

文章编号: 1007-8827(2014)06-0454-07

碳纤维/聚醚型聚氨酯复合材料的性能

赵雨花, 李其峰, 王军威, 亢茂青, 王心葵

(中国科学院山西煤炭化学研究所, 山西太原 030001)

摘要: 采用原位聚合法和浇注模压工艺合成出一系列经不同方法处理的碳纤维(CF)/聚醚型聚氨酯(PU)弹性体。通过机械性能测试、热失重分析和扫描电子显微镜等手段研究不同处理方法和CF含量对CF/PU弹性体复合材料的物理机械性能、热性能和微观形态的影响。结果表明,偶联剂中以胺基硅烷KH5501、KH602和钛酸酯类TCA-K44处理CF对CF/PU复合材料的机械性能改善效果明显;硝酸氧化的CF对复合材料的机械性能和热稳定性均明显改善;硝酸氧化处理CF与PU间的黏接性优于偶联剂处理CF/PU间的黏接性。

关键词: 碳纤维; 聚氨酯; 复合材料; 机械性能; 耐热性

中图分类号: TQ342+.74

文献标识码: A

收稿日期: 2014-07-15; **修回日期:** 2014-12-03

基金项目: 山西省科技重大专项项目(20111101058)。

通讯作者: 李其峰, 副研究员. E-mail: liqf@sxicc.ac.cn

作者简介: 赵雨花, 高级工程师. E-mail: zhyhl@sxicc.ac.cn

Preparation and properties of carbon fiber/polyether polyurethane composites

ZHAO Yu-hua, LI Qi-feng, WANG Jun-wei, KANG Mao-qing, WANG Xin-kui

(Institute of Coal Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Taiyuan 030001, China)

Abstract: A series of carbon fiber (CF)/polyether polyurethane (PU) composites were prepared by in situ polymerization and a casting compression molding technique. The influence of CF content and its pretreatment with a coupling agent and oxidation by 65%–68% (mass fraction) nitric acid on the mechanical performance, thermal properties and morphology of the composites was investigated by TGA, SEM and mechanical tests. Results showed that coupling agents improve the mechanical performance of the CF/PU composites, especially for silane coupling agents KH5501, KH602 and the titanate coupling agent TCA-K44. Nitric acid oxidation also improved the mechanical performance and thermal stability of the composites. The adhesion between PU and nitric acid-oxidized CFs was better than that between PU and fibers treated with silane coupling agents.

Keywords: Carbon Fiber; Polyurethane; Composites; Mechanical properties; Thermal stability

Foundation item: The Major Science and Technology Project in Shanxi Province(20111101058)。

Corresponding author: LI Qi-feng, Associate Researcher. E-mail: liqf@sxicc.ac.cn

Author introduction: ZHAO Yu-hua, Senior Engineer. E-mail: zhyhl@sxicc.ac.cn

1 前言

目前已有许多关于碳纤维(CF)和玻璃纤维增强不同聚合物的报道^[1],例如连续或者不连续CF增强聚酰胺、聚醚醚酮、聚碳酸酯等。关于CF增强聚氨酯(PU)的复合材料以及CF表面处理以改善其相容性和分散性的研究较少报道。

PU弹性体的结构中含有多个软、硬段组成的重复单元,软段一般由聚醚或聚酯多元醇组成,硬段则由异氰酸酯和小分子的扩链剂组成。软段的热转变温度较低,所以只能形成暂时的形状,硬段具有较高的热转变温度,因此可赋予弹性体永久的形状。由

于软、硬段间的不相容性发生微相分离而赋予弹性体高弹性、高韧性和优良的耐磨性,使其得到广泛应用。然而纯的PU通常具有较低的刚性和热稳定性,使其应用受到限制。在PU基体中加入填料是最常用的提高性能的方法之一^[2-3]。

CF具有优异的热传导性、热稳定性、高强度、高模量、耐疲劳、抗蠕变而常用作聚合物的增强剂^[4-7]。笔者前期以聚己二酸乙二醇丙二醇聚酯(ODX-218)、4,4'-二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)和1,4-丁二醇为原料研究了不同纤维长度和不同含量的CF对CF/PU复合材料物理机械性能、热性能和动

态性能的影响^[8]。PU 是高级性聚合物,而 CF 虽然表面也含有一定量的羟基、羧基等极性基团,但其极性很弱。按照极性相似相容原理,二者的相容性很差,同时 PU 的粘度较大造成 CF 在 PU 中的分散性较差。因此,笔者以聚四氢呋喃醚二醇(PTMG)、MDI 和 1,4-丁二醇为原料合成了一系列经不同方法处理的 CF/PU 弹性体复合材料,通过改善 CF 在 PU 中的分散性和相容性以期改善聚醚型 PU 的刚性和耐热性;重点探讨不同处理方法(包括酸氧化刻蚀和不同种类的偶联剂)和不同 CF 添加量对 CF/PU 弹性体复合材料的物理机械性能、热性能和

微观形态的影响。

2 实验

2.1 原材料

PTMG-1000(分子量 $M_n = 1000$),德国 BASF 公司;二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI),烟台万华聚氨酯股份有限公司;1,4-丁二醇(BDO),德国 BASF 公司;无胶碳纤维(CF),长度 3 mm,日本东丽;所用偶联剂(南京能德化工有限公司)的种类及名称见表 1。

表 1 偶联剂的种类及名称

Table 1 Types and designations of coupling agents.

Type	Designation	Type	Designation
Aminosilane coupling agents		Methylpropionyloxysilane coupling agents	
KH550	3-aminotriethyloxysilane	KH570	3-methylpropionyloxypentyl trimethyloxysilane
KH5501	Long efficiency amido-silane	Thiosilane coupling agents	
KH602	N-2-aminoethyl-3-aminopropyl-methyldimethoxysilane	KH580	3-thiopropyltriethyloxysilane
KH792	N-3-aminoethyloxy-3-aminopropyl-trimethyloxysilane	KH590	3-thiopropyltrimethyloxysilane
Epoxysilane coupling agents		Titanate coupling agent	
KH560	3-glycidyletheroxypropyltri-methylsilane	TCA-201	Isopropyltri(dioctylpyrophosphoric acid) titanate
Special silane coupling agents		TCA-401	Tetraisopropylidi(dioctylpyrophos phoric acid acyloxy) titanate
KH470	Silane adhesion accelerant	TCA-K44	Isopropoxytri(ethylenediamine-N-acetoxy) titanate
KH450	Watersilane coupling agent		
KH501	Organic silicon adhesion accelerant		

2.2 实验工艺

2.2.1 CF 的表面处理^[9-11]

硅烷偶联剂的配制。根据所含的官能基不同,硅烷类偶联剂分为胺基硅烷、环氧基硅烷、甲基丙烯酰氧基硅烷和巯基硅烷等。一般情况下,甲氧基硅烷用甲醇稀释,乙氧基硅烷用乙醇稀释。配制方法:醇/水=10:1(质量比),硅烷用量为被处理 CF 的 1%~2%(质量分数)。除胺基硅烷外,其余还需加入 0~1.5% 的醋酸以调节硅烷溶液的 pH 值促进硅烷水解。在搅拌下使偶联剂溶液呈透明状,然后加入计量的 CF 充分搅拌均匀并在室温下放置 30 min,然后于 120℃ 下烘干 2 h,待用。

钛酸酯类偶联剂配制。钛酸酯类偶联剂不需要水解,只需加入相应的溶剂(甲醇或乙醇)稀释即可。然后加入计量的 CF 充分搅拌均匀并在室温下放置 30 min(在室温放置 30 min,一方面是钛酸酯类偶联剂的使用要求,另一方面是让偶联剂很好的浸润 CF 表面),然后于 120℃ 下烘干 2 h,待用。

浓硝酸氧化刻蚀。将一定量的 CF 浸入质量分数 65%~68% 的浓硝酸中,在 80℃ 分别回流 30、60

和 90 min,然后过滤取出 CF 用蒸馏水清洗直至呈中性为止。然后于 120℃ 下烘干 2 h,待用。

2.2.2 预聚物的合成

将已脱水处理的 PTMG-1000 与计量的 CF 加入三口烧瓶中,在 50~60℃ 下快速搅拌混合约 30 min,然后加入计量并熔化的 MDI,控制反应温度在 80~85℃,反应时间为 2~3 h,制得 NCO%(异氰酸酯的质量分数)约为 10.0% 的预聚体,密封待用。

2.2.3 试片制备

将已预热至 80~85℃ 的计量的预聚体与计量的 BDO 快速混合约 1~2 min,然后浇注到已预热(110~120℃)并涂好脱模剂的试片模具上,待达到凝胶点后在平板硫化机上加压硫化。硫化温度 110~120℃,时间约 30~40 min 即可脱模,然后于 100℃ 下硫化 16 h,再在室温下后熟化 24 h 得到试片。

2.3 性能测试和表征

万能试验机 CMT6503 型,深圳新三思材料检测有限公司,拉伸速率 500 mm/min。应力应变性能(拉伸强度、扯断伸长率、伸长永久变形),GB/T529-92;撕裂强度(kN/m),GB/T529-91;邵氏硬度

(邵 A) ,GB/T531-92; 冲击弹性(%) ,GB/1681-82。热失重测试: TGA-50 型 ,SHZIMADZU 公司 , N_2 气氛保护 ,流量 20 mL/min ,升温速度 5 $^{\circ}C$ /min ,温度范围: 室温~550 $^{\circ}C$ 。扫描电子显微镜 (SEM): JSM-6360 型 ,日本日立公司。

3 结果与讨论

3.1 不同偶联剂处理对复合材料力学性能的影响

不同硅烷类偶联剂处理的 CF 对性能的影响见表 2 ,所用 CF 均为无胶丝 ,纤维长度为 3 mm ,纤维质量分数为 1% ,其余合成条件均相同。

表 2 不同种类偶联剂处理的 CFs 对复材机械性能的影响

Table 2 Mechanical properties of the composites with different surface treated CFs.

Type	Dispersity	Hardness / H_A	Elongationat break $\varepsilon/\%$	Tensile strength σ /MPa	100% Modulus E /MPa	300% Modulus E /MPa	Tear strength σ /kN \cdot m $^{-1}$
Blank		93	501	38.4	14.1	23.6	136.2
Untreated CF	poor	92	497	38.5	16.7	23.2	149.7
KH550	good	95	483	35.2	16.3	23.9	155.5
KH5501	good	94	470	39.7	18.6	26.1	161.4
KH602	good	93	516	42.4	14.8	24.5	142.3
KH792	poor	91	417	30.7	17.2	24.8	149.7
KH560	better	94	454	36.4	17.6	24.7	158.9
KH570	better	93	556	37.6	16.3	24.5	156.5
KH580	poor	96	523	29.5	17.1	22.0	157.6
KH590	better	93	465	36.0	18.5	26.2	154.9
KH450	poor	96	472	35.8	19.3	25.3	148.5
KH470	better	95	490	38.4	14.8	24.6	149.4
KH501	better	91	480	36.7	15.1	24.5	157.8
TCA201	poor	92	458	36.7	17.4	25.3	148.1
TCA401	better	94	522	34.8	16.5	22.9	164.9
TCA-K44	good	95	487	39.4	17.7	25.9	153.4

由表 2 可知 ,在相同 CF 含量和合成条件下 ,不同的偶联剂处理结果不同。未处理的 CF 以及由偶联剂 KH792 KH450 和 TCA-201 处理的 CF 在体系中的分散性较差 ,对应的机械性能也较差。KH5501 处理 CF/PU 的撕裂强度和模量均最高。KH602 的拉伸强度最高但其撕裂强度和模量却不及 KH5501。钛酸酯类则是 TCA-K44 的综合性能较好。在各类偶联剂中以胺基硅烷类最好。这可能是由于硅烷上的胺基可与 PU 结构中的氨基甲酸酯基形成氢键或与过量的异氰酸酯基反应形成化学键结合较紧密所致。因此 ,主要选择 KH5501、KH602 和 TCA-K44 三种偶联剂处理 CF 和浓硝酸氧化刻蚀 CF 等参数 ,研究不同含量和不同刻蚀时间的 CF 合成的 CF/PU 复合材料的应力-应变性能和热性能。

3.2 不同处理方法对 CF/PU 复合材料应力-应变性能的影响

通过应力-应变性能的评价 CF 在 PU 中的分散性和相容性。若分散差 ,会发生团聚现象 ,导致应力传递的不连续性 ,最终可导致其强度性能降低。

3.2.1 由不同偶联剂处理的 CF/PU 复合材料的应力-应变性能

由 KH5501、KH602、TCA-K44 处理 CF 和未处理 CF/PU 复合材料的应力-应变性能见图 1。CF 质量分数均为 1% ,PTMG/MDI 预聚物的 NCO% 为 10.0% ,合成方法同上。

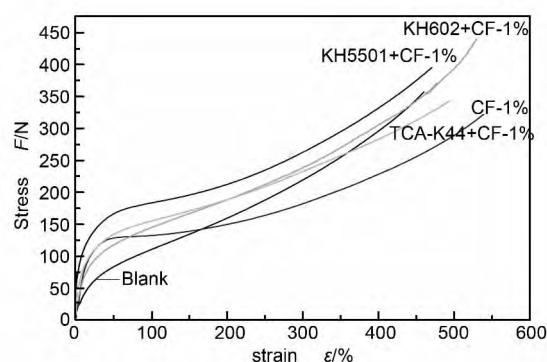


图 1 不同表面处理 CF 复合材料的应力-应变性能

Fig. 1 Stress-strain curves of the composite with the different surface treated CF.

由图 1 可知 ,当 CF 含量为 1% 时 ,样品均呈典型的橡胶拉伸行为: 高强度、高伸长和低模量。偶联剂 KH5501 和 KH602 处理的 CF/PU 在不同应变时的模量均高于未处理 CF 和未加 CF 的 PU ,这就说

明用其处理的 CF 与 PU 基体具有较好的分散性和相容性。TCA-K44 处理的 CF/PU 复合材料的模量在应变高于 350% 时却低于基体材料,说明在拉伸过程中,随着应力的增大,CF 与基体之间的黏接力较弱并遭到破坏。未处理 CF/PU 复合材料则当应变高于 175% 之后,其模量低于基体材料,说明未处理 CF 加入 PU 材料中不仅起不到增强作用,反而对基体材料的性能起破坏作用。三种偶联剂中以 KH5501 的模量最高,说明其处理效果最佳。

3.2.2 由不同含量的 KH5501 处理 CF/PU 复合材料的应力-应变性能

由图 2 可以看出,随着 CF 含量由 1% 增至 5%,其模量有较大提高,断裂伸长率呈降低趋势,这是由于随着 CF 含量的增大,复合材料的硬度和刚性提高。当 CF 为 5% 时,断裂伸长率约为 120%,且在曲线上出现明显的屈服点,可能是由于在软段中分散的 CF 束的破坏。通常 CF 的伸长率约为 2%,说明偶联剂处理后的 CF 与基体的粘接性较好。

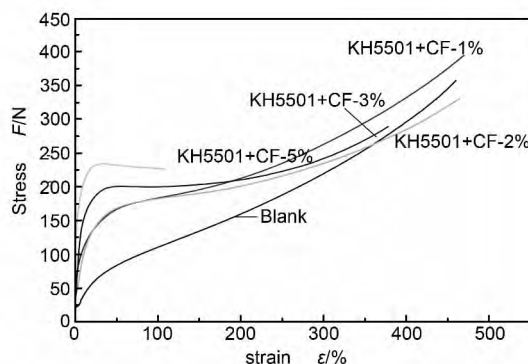


图 2 不同 CF 含量复合材料的应力-应变性能

Fig. 2 Stress-strain curves of the composite with different CF contents.

3.2.3 浓硝酸氧化刻蚀时间的影响

硝酸浓度为 65% ~ 68%,温度为 80 °C,氧化时间分别为 30、60、和 90 min。CF 含量为 1%,合成工艺条件同上,不同刻蚀时间的应力-应变曲线见图 3。

由图 3 可知,不同的刻蚀时间对 CF/PU 复合材料的机械性能影响也较大。刻蚀 30 和 60 min 的应力-应变曲线差别较小,但其机械性能明显高于纯 PU 和未处理 CF 材料的性能。说明硝酸刻蚀 30 和 60 min 的 CF 与 PU 基体的相容性和黏结性较好,CF 可以很好的传递和分散应力。而刻蚀 90 min 的 CF 却与纯 PU 和未处理 CF 的相近。当应变高于 275% 之后反而更差,这是由于长时间氧化刻蚀会损

伤 CF 自身的性能甚至造成缺陷^[11]。当应力作用于复合材料时,CF 不能起到连续传递应力的作用而产生应力集中从而使材料破坏。

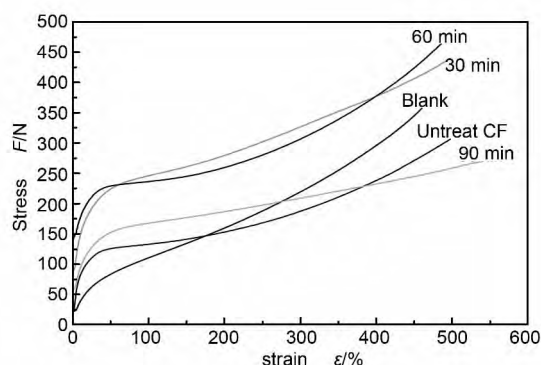


图 3 CF 不同氧化处理时间复合材料的应力-应变性能

Fig. 3 Stress-strain curves of the composite with the different oxidation treated times of CF.

3.3 不同处理方法对 CF/PU 复合材料的耐热性的影响

PU 结构中含有多个氨基甲酸酯、脲基、酯基、醚基、缩二脲基和脲基甲酸酯基团等强极性基团。其中的缩二脲基和脲基甲酸酯基是其薄弱环节,通常在 150 °C 甚至在 120 °C 就有可能分解。加之 PU 在较高温度下或在重复应力作用下使用,分子内摩擦产生内生热积累而导致分子链断裂,使用寿命缩短。CF 具有良好的导热性和高强度,因此 CF/PU 复合材料一方面可通过 CF 优良的导热性使分子内生热导出;另一方面则通过良好的应力传递使应力得到分散从而使材料的耐热性得到改善。

不同处理方法和不同 CF 含量的 CF/PU 复合材料的 TG 曲线分别见图 4、5 和 6,由 TG 曲线得到的结果见表 3。

由 TG 曲线和表 3 中可以看出,CF/PU 复合材料的热分解同样按两步法降解机理进行,即第一步为硬段的分解,均为 280 ~ 350 °C,第二步为软段的分解,为 350 ~ 460 °C。由图 4 和表 3 可以看出,KH5501 处理 CF 的起始分解温度最高,为 290 °C,比其他几种高出约 10 °C,其第一阶段硬段的失重速率基本相同,第二阶段软段的分解速率却明显不同,三种偶联剂处理的 CF 的分解速率均低于未处理 CF。说明经偶联剂处理的 CF 与 PU 软段之间的作用力较强。CF 在 PU 基体中类似于硬段分散在软段中起填料粒子的补强作用。

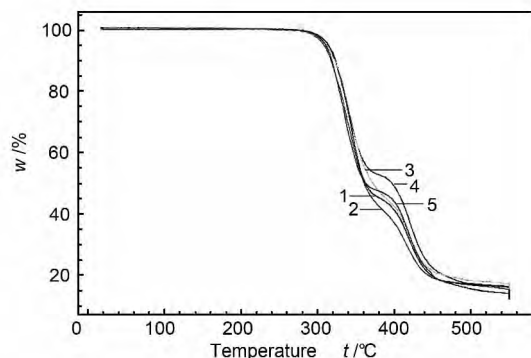


图 4 不同表面处理 CF 复合材料的 TG 曲线

Fig. 4 TG curves of the composites with the different surface treated CF.

(1—Blank, 2—Untreated CF-1%, 3—KH5501 + CF-1%, 4—KH602 + CF-1%, 5—TCA-K44 + CF-1%).

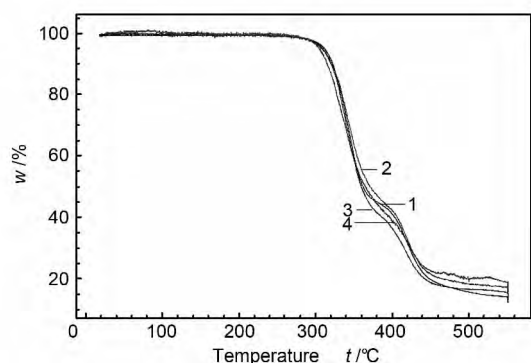


图 5 不同 CF 含量复合材料的 TG 曲线

Fig. 5 TG curves of the composite with different CF contents.

(1—Blank, 2—KH5501 + CF-1%, 3—KH5501 + CF-3%, 4—KH5501 + CF-5%).

由图 5 可知,对于由 KH5501 处理的 CF,随着 CF 含量由 1% 增至 5%,其耐热性并没有明显的提

高,相比较而言,以 1% 最佳。这是由于随着 CF 含量的提高,复合材料的粘度明显增大,导致 CF 在基体中的分散明显变差。

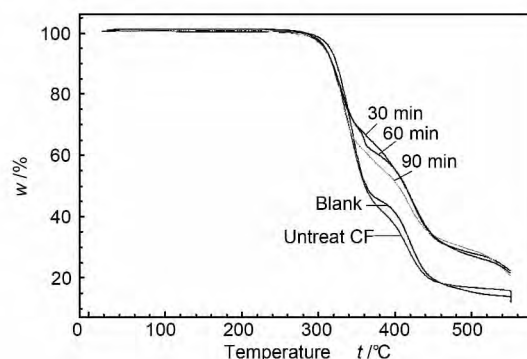


图 6 CF 不同氧化处理时间复合材料的应力-应变曲线

Fig. 6 Stress-strain curves of the composite with the different oxidation treatment time of CF.

由图 6 可知,硝酸刻蚀的 CF/PU 复合材料在第二步的分解速率比未处理 CF 和未加 CF 的样品明显降低。说明硝酸刻蚀的处理效果更好。综合几种处理方法在第一阶段以硝酸氧化刻蚀 30 min 的失重率 29.38% 最低,比未加 CF 的 PU 和未处理的 CF/PU 降低约 25%。几种偶联剂处理的 CF/PU 中以 KH-5501-1% 较好,约降低 15%。在第二阶段则以硝酸氧化刻蚀 60 min 的失重率 31.41% 为最低。综合两个阶段的总失重率,以硝酸氧化刻蚀 60 min 的总失重率 66.31% 为最低。几种偶联剂处理的 CF/PU 也均低于未加 CF 的 PU 和未处理的 CF/PU。结合前面讨论的应力-应变曲线可知:硝酸氧化刻蚀较偶联剂处理的效果较好;硝酸氧化刻蚀以 $80^{\circ}\text{C} \times (30 \sim 60) \text{ min}$ 为最佳。

表 3 热失重分析结果

Table 3 Results of TG analysis.

Samples	$t_0 / ^{\circ}\text{C}$	First step $t / ^{\circ}\text{C}$	Weight loss $w / \%$	Second step $t / ^{\circ}\text{C}$	Weight loss $w / \%$	All weight loss $w / \%$
Blank	280	280-350	39.15	350-460	42.03	81.18
Untreated CF-1%	280	280-350	40.27	350-460	40.39	80.96
KH5501-1%	290	290-350	34.73	350-460	43.79	78.52
KH5501-3%	290	290-350	37.92	350-460	40.27	78.19
KH5501-5%	290	290-350	39.91	350-460	37.42	77.33
TCA-K44-1%	280	280-350	42.62	350-460	38.68	81.3
KH602-1%	280	280-350	35.83	350-460	43.29	79.12
Oxidation of nitric acid-30 min	280	280-350	29.38	350-460	38.04	67.42
Oxidation of nitric acid-60 min	280	280-350	34.90	350-460	31.41	66.31
Oxidation of nitric acid-90 min	280	280-350	30.45	360-460	37.40	67.85

3.4 不同处理方法制备的复合材料断面的扫描电镜分析

在复合材料的制备过程中,最常遇到的问题即是两相的分散和相容性问题。CF/PU 复合材料同样存在 CF 在 PU 母体中的分散以及 CF 与 PU 的相容性问题。PU 具有较强的极性,而 CF 的极性很弱,按照极性相似相容的理论,二者的相容性差,加之 PU 弹性体本身的黏度大,CF 在 PU 弹性体中的分散也有很大的难度。

笔者采用原位聚合法首先将 CF 高速分散在原材料聚醚多元醇中,然后再与异氰酸酯反应合成预

聚体,继而再加扩链剂硫化成型,此方法在一定程度上对改善 CF 在 PU 中的分散起到一定的作用;同时通过不同的表面处理技术对 CF 表面处理以期改善 CF 和 PU 的相容性和结合力。

图 7 为通过不同的表面处理的 CF/PU 复合材料的扯断断面电镜照片。可以看出,未处理 CF 与 PU 基体之间形成空隙,说明 CF 与 PU 的界面黏接性较差,而经表面处理后 CF 在 PU 中的分散和二者之间的黏接均有不同程度的改善。几种处理方法中以浓硝酸氧化刻蚀的界面黏接效果最好,其次是 KH5501,这与以上各项分析结果一致。

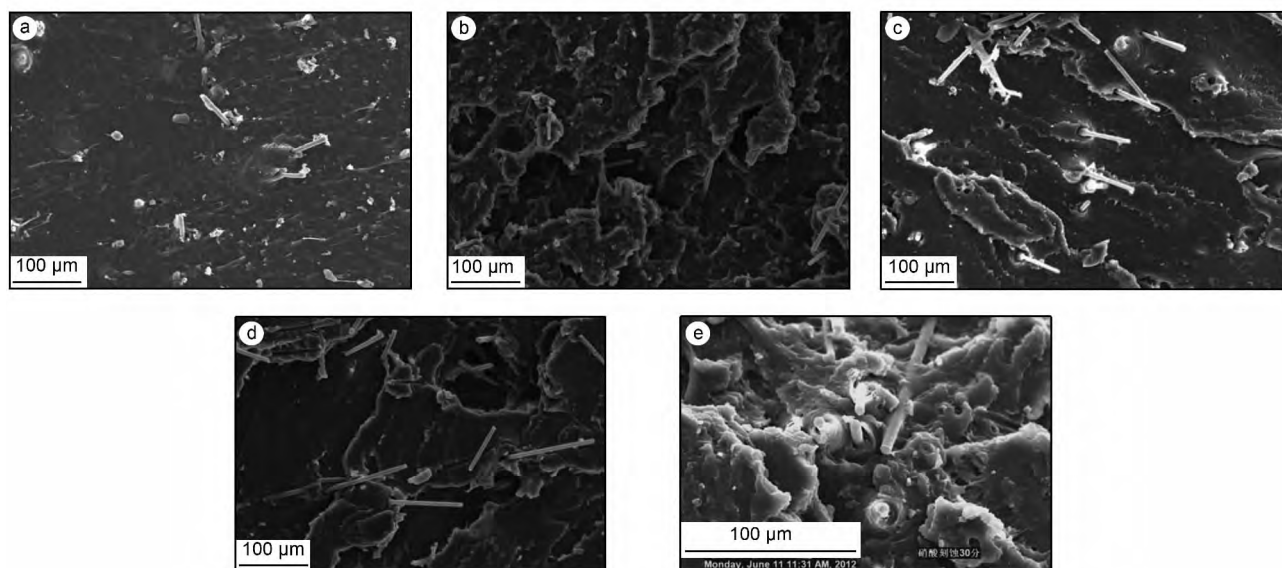


图 7 不同表面处理 CF 复合材料的扫描电镜照片

(a: 未处理 CF、b: KH602 处理、c: KH5501 处理、d: TCA-K44 处理、e: 硝酸氧化处理)

Fig. 7 SEM images of the composites with the different surface treated CF.

(a: Untreated CF, b: KH-602, c: KH5501, d: TCA-K44 and e: 30 min).

4 结论

采用原位聚合法和浇注模压工艺通过不同种类的偶联剂和不同的浓硝酸氧化刻蚀时间对 CF 进行表面处理制备了一系列的 CF/PU 复合材料。通过不同种类的偶联剂和浓硝酸氧化刻蚀对 CF 表面处理可在一定程度上改善 CF 在 PU 基体中的分散性和相容性。浓硝酸氧化刻蚀比偶联剂处理的效果更好,尤以刻蚀 30~60 min 的效果最佳;几种偶联剂中以氨基硅烷类 KH5501 效果最佳。复合材料扯断断面的扫描电镜分析进一步证明硝酸氧化刻蚀较偶联剂处理的效果更好。

参考文献

[1] Jenő Borda, Sándor Kéki, István Ráthy, et al. Novel polyure-

thane elastomer continuous carbon fiber composites: Preparation and characterization [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2007, 103: 287-292.

[2] Mallikarjuna Shroff Rama, Sivaram Swaminathan. Influence of structure of organic modifiers and polyurethane on the clay dispersion in nanocomposites via in situ polymerization [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 118: 1774-1786.

[3] Tara B Richardson, Mirna A Mosiewicki, Cihan Uzunpinar, et al. Study of nanoreinforced shape memory polymers processed by casting and extrusion [J]. Polym Compos, 2011, 32: 455-463.

[4] Marino Lavorgna, Pierfrancesco Cerruti, Gianluca Casula, et al. Curing characteristics and mechanical properties of carbon fiber-interlayered fabric composites based on a polyurethane matrix [J]. Advances in Polymer Technology, 2007, 26(2): 132-145.

[5] Fabian Buffa, Gustavo A Abraham, Brian P Grady. Effect of nano-tube functionalization on the properties of single-walled carbon nano-

- tube/polyurethane composites[J]. Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, 2007, 45(4): 490-501.
- [6] Shahrul Azam Abdullah, Azhar Iqbal, Lars Frommann. Melt mixing of carbon fibers and carbon nanotubes incorporated polyurethanes[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008, 110: 196-202.
- [7] WU Heng, FAN Shang-wu, YUAN Xiao-wen, et al. Fabrication of carbon fibers from jute fibers by preoxidation and carbonization[J]. New Carbon Materials, 2013, 28(6): 448-453.
- [8] 董 振, 赵雨花, 李其峰, 等. 碳纤维/PU 复合材料的制备与性能研究[J]. 聚氨酯工业, 2013, 28(4): 28-31.
(DONG Zhen, ZHAO Yu-hua, LI Qi-feng, et al. The preparation and property of carbon fibers/polyurethane composites[J]. Polyurethane Industry, 2013, 28(4): 28-31.)
- [9] 季春晓, 刘礼华, 曹文娟. 碳纤维表面处理方法的研究进展[J]. 石油化工技术与经济, 2011, 27(2): 57-61.
(JI Chen-xiao, LIU Li-hua, CAO Wen-juan. Advance on research of carbon fiber surface treatment methods[J]. Technology & Economics in Petrochemicals, 2011, 27(2): 57-61.)
- [10] 王 赫, 刘亚青, 张 斌. 碳纤维表面处理技术的研究进展[J]. 合成纤维 SFC, 2007, (1): 29-32.
(WANG He, LIU Ya-qing, ZHANG Bin. Development of the surface modification technology of carbon fiber[J]. Synthetic Fiber in China, 2007, (1): 29-32.)
- [11] 吴 庆, 陈惠芳, 潘 鼎. 碳纤维表面处理综述[J]. 炭素, 2000, (3): 21-25.
(WU Qing, CHEN Hui-fang, PAN Ding. Surface treatment of carbon fiber[J]. Carbon (China), 2000, (3): 21-25.)

Instructions to Authors

New Carbon Materials is a bimonthly journal published with the permission of the Ministry of Science and Technology and of the State News and Publication Agency. The journal is sponsored by the Institute of Coal Chemistry, Chinese Academy of Sciences, and is published by Science Press.

Aims and Scope

New Carbon Materials publishes research devoted to the physics, chemistry and technology of those organic substances that are precursors for producing aromatically or tetrahedrally bonded carbonaceous solids, and of the materials that may be produced from those organic precursors. These materials range from diamond and graphite through chars, semicokes, mesophase substances, carbons, carbon fibers, carbynes, fullerenes and carbon nanotubes, etc. Papers on the secondary production of new carbon and composites materials (for instance, carbon-carbon composites) from the above mentioned various carbons are also within the scope of the journal. Papers on organic substances will be considered if research has some relation to the resulting carbon materials.

Manuscript Requirements

1. *New Carbon Materials* accepts Research Papers, Short Communications and Reviews.
2. Manuscript including an abstract, graphical abstract, highlight, keywords, reference list, original figures and captions, tables. Manuscripts can be written both in Chinese and English.
3. Manuscript should be accompanied with key words placed after Abstract and a short resume of first author (name, academic degree, professional position) placed in the end of 1st page of text as foot-note. Corresponding author and his (her) E-mail address should also be mentioned.
4. All illustrations, photographs, figures and tables should be on separate sheets, figure captions should be typed separately, not included on the diagram. Authors are requested to submit original photographs, which should have good contrast and intensity.
5. References should be individually numbered in the order in which they are cited in the text, and listed in numerical sequence on separate sheets at the end of the paper, typed in double spacing. Remember that "unpublished works" are not references! In the reference list, periodicals [1], books [2], multi-author books with editors [3], proceedings [4], patents [5], and thesis [6] should be cited in accordance with the following examples:
 - [1] Mordkovich V Z, Baxendale M, Yoshimura S, et al. Intercalation into nanotubes. Carbon, 1996, 34(10): 1301-1303.
 - [2] Lovell D R. Carbon and High-Performance Fibers Directory. 5th ed., London: Chapman & Hall, 1991: 66.
 - [3] Mochida I, Korai Y. Chemical characterization and preparation of the carbonaceous mesophase. In: Bacha J D, Newman J W, White J L, eds. Petroleum-Derived Carbons. Washington DC: ACS, 1986, 29-31.
 - [4] Su J, Li G, Hao Z. The research and application of copper impregnated coarse-grain graphite throat. 23rd Int'l Biennial Conference on Carbon, Extended Abstract and Program, July 18-23, Pennsylvania 1997, 256-258.
 - [5] Shigeki T, Jinichi M, Hiroshi H. Manufacture of mesocarbon microbeads. JP 61-222913, 1986.
 - [6] Jones L E. The Effect of Boron on Carbon Fiber Microstructure and Reactivity. Ph. D. Thesis. Penn State University, University Park, PA 1987.

Note: For the references with more than three authors, please give the first three and mark "et al".

6. Publication of papers in the journal is free of charge. Authors whose paper is published in the journal will receive 10 free offprints and 2 copy of this journal soon after its coming out.

7. Manuscript Submission: Online submission: <http://xxtcl.sxice.ac.cn/EN/volumn/home.shtml>