

УДК 621.763.678.019.34

# ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМОВАНИЯ УГЛЕФТОРО- ПЛАСТОВОГО КОМПОЗИТА МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. А. Томас

Аспирантка\*

E-mail: alisa-ua2007@yandex.ru

М. В. Бурмистр

Доктор химических наук, профессор, заведующий  
кафедройКафедра переработки пластмасс и фото-, нано-,  
полиграфических материалов\*\*Украинский государственный химико-технологический  
университет  
пр. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005

А. Ф. Будник

Кандидат технических наук, доцент, заведующий  
кафедройКафедра прикладного материаловедения  
Сумской государственной университет  
ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007

*Робота присвячена вирішенню задачі створення зносостійких композитних матеріалів на основі політерафторетилена (ПТФЕ) та вуглецевих волокон (ВВ) методами математичного моделювання. Проаналізовано та знайдено основні технологічні параметри процесу одержання таких композиційних матеріалів, що впливають на структуру і властивості композиту*

*Ключові слова: ПТФЕ, технологічні параметри, умови формування, математичне моделювання, зносостійкість*

*Работа посвящена решению задачи создания износостойких композитных материалов на основе политерафторэтилена (ПТФЭ) и углеродных волокон (УВ) методами математического моделирования. Проанализированы и найдены основные технологические параметры процесса получения таких композиционных материалов, влияющие на структуру и свойства композита*

*Ключевые слова: ПТФЭ, технологические параметры, условия формирования, математическое моделирование, износостойкость*

*Is devoted to solving the task of creating wear-resistant composite materials based on politeraftoretilena (PTFE) and carbon fibers (CF) using mathematical modeling. Analyzed and found the main technological parameters process for obtaining these composite materials, affecting the structure and properties of the composite*

*Key words: PTFE, technological parameters, forming conditions, mathematical modeling, abrasion resistance*

## 1. Введение

Широко применяемый во многих областях современного машиностроения и промышленности – политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт-4) и композиционные материалы (КМ) на его основе продолжают переживать время своего активного развития и совершенствования с использованием новых видов наполнителей, способов получения составляющих композиции, применения новейших методов исследования структуры КМ и качества поверхности при их дизайне. Уникальность ПТФЭ, заключающаяся в эксклюзивном наборе физико-механических и химических свойств - низкий коэффициент трения, химическая инертность по отношению практически к

любым агрессивным средам, высокая термостойкость, в сочетании с диэлектрическими характеристиками и другими специфическими свойствами [1] позволяет эффективно использовать его для получения современных композитов.

Материаловедение, в том числе полимерное, на современном этапе развития тесно связано с теоретическими науками, в частности с математическими. Это плодотворное сотрудничество уже давно переросло в новый этап разносторонних исследований и заняло своё весомое место в развитии современного теоретического и прикладного материаловедения. Области таких исследований и анализа, известные как математическое моделирование, широко используются и имеют практическое применение. В век тотальной

компьютеризации, это направление сформировалось в привилегированную область современных материаловедческих исследований.

При этом отпадает необходимость проведения огромного количества эмпирических исследований и экспериментов для определения поведения материала в определенных условиях, появляется возможность прогнозирования свойств материала и композиции исходя из анализа её составляющих и технологии получения [2].

## 2. Материалы, постановка, задачи и методика эксперимента

Оптимальный комплекс свойств наполненных композиционных материалов определяется:

- 1) выбором и технологией подготовки наполнителя по составу, дисперсности, топологии поверхности;
- 2) соотношением наполнителя и полимера;
- 3) технологией совмещения наполнителя с полимером;
- 4) технологией переработки полученной композиции в изделие [3,4,5].

Используя математические модели на каждой из этих стадий получения композита мы можем моделировать необходимые технологические условия получения, задавая новые изменяющиеся параметры (активный эксперимент). Безусловно, это требует и проведения обычных прикладных исследований (пассивного эксперимента), но в значительно меньшем объеме, чем обычно по определенной схеме с рандомизацией, что, собственно, и задается методами математической статистики [6].

В качестве матрицы КМ использован фторопласт-4 (ГОСТ 10070-80), в качестве наполнителя – углеродное волокно УТМ-8 (УТМ-8-1с) ТУ48-20-17-72. Композицию получили по известной технологии (ТУ-301-05-16-89) завода-изготовителя УПО «Галоген» (г. Пермь, Россия).

*Технологические аспекты формования заготовок из КМ на основе Ф-4*

Из-за высокой вязкости расплава единственно возможным способом получения заготовок из ПТФЭ и композитов на его основе является прессование [5]. Технология прессования – это формование полимерных композиционных материалов в пресс-форме под действием давления для получения заготовки или изделия с заданными размерами, формой и плотностью, что обеспечивает эффективность и возможность получения композитов с необходимыми эксплуатационными свойствами [8].

Сущность процесса прессования ПТФЭ и композиций на его основе заключается в уменьшении их начального объема обжатием. При этом получают из рыхлого порошка композиции ПТФЭ и углеродного волокна с насыпной плотностью от 0,2 до 0,7 г/см<sup>3</sup> заготовки с плотностью от 1,83 до 2,12 г/см<sup>3</sup> в результате более плотной упаковки частиц порошка под воздействием прилагаемого к нему давления - от 35 до 100 МПа. Известно [9], что объем тела при прессовании изменяется в результате заполнения пустот между прессуемыми частицами за счет их смещения и пластической деформации. Реализация процесса по-

лучения КМ с необходимыми свойствами требует разработки управляемой технологии прессования, позволяющей, изменяя ее параметры, в конечном итоге управлять структурой получаемого композита и эксплуатационными свойствами готового изделия.

Основными технологическими параметрами, влияющими на структуру и свойства композита при технологии его прессования являются - усилие прессования, скорость прессования, время выдержки под давлением, время выдержки после прессования до термической обработки.

Рассмотрению, изучению и анализу подвергался технологический процесс прессования композиции методами его математического моделирования. Разработанная математическая модель технологического процесса прессования даёт возможность прогнозировать эксплуатационные свойства будущего композита, сделав этот участок техпроцесса получения композита управляемым.

В ходе исследований проведены эксперименты по определению основных технологических и физико-механических факторов технологии КМ на его служебные (эксплуатационные) свойства. Результаты испытаний представлены в таблицах 1 - 3.

Исследовали влияние следующих факторов:

$X_1$  - скорость прессования, см/мин. Уровни фактора  $X_1$ : верхний – 15, нижний - 3;

$X_2$  - время выдержки под прессом, мин. Уровни фактора  $X_2$ : верхний – 60, нижний - 0;

$X_3$  - усилие прессования, МПа. Уровни фактора  $X_3$ : верхний – 80, нижний - 20;

В качестве функции отклика выбраны эксплуатационные характеристики композитов – интенсивность изнашивания  $I \cdot 10^{-7}$  [мм<sup>3</sup>/Н\*м] и предел прочности при сжатии  $\sigma_{сж}$  [МПа].

Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли стандартными методами математической статистики. Значение среднеквадратичного отклонения и границы доверительных интервалов определяли по критерию Стьюдента при уровне надежности 0,95. Значимость линейных эффектов проверяли с помощью критерия Фишера, который рассчитывали как отношение большей оценки к меньшей [6].

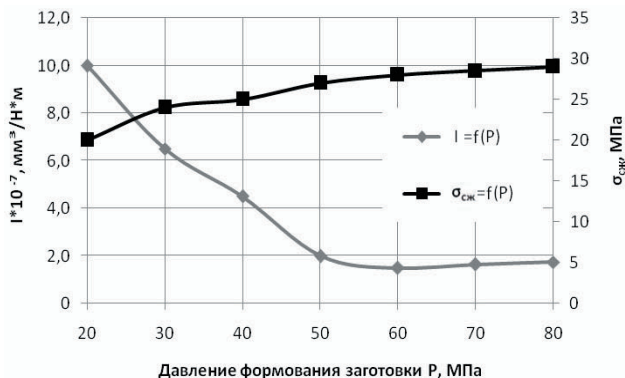
Графическое представление результатов проведенных исследований приведено на рис.1-3. Во всех опытах, кроме экспериментов с фактором 3, давление прессования заготовки  $R_{пр} = (60 \pm 2)$  МПа, температура спекания  $T_{сп} = (630 \pm 5)$  К. Проведенный анализ полученных результатов позволяет сделать такие выводы.

Увеличение давления прессования выше 60 МПа приводит более чем к 10% снижению износостойкости. Предварительные микроскопические исследования микротомных срезов сечения заготовки из композита говорят о том, что это связано с разрушением армирующих волокон и потерей ими армирующих (в т.ч. усиливающих сопротивление изнашиванию) свойств (рис. 1).

Увеличение времени выдержки прессовки композиции под давлением выше 30 мин. приводит к значительному снижению износостойкости, что очевидно связано с разрушением армирующих волокон при релаксации напряжений в объеме прессовки (удельное давление в верхней части прессовки значительно выше, чем в нижней за счет внутреннего и внешнего

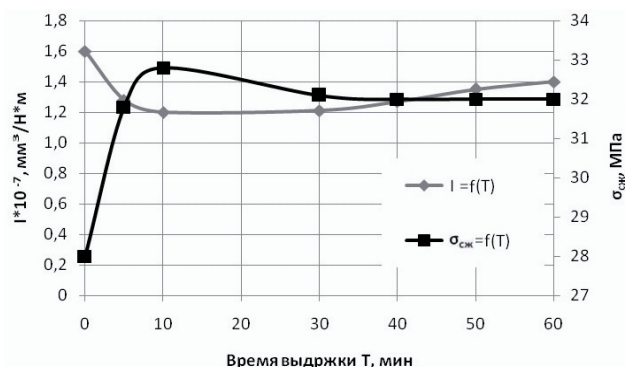
трения композиции при формировании ее в заготовку) (рис. 2).

Увеличение скорости прессования свыше 7 см/мин. приводит к снижению износостойкости композита, т.к. фронт усилий прессования не успевает распространиться по объему прессовки, что вызывает разрушение углеволокон в верхней части прессовки и недопрессовку средней и нижней части заготовки при ее формовании (рис. 3).



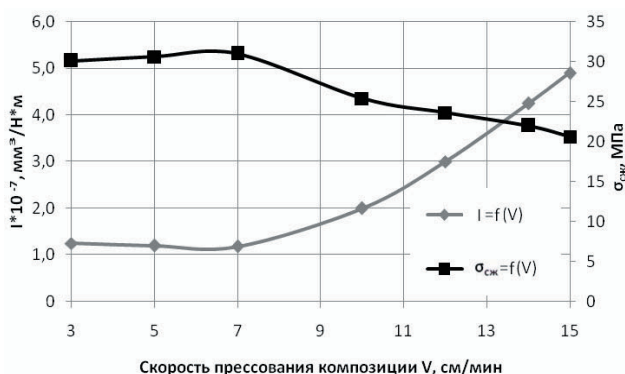
T<sub>спекания</sub> (630 ± 5)К

Рис. 1. Влияние давления прессования заготовки на эксплуатационные свойства углефторопластового композита



T<sub>спекания</sub> (630 ± 5)К, P<sub>прессования</sub> (60±2)МПа

Рис. 2. Влияние времени выдержки прессовки композита в пресс-форме до спекания на его эксплуатационные свойства



T<sub>спекания</sub> (630 ± 5)К, P<sub>прессования</sub> (60±2)МПа

Рис. 3. Влияние скорости прессования композиции на эксплуатационные свойства композита

**Выводы**

Установлены основные параметры технологического процесса – прессования заготовки из композиции и найдены их оптимумы. Показано, что зависимость интенсивности изнашивания углефторопластового композита от условий формирования заготовки носит экстремальный характер.

**Литература**

1. Сиренко Г.А. Антифрикционные карбопластики. – Киев: Техника, 1985.
2. Будник О.А., Руденко П.В., Будник А.Ф., Ильиных А.А. Разработка уплотнительного углефторопластового композиционного материала с требуемыми свойствами технологией его получения // Тезисы XII международного научно-технической конференции «Гервикон-2008»: г.Перемышль Кельце, Польша 2008г.-С.299-306.
3. Берлин А.А. Полимерные композитные материалы: структура, свойства, технология: Учеб.пособ. Изд.перераб./М.Р. Кербер, В.м. Виноградов, Г.С. Головкин и др. Под.ред. А.А. Берлина.-СПб.:Профессия,2009.-560с.
4. Мікульюнок І.О. Термопластичні композитні матеріали та їх наповнювачі: класифікація та загальні відомості // Хімічна промисловість України.-2005.-С.30-39.
5. Будник А.Ф., Будник О.А. Технологические процессы подготовки наполнителя и композиции в производстве композиционных материалов на основе политетрафторэтилена // восточно-европейский журнал передовых технологий.-2007.№3/4(27).-С.9-13.
6. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов.-2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1982 – 288с.
7. Пугачев А.К., Росляков О.А. Переработка фторопластов в изделия: Технология и оборудование.-Л.:Химия, 1987.-168с.
8. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структура. Модификация.М.:Машиностроение,2005.-240с.
9. Порошковое материаловедение / Андриевский Р. А. - М. Металлургия 1991.-205 с.