

О ВЛИЯНИИ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ

Щугорев В.Н., Цой В.Э. (НИУ «МЭИ» Москва, Россия)
E-mail: Shchugorev.VN@gmail.com

Абстракт: Структура современных композитов на основе металлической и полимерной матриц обуславливает высокие параметры таких материалов. Наряду с высокими физическими свойствами в направлении армирующих элементов, слоисто-волоконистая структура обуславливает низкую межслойную прочность таких материалов. В связи с необходимостью оценки прочностных и физических свойств композитов встает ряд экспериментальных задач на макро уровне – свойства композита в целом и микроуровне – свойства волокон. В статье проведен сравнительный анализ поведения компонент и композита в целом. Рассматриваются задачи для образцов, работающих на растяжение-сжатие изгиб, а также их межслойная прочность.

Ключевые слова: Композиционные материалы, армирующие волокна, испытания на растяжение, испытания на изгиб (рис.1), масштабный эффект.

Исследуемые композиты (вторая строка рисунка) получают путем прессования смеси порошков углерадфита и фенолформальдегидной смолы в формах при достаточно высокой температуре. Для переработки композитов в крупногабаритные изделия требуется введение пластифицирующих добавок, а для улучшения теплофизических характеристик — добавление металлического порошка меди. При этом объемное содержание модификаторов может изменяться в значительных пределах, что не может не оказать влияния на механические свойства композиции (рис. 1).

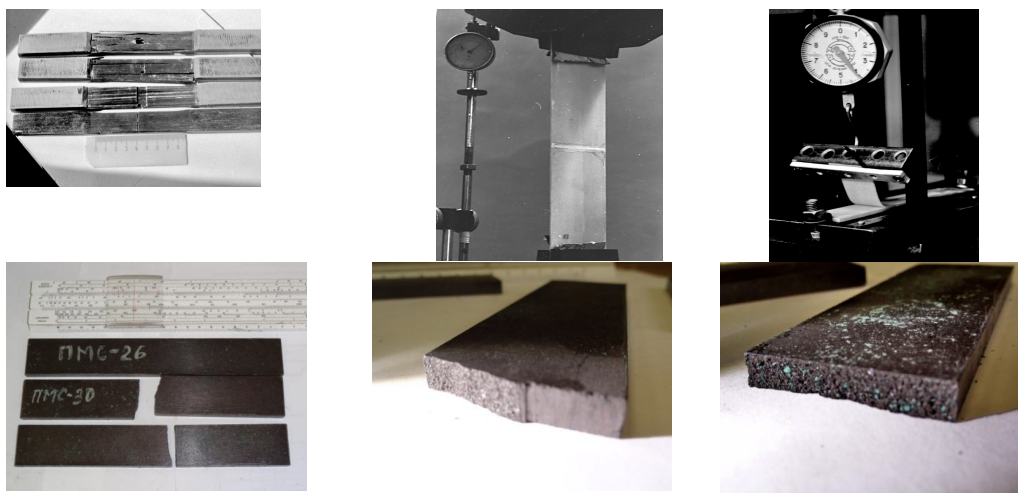


Рис. 1. Исследуемые образцы

Анализ полученных данных показал, что правило смеси, которым широко пользуются для приближенного прогнозирования свойств композитов, может оказаться непригодным даже при оценке модуля упругости изотропных композитных материалов. Сильное отклонение от правила смеси, а также нарушение ожидаемой корреляции между некоторыми механическими характеристиками можно объяснить возникающими повреждениями на уровне структуры материала.

Модуль упругости E и предел прочности при растяжении (точнее, при изгибе) σ определяли по испытаниям образцов размером 6,6 x 31,5 x 200 мм на трехточечный изгиб с пролетом 185 мм. Ударную вязкость a определяли путем

испытаний образцов тех же размеров на маятниковом копре по схеме трехточечного изгиба. Результаты испытаний представлены на рис. 1...2, где отношения механических характеристик E , σ , a модифицированных композиций к соответствующим характеристикам E_0 , σ_0 , a_0 исходной композиции отложены в функции от содержания модификатора V , % по массе.

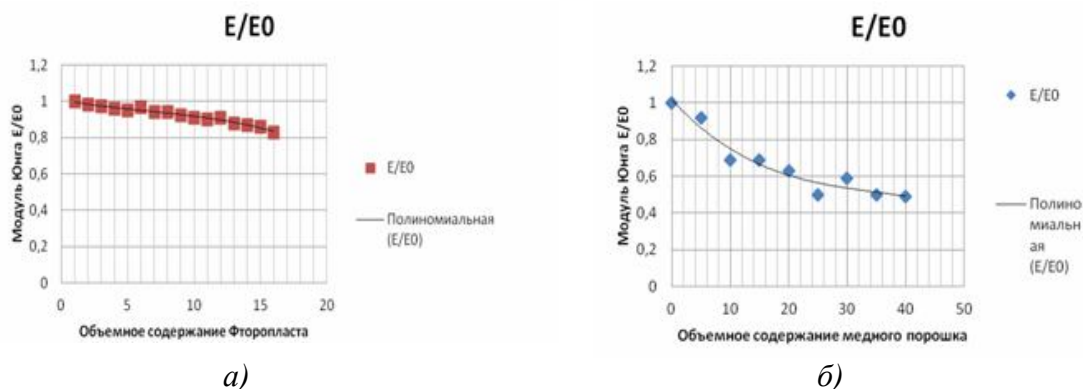


Рис. 2. Влияние массового содержания модификаторов фторопласта (а) и медного порошка (б) на модуль упругости композита

На рис. 2 представлены зависимости отношения E/E_0 от величины V для случаев модификации фторопластом (см. рис. 2—а) и медным порошком (см. рис. 2—б). Прямая линия на рис. 2—а, построенная по правилу смеси, удовлетворительно согласуется с результатами эксперимента. Однако данные рис. 2—б обнаруживают более существенное снижение модуля упругости, чем следует из правила смесей. Это можно объяснить множественным структурным растрескиванием композита.

Разброс результатов в целом подчиняется нормальному распределению, характеризующему **макро свойства** исследуемых материалов. Явно присутствует среднее значение с коэффициентом вариации порядка 15 %.

Экспериментальное исследование свойств армирующих элементов представлено ниже. Испытывалась тонкая медная проволока диаметром 40 мкм (например, армирующий элемент для представленной выше композиции).

На рис. 3а. представлен разброс экспериментальных данных при испытании медной проволоки на разрыв. Кривая распределения в этом случае имеет полимодальный вид см. рис. 3б.

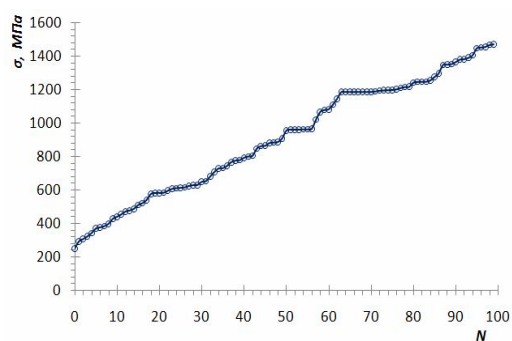


Рис. 3а. Вариационная диаграмма распределения разрывного напряжения медной проволоки, при 293 К, толщиной 40 мкм и длиной 15 мм. Испытывалось 100 идентичных образцов

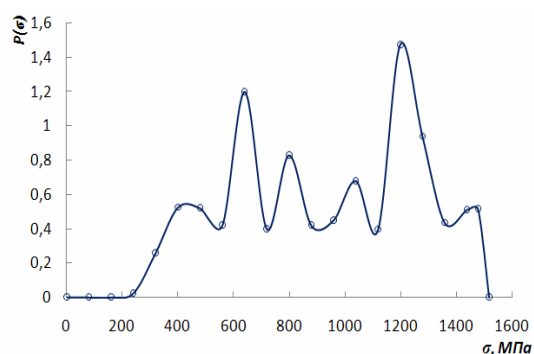


Рис. 3б. Кривая распределения плотности вероятности разрывного напряжения медной проволоки, при 293 К, толщиной 40 мкм и длиной 15 мм. Испытывалось 100 идентичных образцов

При исследовании влияния масштаба были получены необычные результаты - массивные и тонкие пленки, длинные и короткие волокна, существенно различаются между собой. В первом случае (массивные и длинные образцы) имеют нормальные кривые распределения и незначительный разброс данных эксперимента, а во втором - тонкие и короткие образцы – имеют полимодальные распределения и значительный разброс данных эксперимента.

На *рис.4.* приведены кривые распределения разрывного напряжения стальной проволоки разной длины. Видно, что с увеличением длины происходит переход от полимодальности к унимодальности (аналогичные данные получены для натуральных волокон различной длины). При этом положение мод на кривых распределениях не зависит от толщины или длины образца, т.е. уровни прочности или долговечности стабильны и не зависят от масштаба. Зависит от масштаба лишь среднее значение долговечности или прочности.

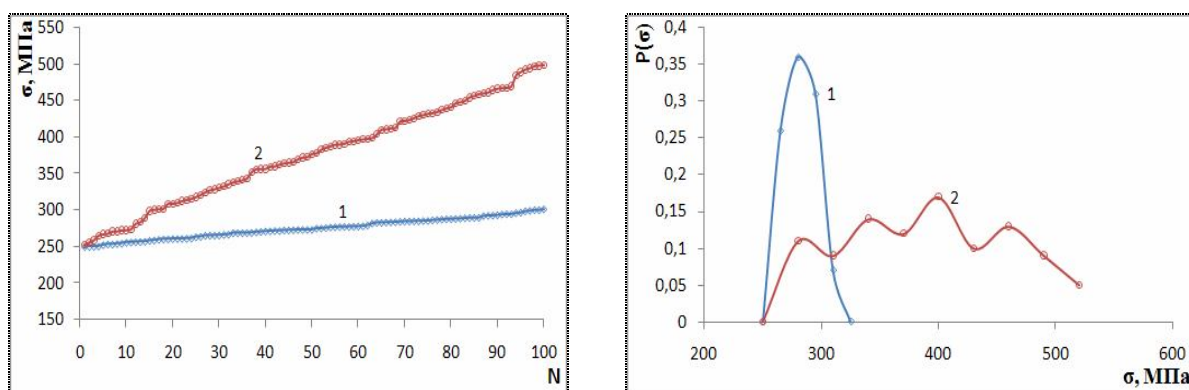


Рис. 4. Кривые распределения разрывного напряжения стальной проволоки диаметра 40мкм.
1 – длина 120 мм, 2 – длина 50 мм, $T = 293$ К

Полученные результаты. Рассмотренные частные задачи являются этапами выполнения предложенных авторами в [1] общих алгоритмов оценки несущей способности конструкционных элементов, содержащих отслоения. При этом экспериментальная проверка результатов весьма существенна.

Список литературы: 1. Щугорев В.Н., Касьянов К.Г. Классификация и нелинейный анализ отслоений в конструкциях// Материалы XXI международной научно-технической конференции “Машиностроение и техносфера XXI века”, Севастополь 2014. С.292 2. Щугорев В.Н. Трещиностойкость конструкционных элементов с расслоениями . «X Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механика.» Избранные тезисы докладов. (Нижн. Новг. 24-30 августа 2011). Нижний новгород. Издательство Нижегородского госуниверситета 2011. С.218-219. 3. Цой В.Э. Моделирование материалов и конструкций с высокими и сверхвысокими физическими характеристиками // Материалы международной научно-технической конференции студентов и аспирантов "РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА" МЭИ (ТУ) 2007 г.