



УДК 678.073:661.481

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПТФЭ И УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

М.А. Маркова, М.Е. Готовцева

## THE STUDY OF COMPOSITES BASED ON PTFE AND CARBON FILLERS

M.A. Markova, M.E. Gotovceva

**Аннотация.** В данной работе приведены результаты исследований триботехнических и физико-механических характеристик полимерных композитов на основе политетрафторэтилена в зависимости от концентрации углеродных наполнителей. Выявлено, что наполнение ПТФЭ углеродными наполнителями приводит к повышению деформационно-прочностных и триботехнических характеристик на 25-27% и до 350 раз соответственно.

**Ключевые слова:** политетрафторэтилен; углеродные наполнители; прочность, относительное удлинение, износостойкость.

**Abstract.** In this paper the results of investigations of tribological and physical-mechanical characteristics of polymer composites based on polytetrafluoroethylene, depending on the concentration of carbon fillers. Revealed that the content of PTFE carbon fillers leads to increase of deformation and strength and tribotechnical characteristics by 25-27% and 350 times, respectively.

**Key words:** polytetrafluoroethylene; carbon fillers; strength, elongation, abrasion resistance.

### Введение

В последнее время в качестве триботехнических материалов в узлах трения машин и механизмов все чаще применяются полимерные материалы. По сравнению с резинами они имеют более высокие модуль упругости и твердость; они более термо- и морозостойки, обладают высокими механическими и антифрикционными свойствами, отличаются повышенной химической стойкостью к агрессивным средам и менее подвержены старению.

Среди полимерных материалов, применяющихся в сложных условиях эксплуатации, наиболее перспективным является фторопласт-4, или политетрафторэтилен (ПТФЭ), обладающий уникальной химической инертностью, высокой термической стойкостью, морозостойкостью, низкой адгезионной способностью и низким коэффициентом трения. Однако наряду с этим ПТФЭ обладает и рядом отрицательных качеств, таких как сравнительно низкая износостойкость, высокий коэффициент линейного термического расширения и способность деформироваться в нормальных условиях даже при небольших нагрузках [1].

Перспективными наполнителями, оказывающих модифицирующее воздействие на структуру ПТФЭ и существенно повышающих износостойкость композитов на основе ПТФЭ, являются углеродные наполнители-модификаторы различной дисперсности и формы частиц [1,2]. Например, материалы с повышенной износостойкостью Криолон-3, Флувис и Суперфлувис, созданные на основе ПТФЭ с углеродом [3,4], успешно применяются в уплотнениях компрессоров и микрокомпрессоров микрокриогенных систем [3,5]. В связи с этим, в данной работе в качестве модификаторов ПТФЭ использованы углеродные волокна УВИС-АК-П и терморасширенный графит (ТРГ) с целью выявления перспективности их использования для повышения износостойкости и других характеристик.

**Целью** данной работы является исследование физико-механических и триботехнических свойств композитов на основе ПТФЭ, наполненного углеродными волокнами марки УВИС-АК-П и терморасширенным графитом (ТРГ)

ПКМ получали путем смешения компонентов в высокоскоростном лопастном смесителе сухим способом. Концентрация наполнителей в полимерной матрице составляли 1-5 мас.%. Плотность материалов оценивали гидростатическим методом с использованием аналитических весов (ГОСТ 15139-69).

### Обсуждения результатов

В табл.1 и рис.1 представлены значения плотности полимерных композитов в зависимости от количества содержания наполнителей. Видно, что в случае с УВИС-АК-П плотность уменьшается сильнее, чем с ТРГ по сравнению с исходным ПТФЭ.

Таблица 1 - Зависимость плотности в образцах

Состав	Масса образца на воздухе	Масса образца на воде	Плотность
ПТФЭ	3,49	1,88	2,16
ПТФЭ+ТРГ 1%	3,45	1,86	2,16
ПТФЭ+ТРГ 5%	3,57	1,91	2,14
ПТФЭ+УВИС-АК-П 1%	3,49	1,87	2,14
ПТФЭ+УВИС-АК-П 3%	3,54	1,87	2,11
ПТФЭ+УВИС-АК-П 5%	3,52	1,83	2,07

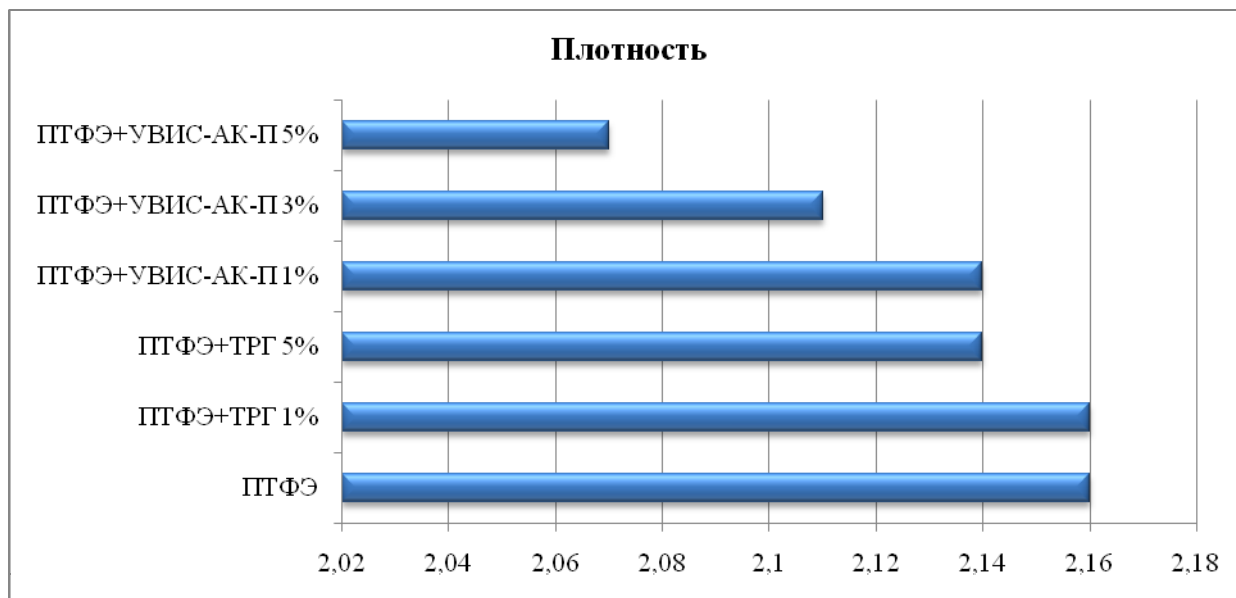


Рисунок 1 – Зависимость плотности в образцах ПКМ

Были проведены исследования прочности при растяжении и сжатии полимерных композитов в зависимости от концентрации наполнителей (табл. 2, 3). Предел прочности при растяжении и сжатии определяли на испытательной машине «UTS-2» (Япония) по ГОСТ 8462-85 при температуре  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ . В табл. 2 показаны результаты исследования деформационно-прочностных характеристик (предела прочности при растяжении и относительного удлинения) при разрыве композитов на основе ПТФЭ в зависимости от

концентрации наполнителей. Видно, что при добавлении в ПТФЭ УВИС-АК-П в количестве 1-3 мас.% происходит повышение модуля упругости и деформационно-прочностных композитов на 17-24% по сравнению с исходным полимером. Повышение модуля упругости и прочности композита в этом случае связано с тем, что УВ по сравнению с ПТФЭ является более жестким материалов. Увеличение концентрации УВ до 5 мас.% приводит к снижению деформационно-прочностных характеристик ПКМ, что связано с повышением жесткости материала, о чем свидетельствует увеличение модуля упругости композита по сравнению с композитами с содержанием УВ 1-3 мас.%. При наполнении ПТФЭ ТРГ также наблюдается повышение модуля упругости и прочности композита. Увеличение концентрации ТРГ до 5 мас.% приводит к снижению деформационно-прочностных характеристик ПКМ, как и в случае с УВИС-АК-П по той же причине.

Таблица 2 - Физико-механические характеристики ПКМ при разрыве

Состав	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Модуль упругости, МПа
ПТФЭ	19,63	304,25	468,96
ПТФЭ+УВИС-АК-П 1мас. %	20,72	344,74	621,68
ПТФЭ+УВИС-АК-П 3мас.%	22,93	377,76	628,29
ПТФЭ+УВИС-АК-П 5мас.%	17,14	251,29	654,58
ПТФЭ+ТРГ 1%	22	389	576
ПТФЭ+ТРГ 5%	17	283	625

Исследования предела прочности при сжатии при различных значениях деформации ПКМ, результаты которых приведены в табл. 3 и рис.2.

Из таблицы видно, что добавление в ПТФЭ УВИС-АК-П и ТРГ независимо от их концентрации происходит повышение прочностных показателей при сжатии, при этом наиболее прочным является композит с содержанием УВ и графита 5 мас.%.

Таблица 3 - Физико-механические характеристики ПКМ при сжатии

Состав	Прочность при сжатии при 5% деформации, МПа	Прочность при сжатии при 10 % деформации, МПа	Прочность при сжатии при 25% деформации, МПа
ПТФЭ	5,42	13,90	23,00
ПТФЭ+УВИС-АК-П 1%	12,5	16,5	27,390
ПТФЭ+УВИС-АК-П 3%	13,25	17,5	28,711
ПТФЭ+УВИС-АК-П 5%	14,55	18,1	29,502
ПТФЭ+ТРГ 1%	12	15	26
ПТФЭ+ТРГ 5%	13	17	27

Испытания на износостойкость композитов были проведены на трибомашине SETRUMT-3 (Универсальная машина трения-3). Схема трения «палец – диск» (образец – столбик с радиусом 5 мм от центра, контртело – стальной вал из стали 45 с твердостью 45-50

HRS и шероховатостью  $R=0,06 - 0,08$  мкм) при удельном давлении 160 Н, скорости скольжения 96 об/мин. Время испытания 3 часа. Результаты исследования скорости массового изнашивания ПТФЭ и композитов на его основе приведены на рис.3

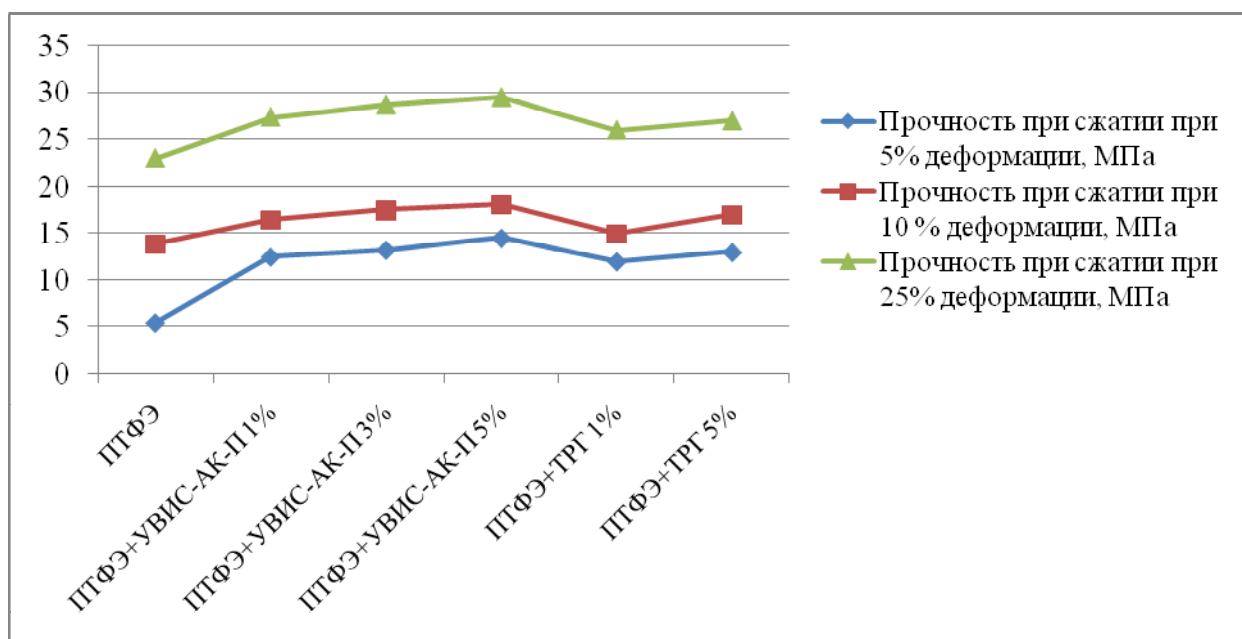


Рисунок 2 - Зависимость прочности при сжатии при различных значениях деформации от содержания углеродных волокон УВИС-АК-П и терморасширенного графита (ТРГ)

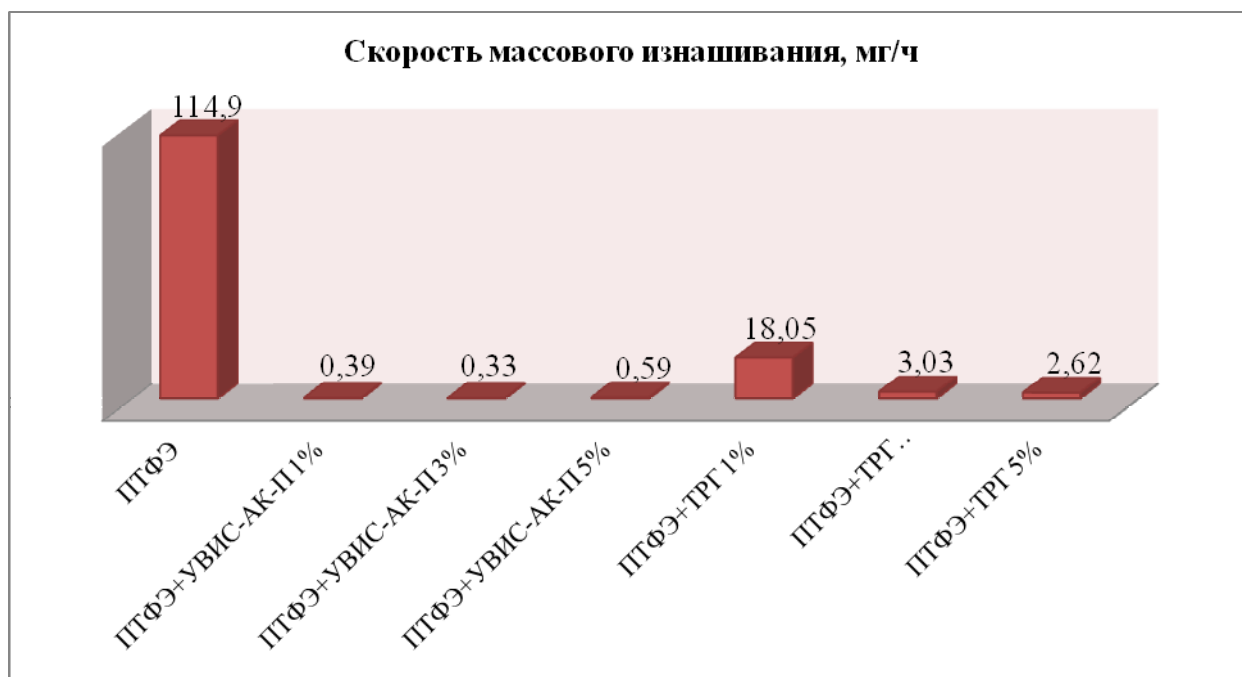


Рисунок 3 - Зависимость скоростей массового изнашивания от содержания УВИС-АК-П и ТРГ

Видно, что модификация ПТФЭ углеродными волокнами приводит к повышению износостойкости в 195-350 раз. При этом наибольшей износостойкостью обладают композиты с содержанием углеродного волокна 3 мас.%. У этих же композитов зарегистрировано максимальное улучшение деформационно-прочностных характеристик по сравнению с исходным полимером. Исходя из этого, можно предположить, что при введении

углеродного волокна в количестве 3 мас.% в ПТФЭ происходит формирование более упорядоченной структуры, которая обеспечивает высокую износостойкость при трении. В случае с ТРГ видно, что модификация ПТФЭ терморасширенным графитом приводит к повышению износостойкости в 6-44 раз. При этом наибольшей износостойкостью обладают композиты с содержанием терморасширенного графита 5 мас.%.

### Заключение

На основании проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что при модифицировании ПТФЭ углеродными наполнителями УВИС-АК-П и ТРГ приводит к увеличению предела прочности при растяжении в случае содержания наполнителей до 3 мас.%, а при сжатии происходит закономерное увеличение прочности в обоих случаях с повышением концентрации наполнителя;
2. Выявлено, что при модификации ПТФЭ углеродными волокнами марки УВИС-АК-П, скорость массового изнашивания уменьшается от 195 до 348 раз;
3. Установлено, что при модификации ПТФЭ терморасширенным графитом, скорость массового изнашивания уменьшается от 6 до 44 раз.

Таким образом, что в целом углеродные наполнители УВИС-АК-П и ТРГ оказывают положительное влияние на свойства ПТФЭ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. 240 с.
2. Полимерные композиционные материалы в триботехнике / Ю.К. Машков [и др.]. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. 262 с.
3. Машков Ю.К. Трибофизика и свойства наполненного фторопласта. Омск: Изд-во ОмГТУ, 1997. 192 с.
4. Машиностроительные фторкомпозиты: структура, технология, применение / Под науч. ред. В.А. Струка. Гродно: Изд-во ГрГУ им. Янки Купалы, 2012. 339 с.
5. Aderikha V.N., Shapovalov V.A. Effect of filler surface properties on structure, mechanical and tribological behavior of PTFE-carbon black composites // Wear. 2010. V. 268. No 11-12. P. 1455-1464.

### REFERENCES

1. Mashkov Yu.K., Ovchar Z.N., Surikov V.I., Kalistratova L.F. *Kompozitsionnye materialy na osnove politetraftoretilena. Strukturnaya modifikatsiya* [Composite materials based on polytetrafluoroethylene. A structural modification]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2005. 240 p.
2. *Polimernye kompozitsionnye materialy v tribotekhnike / Yu.K. Mashkov i dr.* [Polymer composites in tribology. Mashkov Yu. et al.]. Moscow: Nedra-Biznestsentr Publ., 2004. 262 p.
3. Mashkov Yu.K. Tribophysical properties of PTFE and filled. Omsk: OSTU, 1997. 192 p.
4. *Mashinostroitel'nye ftorkompozity: struktura, tekhnologiya, primenenie / pod nauchnoy redaktsiey V.A. Struka* [Engineering for capacity: structure, technology, application. Ed. by V.A. Struk.]. Grodno: Publishing house of University them. Yanka Kupala, 2012. 339 p.
5. Aderikha V.N., Shapovalov V.A. Effect of filler surface properties on structure, mechanical and tribological behavior of PTFE-carbon black composites. *Wear*, 2010. V.268. No 11-12. P. 1455-1464.



## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Маркова Марфа Алексеевна*

Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск, Россия, аспирант лаборатории материаловедения

E-mail: [markovamusya@mail.ru](mailto:markovamusya@mail.ru)

*Markova Martha Alekseevna*

Institute of Oil and Gas Problems, Yakutsk, Russia, graduate student laboratory of material science

E-mail: [markovamusya@mail.ru](mailto:markovamusya@mail.ru)

*Готовцева Мария Егоровна*

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия, студент 5 курса кафедры фундаментальной и прикладной химии

E-mail: [mariagotovseva@mail.ru](mailto:mariagotovseva@mail.ru)

*Gotovtseva Maria Egorovna*

North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Yakutsk, Russia, 5th year student of the Department of pure and applied chemistry

E-mail: [mariagotovseva@mail.ru](mailto:mariagotovseva@mail.ru)

**Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:**

677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН, лаборатория материаловедения, Маркова М.А. +79681553020