

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.11.024

弹性体含量对增强聚丙烯材料力学性能的影响

王道娟,李伟,陈嘉杰,俞飞,胡佳旭,赖昂,雷亮,吴国峰,杨波,罗忠富

(金发科技股份有限公司企业技术中心,塑料改性与加工国家工程实验室,广州 510663)

摘要:从汽车应用范围较广的晶须和玻纤增强体系考虑,研究了乙烯-辛烯共聚物(POE)含量和黏度对聚丙烯(PP)材料力学性能、光泽度、摩擦系数以及表面硬度的影响。研究表明,对于无增强体系,POE含量低于25%时,POE黏度对冲击强度的影响较小。当POE含量达到25%时,冲击强度随着POE黏度的增加先降低后升高,POE黏度最高的冲击性能也最高。对于晶须体系,随着POE含量增加,高黏度POE体系的冲击强度显著增加,远远高于低黏度POE体系。而玻纤体系却相反,随着POE含量的增加,高黏度体系的冲击强度要低于低黏度POE体系。另外,随着POE含量增加,材料表面硬度降低,材料摩擦系数增加,但是材料光泽度的变化趋势和POE黏度差异有关。对于无增强高黏度POE体系来说,POE含量增加,光泽度下降;对于低黏度POE体系来说,POE含量增加,光泽度上升。对于增强高黏度POE体系来说,晶须体系中POE含量增加时,光泽度有明显提高;玻纤体系中POE含量增加时,光泽度增加不显著,但是整体光泽度要低于晶须体系。选择黏度较高POE和玻纤的增强增韧体系可以实现材料低硬度低光泽度低摩擦系数的效果。

关键词:聚丙烯;增强;乙烯-辛烯共聚物;含量;光泽度;摩擦系数;硬度

中图分类号: TQ 325.14, TQ327.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2020)11-0121-08

Research on The Effect of Elastomer Content on Mechanical Properties of Reinforced Polypropylene Materials

Wang Daojuan, Li Wei, Chen Jiajie, Yu Fei, Hu Jiaxu, Lai Ang, Lei Liang, Wu Guofeng, Yang Bo, Luo Zhongfu

(National-certified Enterprise Technology Center, Kingfa Science and Technology Co., Ltd. National Engineering Laboratory for Plastic Modification and Processing, Guangzhou 510663, China)

Abstract : The effects of Ethylene-octene copolymer (POE) content and viscosity on the mechanical properties, gloss, friction coefficient and surface hardness of polypropylene materials were studied regarding the whisker reinforced and glassfiber-reinforced systems with a wide range of automotive applications. For the unreinforced system, when the POE content is less than 25%, the POE viscosity has little effect on the impact strength. When the POE content reaches 25%, the impact strength first decreases and then increases with the increase of the POE viscosity, and the impact performance with the highest POE viscosity is also the highest. For the whisker system, as the content of POE increases, the impact strength of the high-viscosity POE system increases significantly with the content of POE increasing, which is much higher than that of the low-viscosity POE system. The opposite is true for glass fiber systems. As the content of POE increases, the impact strength of high-viscosity systems is lower than that of low-viscosity POE systems. Meanwhile, with the content of elastomer increasing, the surface hardness of the material decreases, and the friction coefficient of the material increases, but the change trend of the material gloss is related to the difference in the viscosity of the elastomer. For an unreinforced high-viscosity elastomer system, the gloss decreases with the elastomer content increasing; for a low-viscosity elastomer system, the gloss increases with the elastomer content increasing. For the reinforced system, when the POE content of the whisker system increases, the gloss is significantly improved; when the POE content of the glass fiber system increases, the gloss increase is not obvious, but the overall gloss is lower than that of the whisker system. In short, in order to achieve the effect of low hardness, low gloss and low friction coefficient through the increase of elastomer content, choosing a higher viscosity POE and glass fiber reinforced system is very important.

Keywords : polypropylene; reinforced; POE; content; gloss; friction coefficient; surface hardness

通信作者: 王道娟, 硕士, 主要从事改性塑料的开发和研究 E-mail: wangdaojuan@kingfa.com.cn

收稿日期: 2020-09-02

引用格式: 王道娟, 李伟, 陈嘉杰, 等. 弹性体含量对增强聚丙烯材料力学性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(11):121-128, 149.

Wang Daojuan, Li Wei, Chen Jiajie, et al. Research on the effect of elastomer content on mechanical properties of reinforced polypropylene materials[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(11):121-128, 149.

聚丙烯(PP)是商业化塑料中发展最为迅速的品种之一。它具有综合力学性能好、无毒、易加工、耐化学品等优点,而且原料易得,价格低廉,因而在家电、汽车以及包装等领域得到了广泛的应用。但单纯的PP树脂其强度和模量较低,对于需要一定刚性制品需要在PP中增加填料,目前国内有很多专家在增强PP产品上做了大量的工作^[1-9]。随着增强PP材料在汽车工业领域中应用的日益广泛,车用增强PP材料的改性,从原来的单纯满足材料功能性属性,如强度、硬度、热性能等,变为在此基础上同时满足一些附加特性,如耐划伤、低VOC、低气味、良好的注塑外观等。其中,注塑制件的外观给人以第一印象,是最直接影响人们感观评价的标准之一。特别是在汽车内饰材料中,以仪表板为例,除了材料的刚性要满足实际制品需求外,还需要解决客户的关于制件塑料感太强的差评。塑料感太强主要体现在材料的光泽度太高,材料太硬,人接触塑料时有一定的摩擦阻力。因此为了提高客户汽车内饰材料满意度,开发低光泽、低硬度以及低摩擦系数的PP复合材料是具有重要意义的。国内有很多专家小组在低光泽PP产品上也做了大量的工作^[10-14],这些降低材料光泽度的方法对后续开发低光泽、低摩擦、低硬度的增强PP材料奠定了基础。

笔者为了开发低光泽、低硬度以及低摩擦系数的增强PP复合材料,例如汽车内饰仪表板材料,选择汽车应用范围较广的晶须和玻纤增强体系,研究了乙烯-辛烯共聚物(POE)含量以及POE黏度对光泽、硬度以及摩擦系数的影响。为了实现材料的低硬度,需要在配方体系中加入一定含量的POE,但是POE含量过高时导致材料表层橡胶POE相含量提高,导致材料表面摩擦系数也提高;同时POE黏度的差异会导致橡胶相分散形态的差异,也会导致材料光泽度的变化。此外,POE含量增加会影响PP材料的刚性和流动性,这对材料的实际应用也是不利的。另外,晶须和玻纤填充体系随着POE含量的增加,摩擦系数和光泽度的变化趋势也是不同的,因此选择合适的POE黏度以及优化POE含量对于开发低光泽、低摩擦、低硬度的增强PP材料是特别重要的。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP:熔体流动速率(MFR):100 g/10 min,韩国SK公司;

POE1:MFR 0.5 g/10 min,美国陶氏化学公司;

POE2:MFR 5 g/10 min,美国陶氏化学公司;

POE3:MFR 13 g/10 min,美国陶氏化学公司;

晶须:威斯特有限公司;

玻纤:直径13微米,长度4 mm,巨石集团有限公司;

马来酸酐相容剂:以色列普利朗公司;

润滑剂:硬脂酸盐类,中山华明泰化工股份有限公司;

黑色母粒2772:美国卡博特公司;

抗氧剂:1010,168,山东省临沂市三丰化工有限公司。

1.2 主要设备及仪器

双螺杆挤出机:TST30型,科倍隆(南京)机械有限公司;

注塑机:EM80-V型,震德注塑机有限公司;

万能材料实验仪:ZWICK/Z020型,德国ZWICK公司;

MFR测试仪:BMF-003型,德国ZWICK公司;

邵氏硬度计D型:LX-D型,上海六菱仪器厂;

光泽度仪:1147104型,德国毕克化学;

摩擦系数仪:Roell T0.5型,德国ZWICK公司;

扫描透射电镜(STEM):SU8010型,日本日立公司。

1.3 实验设计

分别从晶须和玻纤两个增强体系来研究POE含量对光泽度、硬度以及摩擦系数的影响。同时每个体系选取3个黏度不同的POE进行对比验证,对比不同黏度的POE及其含量增加对材料特性的影响是否具有相同的规律。作为对比,同时也研究了纯PP体系POE含量对基本性能的影响。PP选择固定MFR的PP,POE含量分别设定为15%,20%,25%,30%和35%5种含量。其中,晶须增强配方体系为a(固定晶须含量20%);玻纤增强配方体系为b(固定玻纤含量20%+3%马来酸酐相容剂),纯PP配方体系为c。所有配方体系润滑剂含量为2‰,抗氧剂含量1010和168的含量分别为2‰,黑色母粒的含量为8‰。按照一定质量比混匀后在双螺杆挤出机中挤出造粒,挤出温度设定为230℃,螺杆转速设定为600 r/min,喂料设定为30 kg/h。然后将其加入注塑机中,注塑温度设定为200℃,注塑压力

设定为 40~45 MPa,注塑速度设定为 40%~45%,保压时间设定为 15~20 s,冷却时间设定为 15~20 s。注塑成 ISO 力学试条、皮纹板、3 mm 方板和 2 mm 方板,进行基本力学表征,硬度,光泽度和摩擦系数表征。

1.4 测试与表征

MFR 按 ISO 1133-1/2-2011 测试,条件为 2.16 kg,230℃。

密度按 ISO 1183-1-2019 测试。

拉伸性能按 ISO 527-1/2,50 mm/min 测试。

弯曲性能按 ISO 178-2019,2 mm/min 下测试。

悬臂梁缺口冲击性能按 ISO 180-2000 测试。

光泽度表征:采用光泽度仪对材料进行光泽度测试,选择 Stucco 皮纹面,在 60° 下进行数据确认。

硬度表征:采用邵 D 硬度仪对材料进行硬度测试,为了确保数据的准确性和稳定性,将 3 片 3 mm 的方板叠加后进行测试。

摩擦系数表征:采用摩擦系数仪对材料进行摩擦系数表征,砝码重量为 200 g,为了平行对比,选择测试白纸和材料之间的摩擦系数,每组样品测试完后更换白纸。

材料表面形貌观察:采用 STEM 观察材料的表面形貌。

橡胶形貌观察:将材料冷冻超薄切片,并用四氧化钨进行染色,橡胶被染成黑色,然后采用 STEM 观察橡胶形貌。

2 结果与讨论

2.1 基本物性表征

(1) MFR。

POE 含量的差异给材料基本物性带来一定程度地影响。首先对 3 个体系的 MFR 进行了表征,如图 1 所示。从图 1 中发现,无论无填充还是增强体系,POE 含量增加,材料的 MFR 有明显的下降。同时,玻纤填充体系,由于玻纤尺寸较大,影响流动性,故玻纤体系材料的 MFR 和其它体系相比有明显下降,因此在做玻纤体系增强材料时要重视对 MFR 的优化。

(2) 力学性能。

① 弯曲及拉伸性能。

对 3 个 PP 材料体系的弯曲及拉伸性能(刚性)进行了表征。分别测试了 PP 材料的弯曲弹性模

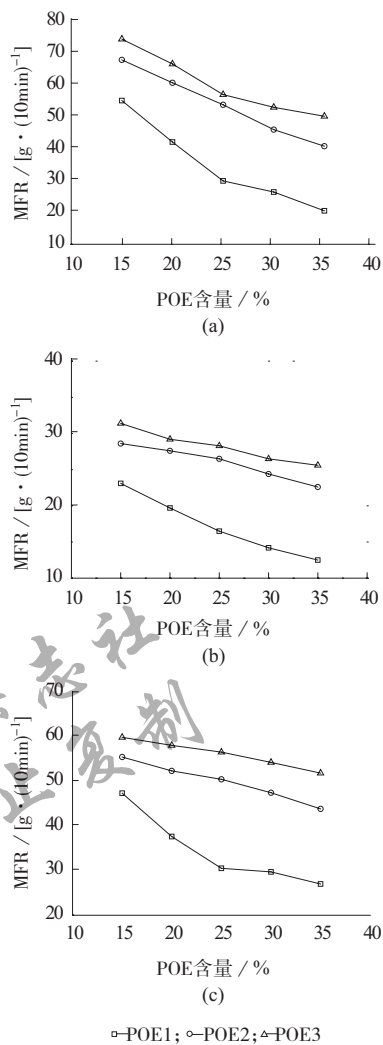
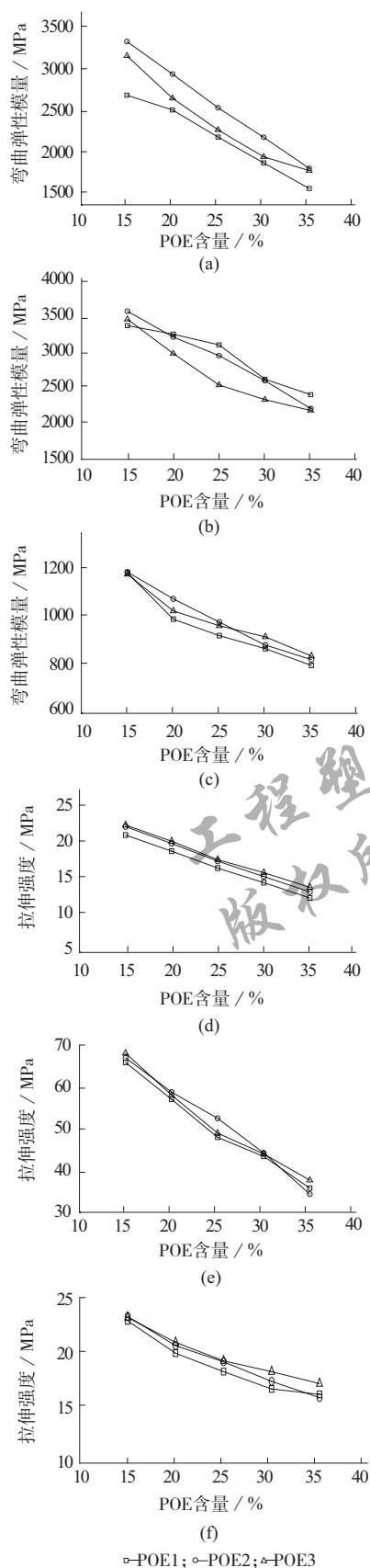


图 1 POE 含量对材料 MFR 的影响

量和拉伸强度,如图 2 所示。无论增强与否,随 POE 含量增加,材料的弯曲弹性模量和拉伸强度有明显下降。为了降低材料的硬度,需要增加 POE 含量。当 POE 含量增加到 30% 时,无填充体系的弯曲弹性模量已低于 1000 MPa,如果把此材料用到汽车内饰仪表板上,此刚性是不足够的。因此用晶须来增强,30% POE 含量下 PP 材料弯曲弹性模量可以达到 2000 MPa,但是由于晶须和 PP 基体树脂之间的界面缺陷,晶须增强后的拉伸强度比无填充要低,对于实际制品需求也是不利的。为了同时增加材料的拉伸强度和弯曲弹性模量,使其满足实际制品刚性需求,采用了玻纤填充 PP 体系作为汽车内饰低光泽、低硬度仪表板的开发基材体系。35% POE 含量下,材料的拉伸强度有 35 MPa,弯曲弹性模量有 2200 MPa。

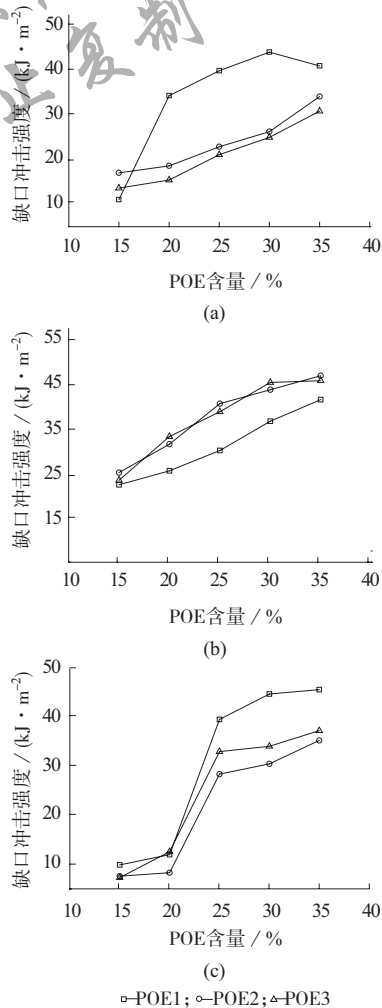


弯曲弹性模量 / 拉伸强度: a, d—晶须; b, e—玻纤; c, f—无填充

图2 POE含量不同时PP材料弯曲及拉伸性能

②缺口冲击强度。

对3个PP材料体系的悬臂梁冲击强度也进行了测试,结果如图3所示。从图3可以看出,对于无填充体系,POE含量低于25%时,POE黏度对PP材料的冲击强度影响较小。当POE含量达到25%时,冲击强度随着POE黏度的增加先降低后升高,POE黏度最高时冲击性能也最高。这主要是因为随着POE黏度增大,虽然POE分子量变大,但POE的分散也变差,两方面因素共同影响PP材料的冲击强度。当POE增加到一定黏度时,POE分子量的影响占主要因素,特别是当POE含量增加到一定程度时,橡胶相的分散已不再成为影响材料冲击强度的主要因素,而POE分子量直接影响材料的冲击强度,因而POE黏度越大,材料冲击强度越高。对于晶须体系,随着POE含量增加,高黏度POE体系的冲击强度显著增加,远远高于低黏度POE体系。



a—晶须; b—玻纤; c—无填充

图3 POE含量不同时PP材料冲击强度

这主要是因为晶须有助于橡胶相的分散,橡胶相被拉伸变长严重。对于低黏度 POE 体系,芯层橡胶相被严重拉伸成长条状,而增韧效果最理想的橡胶相应是球状,高黏度 POE 体系的橡胶相已球状分散。另一方面,在玻纤体系中由于玻纤能够贯穿到 PP 基体中,玻纤自身可以吸收较多的能量,对材料的冲击强度有重要影响。因此与无填充和晶须填充体系不一样,玻纤体系随着 POE 含量增加,高黏度体系的冲击强度要低于低黏度 POE 体系,这主要是因为随着 POE 含量的增加,高黏度 POE 会包裹玻纤,玻纤提高材料冲击强度的作用被限制,材料整体冲击强度会降低。

2.2 光泽度表征

POE 含量的差异对 PP 材料的光泽度会带来一定程度地影响,首先对 3 个 PP 体系随着 POE 含量的增加其光泽度的变化进行了表征,见图 4。

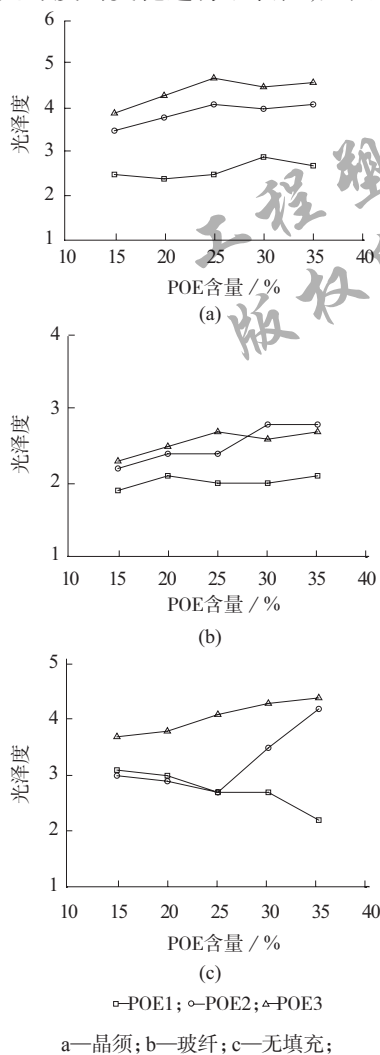


图4 POE 含量不同时 PP 材料光泽度

如图 4 所示,无论增强与否,POE 黏度越低,PP 材料整体光泽度越大。但是不同 POE 黏度的 PP 材料其光泽度随着 POE 含量的增加表现出的趋势是不同的。

对于无填充体系,选择高黏度 POE1 时,随着 POE 含量增加,高结晶 PP 的比例降低,材料整体光泽度降低,另外高黏度 POE1 体系造成体系橡胶 / 基体黏度比增加,材料中的橡胶相在高 POE 含量下不易被拉伸发生变形,材料光泽度不会再增加。选择中黏度 POE2 时,随 POE 增加,高结晶 PP 比例降低,但当 POE 含量增加到一定程度时,其橡胶相被显著拉伸,造成 PP 材料的光泽度显著提高。特别是选择最低 POE 黏度 POE3,体系黏度降低,橡胶相被显著拉伸,且 POE 含量增加,被拉伸的橡胶相互贯通连接,造成材料的光泽度显著提高,具体还需要通过橡胶形貌来进一步分析。

对于晶须体系,由于晶须的加入促进了橡胶相的分散,橡胶相被拉伸,不同 POE 黏度体系其光泽度随着 POE 含量的增加都表现出增加的趋势,其中低黏度 POE 改性 PP 的光泽度明显更高。由于晶须有助于橡胶相的分散,不像无填充体系那样,对于高黏度 POE1 体系,POE 含量增加时,光泽度没有下降反而发生明显的上升。

对于玻纤体系,因为玻纤尺寸较大,对橡胶相的分散效果没有晶须体系显著,例如高黏度弹性体 POE1 体系,不像晶须体系,随着弹性体含量增加其光泽度增加不明显。另外,由于玻纤造成的漫反射的影响,PP 材料整体光泽度要普遍低于无填充和晶须体系。

2.3 摩擦系数表征

除了光泽度,对 3 个 PP 材料体系随着 POE 含量的增加其动摩擦系数的变化也进行了表征,如图 5 所示。由图 5 可知,POE 黏度对材料的摩擦系数也有一定程度地影响。无论晶须还是玻纤或者无填充体系,POE 黏度降低,PP 材料摩擦系数整体上提高,这主要原因是 POE 黏度降低,材料表层的橡胶相含量就会越大,一般情况下会导致摩擦系数变大。此外,如图 5 所示,无论哪个体系,选择不同 POE 黏度时其材料摩擦系数随着 POE 含量的增加都表现出增加的趋势,尤其对于无填充体系,可以看出,随 POE 含量增加,低黏度体系的摩擦系数升高趋势更

为明显,这也验证了材料橡胶相含量决定了 PP 材料摩擦系数。橡胶相含量越高,PP 材料摩擦系数越大。此外,玻纤体系的动摩擦系数整体最大。

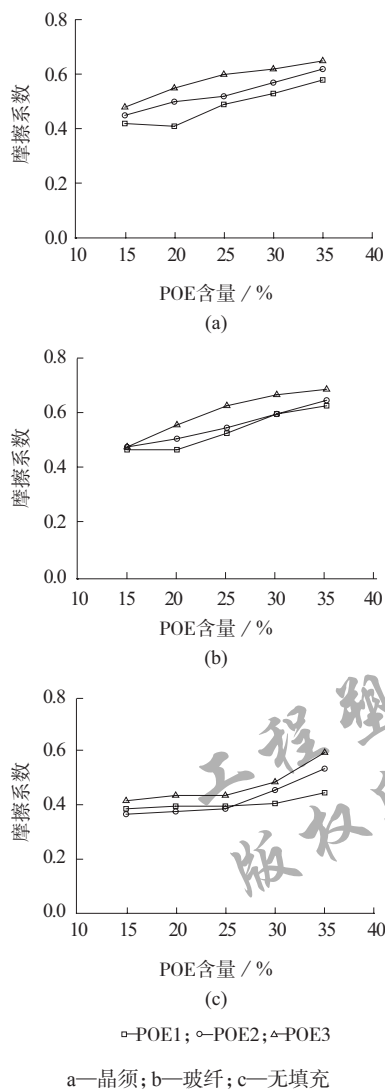


图5 POE 含量不同时 PP 材料摩擦系数

2.4 硬度表征

除了光泽度,摩擦系数外,POE 的含量对 PP 材料的表面硬度有直接地影响。一般情况下,POE 含量越高,其材料皮层相对较厚,表层橡胶相含量相对较高,导致材料表面硬度相对较低,见图 6。如图 6 所示,无论增强与否,不同 POE 黏度体系其材料邵 D 硬度随着 POE 含量的增加都明显下降,一般降低 10~15。另外,不管增强与否,POE 黏度越大,材料表层橡胶相含量越低,材料表面硬度越大。对于无填充体系,可以看出,随 POE 含量增加,低黏度 POE 时 PP 材料体系的硬度下降趋势更为明显。

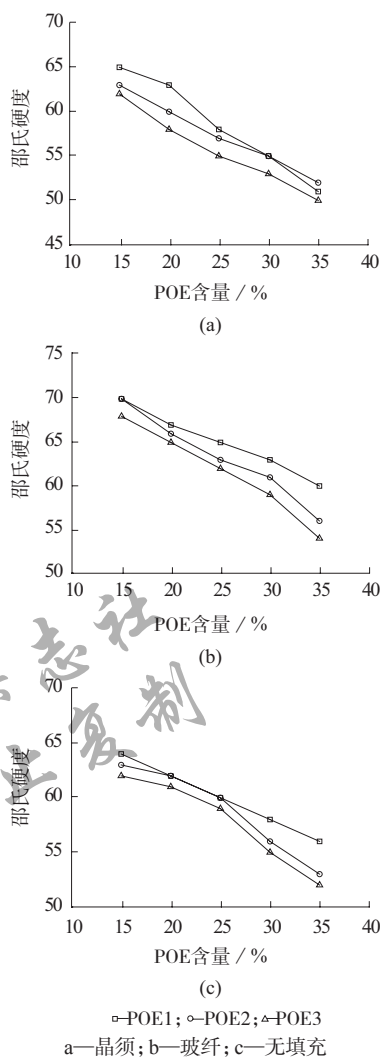


图6 POE 含量不同时 PP 材料硬度

2.5 形貌表征

对无填充 PP 体系的表面形貌和皮层橡胶相分散进行了表征,如图 7~图 8 所示。从图 7 可看出,对于高黏度 POE1 体系,随着 POE 含量增加,其表面变得越粗糙,考虑到光射到粗糙表面会加剧漫反射,而漫反射会降低光泽度,同时表面粗糙对于表面摩擦系数也是不利的,与实际的光泽度和摩擦系数测试结果相符合。另一方面,对于低黏度 POE3 来说,随着 POE 含量增加,其表面变得光滑,对于光泽度的提高是有利的,与实际的光泽度测试结果相符合。材料表面变得光滑、摩擦系数反而增加,主要原因是影响摩擦系数的最关键因素是 PP 材料表面橡胶相含量。图 8 分别为含不同含量 POE1 和 POE3 的无填充材料体系皮层结构形貌 STEM 图。在该测试中,采用四氧化钨染色,橡胶相会被染成黑色,而基体 PP 不会被染色而呈现灰色。

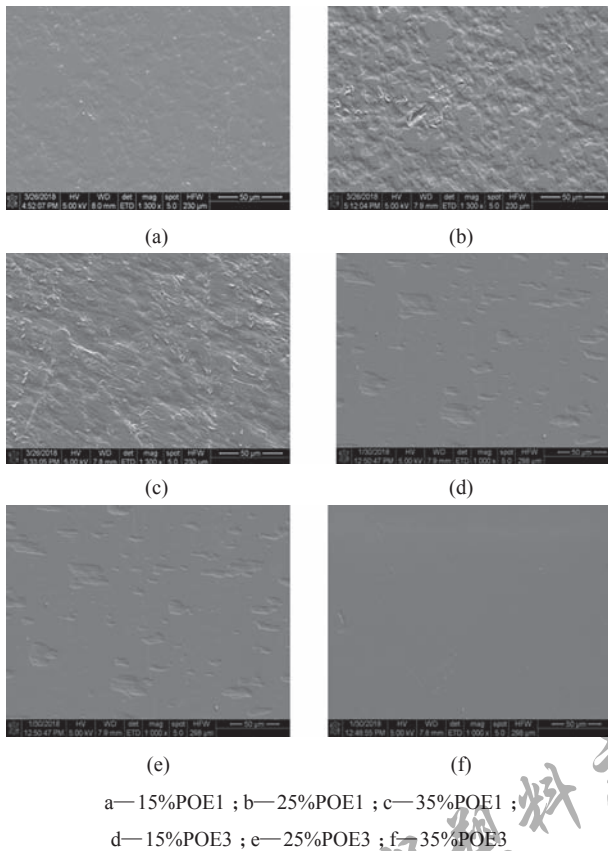


图7 无填充体系下 POE1 或 POE3 不同含量时 PP 材料表面形貌

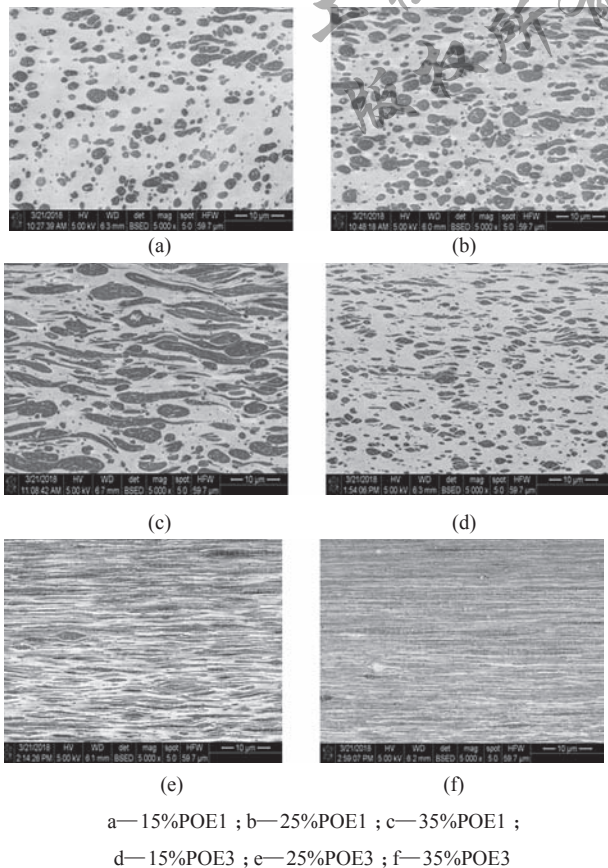


图8 无填充体系下 POE1 或 POE3 不同含量时 PP 材料皮层形貌

由图 8 所示,对于高黏度 POE1 体系,由于体系黏度比大,使得橡胶相不易分散,从而变形程度降低。随 POE 含量增加,不易分散的橡胶相粒径逐渐增大,导致皮层橡胶相数量和粒径都同时增大。橡胶相数量增加对降低 PP 表面硬度是有利的,但会导致表面摩擦系数的提高;橡胶相粒径增加会导致表面粗糙,降低光泽度,同时粗糙的表面也会增加表面摩擦系数。另一方面,对于低黏度 POE3 体系,由于体系黏度小,皮层橡胶相被剪切拉伸更加严重。随着 POE 含量增加,被拉伸的橡胶相相互贯通连接,当 POE 含量到一定量时,整个皮层橡胶相全部以长条形态分布,造成材料光泽度显著提高。整个皮层变厚,皮层橡胶相含量显著增加,导致 POE3 体系硬度随 POE 含量增加而下降的趋势比 POE1 体系更加明显,同时摩擦系数也随 POE 含量的增加而迅速增加。此外,由于晶须和玻纤的加入对材料的光泽度和摩擦系数都有不同程度影响,故对晶须和玻纤增强 PP 体系的表面形貌也做了表征,如图 9 所示,固定 POE 含量为 25%,研究不同黏度 POE 下,晶须和玻纤体系的 PP 表面形貌差异。

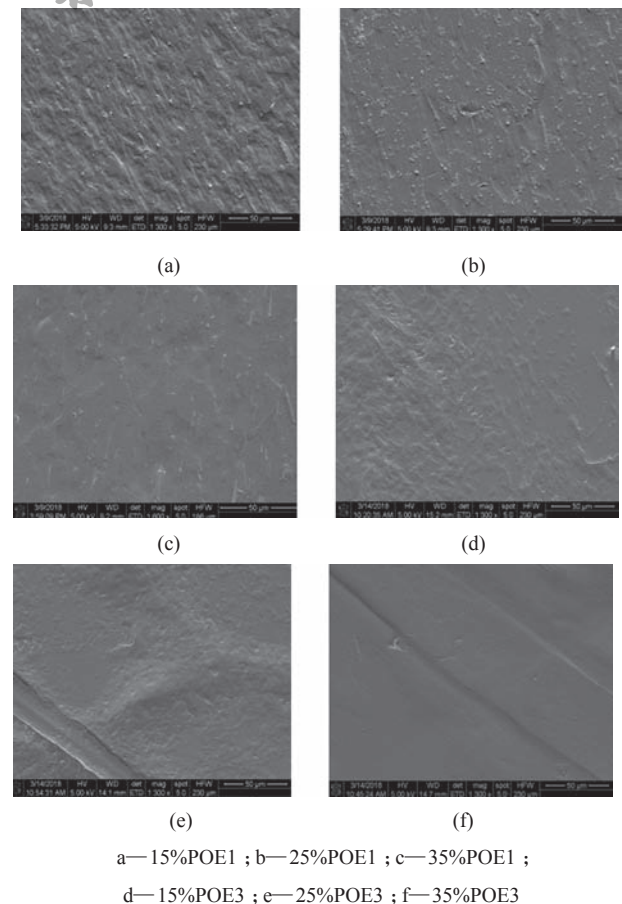


图9 晶须和玻纤增强体系下含不同黏度 POE 的 PP 材料表面形貌

如图9所示,加入晶须和玻纤后,材料表面有清晰的针状晶须和玻纤结构,这会增加光的漫反射现象,虽然填料的加入会改善橡胶相的分散,但是大尺寸填料对光泽度影响更大,PP材料整体光泽度比无填充体系有一定程度地下降,此外,增加弹性体黏度,材料表面变得粗糙,光泽度下降,这与无填充体系的光泽度的变化趋势是一致的。同时,对于晶须和玻纤增强体系,材料表面残留的填料在一定程度上会增加材料的摩擦系数。由于纯PP体系中加入晶须后,材料的冲击性能发生了显著地变化,且不同黏度POE弹性体体系的冲击性能发生变化程度不同,故对晶须增强PP体系的表面橡胶相形貌做了表征,如图10所示。

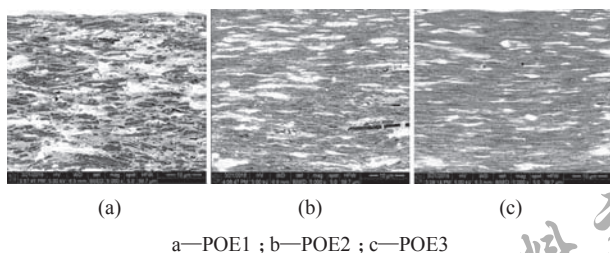


图10 晶须体系下含有不同黏度POE的PP材料皮层形貌

由图10可知,晶须的加入使橡胶相严重拉伸,特别是对于POE3黏度较低的弹性体体系,芯层橡胶相已经被严重拉伸成长条状,而增韧效果最理想的橡胶相应是球状。从冲击的测试结果来看,加入晶须后,低黏度弹性体体系的悬臂梁冲击相比相应的无填充体系都有一定程度地降低。而高黏度弹性体体系,加入晶须后,橡胶相分散变好,橡胶相粒径变小,这有利于材料韧性的提高。从最终的冲击测试结果上来看,高黏度弹性体体系的悬臂梁冲击相比相应的无填充体系都有显著地提高。

4 结论

(1) 随POE黏度升高,非增强和增强体系的MFR均下降,玻纤体系整体流动性偏低。为了降低材料的硬度,需要增加一定含量的POE,同时需要用玻纤增强来保证材料刚性。35%POE含量下,玻纤增强材料的拉伸强度有35 MPa,弯曲弹性模量有2200 MPa。

(2) 对于无填充体系,POE含量低于25%时,POE黏度对冲击强度的影响较小。当POE含量达到25%时,冲击强度随着POE黏度的增加先降低后升高,POE黏度最高的冲击性能也最高。

(3) 对于晶须体系,随着POE含量增加,高黏

度POE体系的冲击强度显著增加,远远高于低黏度POE体系。而玻纤体系却相反,随着POE含量的增加,高黏度体系的冲击强度要低于低黏度POE体系。

(4) 对于无填充体系,摩擦系数和硬度随POE含量和黏度变化的趋势总体上与增强体系基本相同,但高黏度POE改性PP的光泽度随POE含量增加而降低,而低黏度POE改性PP的光泽度随POE含量增加而升高。对于晶须体系,不同POE黏度体系其光泽度随着POE含量的增加都表现出增加的趋势,其中低黏度POE改性PP的光泽度明显更高。对于玻纤体系,高黏度POE改性PP的光泽度随着弹性体含量增加其增加不明显,材料整体光泽度要普遍低于无填充和晶须体系。

(5) 通过增加POE含量来实现材料的低硬度,同时保证材料的低光泽度和低摩擦系数,需要选择黏度较高POE对材料进行增韧。另外,考虑到材料要在实现表面低硬度后具有一定的刚性满足制品需求,故需要采用玻纤来增强。

参考文献

- [1] 姜勇,徐声钧,王燕舞. 玻璃纤维增强聚丙烯的研制及应用[J]. 塑料科技,2000(1):7-9.
Jiang Yong, Xu Shengjun, Wang Yanwu. The study and application of glass fiber reinforcement polypropylene[J]. Plastics Science and Technology, 2000(1):7-9.
- [2] 汪克风,吕家杰,刘珍元,等. 玻纤增强PP复合材料的研究高光泽聚丙烯的研制[J]. 广东化工,2013,40(3):1-2.
Wang Kefeng, Lyu Jiajie, Liu Zhenyuan, et al. Study of glass fiber reinforcing PP composites[J]. Guangdong Chemical Industry, 2013,40(3):1-2.
- [3] 葛建芳,齐凯琴. 聚丙烯增强增韧进展[J]. 工程塑料应用,2000,28(2):37-39.
Ge Jianfang, Qi Kaiqin. Advance of the toughening and strengthening of polypropylene[J]. Engineering Plastics Application, 2000,28(2):37-39.
- [4] 王伟宁,王思嘉,胡金华. 高纯针状结晶氧化镁对聚丙烯的增强作用[J]. 塑料工业,1991(2):46-48.
Wang Weining, Wang Sijia, Hu Jinhua. The reinforcing action of high-purity needle magnesium oxide to polypropylene[J]. China Plastics Industr, 1991(2):46-48.
- [5] 王旭,唐伟,胡燕. 高韧性高强度聚丙烯复合材料的研究[J]. 工程塑料应用,2006,34(5):19-21.
Wang Xu, Tang Wei, Hu Yan. Study on polypropylene composite with high strength and high toughness[J]. Engineering Plastics Application, 2006,34(5):19-21.

- [34] 曲方圆. SMS非织造手术衣材料泡沫整理工艺研究[D]. 上海: 东华大学, 2016.
Qu Fangyuan. Research on foam finishing process of SMS non-woven surgical gown[D]. Shanghai: Donghua University, 2016.
- [35] Yoshida S, et al. Surface & Coatings Technology, 2013, 233:99-107.
- [36] 蒋佩林, 等. 东华大学学报: 自然科学版, 2019, 45(3):339-344.
Jiang Peilin, et al. Journal of Donghua University: Natural Sciences, 2019, 45(3):339-344.
- [37] 江奇佳, 等. 现代纺织技术, 2020, 28(5):13-20.
Jiang Qijia, et al. Advanced Textile Technology, 2020, 28(5):13-20.
- [38] 张恒, 等. 丝绸, 2019, 56(7):46-51.
Zhang Heng, et al. Silk, 2019, 56(7):46-51.
- [39] 王伟, 等. 东华大学学报: 自然科学版, 2016, 42(5):681-688.
Wang Wei, et al. Journal of Donghua University: Natural Sciences, 2016, 42(5):681-688.
- [40] 梁梦迪, 等. 合成纤维, 2020(3):34-38.
Liang Mengdi, et al. Fiber in China, 2020(3):34-38.
- [41] Wang Hongxia, et al. Advanced Materials Interfaces, 2015, 2(4). doi:10.1002/admi.201400506.
- [42] Ahmed Babar Aijaz, et al. Colloid and Interface Science, 2020. doi:10.1016/j.jcis.2020.05.062.
- [43] Miao Dongyang, et al. Small, 2018, 14(32). doi:10.1002/smll.201801527.
- [44] 罗洁. 时代农机, 2019, 46(12):84-85.
- [45] 黄浩. 超湿润聚苯硫醚油水分离超细纤维膜的制备与性能研究[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2019.
Huang Hao. Preparation and performance of ultra-wet polyphenylene sulfide oil-water separation ultrafine fiber membrane[D]. Wuhan: Wuhan Textile University, 2019.
- [46] 张贤, 等. 浙江理工大学学报: 自然科学版, 2020, 43(3):283-292.
Zhang Xian, et al. Journal of Zhejiang Sci-Tech University: Natural Sciences Edition, 2020, 43(3):283-292.
- [47] 附青山, 等. 四川轻化工大学学报: 自然科学版, 2020, 33(2):7-13.
Fu Qingshan, et al. Journal of Sichuan University of Science & Engineering: Natural Science Edition, 2020, 33(2):7-13.
- [48] Wang Zhe, et al. Separation and Purification Technology, 2020, 235. doi:10.1016/j.seppur.2019.116183.
- [49] 蒋佩林. PBT/壳聚糖单向导电非织造材料的制备及其在细胞过滤与释放中的应用[D]. 上海: 东华大学, 2018.
Jiang Peilin. Preparation of PBT/chitosan unidirectional water-conducting nonwoven material and its application in cell filtration and release[D]. Shanghai: Donghua University, 2018.
- [50] 崔景强, 等. 产业用纺织品, 2019, 37(8):22-27.
Cui Jingqiang, et al. Technical Textiles, 2019, 37(8):22-27.
- [51] Yang Jing, et al. Cellulose, 2019, 26(12):7507-7522.
- [52] Chen Shenqiu, et al. Science of The Total Environment, 2020, 729. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138876.
-
- (上接第128页)
- [6] Xin Wang, Hongyue Yuan, Yamin Pan, et al. Creep behavior and mechanical properties of isotactic polypropylene composites via twice melt injection molding[J]. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2019(2):102-109.
- [7] 赵梓年, 沈惠玲. PP与镁盐晶须复合材料性能的研究[J]. 现代塑料加工应用, 2005, 17(1):35-38.
Zhao Zinian, Shen Huiling. Study on properties of composites of pp and magnesium salt whisker[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2005, 17(1):35-38.
- [8] 周健, 蒋艳峰. 晶须镁盐/POE/聚丙烯共混体系力学性能的研究高光泽聚丙烯技术进展[J]. 塑料工业, 2005, 33(9):18-21.
Zhou Jian, Jiang Yanfeng. Study of mechanical properties of whisker magnesium salt/POE/PP blend system[J]. China Plastics Industry, 2005, 33(9):18-21.
- [9] 李伟, 李志鹏, 陈嘉杰, 等. 弹性体黏度对不同填充体系聚丙烯材料力学性能的影响[J]. 广州化工, 2020, 48(20):36-41, 109.
Li Wei, Li Zhipeng, Chen Jiajie, et al. Research on the effect of the elastomer viscosity on mechanical properties of polypropylene materials with different filling systems[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2020, 48(20):36-41, 109.
- [10] 俞飞, 陈嘉杰, 李振华, 等. 汽车内饰用聚丙烯复合材料的制备与性能[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(12):37-43.
Yu Fei, Chen Jiajie, Li Zhenhua, et al. Preparation and properties of polypropylene composites for automotive interiors[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(12):37-43.
- [11] 李伟, 何海龙, 吴国峰, 等. 增韧剂含量和黏度对聚丙烯复合材料光泽度的影响[J]. 塑料工业, 2018, 46(4):33-36.
Li Wei, He Hailong, Wu Guofeng, et al. Effect of the content and the melt viscosity of toughening agent on the gloss of PP composites[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(4):33-36.
- [12] 贺丽丽, 高翔, 盛超, 等. 低光泽度聚丙烯材料的研究[J]. 汽车工艺与材料, 2019(10):68-72.
He Lili, Gao Xiang, Sheng Chao, et al. Research in low gloss polypropylene material[J]. Automobile Technology & Material, 2019(10):68-72.
- [13] 李丽, 刘敏, 慕蕊娟, 等. 共聚聚丙烯结构对光泽度的影响[J]. 广州化工, 2015, 43(3):90-91.
Li Li, Liu Min, Mu Ruijuan, et al. Effect of the structure on gloss of copolymer polypropylene[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015, 43(3):90-91.
- [14] 安孝善, 李俊, 孙心克, 等. 聚丙烯复合材料低光泽度化的研究[J]. 塑料工业, 2020, 48(7):148-152.
An Xiaoshan, Li Jun, Sun Xinke, et al. Research in low gloss polypropylene composites[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(7):148-152.