

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.01.008

PE-C 含量对 PVC/ABS 合金性能的影响

吕利达,李迎春,王文生,王亚菲,蒋天翔,段梦涵

(中北大学材料科学与工程学院,太原 030051)

摘要:以回收的废弃电缆用软质聚氯乙烯(PVC)、新 PVC 和丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)为主要原料,以弹性体氯化聚乙烯(PE-C)为增容剂,通过熔融共混的方法制备了 PVC/ABS 合金,研究了 PE-C 含量对 PVC/ABS 合金相容性、力学性能和阻燃性能的影响。结果表明,PE-C 的加入明显提高了 PVC 与 ABS 的相容性,合金只有一个玻璃化转变温度(T_g)。随着 PE-C 含量的增加,合金的 T_g 总体呈现升高趋势,在试样刻蚀断面的扫描电子显微镜(SEM)图片中可以明显看到,ABS 在 PVC 基体中的分散更加均匀,粒径更小,在试样冲击断面的 SEM 图片中可以看到冲击断面出现“网丝”现象,韧性断裂特征明显,PVC/ABS 合金的拉伸强度和弯曲强度呈现先升高后降低的趋势,悬臂梁缺口冲击强度和断裂伸长率不断升高,极限氧指数(LOI)和垂直燃烧等级呈下降趋势。当 PE-C 含量为 8 份时,PVC/ABS 合金的综合性能最佳,拉伸强度为 61.4 MPa,弯曲强度为 58.2 MPa,断裂伸长率为 45.3%,悬臂梁缺口冲击强度为 10.3 kJ/m²,LOI 保持在 28% 以上,同时垂直燃烧等级可达到 V-1 级别。

关键词:废弃电缆用软质聚氯乙烯;丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料;氯化聚乙烯;相容性;阻燃

中图分类号: TQ322.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)01-0044-05

Effects of PE-C Content on Properties of PVC/ABS Alloys

Lyu Lida, Li Yingchun, Wang Wensheng, Wang Yafei, Jiang Tianxiang, Duan Menghan

(School of Materials Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract : The poly(vinyl chloride) (PVC)/acrylonitrile-butadiene-styrene plastic (ABS) alloys were prepared by melt blending with the main raw materials of ABS, PVC and recycled soft PVC from waste cable, using elastomer chlorinated polyethylene (PE-C) as the compatibilizer. The effects of PE-C content on compatibility, mechanical properties and flame retardant properties of PVC/ABS alloy were studied. The results show that the addition of PE-C significantly improves the compatibility of PVC and ABS, the alloy has only one glass transition temperature (T_g). With the increase of the amount of PE-C addition, the T_g generally shows an upward trend, it is clearly seen in the scanning electron microscope (SEM) of the etched section of the sample that the dispersion of ABS in the PVC matrix is more uniform and the particle size is smaller, the SEM of the impact section of the sample is seen that the “mesh” phenomenon appears in the impact section, and the ductile fracture characteristics are obvious, the tensile strength and flexural strength of PVC/ABS alloy increase firstly and then decrease, the Izod notched impact strength and elongation at break continuously increase, the limiting oxygen index (LOI) and vertical combustion grade continue to decrease. When the amount of PE-C added is 8 phr, the comprehensive properties of PVC/ABS alloy are the best, the tensile strength is 61.4 MPa, the bending strength is 58.2 MPa, the elongation at break is 45.3%, the Izod notched impact strength is 10.3 kJ/m², the LOI is still above 28%, and the vertical combustion grade reaches the V-1 level.

Keywords : soft poly(vinyl chloride) from waste cable ; acrylonitrile-butadiene-styrene plastic ; chlorinated polyethylene ; compatibility ; flame retardant

聚氯乙烯(PVC)是最常用的热塑性材料之一,具有阻燃、耐腐蚀、电气绝缘性好和软硬可调的优点,且价格低廉。因此,PVC 大量应用于管道、窗框、

地板覆盖物、屋顶板材和电缆中^[1-3]。PVC 的大量使用不可避免地会带来大量废旧 PVC 的产生。电线电缆作为 PVC 应用的一个重要分支,每年大量的

通讯作者: 李迎春,博士,教授,主要从事塑料的功能化和高性能化研究 E-mail: liyingchun@nuc.edu.cn

收稿日期: 2018-10-15

引用格式: 吕利达,李迎春,王文生,等. PE-C 含量对 PVC/ABS 合金性能的影响[J]. 工程塑料应用,2019,47(1): 44-48,66.

Lyu Lida, Li Yingchun, Wang Wensheng, et al. Effects of PE-C content on properties of PVC/ABS alloys[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(1): 44-48, 66.

PVC 电线电缆被更换废弃,回收再利用废旧 PVC 电线电缆刻不容缓^[4]。

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 综合性能优越,但阻燃性能较差,限制了其应用范围^[5-6]。PVC 中含有大量的氯元素,将 PVC 加到 ABS 中,能够提高 ABS 的阻燃性能。PVC 与 ABS 溶解度参数相近,两者具有较好的相容性,这为制备高性能的 PVC/ABS 合金材料奠定了基础^[7-9]。

目前,对废弃 PVC 物理回收的研究多为对硬质 PVC 改性,对废弃 PVC 电线电缆料应用研究的文献较少。汪东清^[10]用 $\text{CCl}_4/\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (体积比为 84 : 16) 混合溶剂对废弃 PVC 电缆进行预处理,将废弃 PVC 电缆中的部分增塑剂抽出,结果显示,抽出增塑剂的方法可以有效改善废弃 PVC/ABS 共混合金的力学性能,同时还能提高共混合金的阻燃性能。吴震波^[11]研究了软质 ABS/PVC 共混合金的性能,结果发现,增塑剂的大量存在使得合金的硬度、弹性模量、力学性能等下降明显。同时增塑剂的可燃性会导致合金的阻燃性能降低。

增塑剂的存在对 PVC/ABS 合金的力学性能及阻燃性能存在很大影响^[12]。相对于将增塑剂抽出的方法,笔者通过添加部分 PVC 新料来解决废旧软质 PVC 线缆护套增塑剂含量过多对 PVC/ABS 合金力学性能及阻燃性能的负面影响,达到了降低回收成本、保护环境的目的。同时加入氯含量为 35% 的氯化聚乙烯 (PE-C) 作为界面增容剂和增韧剂,研究了 PE-C 的加入及其含量的变化对 PVC/ABS 合金的力学性能、相容性及阻燃性能的影响,制备出缺口冲击强度高,力学性能好,而且具有高阻燃性的 PVC/ABS 合金材料。

1 实验部分

1.1 主要原料

ABS : HI-121H, 宁波乐金甬兴化工有限公司;

PVC : SG-5, 山西恒瑞化工有限公司;

废旧软质 PVC 线缆护套: 江西钨业控股集团有限公司;

PE-C : 氯含量 35%, 石家庄久千化工助剂有限公司;

钙锌复合稳定剂、抗氧剂 1010 : 市售。

1.2 主要设备与仪器

电热真空干燥箱: DZF-6000 型, 巩义市予华仪器有限责任公司;

开炼机: SK-160B 型, 江都市开源试验机厂;

注塑机: LY-88 型, 江苏维达机械有限公司;

悬臂梁缺口冲击试验机: XJU-22 型, 承德试验机有限责任公司;

微型控制电子万能试验机: CMT6104 型, 深圳市新三思材料检测有限公司;

智能临界极限氧指数 (LOI) 测试仪: TTech-GBT2406-1 型, 美国 TESTECH 有限公司;

水平垂直燃烧试验仪: TTech-GBT2408-002 型, 美国 TESTECH 有限公司;

动态热机械分析仪: DMA/SDTA861 型, 瑞士 METTLER 公司;

扫描电子显微镜 (SEM) : S530 型, 日本日立公司。

1.3 废旧软质 PVC 线缆护套的处理

首先对废旧软质 PVC 线缆护套进行筛选并将其破碎成长度 2~3 mm 的长条, 除去其中包含的纸屑、金属丝等异物; 再用水进行清洗至其表面无明显污渍, 在 60℃ 条件下烘干 8 h, 得到 PVC 旧料, 备用。

1.4 PVC/ABS 合金的制备

将经干燥的 PVC 新料与钙锌复合稳定剂、抗氧剂 1010 和 PE-C 按照表 1 比例在高速混合机中混合 10 min, 得到 PVC 混合物。然后将 PVC 混合物、ABS 和 PVC 旧料按照表 1 比例加入到 165℃ 的开炼机中, 熔融共混 10 min, 得到样片, 将样片剪碎加入到注塑机中进行注射成型得到测试样品, 注塑温度 155~185℃, 注塑压力 5 MPa, 保压时间 5 s。

表 1 PVC/ABS 合金的制备配方 份

试样编号	PVC/ABS	PE-C	钙锌复合稳定剂	抗氧剂 1010
1 [#]	100	0	1.0	0.12
2 [#]	100	2	1.0	0.12
3 [#]	100	4	1.0	0.12
4 [#]	100	6	1.0	0.12
5 [#]	100	8	1.0	0.12
6 [#]	100	10	1.0	0.12

注: PVC/ABS 中 ABS : PVC 旧料 : PVC 新料的配比为 40 : 35 : 25。

1.5 性能测试与表征

(1) 力学性能。

拉伸强度按照 GB/T 1040.2-2006 测试, 拉伸速度 50 mm/min。

弯曲强度按照 GB/T 9341-2008 测试, 弯曲速度 2 mm/min。

悬臂梁缺口冲击强度按照 GB/T 1043-2008 测试, V 型缺口, 缺口深度 2 mm。

(2) 动态热力学性能。

采用双悬臂模式,测试频率为 1 Hz,升温速率为 3℃/min,温度控制范围为 30~140℃,试样尺寸为 60.00 mm×10.00 mm×4.00 mm。测试 PVC/ABS 合金试样的损耗模量 (E'') 和损耗角正切值 ($\tan\delta$) 曲线,分析相容性。

(3) SEM 分析。

①将试样的冲击断面进行真空喷金处理,采用 SEM 对断面进行分析,扫描电压为 20 kV。

②将试样进行低温脆断,用重铬酸钾和浓硫酸的混合水溶液进行刻蚀,将刻蚀断面进行真空喷金处理,采用 SEM 对刻蚀表面进行分析,扫描电压为 20 kV。

(4) 阻燃性能。

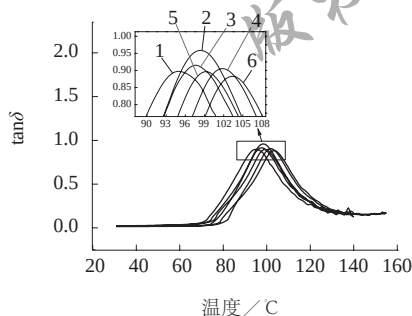
LOI 按照 GB/T 2406.2-2009 测试。

垂直燃烧性能按照 GB/T 2408-2008 测试。

2 结果与讨论

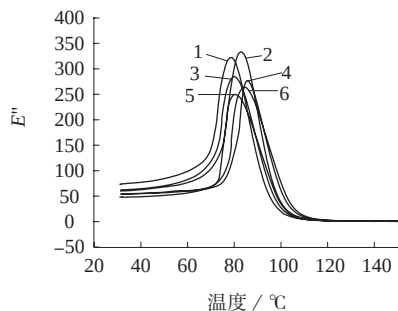
2.1 PE-C 含量对 PVC/ABS 合金的相容性影响

动态力学分析可用来研究共混物的结构和各相的玻璃化转变温度 (T_g) 变化情况,其中 T_g 可以由 $\tan\delta$ 的峰值对应的温度来确定^[13]。用动态热力学法测定 PVC/ABS 合金的 $\tan\delta$ 或 E'' ,结果如图 1 和图 2 所示。



PE-C 含量: 1—0 份; 2—2 份; 3—4 份; 4—6 份; 5—8 份; 6—10 份

图 1 不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金的 $\tan\delta$ 与温度的关系曲线



PE-C 含量: 1—0 份; 2—2 份; 3—4 份; 4—6 份; 5—8 份; 6—10 份

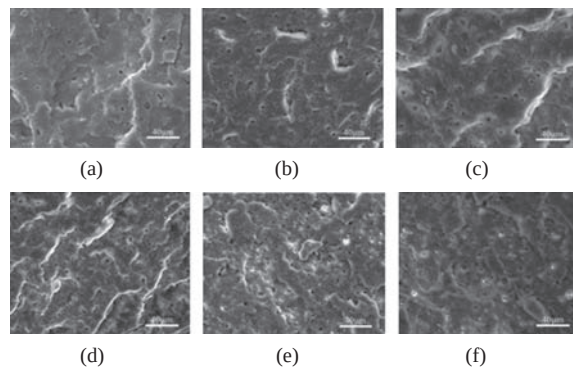
图 2 不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金的 E'' 与温度的关系曲线

由图 1 可以看出,当未添加 PE-C 时, PVC/ABS 合金的 $\tan\delta$ 峰值只出现一个,其对应的温度为 95.1℃,即 T_g 为 95.1℃;当加入 PE-C 后,各 PVC/ABS 合金的 $\tan\delta$ 峰值仍只有一个,并且随着 PE-C 含量的增加 $\tan\delta$ 峰值对应的温度总体呈现上升趋势;当 PE-C 含量分别为 2,4,6,8,10 份时,各合金的 $\tan\delta$ 峰值对应的温度即 T_g 分别为 98.2,97.6,102.0,99.1,103.5℃;当 PE-C 含量由 0 份增加到 10 份时,合金的 T_g 由 95.1℃上升到 103.5℃,上升幅度为 8.4℃。

由图 2 可知,当未添加 PE-C 时, PVC/ABS 合金的 E'' 峰值对应的温度为 78.3℃;当加入 PE-C 后,随着 PE-C 含量的增加,各合金的 E'' 峰值对应的温度总体呈现上升趋势;当 PE-C 含量分别为 2,4,6,8,10 份时,各合金的 E'' 峰值对应的温度分别为 82.2,79.9,85.8,80.4,84.7℃;当 PE-C 含量由 0 份增加到 10 份时,合金的 E'' 峰值对应的温度由 78.3℃上升到 84.7℃,上升幅度为 6.4℃。图 2 中合金的 E'' 曲线的出峰位置与合金分子链热运动有关,分子链之间的相互作用力越强,出峰位置对应的温度越高。 E'' 的出峰位置对应的温度向高温移动,说明合金分子链之间的相互作用增强, PVC 与 SAN 两相的界面结合力增加,相容性变好^[14],这与图 1 中的 T_g 明显升高相对应。图 1 中得到的单一 T_g 说明 PVC 与 SAN 具有较好的溶混性^[15],但 PE-C 的加入仍然起到了增容剂的作用,说明 PVC 与 SAN 仅仅具有溶混性,而两相界面强度不高。出现单一 T_g 可能是共混体系中含有的大量增塑剂造成的。这与文献 [16] 的研究结果一致。

2.2 PE-C 含量对 PVC/ABS 合金相结构的影响

不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金刻蚀断面形貌的 SEM 照片如图 3 所示。



PE-C 含量: a—0 份; b—2 份; c—4 份; d—6 份; e—8 份; f—10 份

图 3 不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金刻蚀断面形貌的 SEM 照片

由图 3a 可知,未加入 PE-C 时,ABS 在 PVC 中的分散不均匀且粒径较大,并且出现局部团聚现象;由图 3b~图 3f 可以看出,加入 PE-C 后,ABS 粒径变小,分散较为均匀,说明 ABS 与 PVC 接触的界面表面积增大,相界面结合力增强,两相相容性变好。

针对不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金的粒径直径进行统计后,得到合金的平均粒径变化,结果如图 4 所示。

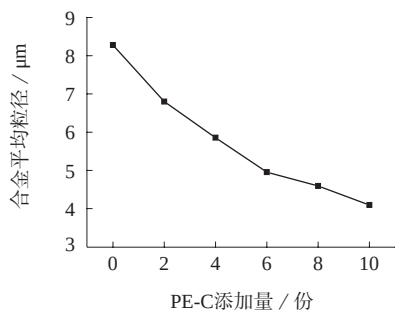


图 4 不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金的平均粒径变化

从图 4 可知,随着 PE-C 含量的增加,PVC/ABS 合金的平均粒子直径从 1[#] 试样的 8.28 μm 减小至 6[#] 试样的 4.09 μm ,表明添加 PE-C 提高了 PVC/ABS 合金的相容性。

2.3 PE-C 含量对 PVC/ABS 合金力学性能的影响

不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金的拉伸强度和断裂伸长率如图 5 所示,悬臂梁缺口冲击强度和弯曲强度如图 6 所示。

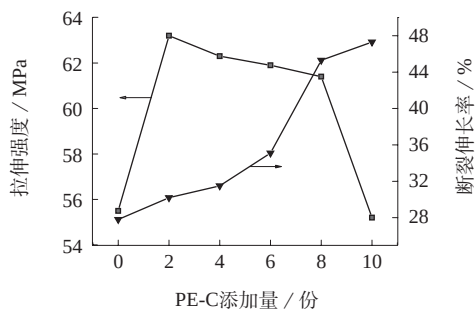


图 5 不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金的拉伸强度和断裂伸长率

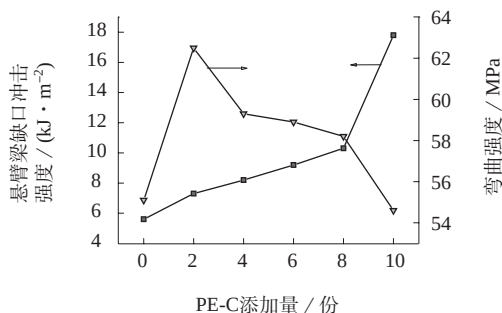


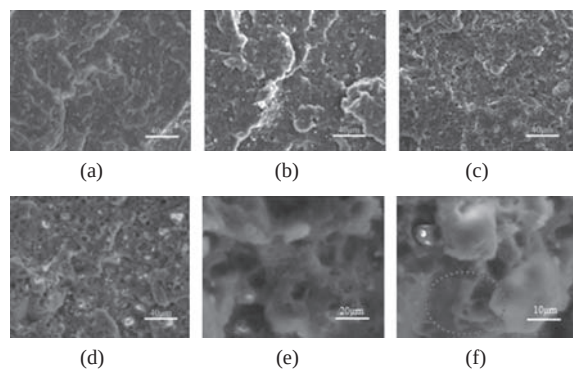
图 6 不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金的悬臂梁缺口冲击强度和弯曲强度

由图 5 和图 6 可以得出,随着 PE-C 含量的增加,PVC/ABS 合金的拉伸强度和弯曲强度均呈现先提高后逐渐降低的趋势。当加入 2 份 PE-C 时,合金的拉伸强度由未加入 PE-C 时的 55.5 MPa 提高到 63.2 MPa,弯曲强度由 55.1 MPa 提高到 62.5 MPa;随着 PE-C 含量的继续增加,合金的拉伸强度和弯曲强度逐渐下降,当加入 10 份 PE-C 时,合金的拉伸强度下降至 55.1 MPa,弯曲强度下降至 54.5 MPa。随着 PE-C 含量的增加,PVC/ABS 合金的悬臂梁缺口冲击强度和断裂伸长率逐渐提高。当加入 10 份 PE-C 时,合金的缺口冲击强度由未加入 PE-C 时的 5.6 kJ/m^2 提高到 17.8 kJ/m^2 ,断裂伸长率由 27.8% 提高到 47.3%。

当加入 2 份 PE-C 时,合金的拉伸强度、弯曲强度明显提高。这是由于 PE-C 作为 PVC 和 ABS 之间的增容剂和增韧剂,当含量较少时主要体现增容剂的作用,提高了两相界面的结合力,导致拉伸强度、弯曲强度明显提高;随着 PE-C 含量的继续增加,合金的拉伸强度、弯曲强度逐渐下降。这是由于大量添加的 PE-C 主要体现增韧剂的作用,导致拉伸强度、弯曲强度下降,尤其当 PE-C 含量大于 8 份时出现明显下降,而缺口冲击强度和断裂伸长率明显提高。当 PE-C 含量为 8 份时,PVC/ABS 合金的综合性能最佳,拉伸强度为 61.4 MPa,弯曲强度为 58.2 MPa,断裂伸长率为 45.3%,悬臂梁缺口冲击强度为 10.3 kJ/m^2 。

2.4 PE-C 含量对 PVC/ABS 合金冲击断面形貌的影响

不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金冲击断面形貌的 SEM 照片如图 7 所示。



PE-C 含量: a—0 份 ($\times 500$ 倍); b—4 份 ($\times 500$ 倍); c—8 份 ($\times 500$ 倍); d—10 份 ($\times 500$ 倍); e—8 份 ($\times 1000$ 倍); f—10 份 ($\times 2000$ 倍)

图 7 不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金冲击断面形貌的 SEM 照片

从图 7a~图 7d 可以看到,不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金的形貌基本呈现“云彩状”^[17]。随着 PE-C 含量的增加, PVC/ABS 合金的冲击断面的“云彩状”发生变化,冲击断面变得粗糙,出现大量空洞,呈现明显的韧性断裂倾向。从图 7e 和图 7f 可以看到, PE-C 的加入, PVC/ABS 合金的冲击断面出现网丝状,是一种典型的塑性变形特征,网丝拉出的过程需要吸收大量的变形功。网丝拔出说明 PVC 与 ABS 两相之间的界面结合力增加,相容性变好;同时大量空洞出现,且分布相对均匀,说明 PE-C 与 PVC, ABS 形成了一种互穿网络结构^[18],这种结构赋予了材料韧性,相应的冲击强度随之增加。

2.5 PE-C 含量对 PVC/ABS 合金阻燃性能的影响

通过 LOI 和垂直燃烧性能测试来表征 PVC/ABS 合金的阻燃性能,结果列于表 2。

表 2 不同 PE-C 含量的 PVC/ABS 合金的阻燃性能

PE-C 添加 量/份	LOI/ %	(t_1+t_2)/ s	(t_2+t_3)/ s	垂直燃 烧等级
0	29.5	4.7	2.5	V-0
2	29.2	6.9	3.1	V-0
4	29.1	15.4	7.6	V-1
6	28.8	16.9	7.6	V-1
8	28.6	17.9	8.2	V-1
10	28.5	18.4	8.6	V-1

注: t_1 为试样第一次有焰燃烧时间, t_2 为试样第二次有焰燃烧时间, t_3 为试样第二次无焰燃烧时间。

从表 2 可以看到,当未添加 PE-C 时, PVC/ABS 合金的 LOI 为 29.5%, 达到难燃级别;随着 PE-C 含量的逐渐增加, PVC/ABS 合金的 LOI 逐渐下降;当 PE-C 含量为 10 份时, PVC/ABS 合金的 LOI 下降至 28.5%。当 PE-C 含量分别为 0 和 2 份时, PVC/ABS 合金的垂直燃烧等级均为 V-0 级;随着 PE-C 含量的继续增加,材料的燃烧时间 t_1+t_2 和 t_2+t_3 均延长,材料的垂直燃烧等级则呈现下降趋势,当 PE-C 含量为 10 份时,材料的垂直燃烧等级为 V-1 级。

笔者使用的 PE-C 是聚乙烯经氯化后产生的一种氯原子呈无规分布的弹性体,氯含量达到 35%,自身存在一定的阻燃性,但是相对于 PVC 的氯含量依旧偏少。PE-C 的加入相当于向 PVC/ABS 合金体系中加入可燃物。因此,随着 PE-C 含量的增加, PVC/ABS 合金的阻燃性能下降。当 PE-C 含量为 8 份时, PVC/ABS 合金的 LOI 保持在 28% 以上,同时垂直燃烧等级可达到 V-1 级。

3 结论

(1) 加入 PE-C 提高了 PVC/ABS 合金的相容性,促进了 ABS 在 PVC 基体中的分散,提高了合金相表面的结合力。

(2) 加入 PE-C 明显提高了 PVC/ABS 合金的悬臂梁缺口冲击强度。当 PE-C 含量为 8 份时, PVC/ABS 合金的综合性能最佳,拉伸强度为 61.4 MPa,弯曲强度为 58.2 MPa,断裂伸长率 45.3%,缺口冲击强度为 10.3 kJ/m²。

(3) PE-C 在 PVC/ABS 合金中不仅由于它的氯化结构可以提高合金的相容性和力学性能,同时又因为氯元素的存在使其自身存在一定的阻燃性。因此,少量添加 PE-C 对 PVC/ABS 合金的阻燃性能的影响十分有限。当 PE-C 含量为 8 份时, PVC/ABS 合金的 LOI 保持在 28% 以上,同时垂直燃烧等级可达到 V-1 级。

参考文献

- [1] Janajreh I, Alshrah M, Zamzam S. Mechanical recycling of PVC plastic waste streams from cable industry: A case study[J]. Sustainable Cities & Society, 2015, 18:13–20.
- [2] 颜华, 邓科. 中国 PVC 产业面临的挑战及发展策略[J]. 聚氯乙烯, 2018, 46(1):1–10.
- [3] Yan Hua, Deng Ke. The challenges and development strategies of China's PVC industry[J]. Polyvinyl Chloride, 2018, 46(1):1–10.
- [4] Sadat-Shojai M, Bakhshandeh G R. Recycling of PVC wastes[J]. Polymer Degradation & Stability, 2011, 96(4):404–415.
- [5] Suresh S S, Mohanty S, Nayak S K. Composition analysis and characterization of waste polyvinyl chloride (PVC) recovered from data cables[J]. Waste Management, 2016, 60:100–111.
- [6] Wu Ningjing, Xiu Zhaoxia. Surface microencapsulation modification of aluminum hypophosphite and improved flame retardancy and mechanical properties of flame-retardant acrylonitrile-butadiene-styrene composites[J]. RSC Advances, 2015, 5:doi:10.1039/C5RA02308D.
- [7] Ma Haiyun, Tong Lifang, Xu Zhongbin, et al. A novel intumescent flame retardant: Synthesis and application in ABS copolymer[J]. Polymer Degradation & Stability, 2007, 92(4):720–726.
- [8] Gawade A R, Lodha A V, Joshi P S. PVC/ABS blends: Thermal and morphological studies[J]. Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics, 2007, 47(1):201–210.
- [9] Hosseinpour P M, Morshedien J, Barikani M, et al. Morphological, mechanical, and rheological studies of PVC/ABS blends in the presence of maleic anhydride[J]. Journal of Vinyl & Additive Technology, 2010, 16(2):127–134.
- [9] Garcia D, Balart R, Sanchez L, et al. Compatibility of recycled

- [7] Song Jing, Gunst U, Arlinghaus H F, et al. Flame treatment of low-density polyethylene: Surface chemistry across the length scales[J]. *Applied Surface Science*, 2007, 253(24):9 489–9 499.
- [8] Strobel M, Sullivan N, Branch M C, et al. Gas-phase modeling of impinging flames used for the flame surface modification of polypropylene film[J]. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2001, 15(1):1–21.
- [9] Sheng Enshan, Sutherland I, Brewis D M, et al. Surface studies of polyethylene modified by flame treatment[J]. *Journal of Materials Chemistry*, 1994, 4(3):487–490.
- [10] 孙洁. 常压等离子体处理高分子材料诱导自由基及其引发表面改性反应的研究[D]. 上海: 东华大学, 2011.
- Sun Jie. The Mechanism of free radical reactions induced by atmospheric pressure plasma treatment on polymer surfaces[D]. Shanghai: Donghua University, 2011.
- [11] Penkov O V, Khadem M, Lim W S, et al. A review of recent applications of atmospheric pressure plasma jets for materials processing[J]. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2015, 12(2):225–235.
- [12] Moritzer E, Budde C, Leister C. Effect of atmospheric pressure plasma pre-treatment and aging conditions on the surface of thermoplastics[J]. *Welding in the World*, 2015, 59(1):23–32.
- [13] 颜婧, 王玥, 冯建明, 等. 空气等离子体处理时间对聚丙烯微孔膜微观结构与亲水性的影响[J]. *塑料工业*, 2015, 43(11):43–46, 64.
- Yan Jing, Wang Yue, Feng Jianming, et al. The effect of air plasma treated time on microstructure and hydrophilicity of polypropylene microporous membranes[J]. *China Plastics Industry*, 2015, 43(11):43–46, 64.
- [14] 杨晓娜. 表面粗糙度对厌氧平面密封胶初固时间和粘接强度的影响[J]. *粘接*, 2018, 39(5):17–20, 16.
- Yang Xiaona. Effect of surface roughness on initial fixing time and adhesive strength of anaerobic flat sealant[J]. *Cohesion*, 2018, 39(5):17–20, 16.
- [15] Packham D E. Surface energy, surface topography and adhesion[J]. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2003, 23(6):437–448.
- [16] 陈森, 尹业琳, 刘亚琼, 等. 双组分聚氨酯密封胶的制备与性能研究[J]. *中国胶粘剂*, 2016, 25(10):32–35.
- Chen Miao, Yin Yelin, Liu Yaqiong, et al. Study on preparation and properties of two-component polyurethane sealant[J]. *China Adhesives*, 2016, 25(10):32–35.
-
- (上接第 48 页)
- PVC / ABS blends. Effect of previous degradation[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2010, 47(6):789–796.
- [10] 汪东清. 废旧 PVC 电线电缆料的再利用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- Wang Dongqing. Research on the reuse of recycled PVC wire and cable[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.
- [11] 吴波震. 软质 ABS / PVC 共混改性的研究分析[J]. *塑料工业*, 2007, 35(S1):147–149.
- Wu Bozhen. Study of blending modification of soft ABS / PVC[J]. *China Plastics Industry*, 2007, 35(S1):147–149.
- [12] Liu Baijun, Wang Yinglin, Gao Yuan, et al. Effect of the matrix plasticization behavior on mechanical properties of PVC / ABS blends[J]. *Journal of Polymer Engineering*, 2017, 37(3):239–245.
- [13] Hippel U, Korhonen M, Paavola S, et al. Compatibilization of poly(propylene) / polyamide 6 blends with functionalized poly(propylene)s prepared with metallocene catalyst[J]. *Macromolecular Materials & Engineering*, 2004, 289(8):714–721.
- [14] Liu Hongzhi, Xie Tingxiu, Zhang Ying, et al. Phase morphology development in PP / PA6 blends induced by a maleated thermoplastic elastomer[J]. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 2010, 44(7):1 050–1 061.
- [15] 浦鸿汀, 曹民干, 刘明. PVC / ABS / CPE 共混体系的相容性与性能研究[J]. *建筑材料学报*, 2001(3):294–298.
- Pu hongting, Cao mingan, Liu Ming. Study on the compatibility and properties of PVC / ABS / CPE blends[J]. *Journal of Building Materials*, 2001(3):294–298.
- [16] 王硕, 刘哲, 张明耀, 等. SAN 共聚物组成对 PVC / ABS 共混物相容性的影响[J]. *高分子学报*, 2007(1):31–37.
- Wang Shuo, Liu Zhe, Zhang Mingyao, et al. Effect of composition of SAN copolymer on the miscibility of PVC / ABS blends[J]. *Acta Polymerica Sinica*, 2007(1):31–37.
- [17] 周丽玲, 王新, 蔺玉胜, 等. PVC / ABS 和 PVC / CPE 两种共混体系的结构和性能[J]. *青岛科技大学学报: 自然科学版*, 2003, 24(1):48–52.
- Zhou Liling, Wang Xin, Lin Yusheng, et al. Microstructures and properties of PVC / CPE and PVC / ABS blends[J]. *Journal of Qingdao University of Science & Technology: Natural Science Edition*, 2003, 24(1):48–52.
- [18] Zhou Liling, Wang Xin, Lin Yusheng, et al. Comparison of the toughening mechanisms of poly(vinyl chloride) / chlorinated polyethylene and poly(vinyl chloride) / acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer blends[J]. *J Appl Polym Sci*, 2003, 90(4):916–924.