

尼龙 6 原位包覆碳纤维布的制备

doi:10.20269/j.cnki.1674-7100.2025.3008

孔奇胜 唐 慧 陈宪宏

湖南工业大学

包装工程学院

湖南 株洲 412007

摘 要: 采用 N,N 二甲基甲酰胺 (DMF) 浸渍、高温煅烧两种方法去除商用碳纤维布 (CFC) 表面环氧树脂上浆剂, 接着采用 γ -氨丙基三乙氧基硅烷 (KH550) 对处理后 CFC 进行表面修饰, 最后采用阴离子原位聚合制备尼龙 6 (PA6) 原位包覆碳纤维布的复合材料。采用扫描电子显微镜 (SEM)、傅里叶变换红外光谱 (FTIR)、X-射线光电子能谱 (XPS)、热失重分析 (TGA) 等对处理前后碳纤维布、PA6 原位包覆碳纤维布的复合材料进行表征, 并研究了去除方法、KH550 对碳纤维布表面修饰及阴离子原位聚合对 PA6 包覆碳纤维布的影响。结果表明: DMF 浸渍、高温煅烧处理均能有效去除商业碳纤维布表面的环氧树脂, 但高温煅烧处理的效果明显优于 DMF 浸渍的。经 KH550 修饰后的碳纤维布, 增强了其与己内酰胺 (CPL) 熔体的浸润性, 有利于 PA6 对碳纤维布表面的全方位包覆, 有效地解决了碳纤维布在 PA6 中分散不均匀、界面结合不牢的问题。

关键词: 尼龙 6; 碳纤维布; 表面改性; 热塑性复合材料

中图分类号: TB332

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2025)03-0062-07

引文格式: 孔奇胜, 唐 慧, 陈宪宏. 尼龙 6 原位包覆碳纤维布的制备 [J]. 包装学报, 2025, 17(3): 62-68.

1 研究背景

与短纤维、长纤维增强的聚合物基复合材料相比, 采用高性能纤维织物作为增强体的树脂基复合材料 (简称纤维织物复合材料), 因纤维的排列更加规则有序^[1], 整体结构更有利于纤维之间力的传递和承载, 从而赋予复合材料独特的增强效果, 如承载力高、耐冲击、不易破裂与剥离、易模压成型及可贴合复杂曲面而不发生褶皱等。纤维织物复合材料作为一种特殊的先进复合材料^[2], 已在电子产品和航空航天等高科技领域及特殊环境包装领域得到了广泛的应用^[3,4]。

碳纤维布 (carbon fiber cloth, CFC) 增强的热塑性复合材料更因碳纤维 (CF) 自身具有高比强度、耐高温、耐腐蚀、抗疲劳等优点^[5], 与其增强热固性复合材料相比, 具有可回收重复利用、可快速成型、抗冲击、易修复等优点^[6], 因此 CFC 增强的热塑性复合材料在大飞机、风力发电机叶片、汽车等领域的应用愈发广泛^[7]。

CFC 增强聚合物基复合材料的性能很大程度上取决于 CFC 与树脂基体间的界面结合强度与分散均匀性。目前, 商用 CFC 应用量最大的是在热固性环氧树脂领域。生产商为了满足市场需求, 通常采用

收稿日期: 2024-12-03

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (2022JJ50004)

作者简介: 孔奇胜, 男, 硕士生, 主要研究方向为聚合物基复合材料, E-mail: 1098517504@qq.com

通信作者: 陈宪宏, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事聚合物基复合材料及新能源电极材料研究,

E-mail: xianhongchen@hnu.edu.cn

环氧树脂上浆剂(具体化学成分处于保密状态)对 CFC 表面进行处理,以更好地满足下游企业的需求^[8]。然而,对 CFC 增强热塑性复合材料而言,目前商用的 CFC 不能直接应用,需要对 CFC 先进行表面处理与改性^[9],再与热塑性树脂基体进行复合,才能得到性能优异的 CFC 增强热塑性复合材料。由于 CFC 是由 CF 编织而成的,目前 CFC 表面改性方法主要是沿袭 CF 的表面改性,这已有大量的报道^[10]。但这些改性方法较复杂,实用性不强,且针对热塑性树脂的 CFC 表面改性研究比较少见,尤其是针对工程塑料尼龙类的报道更是罕见。

本研究针对 CFC 和尼龙 6 界面结合问题,以 N,N-二甲基甲酰胺(N,N-dimethylformamide, DMF)为溶剂,采用高温煅烧法去除商业 CFC 表面的环氧上浆料,然后利用 γ -氨基丙基三乙氧基硅烷(KH550)对其表面进行修饰;利用己内酰胺(caprolactam, CPL)在熔融状态下黏度低的特性,将 CPL 熔体浸渍改性后的 CFC,在此基础上,采用阴离子聚合^[11],引发浸渍在 CFC 上的 CPL 进行开环聚合,在 CFC 表面形成了 PA6 的原位包覆。这不仅有效地解决了 CFC 在 PA6 基体中分散不均匀的技术瓶颈,显著提高了 CFC 与 PA6 间的界面结合强度,还制备出 CFC 增强 PA6 先进复合材料,且制备方法简单有效,成本低。

2 实验部分

2.1 主要原材料和仪器

1) 主要原材料

CFC, T3000K, 苏州怀仁化纤有限公司; CPL, 聚合级, 中国石油化工股份有限公司石家庄炼化分公司; NaOH, 分析纯, 天津市恒兴化学试剂制造有限公司; 甲苯二异氰酸酯(toluene-2,4-diisocyanate, TDI), 分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司; KH550, 化学纯, 陶氏化学公司; DMF, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

2) 主要仪器

傅里叶变换红外光谱仪(FTIR), Bruker tensor 20 型, 德国 Bruker 公司; 场发射扫描电子显微镜(SEM), Phenom Pro 型, 赛默飞世尔科技公司; X 射线光电子能谱仪(XPS), K-Alpha 型, 美国 Thermo Scientific 公司; 热失重分析仪(TGA), Q50 型, 美国 TA 公司。

2.2 碳纤维布的表面改性

2.2.1 CFC 表面上浆料的去除

将 CFC 样品剪成 15 cm × 10 cm 的长条状, 共计 2 片。将第一片 CFC 置于盛有 DMF 溶液的三口烧瓶中浸渍, 加热回流 24 h, 取出得到 DMF 处理后的 CFC。将第二片 CFC 置于 400 °C 马弗炉中煅烧 2 h, 取出得到煅烧后的 CFC。所有样品用无水甲醇洗涤 5 次后于 60 °C 真空干燥 4 h, 依次标记为 DCFC、CCFC, 备用。

2.2.2 CFC 的表面修饰

1) KH550 溶液的配制

将无水乙醇与去离子水按体积比 9:1 配制成混合溶液, 向混合溶液中添加一定量的 KH550, 配制成质量分数为 3% 的 KH550 溶液, 混合均匀备用。

2) KH550 溶液修饰 CFC

将上述真空干燥后的 DCFC、CCFC 加入到 KH550 溶液中, 70 °C 下超声 70 min, 再将超声后的 DCFC、CCFC 转移至 70 °C 的烘箱中静置 12 h 后取出, 并用去离子水洗涤, 去除未反应的偶联剂 KH550, 最后于 80 °C 下干燥 8 h, 依次标记为 MDCFC、MCCFC, 备用。

2.3 尼龙 6 原位包覆碳纤维布的制备过程

1) CPL 的预处理

称取适量 CPL 置于三口烧瓶中, 然后将三口烧瓶置于油浴锅中加热至 130 °C, 采用减压蒸馏回流方法对 CPL 进行处理, 使其在减压的条件下脱水 30 min, 去除 CPL 中的水分。

2) CFC 的预热

将 MDCFC、MCCFC 按要求放入模具中, 然后将其置于真空干燥箱中, 升温到 160 °C 预热 1 h。

3) PA6 预聚液的准备

按照 $n_{\text{CPL}}:n_{\text{NaOH}}:n_{\text{TDI}}=1:0.0046:0.0046$ 的摩尔比, 在上述三口烧瓶中加入 NaOH, 并继续保持减压脱水 30 min; 解除真空后, 迅速将准备好的 TDI 添加至三口烧瓶中, 同时在温度恒定的情况下搅拌, 以保证反应物能够均匀混合。

4) PA6 原位包覆碳纤维布

快速将三口烧瓶中的预聚液倒入已经预热至 160 °C 的模具中, 使物料充分浸渍 MDCFC、MCCFC, 同时保持一定的真空度, 反应 10 min, 冷却脱模, 取出样品, 分别标记为 MDCFC/PA6、MCCFC/PA6。

2.4 表征与测试

1) FTIR 表征

将待测样品进行洗涤和充分干燥,在 400~4000 cm^{-1} 波数范围内,记录样品的 FTIR 光谱。

2) SEM 表征

将待测样品进行洗涤和充分干燥,制作成 1 $\text{cm} \times 1 \text{cm}$ 薄片。测试时,加速电压为 5 kV。碳纤维自身导电,拍摄其表面时,无需喷金处理;但在观察复合材料断面时,因树脂基 PA6 不导电,为了防止电子富集,预先进行喷金处理 60 s。

3) XPS 测试

将待测样品裁剪成 5 mm $\times$ 5 mm 样条并贴于样品盘上,在样品室的压力小于 0.2 Pa 时,将样品送入分析室,光斑大小为 400 μm ,工作电压为 12 kV,灯丝电流为 6 mA;全谱扫描通能为 150 eV,步长为 1 eV;窄谱扫描通能为 50 eV,步长为 0.1 eV。

4) TGA 测试

将 MDCFC/PA6、MCCFC/PA6 样品制作成 3 mg 左右的粉末并进行干燥处理。TGA 测试条件如下:升温速率为 25 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$;温区为 25~600 $^{\circ}\text{C}$;气氛为氮气。

3 结果与讨论

3.1 改性前后碳纤维布的表面性质

3.1.1 SEM 表征

由于 CFC 是由碳纤维(CF)编织而成,因此可以从 CF 表面性质的变化反映 CFC 表面的变化情况。图 1 为未改性的 CFC 样品,以及经过 DMF 浸渍、回流(DCFC),马弗炉煅烧的 CFC(CCFC)样品表面的 SEM 图。

由图 1a 可以看出,改性前的 CF 排列规整,颜色较深,表面光洁细腻、基本无缺陷,这种表面非常不利于 CF 与树脂基体之间的物理结合;仔细观察还可发现,部分纤维表面有大小不同的灰白色凸起物,这些凸起物来源于环氧树脂上浆剂。

图 1b 为经 DMF 浸渍洗涤后样品的 SEM 图。对比图 1a~b 可知,图 1b 中纤维表面更加光洁,颜色变浅,表面观察不到灰白色凸起物,说明上浆剂已去除干净。

由图 1c 可以看出,经过煅烧处理后样品的 SEM 图除了呈现与图 1b 相似的结果外,其表面还出现了凹陷的黑色部位,这表明煅烧不仅成功地去除了商

用 CFC 表面的上浆剂,还可显著提高纤维及 CFC 表面的粗糙度及比表面积,有利于与树脂基体的物理结合。对比图 1b~c 可知,煅烧处理的效果优于 DMF 浸渍对 CFC 表面的处理。

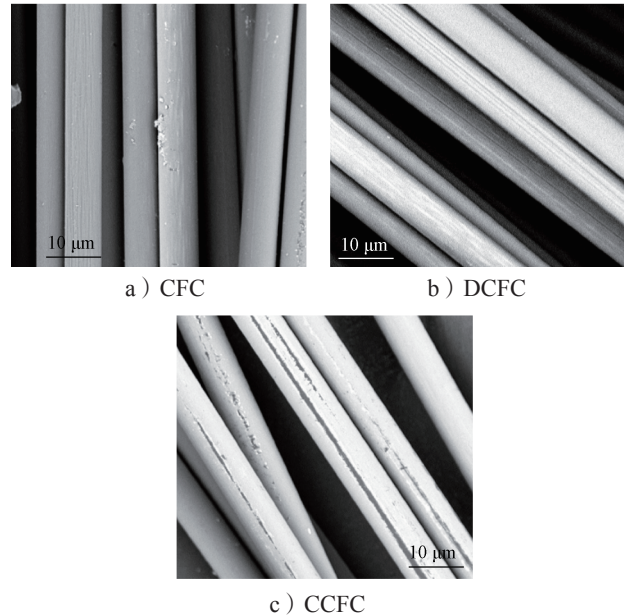


图 1 碳纤维布改性前后的 SEM 图

Fig. 1 SEM images of carbon fiber cloth before and after modification

3.1.2 FTIR 表征

经过 DMF 浸渍、回流,马弗炉煅烧及后续 KH550 改性后的 CFC 及未改性的 CFC 样品的红外光谱如图 2 所示。

由图 2 可知,CFC 的红外光谱中,918 cm^{-1} 处的吸收峰为环氧基团的特征吸收峰,1052 cm^{-1} 处为脂肪族醚的吸收峰,1380 cm^{-1} 处为双酚 A 中甲基弯曲振动吸收峰^[12, 13],这些结果表明商用 CFC 表面存在环氧树脂。经过 DMF 浸渍(DCFC)和煅烧(CCFC)处理后样品的红外光谱中,观察不到环氧树脂的特征吸收峰,说明 CFC 表面的环氧树脂已去除干净。此外,煅烧后的 CCFC 样品在 3769 cm^{-1} 附近出现了新的吸收峰,该峰归属于—OH 的伸缩振动,说明 CFC 经煅烧处理后表面被氧化。分别经过浸渍、煅烧处理,再经 KH550 表面改性的 MDCFC 和 MCCFC 样品,在 1094 cm^{-1} 处出现了 Si—O—C 的特征吸收峰,1228 cm^{-1} 处的吸收峰归属于 Si—O—Si 的特征吸收,在 2840 cm^{-1} 和 2909 cm^{-1} 处的吸收峰归属于亚甲基中 C—H 的伸缩振动,在 3494 cm^{-1} 处的吸收峰归属于氨基中 N—H 的伸缩振动^[14],这说明 KH550 已成

功接枝在 CFC 表面。此外, 对 MDCFC 和 MCCFC 样品在 KH550 吸收峰的位置进行比较可以发现, MCCFC 样品的 KH550 吸收峰的强度略强于 MDCFC 样品, 这说明 MCCFC 样品表面的 KH550 含量比 MDCFC 样品上的高, 进一步表明煅烧处理比 DMF 浸渍处理的效果更佳。

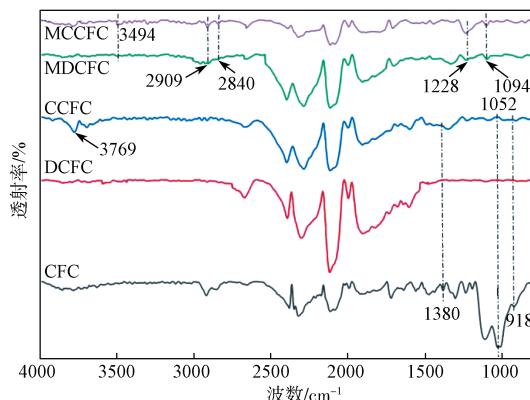


图2 CFC、DCFC、CCFC、MDCFC、MCCFC 红外光谱图

Fig. 2 Infrared spectra of CFC, DCFC, CCFC, MDCFC and MCCFC

3.1.3 XPS 分析

为进一步了解 DMF 浸渍、高温煅烧及 KH550 改性方式在 CFC 表面上的改性情况, 本研究对上述样品 (DCFC、CCFC、MDCFC、MCCFC) 进行了 XPS 测试 (以 CFC 作为对比样品), 结果如图 3 所示。对 XPS 图谱中 C、O、N、Si 元素峰面积进行积分, 定量计算各原子的相对含量 (原子百分比), 结果如表 1 所示。

结合图 3 与表 1 可知, CFC 样品表面含有 C、O 和微量的 N 元素。微量 N 元素的存在是因为商业 CFC 表面存在环氧树脂, 而 DCFC 和 CCFC 样品表面的 N 元素消失, 说明 DMF 浸渍和高温煅烧后能够有效去除 CFC 表面的环氧树脂。同时, CCFC 表面的 O/C 元素比上升, 这说明高温煅烧能够提高 CFC 表面的 O 元素含量。KH550 改性后, MDCFC 和 MCCFC 样品表面的 N 元素含量增加, 从 0 分别增加到 7.34% 和 10.33%, Si 元素含量从 0 分别增加到 6.78% 和 11.03%, 说明 KH550 成功修饰了碳纤维布表面, 这与 FTIR 结果一致。O 元素含量从 19.3% 分别提高到 20.23% 和 22.11%, O/C 元素比相应由 0.25 分别提高到 0.31 和 0.39, 说明经过 KH550 处理后的碳纤维布表面的含氧活性基团数量增多。

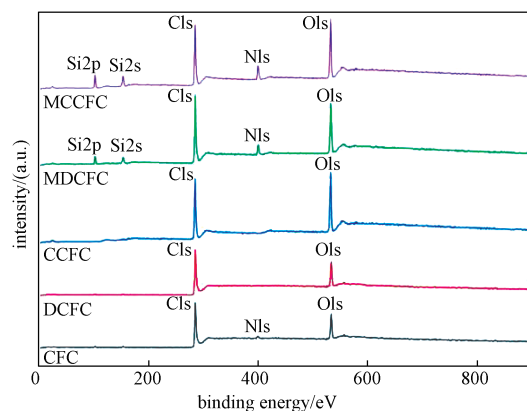


图3 表面改性前后碳纤维布的 XPS 图谱

Fig. 3 XPS spectra of carbon fibers before and after surface modification

表 1 表面改性前后碳纤维布表面的元素含量

Table 1 Elemental content of the surface of carbon fiber cloth before and after surface modification

样品	元素含量 /%				O1s/Cl1s
	Cl1s	O1s	N1s	Si2p	
CFC	78.74	19.30	1.96	0	0.25
DCFC	82.63	17.37	0	0	0.21
CCFC	75.08	24.92	0	0	0.33
MDCFC	65.65	20.23	7.34	6.78	0.31
MCCFC	56.53	22.11	10.33	11.03	0.39

通过对 Cl1s 进行分峰拟合处理, 进一步考察碳纤维布改性前 (CFC) 后 (DCFC、CCFC、MDCFC、MCCFC) 表面基团的变化, 结果如图 4 所示; C—C、C—O、O—C=O、C=O、C—N、C—Si 基团在碳纤维布表面的含量如表 2 所示。

表 2 表面改性前后碳纤维布的表面基团含量

Table 2 The surface group content of carbon fiber cloth before and after surface modification

样品	基团含量 /%					
	C—C	C—O	O—C=O	C=O	C—N	C—Si
CFC	62.73	34.72	2.01	0.54	0	0
DCFC	68.06	30.24	1.22	0.48	0	0
CCFC	60.23	30.21	6.29	3.27	0	0
MDCFC	57.60	26.45	7.11	5.05	1.85	1.94
MCCFC	55.61	24.32	8.59	5.58	2.54	3.36

由表 2 可知, CFC 表面含有 34.72% 的 C—O 基团, 这是因为研究所使用的商业 CFC 表面含有部分环氧树脂上浆剂, 其在 CFC 表面带入少量的 C—O 基团。在 DCFC 和 CCFC 中 C—O 基团含量下降,

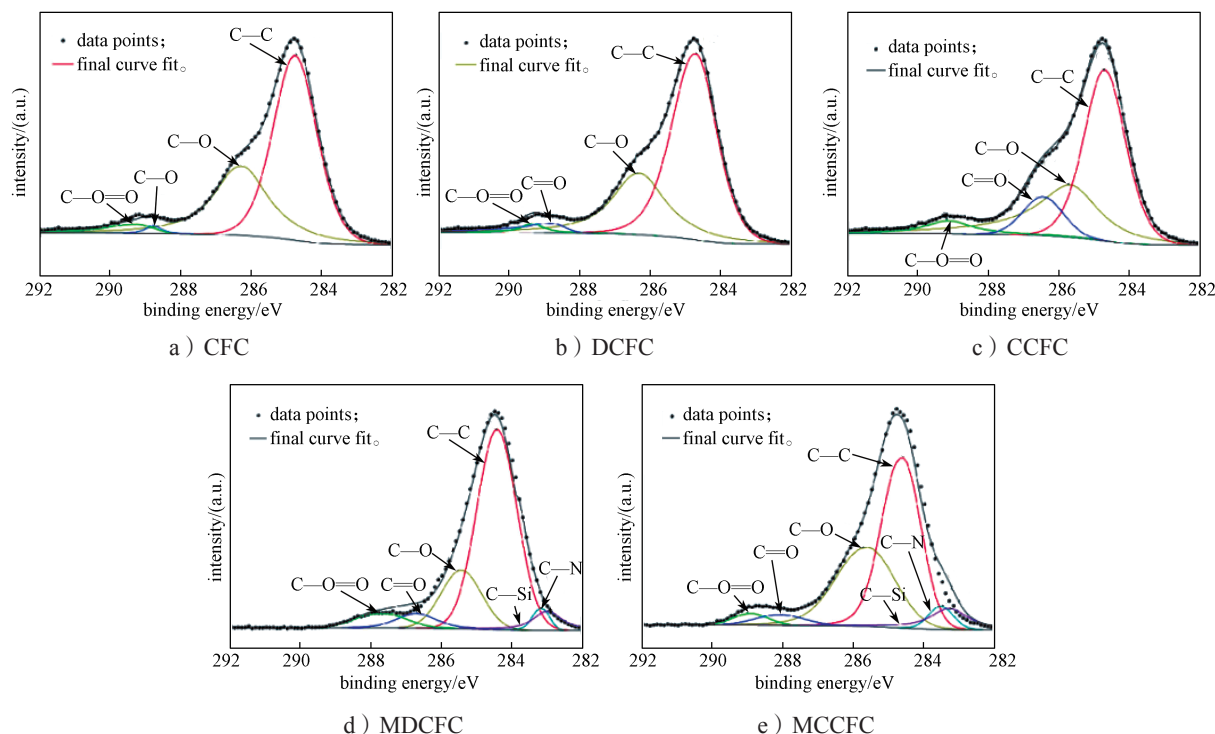


图 4 表面改性前后碳纤维布的 C1s 分峰拟合曲线

Fig. 4 C1s peak fitting curves of carbon fiber cloth before and after surface modification

也能够说明 DMF 浸渍和高温煅烧能够去除商业 CFC 表面的环氧树脂。经过 KH550 改性后, MDCFC 样品中 C—O 基团的含量相对 DCFC 样品, 从 30.24% 下降到 26.45%, MCCFC 样品中 C—O 基团的含量相对 CCFC 样品, 由 30.21% 降低到了 24.32%。与此同时, MDCFC 和 MCCFC 表面的 C—N、C—Si 基团的含量也从 0 分别上升到了 1.85%、2.54% 和 1.94%、3.36%, 这充分说明了 KH550 成功修饰了 CFC 表面。

3.2 PA6 原位包覆碳纤维布的研究

以上述 KH550 处理后的碳纤维布为增强材料, 利用 CPL 在融化状态下流动性好、黏度低的特性, 使其浸渍 MDCFC、MCCFC, 然后采用阴离子聚合使浸渍在改性后碳纤维布表面上的 CPL 进行原位聚合, 从而制备出 PA6 原位包覆碳纤维布, 该材料同时也是碳纤维布增强 PA6 复合材料。

3.2.1 FTIR 表征

为了探究 PA6 在碳纤维布表面的聚合情况, 对 MDCFC/PA6、MCCFC/PA6 包覆效果进行 FTIR 表征, 结果如图 5 所示。

对比图 5 中 MDCFC/PA6 和 MCCFC/PA6 的红外光谱图可知, 二者的曲线形状几乎完全一致, 并表现为典型的 PA6 特征吸收^[15], 其中 1640 cm⁻¹ 处

的吸收峰归属于 C=O 的伸缩振动 (酰胺 I), 1524, 3307 cm⁻¹ 处的吸收峰分别归属于 N—H 弯曲振动 (酰胺 II) 和伸缩振动, 2972, 2884 cm⁻¹ 处为亚甲基的吸收峰。这说明尼龙 6 在 CFC 表面上成功地进行了聚合。

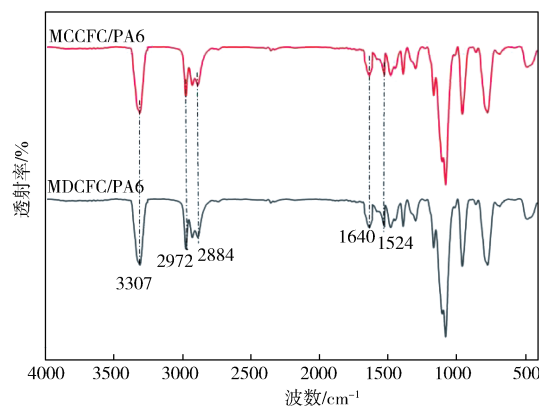


图 5 MDCFC/PA6、MCCFC/PA6 的红外光谱图

Fig. 5 Infrared spectra of MDCFC/PA6, and MCCFC/PA6

3.2.2 SEM 表征

为了探究 PA6 对碳纤维布表面的包覆效果, 采用 SEM 对 MDCFC/PA6、MCCFC/PA6 样品 (横截面) 进行了观察, 结果如图 6 所示。

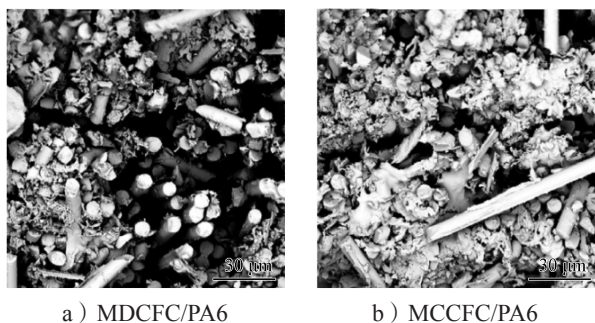


图 6 尼龙 6 包覆后碳纤维布的截面 SEM

Fig. 6 Cross-sectional SEM images of carbon fiber cloth coated with Nylon 6

由图 6 可知, 绝大多数碳纤维表面不再是光滑平整的表面, 而是呈现凹凸不平状态, 说明其表面包覆上了一层覆盖物, 即 PA6; 在纤维表面的不同部位还可观察到有凸起, 有的甚至为形状各异的花瓣状覆盖物, 说明 PA6 在单根碳纤维表面上的包覆并不是均匀的, 这可能是因为碳纤维布是由碳纤维束构成, 而在碳纤维束的编织过程中, 单根碳纤维之间排列紧密, 间隙小, 导致 CPL 熔体未能完全将其表面浸润好, 从而使不同部位的 CPL 含量存在差异, 阴离子聚合形成 PA6 的量也不同。此外, 从图中还可观察到空隙或空洞的存在, 说明 PA6 在碳纤维布中未能实现全充满, 这种现象主要存在于碳纤维束内部区间, 因其间隙过小, CPL 熔液难以进入该部位或进入量少所致。对比图 6a~b 可以发现, MCCFC/PA6 中 PA6 对碳纤维的包覆均匀性、包覆厚度要优于 MDCFC/PA6; 同时还可观察到 MCCFC/PA6 视野中暗场 (黑色空洞) 的面积比 MDCFC/PA6 中的少, 说明 PA6 对 MCCFC 的原位包覆效果优于对 MDCFC 的包覆效果。进一步验证煅烧处理比 DMF 浸渍处理的效果更佳。

3.2.3 热失重分析

为了探究 PA6 对碳纤维布的包覆量, 采用 TGA 对 MDCFC/PA6、MCCFC/PA6 样品进行了测试, 结果如图 7 所示。由图可知, 在低于 340 °C 时, 样品失重量很小; 当温度超过 340 °C 时, 样品的质量开始出现明显的下降, MDCFC/PA6 和 MCCFC/PA6 样品失重结束温度分别为 484 °C 和 491 °C, 失重量分别约为 43.2% 和 48.4%, 此阶段失重的主要原因是 PA6 的分解, 即 MCCFC/PA6 样品中的 PA6 含量比 MDCFC/PA6 样品的高, 此结果与上述 SEM 分析结果吻合。

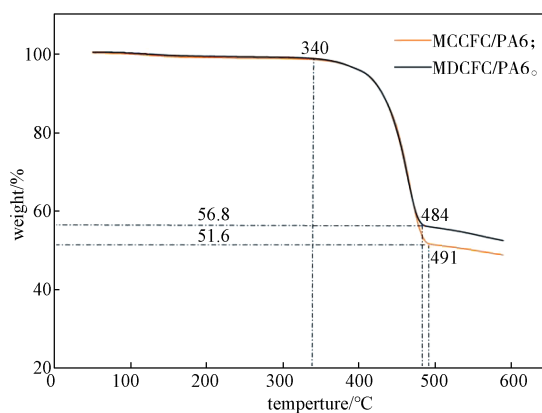


图 7 PA6 与不同处理方式的碳纤维布复合材料的热失重分析图

Fig. 7 Thermogravimetric analysis of PA6 and carbon fiber cloth composites with different treatments

4 结论

以 DMF 浸渍、马弗炉煅烧法去除商用 CFC 表面的环氧树脂上浆剂, 再使用 KH550 对处理后的 CFC 进行表面修饰, 在此基础上, 以 CPL 为单体, NaOH 为引发剂, TDI 为活化剂, 采用阴离子聚合法将 PA6 原位包覆在 CFC 表面, 制备出 CFC 增强 PA6 复合材料, 所得结论如下。

1) DMF 浸渍、高温煅烧处理均能有效去除商业 CFC 表面的环氧树脂, 煅烧处理还能提高 CFC 表面的粗糙度。

2) KH550 均能对去除环氧树脂后的 CFC 表面进行有效修饰, 提高了其在 CPL 熔体中的浸润性、分散均匀性和界面结合强度; 对 CFC 表面改性效果进行比较, 煅烧处理比 DMF 浸渍处理的效果更佳。

3) 以 CPL 为单体, 采用阴离子聚合对经 KH550 修饰后的 CFC 进行表面修饰, PA6 均能在 CFC 表面进行有效聚合, 并制备出 CFC 增强 PA6 复合材料 (MDCFC/PA6、MCCFC/PA6), PA6 在 MCCFC 表面的包覆效果优于在 MDCFC 表面上的包覆效果。

参考文献:

- [1] IVANOV S G, BEYENS D, GORBATIKH L, et al. Damage Development in Woven Carbon Fibre Thermoplastic Laminates with PPS and PEEK Matrices: A Comparative Study[J]. Journal of Composite Materials, 2017, 51(5): 637-647.
- [2] 潘广镇, 齐乐华, 付业伟, 等. 碳纤维布复合材料摩

- 擦性能研究进展[J]. 中国材料进展, 2015, 34(6): 453-461.
- [3] 张璇, 沈真. 航空航天领域先进复合材料制造技术进展[J]. 纺织导报, 2018(增刊1): 72-79.
- [4] 王显峰, 段少华, 唐珊珊, 等. 复合材料自动铺放技术在航空航天领域的研究进展[J]. 航空制造技术, 2022, 65(16): 64-77.
- [5] WANG Q H, XUE S L, SUN J L, et al. Surface Modification of Cu-Coated Carbon Fiber for Improved Mechanical Performance of Acrylonitrile Butadiene Styrene Composites Using 3-Aminopropyl Triethoxy Silane[J]. Materials Letters, 2024, 377: 137524.
- [6] 张雪, 刘媛, 杨斌, 等. 碳纤维表面改性对复合材料性能的影响[J]. 功能高分子学报, 2017, 30(4): 444-449.
- [7] ZHANG J, CHEVALI V S, WANG H, et al. Current Status of Carbon Fibre and Carbon Fibre Composites Recycling[J]. Composites Part B: Engineering, 2020, 193: 108053.
- [8] OLIVEIRA F, DENCHEVA N, MARTINS P, et al. A New Approach for Preparation of Metal-Containing Polyamide/Carbon Textile Laminate Composites with Tunable Electrical Conductivity[J]. Journal of Materials Science, 2018, 53(16): 11444-11459.
- [9] FANG W Q, PEARSON A, HUANG Y G, et al. Enhanced Carbon Fiber Interface with Thermoplastics via Nanostructure Surface Modification: Failure, Morphology and Wettability Analysis[J]. Composites Part B: Engineering, 2025, 291: 112054.
- [10] 谢世红, 高洁, 宁来元, 等. 碳纤维/聚合物复合材料热导率近十年研究进展[J]. 复合材料学报, 2024, 41(2): 561-571.
- [11] UEDA K, YAMADA K, NAKAI M, et al. Synthesis of High Molecular Weight Nylon 6 by Anionic Polymerization of ϵ -Caprolactam[J]. Polymer Journal, 1996, 28(5): 446-451.
- [12] 董炎明. 高分子材料实用剖析技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 1997: 76-79.
- [13] 葛铁军, 李之寒, 刘啸凤, 等. 己二酸基环氧树脂的制备及其对环氧树脂的增韧研究[J]. 热固性树脂, 2024, 39(2): 1-6.
- [14] 孙鹏, 金涛, 田帅, 等. 硅烷偶联剂改性玻璃纤维增强 PA6 研究[J]. 化工新型材料, 2016, 44(1): 205-207.
- [15] 李洪. 傅立叶红外光谱(ATR)法鉴别尼龙6和尼龙66[J]. 合成材料老化与应用, 2020, 49(1): 53-54.
- (责任编辑: 李玉华)

Preparation of PA6 In-Situ Covered Carbon Fiber Cloth

KONG Qisheng, TANG Hui, CHEN Xianhong

(School of Packaging Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In this study, N,N dimethylformamide (DMF) impregnation and high-temperature calcination were used to remove the epoxy sizing agent on the surface of commercial carbon fiber cloth (CFC), followed by γ -aminopropyltriethoxysilane (KH550) surface modification of the treated CFC, and then finally anionic in-situ polymerization was used to prepare the composite of nylon 6 (PA6) in-situ coated carbon fiber cloth. Scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), and thermogravimetric analysis (TGA) were used to characterize the carbon fiber cloth before and after treatment and the composites of PA6 in-situ-coated carbon fiber cloth, while the effects of the removal method, the surface modification of the carbon fiber cloth by KH550, and anionic in-situ polymerization on the PA6-coated carbon fiber cloth were investigated. The results showed that DMF impregnation while high-temperature calcination treatment could effectively remove the epoxy resin on the surface of commercial carbon fiber cloth, but the effect of high-temperature calcination treatment was significantly better than that of DMF impregnation. The carbon fiber cloth modified by KH550 enhanced its wettability with caprolactam (CPL) melt and was conducive to the all-around encapsulation of PA6 on the surface of the carbon fiber cloth, which effectively solved the problems of uneven dispersion of the carbon fiber cloth in PA6 and poor interfacial bonding.

Keywords: PA6; carbon fiber cloth; surface modification; thermoplastic composite