

УДК 621.7+678.5 (035.3)

Методологические подходы к совершенствованию технологии машиностроительных фторкомпозитов

С.В. Авдейчик¹, канд. техн. наук, Э.Т. Крутько², д-р техн. наук,
А.С. Антонов³, канд. техн. наук, В.А. Струк³, д-р техн. наук, А.Н. Лесун³

¹ООО «Молдер» (г. Гродно, 230020, Беларусь)

²Белорусский государственный технологический университет (г. Минск, 220006, Беларусь)

³Гродненский государственный университет им. Янки Купалы (г. Гродно, 230023, Беларусь)

E-mail: ela_krutko@mail.ru

DOI: 10.31044/1994-6260-2022-0-8-20-27

Статья поступила в редакцию 17.12.2021

После доработки 02.02.2022

Принята к публикации 11.03.2022

Рассмотрены структурно-технологические аспекты получения композиционных материалов на основе политетрафторэтилена. Показано, что вследствие проявления инертности компонентов в процессах межфазного взаимодействия с увеличением степени наполнения в рамках традиционной технологической парадигмы реализуется структурный парадокс. Данный парадокс заключается в пропорциональном снижении параметра прочности при растяжении фторкомпозитов при увеличении их степени наполнения. На основе концепта энергетического и технологического соответствия компонентов предложены технологические принципы устранения негативного влияния структурного парадокса путем управления структурой фторкомпозитов на различных уровнях организации: молекулярном, надмолекулярном, фазовом и межфазовом. Разработаны эффективные приемы изготовления изделий из высоконаполненных фторкомпозитов, содержащих 25–35% (мас.) углеродного волокна и обладающих параметрами деформационно-прочностных характеристик, в 1,5–2,0 раза превосходящими параметры аналогов «Флубон», «Флувис».

Ключевые слова: политетрафторэтилен, композит, модификатор, энергетическая активность, межфазное взаимодействие, концепт энергетического и технологического соответствия.

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) и композиционные материалы на его основе находят широкое применение для изготовления изделий герметизирующего и триботехнического назначения [1–7], а также обладающих повышенной теплостойкостью [8], теплопроводностью [9] и электропроводностью [10]. Характерные особенности строения макро-

молекулы ПТФЭ обуславливают параметры надмолекулярной структуры, определяющие механизмы трения, изнашивания, деформирования под действием статических и динамических нагрузок, а также инертность в процессах взаимодействия с технологическими средами. В частности, это относится к процессам межфазного взаимодействия

с компонентами различного состава, строения и дисперсности, которые используются в качестве функциональных модификаторов композиционных материалов при изготовлении изделий различного назначения.

Анализ литературных источников, посвященных исследованию физико-химических и технологических аспектов получения и переработки функциональных фторкомпозитов, свидетельствует о сформировавшихся традиционных методологических подходах, основанных на классических представлениях полимерного материаловедения, физикохимии и технологии пластических масс и композиционных материалов [1–3]. Сущность этих подходов состоит в применении методов регулирования надмолекулярной структуры композита путем использования фрагментов органических и неорганических волокон: стеклянных, оксалоновых, базальтовых, углеродных [1–3, 12].

Для получения фторкомпозитов используют эффективные приемы управления структурой на различных уровнях организации [2, 5, 7], которые позволили разработать и промышленно освоить марочный ассортимент, включающий несколько десятков наименований с различными параметрами деформационно-прочностных, триботехнических и теплофизических характеристик [1–3, 5–7, 12]. При всем многообразии марок фторкомпозитов (материалы серии «Флубон», «Флувис», Ф4К20, Ф4Г10 и др.) при их получении реализован общий технологический принцип формирования и переработки в изделия, сочетающий операции смешения компонентов в заданных соотношениях, холодного прессования заготовок и их горячего спекания в атмосфере воздуха. Этот технологический принцип, близкий по сущности к используемому в технологии порошковой металлургии, в настоящее время доминирует в литературных, патентных и коммерческих источниках, став основой технологической парадигмы функциональных фторкомпозитов [1, 2, 8, 12, 13].

Традиционная технология обусловила достижение определенного уровня деформационно-прочностных и триботехнических характеристик функциональных фторкомпозитов, превышение которого в ее рамках не представляется возможным или сопряжено со значительными затратами материальных и энергетических ресурсов, снижающих эффективность практического применения полученных изделий [1–3, 5–8, 13].

Цель настоящей работы состояла в разработке принципов совершенствования технологии функциональных фторкомпозитов на базе концепции многоуровневого модифицирования.

В качестве базового связующего при получении фторкомпозитов использовали промышленно выпускаемый политетрафторэтилен (ПТФЭ) марок Ф-4ПН, Ф-4ПН90, Ф-4ТМ, различающихся средним размером порошкообразной фракции (ОАО «ГалоПолимер», Россия). Для армирования матричного ПТФЭ использовали фрагменты углеродного волокна (УВ), полученные механическим диспергированием углеродной ленты марки ЛО-1-12Н (ОАО «СветлогорскХимволокно», Беларусь), с размером фракций не более 200 мкм.

Целевое модифицирование ПТФЭ осуществляли введением в состав технического углерода (ТУ) марок П234 и П803 со средним размером единичных частиц 20 и 80 нм соответственно, ультрадисперсного ПТФЭ (УПТФЭ), промышленно выпускаемого под торговой маркой «Форум» (Институт химии ДВО РАН, Россия) и представляющего собой полимер-олигомерные продукты термодинамического синтеза политетрафторэтилена [5], и фторсодержащих олигомеров «Фолеокс» («Эпилам») [6]. Кроме того, в качестве модификаторов структуры ПТФЭ использовали дисперсные частицы полуфабрикатов органического и неорганического происхождения — глины, трепела, оксидов металлов, углеродных нанотрубок, ультрадисперсных углеродсодержащих продуктов

детонационного синтеза УДА и УДАГ (ЗАО «Синта») и др.

Образцы для исследований деформационно-прочностных и триботехнических характеристик разработанных фторкомполитов изготавливали в соответствии с требованиями нормативной документации на материалы типа «Флубон» (аналог «Флувис») [7] и по оригинальным технологиям, позволяющим реализовать принцип многоуровневого модифицирования: МА — механохимическое активирование компонентов на стадии их совмещения, ВС — всестороннее сжатие компонентов на стадии высокотемпературной монолитизации, ПД — механохимическое активирование компонентов на стадии низкотемпературной монолитизации композита. Для модифицирования поверхностного слоя УВ использовали короткоимпульсное лазерное излучение с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм.

Параметры деформационно-прочностных (σ_p , $\sigma_{сж10\%}$, $E_{сж}$, HV) и триботехнических (интенсивность изнашивания I , коэффициент трения f) характеристик определяли по стандартным методикам, рекомендованным в нормативной документации, с применением установок МР-200, ComTen 94С, Р-0,5, ХП-250, машин трения СМЦ-2, ХТИ-72. Анализ физико-химических свойств и структуры образцов осуществляли на основе данных ИК-спектроскопии (Tensor-27), атомной силовой (Nanotop-III), оптической (Micro200T-01), растровой электронной (LEO1455VP) микроскопии и рентгеноструктурного анализа (Дрон-2,0).

В ряде литературных источников отмечена невозможность сохранения некоторых исходных параметров свойств матричного полимера ПТФЭ (например, предела прочности при растяжении σ_p , удельной ударной вязкости (УУВ)), либо их увеличения при введении наполнителей любого состава и дисперсности, в том числе высокопрочных, особенно при их повышенном содержании [2, 7]. Для фторкомполитов характерным является про-

явление структурного парадокса, состоящего в значительном снижении значений ряда важнейших параметров фторкомполитов (плотности, σ_p , f) при введении армирующих наполнителей (например УВ) [5]. Введение в состав композита более 20% (мас.) любого, в том числе высокопрочного, наполнителя нецелесообразно, так как наблюдается значительное снижение параметра σ_p , определяющего область применения изделий из него.

Системный анализ влияния структуры фторкомполитов на механизмы деформирования, разрушения и изнашивания изделий из них в различных условиях нагружения и эксплуатации позволил выявить основные факторы (на молекулярном, надмолекулярном, фазовом и межфазовом уровнях), влияющие на проявление структурного парадокса при реализации традиционных технологий их изготовления [5].

Несовершенство структуры фторкомполитов на молекулярном уровне предопределено специфическим строением макромолекулы ПТФЭ, обуславливающим отсутствие вязко-текучего состояния. Молекулярное строение ПТФЭ диктует необходимость применения специальных технологических приемов, обеспечивающих образование малодефектной структуры при температурном воздействии на спрессованный образец. Наиболее эффективным приемом является введение в межчастичный граничный слой термодинамически совместимых с ПТФЭ модификаторов, выполняющих роль высокомолекулярного пластификатора.

С повышением активности частиц дисперсных модификаторов, которая может быть достигнута путем применения специальных технологий образования наноразмерных фракций [1, 5], механическим или термическим воздействием на полуфабрикат [1–3], эффективность их действия на процесс надмолекулярной организации усиливается, что обеспечивает необходимый эффект модифицирования при существенно меньших концентрациях наполнителя [1, 6].

Поэтому наноразмерные модификаторы (УДАГ, цеолиты, сиалоны и др.), подвергнутые механоактивации, обеспечивают существенное увеличение параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик фторкомпозитов при содержании до 1% (мас.) [1, 3, 14].

На фазовом уровне образование несовершенной структуры фторкомпозита обусловлено формированием в процессе смешивания частиц матричного полимера и наполнителя, агломератов кластерного типа, обуславливающих возникновение микродефектов в образце после холодного прессования и сохраняющихся после спекания заготовки вследствие действия сил межчастичного трения, стерических и реологических препятствий для заполнения полостей кластеров связующим.

Межфазовый уровень несовершенства структуры композиционных материалов на основе ПТФЭ, приводящего к снижению параметров их служебных характеристик, реализуется вследствие дефектности граничных слоев в системе матрица—наполнитель, обуславливающей их низкую прочность, которая предопределена инертностью макромолекул ПТФЭ в процессах адсорбционного взаимодействия и отсутствием вязко-текучего состояния связующего, препятствующего его растеканию по поверхности наполнителя. Поэтому в композитах, наполненных дисперсными фрагментами углеродных, стеклянных и других волокон, не реализуются в полной мере их прочностные параметры, которые в других термопластичных матрицах, обладающих высокой текучестью расплава, приводят к существенному повышению значения параметров σ_p и $\sigma_{сж}$.

Методом РЭМ установлено, что независимо от индивидуальных параметров дисперсных частиц (состава, структуры и технологии получения) для них характерно кластерообразование в процессе получения и хранения, а также наличие у частиц микроразмерного диапазона (механически диспергированного

кремня, силикатных стекол, формиата меди, трепела, глины, оксидов металлов, ПТФЭ, УПТФЭ и др.) наноразмерных компонентов в поверхностном слое частиц.

Параметр L_0 , характеризующий предельное значение размера в наноразмерном диапазоне, в соответствии с [15] может быть рассчитан по формуле:

$$L_0 = 230 \cdot \theta_D^{-1/2},$$

где θ_D — температура Дебая для вещества частицы.

Расчет параметра L_0 для исследованных частиц свидетельствует о том, что компоненты, формирующие рельеф поверхностного слоя, имеют размеры, соответствующие наносостоянию, которое характеризуется особыми параметрами энергетических характеристик [16, 17].

Анализ спектров ТСТ модификаторов различного состава, строения и технологии получения свидетельствует не только об их активном состоянии, но и о различных температурных диапазонах проявления этого состояния [14].

Поэтому для повышения эффективности модифицирующего действия дисперсных компонентов целесообразно использовать технологические приемы, обуславливающие формирование морфологии поверхностного слоя с наноразмерными компонентами, которые обеспечивают образование оптимальной структуры композитов на надмолекулярном и межфазовом уровнях организации.

Наносостояние дисперсных частиц конденсированных сред различного состава, строения и технологии получения определяется совокупностью факторов (рис. 1). Поэтому для повышения значений прочности и износостойкости композиционных материалов на основе ПТФЭ с содержанием наполнителей более 20% (мас.), относящихся к высоконаполненным, необходимо изменить традиционные подходы, сформировавшие технологическую парадигму [1—3, 7, 13, 14].

Сущность этих изменений состоит в необходимости следующих операций:

осуществление технологической подготовки компонентов, позволяющей достичь оптимальных размеров частиц преобладающей фракции и снизить негативное влияние нестабильного молекулярно-массового распределения матричного полимера на параметры деформационно-прочностных, реологических характеристик и межчастичного взаимодействия;

применение технологии совмещения компонентов материала, обеспечивающей разрушение кластерных структур, образованных частицами ПТФЭ и наполнителя (УВ) в процессе смешения;

использование в качестве целевых модификаторов компонентов с высокой термодинамической совместимостью, которые повышают пластичность матрицы при холодном прессовании и монолитизации благодаря эффекту пластификации; эффективным модификатором этого типа являются олигомерные и полимер-олигомерные продукты химического и термогазодинамического синтеза — фторсодержащие олигомеры (ФСО), ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ);

реализация принципа многоуровневого модифицирования с использованием компонентов различной дисперсности, размеров и энергетического состояния, оказывающими оптимальное структурирующее действие на различных уровнях организации;

достижение оптимального соотношения энергетических характеристик матрицы и наполнителя для реализации превалирующего межфазного процесса, который формирует граничный слой с повышенной адгезией.

Оценка эффективности практического использования разработанных методологических принципов технологии высоконаполненных фторкомполитов указывает на целесообразность и обоснованность изменения сложившейся парадигмы [2, 13, 14]. Так, на-



Рис. 1. Факторы, определяющие наносостояние дисперсных частиц конденсированных сред

пример, модифицирование компонентов (ПТФЭ и УВ) фторсодержащими олигомерами типа «Фолеокс» («Эпилам») и полимер-олигомерными продуктами УПТФЭ, в том числе при энергетическом воздействии лазерным излучением (ЛИ), позволяет повысить параметры деформационно-прочностных (σ_p , $\sigma_{сж10\%}$) и триботехнических (I , f) характеристик композитов, содержащих 20% (мас.) УВ и при идентичных режимах переработки, на 15—20% по сравнению с аналогами («Флубон», «Флувис») (табл. 1).

При этом лазерное модифицирование УВ приводит к существенному увеличению указанных параметров вследствие образования поверхностного слоя с наноразмерными компонентами с повышенной активностью в процессах межфазного взаимодействия, что в сочетании с пластифицирующим действием олигомерной составляющей УПТФЭ обеспечивает синергический эффект повышения износостойкости и прочности при растяжении.

Механохимическое активирование компонентов на стадии их совмещения (технология МА), высокотемпературной монолитизации в замкнутом объеме технологической оснастки (технология ВС) или низкотемпературной монолитизации путем пластического деформирования заготовок (технология ПД) обеспечивает значимые технические эффекты, особенно при увеличении содержания армирующего компонента (УВ) свыше 20% (мас.) (рис. 2).

1. Сравнительные характеристики композиционных материалов на основе политетрафторэтилена и углеродного волокна

Способ модифицирования углеродного волокна	Характеристики для материалов					
	ПТФЭ + 10% (мас.) УВ			ПТФЭ + 20% (мас.) УВ		
	σ_p , МПа	$I \cdot 10^7$	f	σ_p , МПа	$I \cdot 10^7$	f
Обработка раствором фторсодержащих олигомеров «Фолеокс» марок Ф-1 или Ф-14 [18]	18–19	3,0–3,1	0,18–0,20	15–16	3,0	0,19–0,22
Обработка продуктами термогазодинамического синтеза (УПТФЭ) при соотношении полимерной и олигомерной фракций 1:0,1 с термической фиксацией при 70–90 °С [19]	21,0	1,5	0,15–0,16	31,0	1,3	0,15–0,16
Обработка продуктами термогазодинамического синтеза (УПТФЭ) при соотношении полимерной и олигомерной фракций 1:0,5 с механической фиксацией при скорости сдвига 0,1–0,5 м/с [19]	22	1,3	0,13–0,15	30	1,1	0,13–0,14
Обработка волокна лазерным излучением с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм и энергией импульса 1,6 Дж при продолжительности импульса 2 мс как до нанесения УПТФЭ, так и после его нанесения [20]	25	1,1	0,10–0,11	35	0,4	0,10–0,11

Использование активирующих технологий (ВС, МА) позволяет в более полной мере реализовать потенциальные возможности моди-

фикаторов различного состава, дисперсности и механизма действия. Так, при применении технологии всестороннего сжатия (ВС) у композитов, содержащих 5–10% (мас.) УВ и 5–10% (мас.) ТУ, наблюдается существенное увеличение прочности при растяжении σ_p (рис. 3). Активирующие технологии (МА, ВС, ПД) оказывают благоприятное влияние на параметры триботехнических характеристик композитов при высокой степени наполнения (25–35% (мас.)) вследствие уменьшения дефектности на различных структурных уровнях (см. рис. 2, кр. 1', 2'), что подтверждается исследованием поверхности сколов образцов методом РЭМ.

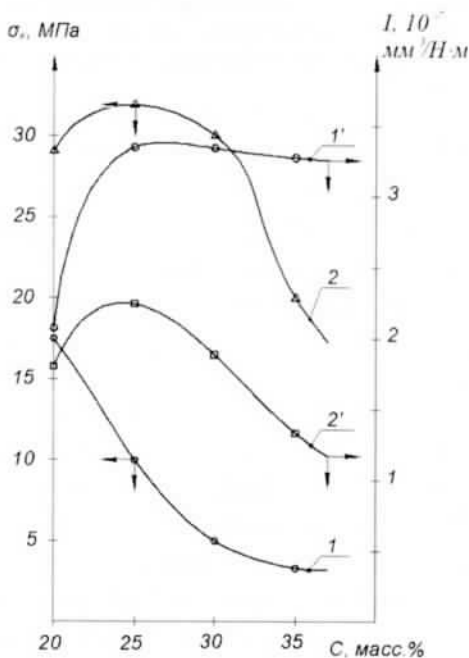


Рис. 2. Зависимость параметра прочности при растяжении (1, 2) и интенсивности изнашивания (1', 2') от содержания в композиционном материале углеродного волокна при использовании традиционной (1, 1') и разработанной технологии всестороннего сжатия (ВС) формования образцов (2, 2')

Предложенные технологии формирования и переработки компонентов на различных стадиях (МА, ВС, ПД) позволили разработать составы с повышенным содержанием УВ (25–35% (мас.)), существенно превосходящие аналоги по параметрам деформационно-прочностных и триботехнических характеристик (табл. 2).

Технически значимой особенностью применения разработанных технологий в различных вариантах сочетания (МА+ВС,

2. Сравнительные параметры служебных характеристик фторкомпозитов

Параметр	Показатель для материала									
	Флубон	Флувис	Суперфлувис	сформированного по технологии						
				МА		ВС		ВС + ПД		
Содержание УВ, % (мас.)	30	30	20*	30	20*	20	30	20	30	30
σ_p , МПа	9	14	17*	18	27*	28	26	29,3	30	32
$\sigma_{сж}$, МПа	27	30	—	33	—	—	35	—	40	45
I , 10^{-7} мм ³ /(Н·м)	5,0	5,0	3,5*	4,5	1,5*	2,19	2,4	1,96	2,3	1,5

* Данные нормативной технической документации на композиционные материалы «Флувис» (ТУ РБ 03535279.071—99) и «Суперфлувис» (ТУ ВУ 400084698.178—2006) ОАО «Гродненский механический завод»

ВС+ПД) является возможность значительно увеличения параметров деформационно-прочностных (σ_p , $\sigma_{сж}$) и триботехнических характеристик (I) при превышении содержания УВ свыше 20% (мас.), что расширяет нагрузочный диапазон применения изделий из них в различных практических приложениях.

Таким образом, реализация феномена наносостояния дисперсных частиц в структуре фторкомпозитов на базе концепта многоуровневого модифицирования компонентов обеспечивает уменьшение вероятности проявления «структурного парадокса» и возможность достижения синергического сочетания параметров деформационно-прочностных характеристик композитов при использовании разработанных технологических принципов их получения и переработки.

Выводы

При выборе методологического подхода к реализации технологии получения фторкомпозитов целесообразно обеспечить механизмы проявления энергетического состояния модифицирующего компонента, необходимого в процессах структурообразования на межфазном уровне. Оптимальное управление параметрами энергетического состояния дисперсных частиц наполнителя обуславливает реализацию совокупного эффекта структурирования граничного слоя под действием силового поля модификатора и оптимизации адсорбционных процессов в активном нанорельефе поверхностного слоя.

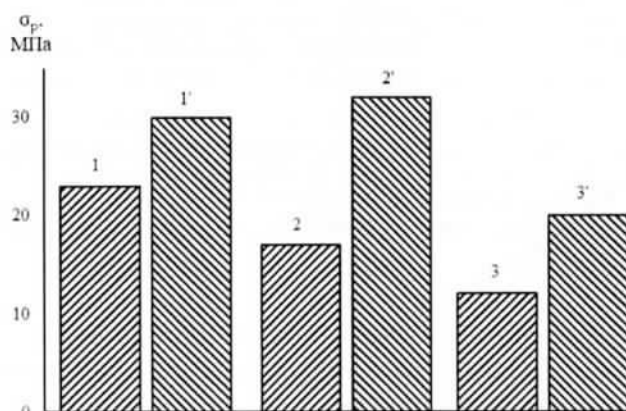


Рис. 3. Зависимость прочности при растяжении от содержания комплексного модификатора при формировании образцов по традиционной технологии (1, 2, 3) и технологии ВС (1', 2', 3').

Содержание УВ в композитах, % (мас.): 1, 1' — 5; 2, 2' — 10; 3, 3' — 15; содержание ТУ, %, (мас.): 1, 1', 2, 2' — 10; 3, 3' — 5

Для управления параметрами энергетического состояния дисперсных частиц наполнителей целесообразно использовать технологические воздействия, учитывающие особенности состава, кристаллохимического строения, технологической предыстории. Перспективно применение технологий термической, лазерной и механохимической активации компонентов, применяемых для создания функциональных материалов на основе фторсодержащих матриц в рамках предложенного концепта многоуровневого модифицирования компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охлопкова А.А., Андриянова О.А., Попов С.Н. Модификация полимеров ультрадисперсными

- соединениями. Якутск: Изд-во СО РАН, 2003. 224 с.
2. **Машков Ю.К., Овчар З.Н., Байбарацкая М.Ю., Мамаев О.А.** Полимерные композиционные материалы в триботехнике. М.: Недра-Бизнес-центр, 2004. 262 с.
 3. **Охлопкова А.А., Петрова П.Н., Гоголева О.В.** Разработка полимерных нанокомпозитов триботехнического назначения // Перспективные материалы. 2008. № 6. Ч. 2. С. 213—217.
 4. **Гинзбург Б.М., Точильников Д.Т.** Влияние фуллеренсодержащих добавок к фторопластам на их несущую способность при трении // Журнал технической физики. 2001. Т. 71. Вып. 2. С. 120—124.
 5. **Воропаев В.В., Авдейчик С.В., Струк В.А.** Технология формирования высокопрочных износостойких фторкомпозитов / Весці НАН Беларусі: сер. фіз.-тэхн. навук, 2014. № 1. С. 51—59.
 6. **Авдейчик С.В., Захаров Ю.Н., Ищенко М.В., Овчинников Е.В., Щерба Ю.В., Струк А.В.** Фторсодержащие ингибиторы изнашивания металлополимерных систем. Минск: Тэхналогія, 2011. 270 с.
 7. **Шелестова В.А.** Конструкционные материалы триботехнического назначения на основе модифицированных углеволокон и политетрафторэтилена: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01. Гомель: ИММС НАН Беларусі, 2002. 22 с.
 8. **Игнатъева Л.Н., Машенко В.А., Шаулов А.** и др. Композитные материалы на основе фторопласта Ф-4МБ и низкоплавкого оксифторидного стекла // Журнал физической химии. 2019. Т. 93, № 9. С. 1300—1305.
 9. **Baronin G.S., Buznik V.M., Yurkov G.Yu.** et al. Study of Structure and Properties of Polymer Composites Based on Polytetrafluoroethylene and Cobalt Nanoparticles // Inorganic Materials: Applied Research. 2015. V. 6. N 2. P. 179—186.
 10. **Mikhailchan A.A., Lysenko V.A., Sal'nikova P.Yu.** Carbon-fluoropolymer composites: increased electrical conductivity // Fibre Chemistry. 2012. V. 44. N 1. P. 46—49.
 11. **Васильев А.П., Охлопкова А.А., Стручкова Т.С. и др.** Разработка антифрикционных материалов на основе политетрафторэтилена с углеродными волокнами // Вестник СВФУ. 2017. № 3 (59). С. 39—47.
 12. **Машков Ю.К., Кургузова О.А., Рубан А.С.** Разработка и исследование износостойких полимерных нанокомпозитов // Вестник СибАДИ. 2018. Т. 15. № 1 (59). С. 36—45.
 13. **Маркова М.А., Готовцева М.Е.** Исследование композитов на основе ПТФЭ и углеродных наполнителей // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2017. Т. 3. № 1. С. 1—6.
 14. **Авдейчик С.В.** Введение в физику нанокомпозиционных машиностроительных материалов / С.В. Авдейчик, В.А. Лиопо, А.А. Рыскулов, В.А. Струк; под науч. ред. В.А. Лиопо, В.А. Струка. Гродно: ГГАУ, 2009. 439 с.
 15. **Лиопо В.А.** Размерная граница между нано- и объемным состоянием: теория и эксперимент // ВеснікГрДУімяЯнкі Купалы. Сер. 2: Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальна-ятэхніка і кіраванне. 2007. № 2. С. 65—71.
 16. **Gusev A.G., Rempel A.A.** Nanocrystalline materials. Cambridge: Cambridge Intern. Sci. Publ., 2004. 351.
 17. **Cao Guozhong, Wang Ying.** Nanostructures and nanomaterials. 2nd ed. USA: World Scientific, 2011. 581 p.
 18. **Пат. РБ 6350 ВУ.** Способ нанесения антифрикционного и противоизносного фторсодержащего полимерного покрытия / В.А. Струк, Е.В. Овчинников, Ю.С. Бойко, В.А. Губанов, П.Е. Тройчанская // Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2000. № 2. С. 162.
 19. **Пат. РБ 17248 ВУ.** Способ обработки углеграфитового волокна или ткани / В.А. Струк, С.В. Авдейчик, М.В. Ищенко, Р.В. Ищенко, Д.А. Прушак, А.С. Прушак // Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013. № 3. С. 102.
 20. **Пат. РБ 17130 ВУ.** Способ нанесения фторсодержащего покрытия на твердую подложку / В.Г. Сорокин, А.С. Балыкин, В.А. Струк, Е.В. Овчинников, Д.А. Прушак, С.В. Авдейчик // Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013. № 3. С. 105.
 21. **ТУ 6-05-041-781—84.** Заготовки из фторопластовых композиций Ф4УВ15 (Флубон-15) и Ф4УВ20 (Флубон-20).
 22. **ТУ РБ 03535279.071—99.** Заготовки из фторопластовой композиции «Флувис».