

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.02.024

增容剂对降噪 PA6/ASA 合金材料性能的影响

陈磊¹, 施俊强², 周中玉²

(1. 合众新能源汽车有限公司, 上海 201100; 2. 上海锦湖日丽塑料有限公司, 上海 201100)

摘要: 降噪尼龙(PA)6/丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯塑料(ASA)合金是一种高分子阻尼材料, 常规增容剂对 PA6/ASA 增容效果不佳, 导致合金材料的物理力学性能较差。针对上述情况, 将不同含量的 3 种增容剂分别与 PA6/ASA 共混, 对比了马来酸酐接枝苯乙烯-丙烯腈塑料(SAN-g-MAH)、马来酸酐接枝聚烯烃弹性体(POE-g-MAH)及 SAN-甲基丙烯酸共聚物(SAN-co-MAA)对 PA6/ASA 合金材料物理力学性能、耐氙灯老化性能和降噪性能的影响。结果表明, SAN-g-MAH 和 SAN-co-MAA 对 PA6/ASA 具有较好的增容效果, 其中 SAN-g-MAH 的增容效果最好, 但对合金材料的流动性能有极大的不利影响, 且降低了材料的降噪性能。POE-g-MAH 对 PA6/ASA 的增容效果有限, 但有助于提高 PA6/ASA 的加工稳定性。SAN-co-MAA 能有效提高合金材料的韧性和强度, 并保持了降噪 PA6/ASA 合金材料优异的耐氙灯老化性能和降噪性能, 可满足汽车仪表板、手套箱等汽车零部件的应用需求。

关键词: 汽车; 降噪; 尼龙 6; 丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯塑料; 增容剂; 韧性; 强度

中图分类号: TQ322.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)02-0155-07

Effect of compatibilizers on properties of noise reducing PA6/ASA alloy materials

CHEN Lei¹, SHI Junqiang², ZHOU Zhongyu²

(1. Hozon New Energy Auto Co., Ltd., Shanghai 201100, China; 2. Shanghai Kumho Sunny Plastics Co., Ltd., Shanghai 201100, China)

Abstract: Nylon (PA) 6/acrylonitrile-styrene-acrylate plastic (ASA) alloy is a polymer damping material, and the conventional compatibilizer has poor compatibilization effect for the PA6/ASA, resulting in poor physical and mechanical properties of the noise reduction alloy material. For this case, three compatibilizers with different contents were blended with PA6/ASA, the effects of maleic anhydride (MAH) grafted styrene-acrylonitrile plastic(SAN-g-MAH), MAH grafted polyolefin elastomer (POE-g-MAH), and SAN-methacrylic acid copolymer (SAN-co-MAA) on the physical and mechanical properties, xenon lamp aging resistance, and noise reduction performance of PA6/ASA alloy materials were compared. The results show that SAN-g-MAH and SAN-co-MAA have good compatibilization effects on PA6/ASA, among which, SAN-g-MAH has the best compatibilization effect, but it has a great adverse effect on the flow performance of the alloy material and reduces the noise reduction performance of the alloy material. The compatibilization effect of POE-g-MAH on PA6/ASA is limited, but it helps to improve the processing stability of PA6/ASA. SAN-co-MAA can effectively improve the toughness and strength of the alloy material, and maintain the excellent xenon lamp aging resistance and noise reduction performance of noise reducing PA6/ASA alloy material, which meets the application demands of automobile parts such as automotive dashboard and glove box.

Keywords: automobile; noise reduction; nylon 6; acrylonitrile-styrene-acrylate plastic; compatibilizer; toughness; strength

尼龙(PA)6 是一种使用非常广泛的工程塑料, 具有优异的耐磨、耐腐蚀和耐溶剂性, 以及较好的热稳定性, 并且其熔体黏度低、流动性好, 具有相当宽的加工窗口, 但 PA6 的吸水率较高, 尺寸稳定性

差, 并且韧性不佳, 在低温和干态下的冲击强度很低, 这些缺点限制了其使用场景^[1]。丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯塑料(ASA)的耐氙灯老化性、韧性、刚性较高, 但存在着加工性能差的缺点。将 PA6 和 ASA 制

通信作者: 周中玉, 硕士, 主要从事工程塑料功能化改性及加工应用

收稿日期: 2023-11-16

引用格式: 陈磊, 施俊强, 周中玉. 增容剂对降噪 PA6/ASA 合金材料性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(2): 155-161.

CHEN Lei, SHI Junqiang, ZHOU Zhongyu. Effect of compatibilizers on properties of noise reducing PA6/ASA alloy materials[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(2): 155-161.

成合金可以有效克服两者的缺陷^[2]。

PA6/ASA合金最早由德国BASF公司开发,具有密度低、耐候性好、加工性好、耐化学药品性好等特点,是户外或者阳光暴露环境下零部件的优选材料,在汽车、户外家具等领域有着广阔的应用。在汽车领域,PA6/ASA合金主要作为侧裙板、车灯组件、雨刷组件等受阳光直射的外饰件原材料,除此之外,其复制模具的效果好,并具有优异的加工性能,同时自带柔和哑光和防异响效果,契合汽车内饰的轻量化、舒适、环保等应用特征,因此有着广泛的应用前景^[3]。

但是,PA6是结晶性材料,而ASA是非结晶性材料,两者共混时的界面张力很大,需要加入合适的增容剂才能形成稳定的混合体系^[4]。低相容性一方面会导致材料的均一性较差,生产时容易发生挤出胀大等不良现象,粒子外观易产生不平整的缺陷;另一方面影响材料的韧性、热稳定性等物理力学性能,这会对制件的长期性能稳定性、尺寸稳定性等产生不利影响^[5]。

相较于较为成熟的PA6/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)合金体系^[6],国内鲜有对PA6/ASA合金材料性能优化的报道。Zhou等^[7]发现马来酸酐(MAH)接枝(乙烯/辛烯)橡胶(EOR-g-MAH)和MAH接枝ABS(ABS-g-MAH)都可作为增容剂以实现PA6纳米复合材料的增韧,但具有核壳橡胶结构的ABS-g-MAH增韧效率更高;Sui等^[8]使用多单体[MAH和苯乙烯(St)]熔融接枝ABS制得增容剂ABS-g-(MAH-co-St),减小了PA6/ASA合金的橡胶的相畴尺寸,使合金拉伸强度提升了36%;Castro等^[9]评估了有机蒙脱土(OMMT)对MAH接枝苯乙烯-丙烯腈塑料(SAN)(SAN-g-MAH)增容效果的影响,发现PA6与OMMT的相互作用会阻碍SAN-g-MAH的增容效果,导致PA6/ABS/SAN-g-MAH合金的冲击强度下降。国内的一些研究^[10-14]也表明含有极性基团的MAH型增容剂是PA6合金的有效增容剂,可以促进橡胶粒子在PA6基体中均匀、稳定地分散,橡胶粒子的空洞化和PA6基体的剪切屈服是合金韧性提高的主要机理。李童等^[15]研究发现核壳改性剂中游离SAN链段会降低PA6/ABS两相的相容性,去除改性剂中的游离SAN链段可以显著提高共混物的冲击强度和断裂伸长率。

汽车在行驶过程中,塑料件受到震动、外力挤

压作用时,会与其配合件发生摩擦,塑料件不断由静摩擦转变为滑动摩擦,即发生黏滑现象,在此期间会释放能量,产生噪声^[16-17]。高分子阻尼材料,凭借黏弹特性,具有将由黏滑现象产生的机械振动能量转换为内能或其他可损耗形式的能量的性质,从而可以有效吸收振动能量,起到降噪作用^[18-19]。

在降噪PA6/ASA合金中,ASA可通过形变吸收部分机械能,因此ASA添加量较高。但ASA的黏度高于PA6,加工过程中很难混合均匀,这导致在高ASA含量的降噪PA6/ASA合金体系中,增容剂的增容作用不佳,共混过程中,材料也可能发生相分离,导致PA6/ASA合金的韧性不稳定、强度下降^[20]。基于此,笔者研究了3种增容剂对PA6/ASA合金的物理力学性能、耐氙灯老化性能及降噪性能的影响,以获得PA6/ASA合金最适宜的增容剂。

1 实验部分

1.1 主要原料

PA6:M2400,特征黏度2.45,广州新会美达锦纶股份有限公司;

ASA:PW-957,丙烯酸酯橡胶质量分数为57%,镇江奇美化工有限公司;

抗氧剂1010、抗氧剂168:瑞士汽巴精化公司;

润滑剂季戊四醇硬脂酸酯(PETS):意大利FACI公司;

增容剂1:SAN-g-MAH,MAH质量分数为8%,东莞市胜浩塑胶原料有限公司;

增容剂2:MAH接枝聚烯烃弹性体(POE-g-MAH),CMG5805,MAH质量分数为0.6%~0.8%,佳易容聚合物(上海)有限公司;

增容剂3:SAN-甲基丙烯酸共聚物(SAN-co-MAA),S601N,甲基丙烯酸(MAA)质量分数为10%,日本宇三通ABS株式会社。

1.2 主要仪器与设备

双螺杆挤出机:CET35,长径比为44:1,科倍隆(南京)机械有限公司;

塑料注射成型机:JM138Ai-svp/2,震雄机器厂有限公司;

电子万能试验机:Z010,德国Zwick Roell集团;

熔体流动速率(MFR)测试仪:Cflow,德国Zwick Roell集团;

摆锤冲击试验机:HIT25P,德国Zwick Roell集团;

毛细管流变仪:RH2000,英国马尔文仪器有限公司;

氙灯老化试验机: Ci 3000,美国 Atlas 有限公司。

1.3 试样制备

降噪PA6/ASA合金样品:将干燥后的PA6树脂和ASA树脂,分别与增容剂1、增容剂2、增容剂3按照一定质量比(57/40/3, 55/40/5, 53/40/7, 51/40/9, 49/40/11)进行混合,然后在双螺杆挤出机上进行熔融共混挤出造粒。挤出机的温度为230~250℃,螺杆转速为270 r/min,相对真空度为-0.09 MPa;将所制得材料在100℃下干燥4 h,然后注塑成标准样条及样板(140 mm×90 mm×3 mm),其中注塑温度为240℃,注射压力为80 MPa。

普通PA6/ASA合金样品:将干燥后的PA6树脂和ASA树脂,按照质量比60/40混合,其余步骤同上。

1.4 测试与表征

1.4.1 物理力学性能测试

弯曲性能按GB/T 9341-2018测试,弯曲速率为2 mm/min;

简支梁缺口冲击强度按GB/T 1843-2008测试,摆锤能量为4 J;

MFR按GB/T 1633-2000测试,测试条件为240℃,10 kg。

1.4.2 毛细管流变测试

选用长径比为16:1、直径为0.5 mm的毛细管口模,温度固定为250℃,载荷为20 kN,剪切速率设置为500~50 000 s⁻¹,采集8个点。

1.4.3 异响风险系数(RPN)测试

根据标准VDA230-206-2005进行RPN的测试。待测样品与摩擦副的接触面积为1 250 mm²,滑动距离固定为50 mm,滑动速度为1 mm/s和4 mm/s,负载为10 N和40 N。测试前将样品在温度为(23±2)℃、相对湿度为50%±5%环境中调节24 h以上。

1.4.4 耐氙灯老化性能测试

按照合众新能源汽车有限公司标准Q/THZ T1-7-2022测试样品的耐氙灯老化性能。

2 结果与讨论

2.1 增容剂种类对PA6/ASA合金性能的影响

表1为添加质量分数为5%的不同增容剂的

PA6/ASA合金材料的性能。由表1可见,不加增容剂时,PA6/ASA合金的韧性极低,流动性过高,这会使材料的应用领域受限。而在加入3种增容剂后,合金材料的缺口冲击强度、弯曲强度和弯曲弹性模量均有不同程度的提高,其中SAN-g-MAH增容效果最好,SAN-co-MAA增容效果次之,POE-g-MAH的增容效果最低。

表1 不同增容剂的PA6/ASA合金材料物理力学性能

Tab. 1 Physical and mechanical properties of PA6/ASA alloy materials with different compatibilizers

Items	Compatibilizers			
	Blank	SAN-g-MAH	POE-g-MAH	SAN-co-MAA
Notched impact strength/(kJ·m ⁻²)	4.5	62.1	4.9	49.0
MFR/[g·(10 min) ⁻¹]	70.3	5.7	64.8	48.4
Flexural strength/MPa	65.3	79.0	68.9	68.6
Flexural modulus/MPa	1 550	1 846	1 600	2 213

Note: Mass fraction of compatibilizer is 5%.

3种增容剂在PA6/ASA中的作用机理不同。SAN-g-MAH的SAN部分与ASA相容性较好,而MAH部分可以与PA6的端氨基团发生反应,这样SAN-g-MAH在PA6/ASA中形成交联结构,改善了ASA与PA6的亲性和,促进两者相容。通过SAN-g-MAH的作用,在PA6和ASA相的界面位置形成相容的聚合物网络,增加了PA6/ASA合金的力学性能。但过度的交联也导致合金材料的流动性大幅下降,不利于加工成型^[21]。

SAN-co-MAA与SAN-g-MAH的作用机理类似,但MAA的反应活性比MAH低,因此在相同添加量的情况下,SAN-co-MAA在合金界面处形成的交联结构要比SAN-g-MAH少,没有发生过度交联,合金的韧性有明显提高,流动性也保持较高水平。

POE-g-MAH的POE弹性体部分具备优异的韧性和拉伸强度,可以通过阻止银纹扩展提高PA6的韧性,提高材料的抗冲击性能,是一种在PA材料中常见的增韧剂^[22]。POE为非极性烯烃共聚物,而ASA含有丙烯腈和丙烯酸酯等极性结构,两者极性不匹配,相互作用存在很大的阻碍,因此在相界面处不能形成均匀的相容体系。所以,POE-g-MAH对于改善PA6/ASA合金韧性或者强度的效果很低。

由于PA6是结晶性材料,而ASA是非结晶性材料,因此,在PA6/ASA体系中,具有双亲性(即能够同时与PA6和ASA发生作用)的SAN-co-MAA与SAN-g-MAH增容剂的增容效果更好。

2.2 增容剂 SAN-g-MAH 含量对 PA6/ASA 合金材料性能的影响

图1为增容剂 SAN-g-MAH 含量对 PA6/ASA 合金材料物理力学性能的影响。由图1可知,随着 SAN-g-MAH 含量的增加,合金的缺口冲击强度、弯曲强度、弯曲弹性模量均有明显上升, MFR 逐渐下降,这符合增容剂含量增加,界面交联结构更多的趋势。当 SAN-g-MAH 质量分数达到 9% 时,缺口冲击强度最高达到 65 kJ/m^2 , 此时 MFR 为 3.9 g/10 min , 弯曲强度为 82 MPa , 弯曲弹性模量为 2066 MPa 。但是,当 SAN-g-MAH 的质量分数超过 9% 时,合金的缺口冲击强度出现明显的下降。这有两个方面的原因:一是, SAN-g-MAH 属于脆性聚合物,添加量上升后导致整个体系的脆韧转变点升高^[12];二是,增容剂的增加会减小橡胶相的表面能,因此橡胶相在 PA6 连续相中的相畴减小,变形和传递应力的能力下降,在受到外界冲击时,合金易发生裂纹扩展,更倾向于脆性断裂。

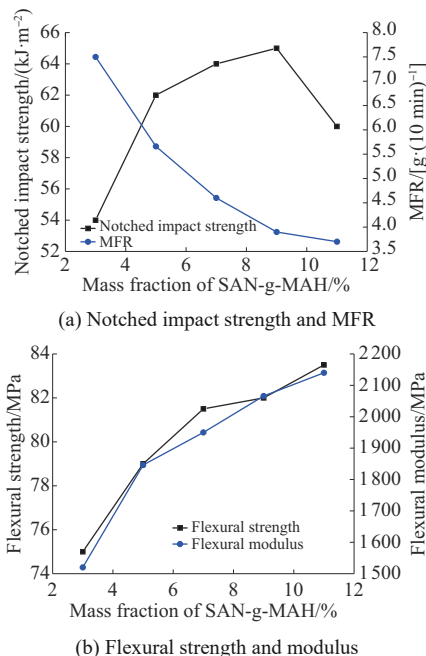


图1 不同 SAN-g-MAH 含量的 PA6/ASA 合金材料物理力学性能

Fig. 1 Physical and mechanical properties of PA6/ASA alloy materials with different SAN-g-MAH contents

综上, SAN-g-MAH 在 PA6/ASA 合金材料中虽然有着优异的增容作用,但对流动性影响太大,当添加量过多时,由于自身的脆性组分 SAN 在体系内的增加,提升了体系的脆韧转变点,反而导致韧性下降。

2.3 增容剂 POE-g-MAH 对 PA6/ASA 合金材料性能的影响

图2为增容剂 POE-g-MAH 含量对 PA6/ASA 合金材料物理力学性能的影响。由图2可知,随着 POE-g-MAH 含量的增加,合金的缺口冲击强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和 MFR 没有明显变化, POE-g-MAH 没有明显的增容作用。

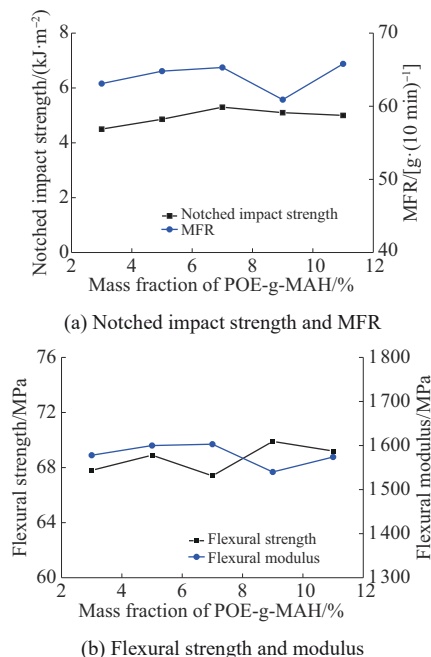


图2 不同 POE-g-MAH 含量的 PA6/ASA 合金材料物理力学性能
Fig. 2 Physical and mechanical properties of PA6/ASA alloy materials with different POE-g-MAH contents

POE-g-MAH 可通过 MAH 与 PA6 的端氨基发生反应,在 PA6 中形成交联结构^[22]。图3为 ASA 及不同含量 POE-g-MAH 与 PA6 共混后的 250°C 时的剪切黏度曲线。由图3可见,随着 POE-g-MAH 含量增加,黏度会逐渐升高,当 POE-g-MAH 质量分数为 9% 时,在 250°C 、高剪切条件下,其黏度可以与 ASA 相匹配,两相黏度相同的情况下,可以实现更加充分而均匀的共混。

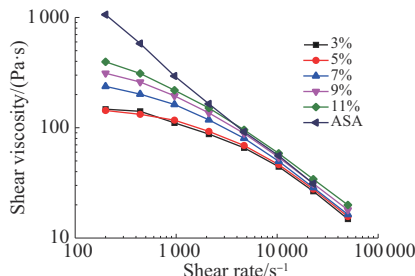


图3 ASA 及不同 POE-g-MAH 含量的 PA6 黏度
Fig. 3 Viscosity of ASA and PA6 with different POE-g-MAH contents

综上,虽然POE-g-MAH不是双亲性增容剂,提高PA6/ASA合金相容性的作用很有限,但它可以提高PA6相的黏度,使PA6与ASA黏度相匹配,这对提高PA6/ASA的加工稳定性有帮助。

2.4 增容剂 SAN-co-MAA 对 PA6/ASA 合金材料性能的影响

图4为增容剂 SAN-co-MAA 含量对 PA6/ASA 合金材料物理力学性能的影响。由图4可知,随着 SAN-co-MAA 含量的增加,合金的缺口冲击强度、弯曲强度、弯曲弹性模量有着明显上升, MFR 则呈逐渐下降的趋势。在 SAN-co-MAA 质量分数达到 7% 时,缺口冲击强度最高达到 58 kJ/m^2 , 此时 MFR 为 42 g/10 min , 弯曲强度为 73 MPa , 弯曲弹性模量为 2356 MPa 。SAN-co-MAA 中,刚性 SAN 含量更高,因此对合金材料弯曲强度和模量的提升幅度高于 SAN-g-MAH; 由于共聚的 MAA 较接枝的 MAH 反应性弱,故尽管 SAN-co-MAA 增容的合金缺口冲击强度随 SAN-co-MAA 添加量增加而提升的幅度高于 SAN-g-MAH,但最高值更低;同时, SAN-co-MAA 增韧合金的 MFR 数值也更高。与 SAN-g-MAH 的情况相似,当 SAN-co-MAA 的质量分数超过 7% 时,合金的缺口冲击强度也开始发生下降。

综上, SAN-co-MAA 的增容效果不如 SAN-g-MAH,但在缺口冲击强度提升幅度方面更明显,当

SAN-co-MAA 添加量过多时,同样会导致合金材料韧性下降。虽然随着 SAN-co-MAA 添加量的增加,合金的 MFR 也在下降,但仍高于 SAN-g-MAH 增容的合金材料。

2.5 增容剂种类对 PA6/ASA 合金降噪性能和耐氙灯老化性能影响

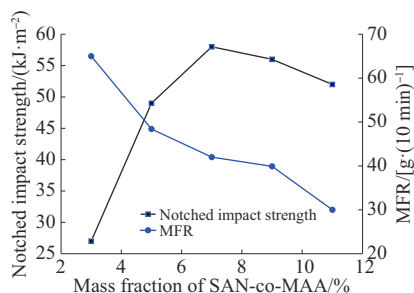
RPN 是异响事件发生的频率、严重程度和检测等级三者的乘积,被称为风险系数或风险顺序数,其数值越大说明潜在的噪声问题越严重。表2列出添加质量分数为 5% 的不同增容剂的 PA6/ASA 合金材料的 RPN 数值。由表2可知, SAN-g-MAH 会提高材料的 RPN,即其对 PA6/ASA 合金的降噪性能产生了不利影响,而 POE-g-MAH 与 SAN-co-MAA 对 RPN 的影响很小,即这两者对 PA6/ASA 合金的降噪性能几乎没有影响。

表2 不同增容剂的 PA6/ASA 合金材料 RPN 值

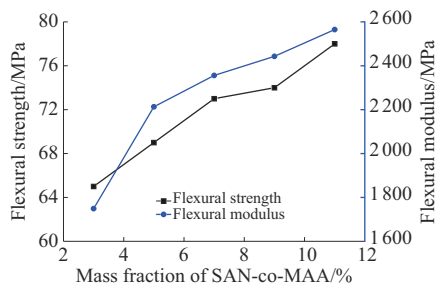
Tab. 2 RPN values of PA6/ASA alloy materials with different compatibilizers

Test conditions		RPN			
Pressure/N	Sliding velocity/($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	Blank	SAN-g-MAH	POE-g-MAH	SAN-co-MAA
10	1	1	6	1	2
10	4	2	5	2	2
40	1	2	6	1	2
40	4	1	7	1	3

Note: Mass fraction of compatibilizer is 5%; Blank represents no compatibilizer.



(a) Notched impact strength and MFR



(b) Flexural strength and modulus

图4 不同 SAN-co-MAA 含量的 PA6/ASA 合金材料物理力学性能

Fig. 4 Physical and mechanical properties of PA6/ASA alloy materials with different SAN-co-MAA contents

材料的降噪性能与阻尼性能有直接的关系,阻尼性能指的是材料将摩擦、振动转化为内能的能力,这与材料自身的松弛性能有关,即通过内部大分子之间内摩擦产生的形变,消耗应力^[23]。材料的阻尼性能越好,其降噪效果也越好。

SAN-g-MAH 增容性能过强并且本身属于脆性材料。一方面, SAN-g-MAH 使 PA6/ASA 合金发生过度交联,使高分子的形变能力降低,另一方面,也使传递应力的性能降低,从而降低了材料的阻尼性能,最终导致 RPN 数值的上升。

而 POE-g-MAH 的增容性能较弱,并且其在 PA6 相里均匀分布的长链弹性体结构有助于提高材料传递和转化摩擦应力的能力,这些特征最终使 POE-g-MAH 增容的合金材料的 RPN 数值基本没有变化。

SAN-co-MAA 的增容性能弱于 SAN-g-MAH,因此在低添加量时不会产生过度交联的现象,保留了部分 ASA 相的变形和传递摩擦应力的性能,因此

RPN数值没有发生较大提升。

表3为添加质量分数为5%的不同增容剂的PA6/ASA合金材料的耐氙灯老化性能评价结果。由表3可知,MAH类增容剂对PA6/ASA体系的耐光老化性能影响很小,经过324 h的光老化后,仍可以满足灰度等级 ≥ 4 的要求,可以应用在腰线以上,直接受阳光影响较强的汽车零部件上。

表3 不同增容剂的PA6/ASA合金材料经氙灯老化后的灰度等级

Tab. 3 Grey scales of PA6/ASA alloy materials with different compatibilizers after xenon lamp aging

Aging time/h	Limit	Grey scale			
		Blank	SAN-g-MAH	POE-g-MAH	SAN-co-MAA
150	Grey scale ≥ 4	5	5	5	5
257		4~5	4~5	4~5	4~5
324		4~5	4~5	4	4~5

Note: Mass fraction of compatibilizer is 5%; Blank represents no compatibilizer.

3 结论

(1) PA6是结晶性材料,而ASA是非结晶性材料,因此,在PA6/ASA合金材料中,具有双亲性的增容剂SAN-co-MAA与SAN-g-MAH的增容效果更好。

(2) SAN-g-MAH在PA6/ASA合金材料中虽然有着优异的增容作用,但对合金材料流动性影响太大,当SAN-g-MAH添加量过多时,由于自身的脆性组分SAN在体系内的增加,提升了体系的脆韧转变点,反而导致韧性下降。同时,SAN-g-MAH降低了材料转化和传递摩擦应力的能力,从而降低了材料的降噪性能。

(3) POE-g-MAH不是双亲性增容剂,提高PA6/ASA合金相容性的作用很有限,但它可以提高PA6相的黏度,使其与ASA相匹配,这对提高PA6/ASA的加工稳定性有帮助。并且POE-g-MAH对合金的降噪性能基本没有影响。

(4) SAN-co-MAA的增容效果不如SAN-g-MAH,但对PA6/ASA合金缺口冲击强度的提升效果更为明显,使合金的流动性较SAN-g-MAH增容的更高,同时对合金的降噪效果影响较小,但当SAN-co-MAA添加量过多时,同样会导致合金的韧性下降。

(5) MAH类增容剂对PA6/ASA合金材料的耐氙灯老化性能影响较小,其中SAN-co-MAA在提升材料力学性能的基础上,不仅可满足材料耐氙灯老

化性能要求,而且不影响材料的降噪性能,可以应用在腰线以上,直接受阳光影响较强的汽车零部件上。

参考文献

- [1] 于云安,武红元,严雯莉.尼龙增强材料及PA6/ABS尺寸稳定性和吸水性的改善[J].塑料工业,2023,51(2):36-41,78.
YU Yunan, WU Hongyuan, YAN Wenli. The dimensional stability and water absorption improvement of nylon enhancement materials and PA6/ABS[J]. China Plastics Industry, 2023, 51(2):36-41, 78.
- [2] LUNA C B, FILHO E A, SIQUEIRA D D, et al. Influence of small amounts of ABS and ABS-MA on PA6 properties: Evaluation of torque rheometry, mechanical, thermomechanical, thermal, morphological, and water absorption kinetics characteristics[J]. Materials, 2022, 15(7). DOI:10.3390/ma15072502.
- [3] 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.
- [4] ESSABIR H, MECHTALI F Z E, NEKHLAOUI S, et al. Compatibilization of PA6/ABS blend by SEBS-g-MA: Morphological, mechanical, thermal, and rheological properties[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 110(3):1 095-1 111.
- [5] BHAGWAN F J. Reactively compatibilised 80/20 PA6/ABS blends: Effect of various compatibilisers on morphology, dynamic mechanical analysis, crystallisation and thermal degradation kinetics[J]. Plastics, Rubber and Composites, 2023, 52(2):75-88.
- [6] ZHAO D J, YAN D G, FU X B, et al. Effect of ABS types on the morphology and mechanical properties of PA6/ABS blends by in situ reactive extrusion[J]. Materials Letters, 2020, 274. DOI: 10.1016/j.matlet.2020.128013.
- [7] 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.
- [8] SUI X W, XIE X M. Creating super-tough and strong PA6/ABS blends using multi-phase compatibilizers[J]. Chinese Chemical Letters, 2019, 30(1):149-152.
- [9] CASTRO L D C, OLIVEIRA A D, KERSCH M, et al. Effect of organoclay incorporation and blending protocol on performance of PA6/ABS nanocomposites compatibilized with SANMA[J]. Polymer Engineering & Science, 2017, 57(10):1 147-1 154.
- [10] 付雁,石金亮,王星月,等.马来酸酐共聚方式对PA6/ABS共混物性能的影响[J].高分子材料科学与工程,2012,28(9):76-79,83.
FU Yan, SHI Jinliang, WANG Xingyue, et al. The effect of maleic anhydride copolymerization method on the properties of PA6/ABS blend[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2012,

- 28(9):76–79, 83.
- [11] 邓云娇,刘振国,孙树林,等.马来酸酐官能化ASA对PA6的增韧研究[J].中国塑料,2011,25(12):31–34.
- DENG Yunjiao, LIU Zhenguo, SUN Shulin, et al. Toughening of PA6 with MAH functionalized acrylate-styrene-acrylonitrile copolymer[J]. China Plastics, 2011, 25(12):31–34.
- [12] 于杰,姜岩世,朱红,等. SMA含量对PA6/ABS共混体系结构和韧-脆转变温度的影响[J].高分子材料科学与工程,2009,25(5):82–85.
- YU Jie, JIANG Yanshi, ZHU Hong, et al. The effect of SMA content on the structure and ductile-brittle transition temperature of PA6/ABS blend system[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2009, 25(5):82–85.
- [13] 梁惠霞,张绍岩,高岩磊,等.相容剂对ASA/PA6合金力学性能的影响[J].塑料科技,2012,40(7):44–47.
- LIANG Huixia, ZHANG Shaoyan, GAO Yanlei, et al. Effects of compatibilizing agent on mechanical properties of ASA/PA6 alloy [J]. Plastics Science and Technology, 2012, 40(7):44–47.
- [14] 倪卓,郭震,林煜豪,等. PA6/ABS共混材料的微观结构与相容性[J].深圳大学学报(理工版),2019,36(4):398–404.
- NI Zhuo, GUO Zhen, LIN Yihao, et al. Microstructure and compatibility of PA6/ABS blends[J]. Journal of Shenzhen University(Science & Engineering), 2019, 36(4):398–404.
- [15] 李童,刘洋,谭志勇,等.游离链段在PA6/ABS共混物中的作用研究[J].塑料工业,2017,45(5):124–127.
- LI Tong, LIU Yang, TAN Zhiyong, et al. Effects of un-grafted segments in ABS modifier on properties of PA6/ABS blends[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(5):124–127.
- [16] 陈磊,史晓莹,周中玉,等.降噪PC/ABS在汽车仪表板部件上的应用[J].工程塑料应用,2021,49(8):119–122, 134.
- CHEN Lei, SHI Xiaoying, ZHOU Zhongyu, et al. Application of noise reduction PC/ABS in automobile instrument panels[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(8):119–122, 134.
- [17] 郑樑,李欣达,李文龙,等.汽车内饰件用抗噪声ABS材料的性能研究[J].上海塑料,2020(2):52–58.
- JIA Liang, LI Xinda, LI Wenlong, et al. Study on the properties of anti-squeak ABS material for automobile interior parts[J]. Shanghai Plastics, 2020(2):52–58.
- [18] 陈宪刚.浅谈舰船用高分子阻尼材料的现状及应用[J].橡塑资源利用,2022(2):11–14.
- CHEN Xiangang. A brief discussion on the current situation and application of polymer damping materials for ships[J]. Rubber Plastics Resources Utilization, 2022(2):11–14.
- [19] 程国华,张均,房松,等.聚氨酯阻尼减振材料的应用和发展[C]//中国聚氨酯工业协会弹性体专业委员会2015年年会论文集.太原:《聚氨酯及其弹性体》编辑部,2015:77–88.
- CHENG Guohua, ZHANG Jun, FANG Song, et al. Application and development of polyurethane damping and vibration reduction materials[C]//Symposium of the 2015 Annual Meeting of the Elastomer Professional Committee of the China Polyurethane Industry Association. Taiyuan: Editorial Department of Polyurethane and Its Elastomers, 2015:77–88.
- [20] 唐银花,李炜,潘淑婷,等.汽车用PA6/ABS共混体系材料抗刮擦性能研究[J].汽车工艺与材料,2014(12):24–28.
- TANG Yinhua, LI Wei, PAN Shuting, et al. Effect of formulae of PA6/ABS blends used for automotive on the anti-scrape property [J]. Automobile Technology & Material, 2014(12):24–28.
- [21] CASTRO L D C, OLIVEIRA A D, KERSCH M, et al. Effects of mixing protocol on morphology and properties of PA6/ABS blends compatibilized with MMA-MA[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2016, 133(27). DOI:10.1002/app.43612.
- [22] YU Z Z, OU Y C, HU G H. Influence of interfacial adhesion on toughening of polyethylene-octene elastomer/nylon 6 blends[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1998, 69(9):1 711–1 718.
- [23] DODDI P R V, CHANAMALA R, DORA S P. Investigations on the influence of laminate angle on the damping performance of cross-ply natural composites[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2021, 30(2):1 039–1 045.