

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

Анотація. Експериментально досліджено основні фізико-механічні властивості теплозахисного композиційного матеріалу, що використовується для виготовлення захисних екранів. Для цього на прикладі склопластику СТЕФ виконані (із застосуванням традиційних схем) дослідження при малих (менше 1 м/с) і високих (більше 3 м/с) швидкостях зміни навантажень. При малих швидкостях навантаження досліджувалася міцність матеріалу при поверхневому деформуванні, розтягуванні, згинанні та зсуві. При великих швидкостях визначалася робота руйнування і ударна в'язкість.

Результати експериментальних досліджень використані при вирішенні конкретних конструкторсько-технологічних завдань, зокрема, при розробці обладнання та виборі режимів дроблення композиційних матеріалів при їх утилізації (хоча, безумовно, отримані дані мають ширше значення).

Ключові слова: моделювання, механічні властивості, теплозахисні екрани, експерименти.

Постановка проблемы. Большинство машин металлургического производства функционируют в условиях интенсивного воздействия высоких температур. Для уменьшения влияния температур используют теплозащитные экраны из различных материалов. Например, композиционные жаропрочные материалы на полимерной основе широко используются в качестве теплозащитных экранов разнообразной формы и размеров. Одним из распространенных видов жаропрочных композиционных материалов на полимерной основе является стеклопластик марки СТЭФ, основные физико-механические и теплофизические свойства которого приведены в справочной литературе [2- 4].

Цель исследования. Актуальной задачей при использовании изделий из композиционных материалов является утилизация после истечения срока их эксплуатации. Обычно утилизация предполагает разделение конструкций на крупногабаритные плиты, дробление плит на мелкие элементы и последующее их диспергирование. Для решения такой задачи на этапе дробления предложены оригинальные технология и оборудование [1].

При реализации технологии дробления [1] потребовалось уточнить особенности проявления основных механических свойств для соответствующих данной технологии видов нагрузок и деформаций. Для этого на примере стеклопластика СТЭФ выполнены (с применением традиционных схем [4]) экспериментальные исследования основных механических свойств при малых и высоких скоростях изменения нагрузок. При малых скоростях нагружения (менее 1 м/с) исследовалась прочность материала при поверхностном деформировании, растяжении, изгибе и сдвиге. При скоростях более 3 м/с определялась работа разрушения и ударная вязкость.

Основной материал исследования Определение характера распределения твердости по различным участкам композиционного материала выполнено с помощью прибора ТК-2. Специальные образцы имеют толщину равную толщине исследуемого материала и прямоугольное сечение (50×40 мм). Образцы имеют небольшую кривизну, что позволяет называть одну из поверхностей стержня внешней, а другую – внутренней. Боковые поверхности образованы плоскостями, по которым стержни вырезаны из пластин. В качестве индентора использовался закаленный стальной шарик; показания снимались на приборе по шкале твердости «В». Результаты измерения твердости на различных участках поверхностей образцов приведены на рис. 1.

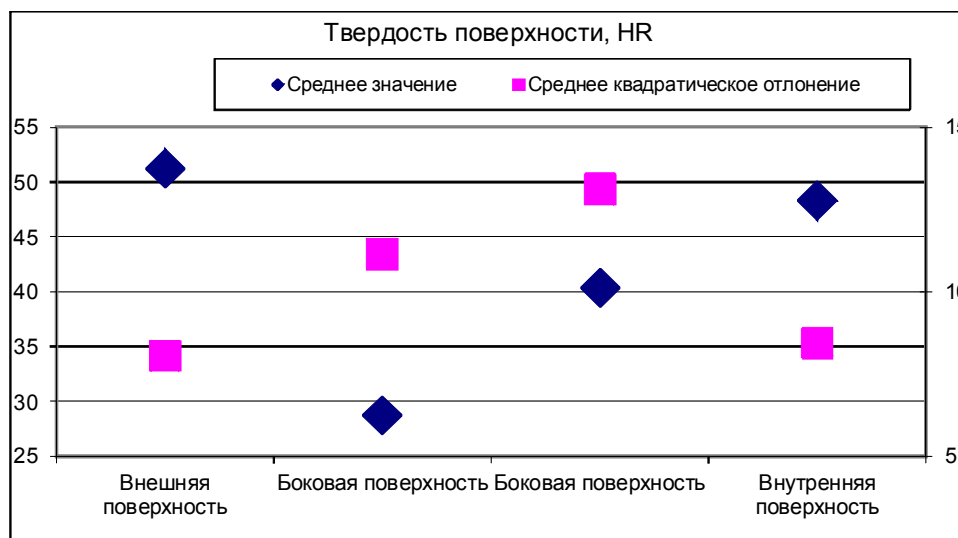


Рисунок 1 - Твердость различных участков поверхности

Композиционный материал имеет неоднородную (рис. 1) твердость на различных участках поверхности, причем наибольшую твердость имеют внешняя и внутренняя поверхности, соответственно. Твердости внешней и внутренней поверхностей различаются незначительно, а твердость боковых по-

верхностей почти в 1,5 раза меньше (при этом разброс значений, судя по величинам средних квадратических отклонений, примерно в 1,5 раза больше), что подтверждает анизотропию свойств композиционного материала.

Для исследования прочности материала при локальном деформировании (вдавливании конусов) проведены эксперименты на универсальной испытательной машине Р-5. Для испытания подготовлены образцы из композиционного материала в виде стержней с прямоугольным сечением 18×50 мм, длиной 220 мм и стальные конусы с углами 30°, 60°, 90°, 120° и 150°. Сила нагружения конуса изменялась в диапазоне (5000 – 60000) Н. Образец 4 (рис. 2) устанавливался на нижнюю подвижную траверсу 2, а конус 3 – на верхнюю траверсу 1 и предварительно поджимался к образцу вручную. Под действием сжимающего усилия Р, величина которого регистрировалась по шкале специального измерительного прибора, конус внедрялся в образец на определенную глубину Н, зависящую от величины усилия. Геометрические параметры следа от внедрения конуса (отпечатка) соответствуют геометрии вдавливаемого конуса и косвенно характеризуют прочность материала.

Глубина отпечатка определялась по радиусу отпечатка и углу конуса:

$$H = \frac{R}{\operatorname{tg} \alpha / 2}$$

где Н - глубина отпечатка; R - радиус отпечатка; α - угол конуса.

Площадь поверхности отпечатка F определялась по формуле:

$$F = \pi R \sqrt{H^2 + R^2}.$$

Результаты экспериментов приведены в рис. 7. Коэффициенты парной корреляции (таблица 1), величины которых значимы, показывают, что наибольшее влияние на диаметр отпечатка и площадь поверхности оказывает усилие вдавливания, а глубина отпечатка в большей мере зависит от угла конуса. Наибольшая глубина достигается при величине угла конуса 30°. При больших значениях углов глубина отпечатка значительно меньше, даже при больших величинах усилия вдавливания. В частности, наибольшая глубина отпечатка для конуса с углом 60° в 1,5 раза, для конуса с углом 90° – в 2 раза; для конуса с углом 120° – в 3 раза; для конуса с углом 150° – в 10 раз меньше соответствующего значения для конуса с углом 30°.

Таблица 1

Независимые переменные	Коэффициенты парной корреляции		
	Зависимые переменные		
	Диаметр отпечатка d , мм	Глубина отпечатка h , мм	Площадь отпечатка F , мм ²
α , град.	0,68538	- 0,58441	0,37578
P , Н	0,92596	0,46725	0,98162

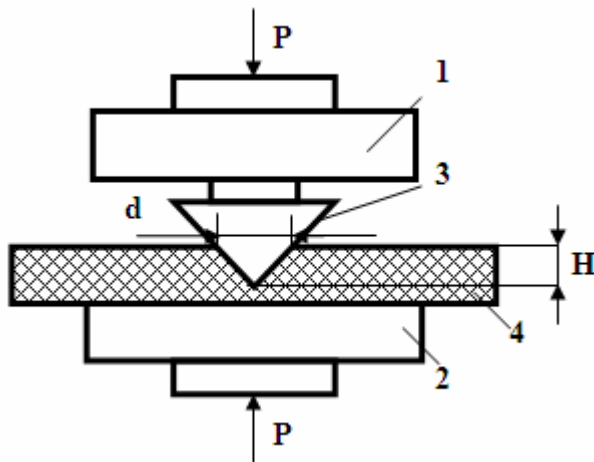


Рисунок 2 - Схема испытаний при вдавливании конусов: 1 – верхняя траверса; 2 – нижняя траверса; 3 – конус; 4 – испытываемый образец

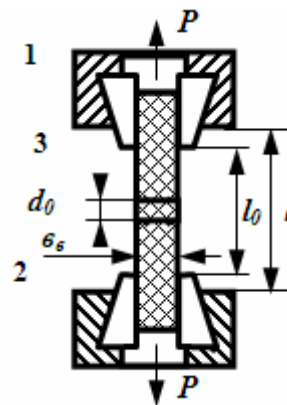


Рисунок 3 - Схема испытаний при растяжении: 1, 2 – верхний и нижний захваты; 3 – испытываемый образец

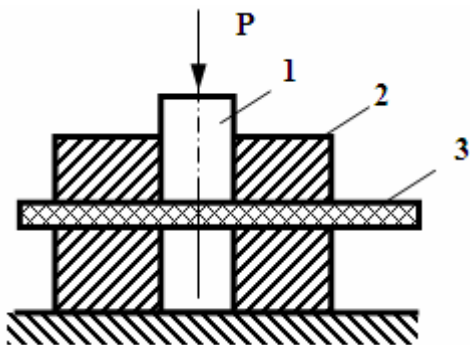


Рисунок 4 -- Схема испытаний при сдвиге (срезе): 1 – пуансон; 2 – обойма; 3 – испытываемый образец

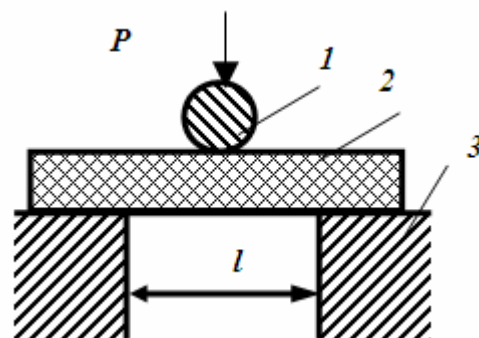


Рисунок 5 - Схема испытаний при изгибе: 1 – пуансон; 2 – испытываемый образец; 3 – плита

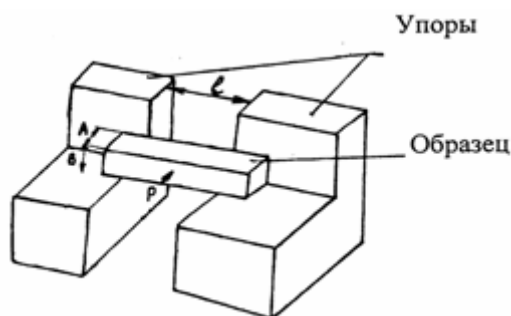


Рисунок 6 - Схема испытаний при ударном нагружении

Изучение поведения композиционного материала под действием растягивающих усилий проведены на универсальной испытательной машине Р-5 до полного разрушения образцов. Для испытания подготовлены образцы с прямоугольным сечением (рис. 3).

При увеличении прикладываемой нагрузки установлены определенные качественные особенности (таблица 2) поведения материала (установить значения напряжений не представляется возможным из-за неопределенности величин площадей сечения образцов). На основании анализа поведения композиционного материала при растяжении можно сделать вывод, что преимущественно разрыв происходит из-за разделения композита на составляющие слои и разрыв их по частям.

Таблица 2

Результаты экспериментов

№№	Величина усилия, Н	Характер изменения образцов
1	1000	расслоение материала
2	5000	удлинение образца
3	10000	разделение слоев
4	15000	утонение образца
5	20000	дальнейшее разделение слоев
6	22000	разрыв верхних слоев
7	26000	дальнейший разрыв слоев
8	30000	полный разрыв образца

Поведение материала при сдвиге исследовалось на универсальной испытательной машине Р-5 с применением специальной оснастки (рис. 4). В качестве образцов использованы пластины, вырезанные из исходного материала, с прямоугольным сечением (толщина 2-3 мм и ширина 25 мм) длиной не менее 50 мм. При испытаниях образец 3 устанавливается в обойму 2, а затем стержнем 1 с диаметром 20 мм, к которому прикладывается усилие, производится сдвиг участка материала по периметру окружности и последующий его срез.

Величина усилия вначале нарастает, достигнув максимального значения, которое регистрируется, а затем уменьшается.

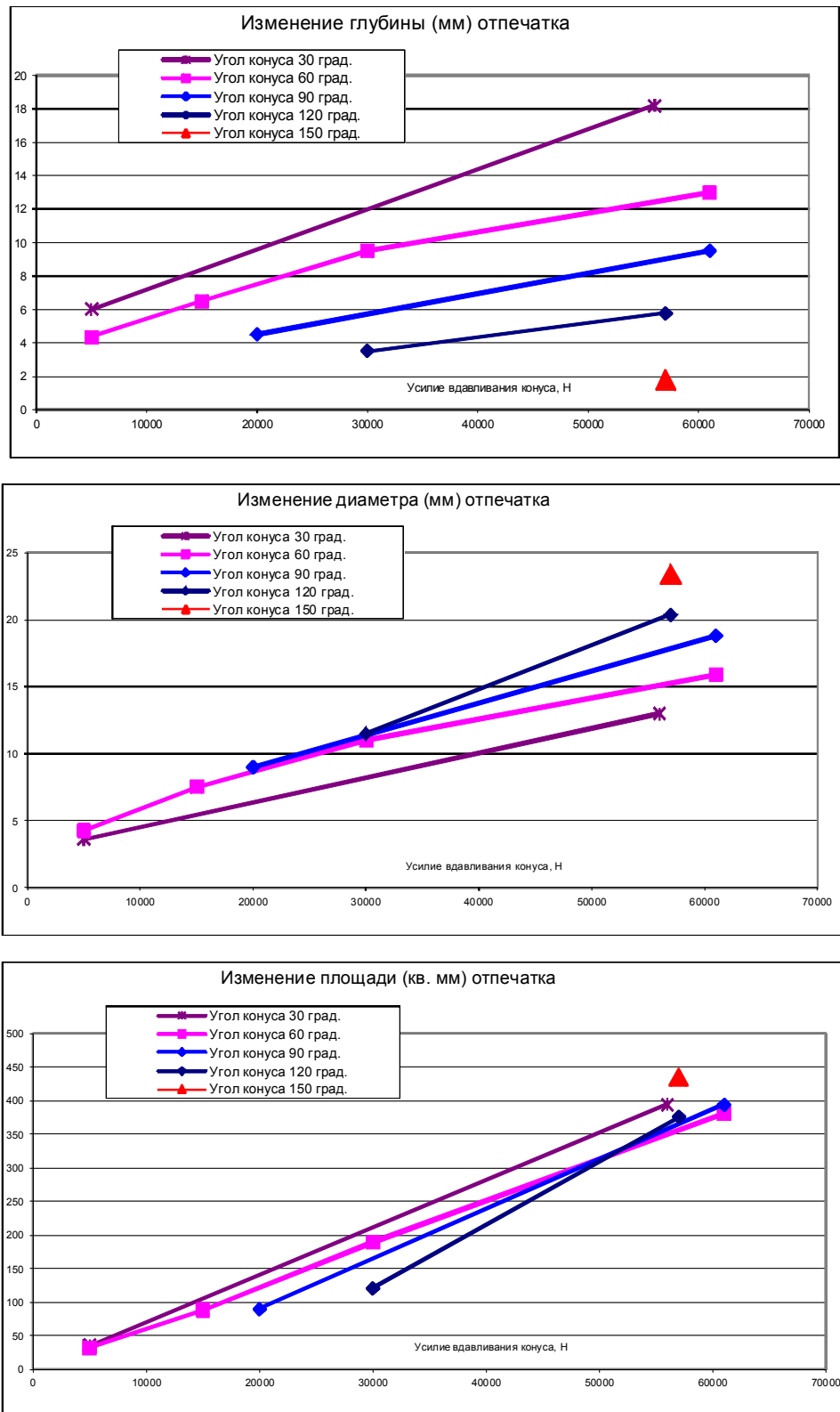


Рисунок 7 - Изменение характеристик отпечатка при вдавливании конуса

По величине усилия и геометрическим параметрам образца рассчитывается величина напряжения среза:

$$\tau = \frac{P}{\pi dh},$$

где P – усилие, при котором происходит разрушение образца; d – диаметр стержня; h – толщина образца.

Средние значения напряжений среза различаются незначительно (рис. 8). Однако возможные реализации значений (внутри полей рассеивания) подтверждают анизотропию свойств.

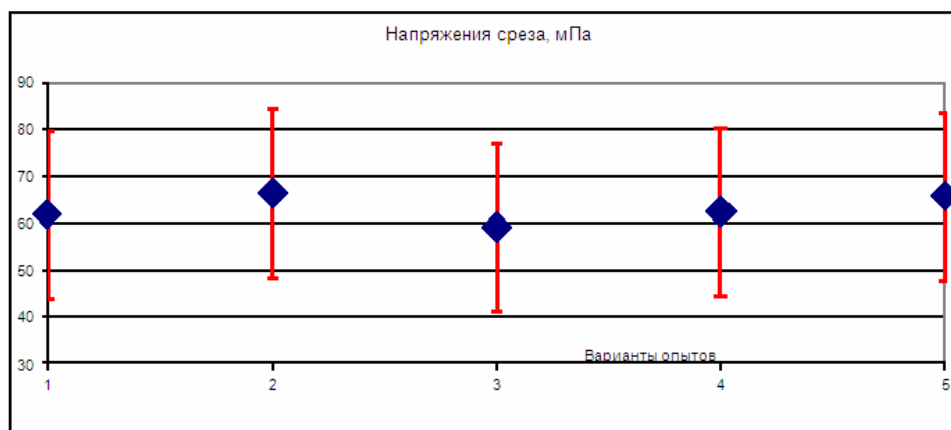


Рисунок 8 Изменение напряжений среза и поля рассеивания

Исследование поведения материала при изгибе проведены по известной схеме (рис. 5) на универсальной испытательной машине Р-5. В качестве образцов использованы стержни прямоугольного сечения длиной 90 мм. При испытаниях образец устанавливается на опоры основания, расстояние между которыми $l = 40$ мм. Усилие, прикладываемое в центре образца через цилиндр с диаметром 18 мм, возрастает до максимального значения, которое регистрируется, а затем резко падает при потере образцом несущей способности вследствие его разрушения.

Расчет величины напряжения, при котором происходит разрушение, осуществляется [2, 4] по устанавливаемой величине усилия (P), геометрическим параметрам сечения (A и B) и расстоянию между опорами (l):

$$G = \frac{M_{изг.}}{W},$$

где $M_{изг.} = \frac{P \cdot l}{2}$ – изгибающий момент; $W = \frac{B \cdot A^2}{6}$ – момент сопротивления сечения.

Результаты экспериментов (рис. 9) свидетельствуют, что прочность материала на изгиб также имеет анизотропию.

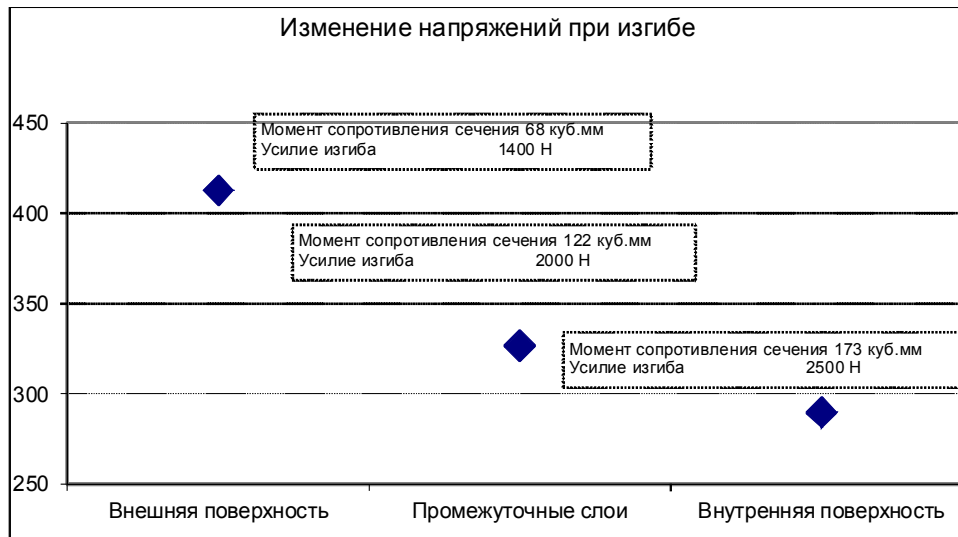


Рисунок 9 - Напряжения на различных участках материала при изгибе

Наибольшие разрушающие напряжения возникают в образцах вблизи внешней поверхности. Наименьшее сопротивление разрушения при изгибе обнаруживается для образцов, вырезанных вблизи внутренних армирующих слоев. Остальные образцы имеют почти одинаковую прочность. Величина разрушающего напряжения зависит от направления приложения нагрузки. Например, при изменении направления действия усилия, при испытании образцов, вырезанных вблизи внешней поверхности, напряжения существенно уменьшаются.

Исследование поведения композиционных материалов при высоких скоростях нагружения проведены на маятниковом копре МК-30 по традиционной схеме (рис. 6). При проведении испытаний образцы (стержни с прямоугольным сечением длиной 90 мм), установленные на основание (расстояние между опорами 40 мм) разрушались маятниковым копром.

Начальная высота расположения копра изменяется, что позволяет задавать ряд значений скоростей удара, при ударе регистрируется величина работы разрушения, а величина ударной вязкости рассчитывается:

$$\eta = \frac{A}{F},$$

где A – работа разрушения; F – площадь сечения образца.

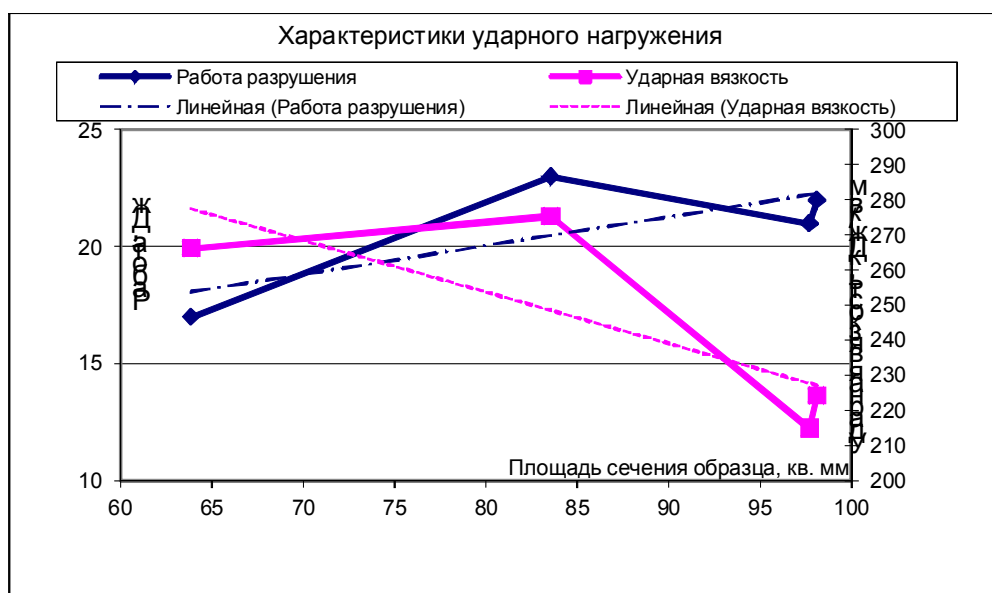
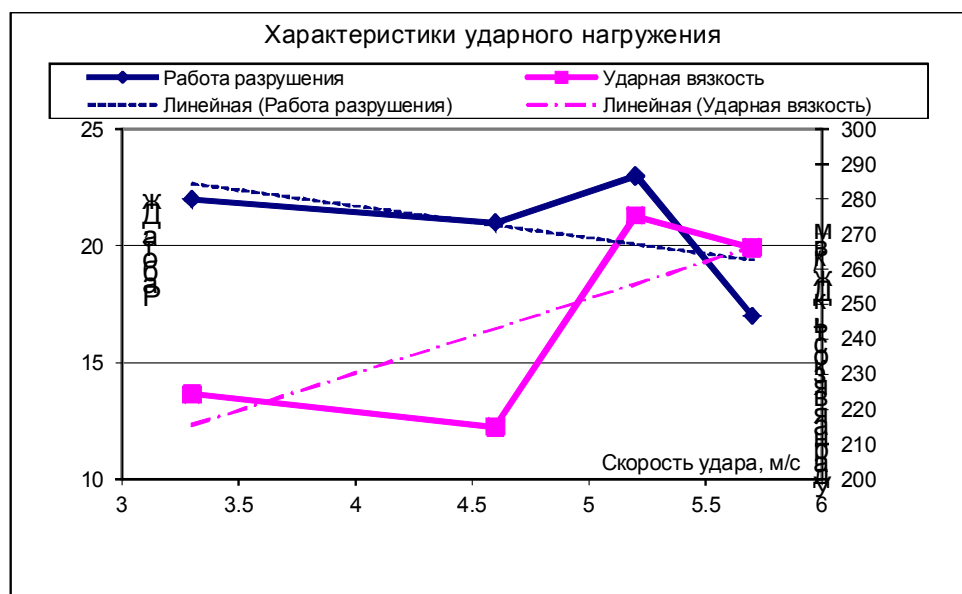


Рисунок 10 - Характеристики материала при ударе

При увеличении скорости удара (рис. 10) работа разрушения материалов уменьшается. Изменение ударной вязкости происходит более сложным образом. Следует отметить, что образцы композиционного материала при ударе преимущественно расслаиваются и деформируются.

Выводы. Для жаропрочного композиционного материала на полимерной основе (стеклопластика СТЭФ) установлено:

- при скоростях нагружения менее 1 м/с прочность материала при поверхностном деформировании (вдавливание конуса), растяжении, изгибе и сдвиге имеет существенную анизотропию (величины показателей свойств различаются в несколько раз) для различных участков образцов;

- наибольшая глубина вдавливания металлического конуса достигается (при одинаковой величине силы) для конуса с величиной угла 30° ;

- при скоростях нагружения более 3 м/с (ударный режим нагружения) работа разрушения уменьшается с увеличением скорости, при этом образцы композиционного материала при ударе преимущественно расслаиваются;

Результаты экспериментальных исследований использованы при решении конкретных [1] конструкторско-технологических задач, в частности, при разработке оборудования и выборе режимов дробления композиционных материалов при их утилизации (хотя, безусловно, полученные данные имеют более широкое значение).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. № 1556745 СССР, МКИ В 02 С 18/06, 4/02. Устройство для дробления пластин из композиционных материалов на полимерной основе / В.Н. Морозенко, А.Г. Ясев, Н.А. Мололкин, И.А. Маринченко, В.А. Бойко (СССР).- №4369007/31-33; Заявлено 20.01.88; Опубл. 15.04.90, Бюл. №14.-4с.
2. Современные композиционные материалы / Под ред. Л. Браутмана и Р Крока. – М.: Мир, 1970. – 672 с.
3. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение. - М.: Атомиздат., 1975.- 472 с.
4. Испытание материалов / Под ред. Х. Блюменауэра. – М.: Металлургия, 1979. – 448 с.

REFERENCES

1. С. с. № 1556745 СССР, МКИ В 02 С 18/06, 4/02. Device for crushing of plastins from composition materials on polymeric basis // Morozenko V, Yasev O, etc.
2. Modern composite materials. L. J. Broutman, R. H. Krock, Eds., Addison-Wesley, Reading, Mass., 1967, 581 pp., 266 illus.
3. Materials science for engineers L. H Van Vlack 1975, M 431 p.
4. Werkstoffprüfung. H. Blumenauer. 1979. 448 p.

Received 17.05.2022.

Accepted 20.05.2022.

Experimental modeling mechanical qualities of heatcover screens

Basic physical and mechanical properties of heatcover composition material that is used for making of protective screens are experimentally investigated. For this purpose on the example of flowed plastic STEF executed (with the use of traditional charts) research at small (less than 1 m/s) and high (more than 3 m/s) rate-of-change of ladening. At small speeds of ladening durability of material was investigated at superficial deformation, tension, bend and change. At high speeds work of destruction and shock viscosity was determined. Organization and realization of experiments were done according to rules of planning experiments. All investigations were made with the using kinds of experimental equipment which had according certifications of control their quality and accuracy. Obtained results were treated by methods of mathematical statistics and researches of their dispersions.

The results of experimental researches drawn on at the decision of concrete design-engineering tasks, in particular, at development of equipment and choice of the modes of crushing of composition materials during their utilization (although, undoubtedly, the obtained data have more wide value). For example, data of intruding conical elements in material were used for selecting optimal angles for working elements of equipment. Correlations between power parameters of intruding process were used for selecting power parameters of equipment for crushing of composition materials.

Equipment and technology for crushing of composition materials during their utilization, which are designed on the base of these investigations, have new useful technical and technological specialties, that is why, authors obtained document of intellectual property on this object.

Ясев Олександр Георгійович – професор кафедри екології, теплотехніки та охорони праці Навчально-наукового інституту «Інститут промислових та бізнес технологій», к.т.н.

Yasev Olexandr - professor of department of ecology, heating engineering and labour protection Institute of Industrial and Business Technologies.