УДК 620.22:621.79.01:678.039:679.742

А.Н. Лесун
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь

ТЕХНОЛОГИЯ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

Аннотация. *Рассмотрены направления создания композиционных функциональных материалов на основе регенерированных термопластов для изготовления изделий герметизирующего и триботехнического назначения, используемых в системах водо-, газоснабжения, на предприятиях энергетики и химической промышленности.*

A.N. Lesun
Yanka Kupala State University of Grodno
Grodno, Belarus

TECHNOLOGY OF NANOCOMPOSITE MATERIALS BASED ON REGENERATED THERMOPLASTS

Abstract. *The directions for creating composite functional materials based on regenerated thermoplastics for the manufacture of sealing and tribotechnical products used in water and gas supply systems, energy and chemical industry enterprises are considered.*

При изготовлении и эксплуатации изделий из полимерных композитов образуется значительное количество остаточных продуктов, которые относят к отходам сфер производства и потребления, и в соответствии с принятым экологическим императивом подвергают рециклингу для получения сырьевых компонентов, используемых для изготовления функциональных материалов для различных сфер применения. Современные технологии рециклинга позволяют получать регенерированные продукты высоких потребительских характеристик и использовать их в качестве полноценного сырья для изготовления различных функциональных изделий, существенно снижая стоимостные параметры. Актуальной проблемой современного материаловедения композитов на основе промышленных термопластов является разработка методологических подходов управления параметрами структурных характеристик первичных и регенерированных матриц с обеспечением потребностей отечественного машиностроения и реализации государственной стратегии импортозамещения.

В соответствии с концептом энергетического и технологического соответствия компоненты, входящие в состав материала должны обладать энергетическими характеристиками, необходимыми для инициирования межфазных взаимодействий, приводящих к образованию структуры с параметрами характеристик, превышающими параметры базового связующего, при близких температурных границах их проявления [1, 2].

К числу эффективных структурных модификаторов термопластичных матриц относят дисперсные частицы природных силикатов, прежде всего, слоистых минералов, а также частицы, полученные с применением специальных энергетических технологий – лазерного диспергирования и конденсацией плазмы электроимпульсного лазера. Такие частицы обладают особым энергетическим состоянием и морфологией поверхностного слоя, способствующими протеканию межфазных взаимодействий [3].

Анализ экспериментальных данных (рис. 1 и 2) показывает, что для допингового модифицирования политетрафторэтилена оптимальным содержанием модификатора является 1 мас. % и температура термообработки при 473–873 К.

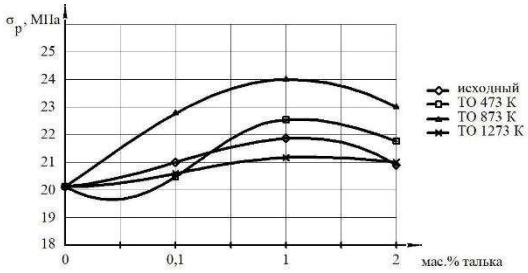


Рис. 1 - Зависимость параметра прочности при разрыве $\sigma_р$ от содержания в композите талька и температуры термообработки

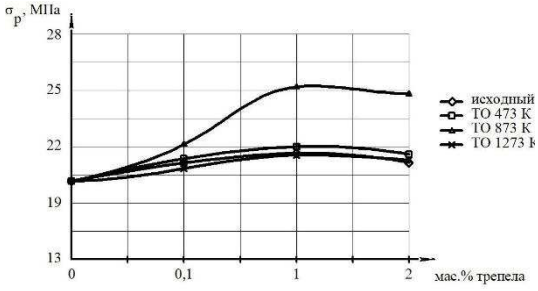


Рис. 2 - Зависимость параметра прочности при разрыве $\sigma_р$ от содержания в композите трепела и температуры его обработки

Допинговое модифицирование матрицы активированными частицами силикатов приводит к значительному повышению износостойкости. Так параметр износостойкости ПТФЭ ($I \times 10^7$, мм^3/нм) составляет 138,7, а композитов, содержащих 1–2 мас. % талька и трепела термоактивированных при 473–873 К, – 13,1–13,6. Значительное увеличение износостойкости композитов, содержащих термоактивированные частицы талька и трепела, по сравнению с неактивированными, обусловлено, очевидно, энергетическими характеристиками частиц модификатора, приводящими к интенсификации взаимодействия на границе раздела

матрица – модификатор вследствие образования физических связей адсорбционного типа. Об этом свидетельствуют данные рентгеноструктурного анализа композитов, которые указывают на заметный рост кристаллической фазы у материалов, содержащих допинговые добавки трепела и талька (таблица 1).

Таблица 1 - Параметры кристаллических характеристик композитов на основе политетрафторэтилена

Образец	Площадь кристаллической фазы, усл. ед.	Площадь аморфной фазы, усл. ед.	Степень кристалличности, %
Ф-4ПН	57	78	42,25
ТЛК*	65	70	48,10
ТРП*	60	44	58,69
ТЛК-ВС*	67	68	49,63
ТРП-ВС*	66	65	50,38
* ТЛК – композит, содержащий 1 мас.% талька, термообработанного при 873 К ТРП – композит, содержащий 1 мас.% трепела, термообработанного при 873 К ВС- образцы, полученные по технологии всестороннего сжатия (ВС)			

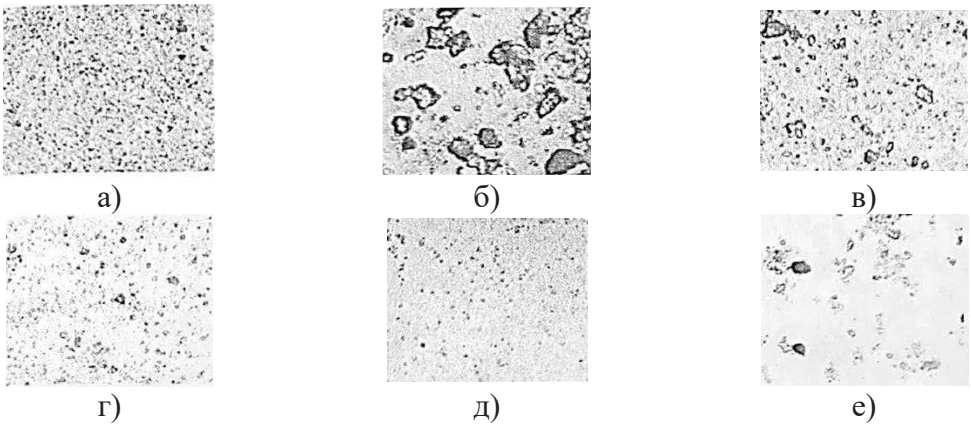
Упорядочивающее действие активированных модификаторов на структуру матричного политетрафторэтилена обусловлено особым энергетическим состоянием частиц вследствие термической обработки.

Как следует из работ профессора Охлопковой А.А. и сотр., эффективным приемом повышения процесса структурирования матриц ПТФЭ является механоактивация частиц. Для оценки эффективности технологии проводили механоактивацию частиц природных силикатов (глин) в течение 3–5 мин. Анализ спектра ТСТ однозначно указывает на изменение параметров энергетического состояния дисперсных частиц слоистых силикатов. При этом происходит изменение степени дисперсности частиц модификаторов (рис. 3).

Изменение степени дисперсности указывает на энергетические параметры, приводящие к структурирующему эффекту полимерных матриц. Так введение в модельную полиамидную матрицу допинговых количеств механоактивированной глины (0,1–1,0 мас. %) изменяет параметр текучести расплава со значений 3,920 до 3,065 г/10 мин (рис. 4).

Заметное уменьшение параметра ПТР обусловлено образованием пространственной сетки физических связей между частицами модификатора и макромолекулами полиамида. Таким образом, увеличение энергетической активности дисперсных частиц модификаторов различного состава, строения и технологии получения

благоприятно сказывается на процессах структурообразования полимерных матриц вследствие адсорбционного взаимодействия на границе раздела «связующее – модификатор».



а) белая глина; б) белая глина после активации в течение 1 мин;
в) голубая глина; г) голубая глина после активации в течение 3 мин;
д) черная глина; е) черная глина после активации в течение 3 мин

Рис. 3 - Дисперсность частиц глин, подвергнутых активации, осажденных из водных суспензий, ×300

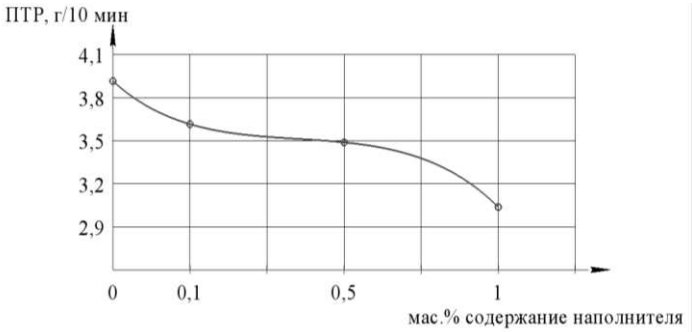
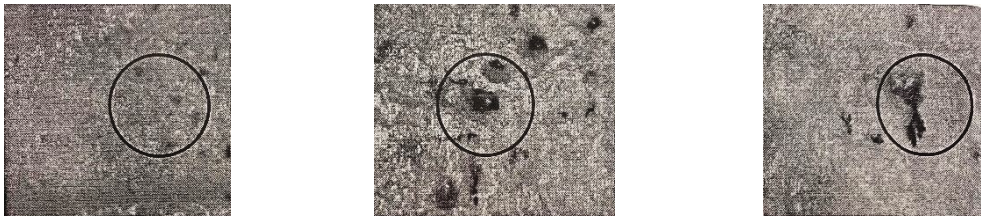


Рис. 4 - Зависимость показателя ПТР для композитов на основе полиамидов от содержания активированной глины

Одним из подходов к воплощению этого методологического приема является использование энергетических параметров технологического процесса изготовления композита и переработке в изделие. Характерным примером использования характерных энергетических воздействий на структурно-технологические и деформационно-прочностные характеристики модификаторов является введение в состав матричного полиамида компонентов, трансформирующихся при воздействии энергетического фактора переработки. Технология получения заготовок (изделий) на основе ПТФЭ предполагает воздействие температурных параметров в

диапазоне 623–673 К на компоненты композиции для формирования структуры с определенными параметрами характеристик вследствие протекания процессов монолитизации матрицы на границе раздела единичных частиц. При модифицировании ПТФЭ дисперсными частицами полиамида с низкой устойчивостью к процессам термоокисления и деструкции создаются предпосылки для формирования углеродсодержащих фракций с повышенной активностью в процессах взаимодействия с матричным полимером (рис. 5). Воздействие повышенных температур (623–673 К) процесса монолитизации образца в течение длительного времени (1–8 ч) приводит к образованию углеродсодержащих фракций из частиц полиамидов, которые способствуют монолитизации и снижают стоимостные параметры композита.



×50 ×160 ×200

Рис.5 - Характерная морфология скола образца композита ПТФЭ + 3 мас.% ПА6, сформированного по традиционной технологии

Разработанные технологии рециклинга остаточных продуктов, образующихся при получении изделий из политетрафторэтилена и композитов на его основе эффективны к применению в качестве полноценной альтернативы для функциональных композитов, используемых при изготовлении герметизирующих, триботехнических изделий для трубопроводов низкого давления, запорной и регулирующей арматуры, применяемой в системах водо-, газоснабжения, на предприятиях энергетики и химической промышленности.

Список использованных источников

1. Implementation of the concept of energy and technological compliance of components in the technology of fluorocomposites / S. Avdeychik, A. Antonov, A. Lesun, V. Struk, V. Goldade // Journal of Materials Science and Engineering A. – 2022. – No. 12(1-3). – P. 28–39.
2. Фактор наносостояния в технологии полимерных нанокомпозитов / С. В. Авдейчик [и др.] // Пластические массы. – 2021. – № 5-6. – С. 13–17.

3. Лесун, А.Н. Физико-механические характеристики композитов на основе ПТФЭ и его регенерата в процессе формирования изделий /А.Н. Лесун // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч. конф. молодых учёных, Гродно, 25–26 мая 2017 г. – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2017. – С. 56–59.

УДК 537.633.2

В.Р. Мадьяров
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО ОТРАЖЕНИЯ

Аннотация. *В данной работе предлагается оценивать скорость поверхностной рекомбинации в плоском n-Si в стационарном режиме по измеренным значениям интенсивности фотовозбуждающего источника (лазерного диода) и концентрации носителей заряда в приповерхностной области полупроводникового слоя. Концентрация носителей в приповерхностной облучаемой области полупроводниковой пластины определялась по резонансным частоте магнитоплазменного поглощения зондирующего излучения миллиметрового диапазона, при которой наблюдается минимальное пропускание.*

V.R. Madiyarov
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

ESTIMATION OF THE SURFACE RECOMBINATION RATE IN SEMICONDUCTOR MICROSTRUCTURES BASED ON THE EFFECT OF MAGNETOPLASMIC REFLECTION

Abstract. *In this paper, it is proposed to estimate the rate of surface recombination in a flat n-Si in stationary mode from the measured values of the intensity of the photoexciting source (laser diode) and the concentration of charge carriers in the near-surface region of the semiconductor layer. The carrier concentration in the near-surface irradiated region of the semiconductor wafer was determined by the resonant frequency of magnetoplasmic absorption of the probing radiation in the millimeter range, at which minimal transmission is observed.*