

Т.А. Борисова, А.А. Филиппов, В.М. Фомин

Исследование упругих характеристик материала с наличием в структуре нанодисперсного порошка

Т.А. Borisova, A.A. Filippov, V.M. Fomin

Investigating Elastic Properties of the Material with the Nanopowder in its Structure

Разработана технология получения гетерогенных материалов и изучены их физико-механические характеристики на основе эпоксидных олигомеров ЭД-20 и Праймер-204, наполненные 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.

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 возник ряд проблем, связанных с необходимостью разбиения агломератов частиц и однородного распределения наночастиц в матрице. В качестве метода диспергирования предложено

The work is aimed to develop technologies for heterogeneous materials and to study their physical and mechanical characteristics based on epoxy oligomers ED-20 and Paimer-204 filled with silica fume – tarkosil. The experiments show that filler's size and concentration depends on mechanical properties of heterogeneous material. The maximum rise of Young modulus at 12% volume filler concentration makes up 23%. When ultrasound dispersion is used maximal rise of the elasticity modulus (32%) is fixed at 25% nanopowder content. It was shown that Young modulus depends on the characteristic size of the filler at a constant concentration. Experimental and theoretical Young modules were compared.

Key words: heterogeneous material, nanoparticles, epoxy resin, mechanical properties.

использовать ультразвуковые колебания. Применение ультразвуковых колебаний 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%-ном содержании нанопорошка (рис. 1).

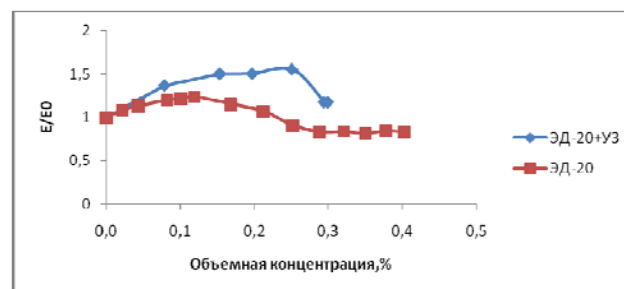


Рис. 1. Относительный модуль Юнга эпоксидного дисперсно-наполненного материала, полученного механическим и ультразвуковым способами

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).

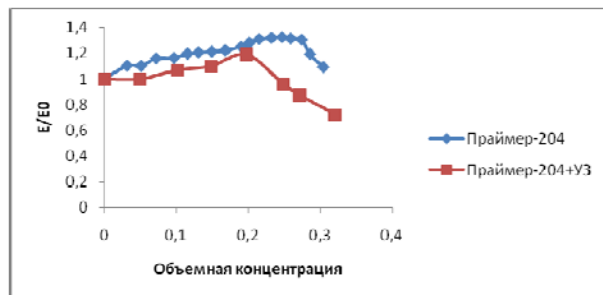


Рис. 2. Относительный модуль Юнга эпоксидного дисперсно-наполненного материала, полученного механическим и ультразвуковым способами

Для оценки влияния размеров частиц наполнителя на модуль Юнга использовалась эпоксидная смола Праймер-204 как менее вязкая, а также ультразвуковые колебания для равномерного размещения 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».

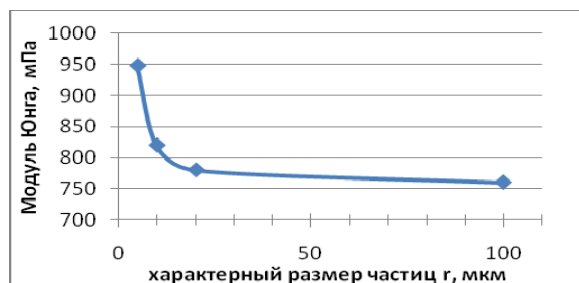


Рис. 3. Зависимость модуля Юнга от характерного размера наполнителя

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 увеличива-

ется 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 рисунке 4.

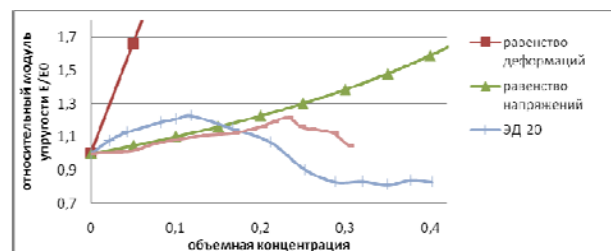


Рис. 4. Зависимость модуля Юнга от концентрации наполнителя

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.

Библиографический список

1. Победра Б.Е. Механика композиционных материалов. – М., 1984.
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.

3. Филиппов А.А., Борисова Т.А. Влияние нанодисперсных частиц на механические свойства гетерогенного материала // Авиация и авиационная техника. – 2010. – №8.