

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.12.027

重质 CaCO_3 在 SEBS/PP 热塑性弹性体中的应用

宋建强, 曾晓勇, 钟晨, 杨干兵, 曾国元, 邱文福

(江西广源化工有限责任公司, 江西吉安 331500)

摘要: 选取四种粒径的重质碳酸钙 (CaCO_3) (GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000) 填充改性氢化苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物 (SEBS)/聚丙烯 (PP) 热塑性弹性体, 测试了 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸性能、密度、邵氏 A 硬度、熔体流动速率和耐磨性能, 分析了重质 CaCO_3 颗粒在 SEBS/PP 热塑性弹性体中的分散情况。结果表明, 在相同填充量条件下, 重质 CaCO_3 粒径越小, SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸性能总体越大, 邵氏 A 硬度越大, 密度、熔体流动速率 (MFR) 和磨耗量越小; 随着重质 CaCO_3 填充量的增加, SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸性能和 MFR 均呈先增大后减小的趋势, 密度、邵氏 A 硬度和磨耗量增大。当重质 CaCO_3 质量分数为 20% 时, 填充 CC-6000 的 SEBS/PP 热塑性弹性体综合性能最好, 拉伸强度为 10.67 MPa, 断裂伸长率为 453.5%, 密度为 1.000 g/cm³, MFR 为 13.24 g/(10 min), 邵氏 A 硬度为 84.9, 磨耗量为 202.56 mm³。扫描电子显微镜观察结果表明, 四种粒径的重质 CaCO_3 在 SEBS/PP 热塑性弹性体中分布均匀, 并被包裹在 SEBS/PP 热塑性弹性体基体中, 形成了牢固的界面, 提升 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸性能。

关键词: 重质碳酸钙; 热塑性弹性体; 氢化苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物; 聚丙烯; 拉伸性能; 熔体流动速率

中图分类号: TQ325.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3539(2021)12-0147-06

Application of Ground Calcium Carbonate in SEBS/PP Thermoplastic Elastomer

Song Jianqiang, Zeng Xiaoyong, Zhong Chen, Yang Ganbing, Zeng Guoyuan, Qiu Wenfu

(Jiangxi Guangyuan Chemical Co., Ltd., Ji'an 331500, China)

Abstract: Ground calcium carbonate with four different particle sizes (GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000) were used to fill and modify hydrogenated styrene-butadiene-styrene block copolymer/polypropylene (SEBS/PP) thermoplastic elastomer. The tensile property, density, Shore A hardness, melt flow rate (MFR) and wear resistance of SEBS/PP thermoplastic elastomer were tested, the dispersion of ground calcium carbonate particles in SEBS/PP thermoplastic elastomer was analyzed. The results show that under the same loading condition, the smaller the ground calcium carbonate particles, the larger the overall tensile property, the greater the Shore A hardness, and the smaller the density, the MFR and the wear amount of SEBS/PP thermoplastic elastomer. With the increase of additive amount of heavy calcium carbonate, the tensile property and MFR of SEBS/PP thermoplastic elastomer first increase and then decrease, and the density, Shore A hardness and wear amount increase. When the additive mass fraction of ground calcium carbonate is 20%, the comprehensive performance of SEBS/PP thermoplastic elastomer filled with CC-6000 is the best, with a tensile strength of 10.67 MPa, an elongation at break of 453.5%, and a density of 1.000 g/cm³, a MFR of 13.24 g/(10 min), a Shore A hardness of 84.9, a wear amount of 202.56 mm³. The results of SEM morphology observation indicate that ground calcium carbonate with four different particle sizes are uniformly distributed in SEBS/PP thermoplastic elastomer and strong interface is formed between calcium carbonate particles and SEBS/PP thermoplastic elastomer, which is helpful to improve the tensile properties of SEBS/PP thermoplastic elastomer.

Keywords: ground calcium carbonate; thermoplastic elastomer; hydrogenated styrene-butadiene-styrene block copolymer; polypropylene; tensile property; melt flow rate

通信作者: 宋建强, 中级工程师, 硕士, 从事无机非金属超细粉体的生产及其在下游领域中的应用研究

收稿日期: 2021-09-16

引用格式: 宋建强, 曾晓勇, 钟晨, 等. 重质 CaCO_3 在 SEBS/PP 热塑性弹性体中的应用 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(12): 147-152.

Song Jianqiang, Zeng Xiaoyong, Zhong Chen, et al. Application of ground calcium carbonate in SEBS/PP thermoplastic elastomer[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(12): 147-152.

氢化苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物 (SEBS) 具有优异的耐光、热、氧及臭氧性能和优良的可塑性、高弹性、高柔韧性及可回收利用等,被称为“黄金橡胶”,在汽车、线缆、医疗、电子电器及包装等行业得到广泛应用^[1-4]。然而,单独使用 SEBS 成本昂贵,同时单一的 SEBS 弹性体材料难以实现现代工业多种多样的要求。大量实践研究表明,为了获得综合性能理想的 SEBS 弹性体,采用无机粉体与 SEBS/聚丙烯 (PP) 共混改性是一种卓有成效的方法。碳酸钙 (CaCO_3) 作为应用广泛的无机填料之一,在填充改性高分子材料中占有重要的地位,发挥着特有优势,曾国元等^[5]研究了超细重质 CaCO_3 和超细轻质 CaCO_3 作为无机填料对 SEBS/PP 热塑性弹性体的性能影响,结果表明,在低填充下超细轻质 CaCO_3 的分散性较好,制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的强度较高,随着超细 CaCO_3 添加量的增加,SEBS/PP 热塑性弹性体的密度和硬度均呈逐渐增大趋势,熔体流动速率呈下降趋势,加入超细重质 CaCO_3 具有更高的熔体流动速率。吴盾等^[6]研究了纳米 CaCO_3 和普通重质 CaCO_3 对 SEBS/PP 共混物的力学性能影响,结果表明,纳米 CaCO_3 对共混物起到补强作用,随着纳米 CaCO_3 用量的增加,共混物的拉伸性能呈上升趋势,至 12 份时达到最大值。王扬丹等^[7]研究了纳米 CaCO_3 对 SEBS/PP 结晶和力学性能的影响,结果表明,一定量纳米 CaCO_3 的加入不仅能改善 SEBS 在 PP 基材中的分散,而且可使 PP 的结晶温度和结晶度下降,复合材料的冲击强度得到明显改善。刘永焯等^[8]研究了纳米 CaCO_3 与 SEBS/PP 复合体系的最佳配方,结果表明,采用 PP:SEBS=75:25 (质量比),纳米 CaCO_3 添加量为 PP 与 SEBS 总质量的 9% 时,复合体系的综合性能较好。但是,目前系统性针对不同粒径的重质 CaCO_3 作为无机填料填充改性 SEBS/PP 热塑性弹性体的研究报道较少。

笔者以重质 CaCO_3 填充改性 SEBS/PP 热塑性弹性体,考察不同粒径的重质 CaCO_3 在 SEBS/PP 热塑性弹性体基体中的分散规律,研究了重质 CaCO_3 添加量和颗粒粒径对 SEBS/PP 热塑性弹性体性能的影响,为 SEBS/PP 热塑性弹性体制品的设计、生产和应用提供重要参考。

1 实验部分

1.1 主要原料

SEBS:SEBSYH-503,中国石化集团资产经营

管理有限公司巴陵石化分公司;

重质 CaCO_3 :GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000,江西广源化工有限责任公司;

PP:PPH-T03,中国石化集团茂名石油化工公司;

石蜡油:150,常州中壳润滑油有限公司。

1.2 主要仪器及设备

双螺杆挤出机组:SHJ-36 型,长径比 (L/D)=50, $D=35.5$ mm,南京杰恩特机电有限公司;

立式注塑机:V35R2 型,东莞市台富机械有限公司;

电子万能试验机:CMT-6104 型,美斯特工业系统 (中国) 有限公司;

邵氏 A 型硬度计:TH200 型,上海伦捷机电仪表有限公司;

熔体流动速率 (MFR) 仪:ZRZ1452 型,美斯特工业系统 (中国) 有限公司;

场发射扫描电子显微镜 (FE-SEM):SU8010 型,日立 (中国) 有限公司;

电子密度计:DH-300 型,北京仪特诺电子科技有限公司;

DIN 耐磨测试仪:TX009 型,泰仕特仪器 (中国) 有限公司。

1.3 样品制备

将重质 CaCO_3 置于 120 °C 恒温烘箱中干燥 30 min,取出后置于干燥器内冷却至室温,备用。按表 1 实验配方在 SEBS 中加入一定质量的石蜡油,混合搅拌 1 h,然后加入计量的重质 CaCO_3 和 PP,混合均匀,静置 3 h,然后将混合好的原料加入到双螺杆挤出机中熔融挤出、造粒,挤出加工温度为 170 ~ 215 °C,再将粒子经立式注塑机注塑成标准样条,注塑温度为 180 ~ 210 °C,备用。

表 1 实验配方

组分	用量	g
SEBS	300	
重质 CaCO_3	0, 83.3, 187.5, 321.4, 500, 613	
石蜡油	300	
PP	150	

注:重质 CaCO_3 用量依次为 0, 83.3, 187.5, 321.4, 500, 613 g 时,其质量分数分别为 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 45%。

1.4 性能测试与表征

拉伸性能按照 GB/T 1040-2006 测试,拉伸速率为 250 mm/min;

密度按照 GB/T 1033.1-2008 测试;

邵氏 A 硬度按照 GB/T 2411-2008 测试;

MFR 按照 GB/T 3682-2000 测试,温度为 190°C ,压力为 3.8 kg;

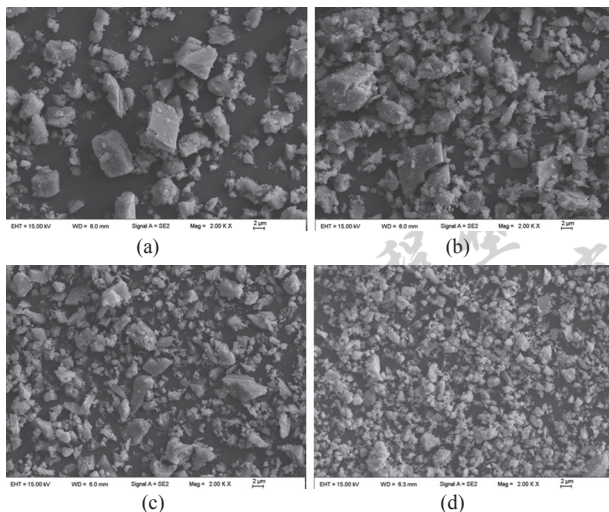
耐磨性能按照 GB/T 1689-2014 测试;

断裂面形貌分析:样条在液氮中掰断后喷金,采用 SEM 观察断面形貌并拍照。

2 结果与讨论

2.1 重质 CaCO_3 形貌和物性

四种重质 CaCO_3 的 SEM 照片如图 1 所示。从图 1 可以看出,四种重质 CaCO_3 均呈不规则立方体状结构,颗粒均匀分散,未观察到明显的团聚现象。表 2 详细列出了四种重质 CaCO_3 的物理性质指标。由表 2 可知,四种重质 CaCO_3 的牌号不同,其粒径也不同, GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000 的粒径 (D_{97}) 依次逐渐变小,蓝光白度、吸油值和比表面积随着粒径变小逐渐增大。



a—GY-216; b—GY-316; c—GY-616; d—CC-6000

图 1 四种重质 CaCO_3 的 SEM 照片

表 2 四种重质 CaCO_3 的物理性质指标

牌号	蓝光白度 / %	D_{97} / μm	吸油量 / $(\text{mL} \cdot \text{g}^{-1})$	比表面积 / $(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$
GY-216	96.3	12.69	23	2.11
GY-316	96.6	9.61	25	2.53
GY-616	97.1	5.94	28	3.43
CC-6000	97.4	4.67	31	10.21

注: D_{97} 是指颗粒粒度分布中,从小到大累积分布百分数达到 97% 时对应的粒径值。

2.2 重质 CaCO_3 用量对 SEBS/PP 热塑性弹性体拉伸性能的影响

不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸强度如图 2 所示。

从图 2 可以看出,重质 CaCO_3 的粒径和填充量对 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸强度有较大影响。在相同填充量条件下,重质 CaCO_3 的粒径越小,

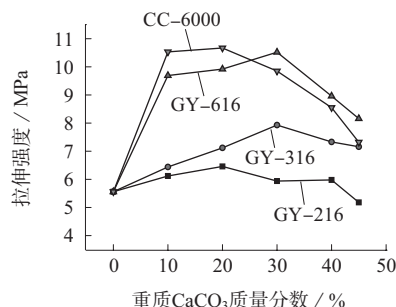


图 2 不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸强度。制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸强度总体越大;随着重质 CaCO_3 填充量的增加,SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸强度呈现先增大后减小的趋势,当重质 CaCO_3 填充质量分数为 20% 时, GY-216 和 GY-316 填充 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸强度分别为 6.46 MPa 和 7.12 MPa,而 GY-616 和 CC-6000 填充 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸强度达到 9.92 MPa 和 10.67 MPa,表明填充颗粒粒径小的重质 CaCO_3 在 SEBS/PP 热塑性弹性体中能起到更明显的补强作用^[9]。当重质 CaCO_3 填充质量分数超过 30% 时,其在 SEBS/PP 热塑性弹性体基体中难以均匀分散,出现团聚现象。当其受到外界作用力时,碳酸钙团聚而形成的界面会产生应力集中效应,从而导致 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸强度下降^[10-12]。

不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的断裂伸长率如图 3 所示。

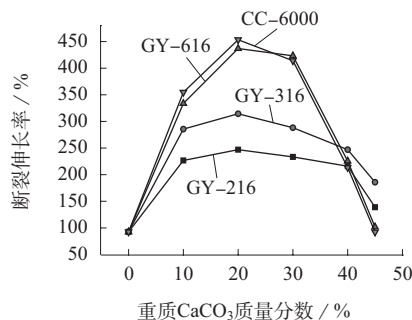


图 3 不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的断裂伸长率

从图 3 可以看出,重质 CaCO_3 的粒径和填充量对 SEBS/PP 热塑性弹性体的断裂伸长率有明显影响。在相同填充量条件下,随着重质 CaCO_3 粒径的减小,制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的断裂伸长率总体越大;随着重质 CaCO_3 填充量的增加,所制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的断裂伸长率呈现先增大后减小的趋势。这是由于重质 CaCO_3 填充质量分数低于 20% 时,其在体系中可以很好地分散,从而提升了 SEBS/PP 热塑性弹性体的断裂伸长

率,当填充质量分数高于20%时,颗粒出现团聚产生应力集中效应,导致断裂伸长率快速下降。当重质 CaCO_3 质量分数为20%时, GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000 四种重质 CaCO_3 填充 SEBS/PP 热塑性弹性体的断裂伸长率达到最大值,分别为246.9%,314.4%,436.9%,453.5%。

2.3 重质 CaCO_3 用量对 SEBS/PP 热塑性弹性体密度的影响

不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的密度如图4所示。

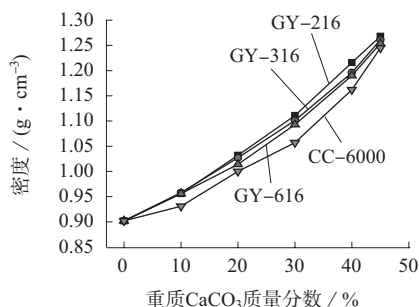


图4 不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的密度

从图4可以看出,重质 CaCO_3 的粒径和填充量对制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的密度有明显影响。在相同填充量条件下,重质 CaCO_3 粒径越小,其填充制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的密度越小。SEBS/PP 热塑性弹性体的密度随着重质 CaCO_3 填充量的增加而逐渐增大。这之前重质 CaCO_3 的粒径分析结果一致,即重质 CaCO_3 粒径越小,其比表面积越大,制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的密度就越小。当重质 CaCO_3 质量分数为20%时, GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000 四种重质 CaCO_3 填充改性 SEBS/PP 热塑性弹性体的密度分别为1.032,1.027,1.014,1.000 g/cm³。

2.4 重质 CaCO_3 用量对 SEBS/PP 热塑性弹性体 MFR 的影响

不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 如图5所示。

从图5可以看出,重质 CaCO_3 的粒径和填充量对制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 有明显的影响。在相同填充量条件下,重质 CaCO_3 粒径越小,制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 越小。SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 随着重质 CaCO_3 填充量的增加呈现先增大后减小的趋势,当重质 CaCO_3 质量分数为20%时, GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000 四种重质 CaCO_3 填充 SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 达到最大值,分别为23.34,

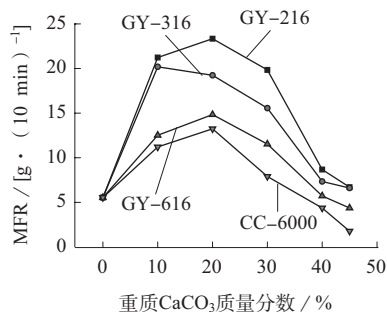


图5 不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR

19.24,14.84,13.24 g/(10 min); 当重质 CaCO_3 质量分数增加至45%时,所制备的四种 SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 分别为6.7,6.61,4.37,1.77 g/(10 min)。这是由于适量的重质 CaCO_3 在 SEBS/PP 热塑性弹性体基体中分散均匀,起到良好的“润滑”效果,致使 SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 增大,当重质 CaCO_3 质量分数超过20%时,其颗粒会产生团聚,颗粒之间相互摩擦产生流动阻力,从而引起 SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 降低^[13-14]。

2.5 重质 CaCO_3 用量对 SEBS/PP 热塑性弹性体硬度的影响

不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的邵氏 A 硬度如图6所示。

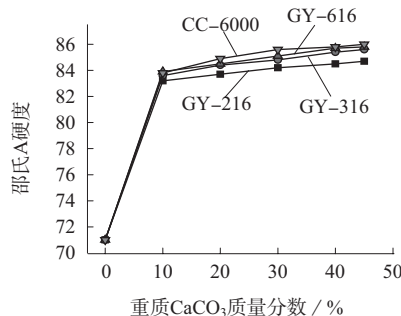


图6 不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的邵氏 A 硬度

从图6可以看出,重质 CaCO_3 的粒径和填充量对制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的硬度有较大影响。在相同填充量条件下,所用重质 CaCO_3 的粒径越小, SEBS/PP 热塑性弹性体的邵氏 A 硬度越大。随着重质 CaCO_3 填充量的增加, SEBS/PP 热塑性弹性体的邵氏 A 硬度增大。当重质 CaCO_3 质量分数为20%时, GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000 四种重质 CaCO_3 填充改性 SEBS/PP 热塑性弹性体的邵氏 A 硬度分别为83.7,84.4,84.5,84.9。

2.6 重质 CaCO_3 用量对 SEBS/PP 热塑性弹性体耐磨性能的影响

不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的磨耗量如图7所示。

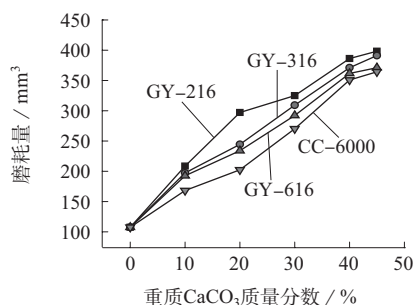
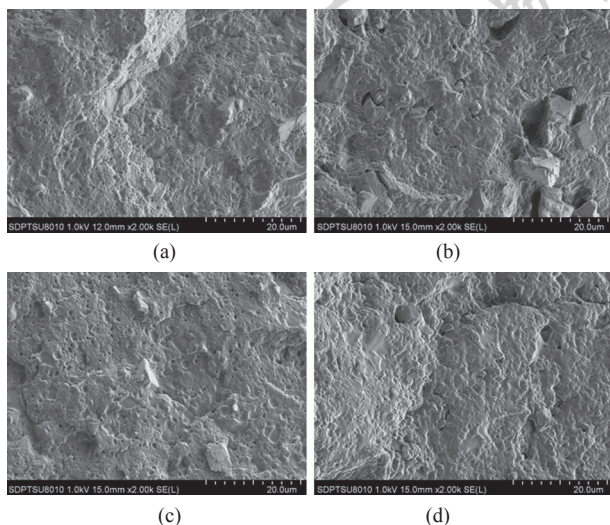


图7 不同重质 CaCO_3 用量下 SEBS/PP 热塑性弹性体的磨耗量

从图7可以看出,重质 CaCO_3 的粒径和填充量对制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体料的磨耗量有较大影响。在相同填充量条件下,所用重质 CaCO_3 的粒径越小,SEBS/PP 热塑性弹性体的磨耗量越小。随着重质 CaCO_3 填充量的增加,SEBS/PP 热塑性弹性体的磨耗量越大,表明 SEBS/PP 热塑性弹性体耐磨性能越差^[15]。当重质 CaCO_3 质量分数为 20% 时, GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000 四种重质 CaCO_3 填充改性 SEBS/PP 热塑性弹性体的磨耗量分别为 297.07, 244.45, 234.04, 202.56 mm^3 。

2.7 SEBS/PP 热塑性弹性体冲击断面的 SEM 分析

不同粒径重质 CaCO_3 填充质量分数为 20% 时 SEBS/PP 热塑性弹性体断面的 SEM 照片如图8所示。



a—GY-216; b—GY-316; c—GY-616; d—CC-6000

图8 不同粒径重质 CaCO_3 填充质量分数为 20% 时 SEBS/PP 热塑性弹性体断面的 SEM 照片

从图8可以看出,当重质 CaCO_3 填充质量分数为 20% 时,四种粒径重质 CaCO_3 颗粒填充 SEBS/PP 热塑性弹性体均呈现粗糙的断面形貌,重质 CaCO_3 颗粒在 SEBS/PP 热塑性弹性体中呈现出均匀的分散状态,大部分重质 CaCO_3 颗粒被包裹镶嵌

到 SEBS/PP 热塑性弹性体基体中,这间接证明重质 CaCO_3 颗粒和 SEBS/PP 热塑性弹性体之间形成了牢固的界面,同时也解释了加入重质 CaCO_3 对 SEBS/PP 弹性体拉伸性能提升的原因。

3 结论

(1) 采用重质 CaCO_3 填充改性 SEBS/PP 热塑性弹性体,重质 CaCO_3 的粒径和填充量对 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸性能都有较大影响。在相同填充量条件下,重质 CaCO_3 的粒径越小,填充制备的 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸性能基本越大;随着重质 CaCO_3 填充量的增加,SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸性能呈现先增大后减小的趋势,当重质 CaCO_3 质量分数为 20% 时, GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000 填充 SEBS/PP 的拉伸强度分别为 6.46, 7.12, 9.92, 10.67 MPa, 断裂伸长率到达最大值,分别为 246.9%, 314.4%, 436.9%, 453.5%。

(2) 在相同填充量条件下,重质 CaCO_3 的粒径越小,SEBS/PP 热塑性弹性体的密度和磨耗量越小,邵氏 A 硬度越大;随着重质 CaCO_3 填充量的增加,SEBS/PP 热塑性弹性体的密度、磨耗量和邵氏 A 硬度增大,当重质 CaCO_3 质量分数为 20% 时, GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000 填充 SEBS/PP 热塑性弹性体的密度分别为 1.032, 1.027, 1.014, 1.000 g/cm^3 ;磨耗量分别为 297.07, 244.45, 234.04, 202.56 mm^3 ;邵氏 A 硬度分别为 83.7, 84.4, 84.5, 84.9。

(3) 在相同填充量条件下,重质 CaCO_3 的粒径越小,SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 越小;SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 随着重质 CaCO_3 填充量的增加呈先增大后减小的趋势,当重质 CaCO_3 质量分数为 20% 时, GY-216, GY-316, GY-616, CC-6000 填充 SEBS/PP 热塑性弹性体的 MFR 分别为 23.34, 19.24, 14.84, 13.24 $\text{g}/(10 \text{ min})$ 。

(4) 四种粒径的重质 CaCO_3 在 SEBS/PP 热塑性弹性体中分布均匀,并被包裹在 SEBS/PP 热塑性弹性体基体中,形成了牢固的界面,提升 SEBS/PP 热塑性弹性体的拉伸性能。

(5) 重质 CaCO_3 质量分数为 20% 时,填充 CC-6000 的 SEBS/PP 热塑性弹性体的综合性能最好。

参考文献

- [1] 李汉堂. 苯乙烯热塑性弹性体的应用[J]. 世界橡胶工业, 2015, 42(1): 31-36.
Li Hantang. Applications of styrene-based thermoplastic elastomer

- [J]. World Rubber Industry, 2015, 42(1):31-36.
- [2] 阳范文, 张韵弦, 陈晓明, 等. PP/丙烯基弹性体/SEBS 医用热塑性弹性体的性能 [J]. 工程塑料应用, 2016, 44(12):37-42.
Yang Fanwen, Zhang Yunxian, Chen Xiaoming, et al. Properties of PP / propylene-based elastomer / SEBS medical elastomers[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(12):37-42.
- [3] 张文龙, 姜洋, 戴亚杰, 等. SEBS/SEBS-g-MAH/PP 阻燃复合材料的性能 [J]. 塑料, 2018, 47(3):20-26.
Zhang Wenlong, Jiang Yang, Dai Yajie, et al. Properties of SEBS / SEBS-g-MAH / PP flame retardant composites[J]. Plastics, 2018, 47(3):20-26.
- [4] 徐鹏飞, 陆如泉, 梁斌, 等. 新能源汽车充电电缆用 TPE 材料流变特性的研究 [J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2019(1):6-8.
Xu Pengfei, Lu Ruquan, Liang Bin, et al. Research on the rheological characteristics of TPE for the new energy vehicle charging cable[J]. Optical Fiber & Electric Cable and Their Applications, 2019(1):6-8.
- [5] 曾国元, 宋建强, 曾晓勇, 等. 超细碳酸钙填充 SEBS/PP 热塑性弹性体的性能研究 [J]. 弹性体, 2020, 30(3):55-59.
Zeng Guoyuan, Song Jianqiang, Zeng Xiaoyong, et al. Properties study of SEBS / PP thermoplastic elastomer by ultrafine calcium carbonate[J]. China Elastomerics, 2020, 30(3):55-59.
- [6] 吴盾, 李军, 刘春林, 等. 纳米 CaCO_3 在 SEBS/PP 中的应用研究 [J]. 弹性体, 2010, 20(1):42-45.
Wu Dun, Li Jun, Liu Chunlin, et al. Reserch on the applicatin of nano- CaCO_3 in SEBS / PP blends[J]. China Elastomerics, 2010, 20(1):42-45.
- [7] 王扬丹, 彭履瑶, 王莹, 等. 纳米碳酸钙对 PP/SEBS 结晶和力学性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2013, 41(10):101-104.
Wang Yangdan, Peng Lyuyao, Wang Ying, et al. Effects of nano- CaCO_3 on crystal properties and mechanical properties of PP/SEBS composites[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(10):101-104.
- [8] 刘永焯, 游华燕, 黄健, 等. 正交设计优化纳米 CaCO_3 /SEBS/PP 复合体系 [J]. 广东化工, 2016, 43(5):78-80.
Liu Yongzhuo, You Huanyan, Huang Jian, et al. Optimization of the system of nano- CaCO_3 / SEBS / PP comound by orthogonal design[J]. Guangdong Chemica Industry, 2016, 43(5):78-80.
- [9] 刘开文, 张琴, 傅强. SEBS 与 CaCO_3 协调增韧增强 PP 三元复合材料的制备及性能 [J]. 塑料工业, 2016, 44(7):114-117.
Liu Kaiwen, Zhang Qin, Fu Qiang. Study on synergistic toughening and strengthening effect of SEBS and CaCO_3 on polypropylene[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(7):114-117.
- [10] 刘永焯, 游华燕, 黄健, 等. 纳米 CaCO_3 /油/SEBS/PP 复合体系收缩性能研究 [J]. 广州化工, 2016, 44(8):47-48, 88.
Liu Yongzhuo, You Huayan, Huang Jian, et al. Reserch on the properties of the shrinkage about nano- CaCO_3 / oil / SEBS / PP compound materials[J]. Guangdong Chemica Industry, 2016, 44(8):47-48, 88.
- [11] 张小林, 程金星, 林峰, 等. 填料改性充油 SEBS 力学性能的研究 [J]. 弹性体, 2007(1):53-55.
Zhang Xiaolin, Cheng Jinxing, Lin Feng, et al. Study on property of oil-extended SEBS composite modified by fillers[J]. China Elastomerics, 2007(1):53-55.
- [12] 程国君, 于秀华, 唐忠锋, 等. 超细 CaCO_3 /SBS 复合材料的制备及性能研究 [J]. 材料导报, 2011, 25(10):106-109.
Cheng Guojun, Yu Xiuhua, Tang Zhongfeng, et al. Properties and preparation of ultra-fine CaCO_3 / SBS composites[J]. Materials Review, 2011, 25(10):106-109.
- [13] 童荣柏, 彭娅, 伍增勇, 等. 纳米 CaCO_3 含量对 PP/SBS/ CaCO_3 复合材料力学性能的影响 [J]. 弹性体, 2010, 20(2):16-20.
Tong Rongbai, Peng Ya, Wu Zengyong, et al. Effects of nano- CaCO_3 content on the mechanical properties of PP/SBS/ CaCO_3 composites[J]. China Elastomerics, 2010, 20(2):16-20.
- [14] 黄仁军, 吴盾, 刘春林, 等. SEBS/PP 热塑性弹性体的制备与性能研究 [J]. 塑料科技, 2009, 37(6):23-26.
Huang Renjun, Wu Dun, Liu Chunlin, et al. Study on the performance of SEBS/PP thermoplastic elastomer and its preparation[J]. Plastics Science and Technology, 2009, 37(6):23-26.
- [15] 梁胜, 肖望东, 戴文利. 填料改性充油 SEBS/PP 共混材料的摩擦学和力学性能研究 [J]. 塑料工业, 2009, 37(4):68-72.
Liang Sheng, Xiao Wangdong, Dai Wenli. Study on tribological and mechanical properties of oil-extended SEBS Blends Modified By Fillers[J]. China Plastics Industry, 2009, 37(4):68-72.

(上接第 141 页)

- 2019.
- [13] Lin Yijian, Marchand G R, Hiltner A, et al. Adhesion of olefin block copolymers to polypropylene and high density polyethylene and their effectiveness as compatibilizers in blends[J]. Polymer, 2011, 52(7):1 635-1 644.
- [14] 杨其, 田野春, 毛益民, 等. PP/LLDPE 共混体系的相容性及结晶行为 [J]. 高分子材料科学与工程, 2004, 20(5):155-158.
Yang Qi, Tian Yechun, Mao Yimin, et al. Crystallization behavior and compatibility of PP/LLDPE blends[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2004, 20(5):155-158.
- [15] 孔宇飞. 增容废弃家电 PP 和 HIPS 共混体系的结构与性能研究 [D]. 太原: 中北大学, 2018.
Kong Yufei. Study on the structure and properties of compatibilizing waste household appliances PP and HIPS blends[J]. Taiyuan: North University of China, 2018.