拉伸断裂强度、断裂伸长率和缺口冲击强度降低,弯曲强度和弯曲模量总体上提高,PA1012 和 PA12 材料的耐高温水解性能优于 PA610 和 PA612 材料。

参考文献

- [1] 张坤,谢剑虹,刘骞,等.尼龙材料在汽车行业的应用及展望[J].工程塑料应用,2023,51(5):153-158.
ZHANG Kun, XIE Jianhong, LIU Qian, et al. Application and prospect of nylon materials in automobile industry[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(5):153-158.
- [2] 高驰. IHS Markit: 巨大的电动车增量市场, 面临哪些发展趋势和竞争[J]. 汽车与配件, 2020(23):46-47.
GAO Chi. IHS Markit: What development trends and competition are facing in the huge incremental electric vehicle market[J]. Automobile and Parts, 2020(23):46-47.
- [3] 薛长鸣. 汽车用尼龙材料改性技术及其应用研究进展[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(6):157-162.
XUE Changming. Research progress in modification technology and application of nylon materials for automobile[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(6):157-162.
- [4] 张冲子. 尼龙管在新能源汽车冷却系统中批量应用[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(23):31-35.
ZHANG Chongzi. Batch application of nylon tube in new energy vehicle cooling system[J]. Automobile Applied Technology, 2023, 48(23):31-35.
- [5] 王娟. 新能源汽车冷却液管路的发展趋势[J]. 广州化工, 2019, 47(6):31-32, 38.

- WANG Juan. Development Trend of coolant pipe for new energy vehicle[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2019, 47(6):31–32, 38.
- [6] 王汉,陈广建,张长琦,等.长碳链尼龙发展及应用[J].工业技术, 2017, 34(12):91–92.
- WANG Han, CHEN Guangjian, ZHANG Changqi, et al. Development and application of long carbon chain nylon[J]. Industrial Technology, 2017, 34(12):91–92.
- [7] 李馥梅.长碳链尼龙的研究开发与应用[J].化工新型材料, 2006, 34(12):6–9.
- LI Fumei. Development and applications of long carbon chain nylon[J]. New Chemical Materials, 2006, 34(12):6–9.
- [8] 别致,王立岩,种云胜,等.长碳链尼龙研究现状及应用分析[J].橡塑技术与装备, 2022, 48(11):50–55.
- BIE Zhi, WANG Liyan, ZHONG Yunsheng, et al. Research status and application analysis of long carbon chain nylon[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2022, 48(11):50–55.
- [9] 王乐阳,马学彬,冀文广,等.耐老化抗水解玻纤增强长碳链尼龙材料的制备及性能[J].工程塑料应用, 2023, 51(12):35–39.
- WANG Leyang, MA Xuebin, JI Wenguang, et al. Preparation and properties of anti-aging and hydrolysis resistant glass fiber reinforced long carbon chain nylon materials[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(12):35–39.
- [10] 王小斌,陈根宝,胡佳勋,等.增塑剂对PA6性能影响的研究[J].中国塑料, 2015, 29(5):25–29.
- WANG Xiaobin, CHEN Genbao, HU Jiaxun, et al. Effect of plasticizers on the properties of PA6[J]. China Plastics, 2015, 29(5): 25–29.
- [11] 张永.增塑剂对尼龙6性能与结晶行为的影响[J].塑料工业, 2022, 50(4):53–57.
- ZHANG Yong. Effect of plasticizer on properties and crystallization behavior of nylon 6[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(4): 53–57.
- [12] 何曼君.高分子物理[M].3版.上海:复旦大学出版社, 2008:213.
- HE Manjun. Polymer physics[M]. 3rd ed. Shanghai:Fudan University Press, 2008:213.
- [13] 盖希特 R. 塑料添加剂手册[M].陈振兴,杨新源,王自昌,等.译.北京:中石化出版社, 1992:249–251.
- GACHTER R. Handbook of plastic additives[M]. Translated by CHEN Zhenxing, YANG Xinyuan, WANG Zichang, et al. Beijing: China Petrochemical Press, 1992:249–251.
- [14] 蒋波,蔡飞鹏,李晓宇,等.基于正交实验的增韧尼龙6注塑工艺优化[J].塑料, 2018, 47(2):61–64.
- JIANG Bo, CAI Feipeng, LI Xiaoyu, et al. Optimization of injection molding of toughening nylon 6 based on orthogonal experiment[J]. Plastics, 2018, 47(2):61–64.
- [15] 孙露敏,李景庆.拉伸温度和退火对尼龙6力学性能的影响[J].分子科学学报, 2018, 34(4):303–306.
- SUN Lumin, LI Jingqing. The influence of stretching temperature and annealing on the mechanical properties of nylon 6[J]. Journal of Molecular Sciences, 2018, 34(4):303–306.
- [16] 徐又一,徐昌辉,谢柏明,等.结晶高聚物硬弹性材料的研究进展-I.硬弹性材料的力学性能[J].功能材料, 1996(1):12–21.
- XU Youyi, XU Changhui, XIE Boming, et al. Development of crystalline polymer hard elastic materials I. Mechanical properties of hard elastic materials[J]. Journal of Functional Materials, 1996 (1):12–21.
- [17] 宁冲冲,崔益华,吴银财,等.降低尼龙制品吸水率的研究进展[J].塑料科技, 2013, 41(1):105–109.
- NING Chongchong, CUI Yihua, WU Yincui, et al. Research progress of lowering moisture absorption for nylon products[J]. Plastics Science and Technology, 2013, 41(1):105–109.
- [18] 陆龙威,颜菲,卢津强,等.玻纤增强尼龙6材料水煮后性能变化[J].工程塑料应用, 2024, 52(1):128–131.
- LU Longwei, YAN Fei, LU Jinqiang, et al. Performance changes of glass fiber reinforced nylon 6 material after boiling in water[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(1):128–131.