Министерство образования и науки Российской Федерации
Российская академия наук
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана
Физический институт им. П.Н. Лебедева
Центр прикладной физики МГТУ им. Н.Э. Баумана

НЕОБРАТИМЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ

ТРУДЫ ШЕСТОЙ
ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
26-28 января 2011 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 Шестой Всероссийской конференции 26-28 января 2011 г. (В трех частях) Ч.II.-М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011.- 342 с.

ISBN 978-5-7038-3478-7

В трудах Шестой 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, 2011

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011

ISBN 978-5-7038-3478-7

ПРОБЛЕМЫ УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ КОНТАКТНОМ НАГРУЖЕНИИ КОМПОЗИТОВ

С. Кузнецов, И. Павелко, М. Смолянинов.

Рижский технический университет, LV – 1656, Калькю 1, Рига, Латвия

ООО РНЭЦ “Авиатест ЛНК”, LV-1073, Резекнес 1, Рига, Латвия

Основной эффект при ударном повреждении композита – расслоение, наступает при сравнительно малых энергиях удара [1]. На рис.1 показаны результаты распределения статических напряжений в плоскости панели при воздействии цилиндрического (а) и сферического (б) ударников по данным КЭ расчета, выполненного по методике, подробное описание которой дано в [2]. При низкоскоростном ударе влияние динамического нагружения мало, названная методика даёт удовлетворительные результаты. При высокоскоростном ударе расслоение также имеет место [3]. С ростом энергии удара рождаются также другие типы разрушения (разрывы волокон, трещины матриц и др., обобщенно – дробление материала), т.к. кинетическая энергия удара частично расходуется на местное разрушение, а частично преобразуется в энергию деформации всей конструкции. Сочетание названных факторов может вызывать мгновенное разрушение элемента конструкции. В других случаях ударное повреждение вызывает разрушение в результате последующего динамического нагружения. С ростом удельной энергии удара (энергия, отнесенная к объёму) увеличивается степень дробления. Следовательно, исследование таких факторов, как локальные повреждения композитных панелей и их динамическое нагружение, желательно проводить изолировано. В качестве объектов исследования приняты:

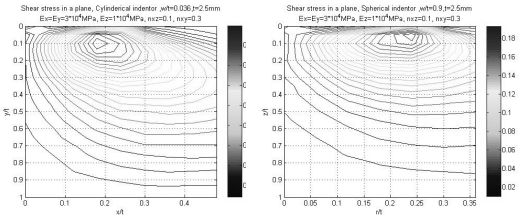

Рис.1

1. Образцы с размерами рабочей части 2.65×20×40 (рис. 2а), нарезанные из листа стеклопластика производства Fazerverbundwerkstoffe. Ориентация волокон 0^0 - 90^0. Объемное содержание волокон - 43%.
2. Образцы с размерами рабочей части 2.65×20×40 (рис. 2б), нарезанные из листа углепластика производства Fazerverbundwerkstoffe. Ориентация волокон 0°/90°±45 (материал квазиизотропный). Объемное содержание волокон - 50%.

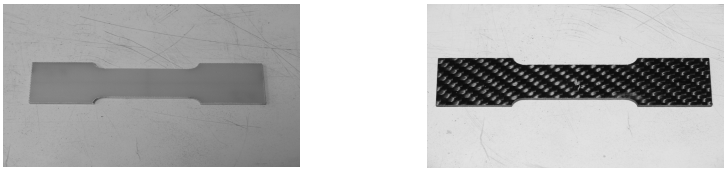

Рис. 2

На первом этапе были проведены испытания образцов на статическое растяжение с целью определения их механических характеристик и снятия диаграммы растяжения. По результатам испытаний (рис. 3) получено

: Таблица 1.

Материал	Стеклопластик	Углепластик
Предел прочности на растяжение σ_p, МПа	260 - 270	360 - 380
Модуль Юнга E, МПа	$(2.1 – 2.4)\times10^4$	$(3.7 – 3.8)\times10^4$

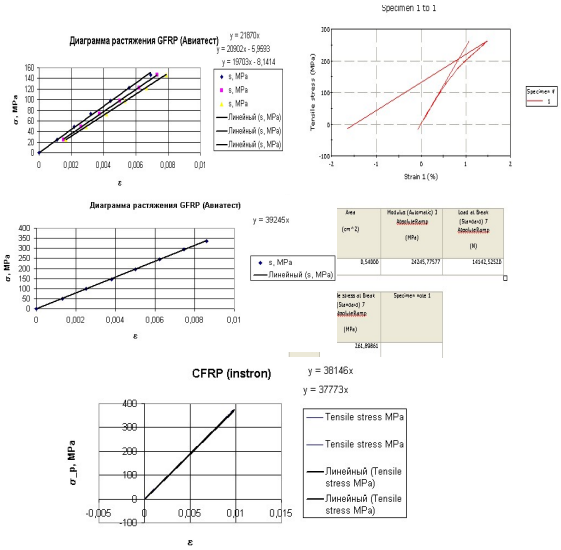

Рис. 3.

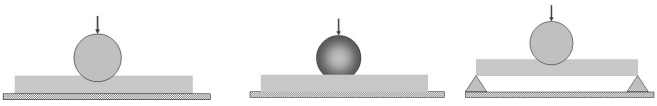

Рис. 4.

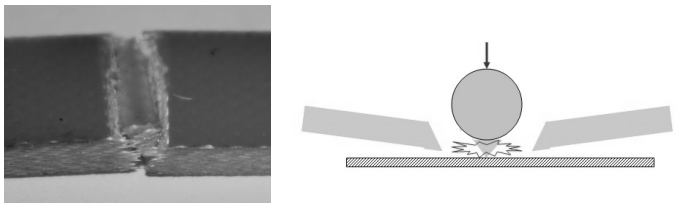

Рис. 5.

На втором этапе выполнено контактное нагружение цилиндрическим (рис. 4а) и сферическим (рис. 4б) штампами, а также комбинированное нагружение цилиндрическим штампом (рис. 4в).

При вдавливании цилиндрического штампа, полностью перекрывающего рабочую часть образца в поперечном направлении, наблюдается следующий характер разрушения. По мере увеличения нагрузки дробление материала

происходит в непосредственной близости к площадке контакта и внешне мало заметно. При определенной предельной нагрузке $P_{пр}$ происходит динамическое разрушение образца с разлетом боковых осколков с большой скоростью и с образованием откола центральной части небольшого размера и клиновидной формы (рис. 5). Качественные оценки позволяют сделать следующие выводы:

- разрушение начинается с наружной границы цилиндрической площадки контакта;
- с увеличением диаметра штампа D значение $P_{пр}$ растет (рис. 6);
- в зависимости от сочетания кривизны штампа и толщины образца t, начиная с определенного соотношения D/t, разлет осколков не происходит, а находящаяся под воздействием штампа центральная часть образца крошится.

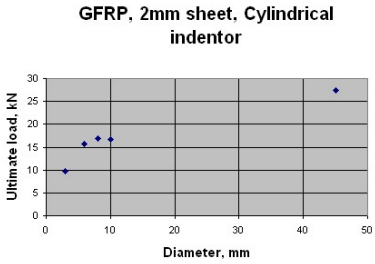

Рис. 6.

В результате контактного нагружения образца с достаточно широкой рабочей частью сферическим штампом образуется сферический кратер на всю глубину образца (рис. 7). При этом наибольшая интенсивность дробления наблюдается в центре кратера. По мере удаления от центра размеры частиц увеличиваются с постепенным переходом к не разрушенному материалу. Если

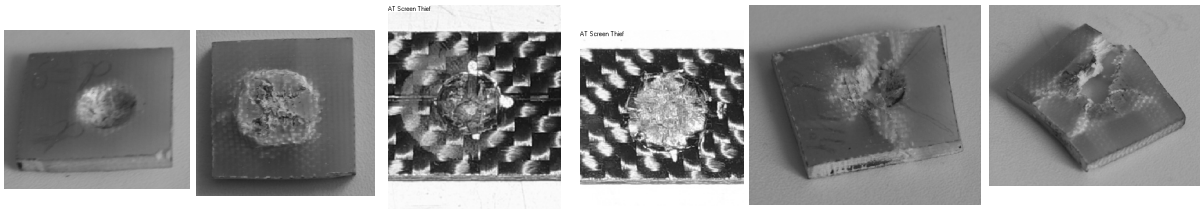

Рис.7. Характер разрушения материала при вдавливании сферического штампа.

отношение ширины рабочей части образца к диаметру штампа $b/D < 2$, то разрушение сопровождается переходом дробления материала в единичный разрыв перемычки. Также были получены зависимости критического контактного усилия от диаметра сферического штампа для исследуемых материалов (рис. 8).

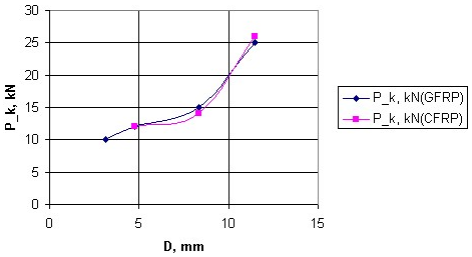

Рис. 8

При обычном статическом нагружении экспериментально полученный предел прочности стеклопластика на изгиб составляет примерно 560÷620 МПа. Это позволяет заключить, что расчет по классическим

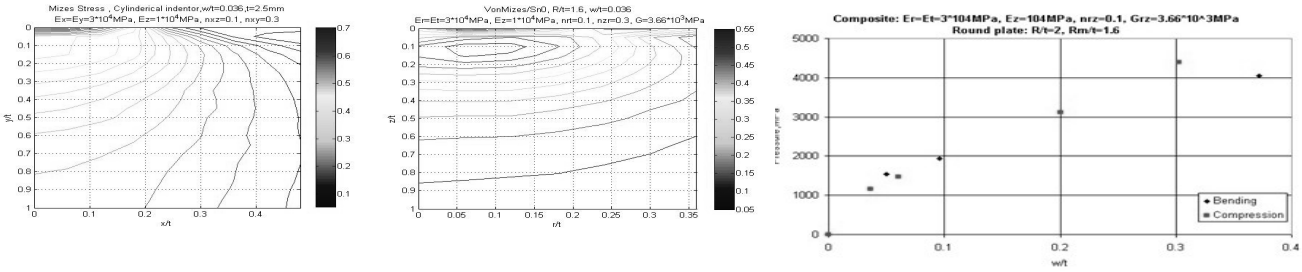

Рис. 9.

методикам даёт достаточно точные результаты.

Для оценки напряженного состояния в окрестностях зоны удара была выполнен КЭ расчет. На рис.9 представлено распределение эквивалентных напряжений Мизеса – Хилла по отношению к наибольшему давлению σ_0 в центре площадки контакта при внедрении цилиндрического (а) и сферического (б) штампов на глубину $w = 0.036 \cdot t$, что соответствует радиусу площадки контакта $R_c = 0.17 \cdot t$. Расчетное контактное давление при данной глубине внедрения $\sigma_0 = 1150$ МРа (рис. 8в). Следовательно, на краю площадки контакта $\sigma_{ekv} \cong 360 \div 380$ МПа. Это примерно соответствует пределу прочности данного материала на растяжение, определенному экспериментально. На третьем этапе были проведены экспериментальные исследования остаточной прочности на растяжение образцов, подвергнутых контактному нагружению.

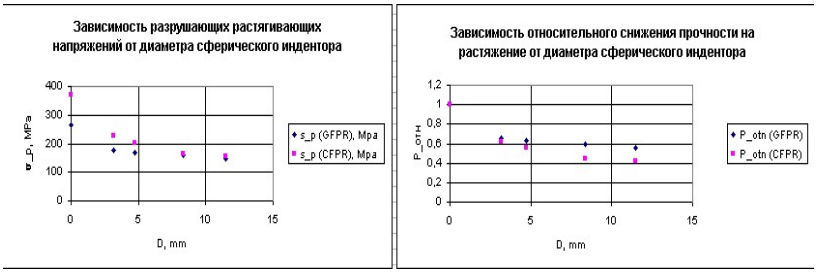

Рис.10

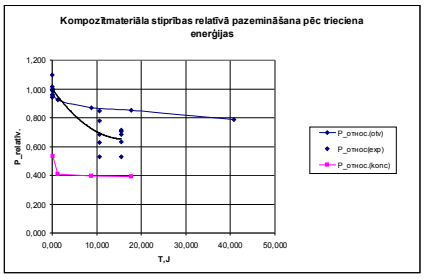

Рис.11

На рис. 10 показаны зависимости снижения прочности стеклопластика и углепластика от диаметра сферического штампа. Они неплохо согласуются с результатами ранее выполненных аналитических исследований по определению верхней и нижней границы снижения прочности углепластика, подвергнутого низкоскоростному удару [2, 4] (рис.11).

ЛИТЕРАТУРА

1. В.П. Павелко, И.В. Павелко, Р. Хатыс. Влияние низкоскоростных ударных повреждений на прочность волокнистых композитов. Необратимые процессы в природе и технике: Труды Четвертой Всероссийской конференции 29-31 января 2007 г. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, ФИАН 2007. – с.352-355.

I. Pavelko, M. Smolyaninov. Эквивалентное отверстие как критерий остаточной прочности композитного материала после низкоскоростного удара. International virtual journal “Machines, Technologies, Materials”, Year IV, Issue 7/2010 (ISSN 1313-0226) – Published by Scientific-technical Union of Mechanical Engineering – pp. 12 – 16.

2. Sawan Shah, Javid Bayandor, Frank Abdi, Ali Najafi. Micro mechanics based prognosis of progressive dynamic damage in advanced aerospace composite structures. Proceedings of ICAS-2010. 27th Congress of the International council of the Aeronautical Sciences. Nice, France: 19-24 September, 2010 - paper 8.2.3.

I. V. Pavelko, M. P. Smolyaninov. Criterion of stress concentration for evaluation of the lower level of composite material strength loss after a low-speed impact. Proceedings the fourth world congress “Aviation in the XXIst century – Safety in Aviation and Space Technologies”. September 21 – 23, 2010, Volume 1 – Kyiv: 2010 - pp. 13.42 – 13.46