

文章编号: 1007-8827(2006)04-0343-06

碳纤维阳极氧化法表面改性

郭云霞, 刘 杰, 梁节英

(北京化工大学 国家碳纤维工程与技术研究中心, 北京 100029)

摘 要: 采用阳极氧化法对聚丙烯腈(PAN)基碳纤维进行表面改性,利用原子力显微镜(AFM)、X 射线光电子能谱(XPS)、扫描电子显微镜(SEM)和动态力学热分析(DMTA)对碳纤维表面改性效果进行了研究。研究结果表明,碳纤维经适当的阳极氧化表面改性后,表面的粗糙度和比表面积增大,表面羟基含量提高 31%,羰基含量提高 61%。表面改性碳纤维增强树脂基复合材料(CFRP)较未改性碳纤维 CFRP,玻璃化温度(T_g)升高,损耗角正切峰值($\tan\delta_{\max}$)降低,定量计算出的界面黏结参数 A 和 α 与 CFRP 的层间剪切强度(ILSS)所反映的碳纤维与树脂间界面黏结效果一致。采用适当的改性条件可使 CFRP 的 ILSS 提高 25%,纤维抗拉强度仅损失 5%。

关键词: 碳纤维;阳极氧化;表面改性;碳纤维增强树脂;动态热力学分析

中图分类号: TQ 342.742

文献标识码: A

1 前言

碳纤维具有高比强度、高比模量、耐高温、耐腐蚀、热膨胀系数小等一系列优异性能而被喻为当今材料综合性能的顶峰,是 21 世纪的黑色革命,被广泛应用于航空航天等高科技领域^[1-6]。但是,研究者们发现^[7-10],未经表面处理的碳纤维,活性比表面积小(一般 $<1\text{ m}^2/\text{g}$),表面能低,表面呈现憎液性,当与基体树脂复合时,两相界面的浸润性和黏结性很差,因而使得碳纤维某些优异性能难以充分发挥。因此,碳纤维表面改性的研究具有极其重要的意义。

在诸多的碳纤维表面处理方法中^[11-18],仅有阳极氧化法,反应缓和,条件易于控制,处理效果显著,易于与碳纤维工业生产线相连接。目前,许多国外的研究采用 KNO_3 ^[12,13]、 H_3PO_4 ^[14,15]、 NaHCO_3 ^[16]、 $\text{NH}_4\text{HCO}_3 \cdot \text{NH}_2\text{COONH}_2$ ^[17]等电解液来改善碳纤维表面的性能,另有研究^[19,20]发现液氨的使用有助于碳纤维复合材料(CFRP)层间剪切强度(ILSS)的提高。笔者采用 $\text{NH}_4\text{HCO}_3/\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 复合体系进行碳纤维表面改性,发现适宜电解条件下处理后的 CFRP 的 ILSS 可以提高 25%,而抗拉纤维强度仅损失 5%。

本文主要报道利用动态力学热分析(DMTA)研究碳纤维复合材料在动态条件下力学性能的变化,

同时结合碳纤维抗拉强度及其 CFRP 的 ILSS 的变化来表征阳极氧化法对碳纤维表面的处理效果。另外,运用原子力显微镜(AFM)、X 射线光电子能谱(XPS)、扫描电子显微镜(SEM)等先进分析手段对改性后的碳纤维表面进行观察和分析。

2 实验

2.1 原材料

PAN 基碳纤维:1k 无浆料,吉林炭素厂生产。
碳酸氢铵:分析纯,北京世纪红星化工有限公司生产。
三乙烯四胺:分析纯,北京化学试剂公司生产。
环氧树脂 618:星辰化工无锡树脂厂生产。

2.2 碳纤维表面处理过程

碳纤维首先经清洗槽清洗,然后在一定的电解条件下(电解温度 30°C 、电解时间 90 s、电流强度分别为 $1.3\text{ mA}/\text{cm}^2$ 、 $1.5\text{ mA}/\text{cm}^2$ 、 $1.6\text{ mA}/\text{cm}^2$ 、 $1.7\text{ mA}/\text{cm}^2$),以碳纤维为阳极,于电解槽内进行阳极氧化表面处理,之后再经清洗、干燥、表面上胶、干燥、收卷,得到表面改性后的碳纤维。

2.3 碳纤维复合材料的制样

以环氧树脂 618 为基体,三乙烯四胺为固化剂,分别与阳极氧化表面处理前后的碳纤维按照 GB3357-82 制成 CFRP 测试样条。

收稿日期:2006-07-14; 修回日期:2006-11-26

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50333070),国家自然科学基金(50673011)。

通讯作者:刘 杰,E-mail: liuj@mail.buct.edu.cn

作者简介:郭云霞(1973-),女,山西榆次人,博士生,主要从事碳纤维阳极氧化表面改性工艺与机理的研究。E-mail: guoyx123@sohu.com

2.4 分析测试

用美国 Nanoscope III a 型原子力显微镜观察碳纤维表面形貌。

用英国 VG 公司生产的 ESCA lab 2202-XL 型 X 射线光电子能谱仪,分析碳纤维表面化学成分。射线源为 ALK_α , 射线辐射功率为 $15 \text{ kV} \times 20 \text{ mA}$ 。

用英国 GAMBRIGE STREOSCAN 250MK₃ 扫描电子显微镜观察 CFRP 断口形貌。

用美国 Rheotric Scientific 公司 DMTA-V 型动态机械热分析仪,测试 CFRP 的动态力学性能。变形方式为三点弯曲,频率为 1 Hz ,升温速率为 $5^\circ\text{C}/\text{min}$,温度范围为 $50^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ 。

用英国 INSTRON-1121 型万能材料试验机测试 CFRP 层间剪切强度。跨厚比 5:1,十字头下降速度为 $2 \text{ mm}/\text{min}$ 。

3 结果与讨论

3.1 碳纤维的表面形貌

图 1 阳极氧化前后碳纤维的 AFM 图(扫描范围为 $3 \mu\text{m}$),其中图 1(a)为未处理的碳纤维表面,其 CFRP 的 ILSS 为 70.8 MPa ;1(b)为经阳极氧化后的碳纤维表面,其 CFRP 的 ILSS 为 88.2 MPa 。从图 1 中可以清晰地看到,碳纤维在未经表面处理之前,其表面呈现出许多浅而窄的沿纤维轴向平行排列的沟槽,这是 PAN 基碳纤维生产过程中原丝自身缺陷造成的^[21];经表面氧化处理后,碳纤维表面的轴向沟槽不仅明显加宽加深,且其内表面由平滑变为粗糙不平的颗粒状,这是阳极氧化刻蚀的必然结果。

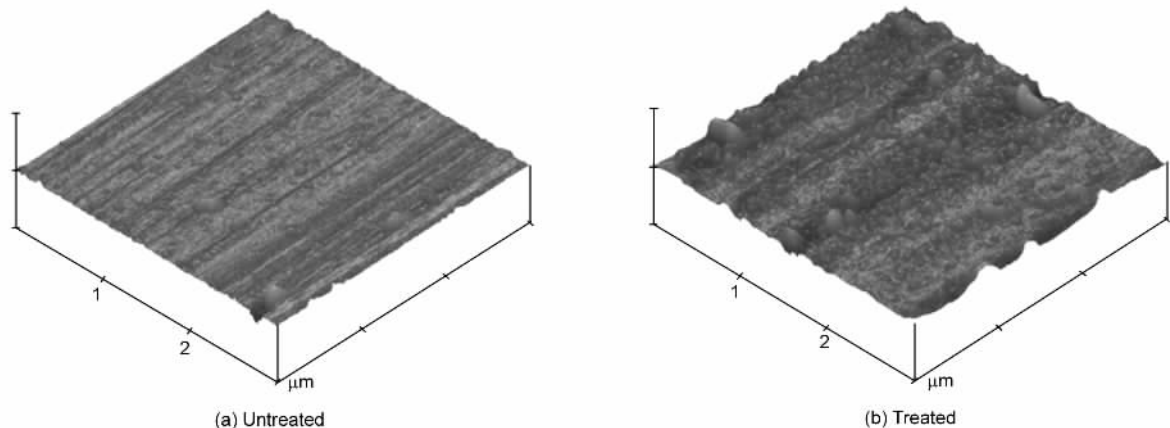


图 1 碳纤维表面的 AFM 图

Fig. 1 AFM micrographs of carbon fiber surface

碳纤维在阳极氧化处理过程中,表面被氧化刻蚀,使碳纤维的表面粗糙度提高,比表面积相对增大。当与树脂形成复合材料时,由于碳纤维比表面积的增加,使得纤维与树脂间更容易产生物理键合,即所谓的锚定效应,从而使 CFRP 的 ILSS 明显提高。

3.2 碳纤维表面的化学成分

利用 XPS 对阳极氧化前后的碳纤维表面化学成分进行分析,结果见表 1。由表 1 中可知,碳纤维在未进行阳极氧化处理时,表面已经有相当量的氧,并以 $\text{C}-\text{O}$ 、 $\text{C}=\text{O}$ 或 $\text{O}-\text{C}-\text{O}$ 、 $\text{COO}-$ 等基团的形式存在,这是由于碳纤维生成过程中纤维本体脱氧至表面以及碳纤维从炭化炉出来时,表面被空气氧化所致^[22,23]。碳纤维经不同的电流密度处理后,表面官能团含量不同。随着电流密度的提高,羟基

与羰基含量先增大后减小(在电流密度为 $1.5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 时,羟基与羰基含量最大,分别较未处理前提高 31% 和 61%),这与 CFRP 的 ILSS 的变化规律一致,但 $\text{C}-\text{C}$ 键和羧基含量则相反。这是由于碳纤维在阳极氧化过程中,随着氧化程度的不断加深,表面的不饱和碳原子先后被氧化成羟基、羰基和羧基,且表面原有含氧官能团的氧化也在同时进行。然而,由于羧基不太稳定,极易释放出 CO_2 ,导致其含量降低。有研究认为^[24]对碳纤维进行表面改性时,应尽量控制少产生羧基。因为形成羧基,需两个氧原子与碳原子键合,结果会导致碳纤维表面石墨微晶的六元环遭到断裂,破坏石墨微晶的边缘部分,使得与羧基相连的碳层变脆。这样即使羧基与树脂黏结得很牢固,但易碎的碳层仍会使 CFRP 的 ILSS 下降。

表 1 碳纤维阳极表面处理后 XPS 表面化学分析结果

Table 1 XPS analysis result of surface chemistry of untreated and treated carbon fibers

Current indensity	$J/mA \cdot cm^{-2}$	ILSS	τ/MPa	C—C	$x/\%$	C—OH	$x/\%$	C=O	$x/\%$	COOH	$x/\%$
0		70.8		68.6		18.9		7.5		5.0	
1.3		78.0		62.7		21.9		10.5		4.9	
1.5		88.2		58.6		24.8		12.1		4.6	
1.7		72.5		61.0		23.7		10.6		4.8	

3.3 碳纤维复合材料剪切断面形貌

图 2 是 SEM 观察阳极氧化前后 CFRP 的剪切断面形貌图。其中,图 2(a)为碳纤维未经表面改性的 CFRP 的剪切断面,其 ILSS 为 70.8 MPa;图 2(b)为经阳极氧化处理后的 CFRP 的剪切断面,其 ILSS 为 88.2 MPa。从图 2(a)中,可以明显区分出碳纤维断面和分布于纤维断面之间的基体树脂。同时,还可以看出有纤维拔出留下的孔洞,与未拔出纤维和

基体树脂间存在的明显缝隙。说明,表面未经改性处理的碳纤维与基体树脂间的黏结性相当差。这是由于碳纤维表面的惰性而导致其复合材料的界面强度低,不能有效传递载荷,因此在较低载荷下就可出现初始裂纹,即呈现出较低的 ILSS。图 2(b)则不同,纤维与树脂结合紧密,没有明显的间隙,表现出良好的黏结效果,需要在较高的剪切力下才能使其发生断裂,故而表现出 ILSS 显著提高。

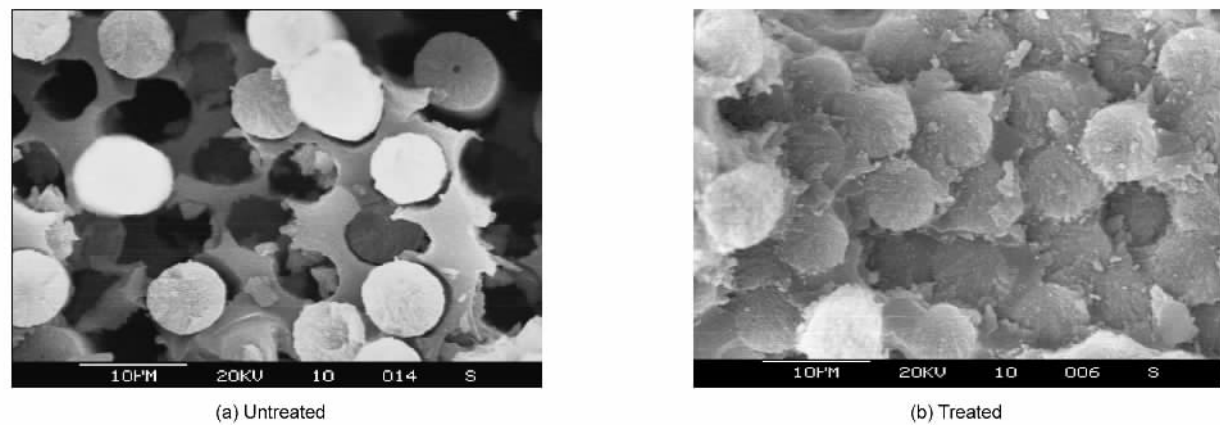


图 2 CFRP 剪切断口的 SEM 图

Fig. 2 SEM micrographs of cross-section of CFRP

3.4 碳纤维复合材料的动态力学性能

3.4.1 碳纤维复合材料的界面性能

图 3 为经阳极氧化表面处理前后的 CFRP 的储能模量与温度的关系图。由图 3 可知,当温度较低时,环氧树脂处于玻璃态,其分子链段的运动被冻结,碳纤维与树脂分子束缚在一起,从而表现出较高的储能模量。但当温度升高到 120 ℃ 左右时(环氧树脂的 T_g 为 113.95 ℃),环氧树脂的分子链段开始自由运动,表现出储能模量急剧下降,但很快达到一个相对平稳的 E' ,进入环氧树脂的高弹区。从图 3 中还发现,经阳极氧化表面处理的 CFRP 的 E' 明显高于未经表面处理的 CFRP 的 E' 。研究表明^[25],在单向纤维增强体系中,垂直于纤维方向的储能模量主要取决于全部转变为界面的基体储能模量。碳纤维经表面改性后,表面引入了极性官能团(见表 1),

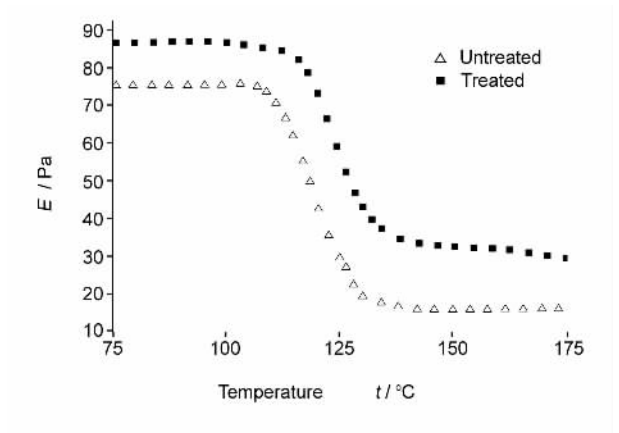


图 3 碳纤维复合材料储能模量与温度的关系

Fig. 3 Relationship of storage modulus and temperature of CFRP

表面活性点增加,改善了树脂对碳纤维的浸润性,两者间的黏结性得以提高,导致界面相的基体树脂含

量相对增加,结果使经阳极氧化处理的碳纤维增强树脂体系表现出较高的 E' 值。

3.4.2 CFRP 界面黏结性能的定量分析

为了进一步定量评价碳纤维与环氧树脂间的界面黏结性,测定了未经处理和经不同电流密度阳极氧化处理后碳纤维的 CFRP 的动态力学性能。

Lais Ibrarra^[25]提出用(1)式的参数 A 来评价界面黏结性能, A 值越小,表示界面黏结越强。

M. Ashida^[8]也提出 $\tan\delta_{\max}$ 与界面黏结强度存在(2)式的关系, α 值越大,表明界面黏合越好。

$$A = \frac{1}{1 - V_f} \times \frac{(\tan\delta_{\max})_c}{(\tan\delta_{\max})_m} - 1, \tag{1}$$

$$(\tan\delta_{\max})_c = (\tan\delta_{\max})_m - \alpha V_f, \tag{2}$$

式中 A 、 α 为表征界面黏结参数, V_f 填充剂的体积分数, $\tan\delta_{\max}$ 为损耗角正切峰值, c 、 f 、 m 分别代表填充体系、填充剂、聚合物基体。

利用 DMTA 谱图中的 $\tan\delta_{\max}$ 数据,根据上述(1)式和(2)式,分别计算出界面黏结参数 A 和 α 。表 2 为计算结果和对应 CFRP 的玻璃化温度、损耗角正切与层间剪切强度。

表 2 不同条件处理下 CFRP 的 T_g 、 $\tan\delta_{\max}$ 、界面黏结参数及其对应的力学性能

Table 2 T_g , $\tan\delta_{\max}$, interfacial adhesion parameter and mechanic performances of CFRP under different treating conditions

Current density	$J/\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$	$T_g/^\circ\text{C}$	$\tan\delta_{\max}$	A	α	σ_t/GPa	ILSS τ/MPa
0		120.68	0.2374	0.3556	0.3340	3.45	70.8
1.3		122.30	0.1685	-0.0378	0.4488	3.38	78.0
1.5		124.08	0.1576	-0.1000	0.4670	3.30	88.2
1.6		123.89	0.1653	-0.0561	0.4542	3.26	84.2
1.7		121.02	0.1876	0.0713	0.4170	3.60	72.5

碳纤维在进行阳极氧化表面处理时,随电流密度的增大,碳纤维表面的氧化反应不断加快,表面活性随之增加,以使 CFRP 的力学性能得到提高;当电流密度增大至一定数值后,进一步加大电流密度,随着氧化刻蚀程度的继续加深,表面羧基含量的增加反而不利于 CFRP 力学性能的提高。这样,随电流密度的增加,CFRP 的力学性能表现出峰值。但是氧化刻蚀的加深使得碳纤维表面微晶尺寸减小,表面缺陷减少,碳纤维的抗拉强度则又会有所提高。

4 结论

(1)碳纤维表面的 AFM 形貌表明,阳极氧化处理可使碳纤维表面轴向沟槽进一步加深加宽,表面粗糙度和比表面积增加,利于碳纤维与树脂基体间形成物理键合。

从表 2 可以看出,经阳极氧化表面处理碳纤维的 CFRP 的 T_g 比未处理的要高,说明经过阳极氧化处理后的碳纤维与树脂间的结合更加牢固,此结果从图 2(b)中可直观地看到。玻璃化转变温度反映的是分子链段冻结↔自由转变时的温度,当纤维与树脂牢固结合时,纤维与树脂形成了良好的界面,极大地束缚了环氧树脂主链段的运动,分子链段的刚性提高,增大了玻璃化转变所需要的温度,导致 T_g 升高。同时还可以观察到,经阳极氧化表面处理碳纤维的 CFRP 的 $\tan\delta_{\max}$ 比未处理的低,这也是由于形成的界面相作用的结果。界面相的存在减少了树脂在黏性形变中的能量损耗,从而表现出较低的 $\tan\delta$ 峰值。同时,还可以发现 CFRP 随阳极氧化处理条件(电流密度)的变化,ILSS 和 $\tan\delta_{\max}$ 也发生变化,出现峰值,适当的处理条件可使 CFRP 的 ILSS 比未处理的提高 25%,所计算的界面黏结参数 A 和 α 也符合这样的变化规律,即在最高 ILSS 和最低 $\tan\delta_{\max}$ 处, A 出现最小值, α 出现了最大值,这一结果验证了 Lais Ibrarra 和 M. Ashida 提出的界面黏结强度理论。

(2)碳纤维表面 XPS 化学成分分析结果表明,碳纤维经适当的阳极氧化处理后,表面羟基含量提高了 31%,羰基含量提高了 61%,纤维与树脂基体间的浸润性和黏结性得以改善。

(3)CFRP 剪切断口的 SEM 形貌观察表明,阳极氧化处理碳纤维表面,可以提高碳纤维与基体树脂间的黏结性,进而提高 CFRP 的力学性能。

(4)DMTA 分析表明:经阳极氧化表面处理碳纤维的 CFRP 的 $\tan\delta_{\max}$ 降低, T_g 升高。随碳纤维处理条件(电流密度)的变化, A 出现最小值, α 出现了最大值,此结果与 CFRP 的 ILSS 最大值相对应,可有效地表征碳纤维与树脂间的黏结效果。

(5)碳纤维经适当的阳极氧化处理后,可使 CFRP 的 ILSS 提高 25%,而纤维抗拉强度仅损失 5%。

参考文献

- [1] 贺 福, 王茂章. 碳纤维及其复合材料(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
(HE Fu, WANG Mao-zhang. Carbon Fibers and Composites (Second edition) [M]. Beijing: Press of Science, 1995.)
- [2] 李 晔, 黄启忠, 王林山. 树脂浸渍对炭/炭复合材料力学性能的影响[J]. 新型炭材料, 2003, 18(2): 117-122.
(LI Ye, HUANG Qi-zhong, WANG Lin-shan. Effect of resin impregnation on the mechanical properties of C/C composites [J]. New Carbon Materials, 2003, 18(2): 117-122.)
- [3] 苏君明, 杨 军, 肖志超, 等. C/C 复合材料飞机刹车盘的结构与性能[J]. 新型炭材料, 2006, 21(1): 81-89.
(SU Jun-ming, YANG Jun, XIAO Zhi-chao, et al. Structure and properties of carbon/carbon composite materials for aircraft brake discs [J]. New Carbon Materials, 2006, 21(1): 81-89.)
- [4] 赵东林, 沈增民, 迟伟东. 碳纤维及其复合材料的吸波性能和吸波机理[J]. 新型炭材料, 2001, 16(2): 66-72.
(ZHAO Dong-lin, SHEN Zeng-min, CHI Wei-dong. Radar absorption property and mechanism of carbon fiber and carbon fiber composites [J]. New Carbon Materials, 2001, 16(2): 66-72.)
- [5] 赵稼祥, 王曼霞. 复合材料用高性能炭纤维的发展和应用[J]. 新型炭材料, 2000, 15(1): 68-75.
(ZHAO Jia-xiang, WANG Man-xia. Development and application of high properties carbon fibers for composite materials [J]. New Carbon Materials, 2000, 15(1): 68-75.)
- [6] 陆安慧. 炭材料科学的研究现状和发展趋势——Carbon 2006 参会感[J]. 新型炭材料, 2006, 21(3): 285-288.
(LU An-hui. A brief overview on the Carbon 2006 conference [J]. New Carbon Materials, 2006, 21(3): 285-288.)
- [7] 贺 福, 杨永岗. 碳纤维表面处理的新方法[J]. 高科技纤维与应用, 2000, 25(5): 30-37.
(HE Fu, YANG Yong-gang. New method of surface treatment of carbon fibers [J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2000, 25(5): 30-37.)
- [8] 邵友林, 王伯羲. 碳纤维的表面除胶及表征[J]. 复合材料学报, 2002, 19(4): 29-32.
(SHAO You-ling, WANG Bo-yi. surface degelatin and characterization of carbon fibers [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2002, 19(4): 29-32)
- [9] 李 敏, 张佐光, 孙志杰, 等. 碳纤维的环氧树脂浸润特性[J]. 新型炭材料, 2006, 21(1): 75-80.
(LI Min, ZHANG Zuo-guang, SUN Zhi-jie, et al. Capillary impregnation of aligned carbon fiber beds with epoxy resins [J]. New Carbon Materials, 2006, 21(1): 75-80.)
- [10] 郭领军, 李贺军, 薛 晖, 等. 短切碳纤维增强沥青基 C/C 复合材料的组织特征[J]. 新型炭材料, 2004, 19(2): 119-123.
(GUO Ling-jun, LI He-jun, XUE Hui, et al. Microstructural characteristics of short carbon fiber reinforced pitch-based carbon/carbon composites [J]. New Carbon Materials, 2004, 19(2): 119-123.)
- [11] 杨永岗, 赵建国, 贺 福. 气液双效表面处理方法的应用[J]. 新型炭材料, 1999, 14(4): 49-52.
(YANG Yong-gang, ZHAO Jing-guo, HE Fu, et al. Application of gas-liquid phases double effectiveness surface tretament method [J]. New Carbon Materials, 1999, 14(4): 49-52.)
- [12] Pittman C U, Jr Jiang W, Yue Z R, et al. Surface area and pore size distribution of microporous carbon fibers prepared by electrochemical oxidation[J]. Carbon, 1999, 37(1): 85-96.
- [13] Yue Z R, W Jiang, Wang L, et al. Surface characterization of electrochemically oxidized carbon fibers[J]. Carbon, 1999, 37(11): 1785-1796.
- [14] Soo-Jin Park, Mun-Han Kim, Jac-Rock Lee, et al. Effect of fiber-polymer interactions on fracture toughness behavior of carbon fiber-reinforced epoxy matrix composites[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2000, 228(2): 287-291.
- [15] Soo-Jin Park, Mun-Han Kim. Effect of acidic anode treatment on CF for increasing fiber-matrix adhesion and its relationship to ILSS of composites[J]. Journal Material Science, 2000, 35(8): 1901-1905.
- [16] Soo-Jin Park, Byung-Jae Park. Electrochemically modified PAN-CF and interfacial adhesion in epoxy-resin composites [J]. Journal Material Science Letters, 1999, 18(1): 47-49.
- [17] Seung-Kon Ryu, Byung-Jae Park, Soo-Jin Park. XPS analysis of carbon fiber surfaces-anodized and interfacial effects in fiber-epoxy composites[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1999, 215(1): 167-169.
- [18] 刘鸿鹏, 吕春祥, 李永红, 等. 电化学表面处理 PAN 基碳纤维的表面性能研究[J]. 新型炭材料, 2005, 20(1): 39-44.
(LIU Hong-peng, LU Chun-xiang, LI Yong-hong, et al. Surface properties of electrochemically oxidized PAN-based carbon fibers [J]. New Carbon Materials, 2005, 20(1): 39-44.)
- [19] Febo Severini, Leonardo Formaro, Mario Pegoraro, et al. Chemical modification of carbon fiber surface [J]. Carbon, 2002, 40(5): 735-741.
- [20] Buttry D A, Peng J C M, Donnet Jean-Baptise, et al. Immobilization of amines at carbon fiber surfaces[J]. Carbon, 1999, 37(12): 1929-1940.
- [21] 王延相, 王成国, 朱 波, 等. 聚丙烯腈基碳纤维制备过程中的表面形态和结构研究[J]. 新型炭材料, 2005, 20(1): 51-57.
(WANG Yan-xiang, WANG Cheng-guo, ZHU Bo, et al. Changes in the surface morphology and microstructure in the preparation of PAN-based carbon fibers [J]. New Carbon Materials, 2005, 20(1): 51-57.)
- [22] 刘 杰, 王平华. PAN 基 ACF 的结构表征(Ⅱ)—氮元素与结合态变化的浅析[J]. 新型炭材料, 1999, 14(2): 26-31.
(LIU Jie, WANG Ping-hua. Structural characterization of PAN-based ACF (Ⅱ)— change of content and binding state of nitrogen [J]. New Carbon Materials, 1999, 14(2): 26-31.)
- [23] 刘 杰, 王平华. PAN 基 ACF 的结构表征—XPS 与元素分析[J]. 新型炭材料, 1999, 14(1): 48-54.
(LIU Jie, WANG Ping-hua. Structural characteristics of PAN-based ACF-XPS and element analysis [J]. New Carbon Materials, 1999, 14(1): 48-54.)
- [24] 吴 庆, 陈慧芳, 潘 鼎. 碳纤维表面处理综述[J]. 炭素, 2000(3): 21-25.
(WU Qing, CHEN Huei-fang, PAN Ding. Surface modification of carbon fiber [J]. Carbon (Chinese), 2000(3): 21-25.)
- [25] 过梅丽. 高聚物与复合材料的动态力学热分析[M]. 北京:

化学工业出版社, 2002. 29-60.

(GUO Mei-li. Dynamic Mechanical Thermoanalysis of Polymers

and Composites[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.

29-60.)

Surface modification of carbon fibers by anodic oxidation

GUO Yun-xia, LIU Jie, LIANG Jie-ying

(Beijing University of Chemical Technology, National Research Center of Carbon Fiber Engineering and Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The surface of polyacrylonitrile (PAN)-based carbon fibers (CFs)was modified by anodic oxidation and characterized by atomic force microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, scanning electron microscopy and dynamic mechanical thermal analysis. It was found that the roughness and specific surface area of the carbon fibers were increased after oxidation treatment. The contents of hydroxyl and carbonyl groups of the treated PAN-CFs were higher than those of the untreated ones. The loss tangent peak value ($\tan \delta_{\max}$) of the treated carbon fiber reinforced epoxy resin composites (CFRP) declined compared with the untreated ones, and the glass transition temperature of the epoxy resin was increased. The interlaminar shear strength (ILSS) of the CFRP can be increased by 25 % under an appropriate oxidative treatment, and the loss of tensile strength was only 5 % . The interfacial adhesion parameters A and α were quantitatively evaluated, and their values were consistent with the results of ILSS of CFRP.

Keywords: Carbon fiber; Anodic oxidation; Surface modification; CFRP; DMTA

Foudation item: Key Item National Natural Science Foundation of China (50333070) and National Natural Science Foundation of China (50673011).

Corresponding author: LIU Jie, E-mail: liuj@mail.buct.edu.cn

Author introduction: GUO Yun-xia (1973-), female, Ph. D. Student, engaged in the research of teachnics and mechanism of carbon fibers surface modification by anodic oxidation. E-mail: guoyx123@sohu.com.

《新型炭材料》与 Elsevier 合作出版英文网络版

自 2006 年第 4 期起《新型炭材料》与 Elsevier 出版集团合作出版英文网络版(*New Carbon Materials*), 《新型炭材料》英文网络版将与中文印刷版同步出版,其文章由英文来稿或本刊编委会从中文来稿中挑选优秀论文并由作者进行翻译。英文网络版中文章的引用信息与中文印刷版中的同一篇文章完全相同。

Elsevier,全球最大的科技及医学出版集团之一,总部在荷兰阿姆斯特丹,拥有被全球科研图书馆及科学家广泛接受的 ScienceDirect 在线出版传播平台。《新型炭材料》作为我国炭材料学科领域的一个学术窗口,反映了我国炭材料科学的发展水平,《新型炭材料》英文网络版的 ScienceDirect 在线出版,意味着本刊发表的文章将得到世界范围内研究者的更广泛的关注,有助于世界各国科学家了解中国炭材料领域的科研成果和发展动向,促进我国炭材料科学工作者与国际同行的学术交流。

立足中国,走向国际,借助于 ScienceDirect 这一强大的网络出版平台,努力将《新型炭材料》办成能代表炭材料学科基础研究、应用研究和高技术发展的国际性高水平学术期刊。

《新型炭材料》编辑部

2006 年 12 月