**УДК 538.9:621.002.3**

**Исследование упругих характеристик материала с наличием в структуре нанодисперсного порошка**

Т.А.Борисова1, А.А.Филиппов1, В.М.Фомин1

*1 Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, 630090,Новосибирск, ул. Институтская, 4/1*

Работа посвящена разработке технологии получения гетерогенных материалов и изучению их физико-механических характеристик на основе эпоксидных олигомеров ЭД-20 и Праймер-204, наполненных диоксидом кремния - Таркосилом. Получены экспериментальные зависимости механических характеристик гетерогенного материала от размера и концентрации наполнителя. Максимальный рост модуля Юнга материала составил 23% при 12% объемной концентрации. При использовании ультразвукового диспергирования максимальное увеличение модуля упругости (32%) зафиксировано при 25% объемном содержании нанопорошка. Представлена зависимость модуля Юнга от характерного диаметра наполнителя при постоянной объемной концентрации. Проведено сравнение экспериментальных и теоретических модулей упругости.

*Ключевые слова: гетерогенный материал, наночастицы, эпоксидная смола, механические характеристики.*

**Investigation of elastic properties of the material with the presence in the structure of nanopowder**

The work is devoted to developing technologies for heterogeneous materials and studying their physical and mechanical characteristics based on epoxy oligomer ED-20 and Praimer-204 filled silica fume -Tarkosil. The experimental dependence of the mechanical properties of heterogeneous material on the characteristic size and concentration of filler was obtained. The maximum rise of Young modulus at 12% volume concentration of filler was 23%. When using ultrasound to maximize the modulus of elasticity (32%) is fixed at 25% nanopowder content. The dependence of Young's modulus of the characteristic size of the filler at a constant concentration was showed. Experimental and theoretical of Young modulus were compared.

*Keywords: heterogeneous material, nanoparticles, epoxy resin, mechanical properties.*

В последнее время все большее внимание в технике уделяется созданию новых материалов с заранее известными свойствами. Применимость того или иного материала в конструкции определяется комплексом свойств, включающим соотношение между прочностью и пластичностью, а также вязкостью разрушения и другими свойствами. Гетерогенные материалы являются результатом объемного сочетания разнородных компонентов, один из которых образует матрицу (связующее), а другой (наполнитель) обладает высокой прочностью и определенными функциональными свойствами, в зависимости от выбранного наполнителя[1]. Для экспериментального изучения механических характеристик гетерогенных материалов были подготовлены образцы из двух типов эпоксидной смолы различной вязкости (ЭД-20 и Праймер-204), с добавлением нанодисперсного порошка Таркосил [2]. Полученные образцы испытывались на одноосное нагружение до разрушения по ГОСТ 11262-80. На этапе смешивания нанодисперсного порошка с эпоксидной смолой, возникал ряд проблем, связанных с необходимостью разбиения агломератов частиц и однородного распределения наночастиц в матрице. В качестве метода диспергирования предложено использовать ультразвуковые колебания (УЗК). Применение УЗК позволяет более эффективно разбивать агрегаты частиц и равномерно распределять частицы в объеме, что благотворно сказывается на характеристиках материала. Испытание образцов на растяжение показало, что модуль Юнга гетерогенного материала на основе ЭД-20 при объемной концентрации наполнителя до 12% увеличивается на 23%. При использовании УЗК максимальное увеличение модуля упругости (32%) зафиксировано при 25%-ом содержании нанопорошка. (рис. 1).

*Рис 1. Относительный модуль Юнга эпоксидного дисперсно-наполненного материала, полученного механическим и ультразвуковым способами*

Оптимальное количество вводимых частиц Таркосила Т-20 (d=5-7 мкм) в смолу Праймер-204 находится в интервале от 17% до 26% объемной концентрации. При данном содержании наполнителя увеличение модуля Юнга составляет 32%. Применение УЗК для данной смолы является нецелесообразным из-за уменьшения прочностных характеристик (рис. 2).

*Рис.2 Относительный модуль Юнга эпоксидного дисперсно-наполненного материала, полученного механическим и ультразвуковым способами*

Для оценки влияния размеров частиц наполнителя на модуль Юнга, использовалась эпоксидная смола Праймер-204 как менее вязкая, а также УЗД для равномерного размешивания частиц. Концентрация наполнителя выбрана 23% по объему, так как при ней наблюдался максимум для данной смолы (при порошке Таркосил Т-20). При такой концентрации предположительно должен быть достигнут максимальный эффект «упрочнения».

*Рис. 3 Зависимость модуля Юнга от характерного размера наполнителя*

При уменьшении размера наполнителя при постоянной концентрации наблюдается значительный рост модуля Юнга, причем, чем меньше размер частиц, тем больший наблюдается рост модуля Юнга (рис. 3). С уменьшением размера частиц увеличивается площадь поверхности, на которой происходит адгезия с эпоксидной смолой.

## Теоретические методы.

Для аналитической оценки результатов экспериментов предложена математическая модель трехкомпонентного гетерогенного материала, описывающая зависимость модуля Юнга от объемной концентрации компонентов [3]. Для связи компонентов при записи уравнений равновесия использованы гипотезы равенства деформаций или напряжений. Графики зависимостей представлены на рис. 4.

*Рис. 4 Зависимость модуля Юнга от концентрации наполнителя*

Теоретическая зависимость модуля Юнга при гипотезе равенства напряжений дает хорошее описание экспериментальных данных до концентраций 13 и 23% для ЭД-20 и Праймер-204 соответственно. Дальнейшее падение модуля Юнга может быть связано с увеличением количества пузырьков, вносимых с порошком, которые при нагружении, становятся концентраторами напряжений и центрами трещинообразования.

Заключение:

Для увеличения модуля Юнга гетерогенных материалов на основе эпоксидных олигомеров достаточно эффективно использовать нанопорошки диоксида кремния Таркосил. С увеличением концентрации наполнителя до 12-15% модуль Юнга возрастает на 20-25%. Дальнейший рост модуля Юнга обусловлен равномерностью распределения частиц, которую возможно достичь, используя менее вязкую смолу и ультразвуковое диспергирование. Экспериментальные данные хорошо совпадают с предложенной зависимостью на основе равенства напряжений компонентов. Таким образом, зависимость может быть использована для данного типа гетерогенных материалов до концентраций 12-15%. Уменьшение характерного размера наполнителя позволяет достичь более высоких значений модуля Юнга при той же концентрации.

Список литературы:

1. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов / Б.Е. Победря. – Москва: Издательство московского университета, 1984. – 336 с.

2. Получение нанопорошков испарением исходных веществ на ускорителе электронов при атмосферном давлении / С.П. Бардаханов, А.И. Корчагин, Н.К. Куксанов; и др. // ДАН.. – 2006. – Т.409,№3. – С. 320-323.

3. Влияние нанодисперсных частиц на механические свойства гетерогенного материала: тезисы доклада / А.А. Филиппов, Т.А. Борисова // Авиация и авиационная техника: Всероссийская олимпиада студентов. 2010. – № 8. – С. 380-387.