

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.04.024

改性超细磷石膏对 PE-HD 力学性能的影响

郑兴莉¹, 刘心韵^{1,2}, 付海¹, 龚维¹, 陈卓¹, 尹晓刚¹

(1. 贵州师范大学化学与材料科学学院, 贵州省功能材料化学重点实验室, 贵阳 550001;

2. 贵州医科大学药学院, 贵阳 550025)

摘要: 使用硬脂酸钙改性超细磷石膏 (UPG), 并与高密度聚乙烯 (PE-HD) 熔融共混制备了 PE-HD/硬脂酸钙-UPG。研究改性剂硬脂酸钙加入量、改性 UPG 加入量对 PE-HD 复合材料力学性能的影响。结果表明, 硬脂酸钙占 UPG 的 1%, 改性 UPG 用量为 150 g 时, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 力学性能较好, PE-HD/UPG 复合材料的弯曲强度、拉伸强度相对于 PE-HD 分别增加了 37.81% 和 43.75%, 与未改性 PE-HD/UPG 复合材料相比, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 复合材料的弯曲强度、拉伸强度、冲击强度、分别提高了 12.46%, 21.47%, 240.60%。采用扫描电子显微镜对复合材料进行表征。结果表明, 硬脂酸钙改性 UPG 在 PE-HD 中有较好的分散效果。

关键词: 硬脂酸钙; 磷石膏; 高密度聚乙烯; 力学性能

中图分类号: TQ325 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)04-0117-06

Effect of Modified Ultrafine Phosphogypsum on Mechanical Properties of PE-HD

Zheng Xingli¹, Liu Xinyun^{1,2}, Fu Hai¹, Gong Wei¹, Chen Zhuo¹, Yin Xiaogang¹

(1. School of Chemistry and Materials Science, Guizhou Normal University, Guizhou Key Laboratory of Functional Materials Chemistry, Guiyang 550001, China; 2. School of Pharmaceutical Sciences, Guizhou Medical University, Guiyang 550025, China)

Abstract: High density polyethylene (PE-HD)/calcium stearate-ultrafine phosphogypsum (UPG) was prepared by using calcium stearate modified UPG and blending with PE-HD. The effect of modifier addition amount of calcium stearate and the amount of modified UPG on the mechanical properties of PE-HD composites was studied. The results show that the mechanical properties of calcium PE-HD/stearate-UPG are better when the calcium stearate accounts for 1% of UPG and the mass fraction of modified UPG dosage is 150 g. The flexural strength and tensile strength of PE-HD/UPG composites increase 37.81% and 43.75% respectively compared with PE-HD. Regarding unmodified PE-HD/UPG composite, the flexural strength, tensile strength and impact strength of PE-HD/calcium stearate-UPG composites increase by 12.46%, 21.47%, 240.60%, respectively. The composites are characterized by scanning electron microscopy (SEM). The results show that calcium stearate modified UPG has better dispersion effect in PE-HD.

Keywords: calcium stearate; phosphogypsum; high density polyethylene; mechanical property

高密度聚乙烯 (PE-HD) 具有质轻、价廉、无味、无毒及优异的耐湿性、耐热性等优点, 被广泛用于注塑、吹塑制品、管材、板材及电线电缆、薄膜等^[1-2]。但 PE-HD 存在韧性低、硬度低、环境应力开裂性差的缺点, 限制其应用范围。因而, 使用改性剂、增塑剂、添加剂提高 PE-HD 的性能成为当前研究热点^[3-5]。龚维等^[6]用硅烷偶联剂改性磷石膏晶须填充 PE-HD, PE-HD/磷石膏晶须复合材料的弯曲强度、

拉伸强度、冲击强度较 PE-HD/未改性磷石膏晶须复合材料分别提高了 25.15%, 6.64%, 31.5%。

磷石膏主要成分为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 由于磷石膏表面有大量活性羟基^[7], 具有很强的亲水性, 降低了其与聚合物基体的界面粘结性能。通过有机改性, 可以增强其亲油性, 从而提高其与非极性聚合物的相容性^[8-10]。硬脂酸钙是常用的无机粉体改性剂, 罗容等^[11]研究硬脂酸钙改性纳米碳酸钙填充聚丙

基金项目: 贵州省科技厅科技支撑项目 (黔科合支撑 [2016]2311)

通讯作者: 尹晓刚, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事高分子材料研究 E-mail: m13885115516@163.com

收稿日期: 2019-01-11

引用格式: 郑兴莉, 刘心韵, 付海, 等. 改性超细磷石膏对 PE-HD 力学性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(4): 117-122.

Zheng Xingli, Liu Xinyun, Fu Hai, et al. Effect of modified ultrafine phosphogypsum on mechanical properties of PE-HD[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(4): 117-122.

烯复合材料,探究硬脂酸钙改性碳酸钙与未改性碳酸钙对复合材料力学性能的影响。结果表明,聚丙烯/改性碳酸钙复合材料的拉伸强度、弯曲强度提高,但碳酸钙对聚丙烯的结晶效果影响不大。超细磷石膏(UPG)极性很强,利用硬脂酸钙改性UPG,可以改变UPG的亲水性,增强其与聚合物基体的界面相容性^[12-14]。通过硬脂酸钙对UPG粉体表面进行改性,研究硬脂酸钙加入量、改性UPG加入量对PE-HD复合材料力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PE-HD: Q/SHWHYX4000-2013, 中韩(武汉)石油化工有限公司;

UPG粉体: 贵州开磷磷石膏综合利用有限公司;

硬脂酸钙: 069009003120, 山东优索化工有限公司;

邻苯二甲酸二辛酯(DOP): CB6723118, 上海沪震科技有限公司。

1.2 主要仪器及设备

高速搅拌机: SHR-100A型, 张家港市永利机械有限公司;

双螺杆挤出机: YE3-180M-4型, 安徽皖南电机股份有限公司;

注塑机: BT80V-11型, 博创机械股份有限公司;

鼓风烘箱: DGG-9240B型, 上海森信实验仪器有限公司;

冲击测试机: JBGD-300型, 美特斯工业系统(中国)有限公司;

电子力学万能试验机: CMT4204型, 美特斯工业系统(中国)有限公司;

扫描电子显微镜(SEM): KYKY-2800B型, 北京中科仪器有限公司;

傅立叶变换红外光谱(FTIR)仪: NEXUS670型, 美国 Thermo Nicolet 公司;

接触角测试仪: JYSP-360型, 大昌洋行(上海)有限公司;

转矩流变仪: XSS-300型, 上海科创橡塑机械设备有限公司。

1.3 UPG粉体的改性工艺

按照表1的配方改性UPG, 改性剂硬脂酸钙在40, 90℃温度下与干燥8 h的UPG和适量的白油放

入高速混合机中反应15 min, 得到改性UPG备用。

表1 UPG改性配方

编号	UPG粉体 / g	硬脂酸钙用量 / g	温度 / °C	改性时间 / min
UPG-1	1500	0	40	15
UPG-2	1500	7.5	40	15
UPG-3	1500	15	40	15
UPG-4	1500	30	40	15
UPG-5	1500	0	90	15
UPG-6	1500	7.5	90	15
UPG-7	1500	15	90	15
UPG-8	1500	30	90	15

1.4 试样的制备

称取上述制备改性的UPG(硬脂酸钙占比为0%, 0.5%, 1%, 2%) 0, 150, 300, 450 g 分别和高密度聚乙烯(PE-HD)材料以总量为1500 g 投入挤出机, 在挤出机上混炼, 挤出加工温度为210~230℃, 挤出造粒, 切割母粒; 母粒80℃干燥1 h后用注塑机加工成标准测试试样, 注塑温度为210~220℃, 静置24 h后进行测试。表2为PE-HD/UPG的配方。

表2 PE-HD/硬脂酸钙-UPG配方

试样编号	PE-HD / g	UPG / g	硬脂酸钙占UPG比例 / %
1	1500	0	0
2	1350	150	0
3 [#]	1350	150	0.5
4 [#]	1350	150	1
5 [#]	1350	150	2
6 [#]	1200	300	1
7 [#]	1050	450	1

1.5 性能测试与表征

(1) 吸油率的测试。

称取10 g 改性UPG于干燥表面皿记为 m_1 , 不断滴加DOP, 同时用玻璃棒不断搅拌、滚压, 直至改性UPG由粉末状变为半塑团聚状。称取滴加DOP后样品质量, 记录为 m_2 。由公式(1)计算各改性UPG吸油值(DBP), DBP越低说明UPG的亲油效果越好^[15]。

$$DBP = (m_2 - m_1) / m_1 \quad (1)$$

(2) 接触角的测试。

用标准模具将改性UPG压成标准片, 用移液枪吸取一定量丙三醇并加入一滴(大约0.5 mL)液滴于标准片中间, 滴下瞬间点击仪器摄像, 记录角度变化。接触角测试表示油性物质在UPG表面浸润效果, 浸润程度即表示改性效果。油性物质滴下成型的UPG模表面瞬间形成角度, 一定时间后的角度变化可知油性物质浸润效果。接触角越大改性效果越好。

(3) FTIR 测试。

以 KBr 压片做背景测试,然后再测试样,进行压片,压片时将试样和 KBr 粉末放入玛瑙研钵中, KBr 粉末和样品的比例大约是 50 : 1,将样品和 KBr 粉末混合均匀,然后将混合物置于压片机中压成透明的薄片,最后将压好的薄片置于 FTIR 仪中进行 FTIR 测试。

(4) 力学性能测试。

拉伸性能按 GB/T 1040.2-2006 测试,测试速率为 50 mm/min ;

弯曲强度按 GB/T 9314-2008 测试,测试速率为 20 mm/min ;

冲击性能按 GB/T 8809-2015 测试。

(5) 微观结构表征。

将 PE-HD/UPG 复合材料试样放置于液氮中冷却 3 h,取出试样迅速冲断。断口表面喷金并用 SEM 观察,并拍照,加速电压为 15 kV。

(6) 流变测试。

称取 100 g 切割好挤出样条,在流变仪上测定复合材料的流变性能,测试温度为 240℃,输出扭矩为 300 N·m,转速为 50 r/min,主机功率为 4 kW。

2 结果与讨论

2.1 硬脂酸钙对 UPG 性能的影响

(1) 吸油值分析。

图 1 为 UPG 的吸油值测试分析柱状图。由图 1 可知,40℃改性和 90℃改性时,加入改性剂硬脂酸钙都能降低 UPG 的吸油值。随着硬脂酸钙含量的增加,UPG 的吸油值在减小,当硬脂酸钙质量分数为 2%,改性温度为 90℃时,超细磷石膏的吸油值最小为 0.21。

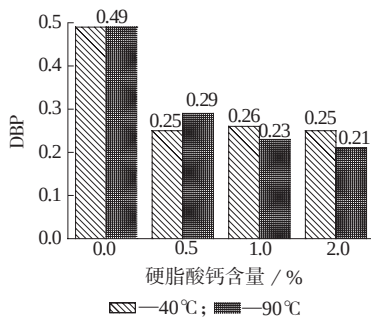


图 1 UPG 及硬脂酸钙改性 UPG 的吸油值

(2) 接触角分析。

表 3 为 UPG 接触角测试结果,未加入硬脂酸钙的 UPG 的接触角为 52.0°,硬脂酸钙改性的 UPG 的接触角都有所增加。当硬脂酸钙占 UPG 的比例

为 2%,改性温度为 90℃时,UPG 的接触角最大为 125.4°,与吸油值测试结果相符。

表 3 UPG 接触角测试分析

改性 UPG 编号	接触角 / (°)
UPG-1	52.0
UPG-2	92.8
UPG-3	113.1
UPG-4	110.5
UPG-5	52.0
UPG-6	105.2
UPG-7	123.9
UPG-8	125.4

(3) 硬脂酸钙与 UPG 的作用机理。

图 2 为硬脂酸钙改性 UPG 作用机理图。由图 2 可以看出,硬脂酸钙中的羰基与 UPG 上的羟基发生缩合反应,硬脂酸钙通过化学键吸附在 UPG 表面,由于硬脂酸钙的疏水长链的存在,降低了 UPG 的亲水性。

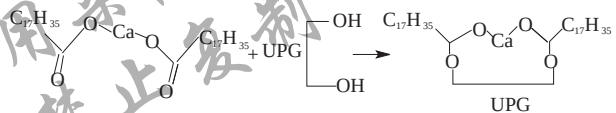


图 2 硬脂酸钙改性 UPG 作用机理图

(4) FTIR 谱图分析。

图 3 为硬脂酸钙改性 UPG 的 FTIR 谱图。由图 3 可见,2980 cm⁻¹ 处的吸收峰为硬脂酸钙中的—CH₃ 不对称伸缩振动和—CH₂—对称伸缩振动吸收峰,1570 cm⁻¹ 处的吸收峰为硬脂酸钙中羰基的非对称振动^[16]; 3680,1650 cm⁻¹ 处为 UPG 中水分吸收峰,622 cm⁻¹ 处是 UPG 中 S—O 面内弯曲振动吸收峰,1230 cm⁻¹ 处为 UPG 粉体宽吸收峰^[17-18]。可以看出,硬脂酸钙的特征峰随着改性剂用量的增加强度增加。FTIR 结果表明,硬脂酸钙成功改性 UPG。

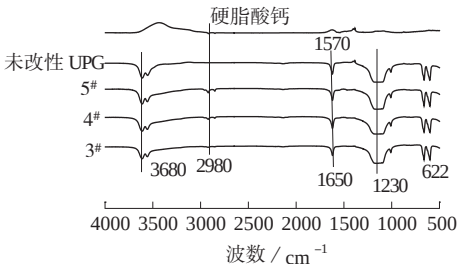


图 3 硬脂酸钙改性 UPG 的 FTIR 谱图

2.2 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的力学性能

表 4 为不同硬脂酸钙含量的 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 力学性能。

由表 4 可以看出,PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的

表4 不同硬脂酸钙含量的 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 力学性能

试样编号	弯曲强度/MPa	拉伸强度/MPa	缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)
1 [#]	36.3	19.7	70.3
2 [#]	49.8	23.3	17.6
3 [#]	58.3	27.3	35.9
4 [#]	56.9	28.4	59.8
5 [#]	49.9	24.2	30.5

力学性能均有所上升。其中, HDPE 的弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度分别为 36.3 MPa, 19.7 MPa, 70.3 kJ/m² (1[#] 试样)。PE-HD/UPG 的弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度分别为 49.8 MPa, 23.3 MPa, 17.6 kJ/m² (2[#] 试样), 相比试样 1[#] 的弯曲强度、拉伸强度分别提高了 37.20%、18.27%, 缺口冲击强度下降了 74.20%。硬脂酸钙占 UPG 的比例为 0.5% 时 (2[#] 试样), PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度分别为 58.3 MPa, 27.3 MPa, 35.9 kJ/m², 相对于 1[#] 试样的弯曲强度、拉伸强度分别提高 60.61%、38.58%, 缺口冲击强度下降 48.93%; 相对于 PE-HD/UPG (2[#] 试样) 的弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度分别提高了 17.06%、16.92%、104.95%; 硬脂酸钙占 UPG 的比例为 1% 时 (4[#] 试样), PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度较好, 分别为 56.9 MPa, 28.4 MPa, 59.8 kJ/m², 相比于 1[#] 试样的弯曲强度、拉伸强度分别提高 56.75%、44.16%, 缺口冲击强度下降 14.94%; 4[#] 试样比 2[#] 试样的弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度分别提高了 12.46%、21.47%、240.60%; 硬脂酸钙占 UPG 的比例为 2% 时 (5[#] 试样), 比 1[#] 试样的弯曲强度、拉伸强度提高了 37.47%、22.84%, 缺口冲击强度下降了 56.61%, 5[#] 试样的弯曲强度提升效果相对于 2[#] 试样没有明显变化, 但 5[#] 试样的拉伸强度、缺口冲击强度分别为 24.2 MPa、30.5 kJ/m², 较 2[#] 试样分别提高了 3.60%、73.63%。综合性能分析, 当硬脂酸钙占 UPG 的比例为 1% 时, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 复合材料的力学性能较好, 硬脂酸钙的加入, 提高了粉体在基体间的分散效果, 降低了粉体的团聚现象。硬脂酸钙用量增加力学性能综合效果降低, 原因是硬脂酸钙链比较长, 当其含量增加时, 影响了基体的黏度, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 较 PE-HD/UPG 复合材料相对分子间缠结点和吸引点也就越多, 复合材料的结晶度提高, 密度增大, 所以拉伸强度、弯曲强度、缺口冲击强度有所增加。

表5 为不同改性 UPG 含量的 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 力学性能。

表5 不同改性 UPG 含量的 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 力学性能

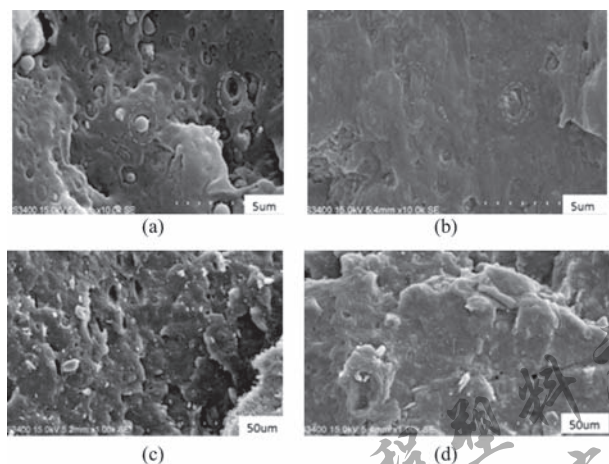
试样编号	弯曲强度/MPa	拉伸强度/MPa	缺口冲击强度/(kJ·m ⁻²)
1 [#]	36.3	19.7	70.3
4 [#]	56.9	28.4	59.8
6 [#]	55.8	28.2	51.5
7 [#]	58.1	26.1	52.9

由表5可见, 随着改性 UPG 粉体的加入, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的弯曲强度、拉伸强度都有增加, 缺口冲击强度下降。PE-HD 的弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度分别为 36.3 MPa, 19.7 MPa, 70.3 kJ/m²。改性 UPG 为 150 g 时, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的力学性能较好, 这时弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度分别为 56.9 MPa, 28.4 MPa, 59.8 kJ/m², 弯曲强度、拉伸强度较 PE-HD 分别提高了 56.67%、43.91%, 缺口冲击强度下降了 14.91%。改性 UPG 的质量为 300 g 时, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度分别为 55.8 MPa, 28.2 MPa, 51.5 kJ/m², 弯曲强度、拉伸强度较 PE-HD 分别提升了 53.72%、43.15%, 缺口冲击强度下降了 24.75%。改性 UPG 为 450 g 时, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度分别为 58.1 MPa, 26.1 MPa, 52.9 kJ/m², 弯曲强度、拉伸强度较 PE-HD 分别提升了 60.06%、32.49%, 缺口冲击强度下降了 32.89%。综合分析, 改性 UPG 添加 150 g 时, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 力学性能较好, 改性 UPG 粉体的加入增加了 PE-HD/UPG 复合材料的分子量, 增加了 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的黏度, 所以分子间的紧密堆砌赋予材料一定的应力承受, 但是由于改性粉体的加入, 也增加了 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 复合材料的脆性, 所以当受到外界冲击力时易被冲断。

2.3 PE-HD/UPG 复合材料冲击断面的 SEM

图4为 PE-HD/未改性 UPG 及 4[#] 试样的 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 复合材料淬断面 SEM 照片。由图4可知, PE-HD/未改性 UPG 复合材料的 UPG 团聚较多, 在 PE-HD 中的分散效果不好 (如图 4a 所示), 粉体在基体中的分散效果不好, 会使复合材料在受到外界冲击时, 承受应力下降, 当 PE-HD/UPG 受到外界冲击时, 易裂, 冲击韧性差。而经过硬脂酸钙改性后的 PE-HD/硬脂酸钙-UPG (图 4b) 中粉体的分散效果好, 降低了粉体的团聚现象,

填充效果较好,从而改善了复合材料的力学性能。从图 4 还可以看出,未改性的 UPG 分布在基体的表面,而且还有颗粒状呈现,UPG 发生团聚现象,(图 4c);PE-HD/硬脂酸钙-UPG 复合材料的表面光滑,通过降低倍数观察,硬脂酸钙改性的 UPG 在基体中的分散效果好(图 4d);硬脂酸钙的链很长,通过硬脂酸钙粉体在基体中移动,通过化学作用,粉体与基体之间存在较好的界面相容性,提高 PE-HD/UPG 的拉伸强度、缺口冲击强度,这与力学性能测试结果相符合。



a—PE-HD/未改性 UPG (放大 10 000 倍);
b—4[#] 试样(放大 10 000 倍); c—PE-HD/未改性 UPG(放大 1 000 倍);
d—4[#] 试样(放大 1 000 倍)

图 4 改性前后 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 复合材料断面 SEM 照片

2.4 复合材料的流变性能

图 5 为 PE-HD/未改性 UPG 及 4[#] 试样的 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 和 PE-HD 的扭矩时间图。从图 5 可以看出,在 120~300 s 之间 PE-HD, PE-HD/未改性 UPG 及 4[#] 试样的 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 材料的扭矩趋近于平缓,其中 PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的扭矩较大(29.6 N·m),其次是 PE-HD (23.8 N·m),扭矩最低的是 PE-HD/未改性 UPG (22.6 N·m),扭矩与材料的黏度有关,扭矩越大,材料黏度越大,PE-HD/未改性 UPG 因为在有机高分子材料中加入了未改性的无机粉体,二者之间存在界面相容性,粉体加入降低了基体的黏度,所以扭矩比 PE-HD 的扭矩还小;PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的扭矩较 PE-HD 的高,是因为加入了硬脂酸钙,增加了粉体与基体间的相容性,硬脂酸钙使 UPG 粉体通过化学作用连接到基体上,硬脂酸钙分子链长使复合材料分子量增大,黏度相应增大,与力学性能分析效果相符合。

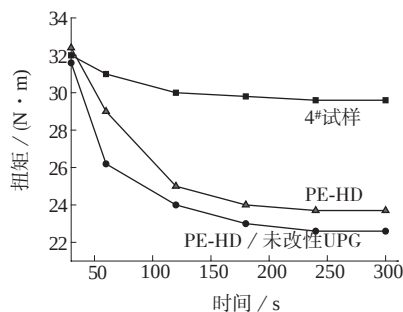


图 5 PE-HD/UPG, PE-HD/硬脂酸钙-UPG 和 PE-HD 扭矩时间图

3 结论

(1) 硬脂酸钙改性后的 UPG 接触角增大,亲油性增强,SEM 照片显示加入硬脂酸钙改性剂的 UPG 粉体在 PE-HD 中的分散程度较好,流变测试结果表明,PE-HD/硬脂酸钙-UPG 的黏度相对于 PE-HD 明显提高。

(2) 硬脂酸钙占 UPG 的 1% 时,PE-HD/硬脂酸钙-UPG 复合材料的力学性能较好,弯曲强度、拉伸强度、缺口冲击强度较未添加改性剂的 PE-HD/UPG 复合材料的分别增加了 12.46%,21.47%,240.60%;硬脂酸钙的加入降低 UPG 在 PE-HD 中的团聚现象,使其分散效果好,提高材料的各项力学性能。当硬脂酸钙-UPG 粉体质量为 150 g 时,PE-HD/硬脂酸钙-UPG 复合材料的力学性能较好,较未添加粉体的 PE-HD 弯曲强度、拉伸强度提升了 56.67%,43.91%,缺口冲击强度下降 14.91%。

参考文献

- [1] Feng Chuanxin, Li Zewen, Wang Haosheng. The effect of epoxy resin on wood-plastic composites[J]. Pigment & Resin Technology, 2018,47(5):116-126.
- [2] Lu Ming, Liu Peng, Zhang Shimin, et al. Anti-aging behavior of amino-containing co-condensed nanosilica in polyethylene[J]. Polymer Degradation and Stability, 2018, 154:137-148.
- [3] 李巧娟,谢大荣. LDPE 环境应力开裂性研究[J]. 高分子材料科学与工程, 2003(6):153-155.
Li Qiaojuan, Xie Darong. Study on environmental stress cracking of LDPE[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2003(6):153-155.
- [4] 杨乐,魏江涛,罗筑,等. 高密度聚乙烯的熔融支化及其对性能的影响[J]. 高分子学报, 2017(8):1 339-1 349.
Yang Le, Wei Jiangtao, Luo Zhu, et al. Melting branching of high density polyethylene and its effect on properties[J]. Acta Polymerica Sinica, 2017(8):1 339-1 349.
- [5] Fan Jiaming, Xu Shiai. Thermal conductivity and mechanical properties of high density polyethylene composites filled with silicon carbide whiskers modified by cross-linked poly(vinyl alcohol)[J].

- Journal of Materials Science & Technology, 2018(12):2407-2414.
- [6] 李珂珂,李建锡,周阳,等.磷石膏基新型保水材料的工艺及其性能研究[J].环境科学与技术,2018,41(1):145-151.
- Li Keke, Li Jianxi, Zhou Yang, et al. Study on the process and properties of phosphogypsum based new water-retaining materials[J]. Environmental Science and Technology, 2018, 41(1):145-151.
- [7] 何玉鑫,万建东,唐永波,等.磷石膏复合材料的研究进展[J].材料导报,2013,27(1):306-308.
- He Yuxin, Wan Jiandong, Tang Yongbo, et al. Research progress of phosphogypsum composites[J]. Materials Review, 2013, 27(1):306-308.
- [8] 刘江,石文建,秦军,等.磷石膏晶须/PP复合材料的结构与性能研究[J].塑料科技,2013,41(5):71-74.
- Liu Jiang, Shi Wenjian, Qin Jun, et al. Study on the structure and properties of phosphogypsum whisker / PP composites[J]. Plastics Science and Technology, 2013, 41(5):71-74.
- [9] 石文建,刘忠进,秦军,等.磷石膏晶须表面改性及其在PP中初步应用[J].塑料工业,2012,40(7):104-107.
- Shi Wenjian, Liu Zhongjin, Qin Jun, et al. Surface modification of phosphogypsum whiskers and its preliminary application in PP[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(7):104-107.
- [10] 张婷婷,魏克冰,严永刚,等.磷石膏/聚氨基酸医用多孔复合材料的制备与表征[J].复合材料学报,2012,29(2):79-86.
- Zhang Tingting, Wei Keping, Yan Yonggang, et al. Preparation and characterization of PG / polyamino acid medical porous composites[J]. Journal of Composite Materials, 2012, 29(2):79-86.
- [11] 罗容,肖芳,龚维,等.PE-HD/磷石膏晶须复合材料力学性能[J].工程塑料应用,2018,46(6):25-29.
- Luo Rong, Xiao Fang, Gong Wei, et al. Mechanical properties of PE-HD / phosphorite whisker composites[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(6):25-29.
- [12] 毋博,赵志曼,田睿,等.改性磷建筑石膏防水性能研究[J].非金属矿,2018,41(5):34-37.
- Wu bo, Zhao Zhiman, Tian Rui, et al. Study on waterproof performance of modified phosphorus building gypsum[J]. Non-metallic Mines, 2018, 41(5):34-37.
- [13] Chen Xuemei, Gao Jianming, Liu Chuanbei, et al. Effect of neutralization on the setting and hardening characters of hemihydrate phosphogypsum plaster[J]. Construction and Building Materials, 2018, 190:53-64.
- [14] 龚维,覃亚群,罗容,等.改性石膏晶须对PE-HD复合材料力学性能的影响[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2018,36(5):36-41.
- Gong Wei, Qin Yaqun, Luo Rong, et al. Effect of modified gypsum whiskers on mechanical properties of PE-HD composites[J]. Journal of Guizhou Normal University: Natural Science Edition, 2018, 36(5):36-41.
- [15] 石文建,刘忠进,赖寒,等.磷石膏晶须表面改性及其在PP中初步应用[J].塑料工业,2012,40(7):104-107.
- Shi Wenjian, Liu Zhongjin, Lai Han, et al. Surface modification of phosphogypsum whiskers and its preliminary application in PP[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(7):104-107.
- [16] 赵霞.硬脂酸钙的热分析研究[J].分析仪器,2014(4):79-82.
- Zhao Xia. Thermal analysis of calcium stearate[J]. Analytical Instrumentation, 2014(4):79-82.
- [17] 李良钊,张秀芹,罗发亮,等.改性纳米碳酸钙-聚丙烯复合材料的结构与性能研究[J].高分子学报,2011(10):1218-1223.
- Li Liangzhao, Zhang Xiuqin, Luo Faliang, et al. Study on the structure and properties of modified nanometer calcium carbonate-polypropylene composites[J]. Acta Polymerica Sinica, 2011(10):1218-1223.
- [18] 张云鹏,杨勤勤,刘永卓,等.CO₂气氛下褐煤还原磷石膏的TG-FTIR研究[J].高校化学工程学报,2016,30(3):611-617.
- Zhang Yunpeng, Yang Qinqin, Liu Yongzhuo, et al. Study on TG-FTIR of lignite-reduced phosphogypsum under CO₂ atmosphere[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2016, 30(3):611-617.

优惠销售中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合2000~2018年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会,共编辑、出版了19本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术,以及文献综述、评论等,突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》,以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘,现以优惠价格(含邮费)销售,欢迎订阅。

1. 2004~2018年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》,优惠价400元/套。

2. 2000~2018年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘,优惠价300元/盘。本光盘除收录2000~2018年19本《论文集》的全部内容外,还包括约3700人次的会议代表通讯录。

邮局汇款

收款地址:山东济南市天桥区田庄东路3号

收款单位:《工程塑料应用》杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

银行汇款

户名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

帐号:1602001229014425546

网上订购: <http://www.epa1973.net>