

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Н.Э. БАУМАНА
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА
ЦЕНТР ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

**НЕОБРАТИМЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ**

ТРУДЫ ЧЕТВЕРТОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

29-31 января 2007 г.

Москва

Часть II

МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 536.75

ББК 22.317

Н 52

Н 52 Необратимые процессы в природе и технике: Труды Четвертой Всероссийской конференции 29-31 января 2007 г. В 2-х ч. Часть II-М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.- с.650

В трудах Четвертой Всероссийской конференции приведены результаты, полученные авторами в области исследования необратимых процессов в природе и технике.

Труды конференции предназначены для студентов, аспирантов и научных работников.

УДК 536.75

ББК 22.317

Центр прикладной физики
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007

ВЛИЯНИЕ НИЗКОСКОРОСТНЫХ УДАРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ПРОЧНОСТЬ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

В.П. Павелко, И.В. Павелко, Р. Хатыс

1. Введение

Одним из характерных типов повреждений авиационных конструкций из композиционных материалов являются ударные повреждения. Они появляются в результате удара посторонних предметов, особенно на этапах взлета и посадки, при попадании самолета в зону града, столкновении с птицами и в других подобных ситуациях. Особенность ударных повреждений композитов состоит также в том, что зачастую они не могут быть обнаружены при визуальном контроле, хотя влияние на прочность при этом может оказаться значительным.

Сравнительно недавно были предприняты попытки выяснить характер реакции композитов на ударное воздействие на базе точного теоретического анализа и тщательно разработанных испытаний [1, 2]. Разработан аналитический подход, направленный на определение реакции на удар и построение критерия, позволяющего установить, как различные свойства ударяемого объекта и параметры удара влияют на повреждение.

Нами планируется проведение исследований различных типов композитов по оценке влияния ударного повреждения на характеристики статической и усталостной прочности с целью получения, в конечном итоге, методов их прогнозирования при различных исходных механических характеристиках композитов, энергии и скорости удара, геометрических и механических параметрах ударяющего тела.

2. Определение порогового значения энергии удара

При низкоскоростном ударе его продолжительность относительно велика по сравнению со временем распространения упругой ударной волны. В этом случае напряжения при низкоскоростном ударе можно получить, комбинируя решение динамической задачи об ударе твердых тел с решением статической задачи о давлениях между двумя контактирующими телами, подобно методу, описанному в [3].

Общий случай удара двух тел вращения, изготовленных из анизотропных материалов, исследован в работе [2]. Получены выражения для большой a и малой b осей эллиптической площадки контакта, максимальной деформации α_1 в зоне контакта и максимального поверхностного давления q_0 :

$$\frac{a}{m} = \frac{b}{r} = \left[\left(\frac{3\pi}{2} \right) (k'_1 + k'_2) C_R n^{2/5} \left(\frac{5v^2}{4M} \right)^{3/5} \right]^{1/3}, \quad (1)$$

$$\alpha_1 = (5v^2 / 4Mn)^{2/5}, \quad (2)$$

$$q_0 = \frac{1}{\pi^{4/3}} \left\{ \frac{\left(\frac{3}{2\pi} \right)^{1/3} n^{2/15}}{mr [(k'_1 + k'_2) C_R]^{2/3}} \left(\frac{5v^2}{4M} \right)^{1/5} \right\}, \quad (3)$$

где $M=1/m_1+1/m_2$, m_1 и m_2 – массы ударяющего и ударяемого тел, m , r , s – параметры, зависящие от взаимной угловой ориентации плоскостей главной кривизны поверхностей ударяемых тел (если этот угол прямой, то $m=r=1$, $s=2$).

$$C_R^{-1} = \frac{1}{R_{1m}} + \frac{1}{R_{2m}} + \frac{1}{R_{1M}} + \frac{1}{R_{2M}}, \quad (4)$$

где R_{1m} , R_{1M} – главные радиусы кривизны поверхностей ударяющего и R_{2m} , R_{2M} ударяемого тел.

$$n = \left(\frac{16}{3\pi(k'_1 + k'_2)} \right) \left(\frac{C_R}{s^3} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

Величины k_1 и k_2 зависят от упругих свойств материалов. Исчерпывающую информацию об их определении можно найти в [2].

Определение пороговой энергии удара, вызывающего необратимые изменения в материале, представляет собой обратную задачу: задаваясь предельной прочностью материала, определяемой по результатам независимых испытаний, требуется найти энергию удара, при котором по крайней мере в одной точке достигается предельное состояние. Поэтому для соответствующей схемы низкоскоростного удара должна быть решена соответствующая задача теории упругости. Для точки с максимальным значением критерия прочности и из условия достижения предельного состояния определяется наибольшее давление q_0 , а из формулы (3) определяется скорость удара и вычисляется его энергия. Эта процедура реализована для двух типов стеклопластиков, которые могут рассматриваться как трансверсально-изотропные. Далее выполнен конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния пластины со схемой распределения давления, показанной на рис. 1 (плоская задача).

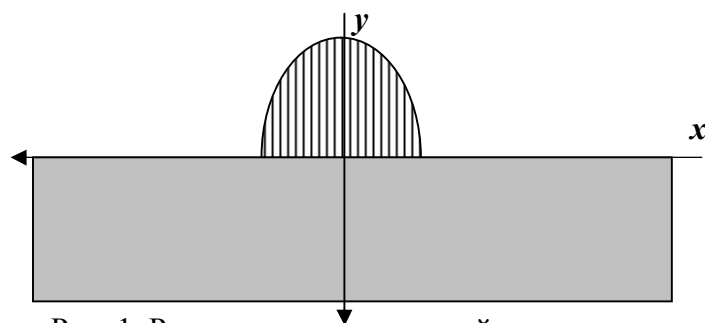


Рис. 1. Расчетная схема плоской задачи для анализа напряжений при ударе

На рис. 2 представлены результаты расчетов эквивалентных напряжений по Мизесу и Треска. В обоих случаях максимумы находятся на глубине порядка 0.4 от толщины пластины, что соответствует примерно половине размера площадки контакта при максимальной силе удара. Это вполне согласуется с известными результатами расчетов, выполненных ранее [2].

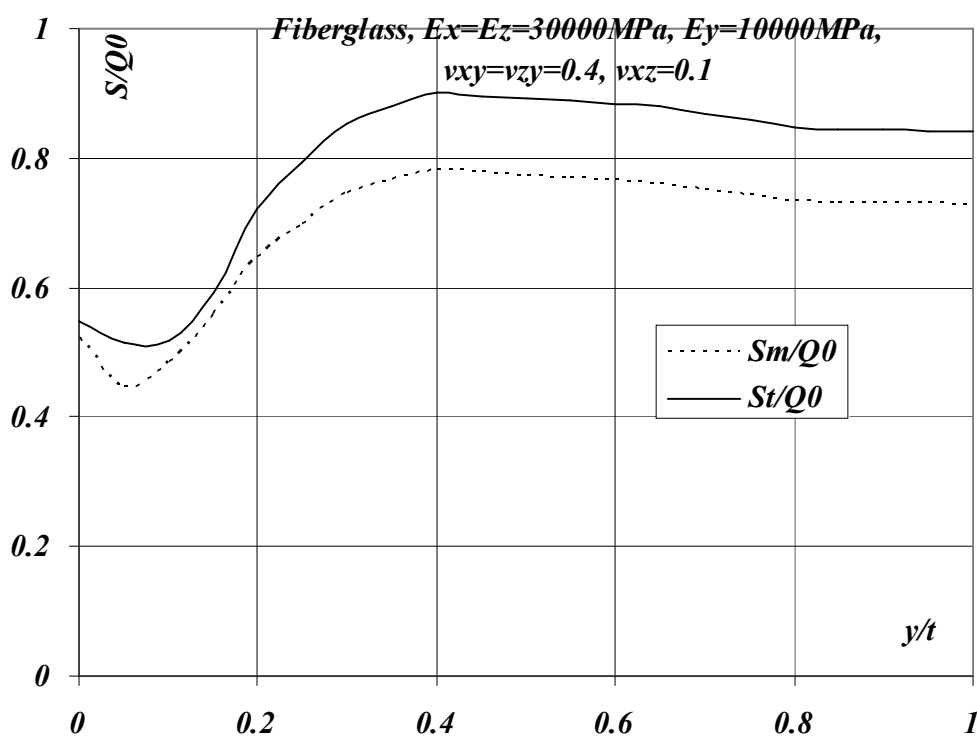


Рис.2. Зависимость напряжений в плоскости симметрии пластины от относительной глубины (сплошная линия – критерий Треска, пунктирная – по Мизесу)

Критерий Треска более подходит для оценки предельного состояния, поскольку в условиях всестороннего неравномерного сжатия максимальные касательные напряжения представляют наибольшую опасность для прочности материала. Поэтому этот критерий в дальнейшем использован для определения пороговой энергии удара.

3. Экспериментальные результаты и их анализ.

Экспериментальные образцы двух типов стеклопластиков в рабочей части имели ширину 10 мм и толщину около 2 мм. Предварительное ударное нагружение осуществлялось на специальном копре со свободно падающим грузом. Удар наносился по поверхности образца, свободно лежащего на жестком основании. После этого производились статические испытания по определению диаграммы растяжения и прочности. Результаты испытаний представлены на рис. 3 и свидетельствуют об удовлетворительности оценок пороговой энергии низкоскоростного удара с использованием критерия Треска для данного типа волокнистых композитов.

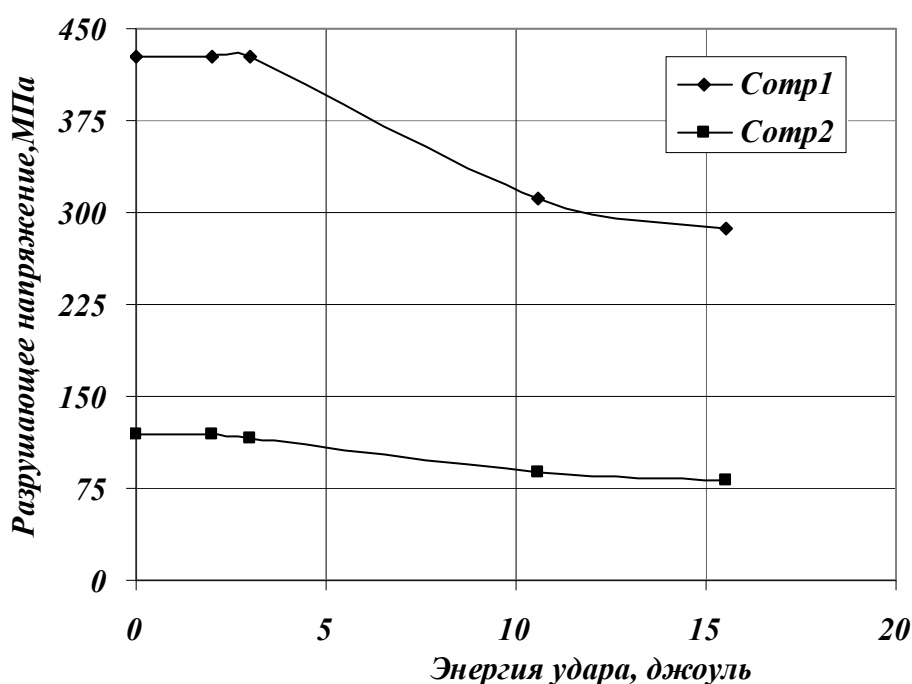


Рис. 3

Настоящее исследование выполняется в рамках европейского проекта AISHA, ставящего целью разработку непрерывной интегрированной системы контроля технического состояния авиационных конструкций на основе использования ультразвуковых неразрушающих технологий. Авторы благодарны Комиссии Евросоюза за поддержку этих исследований.

1. Foreign Object Impact Damage in Composites// ASTM STP, 568, 1975, p.183.
2. Impact Dynamics // Jonas A. Zukas, Theodore Nicholas, Longin B. Greszcuk, Donald R.Curran. – John Wiley&Sons. –New York, 1982, 296 p. (Имеется русский перевод: Динамика удара. –Москва: Мир, 1985)
3. Timoshenko S., Theory of Elasticity, McGraw, N. Y., 1934.-327 pp.