

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.05.022

新型分散剂在 PP/玻璃纤维/硅灰石复合材料中的应用^{*}段景宽^{1,2},程波³,姚利辉¹,严越波¹,呼格吉勒¹,王晓雄¹,余志强¹,王波¹

(1. 宁波工程学院材料与化工学院,浙江宁波 315211; 2. 中国科学院海洋新材料与应用技术重点实验室&浙江省海洋材料与防护技术重点实验室,浙江宁波 315201; 3. 宁波聚爱得新材料科技有限公司,浙江宁波 315100)

摘要:选择五种新型结构的分散剂(DZHA-200, DZHA-17, JWF-EBA, JWF-EBC, JWF-EBM),考察分散剂对聚丙烯(PP)/玻璃纤维/硅灰石复合材料加工性能、宏观性能及分散性的影响。实验结果显示,1份分散剂的引入可明显提高和改善复合材料的加工性能、宏观性能和分散性。当加入1份分散剂DZHA-17时,复合材料的熔体流动速率约是未加分散剂时的5.5倍,挤出机扭矩和电流分别降低到7.4 N·m和35 A。断裂伸长率、缺口冲击强度和60°条件下的光泽度也明显提高。五种新型结构分散剂在聚合物复合材料中都显示出润滑性、分散性和偶联性等多功能性,但它们对聚合物复合材料性能影响程度有一定区别。

关键词:分散剂;聚丙烯;复合材料;应用

中图分类号: TQ317 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)05-0120-06

Application of Novel Dispersants in Polypropylene / Glass Fiber / Wollastonite Composites

Duan Jingkuan^{1,2}, Cheng Bo³, Yao Lihui¹, Yan Yuebo¹, Hujigile¹, Wang Xiaoxiong¹, Yu Zhiqiang¹, Wang Bo¹

(1. School of Material and Chemistry Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo 315211, China; 2. Key Laboratory of Marine Materials and Related Technologies, CAS & Zhejiang Key Laboratory of Marine Materials and Protective Technologies, Ningbo 315201, China; 3. Ningbo Poly-additive New Materials Science & Technology Co., Ltd., Ningbo 315100, China)

Abstract: The effects of five kinds of novel dispersants (DZHA-200, DZHA-17, JWF-EBA, JWF-EBC, JWF-EBM) on the processing properties, macro-properties and dispersibility of polypropylene (PP)/glass fiber/wollastonite composites were studied by addition of 1 phr dispersant in composites. The experimental results show that the processing properties, macro-properties and dispersibility of the composites are clearly enhanced due to the addition of the different dispersants into composite. When the content of dispersant DZHA-17 is 1 phr in the composite, the melting flow rate of the composite is about 5.5 times of that without dispersant, and torque and electric current of extruder are reduced to 7.4 N·m and 35 A, respectively. The elongation at break, notched impact strengthen and glossiness at 60° of the composites are increased apparently. Five dispersants all show lubricating, dispersing and coupled properties in the composites, but they show different effects on the properties of the composites.

Keywords: dispersant; polypropylene; composite; application

随着科学技术的发展,塑料已成为现实生活和工业化生产中不可缺少的新材料之一^[1-3]。一般来讲,塑料材料主要由合成树脂和助剂两部分组成。塑料助剂的使用和发展,在某种意义上决定着塑料材料的使用和发展。因此,研究开发新型塑料助剂是塑料材料发展的重要方向之一^[4-7]。塑料助剂因用途不同,而种类迥异。常用的塑料助剂有增塑剂、填充剂、加工助剂、分散剂、抗氧剂、稳定剂、偶联剂等。随着聚合物基复合材料的发展,塑料加工助剂和分散剂在塑料加工行业越来越显示出重要的地位。目前塑料加工和分散助剂主要有脂肪蜡、酰胺蜡、丙烯酸酯、有机硅及含氟聚合物等几种^[8-10]。新

品种也不断出现,如超支化加工和分散助剂,大大提高了塑料制品的性能,推动着塑料加工应用行业的不断发展。我国塑料助剂市场每年以近两位数的速度快速增长^[11-12]。尽管我国塑料加工和分散助剂发展迅速,但是助剂质量在中低端徘徊。许多高端塑料助剂被国外公司垄断,例如阿克苏-诺贝尔公司、雅宝公司、道达尔石化公司、罗门哈斯公司,以及

^{*} 宁波市国际合作项目(2016D10010),宁波市自然科学基金项目(2015A610174)

联系人:段景宽,高级工程师,博士,主要从事高分子材料加工及其相关助剂的研究和开发

收稿日期:2017-02-28

日本花王等^[13]。例如,在我国市场上占主导地位的是日本花王牌酰胺蜡加工和分散剂 N, N' -乙撑双硬脂酰胺(EBS),在国内,江西、江苏和山东等也有几家企业生产EBS,但是他们生产的EBS产品在使用性能上,不是耐热性能不够,就是分散性能不佳,因此开发新型、性能更加优越的塑料分散剂势在必行^[14-17]。

笔者选择市场上出现的五种新型分散剂,考察了这些塑料助剂在聚丙烯(PP)/玻璃纤维/硅灰石复合材料上的应用情况。研究结果显示,这些新型分散剂提高了复合材料的加工性能,改善了玻璃纤维和硅灰石无机填料的分散性。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PP: B330F, 韩国SK公司;

玻璃纤维: 无碱短纤 386, 浙江巨石集团;

硅灰石: 粒径 10 μm , 江西奥特精细粉体有限公司;

分散剂: DZHA-200, DZHA-17, 宁波聚爱德新材料科技有限公司;

分散剂: JWF-EBA, JWF-EBC, JWF-EBM, 山东佳旺新材料科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

同向平行双螺杆挤出机: TM36 型, 江苏美芝隆机械有限公司;

转矩流变仪: RM-200C 型, 哈尔滨哈普电气技术有限责任公司;

注塑机: HMD83M65 型, 宁波华美达机械有限公司;

傅立叶变换红外光谱(FTIR)仪: Nicolet6700 型, 美国热电公司;

差示扫描量热(DSC)仪: DSC 200 F3 型, 德国Netzsch公司;

微机控制电子万能试验机: CMT1000 型, 深圳市新三思材料检测有限公司;

冲击试验机: RAY-RAN 型, 英国 Test Equipment 公司;

扫描电子显微镜(SEM): JSM 7401F 型, 日本JEOL公司;

熔体流动速率(MFR)仪: XNR-400 型, 河北承德试验机厂;

单角度光泽度仪: CS-300 型, 杭州彩谱科技有限公司。

1.3 样品制备

表1为加入不同分散剂的PP/玻璃纤维/硅灰石复合材料配方。按表1配方将聚丙烯、硅灰石和分散剂放入高速搅拌机中,在300 r/min下搅拌5 min,出料,备用。将混好的料放入挤出机中,挤出造粒,通过挤出机加玻璃纤维口加入玻璃纤维,切粒后注塑成测试样条。挤出造粒工艺:温度为110~230 $^{\circ}\text{C}$,主机转速和喂料转速分别为200 r/min和150 r/min。注塑工艺温度210~230 $^{\circ}\text{C}$ 。

表1 加入不同分散剂的PP/玻璃纤维/硅灰石复合材料配方

组分	样品编号					
	0 [#]	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
PP	100	100	100	100	100	100
玻璃纤维	10	10	10	10	10	10
硅灰石	30	30	30	30	30	30
DZHA-200		1				
DZHA-17			1			
JWF-EBA				1		
JWF-EBC					1	
JWF-EBM						1

1.4 性能测试

DSC测试:从30 $^{\circ}\text{C}$ 升温到150 $^{\circ}\text{C}$,升温速率为10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$,在氮气气氛下测试。

FTIR测试:采用衰减全反射(ATR)法对分散剂进行结构表征,波数范围为400~4000 cm^{-1} ,扫描次数32次,分辨率2 cm^{-1} 。

拉伸强度和断裂伸长率按照GB/T 1040-2006测试,拉伸速率5mm/min。

MFR按照GB/T 3682-2000测试,温度230 $^{\circ}\text{C}$,载荷2.6 kg。

悬臂梁缺口冲击强度按照GB/T 1843-2008测试。

光泽度按照GB/T 9754-2007测试60 $^{\circ}$ 条件下的光泽度。

熔体型坯表观测试:当熔体从挤出机口模挤出后,用照相机即时拍照。

冲击断面SEM测试:利用SEM观察试样的断面以及刻蚀断面的微观结构。

2 结果与讨论

2.1 新型分散剂的性能表征

表2给出了五种新型分散剂的热性能参数。它们在成份和结构上有很大的区别。DZHA-200是一种分子链上含有羟基的线型分散剂。它只有一个熔点,其熔点为64.5 $^{\circ}\text{C}$ 。很显然,这种分散剂结构简单均一,而且使用温度较低。最适合于以PP、聚乙烯、聚氯乙烯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料等的

改性,以及色母和填充母料等场合。DZHA-17 是一种超支化结构的分散剂,其分子结构上除了含有酰胺基团外,还含有羧基和脂肪链基团,因此它具有效率极高和功能多样化等特点。这种分散剂具有两个熔点,分别是 74℃和 94℃。很显然,低温峰归属于支化端基部分,高温峰归属于支化分子的核心部分,此部分约占质量分数的 85%。可见,本分散剂以酰胺和羧基链段为主。JWF-EBA 是一种以单官能团物质对 DZHA-200 进行改性的分散剂,目的是为了改善 DZHA-200 加工温度低和提高其多功能化。很显然,这种分散剂的熔点都较 DHZA-200 明显提高,分子量明显增加,其中 147.5℃占比较大的比例,为 95%。JWF-EBC 是一种以双官能团物质改性 DZHA-200 的新型结构产品,它属于一种嵌段分子结构,致使它具有三个熔点,分别为 60.2℃, 115℃和 143.5℃。JWF-EBM 是与 JWF-EBC 相仿的一种产品,但是通过改变聚合工艺和单体物质的量比,提高了高温熔融峰的部分含量。从熔点上讲, JWF-EBA, JWF-EBC 和 JWF-EBM 都可以适应于聚酰胺、聚碳酸酯、聚对苯二甲酸丁二酯等工程塑料的改性场合。

表 2 五种新型分散剂的热性能数据

分散剂 种类	熔融峰					
	T_{m1}		T_{m2}		T_{m3}	
	熔点 / ℃	含量 / %	熔点 / ℃	含量 / %	熔点 / ℃	含量 / %
DZHA-200	64.5	100	-	-	-	-
DZHA-17	74	15	94	85	-	-
JWF-EBA	70.8	5	-	-	147.5	95
JWF-EBC	60.2	12	115	17	143.5	32
JWF-EBM	59.1	7	114.7	18	143.7	42

2.2 新型分散剂对复合材料加工性能的影响

五种分散剂由于其特殊的分子结构和较低的分子量,很有必要考察它们对复合材料加工性能的影响规律。对于聚合物基复合材料的加工性能,主要从挤出机的电流、挤出机的扭矩及复合材料的 MFR 三个指标表征。图 1、图 2 和图 3 分别给出了加入 1 份不同分散剂对 PP/玻璃纤维/硅灰石复合材料加工过程中挤出机的电流和扭矩,以及复合材料的 MFR 的影响规律。

从图 1 和图 2 可以看出,与没有添加分散剂的复合材料(0[#]样品)相比,加入 1 份不同分散剂的复合材料时,挤出机的电流由加工 0[#]样品的 45 A 分别降低到加工 1[#],2[#],3[#],4[#],5[#]样品的 38,35,34,39, 40 A。挤出机的扭矩也由加工 0[#]样品的 26.4 N·

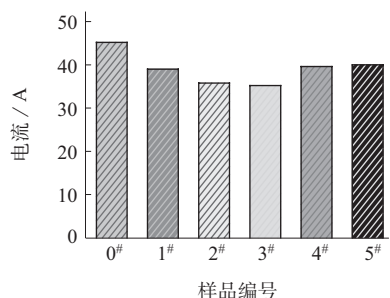


图 1 加入 1 份不同分散剂的复合材料加工时的挤出机电流

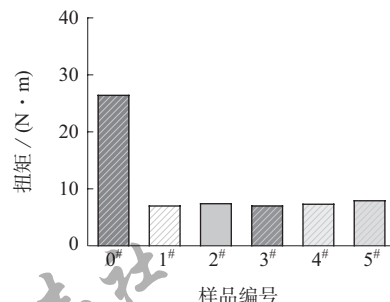


图 2 加入 1 份不同分散剂的复合材料加工时的挤出机的扭矩

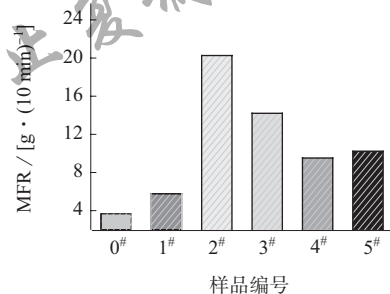


图 3 加入 1 份不同分散剂的复合材料加工时的 MFR

m, 分别降低到加工 1[#],2[#],3[#],4[#],5[#]样品的 7,7.4, 7,7.3,7.9 N·m。对于降低挤出机电流的效果, DZHA-17 和 JWF-EBA 降低得最明显;而对于降低挤出机的扭矩,五种分散剂都大幅度降低了加工时挤出机的扭矩。与加工不加分散剂的复合材料(0[#]样品)相比,加工添加 DZHA-17 复合材料(0[#]样品)的挤出机扭矩和电流分别降低到 7 N·m 和 36 A。很显然,加入分散剂对于降低挤出机能耗和磨损、提高生产效率具有现实意义。

从图 3 可看出,加入 1 份不同分散剂后, PP/玻璃纤维/硅灰石复合材料的 MFR 增大。与不加分散剂的复合材料(0[#]样品)相比,加入分散剂的复合材料的 MFR 由 0[#]样品的 3.65 g/(10 min) 分别增加到 1[#],2[#],3[#],4[#],5[#]样品的 5.77,20.26,14.21, 9.52,10.21 g/(10 min)。加入分散剂明显提高了复合材料的加工性能。尤其是加入 DZHA-17 和

JWF-EBA 提高得幅度最大, MFR 分别约是未加入分散剂的 5.5 倍和 3.9 倍。之所以 DZHA-17 和 JWF-EBA 效果最明显, 这与它们的分子结构有关。DZHA-17 是超支化分子结构, 在复合材料加工过程中, 这种分散剂可以使复合材料分子在熔融加工过程由“滑动”流动状态变成“滚动”流动状态, 提高了复合材料的加工性能。JWF-EBA 由于单官能团物质引入, 提高了 JWF-EBA 与填料之间的作用力, 从而提高了填料的分散性, 避免了填料的二次团聚。另外由于单官能团极性比较大, 破坏了分散剂分子间的作用力, 降低了分子间的内聚能, 从而改善了分散剂与基础树脂之间的分散性和流动性, 提高了复合材料的加工性能。

2.3 新型分散剂对复合材料宏观性能影响

与复合材料基体树脂相比, 五种分散剂属于低分子量物质。加入低分子量物质可以提高复合材料基体树脂的分子量分布, 同时, 低分子量物质有可能对复合材料中的填料具有分散作用, 所以它们的加入很可能对复合材料的宏观性能产生一定的影响。

图 4 和图 5 分别给出了加入 1 份不同分散剂对复合材料拉伸性能的影响情况。

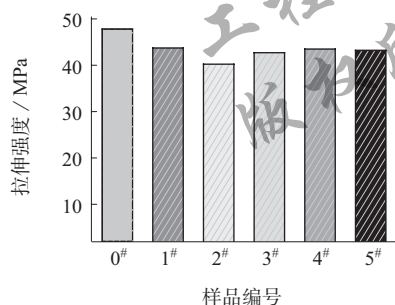


图 4 加入 1 份不同分散剂的复合材料的拉伸强度

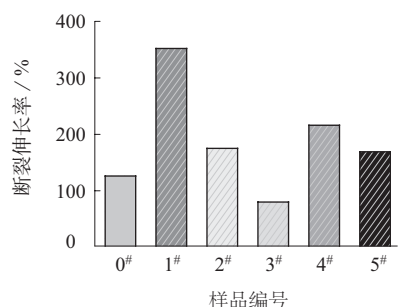


图 5 加入 1 份不同分散剂的复合材料的断裂伸长率

由图 4 和图 5 可以看出, 与不加分散剂的复合材料 (0# 样品) 相比, 加入不同分散剂的复合材料的拉伸强度由 0# 样品的 47.8 MPa, 分别降低到 1#, 2#, 3#, 4#, 5# 样品的 43.7, 40.2, 42.7, 43.5, 43.2 MPa, 分

散剂对复合材料拉伸强度的影响不大。断裂伸长率由 0# 样品的 126% 分别变化成 1#, 2#, 3#, 4#, 5# 样品的 352%, 175%, 80%, 216%, 169%, 除 3# 样品的断裂伸长率降低外, 其余样品的断裂伸长率都得到提高。

图 6 给出了加入 1 份不同分散剂对复合材料缺口冲击强度的影响规律。

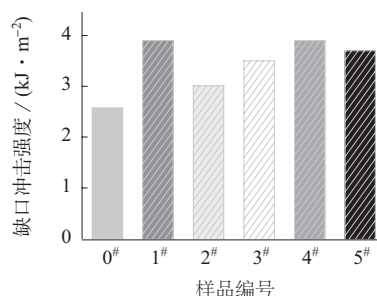


图 6 加入 1 份不同分散剂的复合材料的缺口冲击强度

由图 6 可以看出, 加入分散剂提高了复合材料的缺口冲击强度。与不加分散剂的复合材料 (0# 样品) 相比, 加入不同分散剂的复合材料的拉伸强度由 0# 样品的 2.57 kJ/m² 分别提高到 1#, 2#, 3#, 4#, 5# 样品的 3.90, 3.01, 3.50, 3.90, 3.70 kJ/m²。

图 7 给出了加入 1 份不同分散剂的复合材料的光泽度。

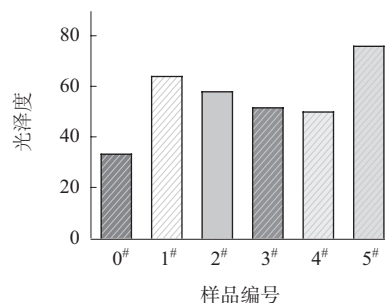


图 7 加入 1 份不同分散剂的复合材料的光泽度

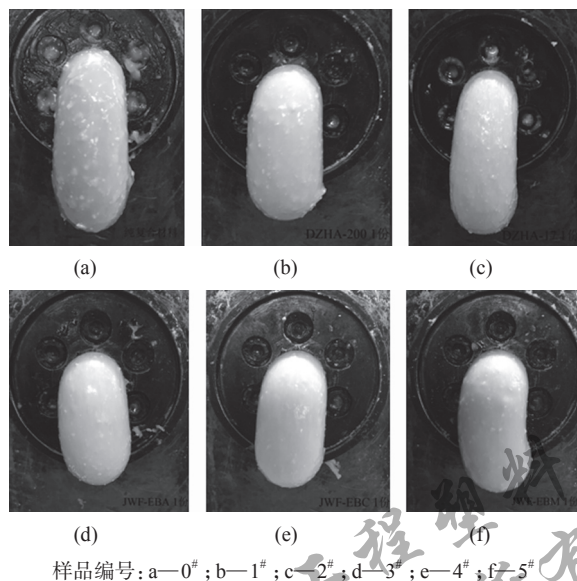
由图 7 可以看出, 与不加分散剂的复合材料 (0# 样品) 相比, 加入不同分散剂的复合材料的光泽度由原来的 33.1 分别提高到 1#, 2#, 3#, 4#, 5# 样品的 63.9, 57.8, 51.5, 49.8, 75.8。

2.4 新型分散剂对复合材料中填料分散性的影响

DZHA-200 是含有羟基等极性基团的线型分子结构, DZHA-17 是含有酰胺基团的支化结构, JWF-EBA 是含有酯基和酰胺基团的线型结构, JWF-EBC 是含有酰胺基团的微交联结构, FWF-EBM 是含有酰胺基团的线型结构, 这些特殊结构会给分散剂带来不同的使用效果。从上述实验结果可

看出,由于分散剂的加入,改善了 PP/ 玻璃纤维 / 硅灰石复合材料的宏观性能,一个主要原因是分散剂对玻璃纤维和硅灰石无机填料在基体树脂中的分散状态具有一定的影响,所以很有必要考察分散剂对复合材料中填料分散性的影响规律。

首先考察复合材料在挤出时熔体型坯的表面情况。加入 1 份不同分散剂的复合材料的型坯表面如图 8 所示。

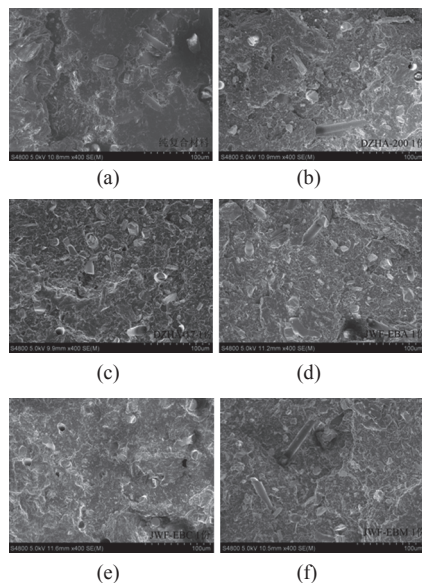


样品编号: a—0[#]; b—1[#]; c—2[#]; d—3[#]; e—4[#]; f—5[#]

图 8 加入 1 份不同分散剂的复合材料的型坯表面

从图 8 可以看出,未添加分散剂的复合材料挤出熔融型坯表面有许多白色“斑点”(图 8a)。这些白色斑点是玻璃纤维和硅灰石团聚的粒子。显然,无助剂情况下,玻璃纤维和硅灰石等无机填料之间,以及与基础树脂熔体之间的相容性很差。添加了分散剂的复合材料熔融型坯表面上的白色“斑点”明显减少,而且型坯表面亮度提高(图 8b~图 8f)。说明五种助剂都起到了对玻璃纤维和硅灰石分散的效果。其中分散效果最好的应该是 JWF-EBC(图 8e)。之所以助剂对无机填料起到分散作用,主要是因为这些助剂分子中含有如酰胺基团、羰基和羟基等强极性基团,这些基团会与无机填料表面的羟基等极性基团之间形成共价键、氢键或者是范德华力吸引,而使无机填料表面包覆了一层有机物,这层有机物可防止填料的二次团聚和提高无机填料与有机基体之间的相容性。填料分散均匀的复合材料,其表面光亮度也会得到改善。

从微观角度进一步考察助剂对复合材料中填料的分散情况。加入 1 份不同分散剂的复合材料的冲击断面的 SEM 照片如图 9 所示。



样品编号: a—0[#]; b—1[#]; c—2[#]; d—3[#]; e—4[#]; f—5[#]

图 9 加入 1 份不同分散剂的复合材料的冲击断面的 SEM 照片

从图 9a 可明显看出,无助剂的复合材料的冲击断面上显示出脆性断裂,且棒状的玻璃纤维和硅灰石分布极不均匀,局部没有填料,而某些局部填料集中。从图 9b~图 9f 可明显看出,使用了助剂的复合材料冲击断面显示出韧性断裂,玻璃纤维和硅灰石无机填料颗粒分布整个视野。说明五种助剂对无机填料起到分散作用,填料均匀分散在基体中,有利于提高和改善复合材料的冲击性能,复合材料的宏观性能也证实了这一点。

3 结论

在聚合物基复合材料制备过程中,加工分散剂是必不可缺少的成分。在没有使用分散加工助剂的 PP/ 玻璃纤维 / 硅灰石复合材料生产过程中,玻璃纤维和硅灰石无机填料极易团聚,从而严重影响复合材料的加工和宏观性能。在使用了五种新型结构的加工分散剂后,PP/ 玻璃纤维 / 硅灰石复合材料的加工性能、力学性能以及表现性能都有了明显的提高和改善。由于所考察的五种加工分散剂分子结构和组成有所差异,对 PP/ 玻璃纤维 / 硅灰石复合材料加工和性能影响结果有所不同: DZHA-200 是含有羟基等极性基团线型结构,对玻璃纤维和硅灰石等无机填料具有偶联和包覆效果; DZHA-17 是含有酰胺基团的超支化结构,对改善复合材料的流动性和填料的分散有明显作用; JWF-EBA 因含有酯基和酰胺基团的线型结构,对改善复合材料的流动性和填料分散性具有一定影响,但对断裂伸长率有负面影响; JWF-EBC 因含有酰胺基团的微交联

结构,可明显改善复合材料的力学性能和填料的分散性能;JWF-EBM是含有酰胺基团的线型结构,对改善复合材料的综合性能最佳。

参考文献

- [1] Ten E, Vermerris W. Functionalized polymers from lignocellulosic biomass: State of the art[J]. *Polymer*, 2013, 5(2):600–642.
- [2] Pracella M, Haque M U, Alvarez V. Functionalization, compatibilization and properties of polyolefin composites with natural fibers[J]. *Polymer*, 2010, 2(4):554–754.
- [3] 冯小朴. 超支化聚酰胺改性单宁胶粘剂与固化机理研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2016.
Feng Xiaopu. Study on tannin adhesive modified with hyper-branched polyamides and curing mechanism[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2016.
- [4] 颜庆宁. 国内外塑料助剂产业发展状况(一)[J]. 精细与专用化学品, 2014, 22(11):10–13.
Yan Qingning. Development situation of plastic additive industry at home and abroad(I)[J]. *Fine and Specialty Chemicals*, 2014, 22(11):10–13.
- [5] 陈宇, 崔正, 王朝晖. 塑料助剂产业的发展现状与趋势[J]. 中国塑料, 2011, 25(4):1–6.
Chen Yu, Cui Zheng, Wang Zhaohui. Present situation and development trend of plastics additives industry[J]. *China Plastics*, 2011, 25(4):1–6.
- [6] 李武斌, 徐泽夕, 曹志奎, 等. 塑料助剂发展的几点建议[J]. 化学技术与开发, 2012, 40(10):34–36, 54.
Li Wubin, Xu Zexi, Cao Zhikui, et al. Some suggestions for plastic additives development[J]. *Technology & Development of Chemical Industry*, 2012, 40(10):34–36, 54.
- [7] 颜庆宁. 国内外塑料助剂产业发展状况(二)[J]. 精细与专用化学品, 2014, 22(12):1–4.
Yan Qingning. Development situation of plastic additive industry at home and abroad(II)[J]. *Fine and Specialty Chemicals*, 2014, 22(12):1–4.
- [8] 张惠芳. 含氟聚合物加工助剂在聚丙烯中的应用研究[J]. 化工中间体, 2011, 8(9):21–24.
Zhang Huifang. Study on application of fluorine polymer processing additives in PP[J]. *Chemical Intermediate*, 2011, 8(9):21–24.
- [9] 朱肖楠. ACR基离聚物型多功能加工助剂的合成与应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
Zhu Xiaonan. Preparation and application of acrylic-based ionomer as a multi-functional processing aid for PVC[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [10] 康晓丽. 有机硅蜡的研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2011.
Kang Xiaoli. The research of organic silicone waxes[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2011.
- [11] 张迪. 塑料助剂的应用[J]. 当代化工研究, 2016(7):44–45.
Zhang Di. The application of plastic additives[J]. *Modern Chemical Research*, 2016(7):44–45.
- [12] 施珣若. PVC塑料助剂(热稳定剂)的现状和展望[J]. 中国氯碱, 2016(4):1–6.
Shi Xunruo. Present situation and prospect of PVC plastic additives (heat stabilizer)[J]. *China Chlor-Alkali*, 2016(4):1–6.
- [13] 李剑波, 李云峰, 郭庆飞, 等. 不同碳链分布脂肪酸锌加工助剂对天然橡胶性能的影响[J]. 橡胶科技, 2012(8):29–31.
Li Jianbo, Li Yunfeng, Guo Qingfei, et al. Influence of fatty acid zinc on the properties of NR compound[J]. *Rubber Science and Technology*, 2012(8):29–31.
- [14] 陈常见. 脂肪酸酰胺蜡[D]. 上海: 华东理工大学, 2011.
Chen Changjian. Study of the fatty acid amide wax[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2011.
- [15] 王喜梅, 赵志鸿, 张振, 等. 2013年我国工程塑料应用进展[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(6):107–116.
Wang Ximei, Zhao Zhihong, Zhang Zhen. Advance in Engineering Plastics Application of China in 2013[J]. *Engineering Plastics Application*, 2014, 42(6):107–116.
- [16] 孔俊嘉, 王凯, 厉安昕, 等. 对比两种润滑剂TAS-2A和EBS在 高密度聚乙烯中的应用[J]. 辽宁化工, 2015, 44(11):1 295–1 297.
Kong Junjia, Wang Kai, Li Anxin, et al. Comparison Between the Application Effects of Two Lubricants TAS-2A and EBS in High Density Polyethylene[J]. *Liaoning Chemical Industry*, 2015, 44(11):1 295–1 297.
- [17] 李海滨, 邹检生, 彭鹤松, 等. 不同粒径的超细碳酸钙在ABS黄色母粒中的应用[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(12):106–108.
Li Haibin, Zou Jiansheng, Peng Hesong, et al. Application of ultra-fine calcium carbonate with different particle sizes on ABS yellow masterbatch[J]. *Engineering Plastics Application*, 2014, 42(12):106–108.
- [18] 杨红艳, 刘江, 周晓红, 等. 水滑石与 β 成核剂复配改性等规PP的等温结晶动力学[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(1):93–97.
Yang Hongyan, Liu Jiang, Zhou Xiaohong, et al. Isothermal crystallization kinetics of layered double hydroxides/ β nucleating agent modified isotactic polypropylene[J]. *Engineering Plastics Application*, 2014, 42(1):93–97.
- [15] Sahoo R K, Mohanty S, Nayak S K. Effect of silver nanoparticles on the morphology, crystallization, and melting behavior of polypropylene: A study on non-isothermal crystallization kinetics[J]. *Polymer Science Series A*, 2016, 58(3):443–453.

(上接第107页)

tion behavior and melt crystallization kinetics of isotactic polypropylene (iPP) during injection molding[J]. *Journal of Macromolecular Science: Physics*, 2014, 53(3):462–473.

[15] Sahoo R K, Mohanty S, Nayak S K. Effect of silver nanoparticles on the morphology, crystallization, and melting behavior of polypropylene: A study on non-isothermal crystallization