

# SMC 晶须增强高密度聚乙烯复合材料的拉伸性能

潘宝风<sup>1</sup>, 刘军<sup>1</sup>, 宋斌<sup>2</sup>, 程立<sup>2</sup>, 浦列<sup>2</sup>

(1. 四川大学高分子科学与工程学院, 四川 成都 610065;

2. 四川天鑫实业集团, 四川 成都 610032)

**摘要:**采用一种新型 SMC 晶须纤维增强 HDPE 制备出 SH 复合材料, 并运用扫描电镜(SEM)、动态力学分析(DMA)等方法对复合材料的拉伸性能进行了研究, 并在此基础上进一步研究了材料在高温下的长期拉伸蠕变性能。结果表明:与纯 HDPE 相比, 随着晶须含量的增加, SH 复合材料的拉伸强度、模量有大幅的提高, 这些改善归因于晶须纤维与基体材料之间良好的兼容性及两者之间的界面强度增强; 晶须对 HDPE 增强的同时还提高了 SH 复合材料的长期耐蠕变性能, 随着晶须含量的增加, 复合材料表现出更多的线性力学性能。

**关键词:**SMC 晶须; 聚乙烯; 拉伸性能

中图分类号: O631.2<sup>+1</sup>

文献标识码: A

文章编号: 1000-7555(2008)04-0101-04

近年来, 研究人员发现晶须是优良的增强聚合物材料之一, 包括硫酸镁晶须、碳化硅晶须等。这些种类的晶须能够改性聚合物, 使其生成具有优异力学性能的复合材料<sup>[1~6]</sup>。例如钛酸钾晶须被研究人员用来增强 PEEK 树脂, 其复合材料的拉伸强度、拉伸模量均随晶须的含量增加而增加, 其拉伸强度提高约 10%。

SMC 晶须是一种新型晶须, 目前尚未见用其改性 HDPE 的公开研究报告。本文制备了 SMC 晶须增强高密度聚乙烯(SH 复合材料), 首次采用不同方法对该复合材料的短期拉伸性能进行了分析研究, 并在此基础上进一步研究了材料在高温下的长期拉伸蠕变性能。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

HDPE(5000S): 兰州石油化工公司; 偶联剂 KH-550: 中国晨光化工研究院; SMC 晶须(Fig. 1): 自制, 是一种浅黄色晶体材料, 主要成分有氧化硅、氧化钙、氧化镁, 密度为 3.0 g/cm<sup>3</sup>, 平均长径比约为 36。

### 1.2 样品制备

首先把 SMC 晶须放在高速混合器中用 KH-550 偶联剂处理约 5 min~8 min, 然后在空气中干燥 3 h~4 h, 进而在 90 ℃ 烘干约 4 h, 将 HDPE 与晶须用双螺杆挤出机共挤出, 然后用注射机注射成型, 制备出标准拉伸样条, 其形状及尺寸如 ASTM D-790 所述, 各种配方的 SH 复合材料样品如 Tab. 1 所示。

### 1.3 测试及表征

复合材料短期拉伸性能用拉伸试验机以 50 mm/min 的速度进行测试; 动态力学性能采用 DMA-Q800 进行测试, 频率 1 Hz, 温度范围为 -118 ℃ ~ 125 ℃; 复合材料内部纵向微观形貌用 philps-XL30 扫描电镜进行观察。复合材料长期拉伸蠕变性能在 80 ℃ 条件下进行, 加载装置为自行设计, 拉伸应力为 4.5 MPa, 试验时将每一试样快速加载并开始计时, 总试验时间为 1200 h。

## 2 结果与讨论

### 2.1 短期力学性能

收稿日期: 2007-08-13

基金项目: 教育部博士点基金资助(20050610030)

联系人: 潘宝风, 主要从事高分子材料结构与性能研究, E-mail: pbaofeng@sina.com

SH 复合材料的拉伸强度、模量及断裂伸长率如 Tab. 1 所示。从 Tab. 1 可以看出, SH 复合材料的拉伸强度、模量不仅比纯高密度聚乙烯大幅度提高, 而且随晶须含量增加而提高, 50SH 的拉伸强度大约是高密度聚乙烯的 170%。然而复合材料的断裂伸长率随晶须含量的增加而降低, 尤其是当晶须含量超过 20% 时, 这种现象更为明显, 这说明存在一个晶须含量的临界值, 当超过这个临界值时, 晶须材料显著阻隔了树脂基体的连续, 造成聚合物基体

承载效果和变形时能量吸收能力下降, 从而导致材料韧性大幅下降。

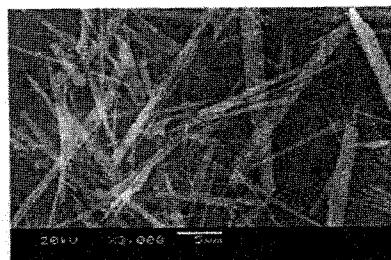


Fig. 1 SEM image of SMC whisker

Tab. 1 Mechanical properties of SMC/HDPE(SH) composites

Sample code	Component mass(g)		Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (MPa)	Elongation (%)
	SMC	HDPE			
HDPE	0	100	24.26	322	604
5SH	5	95	24.92	533	862
10SH	10	90	26.84	780	774
15SH	15	85	28.16	907	663
20SH	20	80	35.08	1297	50
25SH	25	75	38.40	1540	68
30SH	30	70	39.59	1567	57
40SH	40	60	41.13	1800	54
50SH	50	50	41.82	1983	26

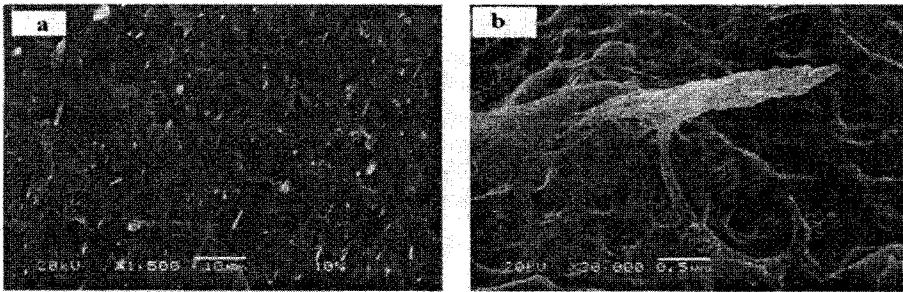


Fig. 2 SEM images of SH composites

## 2.2 扫描电镜结果

Fig. 2a 显示的是 SH 复合材料在 1,500 倍下的内部纵向微观形貌。从 Fig. 2a 可以看出, SMC 晶须均匀地分散在基体材料中, 大多数沿流动方向呈取向排列。Fig. 2b 显示的是 SH 复合材料在 30,000 倍下的内部微观形貌。从 Fig. 2b 中可以观察到在晶须与基体的界面不存在明显的缺陷, 晶须暴露在断面外的表面部分则被聚合物基体紧密包裹着。以上现象说明晶须与 HDPE 基体之间有着良好的相容性。在 SH 复合材料中, 偶联剂分子中的烷氧基水解生成的硅羟基, 与晶须表面的硅羟基发生了

缩合, 同时偶联剂之间的硅羟基互相缩聚, 在玻纤表面形成偶联剂膜。但聚乙烯基体与偶联剂之间按照化学键理论不能发生化学反应, 而根据表面浸润理论、互穿网络理论等, 基体与增强晶须之间应已形成了物理相容结构, 促使两者之间形成了紧密连接。

## 2.3 动态力学性能

Fig. 3 显示的是动态力学性能测试结果。从 Fig. 3a 可以看出, 随着晶须含量的增加, SH 复合材料的储能模量相应提高, 说明材料的刚性提高了。

SH 复合材料损耗模量及损耗因子与温度

的关系分别如 Fig. 3b、Fig. 3c 所示。通常纤维增强聚合物复合材料的界面强度可以通过动态力学性能分析得出<sup>[7,8]</sup>, 纤维与基体界面强度的提高将会导致聚合物分子运动阻力增加, 于是复合材料的损耗模量与损耗因子相应增加, 也即界面强度越高, 复合材料的损耗模量与损耗因子越大。从 Fig. 3b、Fig. 3c 可以观察到复合材料的损耗模量与损耗因子值比纯 HDPE 的大, 并且随晶须含量的增加而增大。DMA 结

较高的。

#### 2.4 拉伸蠕变性能

Fig. 4 显示的是 10SH、20SH、30SH 复合材料在 80 °C 条件下的拉伸蠕变试验结果。

从 Fig. 4 中可以看出, 复合材料试样在恒定应力作用下, 蠕变试验初期应变速率较高, 应变随时间增长很快。经过初期发展后, 样品蠕变速率变小, 应变曲线变得十分平缓。另外, 同一时刻的应变情况是 10SH > 20SH > 30SH, 说明晶须含量的增加, 复合材料的耐蠕变能力增强。蠕变应变可以反映材料的蠕变行为, 但并不能充分说明材料的蠕变性能, 描述材料的蠕变性能可以采用蠕变柔量函数, 即时间相关的蠕变应变与其对应的应力之比<sup>[9]</sup>。Fig. 5 显示的是 10SH、20SH、30SH 复合材料在恒定应力水平下的蠕变柔量曲线。从 Fig. 5 可以看出, 随着晶须含量的增加, 复合材料的柔量减小, 刚性增加。几条曲线的线性情况是 30SH > 20SH > 10SH, 说明随着晶须含量的增加, 复合材料的模量提高, 拉伸力学行为非线性有所减少, 呈现出更多的线性。

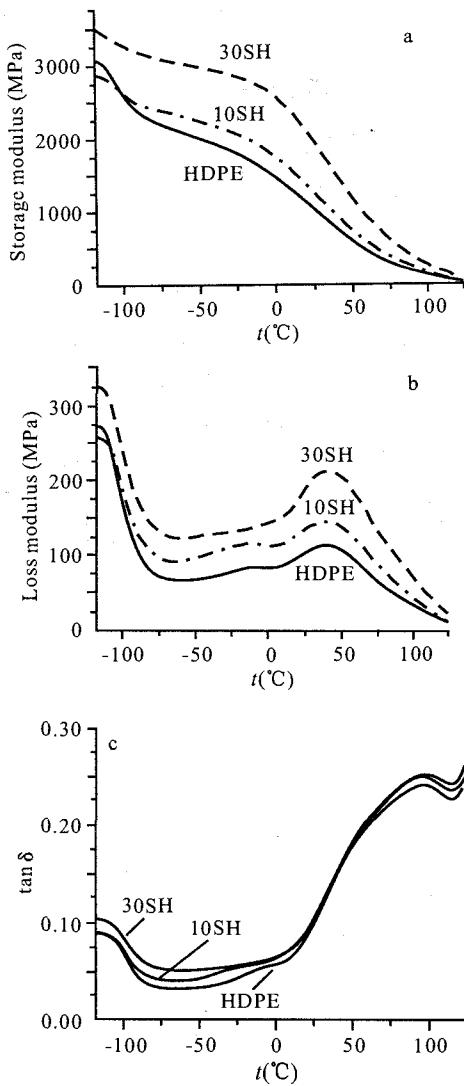


Fig.3 a. Storage modulus vs. temperature plots of HDPE and SH composites; b. Loss modulus vs. temperature plots of HDPE and SH composites; c. Loss factor vs. temperature plots of HDPE and SH composites

果表明 SMC 晶须与 HDPE 基体的界面强度是

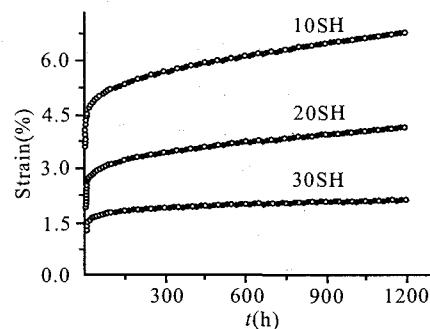


Fig.4 Creep strain vs. time

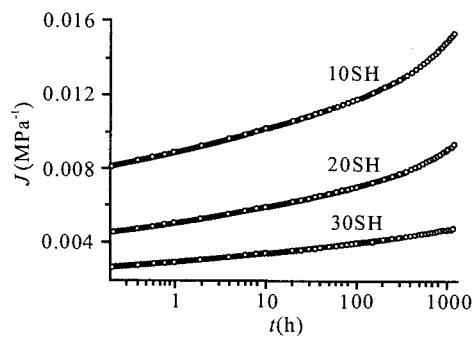


Fig.5 Creep compliance vs. time

#### 3 结论

SMC 晶须的加入能够大幅度提高 HDPE

材料的拉伸力学性能,包括短期力学性能及耐长期蠕变性能。晶须对 HDPE 材料的增强作用主要归因于它们之间的良好兼容性,两者之间的界面强度能够保证应力有效地通过基体传递到晶须纤维上,刚性的晶须则能够承担较大的外界应力,同时复合材料的模量得到提高。

#### 参考文献:

- [1] Zhuang G S, Sui G X, Meng H, et al. Composites Science and Technology, 2007, 67(6): 1172~1181.
- [2] Azizi Samir M A S, Alloin F, Sanchez J Y, et al. Polymer, 2004, 45(12): 4149~4157.
- [3] Fu S J, Wu P P, Han Z W. Composites Science and Technology, 2002, 62(1): 3~8.
- [4] Yu D M, Wu J S, Zhou L M, et al. Compos Sci Technol, 2000, 60(4): 499~508.
- [5] Qu M J, Jian X G, He W, et al. J. Mater. Sci. Technol., 2004, 20(4): 445~447.
- [6] Tjong S C, Meng Y Z. J. Appl. Polym. Sci., 1999, 72: 501~508.
- [7] Chandan D, Diya B, Amarnath B. J. Appl. Polym. Sci., 2002, 85: 2800.
- [8] Shuwen P, Xiuyan W, Lisong D. Polym. Compos., 2005, 26: 37.
- [9] Luo W J. Journal of Wuhan University of Technology, 2006, 30(2): 282~284.

## Tensile Properties of SMC Whisker Reinforced High Density Polyethylene Composites

PAN Bao-feng<sup>1</sup>, LIU Jun<sup>1</sup>, SONG Bin<sup>2</sup>, CHENG Li<sup>2</sup>, PU Lie<sup>2</sup>

(1. College of Polymer Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;  
2. Sichuan Tianxin Industry Group, Chengdu 610032, China).

**ABSTRACT:** A new SMC whisker fiber was used to reinforce high density polyethylene for preparation of SH composites. The tensile properties of SH composite were investigated by scanning electron microscopy (SEM) and dynamic mechanical analysis (DMA), and the long term tensile-creep performance of composites was studied under high temperature. Compared with the pure HDPE, the tensile strength and modulus of the prepared composites were improved greatly. The results from SEM and DMA measurements show that the SMC whisker has good compatibility with the HDPE matrix and the interfacial interplay is strong. With the increasing whisker content, the SH composites show more linear creep behavior.

**Keywords:** SMC whisker; polyethylene; tensile property