

УДК 629.113

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ УДАРЕ ИЗДЕЛИЯМИ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**А.Н. Туренко, профессор, д.т.н., А.В. Ужва, доцент, к.т.н.,
А.В. Сергиенко, аспирант, ХНАДУ**

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с расчетом элементов пассивной безопасности, выполненных из композитных материалов, опубликованы результаты экспериментальных исследований композитных материалов.

Ключевые слова: пассивная безопасность, энергопоглощение, композитные материалы, эксперимент, исследования.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОГЛИНАННЯ ЕНЕРГІЇ ПІД ЧАС УДАРУ ВИРОБАМИ З КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

**А.М. Туренко, професор, д.т.н., А.В. Ужва, доцент, к.т.н.,
О.В. Сергієнко, аспірант, ХНАДУ**

Анотація. Розглянуто питання, пов'язані з розрахунком елементів пасивної безпеки, виготовлених з композитних матеріалів, опубліковано результати експериментальних досліджень композитних матеріалів.

Ключові слова: пасивна безпека, енергопоглинання, композитні матеріали, експеримент, дослідження.

RESEARCH RESULTS CONCERNING IMPACT ENERGY ABSORBING BY COMPOSITE PRODUCTS

**A. Turenko, Professor, Doctor of Technical Science,
A. Uzhva, Associate Professor, Candidate of Technical Science,
A. Serhiyenko, postgraduate, KhNAHU**

Abstract. Questions related to the calculation of passive safety elements made of composite materials have been considered. The results of experimental research of composite materials were published.

Key words: passive safety, energy absorbing, composite material, experiment, research.

Введение

При проектировании элементов пассивной безопасности (ЭПБ), защищающих человека при столкновении, основной задачей является рассеивание кинетической энергии таким образом, чтобы обеспечить минимальное её воздействие на человека. Следует рассматривать автомобиль не только как ударопрочный объект (что справедливо для жизненного объема автомобиля), но и как поглощающий динамические нагрузки.

Для определения безопасности возникающих замедлений используют специальный критерий тяжести повреждений НИС (Head injure criteria). С ростом скорости движения и массы автомобиля количество энергии, которую необходимо поглотить, резко возрастает; при этом геометрические размеры зон, в которых можно располагать деформируемые зоны, практически не изменялись. Все это приводит к необходимости поиска новых конструкций и материалов, способных поглощать большее количество энергии.

Анализ публикаций

Следует отметить, что стандартные методы определения ударной прочности не отвечают реальным параметрам работы материалов и получаемые характеристики могут применяться только для относительного ранжирования материалов, применение полученных характеристик при проектировании изделий из композитных материалов (КМ) недопустимо [1]. При этом при проектировании элементов ПБ приходится или изготавливать большое количество опытных образцов, или пользоваться готовыми рекомендациями исследовательских компаний. Как показывает анализ зарубежной литературы, авторы, занимающиеся вопросами энергопоглощения во время аварии, самостоятельно проводят эксперименты с исследуемыми образцами по методикам, отличающимся от стандартных.

Энергопоглощающие свойства КМ основаны на «работе разрушения», происходящей во время их деформации. В зависимости от типа материала различают следующие виды деформаций (рис. 1): пластическая деформация, характерная для металлов и неармированных пластиков, имеющих невысокий модуль упругости; катастрофическое разрушение – возникает при неправильно подобранной конструкции; в этом случае зона разрушения появляется в непрогнозируемом месте, энергопоглощающий элемент разрушается с образованием крупных фрагментов без поглощения энергии с высокими пиковыми перегрузками.

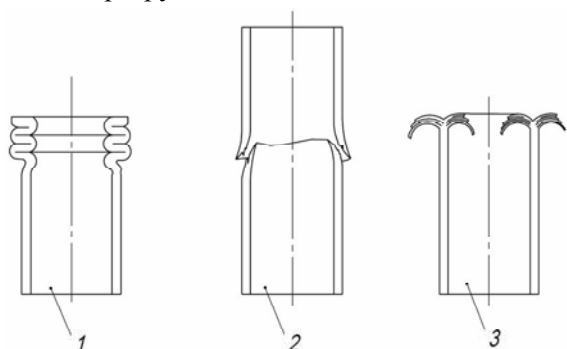


Рис. 1. Типы разрушения КМ: 1 – пластическая деформация; 2 – катастрофическое разрушение; 3 – прогрессивное разрушение

Прогрессивное разрушение свойственно изделиям из композитных материалов [2], зона разрушения находится в точке контакта с препятствием, энергопоглощающий элемент,

разрушаясь, образует мелкие осколки, величина усилия в процессе разрушения постоянна или имеет небольшие колебания. Хрупкость КМ обуславливает отсутствие упругой фазы деформации, как у металлов, поглощение энергии КМ происходит при таких основных процессах (рис. 2):

- образование трещин и разрыв волокон;
- разрушение связующего компонента (матрицы);
- отслоение армирующих волокон от матрицы;
- расслоение слоев.

Таким образом энергия удара поглощается как на макро-, так и на микроуровне.

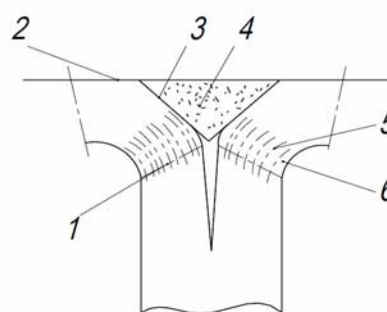


Рис. 2. Структура разрушения КМ: 1 – изгибное разрушение; 2 – препятствие; 3 – трение между волокнами и клином; 4 – клин мелкодисперсных частиц волокна и матрицы; 5 – трение между слоями; 6 – расслоение (деламинация)

Цель и постановка задачи

Основная цель данного исследования заключалась в отработке метода испытания композитных материалов, который позволил бы получать данные по характеристикам испытуемых материалов, используемые при инженерных расчетах конструкций из композитных материалов. Также авторы преследовали цели получения характеристик удельного поглощения энергии при разрушении для разных композитных материалов и сравнения моделей их разрушения.

Исследования поглощения энергии образцами из композитных материалов при ударе

По результатам многочисленных экспериментов установлено, что наилучшей весовой отдачей обладают элементы, выполненные в виде трубчатых форм, – у таких структур при ударе происходит последовательное разру-

шение нагруженной части без изгибов, выпучиваний и других потерь геометрической формы, что позволяет эффективно поглощать энергию всему материалу трубы. Для определения характеристик материалов при ударных нагрузках, которые соответствуют реальным рабочим условиям, были проведены испытания трубчатых элементов на установке для ударных испытаний [3], с целью определения удельного поглощения энергии и вида разрушения.

Полученные результаты приведены в табл. 1. При испытаниях установлено, что удельное поглощение энергии не зависит от скорости удара и массы объекта, при этом значительное влияние оказывает технология изготовления опытных образцов.

Таблица 1 Удельное поглощение энергии композитными материалами

Армирующий материал	Тип смолы и способ формовки	Удельное поглощение энергии (Дж/г)
T-23	Эпоксидная, инфузия	21
T-23	Эпоксидная, инфузия, 120С	31
twill 2×2 3К	Эпоксидная, инфузия	64

При применении в качестве армирующего материала стеклотканей замечено, что характер разрушения сходен с деформированием при ударе пластичных металлов (рис. 3, 4): в процессе разрушения образуются зоны большой деформации, приводящие к образованию гофрированных волн; как видно из графика сил, возникающих в процессе разрушения, энергопоглощение проходит с большой амплитудой, колебания составляют порядка 20 % от максимальных значений. Поглощение энергии за счет разрыва волокон практически отсутствует, показатели удельной энергоемкости значительно ниже, чем у УКМ, а характеристики нестабильны. При применении дополнительных мер при изготовлении образцов (повышение давления, температурная выдержка при полимеризации) удалось поднять характеристики удельной энергоемкости на 50 %, приблизившись по этим показателям к специальным мягким сталям, применяющимся для изготовления энергопоглощающих элементов в автомобилях [4].



Рис. 3. Образец из стеклоткани

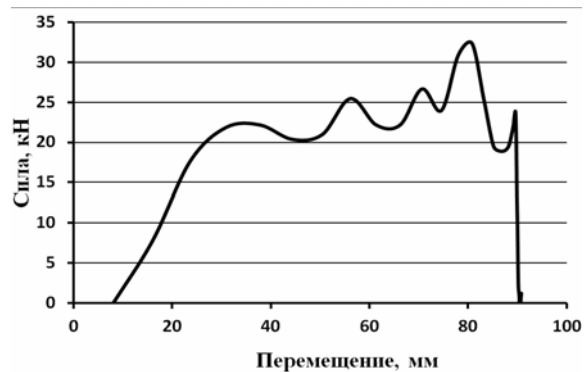


Рис. 4. График сил при разрушении стеклопластикового образца

При увеличении количества слоев стеклоткани возрастает жесткость элемента, он начинает разрушаться по «катастрофическому» сценарию (рис. 5, 6), при котором невозможно заранее спрогнозировать энергопоглощающие свойства; удельная энергоемкость при этом, как правило, ниже, чем у более тонких образцов.



Рис. 5. «Катастрофическое» разрушение образца

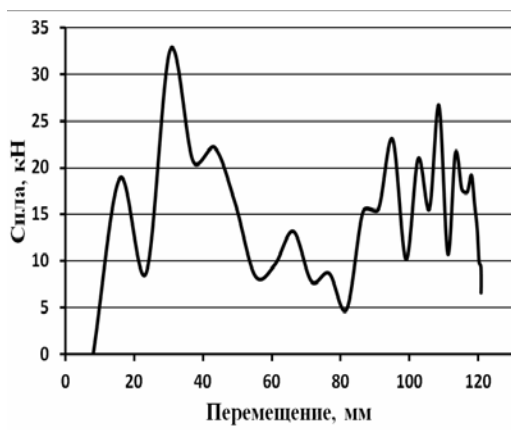


Рис. 6. График сил при «катастрофическом» разрушении

Образцы, выполненные из углеткани, показали наилучшие характеристики поглощения энергии. В процессе удара большая часть материала разрушилась до мелкодисперсного состояния (рис. 7, 8); при этом средние замедления были меньше, чем при аналогичном ударе со стеклопластиковыми образцами.



Рис. 7. Образец из углепластика

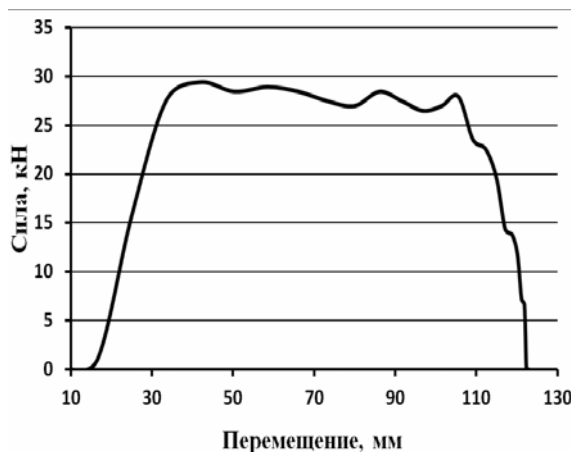


Рис. 8. График сил при разрушении углепластикового образца

Полученные данные могут быть использованы при расчете элементов пассивной безопасности, так как они получены с помощью модели, учитывающей конструкцию элементов ПБ, нагрузочные режимы, возникающие в процессе реального удара, расположение и направление армирующих волокон. Возьмем для примера носовую структуру безопасности, требования ФИА накладывают на неё следующие ограничения:

- скорость столкновения – 15 м/с, масса – 780 кг;
- перегрузка на первых 150 мм не должна превышать 10 g;
- при поглощении первых 60 КДж энергии замедление не превышает 20 g;
- при поглощении оставшейся энергии замедление не превышает 40 g.

Для определения минимально необходимого количества материала принимаем для расчетов равенство кинетической энергии и работы разрушения материала (1)

$$E = F \cdot s, \quad (1)$$

где E – кинетическая энергия; F – сила, действующая на структуру; s – величина разрушения структуры. Выразив энергию через отношение массы и скорости, а силу – через массу и ускорение, получим следующее уравнение (2)

$$(mv^2) / 2 = m_a a s. \quad (2)$$

Для определения количества материала, необходимого для поглощения кинетической энергии, используем формулу (3), где e_a – удельное поглощение энергии

$$m = \frac{E}{e_a}. \quad (3)$$

Подставив в уравнение (2) известные значения, находим, что для удовлетворения первого условия требования при разрушении первых 150 мм структуры безопасности необходимо поглотить 11,5 КДж энергии; минимальная масса материала, необходимая для этого, равна 188 г. Используя формулы (1)–(3), находим дистанцию разрушения и массу материала, необходимые для удовлетворения второго требования. Они равны соответственно 0,392 м и 984 г. Для поглощения остатка энергии необходима дистанция

разрушения в 0,09 м и 464 г материала. Таким образом, для соответствия требованиям ФИА носовая структура безопасности должна иметь следующие минимальные параметры: минимальную дистанцию разрушения (длина) 0,632 м и массу 1636 г.

Выводы

Отработанная методика экспериментальной оценки реальных параметров энергопоглощения изделий из композитных материалов дает возможность испытания различных композитных материалов и определения их характеристик для инженерных расчетов. Полученные значения удельного поглощения энергии можно использовать при проектировании элементов пассивной безопасности. Как показали экспериментальные исследования, углекомпози́ты являются наиболее перспективными материалами для элементов пассивной безопасности.

Литература

1. Фатыхов М.А. Механические свойства композиционных материалов в зависимости от температурного режима их из-

готовления / М.А. Фатыхов, Т.И. Еникеев, И.А.Акимов // Вестник ОГУ. – 2006. – №2, Том 2. – С. 87–92.

2. Savage G.M. Exploiting the fracture properties of fibre reinforced composites to enhance the survivability of formula 1 racing cars / G.M. Savage // *Anales de mecanica de la fractura*. – 2001. – Vol. 18. – P. 274–282.
3. Туренко А.Н. Стенд для досліджень пассивної безпеки автомобілів / А.Н. Туренко, А.В. Ужва, А.В. Сергиенко // *Автомобильный транспорт: сб. науч. тр.* – 2011. – Вып. 28. – С. 12–13.
4. Stainless Steel: a new structural automotive material. – *Материалы конференции: (Florence ATA 2005 9-th international conference)* [Электронный ресурс] / F. Capelli, P. Viganò, V. BONESCHI. – Режим доступа: <http://www.centroinox.it>.

Рецензент: В.И. Клименко, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 7 февраля 2013 г.
