

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ БАЛКИ С ТРЕЩИНОЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ТРЕХТОЧЕЧНЫЙ ИЗГИБ

Методом скінченних елементів розв'язана задача про деформування композитної балки з тріщиною під дією точкового навантаження. Отримано розподіл напружень біля вершини тріщини та розкриття тріщини.

DESIGN OF STRESS-STRAIN STATE COMPOSITION BEAM WITH CRACK AT TEST ON THREE-POINT BEND

Task is considered about deformation of composite beam with a crack under action of the point loading. For the decision of the finite final element method is used. The division of tensions is got near the top of crack and transference of opening.

Расчет и конструирование инженерных сооружений, применяемых в авиастроении, ракетной технике, машиностроении, строительстве и других отраслях народного хозяйства существенно зависит от применяемых методов, а также от структуры и качества материалов [1]. В последнее время широкое применение находят композиционные материалы. На их основе создаются принципиально новые инженерные конструкции, способные работать в сложных режимах эксплуатации. Композиционные материалы представляют собой сочетание двух или более материалов, соединенных в единое целое, т.е. в новый материал, механические или иные свойства которого значительно превосходят свойства компонентов. Многие композиционные материалы имеют малую плотность, высокую коррозионную стойкость, особые магнитные или диэлектрические свойства, прочность, жесткость, легкий вес, долговечность, теплопроводность, низкую стоимость и т.д.

Композиционные материалы нашли широкое применение в отечественной промышленности для производства различных машин, механизмов, транспортирующих устройств и т.д. Расчет на прочность является одним из наиболее важных этапов при проектировании конструкций. Как правило, различные дефекты (трещины, поры и др.) возникают либо на этапе изготовления материалов, либо в процессе эксплуатации под действием действующих силовых и температурных нагрузок, агрессивных сред и т.д.

Исследование напряженно-деформированного состояния конструкций из композиционных материалов представляет определенные трудности математического характера. Это связано как с учетом анизотропии свойств материалов, так и с необходимостью моделирования трещины и особенностей напряженно-деформированного состояния у ее вершины. Эти сложности определяют применение численных методов расчета, а аналитические методы получили распространение для решения лишь ограниченного количества наиболее простых задач.

В последнее время значительный прогресс осуществляется в технологии материалов с высокими удельной прочностью и удельным модулем упругости, получаемых путем составления соответствующих композиций из мягкого, относительно низкопрочного материала и высокопрочных волокон или частиц. В этом случае для изучения физико-механических свойств композиционных материалов необходимо в достаточной степени изучить их механическое поведение [2]. При этом важную задачу представляет собой оценка прочности композитов.

Важным параметром, характеризующим прочность материала, является трещиностойкость. Разрабатываемые методики проектирования, основанные на использовании этого параметра, требуют изучения принципов механики разрушения. В композиционном материале, как правило, имеются дефекты, которые могут служить источниками концентрации напряжений, от которых возникают трещины. В реальных конструкциях трещины имеют трехмерный характер [3]. Оценка полей напряжений в окрестности вершины трещины (оценка разрушения композиционного материала) может быть охарактеризована с помощью коэффициентов интенсивности напряжений, значением J -интеграла либо величиной раскрытия трещины.

При проектировании элементов конструкций необходимо знать свойства материалов и критерии разрушения, соответствующие различным его видам. При формулировке критериев разрушения высокопрочных материалов часто используются методы механики разрушения. Такой подход основывается на предположении о том, что распределение напряжений в непосредственной окрестности вершины трещины может быть описано с помощью линейной теории механики упругого разрушения, если область нелинейного поведения материала мала [4]. Количественно это поле напряжений может быть охарактеризовано коэффициентом интенсивности напряжений, который зависит от действующей нагрузки, размеров трещины и образца. В соответствии с теорией механики разрушения процесс разрушения начинается в тот момент, когда коэффициент интенсивности напряжений достигает некоторой критической величины, являющейся характеристикой материала, определяющей начало хрупкого (неустойчивого) разрушения. При применении этого критерия начала разрушения исходят из того, что конструкция разрушается сразу после возникновения в ней трещины. При этом предполагается, что, возникнув, трещина будет распространяться с очень большой скоростью, а конструкция разрушается немедленно.

При испытании композитов появление начальной трещины, которое предшествует неустойчивому разрушению, может быть установлено методом акустической эмиссии или замерено по месту резкого падения нагрузки.

Моделирование процесса разрушения конструкций из композиционных материалов требуют создания сложных математических моделей в виде систем дифференциальных либо интегральных уравнений. Их решение с помощью известных аналитических методов получить невозможно. Весьма эффективным из численных методов является метод конечных элементов. Этот универсальный метод в сочетании с возможностями персональных компьютеров способен дать

решения сложных краевых задач механики разрушения композиционных материалов и конструкций на их основе.

Рассмотрим задачу исследования напряженно-деформированного состояния композитной балки с трещиной (рис. 1).

Физические величины материала корда: $E_1 = 1277,5$ МПа, $\nu_1 = 0,3$; матрицы: $E_2 = 4,4$ МПа, $\nu = 0,33$. Частота армирования $i_C = 1100$ волокон/м, диаметр волокон $d_C = 7 \cdot 10^{-4}$ м. Размеры балки $0,11 \times 0,02 \times 0,02$ м, длина трещины $0,01$ м. На балку действует точечная нагрузка $P = 2$ Н. Сетка разбиения $5 \times 9 \times 12$.

На рис. 2 показано распределение перемещений края трещины при разных углах армирования материала. Как видно, при угле армирования 90° раскрытие трещины на 50 % меньше, чем при 0° . На рис. 3 изображено распределение напряжений в балке, которые значительно возрастают около вершины трещины.

Из приведенных результатов видно, что наличие трещины в материале значительно влияет на процесс ее деформирования, что впоследствии может привести к разрушению конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Композиционные материалы: Справочник / Под редакцией д.т.н., проф. Д.М. Карпиноса. – К.: Наук. думка, 1985. – 592 с.
2. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов. Пер. с японск. – М.: Мир, 1982. – 232 с.
3. Сиратори М., Миеси Т., Мацусита Х. Вычислительная механика разрушения: Пер. с японск. – М.: Мир, 1986. – 334 с.
4. Лью К.Т. Рост трещин в смесевых твердых топливах в условиях градиентов деформации. Ч. II // Аэрокосмическая техника. – 1991. – № 9. – С. 81-88.
5. Механика композитных материалов и элементов конструкций. В 3-х т. Т.1 Механика материалов / Гузь А.Н., Хорошун Л.П., Ванин Г.А. и др. – К.: Наук. думка, 1982. – 368 с.
6. Метод конечных элементов: теория, алгоритмы, реализация / Толлок В.А., Киричевский В.В., Гоменюк С.И., Гребенюк С.Н., Бувайло Д.П. – К.: Наук. думка, 2003. – 316 с.

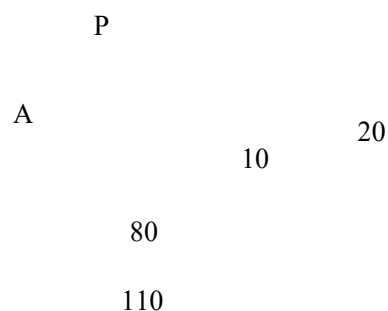


Рис. 1 – Расчетная схема балки

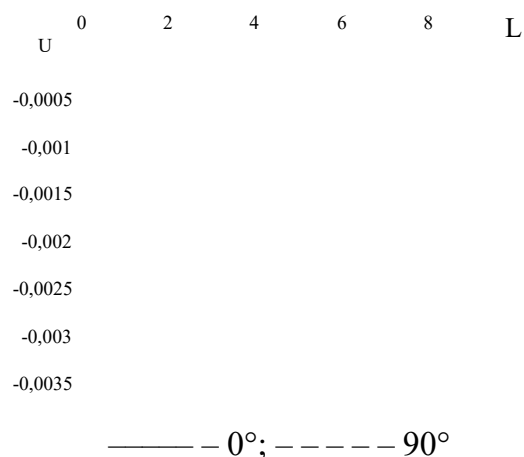


Рис. 2 – Раскрытие трещины при разных углах армирования

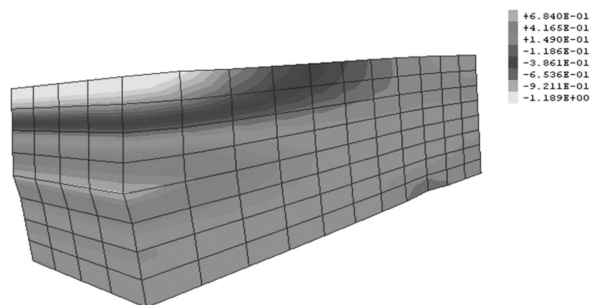


Рис. 3 – Распределение напряжений σ_{33} около вершины трещины (угол армирования 90°)