

ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО УГЛЕВОЛОКНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В СТРУКТУРЕ ФТОРОПЛАСТОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИТА

О.А. Будник, аспирант;

М.В. Бурмистр, д-р хим. наук, профессор;

А.Ф. Будник*, канд. техн. наук, доцент

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск;

*Сумский государственный университет, г. Сумы

Решаются вопросы технологии подготовки углеволокнистого наполнителя, обеспечивающей проектное распределение углеволокнистого наполнителя в объеме фторопластоматричного композита. Рассмотрены принципы влияния на распределение волокон и свойства композита составляющими технологического процесса подготовки наполнителя. Указаны пути практической реализации научного и экспериментального материала.

ВВЕДЕНИЕ

Действительная структура фторопластоматричного композита с углеволокнистым наполнителем сложная и имеет случайный характер [1]. Прямое математическое вычисление свойства композита является сложной задачей, потому что не известны геометрия и физические свойства поверхности раздела матрицы с частицами углеволокнистого наполнителя.

Процесс изготовления износостойкого углеволокнистого композита обеспечен незначительной управляемой информацией. Одних показателей свойств наполнителя и матрицы, их концентрации и геометрической формы недостаточно для точного представления свойств проектируемого фторопластоматричного композита. Такая малая информативность при проектировании композита с наперед заданными свойствами требует надежных методов теоретического исследования композитов. К таким методам относится вариационный, приводящий к границам эффективных свойств (вилка «Хашина-Штрикмана») [1, 2]. В случае фторопластоматричного композита с жесткими частицами наполнителя – углеродными волокнами (УВ) и мягкой матрицей – фторопласт-4 (Ф-4) эффективные свойства находятся вблизи нижней границы.

Хорошее совпадение теоретических методов определения свойств композита, в котором наполнитель из углеродных волокон смоделирован эллипсоидами [3], с практическими испытаниями [4] получено в предположении, что все армирующие волокна имеют одинаковую длину.

В реальных же условиях такое распределение проблематично как из-за анизотропии свойств измельчаемого углеродного волокна, так и особенностей конструкции технологического оборудования. Поэтому в обиход разработчиков хаотично-армированных волокнистых материалов введено понятие эффективной длины волокна $l_{эф}$, характеристического отношения диаметра волокна d к его длине l (l/d), и закона распределения волокон наполнителя по длинам. Безусловно, наилучшее совпадение проектных свойств композита с реальными будет наблюдаться при узком распределении длин измельченных волокон вокруг эффективной (расчетной) длины $l_{эф}$.

Однако до настоящего времени не известны полномасштабные результаты исследования структурных характеристик и свойств фторопластоматричных композитов в зависимости от технологических

параметров их получения. По оценкам, которые базируются на принципах структурного конструирования, а также принимая во внимание опыт предыдущих работ, реальным представляется достижение высокого уровня физико-механических и служебных свойств композитов за счет выбора технологических условий их получения, состава и структурного состояния.

Безусловно, разработка новых фторопластоматричных углеволокнистых композитов антифрикционного назначения на этих основах является актуальной и научно обоснованной.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Таким образом, предстояло найти связь технологических факторов подготовки наполнителя (УВ) с распределением волокон и свойствами фторопластоматричного композита (CFFC).

В качестве варьируемых факторов выбраны:

- время измельчения углеродного волокна;
- число оборотов рабочих органов измельчителя;
- форма измельчающего элемента;
- условия измельчения.

Определяемыми параметрами (функцией отклика) приняты:

- средний размер волокна \bar{l} ;
- прочность при разрыве композита;
- интенсивность изнашивания композита;
- плотность композита.

Среди волокон, применяемых в качестве наполнителей Ф-4, особое место занимают углеродные волокна (УВ) благодаря разнообразным ценным, а по ряду показателей уникальным механическим и физико-химическим свойствам. В них удачно сочетаются высокие прочность и модуль упругости с низкой плотностью, поэтому по удельным показателям они превосходят все жаростойкие волокна. Так, например, высокопрочные высокомодульные УВ имеют $\sigma_e = 2,5 - 3,5 ГПа$ и $E = 200 - 700 ГПа$ при $\rho = (1,6 - 1,8) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

УВ делятся на карбонизированные (температура термообработки 1173-2273 К, содержание углерода 80-99%) и графитизированные (температура термообработки до 3273 К, содержание углерода – выше 99%).

Из марок углеволокнистого наполнителя выбирались те, которые имеют масштабный тоннаж производства и доступность приобретения для производства образцов как для лабораторных испытаний материала, так и возможностей изготовления заготовок и деталей для стендовых и натуральных испытаний.

Из доступного разнообразия углеродных тканей, лент, трикотажа, тесьмы и шнуров [5,6] для исследований выбраны ткани и ленты: УТТ-2, УВМ-4, УТМ-8, ТГН-2М, ТМП-1, углен, грален, хортица, текарм, урал.

Критериями выбора, наряду с доступностью, служили также показатель высокого выхода углерода и необходимый уровень механических и физико-химических свойств.

Проведенные исследования [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] показали, что среди УВ с различной конечной температурой обработки карбонизированные УВ (с низкотемпературной обработкой) обладают лучшей смачиваемостью, большим адсорбционным и адгезионным взаимодействием с фторопластом-4 по сравнению с графитированным УВ (с высокотемпературной обработкой). Карбонизированные УВ подвергаются меньшему разрушению в процессе получения и переработки наполненного Ф-4. Следовательно, наиболее целесообразным в

применении оказались карбонизированные волокна [8, 11, 12], которые и стали предметом нашего исследования.

После предварительного дробления углеродной ткани полученные волокна длиной 5–15мм необходимо было измельчить до проектных размеров с интервалом 80-200 мкм. Измельчение проводили на мельницах с различным характером измельчающего воздействия. В качестве измельчителей были использованы: дисмембратор ПИ-0,25, дезинтегратор Д-73, молотковая мельница ММЛ-250, центробежная шаровая мельница РИТЧ, струйная мельница ВНИССВ, дисмембратор «Альпине», модернизированная мельница МРП-1.

В результате отборочных испытаний, выбранных к рассмотрению измельчителей, наиболее приемлемой по достижимым результатам для лабораторных испытаний выявилась модернизированная мельница МРП-1. На этом оборудовании и были проведены все лабораторные испытания.

Оценка измельченного углеволокнистого наполнителя проводилась методом сканирующей микроскопии на программно-аппаратном комплексе с программным обеспечением «ВидеоТест – Структура 5.0».

Программа испытаний УВ-наполнителя и фторопластоматричных композитов с ним предполагала как изучение влияния технологии подготовки наполнителя на свойства композита, так и способов модификации армирующих УВ для получения композитных материалов с максимально возможными служебными свойствами.

На первом этапе исследований определено влияние технологических параметров процесса подготовки УВ-наполнителя фторопластоматричного композита на его прочностные свойства.

Среднечисельная длина углеволокон в композиции Ф-4, как показали исследования, во многом зависит от числа оборотов рабочих органов измельчителя, времени измельчения и формы дробящего элемента. Проблема оптимизации технологических режимов получения УВ-наполнителя и фторопластоматричной композиции решалась методами математического моделирования.

Выбранные технологические режимы позволили получать УВ-наполнитель с длиной 80-350 мкм. Найдено, что определяющим параметром, обеспечивающим необходимое распределение УВ и требуемые свойства композита, является число оборотов рабочих органов измельчителя.

Зависимость прочности при разрыве σ_p (МПа) и относительного удлинения (δ (%)) от числа оборотов вала измельчителя при одном и том же времени измельчения представлена в таблице.

Таблица 1 – Зависимость свойств углефторопластового композита от технологических условий подготовки наполнителя

Число оборотов рабочих органов измельчителя <i>n</i> , об/мин	15% УВ (19,8 об. %)		20% УВ (25,6 об. %)	
	σ_p , МПа	δ , %	σ_p МПа	δ %
700	7-8	15-20	9-11	19-22
1000	9-11	19-22	13-15	60-225
2000	10-13	65-220	14-16	50-200
3000	11-13	40-100	16-24	10-140
7000	13-18	50-200	18-25	12-170
9000	15-21	70-225	18-26	10-160
12000	19-22	65-220	19-28	5-140

ВЫВОДЫ

Найдено, что в зависимости от выбранных параметров подготовки УВ при одной и той же схеме сборки установки измельчения среднечисленная длина УВ может изменяться от 100 до 300 мкм, что приводит к изменению основных физико-механических показателей на 15–35%. Спецификой технологических режимов получения наполненных фторопластоматричных композитов с УВ на измельчителях ударно-истирающего действия (типа МРП) есть взаимосвязь распределения УВ со скоростью вращения ротора измельчителя (линейной скоростью рабочего органа) и производительностью по готовому наполнителю. Проведенные исследования позволили разработать алгоритм подбора оптимальных технологических параметров работы оборудования.

SUMMARY

WAYS OF FORMING OF FUNCTIONAL CARBON FIBER INGREDIENT OF FLUON COMPOSITION

*O.A. Budnik, M.V. Burmistr, A.F. Budnik**

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dniepropetris'k;

**Sumy State University*

The most technological carbon fibre materials are considered as ingredients of polytetrafluorethylen. The role of technological processes of preparation of ingredients and composition is appraised carbon fibre fluon composition) in forming of structure and operating properties of composition. The possible ways of forming of ingredient of necessary faction, mass distributing and morphology are offered. Information of tests of composite material, which well conform to project properties, is resulted.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудукаленко В.В., Шаповалов С.П., Будник А.Ф. Выбор структуры трехфазного карбопластика для износостойких уплотнений // Сб. научн. трудов «Химическое машиностроение: расчет, конструирование, технология». – К. 1992. – С.94-100
2. Шаповалов С.П., Будник А.Ф. Разработка новых структур износостойких композитов, применяемых в узлах трения // Тез. докл. респ. научн.-техн. конф. «Материалы и упрочняющие технологии – 92». – Курск, 1992. – С.117.
3. Дудукаленко В.В. Оптимальное использование собственной прочности волокон в композитах с пластической матрицей. – Сумы: СФХПИ, 1990. С. – 1-10.
4. Будник А.Ф. Разработка абразивостойкого трехкомпонентного композитного материала на основе политетрафторэтилена: Дис... канд.техн. наук: 05.16.06; 05.02.04. – К. : Ин-т проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАНУ, 1993. – 132 с.
5. Цицлаков О.Г. Научные основы технологии композиционных волокнистых материалов. – Пермь: Перм.кн.изд-во, 1974. – 316 с.
6. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ошмян В.Г., Ениколопов Н.С. Принципы создания композиционных полимерных материалов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
7. Новикова О.А., Сергеев В.П., Литвинов В.Ф. Эффективность способов модификации углеродных волокнистых материалов // Пласт.массы. – 1985.-№ 3. – С.19-21.
8. Сиренко Г.А. Антифрикционные карбопластики. – Киев: Техника, 1985. – 195 с.
9. Сіренко Г.О., Мідак Л.Я., Квич М.Б. Пошук оптимального вмісту вуглецевого волокна в полімерній матриці антифрикційного композиту // Фізика і хімія твердого тіла. – 2006. – Т.7. – №1. – С. 172-176.
10. Будник А.Ф., Будник О.А., Бурмістр М.В. Вплив та місце технологічних процесів підготовки наповнювачів і композиції у технології виробництва композитів на основі фторопласту – 4 // Вісник СумДУ. – 2007. - № 1. – С. 64-72.
11. Будник О.А., Бурмістр М.В., Будник А.Ф. Моделирование влияния технологических параметров подготовки накопителя на эксплуатационные свойства углефторопластовых композитов // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. – 2007. - № 1. – С. 64-71.
12. Углеродные волокна /Под ред. С. Симамуры. – М.: Мир, 1987. – 304 с.

Поступила в редакцию 26 марта 2009 г.