Исследование физико-механических и триботехнических характеристик ПКМ на основе политетрафторэтилена в зависимости от марки углеродных волокон

*Маркова М.А., аспирант 3-го года обучения,
Институт проблем нефти и газа СО РАН,
г. Якутск
E-mail: markovamusya@mail.ru*

*Аргунова А.Г., старший научный сотрудник,
Институт проблем нефти и газа СО РАН,
г. Якутск
E-mail: ag_argunova@mail.ru*

Аннотация. Приведены сравнительные результаты физико-механических и триботехнических характеристик полимерных композитных материалов (ПКМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) в зависимости от марки углеродных волокон (УВ).

Введение. Политетрафторэтилен является перспективной основой для композитов, используемых в качестве деталей в узлах трения, так как обладает предпочтительным комплексом физико-механических и триботехнических свойств. Основными его недостатками является низкая износостойкость и способность к необратимым деформациям под действием нагрузки, из-за которых его почти невозможно использовать под высоким давлением [1]. Для решения данной проблемы необходимо модифицировать ПТФЭ различными наполнителями.

Известно, что применение углеродных волокон (УВ) в качестве наполнителей, позволяет существенно повысить прочностные характеристики ПКМ на основе ПТФЭ, сохранив деформационные характеристики на приемлемом уровне [2].

Целью данной работы является исследование зависимости физико-механических и триботехнических свойств ПКМ на основе ПТФЭ в зависимости от марки УВ.

Объекты и методы исследования.

Исследованы полимерные композиты на основе ПТФЭ марки ПН, наполненные разными марками дискретных углеродных волокон, отличающихся природой:

-УВИС-АК-П на основе гидратцеллюлозного сырья производства ООО «НПЦ» УВИКОМ» (Россия);

-УКН-М на основе полиакрилонитрильных (ПАН) волокон производства НПЦ ООО «УВИКОМ» (Россия);

-ЛО-1-12Н/40 производства ОАО «СветлогорскХимволокно» (Беларусь), полученная путем термообработки из однонаправленной вискозной ленты.

На данном этапе работы количество вводимого УВ в ПТФЭ соответствовало 1, 3 и 5 мас. %, т.к. известно, что повышение концентрации любых наполнителей в ПТФЭ выше 5 мас.%, а особенно волокнистых, приводит к ухудшению деформационно-прочностных характеристик полимерных материалов [3].

Предел прочности при растяжении σ_r и сжатии $\sigma_{сж}$, а также относительное удлинение при разрыве ϵ_r определяли на испытательной машине UTS-2 (Германия) по ГОСТ 11262–80. Триботехнические характеристики – скорость массового изнашивания

и коэффициент трения – были исследованы по стандартной методике (ГОСТ 11629–75) на трибомашине – универсальной машине трения CETRUMT-3. Схема трения «палец-диск», образец – столбик радиусом 5 мм, контртело – вал из стали 45 твердостью 45-50 HRS и шероховатостью $R = 0,06-0,08$ мкм при удельном давлении 160 Н и скорости скольжения 96 об/мин. Время испытания 3 ч.

Результаты исследований и их обсуждение

В табл. 1 представлены результаты исследований деформационно-прочностных и триботехнических свойств ПКМ на основе ПТФЭ и УВ различных марок.

Таблица 1

Физико-механические и триботехнические свойства ПКМ на основе ПТФЭ
в зависимости от содержания и марки УВ

Состав	σ_p , МПа	ε_p , %	E, МПа	$\sigma_{сж}$ при 10% деформации, МПа	$\sigma_{сж}$ при 25% деформации, МПа	I, мг/ч
ПТФЭ	20	304	469	14	23	161,0
ПТФЭ+1 мас.% УВИС-АК-П	15	157	461	15	22	6,3
ПТФЭ+3 мас.% УВИС-АК-П	14	117	507	15	23	3,2
ПТФЭ+5 мас.% УВИС-АК-П	14	117	435	16	21	0,8
ПТФЭ+1 мас.% УКН-М	16	268	509	18	24	-
ПТФЭ+3 мас.% УКН-М	24	292	809	25	28	0,5
ПТФЭ+5 мас.% УКН-М	21	271	1052	29	34	0,5
ПТФЭ+1 мас.% ЛО-1-12Н/40	16	337	683	16	-	15,0
ПТФЭ+2 мас.% ЛО-1-12Н/40	20	329	605	20	-	8,0
ПТФЭ+5 мас.% ЛО-1-12Н/40	16	57	740	25	-	4,5

Примечание: σ_p – предел прочности при растяжении; ε_p – относительное удлинение при разрыве; E – модуль упругости при разрыве; I – скорость массового изнашивания, мг/ч.

Из табл. 1 видно, что модификация ПТФЭ углеродными волокнами, приводит к повышению прочности и износостойкости полученных композитов. С повышением концентрации УВ, в матрице полимера снижается относительное удлинение, что может объясняться формированием более жесткоцепной структуры из-за природы наполнителей. Полимерные композиты, полученные с использованием УВ марки УВИС-АК-П, показали самые низкие деформационно-прочностные характеристики по сравнению с другими марками. Возможно, это связано с тем, что УВ марок ЛО-1-12Н/40, полученные из однонаправленной вискозной ленты, и УКН-М, полученные из ПАН-волокон, относятся к высокомодульным и высокопрочным УВ, по сравнению с УВ на основе гидратцеллюлозного сырья.

Известно, что при разработке любых полимерных композитов, в особенности на основе ПТФЭ, который характеризуется инертностью и высокой вязкостью расплава, существуют две главные проблемы, от степени решения которых, будут зависеть конечные свойства создаваемых материалов: 1) обеспечение равномерности распределения наполнителя по объёму матрицы; 2) обеспечение высокой адгезии наполнителей с полимерной матрицей. Для решения этих проблем существует

множество приемов смешения, механического воздействия и иных способов повышения адгезии [4].

В связи с этим, для улучшения качества смешения ПТФЭ и УВ марки УВИС-АК-П в данной работе использовали технологию получения концентратов наполнителя в полимере с последующей механической активацией в планетарной мельнице при скорости 200, 300, 400 об/мин. в течение 2 минут, с последующим разбавлением полимером до необходимого содержания наполнителя (рис.1).

Рис.1. Этапы получения ПКМ

Результаты физико-механических и триботехнических характеристик полученных ПКМ приведены в табл.2.

Таблица 2
Зависимость физико-механических характеристик от концентрации УВИС-АК-П и технологии получения ПКМ

Состав	Скорость механо-активации, об/мин	σ_p , МПа	ε_p , %	E, МПа	$\sigma_{сж}$ при 10% деформации, МПа	$\sigma_{сж}$ при 25% деформации, МПа	I, мг/ч
ПТФЭ	-	20	304	469	14	23	161,00
ПТФЭ+1 мас.% УВИС-АК-П	200	20	323	657	18	29	3,00
ПТФЭ+3 мас.% УВИС-АК-П	200	20	220	495	19	31	0,46
ПТФЭ+5 мас.% УВИС-АК-П	200	19	168	489	20	33	0,13
ПТФЭ+5мас.% УВИС-АК-П	300	20	283	515	20	33	0,52
ПТФЭ+5мас.% УВИС-АК-П	400	20	364	514	20	33	0,08

Установлено, что использование технологии совместной активации при 200 об/мин. приводит к значительному улучшению износостойкости композитов, но с повышением содержания УВ ухудшаются физико-механические свойства. С повышением скорости совместной активации, повышается прочность и износостойкость

композитов. Это можно объяснить тем, что при 200 об/мин. получается более разрыхленная структура из-за слабого адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз полимер – наполнитель. Однако при этом наиболее износостойкими являются композиты с содержанием УВ 5 мас.%. В связи с этим, на композитах с 5 мас.% УВ, в дальнейшем исследовали влияние скорости вращения барабанов планетарной мельницы на их свойства. Установлено, при повышении скорости вращения барабанов планетарной мельницы до 400 об/мин. при совместной активации ПТФЭ с 5 мас.% УВ, износостойкость ПКМ повышается в 2000 раз по сравнению с исходным полимером, и в 10 раз по сравнению с композитом, полученным по стандартной технологии. При этом, прочность при растяжении полученного композита, остается на уровне исходного полимера, при повышении значений относительного удлинения при разрыве на 20%, и прочности, при сжатии на 40%.

Заключение. Разработана технология совмещения УВ марки УВИС-АК-П с ПТФЭ, заключающейся в совместной активации части полимера с УВИС-АК-П в планетарной мельнице, со скоростью вращения барабанов 200-400 об/мин., в течение 2 минут, с последующим смешением полученной смеси с остальной частью полимера в лопастном смесителе. Разработанная технология введения углеродных волокон марки УВИС-АК-П в полимерную матрицу обеспечивает улучшение физико-механических и триботехнических характеристик ПКМ. Полученные данные по физико-механическим характеристикам и износостойкости превосходят показатели ПКМ, полученные с использованием УВ марок УКН-М и ЛО-1-12Н/40. Таким образом, разработанную технологию в дальнейшем можно использовать для повышения эксплуатационных характеристик композитов с УВ других марок.

Работа выполнена в рамках Госзаказа ФАНО (проект 0377-2018-0001).

Список литературы:

1. Машков Ю.К. Полимерные композиционные материалы в триботехнике / Ю.К. Машков, З.Н. Овчар, М.Ю. Байбарацкая, О.А. Мамаев. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 262 с.
2. Мелешко А.И., Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты / А.И. Мелешко, С.П. Половников. – М.: Сайнс-пресс, 2007. – 194 с.
3. Липатов Ф.С. Физико-механические основы наполнения полимеров / Ф.С. Липатов. – М.: Химия, 1991. – 260 с.
4. Болдырев В.В. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий / В.В. Болдырев, А.А. Охлопкова, С.Н. Попов, П.Н. Петрова и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 343 с.