

Рис. 1. Математична модель руйнування

при ультразвуковому контролі, близька до овальної. Пошкодження наносили на всі типи панелей у вигляді наскрізного отвору діаметром 20 мм, просвердленого в центрі робочої частини, що імітує початковий технологічний дефект.

Панель навантажували до розрахункового руйнівного навантаження панелі. Якщо панель витримувала це навантаження, її розвантажували і на кромках отвору по діаметрі, перпендикулярно силі, що навантажує, в обидва боки від крамок пропилювали прорізи довжиною 15 мм і шириною 1,5 мм. Ці прорізи моделювали тріщину з нормальною довжиною  $2L=50$  мм (рис. 3). Після нанесення тріщин панель навантажували до руйнування для визначення її тріщиностійкості. Під час випробувань панелі закріплювали в чотириланковику і навантажували уздовж діагоналі силами  $P$ , прикладеними до шарнірів, на машині типу ЦДМВ-30. Спочатку зразок навантажували до  $P_{роз}=72226$  Н (7370 кГс). У процесі випробувань навантаження реєстрували.

Випробування показали, що при експериментальному руйнівному навантаженні  $P_{с.зр}=81046$  Н (8270 кГс) середнє руйнівне напруження при зрушенні з пошкодженням дорівнює  $11,24$  кг/мм<sup>2</sup>.

Запропонована методика показала свою високу ефективність і разом із математичним моделюванням може бути використана для дослідження механічних характеристик авіаційних конструкцій, виконаних із ПКМ, уражених розрядом електричної блискавки.

#### Список літератури

1. Жулев В.И., Иванов В.С. Безопасность полетов летательных аппаратов (теория и анализ). – М.: Транспорт, 1986. – 224 с.
2. Douay A., Gondot P. An aerospace program, to enhance knowledge of lightning phenomenology and of its induced effects: fulmen // Rev. elec. et electron. [Onde elec]. – 1997. – №6 – P. 78–86.
3. Авакян Г.О., Бабинов М.Б., Борисов Р.К., Ларионов В.П. Воздействие молнии на бортовое оборудование летательных аппаратов // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1990. – №5. – С. 101–107.

Стаття надійшла до редакції 17.10.02.

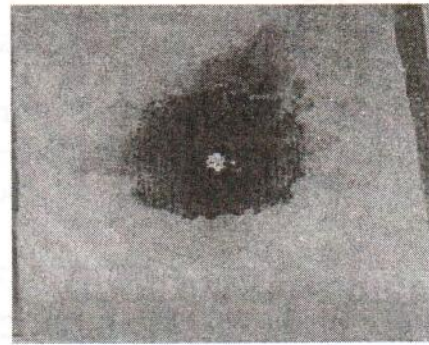


Рис. 2. Пошкодження елемента конструкції

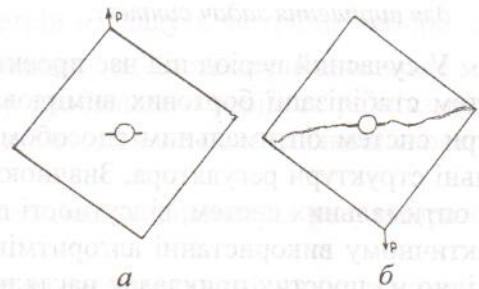


Рис. 3. Зразок із прорізами: а – внутрішня обшивка; б – зовнішня обшивка

## Список літератури

1. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высш. шк., 1989. – 263 с.
2. Любарский Ю.Я. Интеллектуальные информационные системы. – М.: Наука, 1990. – 227 с.
3. Пресняков В.Ф., Преснякова Л.М. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
4. Шибицкий В.П. Структурный метод анализа информационных систем обучения с нечетко заданной целевой функцией // Вісн. КМУЦА. – 2000. – № 1–2. – С. 102–109.
5. Шибицька Н.М. Експертні методи і моделі керування процесом навчання операторів ергогічних систем: Автореф. канд. дис. – К.: КМУГА, 1999, – 23 с.
6. Гаврилова Т.А., Червинская К.З. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. – М.: Радио и связь, 1992. – 199 с.
7. Приобретение знаний: Пер. с япон. / Под ред. С. Осуги, Ю. Сазки. – М.: Мир, 1990. – 292 с.
8. Горбань А. Нейроинформатика и ее приложения // Открытые системы. – 1998. – № 4. – С. 48–51.
9. Горбань А. Современные направления развития нейрокомпьютерных технологий в России // Открытые системы. – 1997. – № 4. – С. 25–28.
10. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопр. анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172–215.

Стаття надійшла до редакції 21.11.02.

052-016.39 + Ж 366.062,2-16  
УДК 620.168.3

Матеріал полімерних композицій  
вплив впливу на властивості матеріалу  
конструкція ЛА.

**В.М. Сингладов**, д-р техн. наук, проф.  
(Національний авіаційний університет)

**О.С. Александрова**, асист.  
(Національний авіаційний університет)

## ВИПРОБУВАННЯ ПОЛІМЕРНО-КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ, УРАЖЕНИХ УДАРОМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ БЛИСКАВКИ

*Розглянуто методику випробування елементів конструкції літальних апаратів, вироблених із полімерно-композитних матеріалів та пошкоджених ударом електричної блискавки, для їх подальшої експлуатації. Результатом запропонованої методики є оцінка залишкової механічної стійкості і міцності.*

Аналіз розвитку авіаційної техніки показує, що перспективи її удосконалювання пов'язані з використанням нових конструкційних матеріалів, у тому числі композиційних.

Композиційними називають матеріали, які утворені з двох і більш різнорідних складових, і мають характеристики, невластиві вихідним компонентам. До композиційних матеріалів (КМ) належить невелика група матеріалів – полімери, метали, кераміка і вуглець, армовані волокнами, а також наповнені полімери і дисперсно-зміцнені сплави.

Переваги КМ перед традиційними металевими матеріалами (підвищена питома й абсолютна міцність, твердість, жароміцність, надійність, довговічність, зносостійкість) обумовили значний ріст обсягу застосування їх в авіаційних конструкціях. Найбільш перспективними є високомодульні і високоміцні полімерні КМ (ПКМ) – вуглепластики на основі епоксидної і поліамідної матриць.

Використання КМ у конструкціях літальних апаратів (ЛА) завдяки їх високій питомій міцності і твердості дозволяє досягати дуже важливого ефекту – зниження маси. Заміна традиційних матеріалів на КМ в основних деталях і вузлах літаків призводить до зниження їхньої маси на 20–46%, збільшення їхнього ресурсу в 1,5–2 рази. Відповідно до загальносвітової тенденції найбільшим часом обсяг застосування вуглепластиків у конструкції планера досягне 40% для маневрених літаків, 35% – для транспортних, 20% – для пасажирських машин.

Для конструкцій ЛА дуже перспективними є КМ на основі металевих сплавів системи бору-алюмінію, застосовувані для елементів твердості – панелей, лонжеронів, полиць стрингерів, шпангоутів та ін.

Економічна ефективність використання КМ досягається зниженням трудоемності виготовлення агрегатів у результаті зменшення кількості комплектуючих деталей.

Однак вироби з КМ у процесі експлуатації піддаються комбінованому впливу температури і вологості навколишнього середовища, що погіршує їхню несучу здатність. Так, наявність вологи у виробах із вуглепластиків у межах 0,8 – 1,2% знижує їх міцність до 15%. Під впливом термомеханічних навантажень відбувається старіння і деструкція полімерної матриці КМ, що призводить до утворення різноманітних дефектів, які іноді носять небезпечний характер, наприклад, тріщини базових елементів планера літака, тріщини на дисках турбін авіадвигунів і т.п.

Серед несприятливих метеорологічних умов, що створюють погрозу безпеки польотів повітряних суден (ПС), значне місце займають грозові процеси. Із загального числа авіаційних подій (АП), що виникають у зв'язку з несприятливими метеорологічними умовами, близько 11% пов'язано з грозовими явищами [1]. При цьому ударами блискавки в ПС викликано близько 60% АП під час польотів у грозовій хмарності. За статистикою кожне ПС раз за рік уражається блискавкою [2]. За повідомленнями європейських авіакомпаній у період сильної грозової активності може відбуватися до трьох ударів блискавки в один літак за тиждень [3].

Ця небезпека особливо істотна для вертольотів, що літають на порівняно малих висотах.

Ураження ПС блискавкою може призвести до серйозного АП:

- пожежі;
- ерозії, викрашування й оплавлення металевих поверхонь;
- пошкодження конструкцій під впливом ударної хвилі;
- іскріння;
- коронування;
- пошкодження різного бортового устаткування (електричних, радіотехнічних і навігаційних систем).

Спроможність передбачити залишкову міцність пошкодженої конструкції має першорядне значення для ефективного проектування за принципом безпечної пошкоджуваності. Геометрія пошкоджень для цієї моделі досліджувана за допомогою технічних засобів неруйнівного контролю (НРК). Для того, щоб одержати максимально можливу інформацію про пошкодження, були досліджені різноманітні ультразвукові і рентгенівські технічні засоби, які були застосовані для визначення розміру внутрішнього пошкодження і неоднорідності в композитних елементах. Головною метою дослідження було отримання відповідної інформації про пошкодження для оцінки залишкової міцності панелей, вироблених із полімерних КМ, причому пріоритет було віддано ультразвуковим методам.

Щоб одержати більше інформації про пошкоджені області в центрі зразка, що не можуть бути виявлені ультразвуковою перевіркою через “маскування”, були досліджувані різноманітні рентгенівські методи. Для комп'ютерної томографії КМ було використано медичне устаткування, яке базується на тому явищі, що проникність для цих матеріалів така ж, як і для біологічної тканини.

Рентгенівське дослідження після введення непрозорої для випромінювання проникаючої речовини через отвір для доступу не завжди дає повну інформацію про пошкодження, навіть не вся область пошкодження спостерігається зверху. Причиною цього може бути рівень ударного впливу і те, що розшарування змінюють свою форму в прошарках, які примикають, таким способом, що частина з них не пов'язана з отвором для доступу. Медичні системи виявилися нездатними для дослідження пошкодження. Застосування мікрофокусних джерел рентгенівських променів може бути корисним для цього.

Спостереження пошкоджених перетинів за допомогою мікроскопа викликало деякі ускладнення. Для дослідження щільно зімкнених розшарувань і поперечних тріщин було необхідно велике збільшення, тому поле зору зменшується і тільки дуже невеликий перетин пошкодженої області може бути розглянуто. Картину всієї пошкодженої області одержати важко.

Рівень пошкодження підвищували за допомогою рентгеноконтрастної проникаючої речовини з наступним рентгенівським мікрофокусним дослідженням. Цей метод дозволяє спостерігати всі деталі пошкодження без втрати картини пошкодженої області.

Після описування пошкодження технічними засобами НРК будується спрощена модель пошкодження для розгляду міцності й стійкості, завбачається руйнівне навантаження і виконується перевірка механічними випробуваннями (рис. 1).

Під час побудови моделі пошкодження розглядали тільки найбільше значне розшарування "стрибком" розшарування тільки через одне або два прошарки і місцевим руйнуванням волокон нехтували.

Вважали, що навантаження мають різноманітні прошарки.

Форма розшарування поширювалася до найменшого охоплюючого прямокутника.

Випробування експериментальних зразків із різним блискавкозахисним покриттям дають можливість провести порівняльну оцінку цього покриття і виявити найбільш ефективно, що зводить до мінімуму вплив удару блискавки на ПС в польоті.

Основними критеріями створення конструкції з блискавкозахистом є її захист від блискаворозряду, тобто мінімально припустима пошкоджуваність конструктивного елемента при влученні в нього блискавки й ефективність засобів відводу статичної електрики в польоті. При цьому повинні бути забезпечені мінімальний приріст ваги від елементів блискавкозахисту, добра якість поверхні і технологічність.

Для дослідження елементів конструкції ЛА, виконуваних із ПКМ, уражених розрядом електричної блискавки, необхідно провести випробування елементів конструкції на вибірковість розрядів блискавки. Розглянемо зразок із ПКМ, випробуваний на ураження електричним струмом, визначимо характер і розміри пошкоджень.

Зразок розміром 400×400 мм виконаний у вигляді панелі монолітної конструкції. Він складається з одного прошарку склопластику Т-10-80, восьми шарів вуглепластику ЕЛУР -П-0.1, просоченого сполучним ЕДТ-69Н. Зразок має лакофарбове покриття і блискавкозахисну сітку.

Випробувальний стенд, виконаний за комбінованою схемою, дозволяє одержати одночасно високу напругу і великі струми. Стенд складається з трьох основних генераторів:

- генератора першої імпульсної складової ПС-1;
- генератора другої імпульсної складової ПС-2;
- генератора проміжної і постійної складової струму блискавки ГППС.

Генератор струму блискавки дозволяє одержувати два імпульси, накладених на сталу складову струму блискавки з регульованою часовою затримкою, і забезпечує проміжну складову після першого імпульсу. Після випробувань зроблено візуальний огляд зразка за допомогою лупи чотирикратного збільшення і лінійки, його фотографування й аналіз пошкоджень.

Результати випробувань показали, що вплив імпульсів струму привів до вибухоподібного руйнування вуглепластику внаслідок практично миттєвої деструкції і сублімації сполучного. Під дією високого надлишкового тиску відбувається вибух у внутрішньому обсязі матеріалу, що супроводжується розривом зовнішніх монопрошарків обшивки і викидом матеріалу. На тонких обшивках при цьому часто утворюється наскрізний отвір. Зразок має розшарування і наскрізний отвір. Руйнування блискавкозахисту становили 60×70 мм, пошкодження волокон - отвір 30×30 мм, розшарування - 80×80 мм, ерозія лакофарбового покриття - 150×150 мм, зміна кольору - 220×240 мм. Приклад пошкодження елемента конструкції наведений на рис. 2. Результати показали, що блискавкозахисна сітка не достатньо захищає від розрядів блискавки.

Знаючи характер пошкодження зразків електричним струмом, можемо імітувати пошкодження блискавкою механічними пошкодженнями, тому що випробування електричним струмом дуже складні і дорогі.

Розглянемо той же зразок із ПКМ за наявності дефектів, що моделюють технологічні й експлуатаційні пошкодження. На панелі визначали залишкову міцність після нанесення по обшивках нормованого удару сталеву кулею діаметром 62 мм, масою 1 кг з енергією до 30 Дж, що моделює ударне пошкодження конструкції ударом електричної блискавки під час експлуатації. Кулю скидали на панель із висоти до 3 м. Після удару на внутрішній обшивці виникла невелика вм'ятина і тріщини уздовж трубок. Форма границі зони пошкодження, що виявляється