ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОЛЛЕКТИВНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В АНСАМБЛЕ ВКЛЮЧЕНИЙ И УСЛОВИЯ ПЕРЕХОДА К ЛОКАЛИЗОВАННОМУ РАЗРУШЕНИЮ ОДНОНАПРАВЛЕННО АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

Зайцев А.В. [1], Кокшаров В.С. [1], Фукалов А.А. [1]

[1]*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь*
a-zaitsev@mail.ru, koksharovvs@gmail.com, mr_aa@mail.ru

Определение закономерностей коллективного взаимодействия в ансамбле включений и условий перехода к локализованному разрушению структурно-неоднородных материалов в элементах конструкций может быть проведено при комплексном экспериментальном исследовании неупругого поведения с детальным анализом эволюции дефектов, которое требует специального оборудования и осуществляется в настоящее время только для наиболее простых схем нагружения. В связи с этим, сформулировав критерии адекватности модельных и реальных случайных структур композитов, для различных сложных напряженно-деформированных состояний целесообразно проводить вспомогательные вычислительные эксперименты с представительными объемами этих материалов.

Синтез фрагментов структуры композитов, армирующими элементами которых являются цилиндрические волокна с параллельными случайно расположенными осями, заключался в размещении непересекающихся гладких круглых дисков на плоскости. Было установлено, что вид закона распределения диаметров волокон (одномодальный симметричный или несимметричный) не влияет на эффективные упругие модули стеклопластиков на основе эпоксидной матрицы, которые были определены для представительных объемов из вычислительных экспериментов по нагружению в поперечной плоскости, однородному растяжению в направлении армирования и антиплоскому сдвигу.

Определены масштабы неоднородности полей напряжений и деформаций в неповрежденном композите, отражающие многочастичное взаимодействие в ансамбле волокон и оказывающие решающее влияние на начальный этап образования дефектов. Обнаруженный принципиально разный характер многочастичного взаимодействия и принципиально разные условия перехода к локализованному макроразрушению волокнистых композитов при антиплоском сдвиге были объясняснены «скрытыми» закономерностями (наличием или отсутствием в случайных полях структуры параметров порядка – периодических составляющих в интервале от половины до двух средних размеров гетерогенности), предопределяющими характер неоднородности полей напряжений и деформаций.

Для различных схем комбинированного трехосного пропорционального нагружения и сдвига определены закономерности эволюции дефектов в матрице, проанализировано влияние закона распределения диаметров волокон и «скрытых» параметров порядка стохастических структур на сценарии развития процесса разрушения. Проанализированы условия регистрации макроразрушения однонаправленно армированного композита, как результата потери устойчивости процесса накопления повреждений. Показано качественное совпадение характера макроразрушения модельных композитов в вычислительных экспериментах с результатами механического испытания на продольный сдвиг стеклопластика на основе эпоксидной матрицы. Обнаружен не зависящий от типа закона распределения диаметров волокон эффект «порционного» разрушения участков матрицы при гидростатическом сжатии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ–Урал № 19–41–590026).