УДК 629.73-036.5

Г. М. БОРОЗЕНЕЦЬ, І. В. СЕМАК

Національний авіаційний університет, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВОЛОГИ І АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ

Досліджено вологонасичення однонаправлених та з широким спектром армування авіаційних вуглепластиків. При цьому вивчалась зміна фізико-механічних характеристик вуглепластиків після витримки в деміліризованій воді, а також в агресивних середовищах гасі Т-1 та мастилі АМГ-10. Розглянуто вплив вологи та агресивних середовищ на залишкову міцність і довговічність вуглепластиків.

Ключові слова: *авіаційні вуглепластики, вологонасичення, агресивні середовища, мікротвердість, теплова активність, діелектрична проникність, міцність, довговічність.*

Вступ. В сучасних авіаційних конструкціях використовуються різні полімерні композиційні матеріали (ПКМ) впровадження яких дозволяє проводити оптимізацію на рівні матеріалу, тобто розробляти матеріал із спеціальними властивостями під задані умови навантаження.

Найбільшого застосування ПКМ досягнуто в конструкції вітчизняних літаків АН-148, АН-158, АН-178 із застосуванням високомодульних і високоміцних матеріалів на основі епоксидної та поліамідної матриць, армованих волокнами вуглецю. Згідно із загальносвітовою тенденцією до 2020 року обсяг застосування вуглепластиків в конструкції планера літальних апаратів повинен досягти до 30...35% для транспортних і до 20...30% для пасажирських машин [1].

За оцінками спеціалістів вартість виробництва деяких основних вузлів конструкцій із вуглепластиків може бути нижче вартості аналогічних металічних. Економія маси цивільних літаків досягне близько 10%. В процесі експлуатації елементи конструкцій із ПКМ зазнають впливу циклічних навантажень, механічних ударних дій, температури, вологи, сонячної радіації, що в комплексі спричиняє зміну їх характеристик.

Можна вважати встановленим той факт, що вплив таких зовнішніх умов, як температура і волога оточуючого середовища приводить до помітного зниження характеристик міцності ПКМ. Важливим питанням являється можливість контролю за насиченням вуглепластиків вологою в реальних умовах експлуатації авіаконструкцій, наявність якої в лабораторних умовах може бути визначено із високою вірогідністю, тобто найбільш контрольованим чинником є вологонасичення.

Впровадження в практику авіабудування композиційних матеріалів з полімерною матрицею істотно залежить від їх здатності зберігати фізико-механічні властивості під впливом вологи і агресивних середовищ.

По даних лабораторії ВПС США при експлуатації в реальних умовах помірного клімату вміст вологи в вуглепластиках досягає 1…1,2%, але при значних термінах експлуатації і особливо при циклічній зміні температури з переходом через 0° *С* має місце подальше накопичення вологи для надзвукових літаків в тропічних умовах експлуатації рівень вологи в композитах може досягти 1,8…2,5%. Такий рівень вмісту вологи є характерним для конструкцій із композитів з 20-річним терміном експлуатації.

Метою роботи є дослідження вологонасичення та впливу агресивних середовищ на фізико-механічні характеристики та несучу спроможність авіаційних конструкційних вуглепластиків типу КМУ-3Л.

Методика та результати досліджень. В зв'язку з цим вивчали вологонасичення та зміну фізико-механічних характеристик конструкційного вуглепластика КМУ-3Л на основі вуглестрічки ЛУ-3 (схема армування $0_4 \pm 45_2\text{-}90_4$) товщиною 1,4 мм та вуглепластика КМУ-3Л на основі вуглестрічки ЕЛУР-П (схема армування $0_5 - 90_5$) товщиною 1,2 мм.

Вологопоглинання вуглепластиків залежить від спільного протікання трьох процесів: вологонасичення матриці, адсорбції вологи порами матеріалу і поверхнею межі матриця-волокно.

З метою вивчення межі вологопоголинання матриця-волокно торці частини зразків ізолювали епоксидною смолою ЕД-20, створюючи таким чином найбільш несприятливі умови для капілярного поглинання вологи. Другу частину зразків попередньо зачищали шліфувальним папером 50 відсотків їх бічної поверхні, імітуючи пошкодження.

Зразки-пластини розміром 30×30 мм попередньо висушували при температурі (45 ± 5)° *C* на протязі двох діб. Після чого їх занурювали в демиліризовану воду при температурі (90 ± 2) °*C*. Зміни характеристик зразків заміряли через кожні 12 г.

Висока дефектність і пористість, суттєва анізотропія фізико-механічних властивостей повинні враховуватися при виборі інформативних характеристик. Для комплексної оцінки стану вуглепластиків в процесі вологонасичення і при видалені її методом висушування застосовували вихрострумовий, електроємніcний і тепловий методи неруйнівного контролю, а також визначали мікротвердість полімерної матриці. Зміну стану вугільних волокон контролювали вимірником електропровідності, а стан матриці оцінювали зміною діелектричної проникності (пФ/м) за залежністю [2, 3]

$$\varepsilon = 10^5 \, Cd/(89S),$$

де C – ємність, пФ; d – відстань між обкладинками, м; S – площа обкладок, м^2.

Опір матриці пружному і пластичному деформуванню оцінювалась діаметром відбитка алмазного індентора мікротвердомера ПТМ-3 при навантаженні 100 г.

Утворення тріщин, збільшення пористості матриці визначали параметрами теплового потоку, спрямованого перпендикулярно вугільним волокнам. Приріст маси зразків контролювали на аналітичних вагах АДВ-200.

Вплив агресивних середовищ на однонаправлений вуглепластик КМУ-3Л досліджували на зразках-пластинах 105×10×1,0 мм, при температурі (20 ± 2)°*C* в демілiризованій воді, 3% водному розчині NaCl в гасі Т-1 і мастилі АМГ-10.

Найбільш інтенсивно волога поглинається в перші 24 год. Майже лінійний початковий відрізок (рис. 1) свідчить про те, що сорбція води не залежить від її концентрації в матеріалі і вологонасичення прагне до рівновісного значенням.

Результати досліджень свідчать про суттєвий вплив схеми армування на вологопоглинання. Так, наприклад, у вуглепластика КМУ-3Л (з одним і тим же зв'язуючим 5-211Б) зі схемою армування $0_4 \pm 45_2\text{-}90_4$ воно інтенсивніше, ніж зі схемою $0_5\text{-}90_5$ (рис. 1).

За один і той же проміжок часу у зразків з пошкодженою поверхнею волога накопичується швидше ніж без дефекту. Те ж саме явище спостерігається у зразків торці яких не ізольовані. У першому випадку пошкодження поверхні при-

водить до збільшення вологонасичення, а в другому вільним проникненням вологи з торця вздовж межі матриця-волокно.

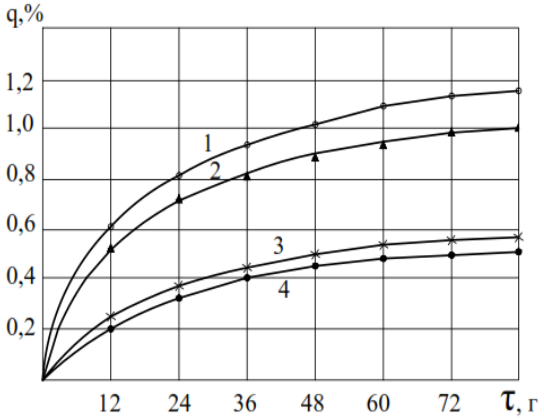

Рис. 1. Поглинання демініризованої води вуглепластиком КМУ-3Л при температурі (90 + 2)°*C*: *1*, *2* – схема армування $0_4 \pm 45_2 - 90_4$ з неізольованими та ізольованими торцями відповідно; *3*, *4* – схема армування $0_5 - 95_5$ з зачищеною і незачищеною боковою поверхнею.

Збільшення вологонасичення вуглепластика впливає на його фізико-механічні характеристики (рис. 2). При цьому зменшується мікротвердість і теплова активність та збільшується діелектрична проникненість матриці.

Підвищення питомої електропровідності пояснюється розширенням поверхні електричних контактів в волокнах, що обумовлено електролітичною дією вологи, а також ущільненням волокна внаслідок перетворень в матриці.

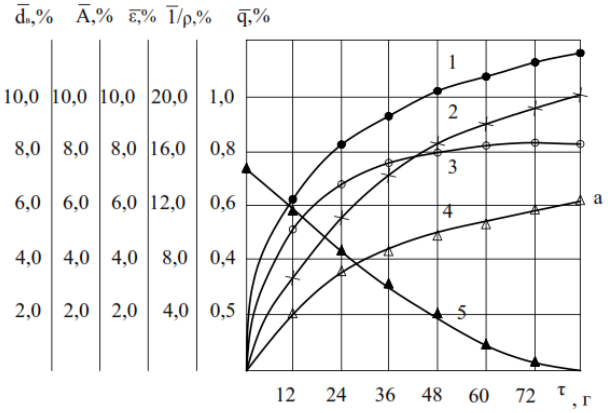

Рис. 2. Характер зміни фізико-механічних характеристик вуглепластика КМУ-3Л в процесі вологонасичення: *1* – вмісту вологи; *2* – питомої електропровідності; *3* – діелектричної проникності; *4* – теплової активності; *5* – мікротвердості

При термічному видаленні вологи із вуглепластика найбільша її втрата зафіксована в перші 36 годин (рис. 3). Відповідно за цей час інтенсифікуються зворотні процеси, тобто зменшується вологонасичення. Оскільки вологонасичення відбувається при підвищеній температурі, фізико-механічні характеристики вуглепластика після висушування не відновлюються.

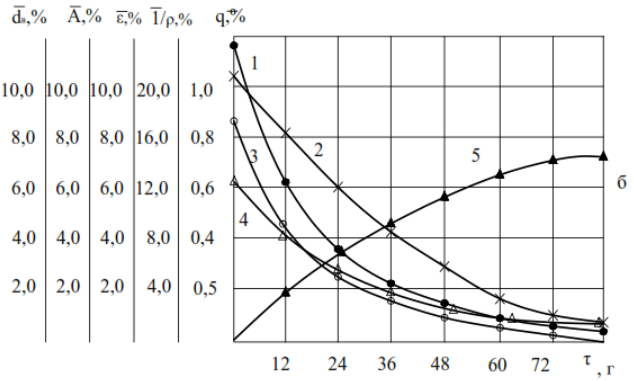

Рис. 3. Характер зміни фізико-механічних характеристик вуглепластика КМУ-3Л в процесі просушування зразків : *1* – вмісту вологи; *2* – питомої електропровідності; *3* – діелектричної проникності; *4* – теплової активності; *5* – мікротвердості

Аналогічні зміни фізико-механічних характеристик (див. рис. 2) мають місце внаслідок дії вологи та агресивних середовищ для різних схем армування, а також для зразків із дефектами і без них.

В зразках, витриманих в деміліризованій воді приріст маси значно більше ніж в інших середовищах (рис. 4).

Це пояснюється тим, що в процесі вологонасичення в водному 3% розчині *NaCl* в порах матеріалу накопичується сіль, яка гальмує проникнення вологи в матеріал. Крім того,значення коефіцієнта дифузії гасу Т-1 і мастила АМГ-10 нижче чим демілиризованої води.

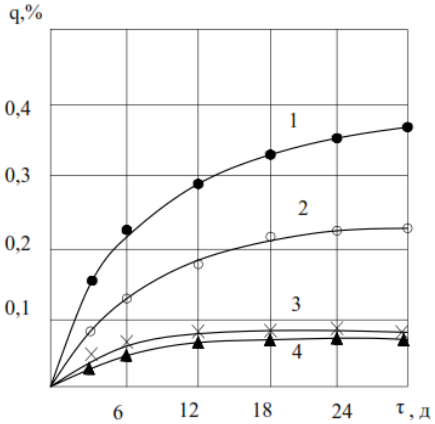

Рис. 4. Вміст вологи і агресивних середовищ у вуглепластику КМУ-3Л: *1*– витримка в воді; *2* – в водному 3% розчині NaCl; *3* – гасі Т-1; *4* – мастилі АМГ-10 при температурі (20±2)° *С*

Вплив агресивних середовищ на властивості однонаправленого вуглепластика оцінювали за залишковою міцністю в процесі випробувань. Після витримки на протязі місяця в агресивних середовищах зразки із вуглепластика випробовували статичними та циклічними навантаженнями при стиску. На границю міцності вуглепластика суттєво впливає вода і 3% розчин *NaCl*, в меншій мірі – гас Т-1 і мастило АМГ-10.

Вплив агресивних рідин на міцність та циклічну довговічність вуглепластика КМУ-3Л наведено в таблиці.

Таблиця

Вплив демиліризованої води та агресивних рідин на міцність і довговічність вуглепластиків

Параметри	Вихідні дані	Демиліризо-вана вода	3% розчин *NaCl*	Гас Т-1	Мастило АМГ-10
Границя міцності, $\sigma_в$, МПа	542	490	508	526	528
Довговічність, $lg\overline{N}$	6,3520	5,8857	6,1200	6,3117	6,3354

Примітка. Наведені дані є середніми значеннями випробування 9 зразків.

Висновки. В результаті досліджень встановлено, що міцність вуглепластиків зменшилась в порівнянні із вихідними даними після витримки в демиліризованій воді на 10 %, в 3% водному розчині *NaCl* на 6,3%, в гасі Т-1 та мастилі АМГ-10 на 3 і 2,6 % відповідно.

При цьому довговічність вуглепластиків після витримки в воді зменшилась в 3…3,2 раза, в 3% розчині *NaCl* в 2,2 раза, тоді як в гасі і мастилі не суттєво, що пояснюється характером кривих втоми.

Зміна фізико-механічних характеристик елементів конструкцій із вуглепластиків в процесі експлуатації надає можливість встановлення кореляційної залежності із зміною несучої спроможності матеріалу.

Отримані результати можуть бути використані при експлуатації конструкцій із вуглепластиків та оцінки їх залишкового ресурсу.

Список літератури

1. Борозенець Г.М., Павлов В.М., Семак І.В. Застосування композиційних матеріалів в авіаційних конструкціях та проблеми оцінки їх стану // Науково-популярний журнал “Колега” НАН України, № 1. 2012. – С.38–39.

2. Поведение углепластиков при комплексном воздействии среды и нагрузки. Т.Г. Сорина, А.И. .Сургучева и др. Композиционные материалы. – М.: Наука, 1981. – 293 с.

3. *Матис И.Г.* Электрические, радиоволновые и тепловые методы и средства неразрушающих исследований композитов // Методы и средства диагностики несущей способности изделий из композитов. – Рига: Зинатне, 1985. – С. 74-84.

Стаття надійшла до редакції 06.10.2015

G. BOROZENETS, I. SEMAK

IMPACT ASSESSMENT OF WATER SATURATION AND CORROSIVE ENVIRONMENTS ON THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL CARBON FIBER-REINFORCED PLASTIC.

There were reviewed an influence of water saturation and corrosive environments on the mechanical and physical properties, residual strength and service life of aircraft structural carbon fiber-reinforced plastic.

Key words: aircraft structural carbon fiber-reinforced plastic, water saturation, corrosive environments, microhardness, thermal activity, dielectric capacitivity, strength, service life.

Борозенець Григорій Михайлович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, професор кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова 1, м. Київ, Україна, 03058, тел. 044 406 73 71.

Семак Інна Вікторівна – асистент кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова 1, м. Київ, Україна, 03058, тел. 044 406 73 71.