



高密度聚乙烯/超高分子量聚乙烯共混物的制备及其性能研究

卢鑫¹, 齐晓明², 张鹏¹, 蒋宇豪¹, 潘犇¹, 傅雅琴^{1,2}

(1. 浙江理工大学材料科学与工程学院, 杭州 310018; 2. 浙江省现代纺织技术创新中心, 浙江绍兴 312000)

摘要: 为改善高密度聚乙烯(HDPE)的抗冲击和耐磨性能, 以超高分子量聚乙烯(UHMWPE)为增强相, 聚乙二醇(PEG)为解缠剂, 采用溶液-沉积共混、熔融共混法、注塑和热压成型法, 制备 P-UHMWPE 增强 HDPE (P-UHMWPE/HDPE) 的共混物, 分析 PEG 和 UHMWPE 添加量对 P-UHMWPE/HDPE 共混物流变性能、热性能、抗冲击和耐磨性能的影响。结果表明: 添加 PEG 降低了 P-UHMWPE/HDPE 共混物的黏度, 改善了 UHMWPE 在共混物中的分散性和相容性; 添加 UHMWPE 改善了 HDPE 的抗冲击和耐磨性能; 当 UHMWPE 含量达到 40% 时, P-UHMWPE/HDPE 共混物的抗冲击强度达到 46.58 kJ/m², 同比 HDPE 基体提升 34%, 在相同磨损条件下, 质量保留率提高了 8%。该研究为通过共混改性提升聚乙烯材料的抗冲击及耐磨性能提供了理论依据。

关键词: 高密度聚乙烯; 超高分子量聚乙烯; 抗冲击性能; 耐磨性; 复合材料

中图分类号: TQ325.12

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2025)09-0589-08

引文格式: 卢鑫, 齐晓明, 张鹏, 等. 高密度聚乙烯/超高分子量聚乙烯共混物的制备及其性能研究[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2025, 53(5): 589-596.

Reference Format: LU Xin, QI Xiaoming, ZHANG Peng, et al. A study on the preparation and properties of high-density polyethylene/ultra-high molecular weight polyethylene blends[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2025, 53(5): 589-596.

A study on the preparation and properties of high-density polyethylene/ultra-high molecular weight polyethylene blends

LU Xin¹, QI Xiaoming², ZHANG Peng¹, JIANG Yuhao¹, PAN Ben¹, FU Yaqin^{1,2}

(1. College of Materials Science & Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Provincial Innovation Center of Advanced Textile Technology, Shaoxing 312000, China)

Abstract: To improve the impact resistance and wear resistance of high-density polyethylene (HDPE), the P-UHMWPE reinforced HDPE (P-UHMWPE/HDPE) blends were prepared by solution-deposition blending, melt blending, injection molding and hot pressing with polyethylene glycol (PEG) as a disentanglement agent and ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) as a reinforcing phase. The effects of PEG and UHMWPE addition on the rheological properties, thermal properties, impact resistance and wear resistance of P-UHMWPE/HDPE blends were analyzed. The results show that the addition of PEG reduces the viscosity of P-UHMWPE/HDPE blends and improves the dispersion and compatibility of UHMWPE in the blends. The addition of UHMWPE improves the impact resistance and wear resistance of HDPE. When the UHMWPE content reaches 40%, the impact strength of P-UHMWPE/HDPE blends reaches 46.58 kJ/m², which is 34% higher than that of the HDPE matrix. Under the same wear conditions, the mass retention rate increases by 8%. This study provides a theoretical basis for improving the impact resistance and wear resistance of polyethylene materials through blending modification.

收稿日期: 2024-12-08 网络出版日期: 2025-03-05

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY19E030010)

作者简介: 卢鑫(1998—), 男, 浙江德清人, 硕士研究生, 主要从事纤维增强复合材料方面的研究。

通信作者: 傅雅琴, E-mail: fyq01@zstu.edu.cn

Key words: high-density polyethylene; ultra-high molecular weight polyethylene; impact resistance; wear resistance; composite material

0 引言

高密度聚乙烯(HDPE)是一种应用广泛的通用热塑性材料,具有轻质量、高韧性、耐化学腐蚀性强和熔融流动性好,可通过挤出、注塑和模压等多种成型方法加工,但HDPE制品存在模量和强度低等问题,限制了其应用^[1-2]。超高分子量聚乙烯(UHMWPE)是一种高性能聚合物,拥有与HDPE相同的分子链结构,具有高强度、高模量、耐低温、抗冲击、耐磨等特性^[3-4],在弹道防护、医疗器材、航空航天等领域中的应用日益广泛^[5-6]。UHMWPE的相对分子质量通常超过150万,高相对分子质量赋予UHMWPE出色的抗冲击性和耐磨性,抗冲击性能是HDPE的10倍以上^[7]。UHMWPE具有高黏度和极低的流动性能,因此在熔融时表现出极高的黏弹性且易发生熔体破裂,导致加工性能差^[8-9]。

近年来,研究人员通过低黏度、低相对分子质量的聚合物和UHMWPE共混来降低其熔体黏度^[10],该方法利用低相对分子质量短链对高相对分子质量长链的润滑和解缠作用,来改善UHMWPE的加工性能。如Zuo等^[11]采用两步法制备HDPE/UHMWPE共混物,并以中等相对分子质量聚乙烯(MMWPE)作为改性剂,结果发现:HDPE/UHMWPE共混物的熔体扭矩下降17%,表观黏度下降8%。Aderikha等^[12]研究了低添加量的UHMWPE对HDPE复合材料的结构及耐磨性能的影响,结果表明:UHMWPE的加入形成了以HDPE为连续相、UHMWPE为分散相的两相结构,其中UHMWPE分散相在共混体系中起成核剂的作用,随UHMWPE的增加,复合材料的磨粒磨损率单调降低。王利霞等^[13]通过聚乙二醇(PEG)共混改性UHMWPE来降低UHMWPE的缠结密度,熔融拉伸结果显示:聚乙二醇的引入使缠结密度有效降低26%。以上研究通过对UHMWPE的改性来降低其黏度,从而改善UHMWPE的加工性能,相对而言,引入的UHMWPE含量相对较低,未能充分发挥UHMWPE的优势。

本文以超高分子量聚乙烯(UHMWPE)为增强相,聚乙二醇(PEG)为解缠剂,采用溶液-沉积共混、熔融共混法、注塑和热压成型法,制备PEG改性的

UHMWPE增强HDPE(P-UHMWPE/HDPE)的共混物,分析PEG和UHMWPE添加量对P-UHMWPE/HDPE共混物流变性能、热性能、抗冲击和耐磨性能的影响。本文研究对有效改善HDPE的抗冲击和耐磨性具有良好的实践意义。

1 实验部分

1.1 实验材料

高密度聚乙烯-9180(HDPE)购自韩国LG化学有限公司,相对分子质量4万~30万,粒径2~4 mm,熔融指数(190℃/16 kg)4.5 g/10 min;超高分子量聚乙烯-221(UHMWPE)购自日本三井化学,相对分子质量200万,密度0.93 g/cm³,粒径2~4 mm,熔融指数(190℃/16 kg)1.5 g/10 min;聚乙二醇(PEG)购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司,相对分子质量6000。

1.2 P-UHMWPE/HDPE共混物的制备

1.2.1 溶液-沉积共混

配制密度为0.93 g/cm³的酒精溶液,并加入质量分数为5%的PEG粉末,在超声条件下加速其完全溶解,得到密度与UHMWPE一致的PEG溶液。将UHMWPE颗粒加入PEG溶液中搅拌均匀,静置3 h后在40℃下(低于PEG熔点)干燥72 h,获得经PEG改性的UHMWPE粒料,记为P-UHMWPE。

1.2.2 熔融共混

将P-UHMWPE粒料与HDPE粒料按照0:10、1:9、2:8、3:7、4:6等比例混合,得到聚乙烯混合粒料,记为P-UHMWPE/HDPE共混粒料;再利用双螺杆挤出机进行熔融共混挤出,加热区温度依次设定为160、163、167℃和170℃,挤出后经水冷却后造粒。重复以上挤出步骤2次以确保共混粒料的均匀性。

1.2.3 注塑和热压成型

将上述制备的P-UHMWPE/HDPE共混粒料通过注塑机制备共混物的拉伸和冲击试样。注头温度设为180℃,模具温度为30℃。粒料在注塑机内热熔10 min,第一阶段注射时间为2 s,第二阶段注射时间为12 s,注射压力分别为0.55 MPa和0.28 MPa。热压成型再用平板硫化机上进行,热压温度180℃,压力5 MPa,制备用于耐磨测试的膜片状试

样。根据 P-UHMWPE 的含量,对样品进行标记,分别为 HDPE、UH-10%、UH-20%、UH-30%、UH-40%和 UH-10%无 PEG,其中:UH-10%表示 P-UHMWPE 的质量分数为 10%,UH-20%表示 P-UHMWPE 的质量分数为 20%,依次类推;UH-10%无 PEG 表示 UHMWPE 没有经过 PEG 改性,且 UHMWPE 的质量分数为 10%。

1.3 样品性能测试

1.3.1 微观形貌分析

采用场发射扫描电子显微镜(Ultra 55,德国卡尔蔡司 SMT 有限公司),在 3 kV 加速电压观察断口形貌,样品经液氮低温淬断并表面镀金处理。

1.3.2 拉伸性能测试

根据 GB/T 1040.2—2022《塑料 拉伸性能的测定 第 2 部分:模塑和挤塑塑料的试验条件》,在万能材料试验机(Instron 3367,美国 ITW 集团英斯特朗公司)上对注塑试样进行拉伸测试,试样尺寸为 75 mm×10 mm×2 mm,加载速度为 20 mm/min,每组测试 5 个样条并取平均值。

1.3.3 冲击性能测试

按照 GB/T 1843—2008《塑料 悬臂梁冲击强度的测定》,采用摆锤冲击试验机(Instron CEAST 9050,美国 ITW 集团英斯特朗公司)对注塑试样进行冲击测试,试样尺寸:80 mm×10 mm×4 mm,缺口深度 2 mm,锤头 50 J,每组测试 5 个样条并取平均值。

1.3.4 热重分析

采用热重分析仪(TG209F1,德国耐驰仪器)测试试样热稳定性,测试温度范围为 30 °C 至 800 °C,升温速率 10 °C/min,空气气氛。

1.3.5 差示扫描量热分析

在差示扫描量热仪(DSC214Polyma,德国耐驰仪器)中测试样品热转变温度,在氮气气氛下,测试温度范围 0~200 °C,升温速率 10 °C/min,在 200 °C 保温 5 min 后,再以 10 °C/min 的速率降至 0 °C,再升至 200 °C。测试参照 GB/T 19466.3—2004《塑料 差示扫描量热法(DSC)第 3 部分:熔融和结晶温度及热焓的测定》,共混物结晶度计算如(1)所示:

$$X_c/\% = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_0} \times 100 \quad (1)$$

其中: X_c 为共混物结晶度; ΔH_m 为测试样品的熔融焓; ΔH_0 为聚乙烯完全结晶的理论焓值,取值为 293 J/g。

1.3.6 邵氏硬度测试

使用数显邵氏硬度计(LXD-A,东莞市三量量具有限公司)在试样表面间隔 10 mm 的多个点进行测试,加载载荷为 5 N,持续时间为 10 s。每组试样测试 3 次,取平均值。

1.3.7 耐磨性测试

取试样薄片在马丁代尔耐磨仪(YG 401 E,温州百恩仪器有限公司)中进行耐磨测试,试样尺寸:直径 30 mm,厚度 1 mm 测试条件为 320 cW 砂纸、压重 9 kPa、8000 次摩擦循环,记录试样的质量损失。

1.3.8 流变性能测试

在旋转流变仪(MCR30,奥地利安东帕集团有限公司)中测试试样的流变性能,试样尺寸:直径 25 mm,厚度 1 mm,测试条件为定温变频(0.01~100 Hz)扫描,测试温度为 180 °C,应变振幅为 1%。

2 结果与讨论

2.1 断面形貌分析

图 1 为 HDPE 及 P-UHMWPE/HDPE 共混物的断口 SEM 形貌。从图 1 中可以看出:在 P-UHMWPE 含量较低时,截面处有粗大的层状断痕,HDPE 和 P-UHMWPE 的微观状态难以区分,这说明 UHMWPE 同 HDPE 具有良好的相容性,二者分子链相互渗透^[14];这归因于 PEG 小分子能够进入 UHMWPE 大分子链间,从而降低共混物的缠结密度,使得 P-UHMWPE 均匀地分散在 HDPE 基体中。随着 P-UHMWPE 含量的增加,层状断裂的痕迹消失,截面形貌变得平整,但出现较多的微孔状结构,是 UHMWPE 相从 HDPE 基体析出产生相分离的结果。

2.2 热性能分析

图 2 为 P-UHMWPE/HDPE 共混物的 DSC 曲线,表 1 为 P-UHMWPE/HDPE 共混物的热性能数据。图 2 和表 1 显示:随着 P-UHMWPE 含量的增加,P-UHMWPE/HDPE 共混物的熔融温度向更高的温度方向偏移,结晶温度也呈现相同的变化趋势。HDPE 的结晶度为 56.99%,P-UHMWPE 的结晶度可以达到 76.25%,而随着 P-UHMWPE 含量的增加,P-UHMWPE/HDPE 共混物的结晶度有小幅上涨,表明 UHMWPE 的引入对 P-UHMWPE/HDPE 共混物具有成核剂作用^[15],能够促进 HDPE 晶体生长并加速结晶速率;当 P-UHMWPE 含量达到共混物质量分数的

20%时,UH-20%熔融温度达到 133.25 °C,结晶度达到 60.20%;这一结果归因于 HDPE 与 UHMWPE 的共结晶现象^[16],两者分子结构相同

但分子量不同,从而导致 P-UHMWPE/HDPE 共混物能够在冷却结晶过程中协同作用,最终提高了整体结晶度。

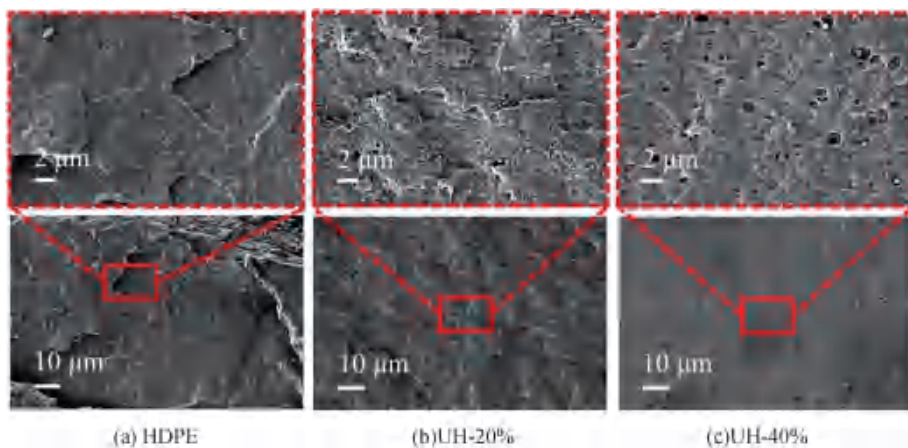


图1 HDPE及P-UHMWPE/HDPE共混物的SEM图像

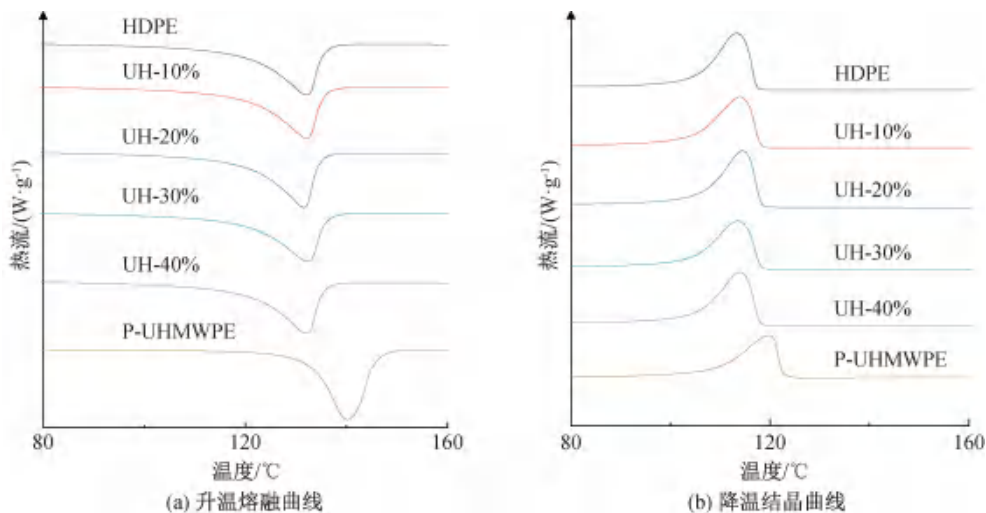


图2 P-UHMWPE/HDPE共混物的DSC曲线图

表1 P-UHMWPE/HDPE共混物的热性能数据表

样品名称	$T_c/^\circ\text{C}$	$T_m/^\circ\text{C}$	$\Delta H_m/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$	$X_c/\%$
HDPE	113.35	131.90	167.00	56.99
UH-10%	113.92	132.07	169.00	57.67
UH-20%	114.49	133.25	176.40	60.20
UH-30%	113.55	132.27	166.00	56.65
UH-40%	113.95	132.06	164.80	56.24
P-UHMWPE	119.85	139.58	223.41	76.25

图3为P-UHMWPE/HDPE共混物的热重分析曲线,从图中可以看出:HDPE试样在约300 °C开始热失重分解,在含有质量分数5% PEG的UHMWPE(P-UHMWPE),在300 °C以下便出现约5%的热失重;这是由于引入的质量分数5% PEG在300 °C开始热分解,试样在300 °C以下均表现出较好的热稳定性,显示出共混物在加工和使用

过程中具有较为稳定的热性能。

2.3 流变性能分析

图4显示了P-UHMWPE/HDPE共混物的流变性能分析曲线,包括复合黏度 η 、损耗因子 $\tan\delta$ 、Han曲线和Cole-Cole曲线。从图4(a)可知,共混物的复合黏度随频率的增大而剪切变稀,复合黏度逐渐下降。对比无PEG改性处理的样品,PEG的

引入对共混物的黏度下降起到了促进作用,有利于降低了长分子链的 UHMWPE 在 HDPE 基体中的缠结,起到解缠、润滑的作用,在 UH-10% 共混物在 0.01 Hz 下复合黏度能下降 30%。损耗因子的定义是损耗模量同储能模量的比值,研究表明较低的 $\tan\delta$ 值表示材料网络结构较多,因而具备较好的弹性性能。从图 4(b)可知, $\tan\delta$ 随频率的增加而逐渐下降,在 80~100 Hz 的高频下,随着 P-UHMWPE 含量的增加,共混物的 $\tan\delta$ 值也随之增加,共混物的弹性性能下降^[17]。图 4(c)—(d) 为 H_{an} 曲线和 Cole-Cole 曲线,以分析 P-UHMWPE/HDPE 共混物中 HDPE 与 UHMWPE 两相相容性的问题。由图 4(c)—(d)可知:在 H_{an} 曲线中, H_{an} 值由 G''/G' (损耗模量/储能模量)的比值的斜率来印证两相相

容性的优劣,斜率偏差越大,共混物的相容性越差^[18];是否施加 PEG 改性处理对 P-UHMWPE/HDPE 共混物的 H_{an} 值曲线斜率影响较大,PEG 的引入使 P-UHMWPE/HDPE 共混物的相容性更佳,PEG 在 HDPE 和 UHMWPE 两相中起到了很好的分散作用;Cole-Cole 曲线图表示 η''/η' (黏度虚部/黏度实部)的比值,用于评价高聚物熔体相的相互容状态,曲线呈半圆且光滑表明相容性好,偏离这种形貌的曲线都是非均匀的相分离^[19],随 PEG 处理,Cole-Cole 曲线呈现出凹形半圆弧状的发展趋势,向坐标轴的中轴线靠近,等类似的行为表现出,经过 PEG 有效处理能改善 P-UHMWPE/HDPE 共混物的相容性^[20],这归因于低分子量短链对高分子量长链的润滑和解缠作用。

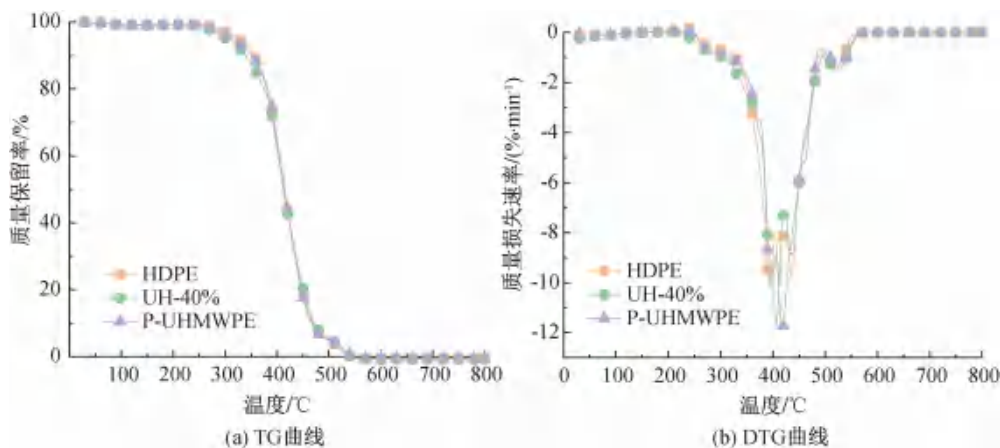


图 3 P-UHMWPE/HDPE 共混物的热重曲线图

2.4 力学性能分析

图 5 为 PEG 处理以及 UHMWPE 含量变化对 P-UHMWPE/HDPE 共混物拉伸强度及模量的影响。图 5 显示:引入 PEG 使得 P-UHMWPE/HDPE 共混物的拉伸强度和模量略有下降,拉伸强度下降 3%;随着 P-UHMWPE 质量分数从 10% 增加到 40%,P-UHMWPE/HDPE 共混物的拉伸强度呈小幅上升趋势,相较于 HDPE,UH-40% 拉伸强度提升 4%,并维持在 50 MPa 左右,表明具有相似结构的聚乙烯共混对其力学性能拉伸强度的影响不明显,这与文献[21]的结果基本相似;拉伸模量随 P-UHMWPE 含量的增加有了一定的增加,当含量为 40% 时,拉伸模量提升了 11%。

图 6 为 PEG 处理以及 UHMWPE 含量变化对 P-UHMWPE/HDPE 共混物的冲击强度及吸收功的影响。图 6(a)表明:PEG 的引入显著改善了共混物的冲击强度,其中 UH-10% 无 PEG 的冲击强度由 19.32 kJ/m² 提升至 32.99 kJ/m²,增幅达 70%,

吸收能量由 0.62 J 增加至 1.06 J。这主要是由于 PEG 对 UHMWPE 的解缠作用,使 UHMWPE 在 HDPE 基体中更均匀分散,从而使 UHMWPE 的高抗冲击性能得以充分发挥。图 6(b)显示:P-UHMWPE/HDPE 共混物的冲击强度均超过 30 kJ/m²,P-UHMWPE 含量较低时,P-UHMWPE/HDPE 共混物抗冲击强度变化不明显;UHMWPE 含量增加到 30% 及以上时,P-UHMWPE/HDPE 共混物的抗冲击强度明显增加;当 P-UHMWPE 的质量分数达到 40% 时,UH-40% 冲击强度可达 46.58 kJ/m²,相比 HDPE 提升 34%,吸收能量达到 1.49 J。这是因为 UHMWPE 聚合物可以在悬臂梁冲击试验期间吸收和耗散大量的能量,PEG 对 P-UHMWPE/HDPE 共混物的界面的相容性和结合作用增强^[22]。

2.5 耐磨性及硬度分析

图 7 为 P-UHMWPE/HDPE 共混物的耐磨性能分析。从图 7(a)中可以看出:在试验初期(1000

次磨损)各组分的质量损失较小;随着磨损次数的增加,质量损失逐渐显现差异,尤其在2000次和4000次后差异明显;加入UHMWPE组分后,耐磨性相对稳定,质量损失的趋势放缓,而HDPE的质量损失持续增加并保持在较高水平,存在10 mg的质量损失差。图7(b)为P-UHMWPE/HDPE共混物经历8000次循环摩擦测试后的质量保留率,HDPE试样的质量

损失54.1 mg,质量保留率为70%,为5种试样中的最小值;随着UHMWPE含量的增加,共混物的耐磨性能逐渐提升;当UHMWPE的质量分数达到40%时,UH-40%质量损失为38 mg,相比于HDPE试样质量损失减少29%,P-UHMWPE/HDPE共混物的质量保留率可以达到78%,表明P-UHMWPE加入后显著提高了共混物的耐磨性能^[23]。

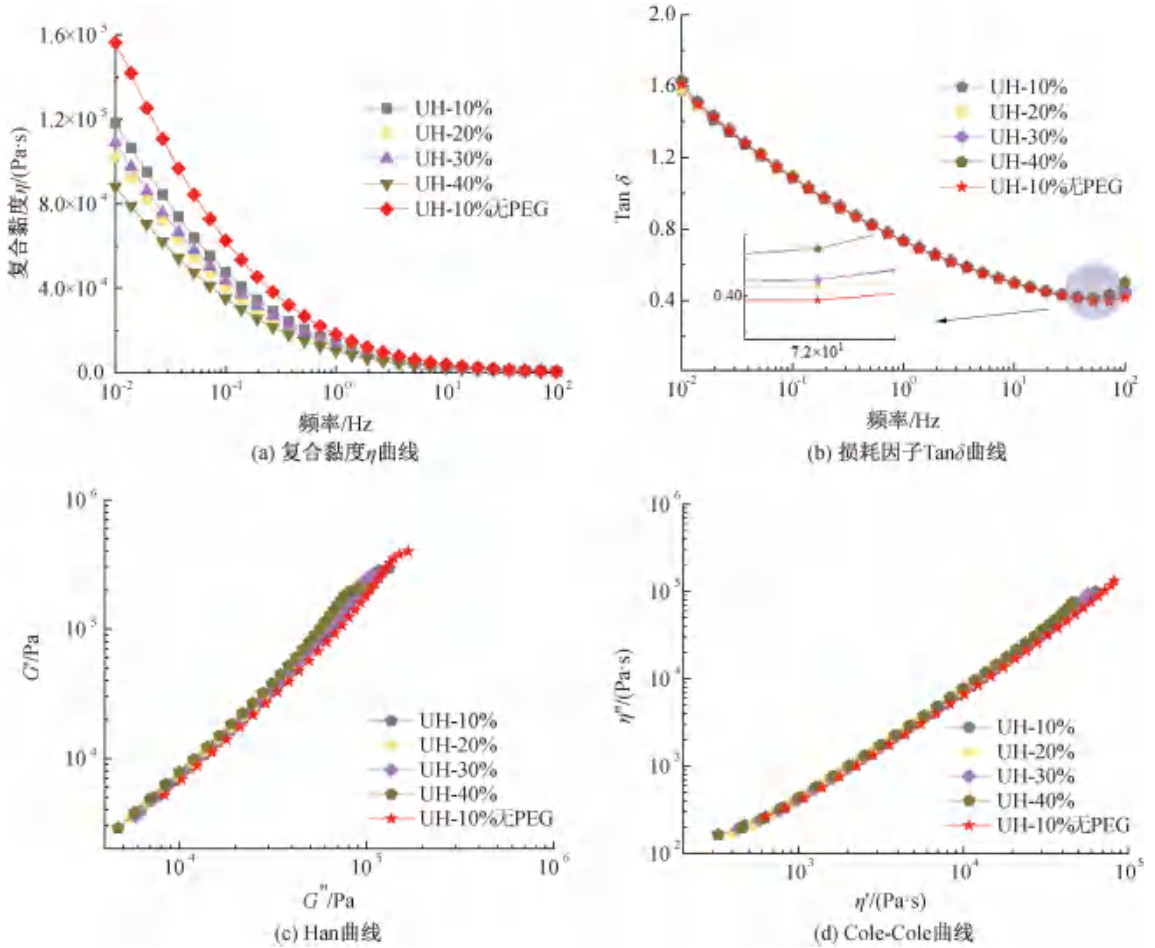


图4 P-UHMWPE/HDPE共混物的流变分析曲线

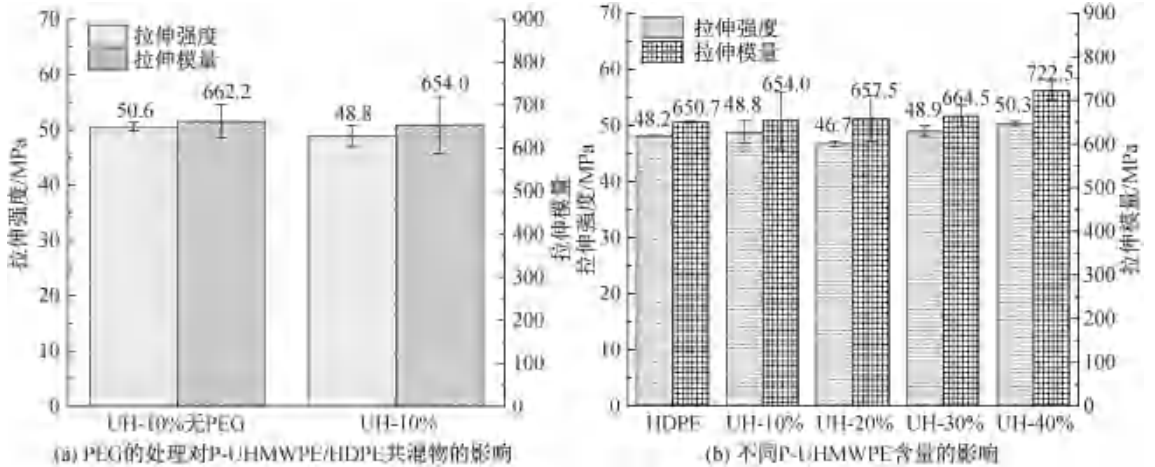


图5 P-UHMWPE/HDPE共混物的拉伸强度和拉伸模量直方图

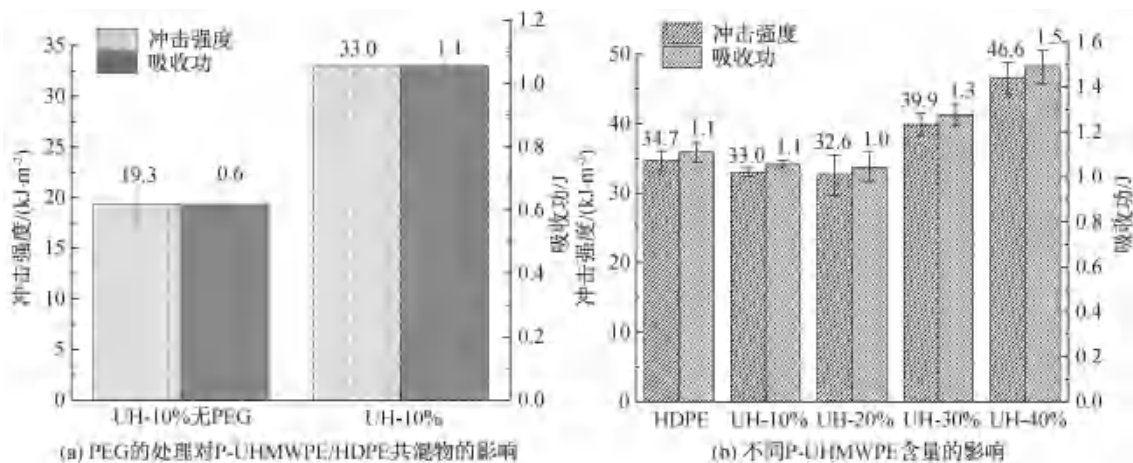


图 6 P-UHMWPE/HDPE 共混物的冲击强度和吸收功直方图

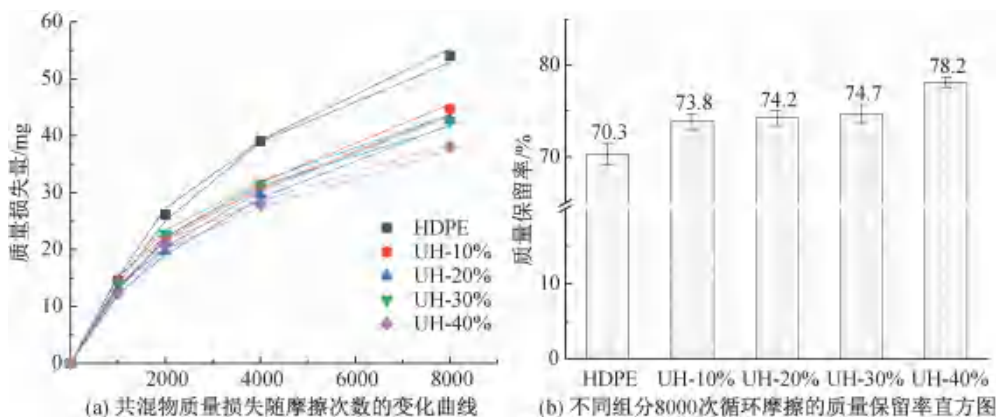


图 7 P-UHMWPE/HDPE 共混物的耐磨性能分析

图 8 为 UHMWPE/HDPE 共混试样的硬度示意图。从图 8 可知:P-UHMWPE/HDPE 共混物的邵氏硬度随着 UHMWPE 含量的增加而逐渐提高,HDPE 试样的硬度为 82 HA;当 UHMWPE 质量分数达到 40% 时,UH-40% 试样的硬度达到 95.7 HA,相较 HDPE 提升了 16%,这表明 UHMWPE 的引入增强了共混物的硬度,主要是 UHMWPE 的超长分子链特性使其分子链间更易发生缠绕,限制了分子链的相对移动性,增加了材料的内部结构稳定性,硬度随之提升。

3 结论

本文以超高分子量聚乙烯(UHMWPE)为增强相,聚乙二醇(PEG)为解缠剂,采用溶液-沉积共混、熔融共混法、注塑和热压成型法,制备 PEG 改性的 UHMWPE 增强 HDPE (P-UHMWPE/HDPE) 的共混物,分析 PEG 和 UHMWPE 添加量对 P-UHMWPE/HDPE 共混物流变性能、热性能、抗冲击和耐磨性能的影响。所得主要结论如下:

a) PEG 的溶液-沉积共混改性 UHMWPE、熔

融共混,这种方法使 P-UHMWPE 较为均匀分散在 HDPE 基体中,但含量增加到 40% 时,出现了一定的相分离现象。

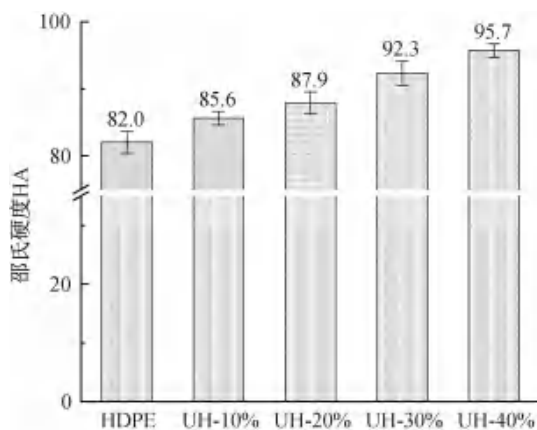


图 8 UHMWPE/HDPE 共混试样的硬度直方图

b) P-UHMWPE/HDPE 共混物具有较好的热稳定性,随着 UHMWPE 含量的增加,同时 UHMWPE 在 P-UHMWPE/HDPE 共混物基体中充当成核剂,促进晶体生长,在 UH-20% 的结晶度可以达到 60.20%。

c) PEG 的引入显著降低 UHMWPE 及 P-UHMWPE/HDPE 共混物的黏度,改善了两相之间的相容性,提升了 P-UHMWPE/HDPE 共混物的可加工性。

d) P-UHMWPE 的加入对 P-UHMWPE/HDPE 共混物的拉伸强度影响不明显,但对 P-UHMWPE/HDPE 共混物的抗冲击性能、耐磨性能和邵氏硬度产生了一定影响。随 UHMWPE 含量的增加,P-UHMWPE 对 P-UHMWPE/HDPE 共混物的耐磨性及抗冲击性能提升显著,UHMWPE 质量分数达到 40% 时表现出优异的抗冲击性能,冲击强度达到 46.58 kJ/m^2 ,相比 HDPE 基体提升 34%,质量磨损保留率提高 8%,邵氏硬度增加 17%,展示了良好的应用潜力。

参考文献:

- [1] 刘强,孔释笛. 高密度聚乙烯的应用研究及发展[J]. 建筑工程技术与设计, 2020(23): 39-40.
- [2] 邵鹏程,王雁玉,李渤,等. 高密度聚乙烯的研究及应用[J]. 塑料制造, 2011(4): 98-100.
- [3] Wang Z R, Li Q, Chen X C, et al. High crystallinity makes excellent wear resistance in crosslinked UHMWPE [J]. *Polymer*, 2023, 280: 126059.
- [4] Xie M, Li H. Mechanical properties of an ultrahigh-molecular-weight polyethylene/polypropylene blend containing poly(ethylene glycol) additives [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, 108(5): 3148-3153.
- [5] Chaudhuri K, Poddar S, Pol H, et al. The effect of processing conditions on the rheological properties of blends of ultra high molecular weight polyethylene with high-density polyethylene [J]. *Polymer Engineering & Science*, 2019, 59(4) :821-829.
- [6] González J, Rosales C, González M, et al. Rheological and mechanical properties of blends of LDPE with high contents of UHMWPE wastes [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2017, 134(26): 44996.
- [7] 张文媛. 我国超高分子量聚乙烯的应用及研究现状[J]. 当代石油石化, 2017, 25(9): 31-34.
- [8] 余大荣,辛勇. 超高分子量聚乙烯改性研究进展[J]. 中国塑料, 2022, 36(8): 135-145.
- [9] 周秀琪,汪杰,方庆忠. 超高分子量聚乙烯制品的改性进展[J].

塑料, 2021, 50(3): 88-92.

- [10] Li Q, Dong P, Liu H X, et al. Towards high-performance all-polyethylene materials by a two-step processing strategy using two-roll mill [J]. *Polymer*, 2021, 228: 123956.
- [11] Zuo J D, Zhu Y M, Liu S M, et al. Preparation of HDPE/UHMWPE/MMWPE blends by two-step processing way and properties of blown films[J]. *Polymer Bulletin*, 2007, 58(4): 711-722.
- [12] Aderikha V N, Cai F P, Koval V N, et al. Increasing the resistance of HDPE to abrasive wear with small additions of UHMWPE[J]. *Journal of Friction and Wear*, 2022, 43(1): 1-7.
- [13] 王利霞,毕肇杰,史淼磊,等. UHMWPE/PEG 共混方式及对比对 UHMWPE 缠结行为及性能的影响[J]. 化工学报, 2022, 73(2): 933-940.
- [14] Sui Y, Qiu Z J, Liu Y, et al. Ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE)/high-density polyethylene (HDPE) blends with outstanding mechanical properties, wear resistance, and processability [J]. *Journal of Polymer Research*, 2023, 30(6): 222.
- [15] 周攀攀. 纳米纤维素-高密度聚乙烯复合材料及界面相容性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 12-79.
- [16] Zuo J, Liu S, Zhao J. CocrySTALLIZATION behavior of UHMWPE/HDPE blends prepared by two-step processing way [J]. *Polymers and Polymer Composites*, 2015, 23(1): 59-64.
- [17] Lee E M, Oh Y S, Ha H S, et al. Rheological properties of UHMWPE/iPP blends [J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2009, 20(12): 1121-1126.
- [18] Li Y M, Wang Y, Bai L, et al. Dynamic rheological behavior of uhmwpe/hdpe blends[J]. *Journal of Macromolecular Science Part B: Physics*, 2011, 50(7): 1249-1259.
- [19] Chen Y, Zou H W, Liang M, et al. Rheological, thermal, and morphological properties of low-density polyethylene/ultra-high-molecular-weight polyethylene and linear low-density polyethylene/ultra-high-molecular-weight polyethylene blends [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 129(3): 945-953.
- [20] Dordinejad A K, Sharif F, Ebrahimi M, et al. Rheological and thermorheological assessment of polyethylene in multiple extrusion process [J]. *Thermochimica Acta*, 2018, 668: 19-27.
- [21] 梁正晨,李贝贝,王选伦,等. HDPE/PA6/UHMWPE 复合材料的制备与性能研究[J]. 橡塑技术与装备, 2023, 49(5): 9-14.
- [22] Guo Y C, Zuo X H, Xue Y, et al. Enhancing impact resistance of polymer blends via self-assembled nanoscale interfacial structures [J]. *Macromolecules*, 2018, 51(11): 3897-3910.
- [23] 张瑞珠,张国钰,魏常涛,等. 纳米二氧化钛/玻璃鳞片协同增强环氧树脂的耐磨性研究[J]. 电镀与涂饰, 2024, 43(3): 84-91.

团队介绍

傅雅琴教授团队由 2 名教授、5 名副教授和 2 名讲师组成。团队现有在读博士生 8 名(包括 2 名留学生),硕士生 60 余名。团队专注于纺织复合材料及聚合物成型加工研究,以应用基础研究带动产业升级。主要研究方向包括复合材料及界面、高频通信用低介电材料、蚕丝结构性能及加工新工艺研究、吸波材料设计与研究等。已发表论文 300 余篇,授权发明专利 100 余项,其中多项成果被企业产业化,部分成果被专家认定为技术处于国际领先水平。团队成员主持完成国家及省部级项目 30 余项,企业委托项目 20 余项;曾获中国纺织工业联合会科技进步一等奖、中国商业联合会科学技术一等奖、中国纺织行业专利金奖、浙江省科技进步二等奖等奖项。

(责任编辑:张会巍)