http://pmse.scu.edu.cn

# 原位聚合法制备连续玻璃纤维增强尼龙6复合材料的改性和性能

冯冰涛，王晓珂，张 萌，殷茂峰，张 信，孙国华，马劲松，李鹏鹏，侯连龙
（河北科技大学材料科学与工程学院 河北省柔性功能材料重点实验室，河北 石家庄 050018）

**摘要：**尼龙6（PA6）树脂具有优异的性能，其连续纤维复合材料在汽车、航空航天领域具有广泛应用。但是PA6树脂熔融后黏度较高，不易对连续纤维充分浸渍，并且连续纤维与PA6的复合材料界面黏附性较差，限制了其复合材料的性能和应用。针对这些问题，文中对连续玻璃纤维增强尼龙6（CGF/PA6）复合材料开展了研究。首先，采用阴离子开环聚合制备PA6，确定了其最佳制备工艺；其次，用硅烷偶联剂KH550（AP）对连续玻璃纤维（CGF）进行改性，并对其进行了红外光谱表征；最后，通过原位聚合法制备了CGF/PA6复合材料，研究了AP改性对CGF/PA6复合材料力学性能的影响，并对CGF/PA6复合材料的拉伸断口进行了扫描电镜分析。结果表明，AP被键合到了CGF表面，AP改性可以增强CGF/PA6复合材料的界面黏附性，从而使CGF/PA6复合材料的拉伸强度得到改善，当AP用量为2%时，CGF/PA6复合材料的拉伸强度高达88.52 MPa，此时，复合材料的断裂伸长率最低，为4.90%。CGF/PA6复合材料的冲击强度变化不大，均在50 kJ/m$^2$左右，说明复合材料的韧性受CGF表面改性影响较小。

**关键词：**原位聚合；连续玻璃纤维；尼龙6；硅烷偶联剂KH550；力学性能
**中图分类号：**TB332 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-7555（2024）01-0025-09

轻量化和高性能化是国内外汽车、航空航天等行业解决节能、环保及安全问题的最佳途径，而连续玻璃纤维增强尼龙6（CGF/PA6）复合材料比金属质轻、性能相近甚至高于金属材料，更耐腐蚀、生产效率高、生产加工绿色环保、可循环利用，使其在汽车工业、航空航天、军工、电子等行业拥有巨大的应用潜力[1~3]，日益成为研究的重点和热点。但是，玻璃纤维（GF）的表面光滑，并有大量的浸润剂附着其上，呈现化学惰性，导致其与PA6较差的界面黏附性[4,5]，从而使CGF/PA6复合材料的力学性能较差。并且PA6树脂熔融后，黏度高、熔体流动困难，不易对连续纤维进行充分浸渍和均匀分散，浸渍工艺复杂[6,7]，这都限制了复合材料的性能和应用。

目前，提高CGF/PA6复合材料界面黏附性常用的方法是对CGF进行表面改性，通过增加CGF的表面粗糙度和表面活性来增强PA6与CGF的机械咬合力和键合力，从而使CGF/PA6复合材料界面黏附性得到增强[8,9]。国内外学者对GF的表面改性进行了大量研究，GF表面改性的方法多种多样，邵灵达等采用KH560对GF进行改性，发现改性后复合材料的力学性能得到了提高[10]。Ren等将含有芳族醚腈键的邻苯二甲腈（PEN-BAPh）用于GF的改性，发现复合材料界面黏附性得到了改善，复合材料层压板的弯曲强度和弯曲模量得到了增强[11]。Zeng等研究了功能化多壁碳纳米管（MWCNT）对玻璃纤维织物增强环氧基复合材料界面微观结构和性能的影响，结

doi:10.16865/j.cnki.1000-7555.2024.0006
收稿日期：2023-03-17
基金项目：河北省重点研发计划（20311201D，21314401D，21371201D，21374901D，19212108D）；河北省自然科学基金资助项目（E2021208036）；河北省教育厅科学技术研究项目（QN2021057）
通讯联系人：侯连龙，主要从事绿色高分子材料等研究，E-mail: llhou@hebust.edu.cn

果表明，MWCNT的加入增加了复合材料的界面黏附性，并且复合材料的各项力学性能较改性前均得到不同程度的增强[12]。Zhang等采用空气等离子体来改性GF，发现等离子改性提高了GF的表面自由能，复合材料的界面黏附性得到了增强[13]。

本文的创新之处是在硅烷偶联剂KH550改性CGF的基础上，采用原位聚合的方法来制备CGF/PA6复合材料，不但可以实现对CGF的充分浸渍[14,15]，还可以得到性能优良的复合材料。对己内酰胺（CL）阴离子开环聚合合成PA6进行了研究，探讨了不同质量分数的AP对复合材料拉伸和冲击性能的影响，旨在得到性能优良的CGF/PA6复合材料，拓宽CGF/PA6复合材料的应用范围。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料

CL（白色粉末）、氢氧化钠（NaOH，白色颗粒）：分析纯，均购自天津大茂化学试剂厂；硅烷偶联剂KH550（AP，纯度99%）、甲苯二异氰酸酯（TDI，分析纯）：上海麦克林生化科技股份有限公司；玻璃纤维方格布：编织密度3 cm×3 cm，深圳通莱材料科技有限公司。

### 1.2 PA6的制备

在三口烧瓶中加入100 g的CL，加热至130 ℃使其完全熔融，然后抽真空30 min除去水分。再加入0.4～1 g的引发剂NaOH，再次抽真空25 min以除去水分。之后加入1 g的活化剂TDI，快速搅拌使其均匀混合，最后将得到的预聚单体浇注到预热至150～190 ℃的模具中，反应15～40 min后取出得到PA6。PA6的聚合反应如Fig.1所示。

### 1.3 CGF的表面改性

AP对GF的改性机理如Fig.2所示，其中Fig.2(a)反映了AP的水解过程，Fig.2(b)为CGF的表面改性，Fig.2(c)表明了CGF与PA6的作用机理。首先将CGF在丙酮（AC）中超声1 h，随后浸泡2 h，以除去CGF表面的浆料，并用去离子水对CGF进行洗涤，以除去CGF表面残留物。将无水乙醇与去离子水按照质量比9:1的比例混合均匀，得到乙醇水溶液，然后分别加入不同量的AP，搅拌0.5 h使AP充分水解，制得AP水溶液。将CGF浸入配置好的AP水溶液

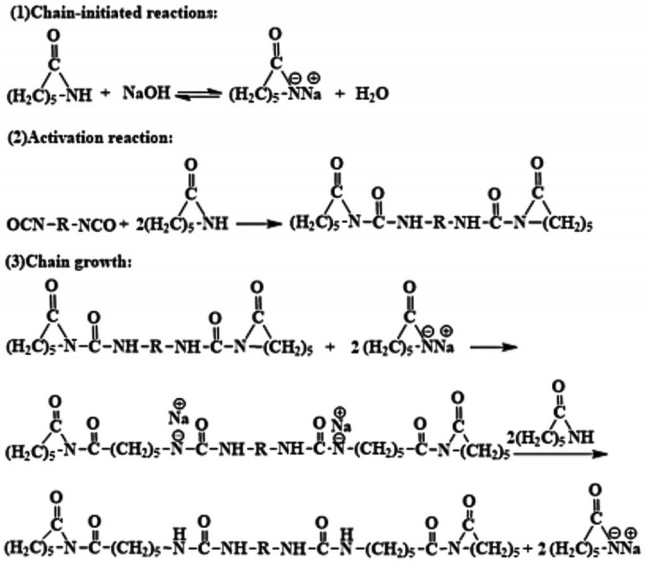



Fig. 1 Polymerization reaction of PA6[16]

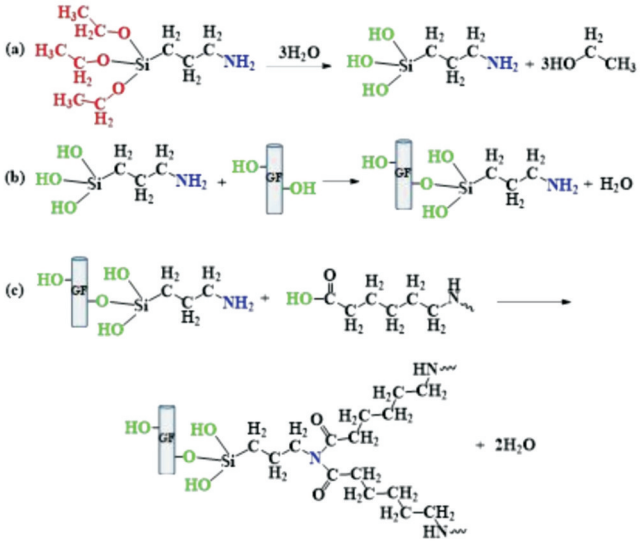


Fig. 2 (a) Hydrolysis of AP; (b) surface treatment of CGF; (c) binding mechanism of CGF and PA6

中,浸泡4 h。最后将CGF在100 ℃的烘箱中充分烘干,备用。

### 1.4 CGF/PA6复合材料的制备

首先将经过改性的CGF铺放在模具中,把CL,NaOH与TDI按PA6的制备工艺混合均匀得到预聚单体体系,再把预聚单体体系浇注到预热至指定温度的模具中聚合,聚合一定时间,成型、冷却后脱模得到CGF/PA6复合材料。Fig.3为制备CGF/PA6复合材料的流程图。

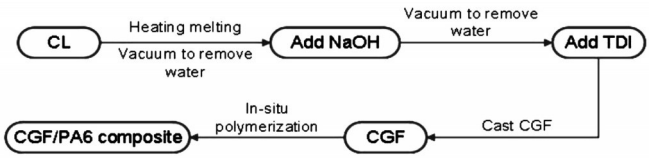



Fig. 3 Preparation process of CGF/PA6 composites

### 1.5 测试与表征

**1.5.1** PA6转化率的测定:采用浸泡的方法来测定PA6的转化率,首先将制得的PA6处理成碎块,用去离子水对PA6进行浸泡,浸泡时间为12 h,然后将浸泡后的PA6在烘箱中100 ℃干燥8 h。称取样品处理前后($M_1$)和($M_2$)质量,转化率($C$)可用式(1)计算

$$C = \frac{M_1}{M_2} \tag{1}$$

**1.5.2** 黏均分子量测试:将150 mg干燥的样品溶解在30 mL甲酸溶液(85%)中以获得透明溶液,采用0.6~0.7 mm毛细管直径的乌氏黏度计测定PA6的相对黏度。PA6黏均分子量的计算公式如式(2)所示

$$\eta = KM_{\eta}^{\alpha} \tag{2}$$

式中:$K$和$\alpha$——Mark Houwink常数,$K$=0.023 mL/g,$\alpha$=0.82[17]。

**1.5.3** 化学结构表征:采用Great 20傅里叶变换红外光谱仪(中科瑞捷科技有限公司)对未处理和用AP处理的CGF进行结构表征,扫描样品的波数范围为500~4000 $cm^{-1}$。

**1.5.4** 力学性能测试:采用ETM-104C型万能试验机(深圳万测试验设备有限公司),根据国标GB/T1447-2005对试样进行拉伸性能测试,哑铃型试样尺寸为180 mm×10 mm,以2 mm/min的速率拉伸。采用ZBC-1151-1型冲击试验机(深圳市新三思材料检测有限公司),根据国标GB/T1451-2005对试样进行冲击测试,采用120 mm×10 mm的试样,缺口大小为$R$(0.3±0.05) mm。以上每个试样至少测5组。

**1.5.5** 形貌表征:使用S-4800-i扫描电子显微镜(日本HITACHI公司),加速电压为3.0 kV,对CGF/PA6复合材料的拉伸断口形貌进行表征。测试前对复合材料的拉伸断口进行喷金处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 制备工艺对PA6转化率、相对黏度与黏均分子量的影响

**2.1.1** 原料配比:通过改变NaOH的用量,保持CL

和TDI的用量不变，研究不同用量的NaOH对PA6转化率、相对黏度与黏均分子量的影响。从Tab.1中可以看出，NaOH用量小于0.5 g时，随着NaOH不断增多，PA6的转化率、相对黏度与黏均分子量也逐步增加；当NaOH的用量为0.5 g时达到最大，此时PA6的转化率为93.26%，相对黏度为2.65，黏均分子量为76621；NaOH用量大于0.5 g时，PA6的转化率、相对黏度与黏均分子量不断降低。这是由于NaOH和CL首先反应生成CLNa，生成的$CL^-$阴离子作为引发剂，会进一步引发CL的开环反应，最终生成PA6。NaOH用量没有达到最佳量时，NaOH用量不断增多，产生的$CL^-$阴离子也随之增多，从而不断消耗CL生成PA6，PA6的转化率、相对黏度与黏均分子量不断增大。进一步增加NaOH的用量，导致了更多$CL^-$阴离子的生成，从而在单位时间内会有更多的单体被消耗，使反应在较短时间内达到平衡，于是导致了

**Tab. 1 Effect of NaOH dosage on PA6**

| *m*(NaOH)/g | Conversion rate/% | Relative viscosity | Viscous average molecular weight×$10^{-4}$ |
|---|---|---|---|
| 0.4 | 89.2 | 1.86 | 4.0765 |
| 0.5 | 93.26 | 2.65 | 7.6621 |
| 0.6 | 91.45 | 1.83 | 3.9317 |
| 0.7 | 90.27 | 1.67 | 3.1505 |
| 0.8 | 90.09 | 1.64 | 3.0025 |
| 0.9 | 88.78 | 1.68 | 3.1998 |
| 1 | 85.31 | 1.63 | 2.9531 |

*m*(CL)=100 g, *m*(TDI)=1 g, reaction temperature was 170 ℃, reaction time was 30 min

**Tab. 2 Effects of reaction temperature on PA6**

| Reaction temperature/℃ | Conversion rate/% | Relative viscosity | Viscous average molecular weight×$10^{-4}$ |
|---|---|---|---|
| 150 | 92.76 | 1.61 | 2.8704 |
| 155 | 92.86 | 1.94 | 4.4265 |
| 160 | 99.38 | 2.69 | 7.8421 |
| 170 | 99.66 | 2.69 | 7.8421 |
| 180 | 99.7 | 2.61 | 7.4811 |
| 190 | 99.76 | 2.50 | 7.0140 |

*m*(CL)=100 g, *m*(NaOH)=0.5 g, *m*(TDI)=1 g, reaction time was 30 min

**Tab. 3 Effect of reaction time on PA6**

| Reaction time/min | Conversion rate/% | Relative viscosity | Viscous average molecular weight×$10^{-4}$ |
|---|---|---|---|
| 15 | 77.74 | 1.93 | 4.3788 |
| 20 | 96.38 | 2.00 | 4.7116 |
| 25 | 96.65 | 2.27 | 5.9885 |
| 30 | 99.16 | 2.49 | 6.9402 |
| 35 | 98.76 | 2.26 | 5.9611 |
| 40 | 92.68 | 2.07 | 5.0740 |

*m*(CL)=100 g, *m*(NaOH)=0.5 g, *m*(TDI)=1 g, reaction temperature was 170 ℃

PA6的黏均分子量降低,进而使PA6的相对黏度降低,黏均分子量的降低说明有更多的低聚物产生,水易溶解这种低聚物,所以导致PA6转化率降低。

**2.1.2** 反应温度:从Tab.2中可以看出,反应温度低于160 ℃时,升高反应温度,PA6的转化率逐渐增加,但反应温度超过160 ℃时,PA6的转化率不再发生明显变化,基本趋于平稳。另外,反应温度的不断上升使PA6的相对黏度和黏均分子量先增加而后逐渐降低,在160 ℃和170 ℃时,PA6的相对黏度和黏均分子量达到最大,分别为2.69和78421。这主要是因为PA6的结晶温度为170 ℃左右,当反应温度较低时,PA6的结晶速度高于CL的聚合速度,部分CL因PA6的结晶来不及反应而被冻结,从而导致PA6转化率、相对黏度和黏均分子量较低。合成PA6的反应为放热反应,当温度较高时,会阻碍反应的进行,并且温度高时,分子链的剧烈运动会影响结晶,因此较高的温度会造成PA6较低的相对黏度和黏均分子量。综合考虑,170 ℃为最适宜的反应温度。

**2.1.3** 反应时间:从Tab.3中可以发现,反应时间的不断延长,使PA6的转化率、相对黏度与黏均分子量呈现先增加后降低的趋势,当反应时间为30 min时,PA6的转化率、相对黏度与黏均分子量达到最大,分别为99.16%,2.49和69402。这是因为PA6聚合时间较短时,PA6反应不完全,反应体系中存留的CL较多,导致了PA6较低的转化率、相对黏度与黏均分子量。逐渐延长反应时间,PA6的转化率、相对黏度与黏均分子量不断增大,但是PA6聚合时间过长时,会导致其转化率、相对黏度与黏均分子量降低,这可能是因为PA6发生了降解。

## 2.2 CGF改性前后的FT-IR

在测试之前,用去离子水对CGF进行多次洗涤,避免未参加反应AP的影响。Fig.4为CGF的FT-IR图谱,a线为未经处理过的CGF FT-IR图,b线为经AP处理后的CGF FT-IR图。从图中可以看到,a线中的吸收峰主要集中在650~1000 $cm^{-1}$范围内,相比于a线,b线在2982$cm^{-1}$,2911$cm^{-1}$和1063$cm^{-1}$处分别有新的特征吸收峰产生。2982 $cm^{-1}$,2911 $cm^{-1}$和1063 $cm^{-1}$处分别为—$CH_2$,—$CH_3$和Si—O—Si的特征吸收峰[18,19]。由此可知,AP被引入到了CGF表面。

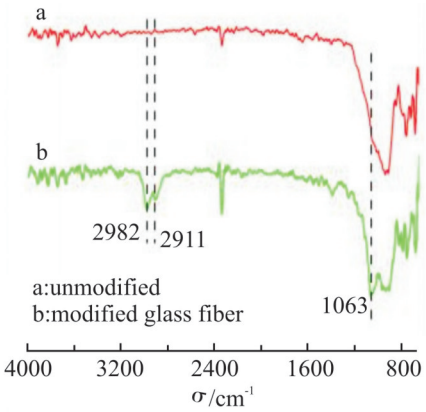



**Fig. 4 FT-IR spectra of CGF**

## 2.3 CGF/PA6复合材料的力学性能

从Fig.5可以看出,经AC处理的CGF制得的复合材料的拉伸强度相比未处理的CGF制得的复合材料的拉伸强度有所提高,说明通过AC处理去除了CGF表面的浸润剂,使复合材料的界面黏附性得到了改善。经AC处理后,用AP对CGF进行表面改

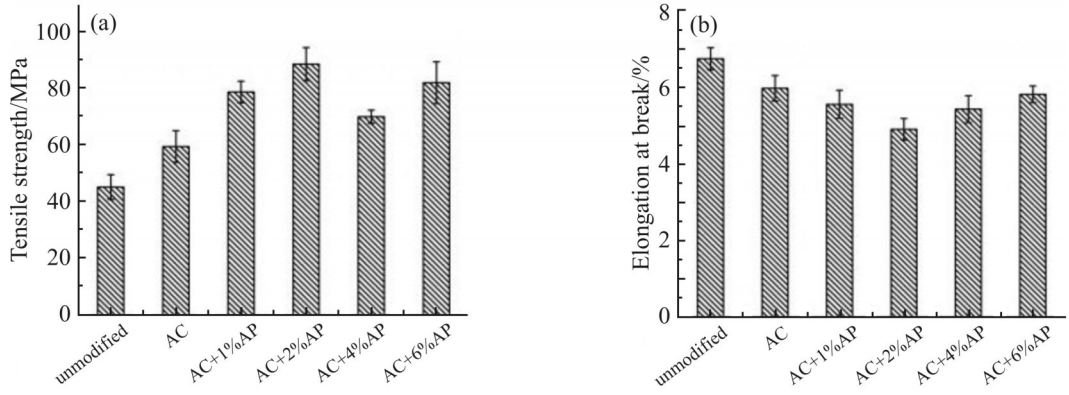



**Fig. 5 Tensile strength (a) and elongation at break (b) of CGF/PA6 composites**

性，复合材料的拉伸强度先增加而后又有所降低，当AP的用量达到2%时，复合材料获得最大的拉伸强度为88.52 MPa，相比于未处理的CGF制得的复合材料的拉伸强度（45.16 MPa）增加了96.01%。而复合材料的断裂伸长率相比于改性前均有所降低，并且当AP用量达到2%时，复合材料的断裂伸长率达到最低，为4.90%，相比于改性前复合材料的断裂伸长率（6.74%）降低了27.30%。这是由于AP用量较少时，CGF表面接枝的AP较少，导致复合材料界面结合不充分，随着AP用量的增加，CGF表面接枝的AP逐渐增多，复合材料的界面结合逐渐变好，当AP的用量达到2%时，复合材料的界面结合达到最好，此时复合材料的拉伸强度达到最大，断裂伸长率最低。继续增大AP的用量，在CGF表面的AP会形成多个分子层，这会对复合材料的界面结合产生影响，进而影响复合材料的拉伸强度和断裂伸长率。

由Fig.6可以发现，AP改性和AP用量对CGF/PA6复合材料的冲击强度影响不明显，CGF/PA6复合材料的冲击强度均在50 kJ/m$^2$左右，说明AP改性对复合材料的韧性影响较小。

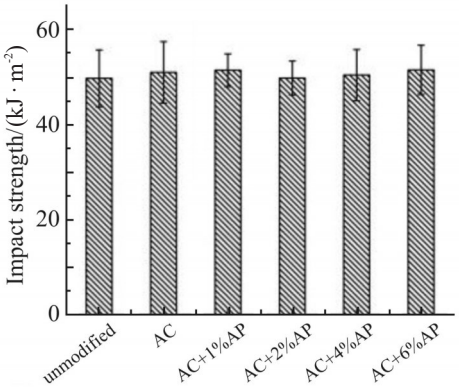



**Fig. 6 Impact strength of CGF/PA6 composites**

## 2.4 CGF/PA6复合材料的微观形貌

Fig.7(a)为改性前复合材料的拉伸断口形貌图。由图可以发现，CGF表面附着的PA6较少，并且CGF/PA6复合材料内部有较大空隙，这是因为未改性的CGF具有比较光滑的表面，并且表面含有浸润剂，导致CGF/PA6复合材料界面黏附性较差。Fig.7(b)为AC改性后复合材料的拉伸断口形貌图，从图中可以发现，经过AC处理后，CGF表面附着的PA6

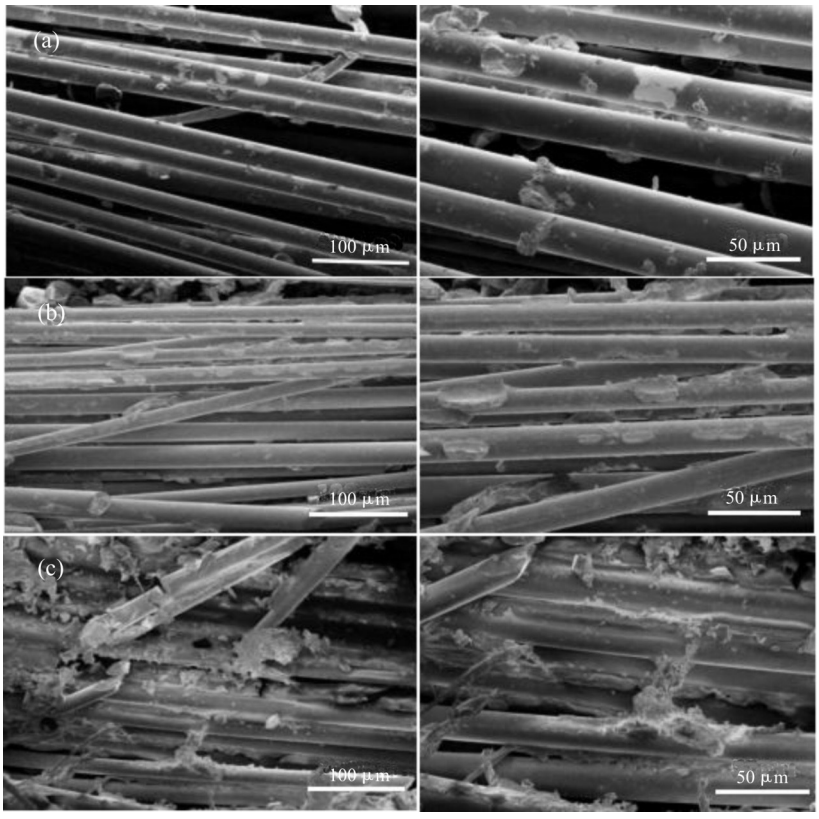



**Fig. 7** Fracture mo**rphology of CGF/PA6 composites**
(a): unmodified CGF; (b): AC modified CGF; (c): AC+AP modified CGF,AP=2%

相比于处理之前有所增加,这是由于AC处理除去了CGF表面的浸润剂,使得CGF/PA6复合材料的界面黏附性得到了改善。Fig.7(c)为经AC处理后,又经AP改性的CGF制备的复合材料的拉伸断口形貌图,从Fig.7(c)可以发现,CGF表面和相邻的CGF之间附着大量的PA6,CGF/PA6复合材料空隙较小,这是因为AP含有2个官能团,一个可以在CGF表面发生化学反应,另一个能与PA6基体发生化学反应,在CGF与PA6间起"桥梁"作用,可以增强CGF/PA6复合材料的界面黏附性,从而使CGF和PA6基体很好地结合在一起。

## 3　结论

(1)研究了PA6的制备工艺,得到了合成PA6的最佳工艺条件。当CL,NaOH和TDI的质量比是100:0.5:1、反应温度为170 ℃、反应时间为30 min时,PA6的转化率、相对黏度和黏均分子量达到最好。

(2)AP改性可以提高CGF/PA6复合材料的拉伸强度,但是会降低复合材料的断裂伸长率。当AP用量为2%时,复合材料的拉伸强度达到最大,断裂伸长率达到最小,相比于未改性的CGF制得的复合材料的拉伸强度增加了96.01%,断裂伸长率降低了27.30%。AP改性对复合材料冲击强度有较小的影响,复合材料的冲击强度均在50 kJ/m$^2$左右。

(3)通过CGF改性前后的FT-IR对比发现,AP被引入到了CGF表面;CGF/PA6复合材料拉伸断面的SEM分析表明,AC处理可以除去CGF表面的浸润剂和杂质,增加CGF表面粗糙度,AP改性可以改善CGF/PA6复合材料的界面黏附性,从而使CGF和PA6更好地结合。

本文采用原位聚合法制备CGF/PA6复合材料,克服了因热塑性树脂熔融后黏度高对连续纤维浸渍困难的问题,并且通过对连续纤维进行表面改性,提高了复合材料的力学性能,为实现连续纤维增强复合材料在汽车轻量化、航空航天等领域的工程化应用提供了理论参考和依据。

**参考文献:**


[1] Chen K, Jia M, Sun H, *et al*. Thermoplastic reaction injection pultrusion for continuous glass fiber- reinforced polyamide- 6 composites[J]. Materials, 2019, 12: 463.

[1] Grätzl T, Van Dijk Y, Schramm N, *et al*. Influence of the automotive paint shop on mechanical properties of continuous fibre- reinforced thermoplastics[J]. Composite Structures, 2019, 208: 557-565.

[3] 张适龄,张英伟,张贻舟,等. 连续玻纤/长玻纤增强尼龙6复合材料的耐水性能[J]. 工程塑料应用,2020,48(10):24-28.
Zhang S L, Zhang Y W, Zhang Y Z, *et al*. Water resistance of continuous glass fiber or long glass fiber reinforced nylon 6 composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(10): 24-28.

[4] 龚友坤,宋增瑞,宁慧铭,等. 连续纤维增强热塑性复合材料成型工艺的研究进展[J].河北工业大学学报,2020,49(2):1-26.
Gong Y K, Song Z R, Ning H M, *et al.* Research progress on forming process of continuous fiber reinforced thermoplastic composite materials: a review[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2020, 49(2): 1-26.

[5] Xiao Y, Mu X, Wang B, *et al*. A novel phosphorous- containing polymeric compatibilizer: effective reinforcement and flame retardancy in glass fiber reinforced polyamide 6 composites[J]. Composites Part B: Engineering, 2021, 205: 108536.

[6] Murray J J, Robert C, Gleich K, *et al.* Manufacturing of unidirectional stitched glass fabric reinforced polyamide 6 by thermoplastic resin transfer moulding[J]. Materials & Design, 2020, 189: 108512.

[7] Maazouz A, Lamnawar K, Dkier M. Chemorheological study and in- situ monitoring of PA6 anionic- ring polymerization for RTM processing control[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2018, 107: 235-247.

[8] Jin Z, Han Z, Chang C, *et al*. Review of methods for enhancing interlaminar mechanical properties of fiber- reinforced thermoplastic composites: interfacial modification, nano- filling and forming technology[J]. Composites Science and Technology, 2022,228: 109660.

[9] Fang J, Zhang L, Li C. Polyamide 6 composite with highly improved mechanical properties by PEI-CNT grafted glass fibers through interface wetting, infiltration and crystallization[J]. Polymer, 2019, 172: 253-264.

[10] 邵灵达,黄锦波,金肖克,等. 硅烷偶联剂改性处理对玻璃纤维织物增强聚苯硫醚复合材料性能的影[J]. 纺织学报,2022,43(4): 68-73.

Shao L D, Huang J B, Jin X K, *et al*. Effect of silane coupling agent modification on properties of glass fiber fabric reinforced polyphenylene sulfide composites[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(4): 68-73.

[11] Ren D, Li K, Chen L, *et al*. Modification on glass fiber surface and their improved properties of fiber-reinforced composites via enhanced interfacial properties[J]. Composites Part B: Engineering, 2019, 177: 107419.

[12] Zeng S, Duan P, Shen M, *et al.* Interface enhancement of glass fiber fabric/epoxy composites by modifying fibers with functionalized MWCNTs[J]. Composite Interfaces, 2019, 26: 291-308.

[13] Zhang W, Yang P, Cao Y, *et al.* Evaluation of fiber surface modification via air plasma on the interfacial behavior of glass fiber reinforced laminated veneer lumber composites[J]. Construction and Building Materials, 2020, 233: 117315.

[14] Ageyeva T, Sibikin I, Karger- Kocsis J. Polymers and related composites via anionic ring- opening polymerization of lactams: recent developments and future trends[J]. Polymers, 2018, 10: 357.

[15] 孙华,薛平,陈轲,等. RTM成型玻璃纤维增强阴离子聚合尼龙6复合材料及其性能[J]. 复合材料学报, 2021, 38(2): 414-423.

Sun H, Xue P, Chen K, *et al*. Preparation and properties of glass fiber reinforced anionic nylon 6 composites by RTM process[J]. Acta Materiae Compositae Sinica,2021,38(2):414-423.

[16] 林轩. MC尼龙/无机纳米复合材料的制备,结构及性能研究[D]. 长沙:中南大学, 2006.

Lin X. Preparation, structure and properties of MC nylon/nano-inorganic composites[D]. Chagnsha: Central South University, 2006.

[17] Shi H, Xia L, Guo Z, *et al.* Manufacture and performance of textile-ramie fiber reinforced anionic polyamide 6 composites[J]. Fibers and Polymers, 2019, 20: 1705-1715.

[18] 倪爱清,朱坤坤,王继辉. 纳米$SiO_2$-NaOH-有机硅烷偶联剂表面改性对苎麻纤维/乙烯基酯树脂复合材料性能的影响[J]. 复合材料学报, 2019, 36(11): 2579-2586.

Ni A Q, Zhu K K, Wang J H. Effects of nano $SiO_2$-NaOH-silane coupling agent surface treatment on behavior of ramie fiber/vinyl ester resin composite[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2019, 36(11): 2579-2586.

[19] Li Z, Zhou W, Yang L, *et al*. Glass fiber- reinforced phenol formaldehyde resin- based electrical insulating composites fabricated by selective laser sintering[J]. Polymers, 2019, 11: 135.

# Modification and Properties of Continuous Glass Fibre Reinforced Nylon 6 Composites Prepared by In Situ Polymerisation

Bingtao Feng, Xiaoke Wang, Meng Zhang, Maofeng Yin, Xin Zhang, Guohua Sun,
Jinsong Ma, Pengpeng Li, Lianlong Hou
（*Hebei Key Laboratory of Flexible Functional Materials, School of Materials Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China*）

**ABSTRACT:** Nylon 6 (PA6) resin has excellent properties and its continuous fibre composites have a wide range of applications in automotive and aerospace sectors. However, the high viscosity of PA6 resin after melting does not easily impregnate continuous fibres sufficiently, and the poor interfacial adhesion of continuous fibres and PA6 composites limits performance and applications of the composites. Aimed at these problems, continuous glass fibre reinforced nylon 6 (CGF/PA6) composites were investigated. Firstly, anionic ring- opening polymerisation was applied to prepare PA6, and the optimum preparation process was determined; secondly, continuous glass fiber (CGF) was modified with silane coupling agent KH550 (AP) and characterized by infrared spectroscopy; finally, CGF/PA6 composites were prepared by in situ polymerisation, and the effect of AP modification on the mechanical properties of CGF/PA6 composites was investigated. The tensile fractures of CGF/PA6 composites were characterized by SEM. The results show that AP was bonded to the surface of CGF and the AP modification could enhance the interfacial adhesion of CGF/PA6 composites, thus improving the tensile strength of CGF/PA6 composites. When the AP dosage is 2%, the tensile strength of CGF/PA6 composite is as high as 88.52 MPa, the elongation at break of the composite reaches the lowest level of 4.90%. The impact strength of the CGF/PA6 composites does not change much, all around 50 kJ/m$^2$, indicating that the toughness of the composites is less affected by CGF surface modification.

**Keywords:** in situ polymerization; glass fiber; nylon 6; silane coupling agent KH550; mechanical property