

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ НЕУПОРЯДОЧЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Новиковский Е.А., Ананьева Е.С.

Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова
г. Барнаул

При создании полимерных композиционных материалов (ПКМ) одной из основных задач является выбор или разработка полимерной матрицы, которая должна обеспечивать достижение максимальных прочностных характеристик композита. Эффект модифицирования полимерных матриц широко исследуется на протяжении последних 50 лет. Ранее упрочнение терморезистивных матриц частицами использовалось, главным образом, для уменьшения термической усадки на стадии получения материала и снижения коэффициента термического расширения в конечных продуктах, для повышения твердости и износостойкости покрытий, в функциональных материалах для достижения требуемых электрических или магнитных свойств. Обычно размер частиц наполнителя составлял 5 - 100 мкм, содержание 15 - 30 % об. В настоящее время основное внимание уделяется адгезии частиц с матрицей и поверхностной обработке частиц с целью повышения механических свойств и исключения образование агломератов в процессе введения, причем значительный акцент делается на использование нанопорошков в качестве наполнителей. Благодаря высокому значению отношения удельная поверхность/объем (S/V) модифицирование наночастицами даже при незначительных степенях наполнения, позволяет добиться эффекта повышения трещиностойкости и других механических характеристик.

Для модификации и упрочнения полимерных матриц с целью повышения механических свойств, вязкости разрушения, термической и химической стабильности, а также улучшения электрофизических свойств используется широкий спектр нанопорошков, различных по своей природе: металлы, неорганические наполнители: SiO_2 , SiC , Al_2O_3 , TiO_2 , органоглины, углеродные нанотрубки, короткие углеродные волокна и др.

Среди всех типов наноматериалов, алмазный порошок обладает уникальным сочетанием физических, физико-химических и ме-

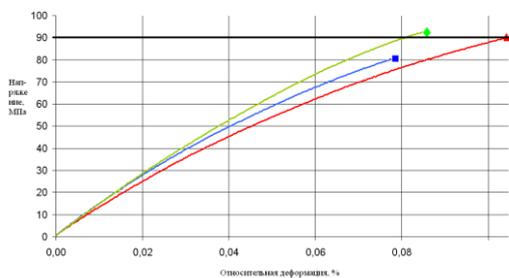
ханических свойств, которые могут быть использованы для улучшения свойств композитов, что стимулирует активное использование наноалмазов для модификации полимеров различного назначения [5]. Основная технологическая задача при модифицировании – обеспечить гомогенное распределение частиц, предотвратить образование агломератов и обеспечить максимальную площадь фактического контакта между частицами наполнителя и макромолекулами полимера. Основная цель - повысить трещиностойкость эпоксидного связующего при сохранении или повышении других показателей физико-механических свойств.

Для оценки влияния ультрадисперсных частиц на упруго-прочностные свойства эпоксидных композиций и углепластиков на их основе использовались образцы на основе эпоксидного связующего ЭД-22, ультрадисперсных порошков и углеродных волокон УКН-П-5000. В качестве модификатора применялись наполнители - ультрадисперсные порошки синтетических алмазов с различным содержанием углерода (от 85 до 98 %), с развитой удельной поверхностью порядка 600 м² / г, со средним размером первичных частиц 4 – 12 нм и конгломератов – 40-60 нм (порошки УДП-А и УДП-АГ), а также, для сравнения наблюдаемых эффектов порошок оксида алюминия (II). При введении углеродных ультрадисперсных частиц в оптимальном количестве, наблюдается комплексное изменение ряда характеристик - прочность на растяжение, сжатие, изгиб, жесткость.

Для определения характеристик полученных образцов использовались следующие методы исследования: испытание на растяжение (ГОСТ 11262-80); испытание на сжатие (ГОСТ 4651-82); испытание на статический изгиб (ГОСТ 4648-61). Исследования проводились на универсальной установке Instron 3360. Результаты испытаний отвержденных образцов эпоксидианового связующего, модифицированного ультрадисперсными части-

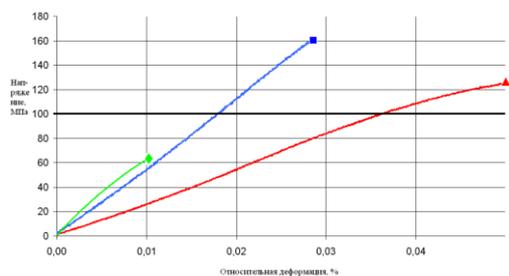
ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО, МОДИФИЦИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ НЕУПОРЯДОЧЕННОЙ СТРУКТУРЫ

цами (0,5 масс. %) представлены на рисунках 1,2,3.



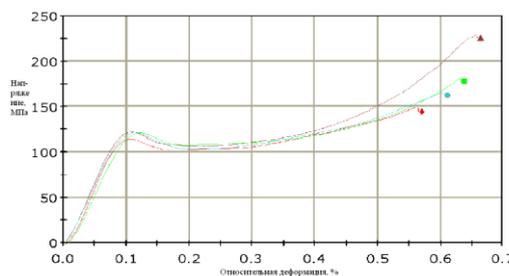
▲ – ЭД-20 + Al₂O₃ ■ – ЭД-20 + УДП-А ◆ – ЭД-20 + УДП-АГ

Рисунок 1 – Диаграмма растяжения эпоксидного связующего, модифицированного ультрадисперсными частицами



▲ – ЭД-20 + Al₂O₃ ■ – ЭД-20 + УДП-А ◆ – ЭД-20 + УДП-АГ

Рисунок 2 – Прочностные характеристики эпоксидного связующего, модифицированного ультрадисперсными частицами при испытании на изгиб



◆ – ЭД-20 ● – ЭД-20+УДП-АГ ■ – ЭД-20+УДП-А ▲ – ЭД-20+Al₂O₃

Рисунок 3 – Прочностные характеристики эпоксидного связующего, модифицированного ультрадисперсными частицами при испытании на сжатие

Проведенные исследования показали, что при введении ультрадисперсных частиц различной природы и функциональности не приводит к существенному изменению прочности полимерного связующего на растяжение, а даже не значительно может снижать его (при других степенях наполнения, не превышающих 1 масс. %). Обратная картина на-

блюдается при испытаниях на изгиб и сжатие. Возникновение наблюдаемых изменений в полнее можно объяснить структурными изменениями в связующем на морфологическом, топологическом уровнях, а также влиянием частиц на развитие процессов поврежденности.

Но если взять углепластик на основе связующего такого же компонентного состава, то здесь наблюдается прирост прочности при растяжении вдоль направления армирования (рисунок 4). Подобное несоответствие объясняется более высокими упругими и диссипативными характеристиками матрицы, содержащей углеродные наночастицы, что позволяет эффективней реализовывать прочность волокна. Кроме того, хотя предел прочности на растяжение модифицированной матрицы ниже же, чем у чистого связующего, в интервале удлинений, при которых происходили разрушения исследуемых углепластиков, прочность матрицы, содержащей частицы, повышается за счет снижения деформативности.

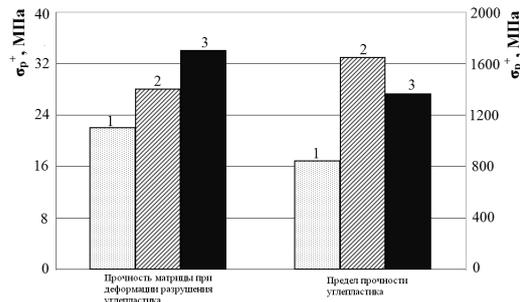


Рисунок 4 – Характеристики матрицы и углепластика, где 1 – чистое связующее; 2 – связующее + УДП-А; 3 – связующее + УДП-АГ

Подобный рост хорошо коррелирует с ростом прочности углепластиков. Экстремальное увеличение прочности пластика модифицированного частицами алмаза следует объяснять процессами, проходящими на границе раздела. В результате низкая прочность при растяжении модифицированной эпоксидной матрицы не оказывает негативного влияния на свойства углепластика (кроме растяжения в направлениях, трансверсальных осям армирования).

Таким образом, получены доказательства, что модификация эпоксидного связующего углеродными наночастицами позволяет транслировать свойства модифицированной матрицы на свойства углепластика на его основе, повышать реализацию прочности углеродных волокон в КМ.