

УДК 620.178.6(043.2)

Астанін В.В., Щегель Г.О.

Національний авіаційний університет. Україна, м. Київ

## УДАРНА МІЦНІСТЬ НОВІТНІХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ КОМПОЗИТІВ ПРИ ВИСОКИХ ШВИДКОСТЯХ

### Анотація

*Проведені дослідження текстильнозміцнених гібридоволоконних композиційних матеріалів на ударну міцність при високих швидкостях зіткнення з ударником. На основі отриманих результатів запропонована конструкція удароміцних захисних щитів для роботи пожежних і рятувальних команд в умовах підвищеної вибухової небезпеки.*

### Abstract

*Researches of textile-reinforced hybrid-garn composite materials for impact strength at high speeds of collision with an impactor are carried out. On the basis of obtained results construction of impact-resistant protective shields for functioning of fire and rescue teams under conditions of high explosive hazard is proposed.*

В сучасних конструкціях літаків та космічних апаратів постає необхідність застосовувати матеріали підвищеної міцності, які притому володіють пониженою вагою. Це обумовлюється численними факторами зовнішнього впливу, серед яких зростання вимог до надійності та безпечності перельотів, підвищення об'ємів перевезень, прийняття жорсткіших вимог щодо шкідливого впливу транспортних засобів на природне середовище, що також вимагає зменшити вагу несучої конструкції задля застосування менш потужних двигунів.

Підвищена міцність при низькій вазі повинна охоплювати всі види навантажень, на які працює транспортна конструкція. Зокрема, це і статичні, і динамічні навантаження. Для авіакосмічної промисловості особливо гостро постає проблема удар-

ної міцності матеріалів літальних апаратів. Зіткнення із птахами, сторонніми предметами як на критичних режимах зльоту і посадки, так і в умовах крейсерського польоту становлять значну проблему для безпеки вантажних і пасажирських перевезень.

Якщо розглядати удар в часі, то взаємодія триває протягом дуже короткого періоду, а саме від десятих до десятків часток секунди, якщо мова іде про миттєві квазіупружні чи непружні удари відповідно [1]. Максимальне значення сили взаємодії може досягати високих значень [2]. Основною мірою ударної взаємодії слугує ударний імпульс, який може бути обчислений як інтеграл:

$$S = \int_{t_2}^{t_1} F_I(t) dt, \quad (1)$$

де  $t_1$  і  $t_2$  – час початку і кінця ударної взаємодії,  $F_I(t)$  – сила удару. Відповідно до закону збереження енергії правомірно записати наступне рівняння:

$$E_{I0} + E_{P0} = E_I + E_P + E_I^a + E_P^a, \quad (2)$$

де  $E_{I0}$  і  $E_{P0}$  – механічна енергія співударних тіл (відповідно, ударника та зразка матеріалу або конструкції у ролі перешкоди) до удару,  $E_I$  і  $E_P$  – механічна енергія зазначених тіл після удару,  $E_I^a$  і  $E_P^a$  – енергії втрат в тілах. Співвідношення між кінетичною енергією після удару і енергією втрат становить одну з основних проблем теорії удару [3, 4].

Був розроблений спеціалізований дослідницький комплекс «aSTanin» («Acceleration System for Testing of Antidamage Innovations»), який дозволяє експериментально дослідити перерозподіл енергії удару між співударними тілами у широкому діапазоні швидкостей взаємодії (рис. 1) [5, 6]. За його допомогою були проведені експериментальні та чисельні дослідження ударної взаємодії при швидкостях до 1 км/с зразків

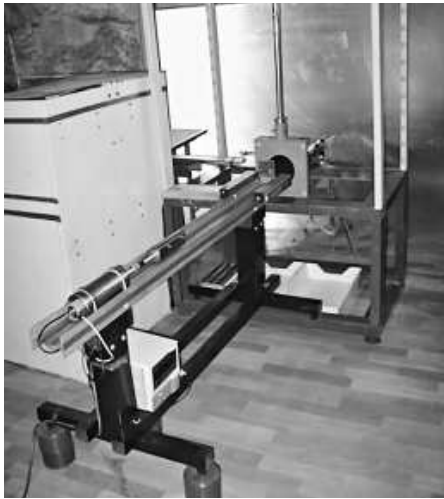


Рис. 1. Лабораторний дослідницький комплекс



Рис. 2. Зразок досліджуваного матеріалу, закріплений на підвісі балістичного маятника

гібридоволокноного текстильнозміцненого матеріалу на основі поліпропілену та скловолокон (рис. 2), наданих для досліджень Інститутом легких конструкцій Дрезденського технічного університету.

При вивченні ударної взаємодії розглядаються фізичні системи, для яких застосовується принцип найменшої дії Гамільтона (принцип стаціонарності дії) [7]. Згідно із зазначеним принципом, між двома заданими точками тіло рухається так, щоб дія була стаціонарною. В даному випадку під дією розуміють залежний від траєкторії тіла скалярний функціонал виду

$$\zeta[q_i(t)] = \int L[q_i(t), \dot{q}_i(t), t] dt, \quad (3)$$

де  $\int L[q_i(t), \dot{q}_i(t), t]$  – лагранжіан системи, що залежить від узагальнених координат  $q_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , їх перших похідних за часом  $\dot{q}_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , а також можлива і явна залежність від часу  $t$ . У рамках класичної фізики лагранжіан матеріальної частин-

ки в потенціальному полі дорівнює різниці кінетичної  $T$  і потенціальної  $\Pi$  енергії. Розглядаючи випадок  $n = 1$  і позначивши  $q_i(t) = x(t)$ ,  $\dot{q}_i(t) = v(t)$ , отримуємо:

$$L[x(t), v(t), t] = \frac{m \cdot v^2(t)}{2} - \Pi[x(t)]. \quad (4)$$

Функція Лагранжа, що описує дану систему, не залежить явно від часу, тому її повна похідна по часу з використанням загальних позначень, має вигляд:

$$\frac{dL[q_i(t), \dot{q}_i(t)]}{dt} = \sum_i \frac{\partial L}{\partial q_i} \dot{q}_i + \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \ddot{q}_i, \quad (5)$$

де  $L[q_i(t), \dot{q}_i(t)]$  – функція Лагранжа,  $q_i(t)$ ,  $\dot{q}_i(t)$ ,  $\ddot{q}_i(t)$  – узагальнені координати і їх перші і другі похідні за часом відповідно. Відповідно до рівняння Лагранжа

$$\frac{\partial L}{\partial q_i} = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}, \quad (6)$$

тому можемо записати (5) у вигляді

$$\frac{dL[q_i(t), \dot{q}_i(t)]}{dt} = \sum_i \dot{q}_i \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} + \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \ddot{q}_i. \quad (7)$$

Оскільки даний вираз являє собою похідну за часом добутку швидкості  $\dot{q}_i(t)$  і частинної похідної лагранжіана  $L[q_i(t), \dot{q}_i(t)]$  по швидкості  $\dot{q}_i(t)$ , то його можна переписати у вигляді

$$\frac{dL[q_i(t), \dot{q}_i(t)]}{dt} = \sum_i \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \dot{q}_i \right). \quad (8)$$

Наступний вираз являє собою повну енергію системи  $E_\Sigma$  як суму потенціальної  $\Pi[x_i(t)]$  і кінетичної  $T[v(t)]$  енергій:

$$\begin{aligned} \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \dot{q}_i - L &= [mv(t)] \cdot v(t) - \frac{m \cdot v^2(t)}{2} + \Pi[x_i(t)] = \\ &= T[v(t)] + \Pi[x(t)] = E_\Sigma. \end{aligned} \quad (9)$$

З іншого боку, виходячи з (8), він представляє собою інтеграл руху, так як його похідна по часу дорівнює нулю:

$$\frac{d}{dt} \left( \sum_i \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \dot{q}_i - L \right) = 0. \quad (10)$$

Таким чином, рівняння (10) представляє собою закон збереження енергії, який можна також записати у вигляді:

$$\frac{d}{dt} E_\Sigma = 0. \quad (11)$$

Аналогічним чином, закон збереження імпульсу системи впливає з її інваріантності відносно просторових переміщень. Застосування законів збереження енергії та імпульсу в багатьох випадках дозволяє виключити з розгляду сам процес зіткнення і отримати зв'язок між швидкостями тіл до і після удару, минаючи всі проміжні значення цих величин [3]. Основуючись на описаному енергетичному підході до аналізу поведінки конструктивних матеріалів при ударному навантаженні, були отримані параметри енергопоглинання сендвіч-конструкцій, розроблених на основі дослідженого гібридовоолоконного матеріалу (рис. 3). Такі конструкції, окрім підвищеної ударної міцності, володіють теплоізолюючими та звукоізолюючими властивостями, що розширює область їх застосування у авіакосмічній галузі. Особливо важливим аспектом застосування матеріалів запропонованого типу являється розробка легких композитних конструкцій на основі текстильнозмцнених гібридовоолоконних матеріалів для захисту особового складу пожежних команд та спецпідрозділів служби авіаційної безпеки аеропортів в особливих ситуаціях. Система щитів логічно доповнює системи індивідуального захисту, що включають каску і бронезилет, розкриваючи нові можливості дії особового складу команд з підвищеною безпекою.

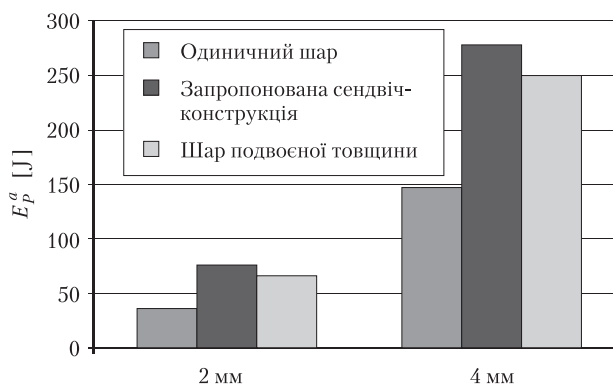


Рис. 3. Рівень енергопоглинання для різних типів конструкції

Система спецщитів являє собою складну багатопшарову конструкцію на базі матеріалу Twintex з прошарками формованого базальтового волокна у якості проміжних шарів, що дозволяє більш повно, як показано проведеними дослідженнями, використовувати міцнісні характеристики базового волоконнозмцненого композиційного матеріалу до ударних навантажень. Це дозволяє створити більш легкі і стійкі до ударної дії конструкції. Система спецщитів, показаних на рис. 4, включає в себе три типорозміри, а саме СФ1 1700×550 мм, СФ2 1570×500 мм і СФ3 1000×400 мм.

Особливістю конструкції захисних щитів, виготовлених на експериментальному виробництві фірми «КТТ» (м. Черкаси, Україна), було форму-



Рис. 4. Композитні захисні щити для захисту особового складу пожежних команд та спецпідрозділів авіаційної безпеки аеропортів

вання композитної конструкції щита на матриці-підкладці, яка залишалася елементом конструкції щита, надаючи йому зовнішній вигляд, практично не впливаючи на ударну міцність і вагові параметри конструкції. Однак, ця матриця-підкладка забезпечує чудові захисні властивості безпосередньо матеріалу Twintex. У конструкції щитів, а саме типів СФ1, СФ2 і СФ3, використовувалися матриці-підкладки відповідно з полікарбонату, поліуретану і штампованого металевого листа товщиною 0,35 мм. Позитивними особливостями полікарбонатної та металеві матриці-підкладки є їх хороша здатність до фарбування.

### Література

1. В.Т. Троценко, Прочность материалов и конструкций. Киев: Академперіодика, 2006.
2. Я.В. Зельдович и Ю.П. Райзер, Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1966.
3. Н.А. Кильчевский, Теория соударений твердых тел. Киев: Наукова думка, 1969.
4. В.В. Астанін, Ш.У. Галиев, и К.Б. Иващенко, Численно-экспериментальные исследования упруго-пластического взаимодействия ударника с преградой, Проблемы прочности, т. 11, с. 97–100, 1987.
5. В.В. Астанін і Г.О. Щегель, Патент 59787 Україна. Установка «aSTanin-3d» для дослідження ударної міцності із тривимірним контролем процесу зіткнення, 25.05.2011.
6. Г.О. Олефір, Підвищення інформативності методу дослідження композиційних матеріалів на ударну міцність, Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених «Сучасне матеріалознавство: матеріали та технології» СММТ-2008, Київ, 2008, с. 243.
7. В.Н. Николаевский, Высокоскоростные ударные явления. Москва: Мир, 1973.