

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ТЕРМОПЛАСТОВ

*А.С. АНТОНОВ, В.А. СТРУК, С.В. АВДЕЙЧИК,  
А.Н. ЛЕСУН, П.В. КЛОЧКО*

*Гродненский государственный университет имени янки Купалы,  
г. Гродно, Республика Беларусь*

*Рассмотрены механизмы формирования структуры композитов на основе полимерных смесей с различной термодинамической совместимостью компонентов. Разработаны составы нанокомпозитов на основе смесей термопластов для изготовления изделий и покрытий, используемых в конструкциях автокомпонентов, ленточных конвейеров, крепежных элементов, элементов дорожных и строительных конструкций.*

Современные конструкционные, триботехнические материалы на основе промышленных термопластов являются полноценной альтернативой традиционным композитам на основе металлических матриц. Особый интерес в номенклатуре функциональных материалов представляют композиции, полученные совмещением термопластов различного состава, молекулярной массы и строения благодаря достижению синергических сочетаний эксплуатационных характеристик.

При совмещении компонентов с близким строением молекулярной цепи и молекулярной массой одного порядка определяющее значение в формировании структуры композита с необходимыми и достаточно стабильными параметрами эксплуатационных характеристик имеют реологические характеристики матричного и модифицирующего полимера. Различие в вязкости приводит к образованию гетерофазной структуры различного типа. При введении высоковязкого полимера (СФД, ДСТ, ТПУ, ПЭНД, АБС) в низковязкий (ПА6, ПП) образуется гетерогенная структура с выраженным разделением фаз легирующего компонента в матричном связующем [1]. Дисперсные фрагменты расплава модификатора под действием напряжений сдвига при вращении шнека смесителя распределяются в низковязкой матрице с образованием характерной многофазной структуры. При таком совмещении образование межфазных слоев на границе раздела «матрица – модификатор» носит фрагментарный характер и не определяет значения параметров служебных характеристик ( $\sigma_p$ ,  $УУВ$ ,  $\sigma_{сж}$ ). Дисперсные фрагменты модифицирующего полимера с размером 10–150 мкм выполняют функцию армирующего (СФД, АБС) или структурного модификатора, снижающего остаточные напряжения в образце композита благодаря выраженной гибкости цепи и более низкой температуре плавления (ТПУ, ДСТ, ПЭНД). Степень диспергирования легирующего полимера в матричном определяется преимущественно параметрами смешения (температура, время, интенсивность (ско-

рость) движения шнека) и соотношением компонентов. При соотношениях матричный полимер : модификатор 1,0 : 0,01–0,10 формируется достаточно гомогенная гетерофазная структура с повышенными параметрами служебных характеристик [2].

При введении в высоковязкую матрицу (ТПУ, ДСТ, МПЭУ) относительно низковязкого модификатора (ПА6, СФД, АБС) формируется гетерофазная структура с высокой степенью гомогенности, характерной чертой которой является образование модифицирующих элементов различной формы и размеров. Относительно вязкие модификаторы (АБС, СФД) образуют в матричном связующем (ТПУ, ДСТ, МПЭУ) фрагменты в размерном диапазоне 1–120 мкм с выраженной локализацией. Эти фрагменты, размер которых зависит от соотношения матричного и легирующего компонентов, имеют преимущественно сферическую форму, обусловленную, очевидно, корреляцией температур плавления (перехода в вязко-текучее состояние). Интенсивность термомеханического воздействия на смесь ДСТ – ПА6 существенно влияет на параметры деформационно-прочностных, триботехнических и теплофизических характеристик [3].

При термомеханическом совмещении матричного и легирующего компонентов с близким строением молекулярной цепи и величиной молекулярной массы – алифатических полиамидов (ПА6, ПА6.6, ПА12, ПА11), полиолефинов (ПП, ПЭНД, ПЭВД, СЭВА), фторопластов (ПТФЭ, УПТФЭ, фторсодержащие олигомеры) – формируется гетерофазная структура с повышенной гомогенностью.

При совмещении алифатических полиамидов с различными теплофизическими параметрами ( $T_{пл}$ ,  $T_{ок}$ ,  $T_{д}$ ) и близким молекулярным строением – полиамидов ПА6, ПА6.6 с ПА12, ПА11 – возможна реализация двух характерных особенностей. Легирование высокоплавкого полиамида (ПА6, ПА6.6) низкоплавким (ПА11, ПА12) позволяет снизить остаточные напряжения в образце (или покрытии) благодаря сохранению жидкофазного состояния легирующего компонента после кристаллизации матричного. Экспериментально рассмотренный механизм влияния низкоплавкого модификатора в системе ПА6 (ПА6.6) – ПА11 (ПА12) подтверждается повышением параметров деформационно-прочностных характеристик композита по сравнению с характеристиками матричного полимера при введении в состав компонента с заведомо более низкими значениями параметров  $\sigma_p$ ,  $\sigma_{сж}$ ,  $E$ . Аналогичные эффекты отмечены для композиций ПА6.6 – ПА6, ПП – ПЭНД, ПП – ПЭВД, ПЭНД – ПЭВД [4].

При введении в полимерные смеси наноразмерных модификаторов различного состава, строения и технологии получения (УДА, УДАГ, слоистых силикатов, порошков металлов и оксидов) реализуется эффект компатибилизации, в результате чего увеличивается совместимость матричного и легирующего термопласта, что благотворно сказывается на повышении параметров прочностных, триботехнических характеристик и стойкости к термоокислительной деструкции [5]. Низкоразмерные частицы, проявляющие наносостояние, выполняют функцию регуляторов реологических ха-

рактических вследствие формирования как внутри, так и межмолекулярных связей, в том числе межмолекулярных связей в граничном слое, что способствует повышению термодинамической совместимости компонентов [5].

Рассмотренные аспекты механизмов формирования структуры композиционных материалов на основе полимерных смесей с различной термодинамической совместимостью компонентов позволили разработать гамму машиностроительных материалов для изготовления конструкционных и триботехнических изделий и покрытий, используемых в конструкциях автокомпонентов (карданных валов, тормозных камер, автомобильных амортизаторов), технологической оснастки (токарных патронов), ленточных конвейеров для транспортирования сыпучих и кусковых материалов (металлополимерных роликоопор), крепежных элементов (дюбелей), элементов дорожных и строительных конструкций (указательных и обозначающих элементов, бордюрных элементов, элементов напольных и грунтовых покрытий). Составы композитов и технологии их получения защищены рядом патентов на изобретения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конструкционные и электротехнические материалы : учеб. пособие / В. А. Гольдаде [и др.] ; под ред. В. А. Гольдаде, В. А. Струка. – Минск : РИВШ, 2022. – 536 с.
2. Гольдаде, В. А. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем / В. А. Гольдаде, В. А. Струк, С. С. Песецкий. – М. : Химия, 1993. – 240 с.
3. Кравченко, В. И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, В. А. Струк ; под ред. В. А. Струка. – Минск : Тэхналогія, 2006. – 410 с.
4. Антонов, А. С. Композиционные материалы на основе смесей термопластов для повышения эксплуатационного ресурса элементов технологического оборудования : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.09 / А. С. Антонов. – Минск, 2018. – 200 с.
5. Авдейчик, С. В. Фактор наносостояния в материаловедении полимерных нанокompозитов : монография / С. В. Авдейчик, В. А. Струк, А. С. Антонов. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. – 468 с.