

文章编号:1674-2869(2017)01-0045-09

# 偶联剂改性填料对 SEBS/PP 复合材料性能的影响

袁庆丰,杨 郑,徐琼楠,刘仿军,张云飞,郭庆中,鄢国平\*

武汉工程大学材料科学与工程学院,湖北 武汉 430074

**摘 要:**采用异丙基三(二辛基焦磷酸酰氧基)钛酸酯(NDZ-201)偶联剂和 3-氨丙基三乙氧基硅烷(KH-550)偶联剂对碳酸钙和滑石粉无机纳米填料进行表面改性处理,然后与聚苯乙烯-聚乙炔-聚丁烯-聚苯乙烯(SEBS)和聚丙烯(PP)在双螺杆挤出机上进行共混制备 SEBS/PP/填料复合材料,研究偶联剂及其改性填料对 SEBS/PP 复合材料的力学性能、加工行为、微观结构和热性能的影响. 实验结果表明,NDZ-201 与 KH-550 复配改性的填料在复合材料中分散均匀,形成的相界面模糊,有效提高了复合材料的拉伸强度、断裂伸长率、300%定伸强度和邵氏 A 硬度. 少量的改性滑石粉会在复合体系中比较均匀地分散,起到增强作用;当其用量较多时,会不均匀地分散在 SEBS/PP 基体中,不同程度地发生附聚或粉聚的现象,导致材料某些性能下降. 随着改性滑石粉用量的增加,复合材料的热稳定性提高,当滑石粉的用量为 15 g 时,复合材料的分解温度提高了 10 ℃.

**关键词:**偶联剂;无机填料;聚苯乙烯-聚乙炔-聚丁烯-聚苯乙烯;聚丙烯;共混改性;微观结构;热性能

**中图分类号:**TQ325.2 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2017.01.008

## Effect of Coupling Agents Modified Fillers on Properties of SEBS/PP Composites

YUAN Qingfeng, YANG Zheng, XU Qiongnan, LIU Fangjun, ZHANG Yunfei,  
GUO Qingzhong, YAN Guoping\*

School of Materials Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

**Abstract:** The inorganic fillers of calcium carbonate and talc powders were treated by coupling agents of isopropyltri(diocetylpyrophosphate) titanate (NDZ-201) and 3-aminopropyltriethoxysilane (KH-550). And then they were blended with poly(styrene-*b*-ethylene-co-butadiene-*b*-styrene) (SEBS), polypropylene (PP) and white oil by the twin screw extruder to prepare the SEBS/PP composites. Subsequently, the influence of coupling agents and modified fillers on the mechanical properties, processing behavior, microstructure and thermal properties of SEBS/PP composites were explored. The experiment results illustrate that the fillers treated with the combination of NDZ-201 and KH-550 can disperse uniformly and form the good phase interface in the composites, which improves the tensile strength, elongation at break, 300% modulus and hardness (Shore A). The modified talcum powders disperse uniformly in the composites when the filler content is low improves their performance; when the content of talcum powders is high, the talcum powders disperse heterogeneously in composites and some agglomeration appears in the composite matrix, resulting in decreasing some properties of

**收稿日期:**2016-05-30

**基金项目:**国家自然科学基金(51373128,51173140);武汉市高新技术产业科技创新团队培养计划项目(2015070504020217);武汉市科技计划项目(2013010501010131);武汉工程大学研究生教育创新基金(CX2014058, CX2015007);武汉工程大学第十期大学生校长基金(2015004)

**作者简介:**袁庆丰,硕士研究生. E-mail:349687016@qq.com

**\*通讯作者:**鄢国平,博士,教授,博士研究生导师. E-mail:guopyan2006@163.com

**引文格式:**袁庆丰,杨郑,徐琼楠,等. 偶联剂改性填料对 SEBS/PP 复合材料性能的影响[J]. 武汉工程大学学报,2017,39(1):45-53.

YUAN Q F, YANG Z, XU Q N, et al. Effect of coupling agents modified fillers on properties of SEBS/PP composites [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2017, 39(1):45-53.

composites. However, the thermal stability of composite materials increases gradually with the addition of talc powders, and the decomposition temperature of composite materials increases 10 °C when the content of talcum powders is 15 g.

**Keywords:** coupling agents; inorganic filler; poly(styrene-*b*-ethylene-co-butadiene-*b*-styrene); polypropylene; blending modification; microstructure; thermal properties

聚苯乙烯-聚乙烯-聚丁烯-聚苯乙烯[poly(styrene-*b*-ethylene-co-butadiene-*b*-styrene), SEBS]是热塑性苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SBS)分子中橡胶段聚丁二烯不饱和双键经过选择加氢而制得的新型改性弹性体<sup>[1-4]</sup>。在SEBS的应用中,无机纳米填料的加入常用来提高混合料的物理机械性能,且降低成本<sup>[5-7]</sup>。郝赫等<sup>[8]</sup>在三元乙丙橡胶(ethylene-propylene-diene monomer, EPDM)/聚丙烯(polypropylene, PP)中添加碳酸钙( $\text{CaCO}_3$ ),材料的拉伸强度、断裂伸长率、流动性和热稳定性有较大的提高。梁胜等<sup>[9]</sup>在SEBS/PP复合材料中加入滑石粉(Talc),提高了复合材料的力学性能(拉伸强度)、邵氏A硬度和摩擦学性能。彭鹤松等<sup>[10]</sup>在丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(acrylonitrile butadiene styrene copolymers, ABS)中加入滑石粉,提高了改性ABS的力学性能,同时降低了材料的成本。然而,填料对聚合物呈惰性,大部分无机填料与高分子材料共混时不能形成良好的粘接界面层,容易引起应力集中,因此对填充复合材料的力学性能和加工流动性造成不利的影响<sup>[11-12]</sup>。为了改善填料与高分子材料间的界面黏性,常将填料用相容剂或表面处理剂进行改性,提高改性填料与聚合物的相容性,改善两相界面的黏合力等性能,从而使填料在聚合物体系中分散均匀、稳定。

目前,无机填料的表面改性<sup>[13-14]</sup>常采用偶联剂表面处理的方法。何丽红等<sup>[15]</sup>采用硅烷偶联剂KH-570对无机填料钛白粉( $\text{TiO}_2$ )的表面进行化学处理,所得改性纳米钛白粉具有较好的疏水性和分散性。曹宏等<sup>[16]</sup>采用硅烷偶联剂Si69改性微硅粉与聚丙烯共混制备复合材料,当改性微硅粉占复合材料质量分数的2%时,复合材料的拉伸强度、弯曲强度及冲击强度得到较大的改善。CHEN等<sup>[17]</sup>采用偶联剂改性的滑石粉增强了高密度聚乙烯的性能。赵皎宏等<sup>[18]</sup>采用钛酸酯改性碳酸钙与PP共混制备复合材料,改性的碳酸钙可促进PP的老化。

本文采用双螺杆挤出机制备SEBS/PP/填料复合材料,以SEBS/PP为基体,研究偶联剂改性填料及其用量对复合材料力学性能、流动性能、热性能

的影响,同时采用扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)分析滑石粉在SEBS/PP复合体系中的微观形态。期望找出填料填充聚合物的较佳用量并且建立结构与性能之间的关系,可为今后在填料的表面处理和设计填料填充改性聚合物方面提供一定的理论依据。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料

SEBS: YH-503, 苯乙烯含量33%, 购自中国巴陵石化有限公司; 聚丙烯: M2600R, 熔体流动速率( $2.6 \pm 0.4$ ) g/min, 购自上海石化有限公司; 氢化白油: 15#, 购自上海博油润滑油有限公司; 碳酸钙: 10  $\mu\text{m}$ , 购自浙江天石纳米科技有限公司; 滑石粉: 10  $\mu\text{m}$ , 购自青岛鲁矿制粉有限公司; 硅烷偶联剂: KH-550, 购自武大有机硅新材料股份有限公司; 钛酸酯偶联剂: NDZ-201, 购自武汉市永鑫发化工有限公司。

### 1.2 设备及仪器

真空干燥箱: DHG-9146A, 上海精宏实验设备有限公司生产; 高速混合机: SHR-10A, 张家港市亿利有限公司生产; 双螺杆挤出机: SHJ-20, 南京杰恩特机电有限公司生产; 立式注射机: TY-200, 杭州大禹机械有限公司生产; 高铁拉力试验机: TCS-2000, 高铁科技股份有限公司生产; 熔体流动速率测试仪: ZRZ1402, 深圳新三思材料检测有限公司生产; A型邵氏硬度计: XHR-100, 上海材料试验机厂生产; 热重分析仪: SDT Q600, 美国TA仪器公司生产; 扫描电镜: ZEISS, 德国卡尔蔡司公司生产。

### 1.3 试样的制备

实验基础配方为  $m(\text{SEBS}):m(\text{填充油}):m(\text{PP})=100:120:50$ 。共混材料按照图1的工艺流程制备。

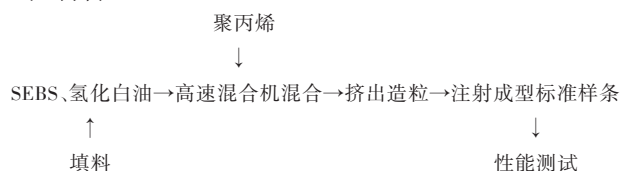


图1 复合材料的制备工艺流程

Fig. 1 Preparation process of composite materials

1.3.1 原料的前期处理

- 1)SEBS,氢化白油以及PP直接取用;
- 2)碳酸钙、滑石粉填料:在70℃~80℃下真空干燥3h~4h,备用;
- 3)填料表面改性:将0.5g的偶联剂溶入无水乙醇中,然后加入到填料中搅拌混匀,充分干燥除去无水乙醇溶剂.

1.3.2 物料预混合

SEBS充油:按照实验设计配方在电子天平上准确称取一定量的SEBS和15#白油,将SEBS加入到高速混合机中,一边搅拌一边缓慢加入15#白油,搅匀,放置3h~4h,使SEBS在15#白油中充分溶胀.

1.3.3 预混物料挤出造粒 将上述混合好的物料加入到SHJ-20双螺杆挤出机进行熔融共混,挤出造粒.并将得到的粒料在70℃~80℃条件下干燥6h~8h.

1.3.4 注射成型 将上述干燥好的粒料在TY-200型注射机上注射成型,得到的标准样条放置48h以后再进行性能测试.

1.4 性能测试与分析

注塑成型的标准样条在室温下放置48h后参照相应的国家标准进行力学性能测试.

拉伸性能:在TCS-2000高铁拉力试验机上参照GB/T 1040—2006测试,测试5个样条,结果取平均值,测试温度在室温下进行,拉伸速率为100 mm/min. 硬度:使用XHR-100型邵氏橡胶硬度计参照GB/T531—1999测试,每个样品在不同的位置测3次后取平均值. 回复率参照GB/T 8170测试,测试结果以3个试样测试数据的平均值表示. 熔体流动速率:在ZRZ-1402熔体流动速率测试仪上参照GB3682—2000测试,在温度190℃,2.160 kg负荷下进行.

扫描电镜(SEM):将注射成型的样条用液氮

脆断后在断面表面喷金,观察断面形貌.

热性能:从挤出造粒中的粒料剪取体积小、质量10 mg左右的样品,进行TG测量. 实验条件:升温速率:10 K/min;温度范围:室温~600℃;N<sub>2</sub>流量:50 mL/min~60 mL/min.

2 结果与讨论

2.1 不同偶联剂改性的填料对SEBS/PP复合材料力学性能的影响

表1为未改性填料和采用不同偶联剂改性填料对SEBS/PP复合材料力学性能的影响,实验配方为 $m(\text{SEBS}):m(\text{填充油}):m(\text{PP}):m(\text{填料}):m(\text{偶联剂})=100:120:50:15:0.5$ .与SEBS/PP基体相比,碳酸钙和滑石粉的加入使得材料的拉伸强度分别提高了0.64 MPa和1.70 MPa,断裂伸长率分别提高了10.09%和11.54%.这表明一定量的填料能够在复合材料中均匀分散,使复合材料性能有一定的提高.未改性的碳酸钙和滑石粉填充的复合材料的拉伸强度分别与NDZ-201+KH-550改性的碳酸钙和滑石粉填充的复合材料基本相当.与未改性填料制备的复合材料相比,KH-550改性填料制备的复合材料的拉伸强度分别下降了0.24 MPa和0.35 MPa,NDZ-201改性填料制备的复合材料的拉伸强度分别提高了0.31 MPa和0.48 MPa.这主要是因为钛酸酯偶联剂改性填料与复合材料中的SEBS基体产生化学结合,从而在填料表面覆盖偶联剂NDZ-201单分子膜,同时偶联剂分子另一端的三个结构单元能与有机聚合物发生化学作用或物理缠结. KH-550改性的碳酸钙和滑石粉无法与复合材料中的SEBS形成有效的化学键,不能在填料和SEBS基体间形成有效的界面结合.但偶联剂改性的碳酸钙和滑石粉所制得复合材料的断裂伸长率、300%定伸强度和邵氏A硬度均有提高.

表1 不同偶联剂改性的填料对SEBS/PP复合材料力学性能的影响  
Tab. 1 Effect of fillers modified by different coupling agents on the mechanical properties of SEBS/PP composite materials

填料 filler	偶联剂 coupling agent	力学性能 mechanical properties			
		拉伸强度 tensile strength / MPa	断裂伸长率 elongation at break / %	300%定伸强度 300% modulus / MPa	邵氏 A 硬度 Shore A hardness
未添加	未添加偶联剂	7.61	725	2.04	54.97
	未添加偶联剂	8.25	798.16	2.14	56.24
	KH-550	8.01	800.64	2.16	58.66
	NDZ-201	8.56	806.43	2.38	61.93
	KH-550+NDZ-201	8.21	804.53	2.30	62.05
碳酸钙	未添加偶联剂	9.31	808.67	2.37	55.25
	KH550	8.96	811.78	2.44	56.93
	NDZ-201	9.79	820.73	2.52	59.26
	KH-550+NDZ-201	9.34	816.67	2.37	58.73



## 2.2 不同偶联剂改性的滑石粉填充的SEBS/PP复合材料的断裂形貌分析

图2为不同偶联剂改性的滑石粉填充SEBS/PP复合材料断裂形貌的SEM图。未改性和KH-550改性的滑石粉填充SEBS/PP复合材料的相容性较差,部分滑石粉在复合材料中“裸露”出来,这说明其与SEBS/PP聚合物的界面结合力较弱。NDZ-201和NDZ-201+KH-550复配改性的滑石粉在SEBS/PP聚合物中分散均匀,形成的相界面模糊,三者之间的相容性较好,说明复配改性的滑石粉在界面的浸润效果较理想,界面结合力强。

从上述分析可以进一步确证不同偶联剂改性的滑石粉对SEBS/PP复合材料的力学性能具有较大的影响。由于未改性和KH-550改性的滑石粉在

复合体系分散不均匀,导致各组分间的界面结合力较弱,当复合材料受到拉伸应力时,滑石粉粒子周围形成应力集中点,并且由于滑石粉粒子的脱粘而产生界面间的空穴,这种空穴的存在会使SEBS/PP承受载荷有效面积减小,因此复合体系的拉伸强度下降。而NDZ-201和NDZ-201+KH-550复配改性的滑石粉在SEBS/PP复合体系中分散均匀,界面结合紧密,当复合材料受到拉伸应力时,可以有效地传递载荷,有利于应力的分散,因而复合材料的断裂伸长率、300%定伸强度和邵氏A硬度提高。

综上分析,在碳酸钙和滑石粉补强SEBS复合材料中,考虑到复合体系的综合物理性能及成本,选用NDZ-201和KH-550复配较佳。

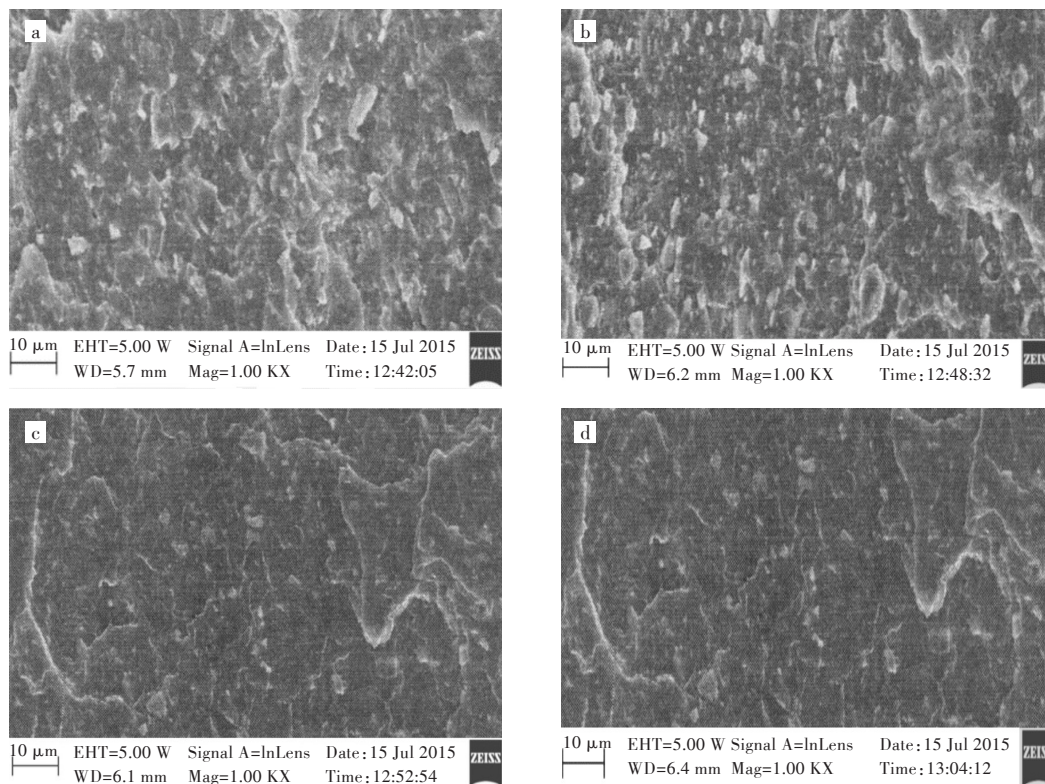


图2 不同偶联剂改性的滑石粉填充SEBS/PP复合材料的SEM图

(a)未经偶联剂处理;(b)经KH-550处理;(c)经NDZ-201处理;(d)经NDZ-201& KH-550复配处理

Fig. 2 SEM images of SEBS/PP composite filled with talc powder modified by different coupling agents

(a)Untreated by coupling agent;(b)Treated by KH-550;(c)Treated by NDZ-201;(d)Treated by NDZ-201 & KH-550

## 2.3 改性填料对SEBS/PP复合体系力学性能的影响

实验选用CaCO<sub>3</sub>和滑石粉2种无机填料表面经NDZ-201和KH-550复配处理后,研究其用量对SEBS/PP复合体系力学性能的影响,实验基础配方为 $m(\text{SEBS}):m(\text{填充油}):m(\text{PP})=100:120:50$ 。图3为2种改性填料用量对SEBS/PP复合材料力学性能的影响。

从图3可以看出,两种改性填料的加入,均使得复合材料的拉伸强度和断裂伸长率呈现先升后降的趋势,当填料用量为15 g时,达到最大值;随着填料用量的增加,复合材料的回复率下降,邵氏A硬度增加。出现这一现象可能是因为SEBS/PP体系充油后分子间的空隙被氢化白油填充,使其分子间作用力减少,少量的填料填充并不会对复

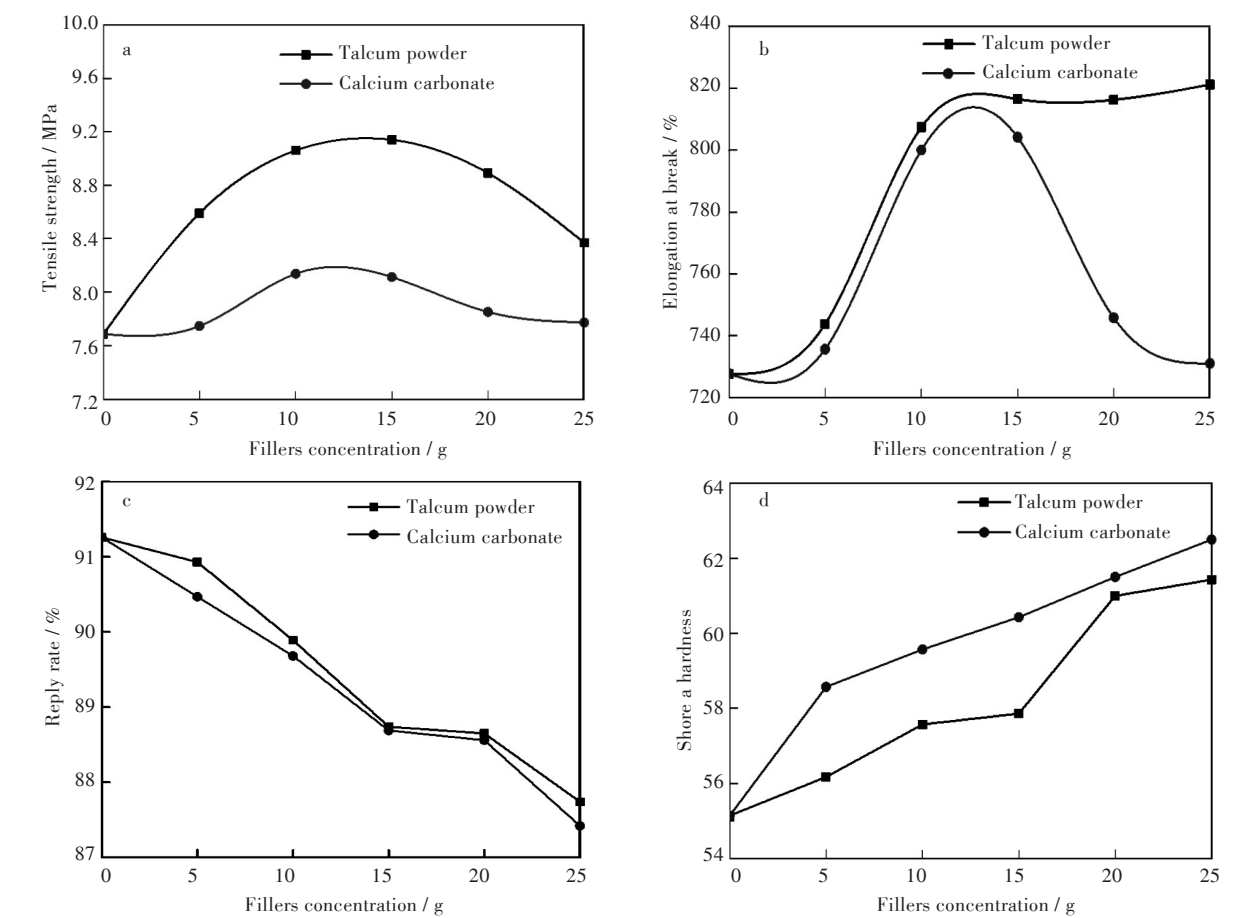


图3 改性填料对SEBS/PP复合材料力学性能的影响

Fig. 3 Effect of modified fillers on the mechanical properties of SEBS/PP composite materials

合体系性能起到不利的影响,反而因为其用量较少,在材料中容易均匀分散,使复合材料性能有一定的提高.但随着填料的继续增加,填料附聚或粉聚的几率也随之变大,其在复合材料中分散不均匀,颗粒粗细不均,可能导致其在复合材料受外力作用时成为应力集中点,从而导致材料性能下降<sup>[19]</sup>.

相同用量的滑石粉和碳酸钙相比,滑石粉的拉伸强度、断裂伸长率、回复率均高于碳酸钙.这是因为滑石粉为片状结构,比表面积大,在与基体树脂接触时,接触面积大且更牢靠,能够在复合体系较好地分散.

#### 2.4 改性填料对SEBS/PP复合材料流动性能的影响

实验采用深圳新三思材料检测有限公司的ZRZ-1402熔体流动速率测试仪测试SEBS/PP复合材料中加入填料的熔融指数.图4为添加不同填料及用量对SEBS/PP复合材料熔融指数的影响.

从图4可以看出,SEBS/PP复合体系中随着填料用量的逐渐增加,复合材料的熔融指数会出现

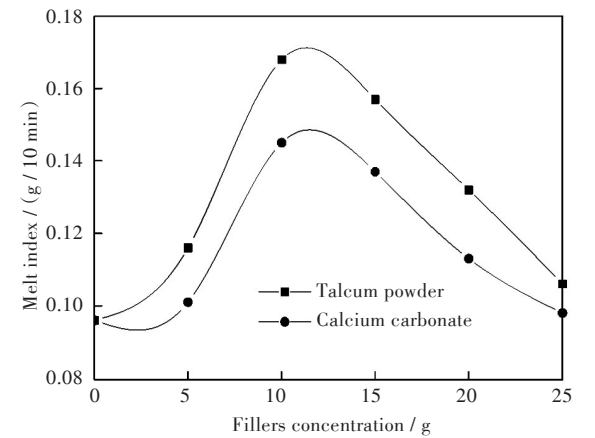


图4 填料对SEBS/PP复合材料熔融指数的影响

Fig. 4 Effect of fillers on the melt index of SEBS/PP composite materials

先上升再下降,即加入少量的填料,材料的熔融指数会上升,当填料用量继续增加时,材料的熔融指数又会逐渐下降.这可能与填料本身的结构有关,少量的填料在材料中分散比较均匀,在体系中起到“润滑”的效果,降低了材料的熔体黏度,从而使材料熔融指数增加;当填料用量继续增加时,

SEBS/PP复合材料的熔体在熔融挤出造粒过程中,大量的填料粒子会阻碍其分子链择优取向,从而使SEBS/PP复合材料的熔融指数降低.相同用量的滑石粉熔融指数高于碳酸钙,这主要可能是滑石粉在复合体系中分散更均匀,排列有序度更高,更加利于熔体流动.

SEBS热塑性弹性体作为一种弹性体材料来使用,良好的力学性能是一项很重要的指标,要求其既经久耐用,又能适应各种需要.综合考虑改性SEBS的力学性能和加工流动性,经过上述实验分析,选用滑石粉作为填料填充效果更优.下文以滑石粉为研究对象,进一步探讨填料对SEBS/PP热塑性弹性体性能的影响.

## 2.5 改性滑石粉对SEBS/PP复合材料流变性能的影响

采用转矩流变仪在温度为200℃的条件下测试了SEBS/PP/Talc复合材料的表观粘度与剪切速率的关系,如图5所示.研究复合材料在熔融状态下,其熔融粘度对剪切速率的依赖性,从而为加工工艺参数提供依据.

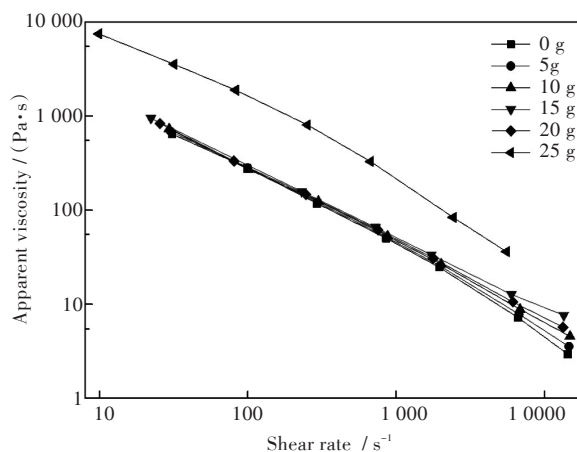


图5 SEBS/PP/Talc复合材料表观粘度与剪切速率的关系  
Fig. 5 Relationships between apparent viscosity and shear rate of SEBS/PP/Talc composites

从图5可以看出,在一定的范围内,随着剪切速率的增加,材料的表观粘度下降.这表明了SEBS/PP/Talc复合材料为假塑性流体,在熔体流动过程中出现了“切力变稀”现象.

为了进一步研究滑石粉含量对SEBS/PP/Talc复合体系流变性能的影响,选取剪切速率 $\gamma=1\,000\text{ s}^{-1}$ 时,测试体系的表观粘度.图6为剪切速率 $\gamma=1\,000\text{ s}^{-1}$ 时,SEBS/PP/Talc复合体系的表观粘度随滑石粉用量增加而变化的情况.

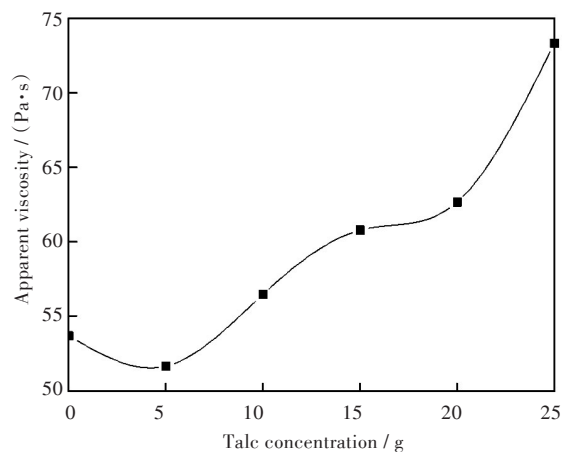


图6 滑石粉用量对SEBS/PP复合体系表观粘度的影响  
Fig. 6 Effect of talc powder on the apparent viscosity of SEBS/PP composites

从图6可以看出,在相同的剪切速率的作用下,当滑石粉用量较少时,SEBS/PP复合材料的表观粘度随滑石粉的用量增加而降低;当滑石粉用量继续增加时,SEBS/PP复合材料的表观粘度随滑石粉的用量增加而增加.这表明SEBS/PP复合材料中滑石粉含量较少时,材料的流动性较好;当滑石粉用量继续增加时,材料的流动性逐渐变差.这是因为SEBS/PP复合材料在熔融状态下,少量的滑石粉在复合体系起到了“润滑”的效果,随着滑石粉用量的增加,片状结构的滑石粉致使长链分子偏离构象而沿链段方向取向,SEBS/PP大分子解缠并使分子链彼此分离受阻,阻碍了SEBS/PP大分子在剪切应力作用下的运动,从而使黏度增加,材料流动性变差.这一结果与前文熔融指数测试结果是一致的.

## 2.6 SEBS/PP/滑石粉复合材料的断裂形貌研究

为了进一步研究不同滑石粉用量在复合体系的微观结构,本文采用德国卡尔蔡司公司的ZEISS扫描电镜观察SEBS/PP/滑石粉复合材料的断裂形貌.图7为不同滑石粉用量添加到SEBS/PP复合体系复合材料的断裂形貌图.

从图7(a)中可以看出,SEBS/PP复合体系已经成为一个连续相区,其断面较为完整,基本没有发生塑性变形,这说明SEBS和PP的相容性非常好,其断裂属于典型的脆性断裂.图7(b)~图7(f)为滑石粉用量逐渐增大时复合材料的断裂形貌,可以看出,在滑石粉用量达到15 g之前,随着滑石粉用量的增加,填料在复合体系中分散比较均匀,复合材料的断面粗糙度较低;当滑石粉用量达到15 g后,随着填料用量的继续增加,复合材料的断



裂面粗糙程度越来越明显,填料在SEBS/PP基体中分散不均匀,不同程度地发生附聚或粉聚的现象,这一点可以从图7(f)中很清楚地看到.

扫描电镜(SEM)确证了滑石粉用量对SEBS/PP复合体系的力学性能影响. 当滑石粉用量较少时,

在复合体系中分散比较均匀,起到增强复合材料的效果;滑石粉用量较多时,随着滑石粉用量的继续增加,填料不均匀地分散在SEBS/PP基体中,不同程度地发生附聚或粉聚的现象,使得复合材料的力学性能下降.

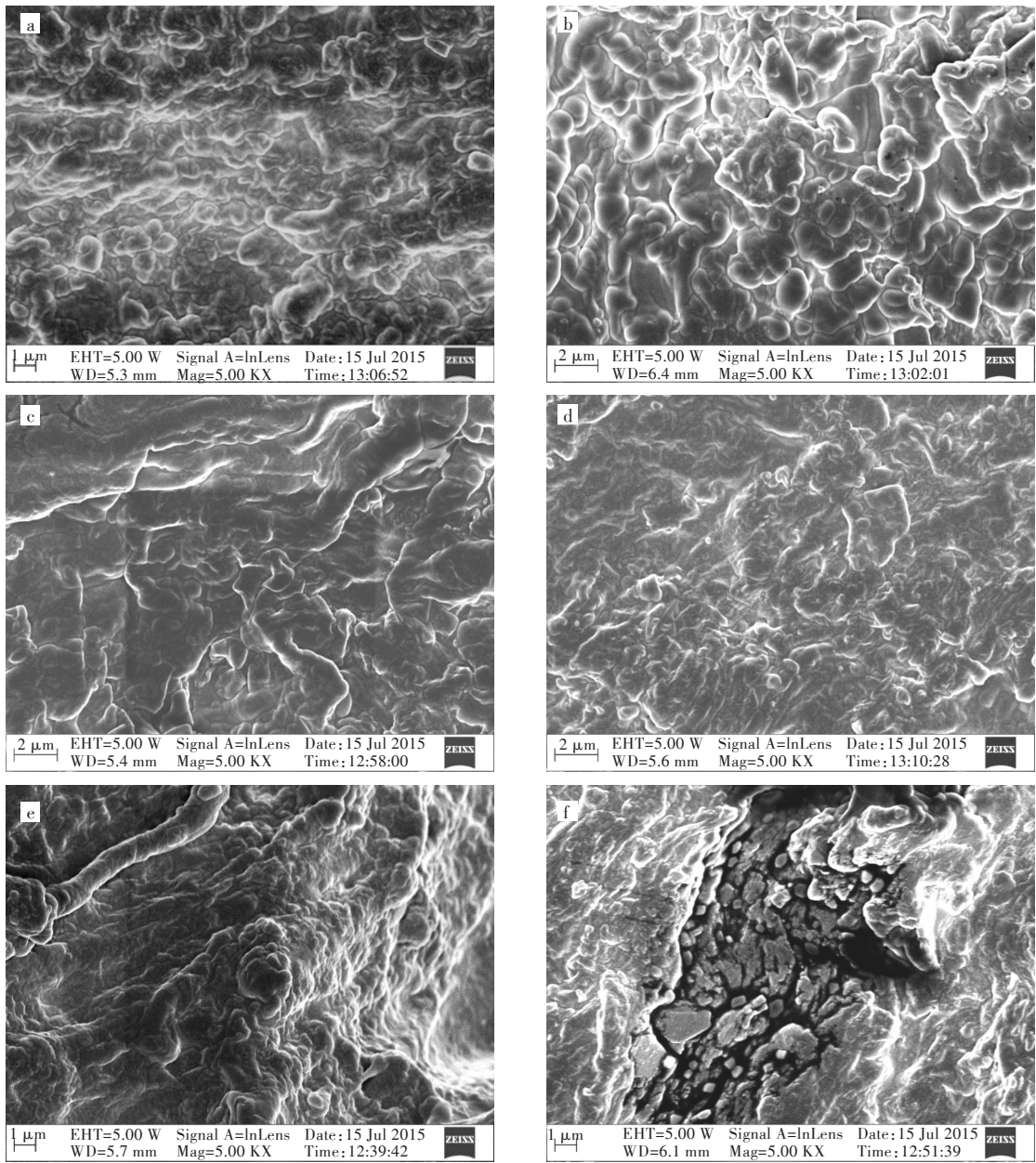


图7 SEBS/PP/Talc 复合材料断面形貌

Fig. 7 The fracture morphology of SEBS/PP/Talc composites

(a)SEBS/PP;(b)SEBS/PP/Talc (5 g);(c)SEBS/PP/Talc (10 g);(d)SEBS/PP/Talc (15 g);  
(e)SEBS/PP/Talc (20 g);(f)SEBS/PP/Talc (25 g)

2.7 改性滑石粉对SEBS/PP 复合材料耐热性能的影响

采用美国TA 仪器公司的SDT Q600 型热失重分析仪测试了SEBS/PP/Talc 复合体系的耐热性能. 图8 为滑石粉用量从0 g~25 g 时SEBS/PP 复合

材料的热失重图谱.

从图8 可以看出,随着滑石粉用量的增加,SEBS/PP 复合材料的热稳定性逐渐升高,第一阶段的热分解温度逐渐提高,明显向高温方向移动. 当滑石粉的加入量为25 g 时,材料第一阶段的热分

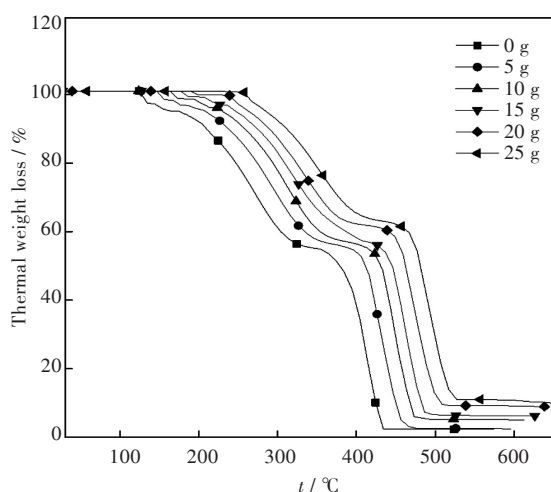


图8 SEBS/PP/Talc 复合材料的热失重分析

Fig. 8 Thermal gravimetric analysis of SEBS/PP/Talc composites

解温度由SEBS/PP基体的183℃升高到206℃. 第一阶段的热失重为35%左右,这可能是SEBS/PP复合材料中填充油的挥发造成. 由于滑石粉属于硅酸盐的片层结构,在温度升高的过程中阻碍了填充油分子的向外迁移,从而使得填充油的挥发温度随滑石粉加入量的增加而提高.

第二阶段为高分子链段主链断链的热降解温度. 表2为滑石粉含量对SEBS/PP基体热失重的影响.

由表2可知,聚合物主链的降解温度从SEBS/PP基体的410℃提高到加入15 g滑石粉后SEBS/PP/Talc复合材料的420℃. 说明片层结构的滑石粉能有效的提高SEBS/PP基体的热稳定性. 当滑石粉用量为15 g时,SEBS/PP复合材料最大分解温度提高了10℃.

表2 滑石粉用量对SEBS/PP复合材料热失重的影响

Tab. 2 Effect of talc powder on the thermal weight loss of SEBS/PP composites

滑石粉用量 talcum powder / g	初始热分解温度 initial decomposition temperature / °C	第二阶段热降解温度 the second stage of decomposition temperature / °C	终止热降解温度 termination decomposition temperature / °C
0	183	410	465
5	184	410	475
10	190	410	475
15	192	420	475
20	204	420	480
25	206	420	510

### 3 结 语

本实验选用不同偶联剂改性的滑石粉和碳酸钙填充SEBS/PP制备复合材料,与未改性碳酸钙和滑石粉制备的复合材料相比,经偶联剂NDZ-201和NDZ-201与KH-550复配改性的填料在复合材料中分散均匀,形成的相界面模糊,有效提高了复合材料的拉伸强度、断裂伸长率、300%定伸强度和邵氏A硬度.

相同用量的滑石粉和碳酸钙填充改性SEBS/PP复合材料,滑石粉改性的综合性能优于碳酸钙. 且少量的滑石粉在复合体系中分散比较均匀,起到增强作用;当滑石粉用量较多时,填料在SEBS/PP基体中分散不均匀,不同程度地发生附聚或粉聚的现象,导致材料某些性能下降. 随着滑石粉用量的增加,复合材料的热稳定性提高,初始热分解温度向高温方向移动,当滑石粉的用量为15 g时,

复合材料的分解温度提高了10℃.

#### 参考文献:

- [1] 高军,余万能. 新型热塑性弹性体SEBS[J]. 化工新型材料,2004,32(4):21-24.  
GAO J, SHE W N. New thermoplastic elastomer SEBS [J]. New Chemical Materials, 2004, 32(4): 21-24.
- [2] QAZVINIHA M R, ABDOUSS M, MUSAVI M, et al. Physical and mechanical properties of SEBS/polypropylene nanocomposites reinforced by nano  $\text{CaCO}_3$  [J]. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 2016, 24 (39): 323-325.
- [3] 蒋文真,刘永焯,官习鹏. 纳米二氧化硅对充油SEBS改性PP材料的性能影响[J]. 广东化工, 2012, 39 (16): 41-42.  
JIANG W Z, LIU Y Z, GUAN X P. Effect of nano silica on the properties of SEBS modified PP materials [J]. Guangdong Chemical Industry, 2012, 39(16): 41-42.



- [4] SANPOREAN C G, VULUGA Z, RADOVICI C, et al. Polypropylene/organoclay/SEBS nanocomposites with toughness-stiffness properties [J]. Royal Society of Chemistry Advances, 2014, 4(13): 6573–6579.
- [5] 张小林,程金星,林峰. 填料改性充油SEBS力学性能的研究[J]. 弹性体, 2007, 17(1): 53–55.  
ZHANG X L, CHENG J X, LIN F. Study on mechanical properties of oil-extended SEBS modified by filler [J]. Elastomerics, 2007, 17(1): 53–55.
- [6] ESSABIR H, BENSALAH M O, RODRIGUE D, et al. Biocomposites based on Argan nut shell and a polymer matrix: effect of filler content and coupling agent [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 143(26): 70–83.
- [7] 王莹,王扬丹,彭履瑶. SEBS、纳米SiO<sub>2</sub>协同作用改性PP的研究[J]. 化工新型材料, 2014, 42(12): 214–216.  
WANG Y, WANG Y D, PENG L Y. Study on the synergistic effect of SEBS and nano-SiO<sub>2</sub> on modified PP [J]. New Chemical Materials, 2014, 42(12): 214–216.
- [8] 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 S, XIAO W D, DAI W L. Study on tribological and mechanical properties of oil-extended SEBS/PP blends modified by filler [J]. China Plastics Industry, 2009, 37(4): 68–72.
- [9] 郝赫,程凤梅,赵文杰. CaCO<sub>3</sub>对EPDM/PP热塑性弹性体性能的影响[J]. 弹性体, 2014, 24(6): 70–73.  
HAO H, CHENG F M, ZHAO W J. Effect of CaCO<sub>3</sub> on the properties of EPDM/PP thermoplastic elastomer [J]. China Elastomerics, 2014, 24(6): 70–73.
- [10] 彭鹤松,宋建强,李永安,等. 超细滑石粉填充改性ABS的性能研究[J]. 工程塑料应用, 2015, 9(43): 130–133.  
PENG H S, SONG J Q, LI Y A, et al. Study on properties of modified ABS filled with superfine talc powder [J]. Engineering Plastics Application, 2015, 9(43): 130–133.
- [11] 文力,李震,郭少云. EAA对PP/POE/伊利石体系的反应增容作用[J]. 塑料工业, 2003, 31(6): 9–12.  
WEN L, LI Z, GUO S Y. Effect of EAA on the reaction capacity of PP/POE/illite system [J]. Plastics Industry, 2003, 31(6): 9–12.
- [12] COLLAR E P, LAGUNA O, ARESO S, et al. Succinyl fluorescein grafted atactic polypropylene as an interface modifier in polypropylene/talc composites: a thermal study under dynamic conditions [J]. European Polymer Journal, 2003, 39(1): 157–163.
- [13] MIN Y, FANG Y, HUANG X, et al. Surface modification of basalt with silane coupling agent on asphalt mixture moisture damage [J]. Applied Surface Science, 2015, 34(6): 497–502.
- [14] KANGO S, KALIA S, CELLI A, et al. Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic-inorganic nanocomposites-A review [J]. Progress in Polymer Science, 2013, 38(8): 1232–1261.
- [15] 何丽红,周超,李力. 硅烷偶联剂表面改性二氧化钛粒子超疏水性能[J]. 精细化工, 2014, 31(9): 1061–1064.  
HE L H, ZHOU C, LI L. Silane coupling agent surface-modified titanium dioxide particles super hydrophobic properties [J]. Chemicals, 2014, 31(9): 1061–1064.
- [16] 曹宏,张小莉,刘冰洋,等. 微硅粉/聚丙烯复合材料制备与表征[J]. 武汉工程大学学报, 2014, 36(4): 50–54.  
CAO H, ZHANG X L, LIU B Y, et al. Preparation and characterization of silica fume/polypropylene composites [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2014, 36(4): 50–54.
- [17] CHEN N, LEI M A, ZHANG T. Investigation of nano-talc as a filling material and a reinforcing agent in high density polyethylene (HDPE) [J]. Rare Metals, 2006, 25(5): 422–425.
- [18] 赵皎宏,杨睿,于建. 界面对聚丙烯/碳酸钙复合材料光氧老化的影响[J]. 高分子学报, 2014(12): 1600–1605.  
ZHAO J H, YANG R, YU J. Effect of interface on the light oxygen aging of polypropylene/calcium carbonate composites [J]. Journal of Polymer, 2014(12): 1600–1605.
- [19] 林峰,程金星,肖望东. 充油SEBS力学性能的研究[J]. 塑料工业, 2006, 34(6): 43–45.  
LIN F, CHENG J X, XIAO W D. Study on mechanical properties of oil-extended SEBS [J]. Plastics Industry, 2006, 34(6): 43–45.

本文编辑:苗 变