

## Литература

1. Кузнецов П. Н. Термическое растворение каменного угля в технических пастообразователях и их смесях / П. Н. Кузнецов, Н. В. Перминов, Ф. А. Бурюкин // Кокс и химия. – 2019. – № 1. – С. 16–22.
2. Маракушина, Е.Н. Получение пеков и связующих веществ методом термического растворения углей// Дисс. канд. хим. наук, 2015. –137 с.
3. Базегский, А. Е. Исследования процесса термического растворения углейс целью получени связующего для огнеупорных масс / А. Е. Базегский, М. Б. Школлер // Изв. Вузов Черная металлургия. – 2016. – Т. 59. – № 8. – С. 517–522.
4. ГОСТ 11126-88. Сырье коксохимическое для производства технического углерода. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 20с.
5. ГОСТ 10100-2017. Пек каменноугольный электродный. Технические условия. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2017. – 7 с.

УДК 620.22 : 678.743.41

**Сорокин В.Г., Авдейчик С.В., Струк В.А.**

(Гродненский государственный университет имени Янки Купалы)

### **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ФТОРКОМПОЗИТОВ**

Действующая технологическая парадигма функциональных фторкомпозиов обусловила достижение определенного уровня параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик, превышение которого в её рамках не представляется возможным или сопряжено со значительными затратами материальных и энергетических ресурсов, снижающими эффективность практического применения полученных изделий [1–5]. Неэффективность традиционных подходов в реализации технологии функциональных фторкомпозиов особенно ярко выражена при создании наполненных материалов, содержащих более 20 мас. % компонентов различного состава и дисперсности, что резко сужает диапазон их практического применения в триботехнических и герметизирующих системах. Следствием этого является недостаточный ресурс эксплуатации узлов трения специальной техники, вакуумных, криогенных установок и уплотнительных элементов компрессорной техники для получения сжатых и сжиженных газов [1–5]. Между тем, анализ механизмов разрушения и изна-

шивания изделий из высоконаполненных материалов свидетельствует о неполной реализации потенциала как матричного полимера (ПТФЭ), так и модифицирующего компонента.

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

Анализ литературных источников [1–5] свидетельствует о том, что основными положениями традиционной технологии, составляющей парадигму, являются применение классических методов регулирования надмолекулярной структуры матричного полимера с помощью дисперсных наполнителей органической и неорганической природы и введение в ПТФЭ дисперсных фрагментов армирующих волокон при использовании операций механического смешения компонентов, холодного прессования заготовок и их монолитизации при температурах, превышающих температуру плавления кристаллической фазы связующего.

В ряде литературных источников сделано заключение о невозможности сохранения некоторых исходных параметров матричного полимера политетрафторэтилена (например,  $\sigma_p$ , удельной ударной вязкости (УУВ)) и увеличения их значений при введении наполнителей любого состава и дисперсности, в том числе высокопрочных, особенно при их повышенном содержании [4]. Общеизвестным является структурный парадокс для фторкомпозитов, состоящий в значительном снижении значений ряда важнейших параметров ( $\sigma_p$ ,  $f$ ,  $\rho$ ) при введении высокопрочных армирующих наполнителей (например, углеродного волокна (УВ)). Предложено аналитическое выражение (1), позволяющее оценить проявление структурного парадокса при создании фторкомпозитов [4]:

$$\sigma_{pk} = \sigma_{pm} - 0,5i \quad (1)$$

где  $\sigma_{pk}$  – прочность при растяжении композита, МПа;

$\sigma_{pm}$  – прочность при растяжении матричного политетрафторэтилена, МПа;

$i$  – содержание наполнителя, мас. %.

Из данного выражения следует, что введение в состав композита более 20 мас. % любого, в том числе высокопрочного, наполнителя нецелесообразно, так как наблюдается значительное снижение значений параметра  $\sigma_p$ , определяющего область применения изделий из него.

Системный анализ влияния структуры фторкомпозитов на механизмы деформирования, разрушения и изнашивания изделий из них в различных условиях нагружения и эксплуатации позволил выявить основные факторы, влияющие на проявление структурного парадокса

при реализации традиционных технологий их изготовления на молекулярном, надмолекулярном, фазовом и межфазовом уровнях.

Очевидна роль индивидуальных особенностей энергетического состояния дисперсных частиц различного состава, кристаллохимического строения и технологии получения на механизмы протекания процессов кластеризации в композиционных матрицах при используемой совокупности необходимых операций, составляющих технологический процесс – хранения, дозирования, смешивания, загрузки в рабочий объём установки и др. Существенное влияние на проявление энергетической активности оказывают структурные компоненты поверхностного слоя, находящиеся в наносостоянии. Поэтому для повышения эффективности модифицирующего действия дисперсных компонентов различного состава и строения целесообразно использовать технологические приёмы, обеспечивающие создание морфологии поверхностного слоя с наноразмерными компонентами, позволяющими формировать оптимальную структуру на надмолекулярном и межфазовом уровнях организации композитов. Такая морфология будет способствовать не только процессам ориентации макромолекул связующего под действием силового поля наноконструктивных элементов, но образованию слоя с повышенной адгезионной прочностью вследствие заполнения неровностей рельефа связующим.

Учитывая выраженную инертность УВ к процессам физической и химической адсорбции, которые бы способствовали образованию граничного слоя необходимой адгезионной прочности, а также выраженную инертность макромолекул ПТФЭ к процессам адсорбционного взаимодействия с практически любыми высокомолекулярными матрицами и отсутствие характерного вязко-текучего состояния даже при температурах, превышающих температуру плавления кристаллической фазы, объяснимым становится механизм проявления неблагоприятного падения параметров прочности ПТФЭ при его модифицировании УВ во всём диапазоне концентраций (5–20) мас. %. Для снижения вероятности проявления этого неблагоприятного эффекта нами предложены технология модифицирования поверхностного слоя УВ импульсным лазерным излучением (ЛИ) с длиной волны  $\lambda = 1,06$  мкм и длительностью импульса  $2 \cdot 10^{-3}$  с, число импульсов  $1 \div 10$  и различной энергией одиночного импульса в атмосфере воздуха.

Исследования методом РЭМ свидетельствуют о возможности существенного изменения морфологии поверхностного слоя УВ, обработанной ЛИ. Так даже при однократном импульсе воздействия не только поверхностный слой фрагмента УВ приобретает развитый нанорельеф с размером составляющих компонентов (10–100) нм, но образуются объёмные структуры.

ёмные дефекты строения, обусловленные разрушением (перфорированием) волокна под действием процессов абляции и термического удара. При повышении интенсивности энергетического воздействия путём увеличения числа импульсов и увеличением энергии воздействующего импульса наблюдается развитие рельефа поверхностного слоя с образованием выраженных участков плавления, абляции, осаждения продуктов абляции с образованием кластерных структур и перфорирования волокна. Не рассматривая механизмы морфологических изменений фрагментов УВ, которые составляют объект отдельных исследований, отметим, что данный метод модифицирования поверхностных слоёв волокнистых наполнителей имеет особую перспективу в связи с развитой инструментальной базой конструкций источников ЛИ, которые нашли широкое распространение в современном материаловедении. Отметим, что модифицированию с применением ЛИ могут быть подвергнуты как волокнистые полуфабрикаты, так и дисперсные фрагменты и тканевые полуфабрикаты, широко применяемые в технологии композитов. Данный метод активации фрагментов УВ представляется более перспективным по сравнению с методом плазмохимической обработки в среде фторсодержащих компонентов в вакуумной камере [5], так как реализуется в среде воздуха и позволяет осуществлять различные виды модифицирования поверхностного слоя функциональными компонентами.

Оптимальное управление параметрами энергетического состояния дисперсных частиц наполнителя обуславливает реализацию совокупного эффекта структурирования граничного слоя под действием силового поля модификатора и оптимизации адсорбционных процессов различного механизма в активном нанорельефе поверхностного слоя. 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 высокомолекулярных матриц различного вида.

#### Литература

1. Охлопкова, А.А. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями / А.А. Охлопкова, О.А. Андриянова, С.Н. Попов. – Якутск: Изд-во СО РАН, 2003. – 224 с.
2. Полимерные композиционные материалы в триботехнике / Ю.К. Машков [и др.]. – М. : Недра–Бизнесцентр, 2004. – 262 с.
3. Сиренко, Г.А. Антифрикционные карбопластики / Г.А. Сиренко. – Киев: Техника, 1985. – 195 с.

4. Машиностроительные фторкомпози́ты: структура, технология, применение : монография / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А. Струка. – Гродно : ГрГУ, 2012. – 319 с.

5. Шелестова, В.А. Конструкционные материалы триботехнического назначения на основе модифицированных углеволокон и политетрафторэтилена: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.02.01 / В.А. Шелестова. – Гомель : ИММС НАНБ, 2002. – 22 с.

УДК 620.193

Цнев А.Н., Носов В.В.

(Санкт-Петербургский горный университет)

### ФОРМИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОГО АДГЕЗИОННОГО СЛОЯ ЗА СЧЕТ ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ С МЕТАЛЛОМ СТЕНКИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Известно, что одним из провоцирующих факторов начала коррозионных процессов на магистральных газопроводах является потеря свойств и работоспособности изоляционных покрытий [1]. Дефекты изоляционных покрытий образуются под действием внешних факторов - физико-химических процессов, протекающих в материале изоляции под температурным и химическим воздействием окружающей среды и механических нагрузках.

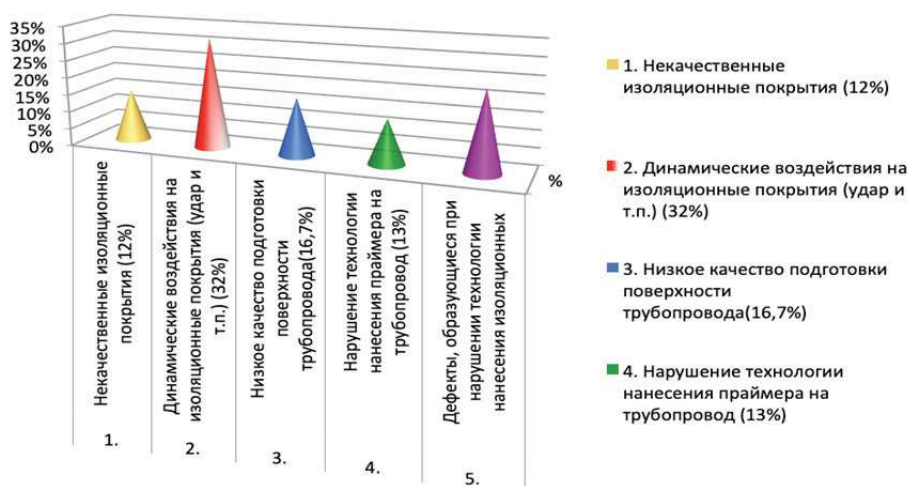


Рисунок 1 – Распределение причин образования дефектов изоляционных покрытий магистральных газопроводов (%)