

3. Soldatov V., Pawłowski L., Wasag H., Elinson I., Shunkevich A. Prospect of fibrous ion exchangers in water pollution control (chromates sorbtion by aminocarboxylic fibres example) // Enviromental Scince Research. New York: Plenum Press, 1996. – Vol.51: Chemistry for the Protection of the Enviroment 2; ed. L. Pawłowski [et al.] P. 107–119.

4. Аширов, А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов / А. Аширов. – Л. : Химия, 1983. – 295 с. (с. 3–8)

УДК 678.04

Антонов А.С., Авдейчик С.В., Струк В.А., Лесун А.Н.
(ГрГУ им. Янки Купалы)

ДИФфуЗИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

В технологиях получения и переработки композиционных материалов на основе полимерных, олигомерных и смесевых матриц особую перспективу имеют диффузионные, основанные на введении в состав композитов или изделий функциональных компонентов из растворов путем экспозиции при заданных температурно-временных режимах. Фундаментальные исследования в этой области проведены проф. Мачюлисом А. Н. и сотр., которые разработали научное обоснование механизмов структурообразования полимерных матриц при диффузионном модифицировании поверхностных слоев заготовок или изделий соединениями заданного состава или функционального действия [1]. Развитие этого подхода профессором Песецким С. С. и сотр. позволило предложить эффективные составы модифицирующих сред для повышения параметров деформационно-прочностных, триботехнических характеристик и стойкости к воздействию термоокислительных сред изделий на основе полиамидов и композитов на их основе. Преимущественное внимание уделено процессам структурообразования поверхностных слоев при введении функциональных компонентов, являющихся антиоксидантами матричного полимера, изменяющих кинетику термоокислительных и деструкционных процессов [1, 2].

В функциональных изделиях из промышленных полимерных и композиционных материалов различного состава и технологии получения существуют предпосылки разрушения под действием эксплуатационных факторов, обусловленные полидисперсностью, наличием остаточных радикальных и низкомолекулярных продуктов синтеза, в

том числе целевых модификаторов – катализаторов, инициаторов, образованием граничных областей между структурными единицами (сферолитами, пачками) с проходными макромолекулами, формированием гетерофазной структуры с дефектными граничными слоями между агрегатами из компонентов с низкой термодинамической совместимостью, образованием градиента структурообразования вследствие влияния технологических факторов изготовления с применением методов литья под давлением, экструзии, прессования. Вследствие сочетания структурообразующих факторов различного типа и предыстории в изделиях различного конструкционного исполнения формируется совокупность областей несовершенного строения, которые являются участками предпочтительного протекания неблагоприятных физико-химических, трибохимических, теплофизических и др. процессов, приводящих к реализации различных механизмов разрушения под действием эксплуатационных факторов [2].

Для обеспечения устойчивости функциональных изделий к воздействию сочетания неблагоприятных процессов с целью реализации расчетного эксплуатационного ресурса используют различные методологические подходы, обеспечивающие преимущественное формирование структуры с оптимальной степенью совершенства на различных организационных уровнях [3, 4]. В этом аспекте диффузионные технологии структурного модифицирования имеют особую перспективу вследствие потенциальной возможности формирования структуры с низким уровнем дефектности путем заполнения несовершенных областей функциональными компонентами заданного состава, строения и механизма действия. Технологии этого класса обеспечивают условия образования градиентных структур в изделиях или полуфабрикатах из полимерных или композиционных материалов с преимущественным упорядочением поверхностных слоев и граничных областей, подвергающихся наиболее интенсивному воздействию эксплуатационных факторов. Особые преимущества диффузионных технологий модифицирования реализуются при изготовлении изделий из смесевых композитов на основе компонентов с различной термодинамической совместимостью, марочный ассортимент которых непрерывно совершенствуется.

В исследованиях [1] преимущественное внимание уделено механизмам противодействия процессам разрушения под действием термоокислительных факторов, что и обусловило позиционирование разработанных подходов как «диффузионной стабилизации». При этом считали, что модификаторы, введенные в состав поверхностных слоев изделий или полуфабрикатов, оказывают влияние на основные факто-

ры, определяющие устойчивость системы к воздействию эксплуатационных факторов – кинетику диффузии кислорода к активным центрам макромолекул, находящихся в структурных агрегатах различного вида (сферолитах, пачечных структурах, бесструктурных статистических образованиях), определяющую термоокислительные и деструкционные процессы, и кинетику взаимодействия кислорода с частицами антиоксиданта, уменьшающего вероятность его негативного влияния на процессы деградации макромолекул полимерной матрицы [1].

Разработанные технологические приемы реализации данного методологического подхода обеспечивали эффективную стабилизацию параметров эксплуатационных характеристик изделий в течение определенного времени воздействия эксплуатационных факторов, зависящего от состава выбранного модификатора, его концентрации, при выраженном их снижении после его расходования в результате взаимодействия с основным окислительным элементом – кислородом. Нашими исследованиями [3–4] установлено, что эффективность действия дисперсных модификаторов с выраженными признаками антиоксидантов, существенно увеличивается вследствие проявления частицами определенного размерного диапазона феномена наносостояния, который характеризуется наличием энергетического поля с длительным временем релаксации. Наноразмерные модификаторы в составе композитов на основе полимерных и смесевых матриц выполняют функцию компонента, оптимизирующего структуру на различных уровнях организации вследствие образования пространственной лабильной сетки физических связей адсорбционного типа, которые снижают энергетическую активность макромолекул в процессах взаимодействия с кислородом, увеличивая устойчивость к термоокислительной деструкции и обеспечивают формирование областей с повышенным упорядочением в неструктурированных (аморфных и межфазных областях), снижая скорость диффузии кислорода в объеме изделия. При этом наноразмерные частицы определенного класса способны сохранять первоначальный состав и строение в течение всего срока эксплуатации изделия, стабилизируя значения параметров эксплуатационных характеристик.

Модельные исследования по оценке эффективности практического применения разработанного методологического подхода использования феномена наносостояния в материаловедении и технологии полимерных нанокомпозитов, выполненные с использованием полиамидных матриц и наноразмерных частиц металлов (Cu, Zn, Ni), введенных с применением диффузионных технологий, показали возможность реализации синергического эффекта повышения параметров ха-

рактических при длительном воздействии термоокислительных сред при температуре 423 К (рисунок 1), существенно превосходящего эффект, реализуемый при диффузионной стабилизации по традиционной технологии [1].

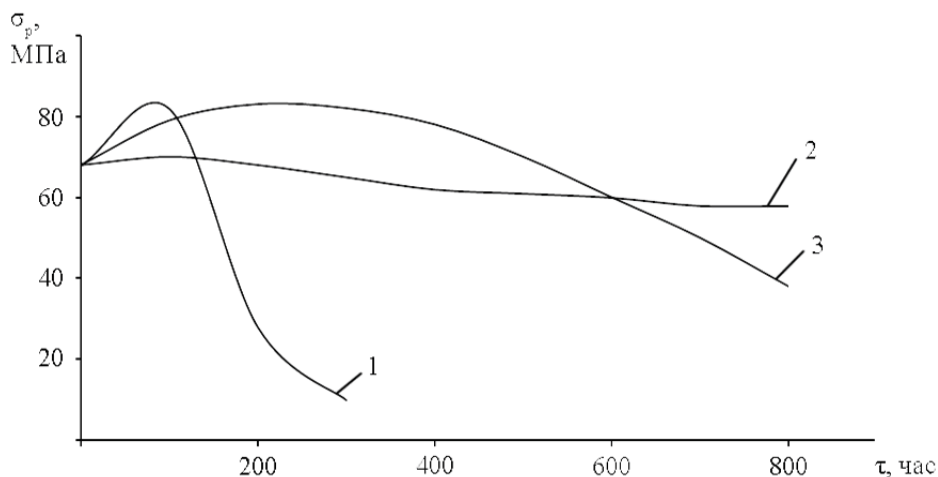


Рисунок 1 – Зависимость разрушающего напряжения при растяжении (σ_p) от времени термоокисления при 423 ± 5 К (τ) для композитов на основе полиамида ПА6 (1, 3) и ПА6.6 (2), модифицированных 0,05 мас.% Cu (2, 3) и 0,1 мас.% гидрохинона (1). Кривая 1 построена по данным работы [1]

Разработаны составы и технологии реализации диффузионных технологий получения нанокompозитов и изделий из них с учетом особенностей эксплуатации.

Работа выполнена в рамках задания 8.4.1.4 «Механизмы направленного структурообразования функциональных термопластичных композитов при энергетических и механических воздействиях» ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 годы.

Литература

1. Мачюлис, А. Н. Диффузионная стабилизация полимеров / А. Н. Мачюлис, Э. Э. Торнау : Вильнюс : Минтис, 1974. – 256 с.
2. Гольдаде, В. А. Ингибиторы изнашивания металло-полимерных систем / В. А. Гольдаде, В. А. Струк, С. С. Песецкий. – М. : Химия, 1993. – 240 с.
3. Введение в физику нанокompозиционных машиностроительных материалов / С. В. Авдечик [и др.]; под науч. ред. В. А. Лиопо, В. А. Струка. – Гродно : ГГАУ, 2009. – 439 с.
4. Avdeychik, S. The methodology of functional modifiers choice for nanocomposites based on industrial thermoplastics / S. Avdeychik // Machines. Technologies. Materials. – 2021. – Vol. 8. – PP. 311–315.