

**РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ  
СОВМЕЩЕННЫХ МАТРИЦ И МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ**

Л.В. Ахмадиева

*ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения  
с Опытным производством»*

**Введение.** При использовании полимерных композитов в качестве защитных покрытий важное значение для реализации их технического ресурса имеет уровень остаточных напряжений в объеме изделия и характер их распределения по сечению покрытия [1, 2]. При введении в состав полимерной матрицы наполнителей и модификаторов необходимо стремиться к формированию структуры в равновесном состоянии без локальных дефектов или участков с напряженным состоянием. Для достижения этого целесообразно использовать различные методологические подходы: варьирование состава и содержания сшивающих компонентов, введение наполнителей с определенной активностью поверхностного слоя, применение функциональных модификаторов (аппретов) наполнителей и др. [1, 3].

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Цель работы – исследовать влияние состава и соотношения компонентов на прочностные, адгезионные и триботехнические характеристики композитов на основе олигомер-олигомерной матрицы (эпоксидная смола (ЭД-20) + ФФС + поливинилбутираль (ПВБ) и ЭД-20 + ПН-1 + ПВБ), содержащих в качестве многофункционального наполнителя дисперсные частицы минералов (талек, мука диабазовая, гранит, NaSiF и др.), аппретированных высокомолекулярными модификаторами.

Установлено, что тип минерального наполнителя не оказывает существенного воздействия на прочностные характеристики ( $\sigma_{\text{изг}}$ ,  $\sigma_{\text{сж}}$ ) композитов на основе матрицы эпоксидная смола (ЭС) + фенолоформальдегидная смола (ФФС) (100 мас.ч. ЭД-20 + 16мас. ч. ФФС + 30 мас. ч. полиэтиленполиамин (ПЭПА) + 2 мас. ч. ПВБ), однако в определяющей степени изменяет их стойкость к воздействию агрессивных сред и усадку. По совокупности указанных характеристик наиболее эффективным наполнителем оказался порошок гранита. Оптимальное содержание гранита в композиции соответствует 70 мас. ч. Высокая химическая стойкость композиций, содержащих гранит, может быть обусловлена наличием на поверхности

частиц гранита свободных ионов, которые взаимодействуют с водородными ионами воды и образуют свободные гидроксилы. В результате образуется щелочная среда, которая вызывает дополнительное структурирование отвержденной ПЭПА эпоксидной смолы и способствует повышению механических характеристик композита.

Изучены свойства композитов на основе эпоксидной смолы, модифицированной ненасыщенной полиэфирной смолой. Исследовано, что зависимости прочностных характеристик композитов на основе ЭС + ненасыщенная полиэфирная смола (НПЭС) (100 мас. ч. ЭД-20 + 30 мас. ч. ПН-1 + 30 мас. ч. ПЭПА + 2 мас. ч. ПВБ) от содержания наполнителя ( $C_n$ ) отражаются кривыми с максимумом при  $C_n = 40 - 70$  мас. ч. (рис. 1). Оптимальный упрочняющий эффект наблюдается при наполнении смесью тальк: NaSiF в соотношении 7:5. Эта композиция обладает и оптимальной стойкостью к воздействию агрессивных сред (10 %-ный водный раствор NaCl),

оцениваемой по показателю поглощения  $\Delta M$ .

Установлено, что введение в состав совместных матриц частиц минерального наполнителя является недостаточно эффективным приемом, т.к. на границе раздела «матрица-наполнитель» отсутствует прочная адгезионная связь, что приводит к уменьшению прочностных и адгезионных характеристик композита с увеличением времени экспозиции изделия в эксплуатационной среде.

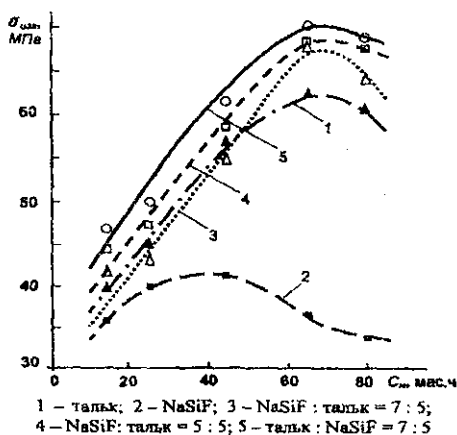


Рис. 1. Зависимость предела прочности композита при изгибе от содержания минерального наполнителя

Это явление обусловлено адсорбцией жидкофазной среды на поверхностях минеральных частиц в результате диффузионных процессов. Для повышения адгезионных и триботехнических характеристик в состав модифицированных матриц вводили смесь дисперсии минеральных частиц и коротких волокон — стеклянных и углеграфитовых с длиной фрагментов 3 — 5 мм. Испытания показали, что введение стекловолокна в состав наполненного

композита (100 мас. ч. ЭД-20 + 16 мас. ч. ФФС + 30 мас. ч. ПЭПА + 2 мас. ч. ПВБ) повышает не только его механические свойства ( $\sigma_{сж}$ ), но и стойкость к воздействию агрессивной среды. Дополнительное введение 0,3 – 0,5 мас. ч. стекловолокна в указанную композицию, содержащую частицы гранита, повышает ее ударную вязкость в ~ 1,4 раза и снижает интенсивность изнашивания по абразивному полотну. Наибольший эффект достигается при  $C_a > 0,3$  мас. ч. – сопротивление материала изнашиванию возрастает ~ в 2,5 раза. Менее эффективно влияние углеграфитового волокна (УВ) на триботехнические характеристики композита, а совместное введение УВ и гранита вызывает снижение износостойкости материала. Вместе с тем, инертный волокнистый наполнитель не обладает достаточно прочной адгезионной связью с матрицей, и поэтому необходима специальная обработка частиц наполнителя перед введением в состав композита. Одним из эффективных методов регулирования на границе раздела «матрица – наполнитель» является аппретирование поверхности частиц компонентами, изменяющими кинетику формирования сшитой структуры. Подобные исследования выполнены Г.Г. Коляго [4] при получении композитов на основе базовых ненасыщенных полиэфирных смол. Установлено, что предварительное нанесение олигомерного компонента (ЭД-20) совмещенной матрицы (НПЭС + ЭС) на поверхность частицы наполнителя позволяет существенно изменить адгезионную прочность соединения «совмещенная матрица – стеклянное волокно». Так, усилие выдергивания  $\sigma_{сж}$  исходного моноволокна из блока отвержденной смолы составляет 13,0 Н, а при аппретировании ЭД-20 – 17 Н. Модифицирующее действие эпиксидного олигомера аналогично действию ингибиторов (гидрохинон, неозон Д) процесса структурирования НПЭС, которые обеспечивают значения  $\sigma_a$ , равные 20,0 Н и 19,5 Н соответственно.

Повышение адгезионной способности композиционных материалов на основе совмещенных матриц обусловлено формированием в объеме композита локальных областей с различной степенью структурирования. Это приводит к уменьшению усадочных напряжений в процессе формирования сшитой структуры и снижению величины усадки, которая вызывает отслоение покрытий от подложки. Исследовано, что в качестве компонентов, регулирующих процесс структурирования совмещенных смол, целесообразно использовать олигомеры не только эпиксидной смолы, но и кремнийорганические (ГКЖ-94, ПМС-20, ПЭС-1, ПМС-200 и др.).

Проведенные эксперименты показали, что существенного повышения износостойкости композитов, содержащих минеральный наполнитель,

можно достичь при использовании в качестве модификатора олигомерных и полимерных продуктов: нефтяной полимеризат (НП) и раствор полимера ХТ. При этом на износостойкость композита оказывают влияние вид, количество и вариант введения модификатора. Введение полимера ХТ и нефтяного полимеризата непосредственно в смолу ЭД-20 оказалось малоэффективным: вызывает в целом повышение интенсивности изнашивания материала по абразивному полотну.

При обработке полимером ХТ частиц минерального наполнителя (порошок гранита) и последующем введении его в композицию происходит уменьшение интенсивности изнашивания на 20 %, а применение для этих целей нефтяного полимеризата позволяет снизить интенсивность изнашивания ~ в 3,5 раза. Такой эффект, по сравнению с непосредственным введением модификатора в связующее, связан с внутренними напряжениями, которые, складываясь с контактными напряжениями, способствуют разрушению материала. Следовательно, повышение износостойкости композита обусловлено в основном снижением внутренних напряжений в покрытии вследствие образования на поверхности частиц наполнителя тонкой низкомолекулярной пленки, способной испытывать значительные деформации и компенсировать тем самым усадку связующего. Кроме того, эластичная пленка препятствует хрупкому разрушению связующего вблизи частиц наполнителя и «вытягиванию» их из материала движущимся абразивным зерном.

Снижение усадки наблюдается как при наполнении совмещенных матриц дисперсными минеральными наполнителями (глина, мрамор, гранит), так и полимерными порошками (ПЭНД, ПЭВД, ПВХ, ПТФЭ). При аппретировании частиц наполнителя олигомерным компонентом значение линейной усадки композиции снижается с 0,30 – 0,32 % до 0,06 – 0,1 %. Наиболее предпочтительными для снижения усадки являются минеральные наполнители или неполярные полимеры, а также их сочетание. Установлено, что снижения усадки композитов на основе НПЭС в 3 и более раз можно достичь при введении органосилановых олигомеров (ПМС-20, ПМС-40, ПМС-200 и др.). Малоусадочные композиционные материалы на основе совмещенных «олигомер-олигомерных» матриц рекомендованы для получения защитных покрытий металлических деталей технологического оборудования.

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования позволили разработать составы композиционных материалов на основе совмещенных олигомер-олигомерных и олигомер-полимерных матриц, модифицирован-

ных минеральными наполнителями, с регулируемыми показателями прочностных, адгезионных и триботехнических характеристик.

### Литература

1. Износостойкие композиты на основе реакткластов / П.В. Сысоев [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1987. – 192 с.
2. Черниц, И.З. Эпоксидные полимеры и композиты / И.З. Черниц, Ф.М. Сметов, Ю.В. Жердев. – М. : Химия, 1982. – 318 с.
3. Полимер-силикатные машиностроительные материалы : физико-химия, технология, применение / С. В. Авдейчик [и др.]. – Минск: Тэхналогія, 2007. – 431 с.
4. Коляго, Г.Г. Материалы на основе ненасыщенных полиэфиров / Г.Г. Коляго, В.А. Струк. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 143 с.

УДК 621.762.8

## РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПСТМ ИЗ НАНО- И СУБМИКРОПОРОШКОВ АЛМАЗА И КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

**В.Т. Сеньюць, В.М. Кучинский, И.В. Валькович, Е.И. Мосунов**  
*ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск*

**Введение.** На современном этапе промышленного развития основной тенденцией технического прогресса является технологическое совершенствование производства, которое направлено на обеспечение высоких эксплуатационных характеристик изделий и снижение трудоемкости их получения. В таких условиях резко возрастает потребность в новых, более эффективных материалах на основе алмаза и кубического нитрида бора (КНБ) для изготовления лезвийного инструмента [1].

Существующие в настоящее время поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСТМ) получают спеканием порошков алмаза и КНБ с размером зерна от нескольких единиц до нескольких десятков и сотен микрометров, что во многих случаях не позволяет достичь высокой точности обработки деталей машин и механизмов. Поэтому важной проблемой в инструментальном производстве является создание сверхтвердых материалов (СТМ) с наноструктурой. Для решения данной задачи в качестве исходного материала могут использоваться наноалмазы с размером зерна 4 –