

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет
имени М.К. Аммосова»
Институт естественных наук
Химическое отделение

ПАВЛОВА ЕЛЕНА ИННОКЕНТЬЕВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА
ОСНОВЕ ПТФЭ, НАПОЛНЕННОГО ТАЛЬКОМ И ТЕХНИЧЕСКИМ
УГЛЕРОДОМ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени магистра
Направление подготовки 04.04.01 Химия.
Химическое материаловедение

Якутск, 2021 г.

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Развитие освоения Арктической зоны РФ во многом зависит от работоспособности техники и технологического оборудования. Так, эксплуатация техники и машин в экстремальных условиях Крайнего Севера связано с существенными перепадами среднесуточных и среднегодовых температур. Известно, что производительность техники зимой снижается в среднем в 1,5 раза, а производительный ресурс в 2,0–3,5 раза. Таким образом, снижение ресурса работы техники связано с выходом из строя уплотнений и деталей узлов трения при низких температурах. Как известно, эти детали в основном состоят из полимерных материалов, которые сильно подвержены к климатическому воздействию и агрессивным средам.

Наиболее предпочтительным комплексом свойств (морозо-, тепло-, химикостойкость и низкий коэффициент трения) среди полимеров обладает политетрафторэтилен (ПТФЭ), что объясняет его применение в ответственных узлах технических систем. Однако недостатки ПТФЭ такие, как высокий износ и хладотекучесть ограничивают его области применения.

Наиболее перспективным, технологически простым методом устранения его недостатков является модификация ПТФЭ введением наполнителей различной природы, формы, размеров (микро-, нано-). Влияние наполнителей на процессы формирования композитов, их физико-механические и триботехнические характеристики полимерных композиционных материалов (ПКМ) может позволить управлять служебными свойствами материалов, что в свою очередь остается одной из актуальных проблем современного материаловедения.

Целью работы является исследование влияния талька и технического углерода на эксплуатационные свойства и структуру ПКМ на основе ПТФЭ в зависимости от содержания наполнителя.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

1. Исследование физико-механические характеристики ПКМ на основе ПТФЭ и наполнителей, включающих механоактивированный ТУ и Т в зависимости от их содержания и состава;

2. Изучение влияния наполнителей на триботехнические свойства ПКМ в зависимости от содержания и состава и исследовать особенности их изнашивания;
3. Исследование структуры и термодинамических характеристик ПТФЭ и композитов на его основе методом РЭМ, ДСК и ИК-спектроскопии;
4. Разработка ПКМ на основе ПТФЭ с тальком и техуглеродом с улучшенным комплексом физико-механических и триботехнических свойств.

Научная новизна.

Разработаны полимерные композиционные материалы на основе ПТФЭ, наполненного тальком и техническим углеродом, с применением технологии механоактивации наполнителей и их совместного введения, отличающиеся высокими эксплуатационными характеристиками: повышение прочности при растяжении до 40%, износостойкости до 364 раз при сохранении коэффициента трения.

Практическая значимость.

Разработанные материалы триботехнического назначения с высокими эксплуатационными характеристиками могут применяться в узлах трения машин в условиях Севера.

Достоверность и обоснованность результатов.

Достоверность полученных результатов, изложенных в магистерской диссертации, обеспечивается применением стандартных методов и методик испытаний ПТФЭ и композитов на его основе на современном оборудовании, характеризующееся высоким уровнем точности измерений, а также соответствием результатов лабораторных и опытно-промышленных испытаний.

Апробация работы.

По результатам магистерской работы планируется публикация: в международной конференции Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC 2021) (планируется индексация в Scopus); в журнал Южно-Сибирский научный Вестник (входит в перечень ВАК).

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы, содержит 65 страниц, 4 таблиц и 19 рисунков.

Содержание работы

В первой главе проведен литературный обзор современного состояния выбранной тематики, рассмотрена перспективность введения в полимерную матрицу различных типов наполнителей с целью повышения эксплуатационных характеристик.

Во второй главе описаны объекты и методы экспериментальных исследований, используемых в работе.

Объекты исследования. В качестве полимерной матрицы использовали ПТФЭ марки ПН-90 (ОАО «ГалоПолимер», Россия), с плотностью 2,16 г/см³, размер частиц составляет 46–135 мкм. В качестве наполнителей использовали природный тальк (Россия) со средним размером частиц 5-20 мкм, и технический углерод марки К354, с размером частиц 12-120 нм.

Методы исследования. Физико-механические свойства исследовали на универсальной испытательной машине «Autograph» (Shimadzu, Япония) согласно ГОСТ 11262–2017 и ГОСТ 4651–2014. Плотность ПТФЭ и ПКМ измеряли согласно ГОСТ 15139–69. Коэффициент трения ПТФЭ и ПКМ определяли по ГОСТ 11629–2017. Скорость массового изнашивания ПТФЭ и ПКМ определяли на высокотемпературном трибометре «УМТ-3» (СЕТР, США) по схеме «палец-диск» при нагрузке – 2 МПа, скорость скольжения 0,2 м/с, продолжительность трения 3 ч. Исследуемый образец – цилиндр с диаметром 10 и высотой 20 мм; контртело – диск из стали 45 с твердостью 45-50 HRC и шероховатостью $R_a=0,06-0,07$ мкм. Термодинамические параметры полимерных композиционных материалов (ПКМ) получены на дифференциально-сканирующем калориметре типа DSC 204 F1 (Netzsch, Германия). Структуру ПТФЭ и ПКМ исследовали на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA (Thermo Fisher Scientific, Швейцария). ИК-спектры поверхностей ПТФЭ и ПКМ до и после трения получали на спектрометре с Фурье-преобразованием Varian 7000 FT-IR (Varian, США). На сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM-7800F (JEOL, Япония) проведены исследования поверхностей трения ПКМ.

В третьей главе приведены результаты исследования и их обсуждение.

Результаты исследования физико-механических свойств ПТФЭ и композитов на его основе приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики ПТФЭ и ПКМ

Образец	σ_p , МПа	ε_p , %	E_m , МПа	$\sigma_{сд}$, МПа	ρ , г/см ³
ПТФЭ исходный	19 ± 1	328±20	456	13	2,17
<i>ПТФЭ + Тальк</i>					
0,5 мас.% Т	22 ± 1	560±20	458	12	2,17
1 мас.% Т	18 ± 1	389±20	400	12	2,20
2 мас.% Т	18 ± 1	435±20	398	12	2,21
5 мас.% Т	18 ± 1	380±20	385	12	2,25
<i>ПТФЭ + 0,5 мас.% ТУ + Тальк</i>					
0,5 мас.% ТУ	27 ± 1	450±20	123	12	2,20
0,5 мас.% ТУ +0,5 мас.% Т	27 ± 1	511±20	175	13	2,20
0,5 мас.% ТУ +1 мас.% Т	28 ± 1	423±20	257	12	2,21
0,5 мас.% ТУ +2 мас.% Т	24 ± 1	492±20	118	12	2,22
0,5 мас.% ТУ +5 мас.% Т	16 ± 1	513±20	284	12	2,23
<i>ПТФЭ + 1 мас.% ТУ + Тальк</i>					
1 мас.% ТУ	11 ± 1	86±10	387	12	2,17
1 мас.% ТУ +0,5 мас.% Т	11 ± 1	147±10	397	12	2,18
1 мас.% ТУ +1 мас.% Т	10 ± 1	79±10	346	11	2,18
1 мас.% ТУ +2 мас.% Т	9 ± 1	89±10	363	11	2,19
1 мас.% ТУ +5 мас.% Т	9 ± 1	21±10	476	11	2,20

где: σ_{pm} — прочность при растяжении; ε_{pp} — относительное удлинение при разрыве; E_m — модуль упругости; $\sigma_{сд}$ - предел прочности при сжатии; ρ – плотность.

Как видно из таблицы 1, при введении механоактивированного талька в ПТФЭ в количестве от 0,5 до 5 мас.% прочностные свойства ПКМ сохраняются на уровне исходного ПТФЭ. Деформационные свойства ПКМ повысились на 18–70% относительно исходного полимера. Прочность при сжатии и модуль упругости ПКМ сохраняется на уровне исходного полимера. Плотность композитов с увеличением содержания наполнителя повышается от 1,4 до 3,6 % при содержании 1–5 мас.% Т.

При введении ТУ марки К354 в ПТФЭ в количестве 0,5 мас.% приводит к повышению прочности при растяжении на ~35% и относительного удлинения при разрыве на ~37% относительно исходного полимера. Однако, показатель модуля упругости при растяжении и прочность при сжатии не изменились. Плотность композита повысилась на 1,4% по сравнению с исходным ПТФЭ.

Прочность при растяжении ПТФЭ, наполненного комбинированными наполнителями (0,5 мас.% ТУ и 0,5-2% Т) приводит к увеличению прочности при растяжении на 20-40% относительно исходного полимера. Это обусловлено тем, что наполнитель, который концентрируется в аморфных областях, упрочняет его и увеличивает плотность их упаковки. При введении комбинированных

наполнителей 0,5 мас.% ТУ и 0,5-5% Т происходит увеличение относительного удлинения при разрыве на 28-56%.

При увеличении содержания ТУ до 1 мас.% деформационно-прочностные характеристики композитов ухудшаются во всем концентрационном интервале наполнения: прочность при растяжении снизилась на 45-55%, а деформационные свойства на 55-93%. Таким образом, по результатам деформационно-прочностных исследований, можно сделать вывод о том, что модификация ПТФЭ тальком (0,5-5 мас.%) и техническим углеродом 0,5 мас.% приводит к существенному улучшению деформационно-прочностных характеристик ПКМ и с ухудшением показателей чистого ПТФЭ при комбинированном наполнении 1 мас.% ТУ и 0,5-5% мас.% Т. Самым оптимальным содержанием является композиты с ТУ 0,5 мас.% и тальком во всем концентрационном интервале (0,5-5 мас.%).

В таблице 2 приведены результаты исследования скорости массового изнашивания и коэффициента трения ПТФЭ и ПКМ.

Таблица 2 – Триботехнические характеристики ПТФЭ и ПКМ на его основе

Образец	Δm , г	$I \times 10^{-6}$, кг/ч	f
ПТФЭ исходный	-	120	0,22
<i>ПТФЭ + Тальк</i>			
0,5 мас.% Т	0,02497	8,32	0,22
1 мас.% Т	0,01381	4,60	0,21
2 мас.% Т	0,00657	2,19	0,30
5 мас.% Т	0,00186	0,62	0,27
<i>ПТФЭ + 0,5 мас.% ТУ + Тальк</i>			
0,5 мас.% ТУ	0,03267	10,89	0,24
0,5 мас.% ТУ + 0,5 мас.% Т	0,01600	5,30	0,23
0,5 мас.% ТУ + 1 мас.% Т	0,01130	3,76	0,24
0,5 мас.% ТУ + 2 мас.% Т	0,00603	2,01	0,31
0,5 мас.% ТУ + 5 мас.% Т	0,00099	0,33	0,31
<i>ПТФЭ + 1 мас.% ТУ + Тальк</i>			
1 мас.% ТУ	0,03118	10,39	0,24
1 мас.% ТУ + 0,5 мас.% Т	0,01275	4,25	0,20
1 мас.% ТУ + 1 мас.% Т	0,00960	3,20	0,20
1 мас.% ТУ + 2 мас.% Т	0,00135	0,45	0,18
1 мас.% ТУ + 5 мас.% Т	0,00373	1,24	0,34

где: Δm – массовый износ; I – скорость массового изнашивания, кг/ч; f – коэффициент трения.

Показано, что при введении талька (0,5-5 мас.%) в ПТФЭ скорость массового изнашивания ПКМ уменьшается в 14-266 раз по сравнению с полимерной матрицей. Видно, что введение ТУ в количестве 0,5-5 мас.% приводит к снижению скорости изнашивания в 194 раз относительно исходного полимера. При введении

комбинированного наполнителя 1 мас.% ТУ и 0,5-5% мас.% Т скорость изнашивания уменьшается в 364 раз по сравнению с исходным ПТФЭ. Увеличение концентрации 1 мас.% ТУ в комбинированном наполнении с тальком (0,5-5 мас.%) снижает скорость массового изнашивания в 267 раз. Видно, введение комбинированных частиц Т+ТУ в ПТФЭ во всем концентрационном интервале наполнения повышает износостойкость материала по сравнению с композитами состава ПТФЭ+Т и ПТФЭ+ТУ.

Таким образом, можно сделать вывод, что модификация комбинированными наполнителями (ТУ и Т) ПТФЭ приводит улучшению триботехнических свойств ПКМ относительно исходного полимера. Увеличение износостойкости, можно объяснить тем, что частицы наполнителя концентрируясь на поверхности трения играют роль защитного экрана, локализуя деформацию в своем объеме деформации сдвига и предохраняющие поверхностный слой ПКМ от разрушения.

В таблице 3 представлены результаты исследования термодинамических параметров и степень кристалличности ПТФЭ и ПКМ в зависимости от содержания наполнителей.

Таблица 3 – Зависимость термодинамических параметров и степень кристалличности ПТФЭ и ПКМ

Образец	$T_{пл.}, K$	$\Delta H_{пл.} Дж/г$	$\alpha, \%$
ПТФЭ исходный	330,9	-33,04	40,29
<i>ПТФЭ + Тальк</i>			
0,5 мас.% Т	330,8	-29,18	35,59
1 мас.% Т	333,2	-44,60	54,38
2 мас.% Т	333,8	-49,75	60,67
5 мас.% Т	334,3	-52,41	63,91
<i>ПТФЭ + 0,5 мас.% ТУ + Тальк</i>			
0,5 мас.% ТУ	330,8	-29,18	35,59
0,5 мас.% ТУ +0,5 мас.% Т	331,3	-30,69	37,42
0,5 мас.% ТУ +1 мас.% Т	332,7	-37,96	46,29
0,5 мас.% ТУ +2 мас.% Т	334,2	-41,83	51,02
0,5 мас.% ТУ +5 мас.% Т	334,3	-44,40	54,15
<i>ПТФЭ + 1 мас.% ТУ + Тальк</i>			
1 мас.% ТУ	331,7	-32,19	39,25
1 мас.% ТУ +0,5 мас.% Т	333,8	-47,08	57,41
1 мас.% ТУ +1 мас.% Т	333,6	-42,72	54,10
1 мас.% ТУ +2 мас.% Т	333,7	-44,69	54,5
1 мас.% ТУ +5 мас.% Т	333,9	-43,84	53,47

где: $T_{пл}$ – температура плавления, $\Delta H_{пл}$ – энтальпия плавления, α – кристалличность, %;
 W_c - массовая степень кристалличности.

Из таблицы 3 видно, что температура плавления $T_{пл}$ у композитов на основе ПТФЭ+Т и ПТФЭ+ТУ+Т практически остается постоянной. Это связано с тем, что показания снимали в режиме изотермической кристаллизации при небольшой скорости нагревания образцов. Наиболее энергетически выгодное и упорядоченное состояние имеют композиции с концентрацией наполнителей ТУ 0,5 мас.% и Т 0,5-5 мас.%. Видимо, с этим, связаны с улучшенными показателями физико-механических характеристик ПКМ. Относительное удлинение при разрыве ПКМ улучшается в 1,6 раз по сравнению с исходным политетрафторэтиленом.

Увеличение содержания комбинированных наполнителей до 1 мас.% технического углерода и 0,5-5 мас.% талька ведет к росту термодинамических показателей, что свидетельствует об уменьшении подвижности макромолекул полимера в расплаве и дефектной структуре. Снижение физико-механических характеристик видимо, связано с тем, что образуется неоднородная дефектная структура.

В табл. 4 приведены результаты рентгеноструктурного анализа ПТФЭ и композитов.

Таблица 4 – Результаты рентгеноструктурного анализа ПТФЭ и ПКМ на его основе

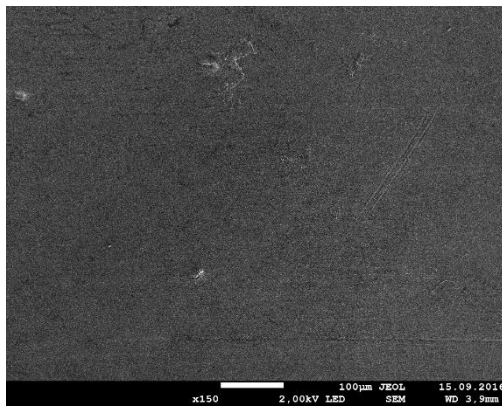
Образец	I_K , отн.ед	I_A , отн.ед.	α , %	L, нм
ПТФЭ исходный	1183	1246	63,07	66,52
<i>ПТФЭ + Тальк</i>				
0,5 мас.% Т	910	637	71,98	81,07
1 мас.% Т	1279	1015	69,38	82,99
2 мас.% Т	1071	651	74,74	74,20
5 мас.% Т	1126	919	68,79	69,71
<i>ПТФЭ + 0,5 мас.% ТУ + Тальк</i>				
0,5 мас.% ТУ	212	229	62,53	70,06
0,5 мас.% ТУ +0,5 мас.% Т	1044	1118	58,29	62,28
0,5 мас.% ТУ +1 мас.% Т	484	499	63,24	66,50
0,5 мас.% ТУ +2 мас.% Т	1187	1224	64,83	65,18
0,5 мас.% ТУ +5 мас.% Т	1103	1103	72,74	65,33
<i>ПТФЭ + 1 мас.% ТУ + Тальк</i>				
1 мас.% ТУ	212	229	62,48	63,09
1 мас.% ТУ +0,5 мас.% Т	1044	1118	62,68	69,54
1 мас.% ТУ +1 мас.% Т	484	499	63,56	61,36
1 мас.% ТУ +2 мас.% Т	1187	1224	63,56	67,05
1 мас.% ТУ +5 мас.% Т	1103	1103	73,62	56,73

где: I_K , I_A – интегральная интенсивность дифракционной кривой от кристаллической и аморфной фаз, α – степень кристалличности, L – размер кристаллитов, нм.

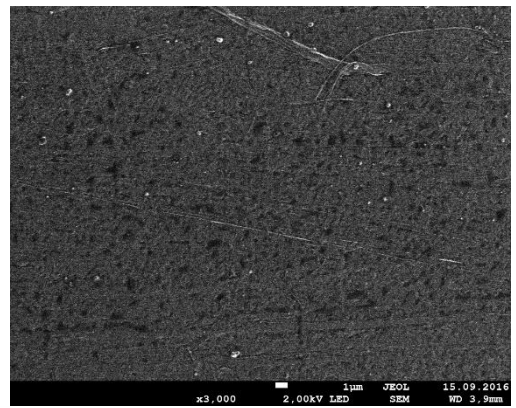
Из табл. 4 видно, что при введении талька от 0,5–5 мас. % размер кристаллитов увеличилась, степень кристалличности повысилась по сравнению с исходным ПТФЭ. При дальнейшем увеличении содержания наполнителя размер кристаллитов остается на уровне исходного ПТФЭ. При добавлении 0,5 мас. % ТУ размеры кристаллитов находятся в пределах 62,28–66,50 нм, что меньше, чем у композитов с тальком. Уменьшение размера кристаллитов ведет к увеличению твердости данных покрытий, которая определяется сопротивлением материала пластической деформации, происходящей преимущественно за счет движения дислокаций при воздействии нагрузки. При увеличении ТУ до 1 мас. % в композитах с тальком меньше, чем у композитов с тальком. Однако в данном случае уменьшение размеров кристаллитов снижает физико-механические свойства, что можно объяснить тем, что большое количество нанонаполнителя становятся концентраторами напряжения.

На рис. 1 приведены микрофотографии на РЭМ, характеризующие поверхность трения исходного ПТФЭ и композитов на его основе.

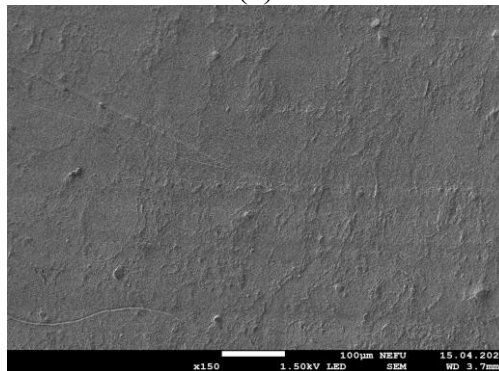
Как видно из рис. 1, поверхность трения исходного ПТФЭ визуально гладкая и характеризуется высокой скоростью изнашивания и низким коэффициентом трения. Подобная поверхность трения ПТФЭ связано с надмолекулярной структурой полимера, которая имеет ленточную структуру. Поверхность трения ПТФЭ при введении ТУ визуально отличается при большом увеличении, где видны «бугорки», что очевидно связано с изменением процесса кристаллизации полимера, так степень кристалличности по плотности и методом РСА повысилась, возможно, за счет образования сферолитоподобных образований. В случае введения комбинированных наполнителей ТУ+Т в ПТФЭ, морфология поверхности трения ПКМ существенно отличается от исходного полимера и ПТФЭ+ТУ. Так, на поверхности трения ПТФЭ+ТУ+Т видны структурные образования, которые являются вторичными структурами и ранее были обнаружены в композитах на основе ПТФЭ, наполненного слоистыми силикатами.



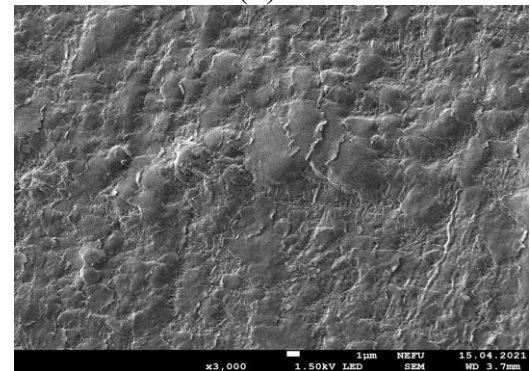
(а)



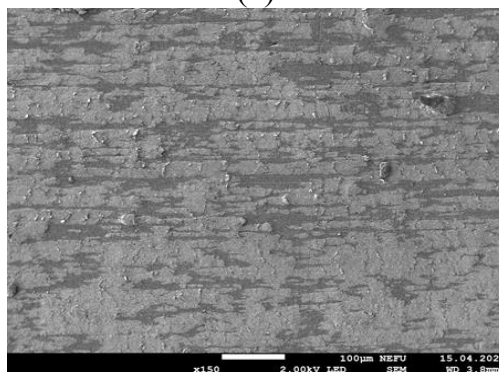
(б)



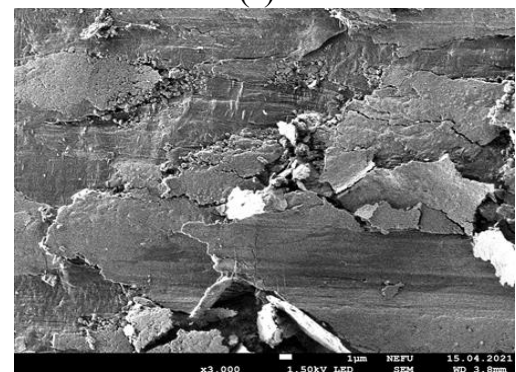
(в)



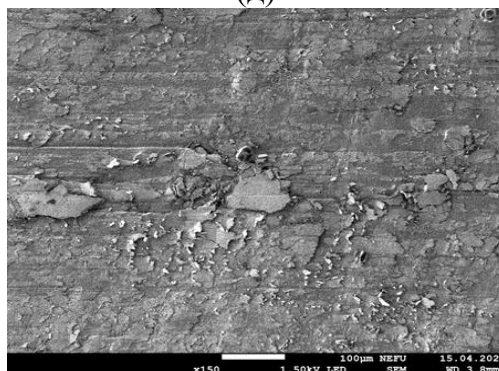
(г)



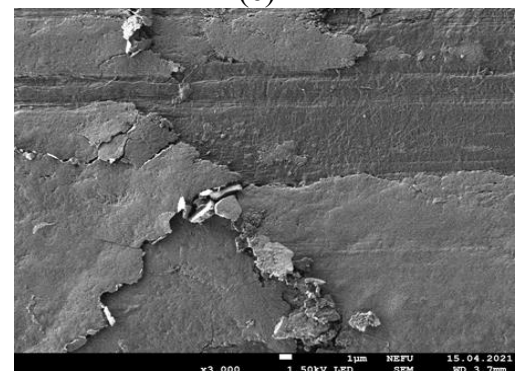
(д)



(е)



(ж)



(з)

Рисунок 1 – Микрофотографии образцов: (а) и (б) исходный ПТФЭ ($\times 150$ и 3000); (в) и (г) ПТФЭ+1%ТУ ($\times 150$ и 3000); (д) и (е) ПТФЭ+0,5%ТУ+5%Т ($\times 150$ и 3000); (ж) и (з) ПТФЭ+1%ТУ+1% Т ($\times 150$ и 3000)

На рис. 2 приведены результаты исследования поверхностей ПТФЭ и ПКМ до и после трения методом ИК-спектроскопии.

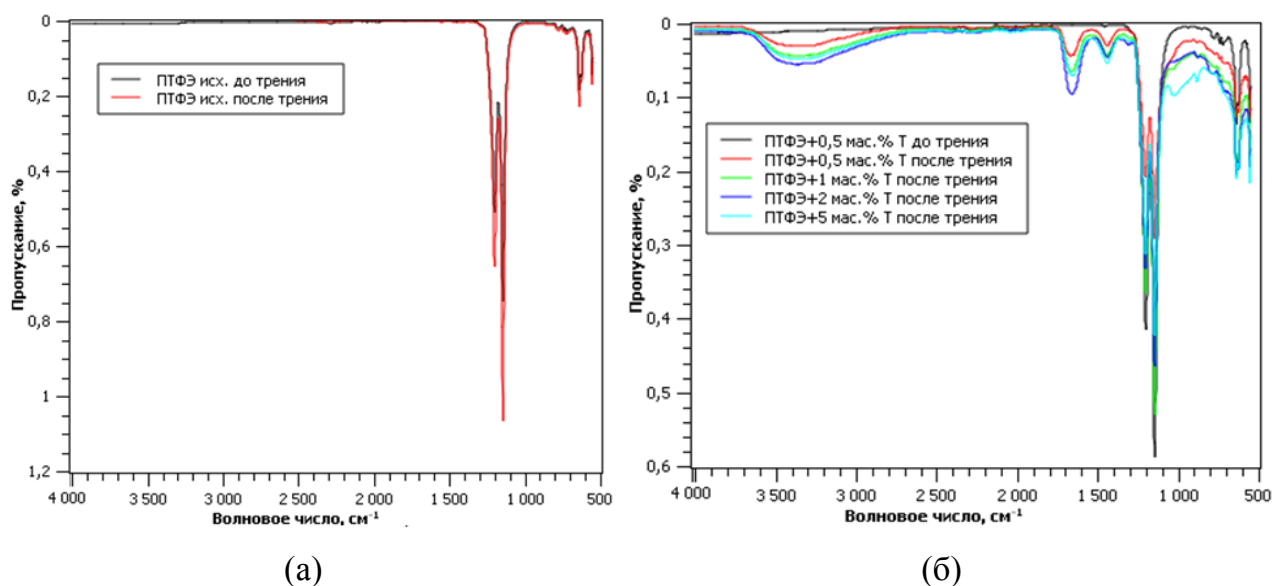


Рисунок 1 – ИК-спектры образцов: (а) исходный ПТФЭ; (б) ПКМ

Из рис. 3 видно, что ИК-спектр исходного ПТФЭ относительно прост и объясняется химической структурой макромолекул полимера $(-\text{CF}_2)_n$. Интенсивные полосы относятся к валентным колебаниям групп $-\text{CF}_2$ (1205 и 1146 cm^{-1}) и колебанию $\nu(\text{CC})$, проявляющемуся в виде перегиба при 1233 cm^{-1} . В области ниже 650 cm^{-1} располагаются деформационные и внеплоскостные колебания групп $-\text{CF}_2$: веерные колебания $\gamma_{\omega}(\text{CF}_2)$ проявляются при 639 cm^{-1} , полосы 555 и 516 cm^{-1} характеризуют деформационные и маятниковые колебания CF_2 -групп¹.

ИК-спектры ПКМ до трения идентичны исходному ПТФЭ. После трения на изношенной поверхности обнаруживается наличие полосы в области 3245 cm^{-1} , которая указывает на межмолекулярную водородную связь О-Н. Появление этой полосы можно представить тем, что при трении может наблюдаться межмолекулярная водородная связь. В области 1655 cm^{-1} и 1433 cm^{-1} в ИК-спектрах композитов видны два характерных пика, которые могут относиться к фрагментам карбоновых солей, в данном случае перфторкарбоновых².

Таким образом, по результатам сопоставления ИК-спектров ПТФЭ и композитов на его основе, до и после трения показывает появление новых пиков и

¹ Игнатъева, Л.Н. ИК-спектроскопические исследования политетрафторэтилена и его модифицированных форм / Л.Н. Игнатъева, В.М. Бузник // Российский химический журнал. Т. LII, №3, 2008. С.139-146.

² Влияние катионов металлов механоактивированного бентонита на трибохимические процессы в ПТФЭ / Слепцова С. А. [и др.] // Трение и износ. – 2018. – Т. 39. – №. 6. – С. 604-611.

изменение полос поглощения. Видимо, происходят различные окислительные процессы и «аморфизация» поверхности трения, что положительно сказывается на триботехнические характеристики.

Заключение

На основании проведенных экспериментальных исследований ПТФЭ и композитов на его основе, можно сделать следующие выводы:

1. Исследовано влияние талька и технического углерода на эксплуатационные свойства ПТФЭ в зависимости от состава и содержания наполнителей. Модификация ПТФЭ комплексным наполнителем (Т+ТУ) приводит к улучшению физико-механических свойств ПКМ: относительное удлинение при разрыве повысилась на 28–56%, прочность при растяжении на 20-40% относительно исходного полимера. Установлено, что оптимальным содержанием наполнителя в полимерной матрице является содержание 0,5 мас.% ТУ и 0,5-5 мас.% Т;

2. Исследованы триботехнические характеристики ПТФЭ и ПКМ на его основе, модифицированных комплексными наполнителями. Показано, что при введении наполнителей в полимерную матрицу износ материалов резко снижается. Износостойкость материалов повысилась в 364 раз при сохранении коэффициента трения на уровне материалов антифрикционного назначения ($\leq 0,3$);

3. Методами РСА, ДСК, РЭМ и ИК-спектроскопии исследованы процессы структурообразования и структура поверхности трения ПТФЭ и композитов на его основе:

- методами ДСК, РСА выявлена взаимосвязь между деформационно-прочностными свойствами и процессами структурообразования: применение технологии механоактивации наполнителей приводит к формированию более упорядоченной структуры с высокой степенью кристалличности, приводящей к высоким деформационно-прочностным характеристикам материалов;

- исследование методами ИК-спектроскопии и РЭМ поверхности трения ПТФЭ и композитов выявило, что в процессе трения протекают окислительные процессы, ингибирующие износ и формируются вторичные структуры, предохраняющие материал от изнашивания;

4. Разработаны новые составы ПКМ на основе ПТФЭ, наполненного механоактивированными 0,5 мас.% ТУ и 0,5-5 мас.%Т. Полученные ПКМ обладают повышенными физико-механическими и триботехническими характеристиками по сравнению с исходным ПТФЭ и могут быть использованы в качестве уплотнительных материалов.