

## ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН ЖИДКИМИ ИМПРЕГНАТОМ И СВЯЗУЮЩИМ

*Запорожская государственная инженерная академия*

В роботі представлено результати дослідження змочування конструкційних вуглецевих волокон у стані поставки та після прожарювання за температури 400 °С рідким імпрегнатом. Встановлено характеристики вуглецевих волокон, просочених імпрегнатом, і дано оцінку їх змочування фенолоформальдегідним в'язким.

В работе представлены результаты исследования смачивания конструкционных углеродных волокон в состоянии поставки и после прокалики при температуре 400 °С жидким импрегнатом. Установлены характеристики углеродных волокон пропитанных импрегнатом и дана оценка их смачивания фенолоформальдегидным связующим.

*Введение.* Повышение физико-механических характеристик волокнистых композиционных материалов связано с величиной адгезионных связей на границе «волокно-матрица». Упрочнение композита начинается при длине волокнистого наполнителя, превышающей критическую величину, которая обратно пропорционально зависит от величины адгезионной связи на границе «волокно-матрица» [1]. Сила адгезии определяется смачиванием поверхности углеродных волокон связующим, которое после отверждения формирует матричный материал.

*Постановка задачи.* Исследовать зависимость краевого угла смачивания углеродных волокон в состоянии поставки и после прокалики с предварительной обработки кремнийсодержащим импрегнатом и жидким связующим.

*Основная часть.* Углеродные волокна обладают значительной жесткостью благодаря высокому модулю упругости, который достигает 250...390 ГПа [2]. Для повышения текстильных свойств на поверхность углеродных волокон наносят замасливатели из водного раствора поливинилового спирта (ПВС), который защищает волокна от истирания и разрушения в процессе переработки и формования композитных конструкций.

Для удаления замасливателя и модификации поверхности углеродных волокон применяются методы термообработки в среде инертных газов, окисления на воздухе или в объеме диоксида углерода.

Смачиваемость углеродных волокон определяется краевым углом смачивания, который зависит от вязкости кремнийсодержащего импрегната, которая, в свою очередь, определяется содержанием растворителя. Условную вязкость импрегната определяли в соответствии с ГОСТ 9070-75 на вискозиметре ВЗ-246.

Условная вязкость по ВЗ-246 связана с кинематической вязкостью формулой

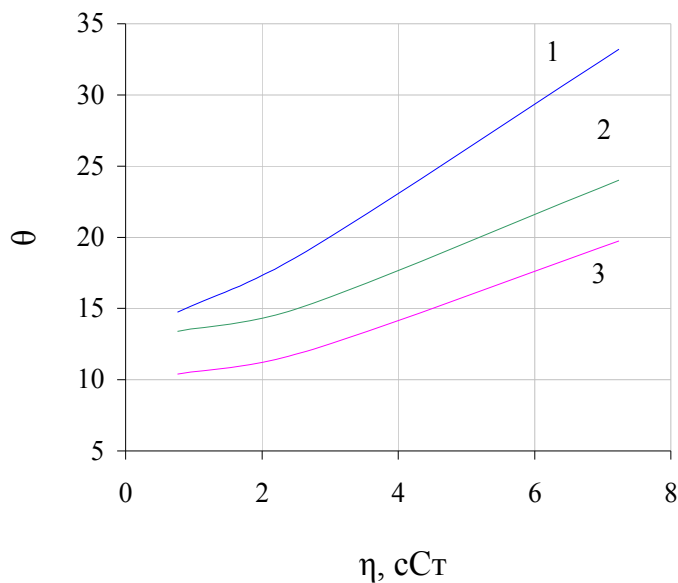
$$\tau = 0,185\eta + 10, \quad (1)$$

где  $\tau$  – условная вязкость, с;  $\eta$  – кинематическая вязкость, сСт.

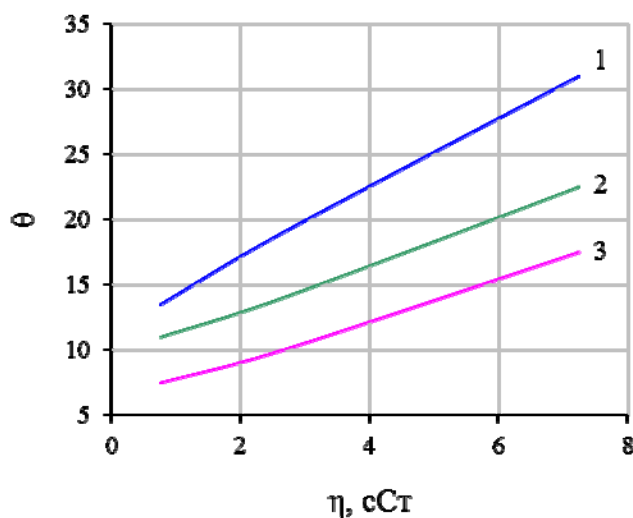
На рис. 1 представлена зависимость кинематической вязкости импрегната от содержания растворителя.



газифицирует слой полимеризованного ПВС и активирует поверхность. Такая обработка повышает смачиваемость углеродного волокна и снижает краевой угол его смачивания на 5...6°.



*a*



*б*

*a* – в состоянии поставки; *б* – после прокалики  
1 - УКН-5000, 2 - ВМН-4, 3 - Урал-24

**Рисунок 3** – Влияние вязкости импрегната на краевой угол смачивания прокаленных углеродных волокон

Прокаленные углеродные волокна пропитывали импрегнатом и подвергали сушке при температуре 150...200 °С. Характеристики углеродных волокон с покрытием на основе импрегната представлены в табл. 1.

Связующее на основе смолы СФ-010 и отвердителя ГМТА готовили по стандартной технологии. Порошок смолы СФ-010 растворяли в этиловом спирте при температуре 50 °С. В полученный раствор добавляли ГМТА в количестве 10 % от массы

смолы. После этого путем добавления этилового спирта доводили вязкость связующего до уровня 2...15 сСт.

**Таблица 1** – Характеристики углеродных волокон с защитным покрытием

Вид волокна	Масса волокна, 10 <sup>-3</sup> кг		Масса импрегната, $m_u$	Масса покрытия, $m_n$	Толщина покрытия, $\delta_n$
	до прокалики	после прокалики			
Урал-24	1,7664 ± 0,01	1,7562 ± 0,01	0,70 ± 0,002	2,60 ± 0,01	0,20 ± 0,005
УКН-5000	3,3752 ± 0,03	3,2648 ± 0,03	0,50 ± 0,001	3,40 ± 0,02	0,30 ± 0,004
ВМН-4	2,6534 ± 0,02	2,6470 ± 0,02	1,01 ± 0,003	8,19 ± 0,05	0,50 ± 0,005

Примечание:  $m_u$  - масса импрегната в объеме волокна, 10<sup>-9</sup> кг/пм;  
 $m_n$  - масса покрытия на поверхности волокон, 10<sup>-9</sup> кг/пм;  
 $\delta_n$  - толщина покрытия на волокне, мкм

Проверку эффективности нанесенного покрытия осуществляли методом окисления в присутствии кислорода. Стойкость покрытия оценивали по величине относительной потери массы навески. Для этого навеску углеродного волокна просушивали в сушильном шкафу при температуре 120...150 °С до постоянной массы, которую определяли с точностью до 0,0001 г.

Просушенную навеску помещали в печь, разогретую до температуры 200 °С в присутствии кислорода и через каждый час взвешивали. Затем окисление повторяли при температурах 400 и 700 °С.

Относительную потерю массы навески рассчитывали по формуле:

$$m_{\text{отн}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \% , \quad (3)$$

где  $m_1, m_2$  – масса волокна до и после прокалики, г, соответственно.

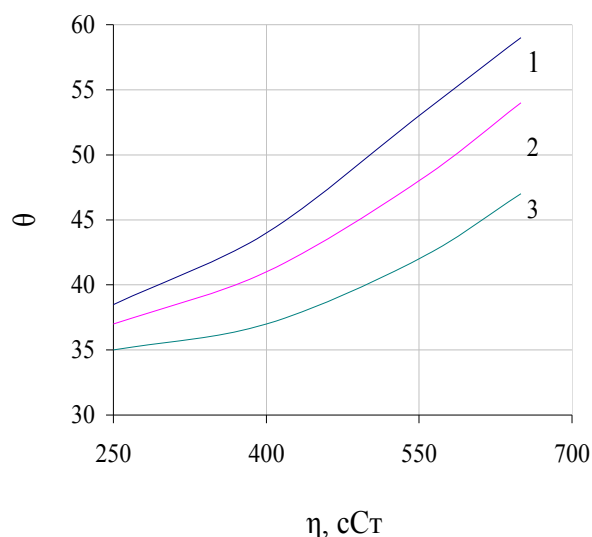
Основные результаты проведенных исследований приведены в табл. 2.

**Таблица 2** – Окислительная стойкость углеродных волокон, пропитанных кремнийсодержащим импрегнатом

Вид волокна	Масса волокна, г		Относительная потеря массы, %, при температуре °С				
	до пропитки	после пропитки	200	400			700
			$\tau = 1$ ч	$\tau = 1$ ч	$\tau = 2$ ч	$\tau = 3$ ч	$\tau = 1$ ч
Урал-24	1,7562	2,3986	0,15	8,23	11,28	13,02	73,51
УКН-5000	3,2648	5,4946	0,10	11,32	13,49	14,53	45,69
ВМН-4	2,6470	4,6234	0,13	7,59	8,45	8,66	59,63
без покрытия	3,5478	3,5478	0,20	71,22	92,87	100	-

Полученные результаты показывают, что волокна с защитным покрытием, более стойкие, чем волокна без покрытия. С повышением температуры процесса окисления эффективность защитного покрытия возрастает с 36 до 50 %.

На рис. 4 представлена зависимость краевого угла смачивания углеродных волокон с кремнийсодержащим покрытием от вязкости связующего.



1 - волокно в состоянии поставки, 2 - прокаленное волокно,  
3 - волокно с защитным покрытием

**Рисунок 4** – Влияние вязкости связующего (СФ-010) на краевой угол смачивания углеродного волокна ВМН-4

#### *Выводы.*

1. Разработана методика и прибор для определения краевого угла смачивания волокнистых углеродных материалов импрегнатами.

2. Установлено влияние поверхности углеродных волокон с защитным кремнийсодержащим покрытием на краевой угол смачивания связующим на основе фенолоформальдегидной новолачной смолы СФ-010 и отвердителя ГМТА.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Тюкаев, В. Н. Стекловолокниты [Текст] / В. Н. Тюкаев. – Пластики конструкционного назначения. – М. : Химия, 1974. – С. 120-203.
2. Конкин, А. А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы / А. А. Конкин. – М. : Химия, 1974. – 375 с. – Библиогр. : с.
3. Практикум по полимерному материаловедению / Под ред. П. Г. Бабаевского. – М. : Химия, 1980. – 256 с. – Библиография в конце каждого раздела.