

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.09.024

中空玻璃微珠对超高分子量聚乙烯性能的影响

孙永兴, 宋博, 王引真, 张璐

[中国石油大学(华东)机电工程学院, 山东青岛 266580]

摘要: 为改善超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)的硬度及耐磨性能,研究模压温度、中空玻璃微珠含量及粒径对PE-UHMW硬度和耐磨性能的影响。以中空玻璃微珠为填料,采用模压成型方法制备中空玻璃微珠改性PE-UHMW复合材料,通过邵氏硬度计和摩擦磨损试验机测试复合材料的硬度及摩擦磨损性能。结果表明,当模压压力为80 N、模压温度为160℃时,纯PE-UHMW的邵氏硬度最高(66.067);当中空玻璃微珠粒径为180 μm、质量分数为5%时,复合材料的耐磨性能较好,与15CrMoV钢的摩擦系数为0.234,磨损率为0.079%,邵氏硬度为70.44。复合材料的摩擦磨损性能主要取决于中空玻璃微珠在PE-UHMW基体中的分散程度。中空玻璃微珠在PE-UHMW基体中起到异相成核的作用,增大了PE-UHMW的节点密度,使其硬度增大,耐磨性能改善,但中空玻璃微珠粒径过大或含量过高时,会产生团聚现象,造成复合材料的耐磨性能下降。

关键词: 中空玻璃微珠;超高分子量聚乙烯;耐磨机理;硬度;耐磨性能

中图分类号: TQ325.1+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)09-0119-06

Influence of Hollow Glass Bead on Properties of PE-UHMW

Sun Yongxing, Song Bo, Wang Yinzen, Zhang Lu

(College of Mechanical and Electrical Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: In order to improve the hardness and wear resistance of ultra high molecular weight polyethylene (PE-UHMW), molding temperature, hollow glass bead content and particle size on the hardness and wear resistance of PE-UHMW were studied. The PE-UHMW composites were prepared by molding process with the glass bead as filler. The research results show that when the molding temperature is 160 °C and molding pressure at 80 N, the pure PE-UHMW reach the highest Shore hardness(66.067). Added particle size of 180 μm, content 5% hollow glass bead in PE-UHMW, the wear resistance is better, the friction coefficient is 0.234 and the wear rate is 0.079% with 15CrMoV steel, the Shore hardness is 70.44. The dispersion degree of hollow glass bead in PE-UHMW is the key factor to determine the friction and wear properties of the composites. Hollow glass beads in the matrix make heterogeneous nucleation effect, the node density and Shore hardness are increased and wear resistance is improved, but if the hollow bead size is too large or content is too high, it can be generate agglomeration phenomenon, resulting in decreasing the wear resistance of the composites.

Keywords: hollow glass bead; PE-UHMW; wear resistance mechanism; hardness; wear resistance

超高分子量聚乙烯(PE-UHMW)因其综合性能优异、耐磨性为低碳钢的8~9倍、摩擦系数低以及极好的耐腐蚀性,已作为生物医学、微电子等高科技领域及粮食加工,纺织机械等行业的基础材料。但其硬度和强度低、耐高温性能和抗蠕变性能差等缺陷限制了其在工业现场的应用^[1]。

国内对于改善PE-UHMW耐磨性、优化加工工艺等方面已有许多研究。何剑雄等^[2]采用质量分数10%的纳米SiO₂和2%的3000CP型实心玻璃微珠共混改性PE-UHMW,可以有效提高基体材料的硬度,改善摩擦磨损性能和抗空蚀性能。刘广建等^[3]对比了超细玻璃微珠、二硫化钼、滑石粉、玻璃

纤维、碳纤维和聚四氟乙烯对PE-UHMW耐磨性能的影响,考虑综合性能及价格,以添加超细玻璃微珠最合适。

中空玻璃微珠质轻、无毒、化学性能稳定,而且在聚合物中的分散性较好,填充在热固性树脂中可以保持尺寸的稳定性和达到耐磨隔热的目的^[4]。中空玻璃微珠在PE-UHMW线性分子链结构中起到强化相的作用,可以有效阻止树脂受热状态下分子链的流动。经偶联剂处理后,中空玻璃微珠和PE-

联系人: 宋博,在读硕士,主要从事玻璃微珠、聚四氟乙烯对超高分子量聚乙烯性能的研究

收稿日期: 2015-06-16

UHMW 分子链间的范德华力由单纯的色散力转变为色散力加诱导力,加上偶联剂分子与 PE-UHMW 分子链的缠结作用,中空玻璃微珠在基体中起到了物理交联点的作用,并融入分子链缠结网络,这种缠结网络能提高基体的延伸率或储能模量,使复合材料的耐热性和耐磨性得到改善^[5]。

但目前国内尚未见到关于中空玻璃微珠改善 PE-UHMW 耐磨性机理的研究报道。因此,笔者以中空玻璃微珠为填料,采用模压成型工艺制备 PE-UHMW 复合材料。研究模压温度、中空玻璃微珠含量及粒径对 PE-UHMW 硬度、耐磨性的影响规律及其作用机制。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PE-UHMW: 分子量为 250~300 万,江苏中江聚合物有限公司;

中空玻璃微珠: 粒径分别为 180,350,580,740 μm ,大庆市森鑫辉腾贸易有限公司;

硅烷偶联剂: KH550,济南历城区华塑化工有限公司。

1.2 主要仪器与设备

实验电阻炉: SG-5-12 型,兴化市华生电热厂;

行星式球磨机: QM-ISP(4L) 型,南京大学仪器厂;

镶嵌机: XQ-2B 型,上海金相机械设备有限公司;

邵氏橡胶硬度计: LX-D 型,江苏明珠试验机械有限公司;

摩擦磨损试验机: M-2000 型,济南研瑞测试仪器有限公司;

双目金相显微镜: XJP-3A 型,深圳彩琪电子科技有限公司。

1.3 实验方案设计

(1) 纯 PE-UHMW 试样的制备。

为研究模压温度对 PE-UHMW 硬度的影响,固定模压压力为 80 N、模压时间为 45 min、冷却时间为 10 min 不变,设置模压温度为 140,160,180,200℃。以模压温度为单一变量,称取 4 组 13 g 纯 PE-UHMW 粉末倒入镶嵌机中,分别在不同温度下制备纯 PE-UHMW 试样,试样尺寸为 $\varnothing 30 \times (10 \sim 15)$ mm。

(2) PE-UHMW 复合材料试样的制备。

表 1 给出了不同含量中空玻璃微珠填充改性

PE-UHMW 复合材料的配方。设计每种配方的总质量为 50 g,固定中空玻璃微珠粒径为 180 μm ,将质量分数为中空玻璃微珠质量 3% 的 KH550 偶联剂用无水乙醇以体积比 10:1 稀释,将已称好的中空玻璃微珠倒入 KH550 的无水乙醇溶液中,搅拌混合 30 min 进行偶联处理,然后在实验电阻炉上于 $(90 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下干燥 120 min,研细后放置待用。

表 1 不同含量中空玻璃微珠填充改性 PE-UHMW 复合材料的配方

项目	配方编号				
	a	b	c	d	e
中空玻璃微珠质量分数 / %	3	4	5	6	7
中空玻璃微珠粒径 / μm	180				
PE-UHMW 质量分数 / %	97	96	95	94	93

表 2 给出了不同粒径中空玻璃微珠填充改性 PE-UHMW 复合材料的配方。设计每种配方的总质量为 50 g,固定添加中空玻璃微珠的质量分数为 5%,将质量分数为中空玻璃微珠质量 3% 的 KH550 偶联剂用无水乙醇以体积比例 10:1 稀释,将已称好的 2.5 g 中空玻璃微珠倒入 KH550 的无水乙醇溶液中,搅拌混合 30 min 进行偶联处理,然后在实验电阻炉上于 $(90 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下干燥 120 min,研细后放置待用。

表 2 不同粒径中空玻璃微珠填充改性 PE-UHMW 复合材料的配方

项目	配方编号			
	A	B	C	D
中空玻璃微珠粒径 / μm	180	350	580	740
中空玻璃微珠质量分数 / %	5%			
PE-UHMW 质量分数 / %	95%			

将偶联剂处理后的中空玻璃微珠在球磨机中磨细,球磨速度为 350 r/min,球磨时间为 50 min,大、中、小磨球直径分别为 20,10,5 mm,比例为 1:5:6。按配方称取 PE-UHMW 粉末,烘干后倒入中空玻璃微珠,搅拌 30 min 至混合均匀,设置温度为 160℃,在镶嵌机中制备试样,试样尺寸为 $\varnothing 30 \times (10 \sim 15)$ mm。锯割后用 800# 水砂纸打磨至性能测试需要的尺寸,表面粗糙度 R_a 为 0.2 μm 。用酒精洗净后待用。

1.4 性能测试

(1) 硬度测试。

根据 GB/T 2411-2008,用邵氏橡胶硬度计测试试样的硬度,每个试样测试 8 次,去掉最大值与最小值,将其余 6 组硬度数据取平均值作为试样的硬度。

(2) 摩擦系数及磨损率测试。

用摩擦磨损试验机测试试样的摩擦磨损性能。采用环-块滑动摩擦副,上试环为 15CrMoV 钢,内

径为 16 mm,外径为 40 mm,宽度为 10 mm,表面粗糙度 R_a 为 $0.8 \mu\text{m}$,试块为 PE-UHMW 复合材料,其尺寸为 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$,实验条件为干式摩擦,滑动摩擦运行,时间为 20 min,实验载荷为 200 N(设备误差为 $\pm 4 \text{ N}$),转速为 300 r/min。摩擦系数由显示屏读出,采用磨损质量损失评价 PE-UHMW 复合材料的耐磨性,即实验前后采用电子分析天平(精度为 0.1 mg)称取试块质量,计算出实验前后试块的质量差,与试块初始质量的比值即为磨损率。

采用金相显微镜观察不同粒径及含量的中空玻璃微珠在 PE-UHMW 基体中的形状及分布情况,观察中空玻璃微珠是否产生团聚现象,对比观察中空玻璃微珠对 PE-UHMW 缠结网络造成的畸变程度的影响。

2 结果与讨论

2.1 模压温度对纯 PE-UHMW 硬度的影响

模压温度对纯 PE-UHMW 硬度的影响如图 1 所示。

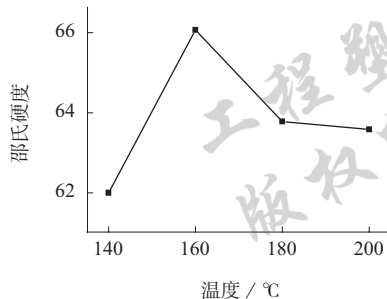


图1 模压温度对纯 PE-UHMW 硬度的影响

由图 1 可知,当模压温度为 160°C 时,制备的纯 PE-UHMW 试样的邵氏硬度最高,为 66.067,当温度继续升高时,其硬度开始下降。分析认为,随着模压温度的升高,PE-UHMW 的链状结构在成型过程中逐渐铺展,单位面积分子链的密度增大,使试样的硬度增大;但随着温度的继续升高,PE-UHMW 无定形区的分子链卷曲缠绕程度增大,形成类似团絮状结构,导致分子链局部缠结密度上升,周边区域分子链密度下降,基体分子链的密度不均匀,而且温度越高,聚合物的热降解和氧化过程越快^[6],致使硬度开始下降。此外,当模压温度为 140°C 时,PE-UHMW 在 45 min 内不能完全熔化,从经济成本考虑, 160°C 为合适的模压温度。

2.2 中空玻璃微珠含量对 PE-UHMW 复合材料性能的影响

当中空玻璃微珠粒径为 $180 \mu\text{m}$ 时,中空玻璃

微珠含量对 PE-UHMW 复合材料硬度的影响如图 2 所示。

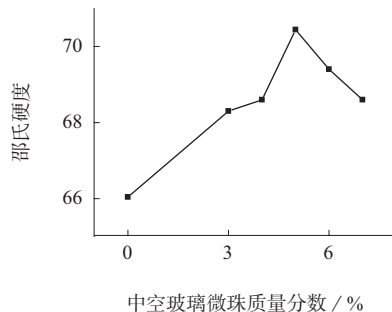


图2 中空玻璃微珠含量对 PE-UHMW 复合材料硬度的影响

中空玻璃微珠的主要成分为 SiO_2 与 Al_2O_3 ,主要目的在于提高聚合物的耐磨性。由图 2 可知,随着中空玻璃微珠含量的增加,PE-UHMW 复合材料的硬度先增大后减小,当其质量分数为 5% 时,复合材料的硬度最高,为 70.44。当经过 KH550 偶联剂处理的中空玻璃微珠含量不高时,能与 PE-UHMW 的分子链达到紧密结合,在形成晶核时空玻璃微珠起到异相成核的作用,形成 PE-UHMW 缠结结构的网络结点,增加了晶区内的缠结点密度,随着中空玻璃微珠含量的增加,这种交叉贯穿的网络结点密度不断加大,使 PE-UHMW 基体中的物理缠结点增多,从而有效地提高了 PE-UHMW 基体的硬度;随着中空玻璃微珠含量的继续增加,当 PE-UHMW 基体不足以紧密粘接中空玻璃微珠表面的偶联剂极性基团时,过多的中空玻璃微珠就会偏聚,不能形成有效的形核结点,甚至出现团聚现象,在 PE-UHMW 复合材料中夹杂大块的中空玻璃微珠,导致 PE-UHMW 复合材料硬度下降^[7]。

当中空玻璃微珠粒径为 $180 \mu\text{m}$ 时,中空玻璃微珠含量对 PE-UHMW 复合材料耐磨性能的影响如图 3 所示。

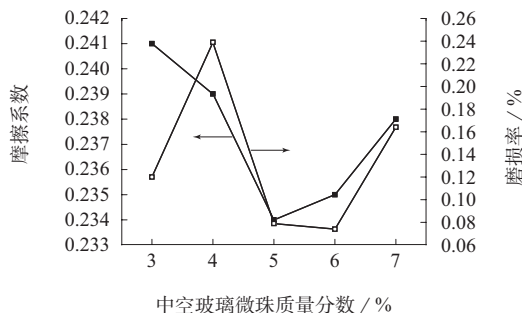


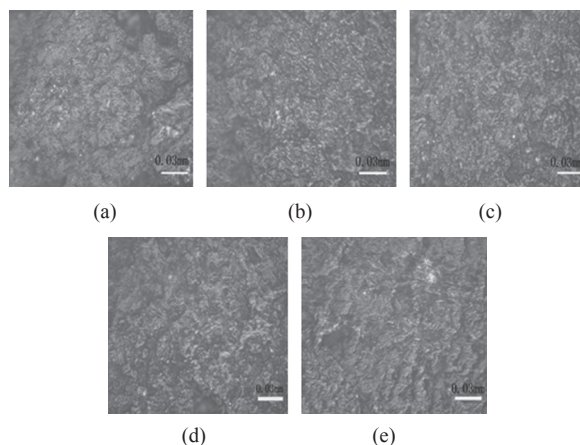
图3 中空玻璃微珠含量对 PE-UHMW 复合材料摩擦系数及磨损率的影响

由图 3 可知,除中空玻璃微珠质量分数为 4% 时 PE-UHMW 复合材料的磨损率最大之外,复合

材料的摩擦系数与磨损率随中空玻璃微珠含量的变化趋势大致相同,均是先减小后增大。当中空玻璃微珠质量分数为 5% 时,复合材料的摩擦系数最小,为 0.234,磨损率较小,为 0.079%;当中空玻璃微珠质量分数为 6% 时,复合材料的磨损率最低,为 0.074%,但摩擦系数较高,为 0.235。聚合物材料的磨损机制主要是塑性变形引起的粘着磨损和疲劳应力引起的疲劳磨损。填充的中空玻璃微珠的硬度比 PE-UHMW 大很多,当中空玻璃微珠质量分数低于 5% 时,中空玻璃微珠在 PE-UHMW 基体中起到支撑点的作用,当 PE-UHMW 复合材料承受负载作用时,填充的中空玻璃微珠可以优先承受负载作用。在一定的负载和滑动速度范围内,所起的承载作用能对犁沟的扩展和 PE-UHMW 的塑性变形起到阻碍作用,阻止磨粒的嵌入和切削,提高了复合材料的耐磨性。经偶联处理后的中空玻璃微珠,其表面的极性基团与 PE-UHMW 分子链结合紧密,增强了中空玻璃微珠与基体界面处的粘结强度,阻止基体分子的自由运动,基体缠结网络更加致密,复合材料的耐磨性能得到明显改善;随着中空玻璃微珠含量的增加,当其质量分数高于 5% 时,PE-UHMW 基体不能与过多的中空玻璃微珠表面的极性基团形成致密结合,局部中空玻璃微珠偏聚现象增多,造成在基体中中空玻璃微珠分布不均匀,过多的中空玻璃微珠甚至形成块状杂质,引起局部应力集中,由于与基体的结合强度较弱,不仅不能与基体紧密结合,在磨损过程中容易从基体表面脱落,可能脱离基体,成为磨粒存在于界面处,界面处的磨损形式由粘着磨损转变为粘着磨损与磨粒磨损^[8],使复合材料的摩擦磨损性能迅速变差。不同区域的 PE-UHMW 分子链缠结结构畸变程度差异过大,也会使磨损率上升。

当中空玻璃微珠粒径为 180 μm 时,中空玻璃微珠含量对其在 PE-UHMW 基体中分散程度的影响如图 4 所示。

由图 4a、图 4b 可看出,当中空玻璃微珠质量分数低于 5% 时,PE-UHMW 基体能够与偶联剂处理后的中空玻璃微珠形成紧密结合,中空玻璃微珠均匀分散在 PE-UHMW 基体中,基体连续性好,并形成致密的网状结构。由图 4c 可看出,当中空玻璃微珠质量分数为 5% 时,致密的交叉网络开始轻微变形,并有少量未能与基体紧密结合的中空玻璃微珠出现。由图 4d 可看出,PE-UHMW 基体的缠结网络扭曲变形,畸变程度增大,致使原有的缠结结构被



玻璃微珠质量分数: a—3%; b—4%; c—5%; d—6%; e—7%

图 4 中空玻璃微珠含量对其在 PE-UHMW 基体中分散程度的影响

打破,基体的连续性变差,局部区域出现高密度缠结组织,造成整体分子链密度不均匀。由图 4e 可以看出,少量中空玻璃微珠开始团聚,在基体中形成絮状中空玻璃微珠团聚物,在显微镜下显示为椭圆形亮斑,基体分子链缠结网络畸变程度更加严重,分子链密度的不均匀程度增大,致使材料的耐磨性能下降。

综上所述可知,PE-UHMW 基体对中空玻璃微珠质量分数的容纳限度为 5% 左右,当中空玻璃微珠质量分数为 5% 时,中空玻璃微珠在 PE-UHMW 基体中的分散程度较好,且交互缠结网络的致密性较好,PE-UHMW 复合材料的耐磨性能达到最佳,与 15CrMoV 钢制环形对磨件的磨损率为 0.079%,摩擦系数为 0.234。PE-UHMW 复合材料的耐磨性与玻璃微珠在 PE-UHMW 基体中的分散均匀程度有关,分散越均匀,复合材料的耐磨性越好。

2.3 中空玻璃微珠粒径对 PE-UHMW 复合材料耐磨性能的影响

当中空玻璃微珠质量分数为 5% 时,中空玻璃微珠粒径对 PE-UHMW 复合材料摩擦系数与磨损率的影响如图 5 所示。

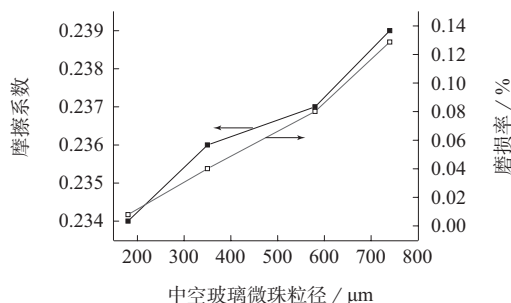


图 5 中空玻璃微珠粒径对 PE-UHMW 复合材料摩擦系数与磨损率的影响

由图 5 可以看出,随着中空玻璃微珠粒径的增

大, PE-UHMW 复合材料的耐磨性变差, 摩擦系数与磨损率几乎成直线上升。分析认为, 随着中空玻璃微珠粒径的增大, 中空玻璃微珠的质量增加, 与 PE-UHMW 基体的结合强度降低, 即使在偶联剂处理过后, 中空玻璃微珠也不能与 PE-UHMW 基体形成牢固结合, 在外力及高温作用下容易脱落, 中空玻璃微珠的粒径越大, 在磨损过程中越容易在磨损界面间产生较大尺寸的磨粒, 且更容易破碎, 在界面处形成玻璃碎屑, 严重削弱材料的摩擦磨损性能。因此在分散均匀的情况下, 中空玻璃微珠的粒径越小越好, 本实验中, 以中空玻璃微珠的粒径为 $180\ \mu\text{m}$ 时, PE-UHMW 复合材料的耐磨性能最佳。

当中空玻璃微珠质量分数为 5% 时, 中空玻璃微珠粒径对 PE-UHMW 复合材料硬度的影响如图 6 所示。

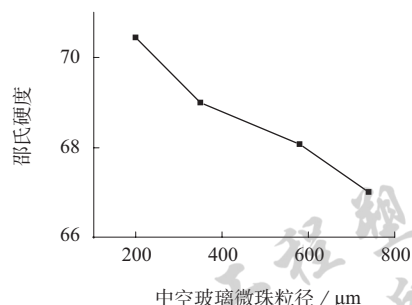
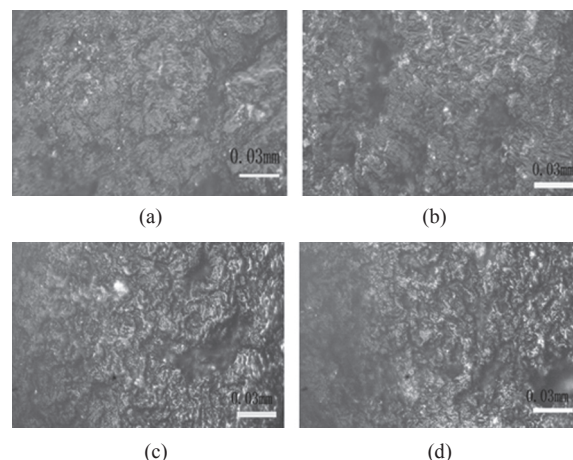


图 6 中空玻璃微珠粒径对 PE-UHMW 复合材料硬度的影响

由图 6 可以看出。随着中空玻璃微珠粒径的增大, PE-UHMW 复合材料的硬度逐渐减小。中空玻璃微珠粒径越大, 对 PE-UHMW 基体的缠结网络造成的局部畸变程度越大, 中空玻璃微珠越容易团聚偏析, 造成局部性能恶化, 影响材料的整体硬度。

当中空玻璃微珠质量分数为 5% 时, 不同粒径中空玻璃微珠在 PE-UHMW 基体中的分布情况如图 7 所示。

由图 7 可以看出, 随着中空玻璃微珠粒径的增大, PE-UHMW 基体缠结网络的畸变程度大幅增加。由图 7a 可以看出, 致密的 PE-UHMW 缠结交叉网络开始轻微变形, 并有少量未能与基体紧密结合的中空玻璃微珠。由图 7b 可以看出, PE-UHMW 缠结网络已经产生扭曲变形, 并且出现中空玻璃微珠的团聚现象, 可以看到絮状中空玻璃微珠团聚物和少量玻璃碎屑。这是因为中空玻璃微珠粒径越大, 在偶联处理后的球磨过程中越容易破碎, 形成的玻璃碎屑同样会混夹在 PE-UHMW 基体中, 严重影响基体的连续性。由图 7c 可以看出, 已有大量中空玻



中空玻璃微珠粒径: a— $180\ \mu\text{m}$; b— $350\ \mu\text{m}$;
c— $580\ \mu\text{m}$; d— $740\ \mu\text{m}$

图 7 不同粒径中空玻璃微珠在 PE-UHMW 基体中的分布情况

璃微珠不能与基体形成牢固结合而脱落, 在基体表面留下大量的点坑, 并且 PE-UHMW 缠结网络散布着大量玻璃碎屑, 扭曲变形更加严重。由图 7d 可以看出, 基体表面点坑尺寸更大, 并且已经不能看到中空玻璃微珠, 只有大量玻璃碎屑, 原有分子链网络的连续性已经被打断, PE-UHMW 基体已不能包覆中空玻璃微珠。说明当中空玻璃微珠粒径超过 $350\ \mu\text{m}$ 时, 已不适合作为填料对聚合物进行填充改性。

3 结论

(1) 在模压压力为 80 N、模压时间为 45 min 的条件下, 纯 PE-UHMW 的硬度随着模压温度的上升, 呈现先增大后减小的趋势, 当模压温度为 160°C 时, 其硬度最高, 为 66.067。

(2) 当中空玻璃微珠质量分数为 5% 时, 在 PE-UHMW 中添加粒径为 $180\ \mu\text{m}$ 的中空玻璃微珠, 复合材料的耐磨性能最佳, 与 15CrMoV 钢制环形对磨件的摩擦系数为 0.234, 磨损率为 0.079%。

(3) 中空玻璃微珠能有效提高 PE-UHMW 交互贯穿网络的缠结点密度, 当其质量分数超过 5% 时, 致密的 PE-UHMW 交叉网络开始变形, 并有少量未能与基体紧密结合, 开始出现团聚现象。中空玻璃微珠粒径越大, 越容易破碎, 复合材料的耐磨性能越差, 当中空玻璃微珠径超过 $350\ \mu\text{m}$ 时, 已不适合作为填料对聚合物进行填充改性。

参考文献

- [1] 赵新泽, 刘凡华, 汪杰. 超高分子量聚乙烯与 45 钢的摩擦磨损特性研究 [J]. 三峡大学学报 (自然科学版), 2011, 33(2): 85-87.
Zhao Xinze, Liu Fanhua, Wang Jie. Study on the friction and wear

- properties of ultra high molecular weight polyethylene and 45 steel [J]. Journal of China Three Gorges University(Natural Sciences), 2011, 33 (2):85-87.
- [2] 何剑雄, 郭源君, 陈友明. 纳米 SiO_2 、玻璃微珠共混改性 UHMWPE 复合材料空蚀性能研究 [J]. 润滑与密封, 2011, 36(7):75-77.
- He Jianxiong, Guo Yuanjun, Chen Youming. Cavitation erosion behaviors of nano- SiO_2 and glass microballoon filled UHMWPE composites[J]. Lubrication Engineering, 2011, 36 (7):75-77.
- [3] 何振强. 超高分子量聚乙烯增强改性及加工研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2012.
- He Zhenqiang. Reinforced UHMWPE and the influence of processing conditions on its properties[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2012.
- [4] 马赞喆, 黄丽. 玻璃微珠改性超高分子量聚乙烯的耐热性能 [J]. 北京化工大学学报 (自然科学版), 2010, 37(2):49-53.
- Ma Yunzhe, Huang Li. Heat resistance of ultra high molecular weight polyethylene composites modified by hollow glass bead[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology(Natural Science Edition), 2010, 37(2):49-53.
- [5] 吴新锋. 超高分子量聚乙烯耐磨性和导热性能的研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
- Wu Xinfeng. Study on wear and thermal conductivity of UHMWPE. [D]. Shanghai:Shanghai Jiao Tong University, 2013.
- [6] 胡永乐. 超高分子量聚乙烯复合摩擦学材料的研制及其性能研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- Hu Yongle. The preparation and characterization of tribo-materials of UHMWPE composites[D]. Lanzhou:Lanzhou University, 2011.
- [7] 陈元锋. 氧化石墨烯增强超高分子量聚乙烯复合材料的性能研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2012.
- Chen Yuanfeng. The Research on performances of graphene oxide reinforced ultra-high molecular weight polyethylene composites[D]. Lanzhou:Lanzhou University, 2012.
- [8] 谢东. 超高分子量聚乙烯的表面改性及其耐磨性能研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- Xie Dong. Surface modification of high molecular weight polyethylene and its wear-resistance[D]. Chengdu:Southwest Jiaotong University, 2010.

欢迎订阅 2016 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国合成树脂供销协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2016 年定价 15 元/期, 全年 180 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊, 荣获多项省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2016 年定价 15 元/期, 全年 90 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号 (1973 年) 至 2014 年底共 42 卷 302 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同时也将《化学分析计量》自创刊号 (1992 年) 至 2014 年底

共 23 卷 103 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 530 元; 《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 230 元。

邮局汇款:

收款地址: 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

账 号: 1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>