

Негладкие модели упругости композитов

А. И. Олейников

ЦАГИ имени профессора Н.Е. Жуковского

aleksandr.oleynikov@tsagi.ru

Развиваются модели гетерогенно–упругих изотропных и анизотропных сред в механике композитов [1,2]. Исследуется взаимосвязь между моделями и возможность предельных переходов по параметрам, характеризующих влияние типа напряженно–деформированного состояния и перекрестных эффектов. Приведены аналитические расчетные зависимости оценки жесткостей и прочности пакета монослоев, представлены результаты сходимости расчетных и экспериментальных данных, проведено сравнение с существующими критериями разрушения. Установлено влияние зависимости жесткостей от вида напряженного состояния на эффекты симметричного и сбалансированного армирования. Проанализированы результаты расчета стадий послойного разрушения углепластика в условиях растяжения, сжатия и сдвига. Паспортные характеристики упругости монослоев современных композитов указывают на неравенство продольных и по–перечных модулей на сжатие и растяжение. Необходимость учета данного неравенства возникает при обеспечении высокоточного решения, например, для прецизионной интерпретации испытаний на изгиб при определении из них жесткости на изгиб или прочности на сжатие композита. В зависимости от способа задания упругих характеристик монослоев – на сжатие, растяжение или с учетом данных неравенств – расходимость расчетных оценок прочности пакета может достигать более 20% [3]. Прямой учет данных отклонений от закона Гука приводит к негладкой модели упругого тела. Даётся общая постановка задачи о структуре негладких материальных функций и разложении потенциала напряжений вблизи естественного ненапряженного состояния. Для случая квазизотропного армирования разложение представляет собой ряд Фурье по системе сферических функций и обеспечивает вывод в основном приближении закона Гука и одновременно в следующих приближениях, которые являются негладкими, даёт поправки, систематически учитывающие влияние типа деформации. При неустойчивости волокон или разрушении матрицы некоторые жесткости композита при определенном типе

деформации обращаются в ноль, что приводит к нестрого выпуклым потенциалам напряжений. При этом напряжения подчиняются определенным внутренним связям—предельным условиям [1,4]. Развита теория двойственности невогнутых негладких потенциалов, которая дает уравнение предельной поверхности и принцип минимума. Предложены негладкие определяющие соотношения моделей упругости трансверсально-изотропных и ортотропных композитов, некратные собственные значения тензора жесткости которых зависят от знаков коэффициентов разложения тензора напряжений в базисе собственных тензоров. Обсуждается и предлагается классификация негладких моделей упругости по структуре определяющего соотношения, параметрам типа напряженно-деформированного состояния и вида перекрестных эффектов между его инвариантами. Развиваются и экспериментально обосновываются простейшие аналитические расчетные зависимости приближенной оценки жесткостей и прочности ортотропного симметричного пакета монослоев, в которых основной вклад в жесткость дает модуль упругости вдоль волокон, а прочность обусловлена прочностью волокон на разрыв или их неустойчивостью, и также прочностью связующего. Даны критерии разрушения монослоя при сложном напряженном состоянии пакета. Обсуждаются некоторые приложения построенных моделей в механике авиационных конструкций.

Литература

1. Мясников В.П., Олейников А.И. Основы механики гетерогенно-сопротивляющихся сред. Владивосток: Дальнаука, 2007. 172 с.
2. Олейников А.И. Оценка жесткости и прочности слоистых композитов // *Композиты и наноструктуры*, 2017, т.9, N 2, с. 77–79.
3. Гришин В.И., Дзюба А.С., Дударьков Ю.И. Прочность и устойчивость элементов и соединений авиационных конструкций из композитов. М.: Физматлит, 2013. 272 с.
4. Олейников А.И. О модели разномодульной среды с ограничениями// *Доклады РАН*, 1994, т.334, N 3, с. 314–316.