

УДК 620.18.678.067

Г. М. БОРОЗЕНЕЦЬ, І. В. СЕМАК

Національний авіаційний університет, Україна

ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОЇ МІЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ В ПРОЦЕСІ ЇХ ВОЛОГОНАСИЧЕННЯ, ХАРАКТЕРНОГО ДЛЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розглянуто характер вологонасичення конструкційних обшивочних вуглепластиків, а також вплив попереднього статичного навантаження та технологічного тиску формування на вміст води в матеріалі. Показана зміна залишкової міцності вуглепластиків в процесі їх вологонасичення, характерного для умов експлуатації. Встановлено вплив попереднього статичного навантаження та зменшення технологічного тиску формування на збільшення води в матеріалі в процесі витримки його у деміліризованій воді.

Ключові слова: вуглепластики, вологонасичення, режими тиску формування, залишкова міцність.

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-124, АН-148, АН-158, АН-178 із застосуванням високомодульних і високоміцних матеріалів на основі епоксидної та поліамідної матриць, армованих волокнами вуглецю. Так, наприклад, застосування ПКМ в конструкції літака АН-124 складає близько 4500 кг, що дало змогу зменшити масу цих конструкцій на 15%.

Обсяг застосування вуглепластиків в конструкції планера літальних апаратів згідно із загальносвітовою тенденцією до 2020 року повинен досягти до 30...35% для транспортних і до 20...25% для пасажирських машин. За оцінками спеціалістів вартість виробництва деяких основних вузлів конструкцій із вуглепластиків може бути нижче вартості аналогічних металічних. Економія маси цивільних літаків досягне біля 10%.

В процесі експлуатації елементи конструкцій із ПКМ зазнають впливу циклічних навантажень, механічних ударних дій, температури, вологості, сонячної радіації, що в комплексі спричиняє зміну їх характеристик.

Аналіз результатів експериментальних досліджень вуглепластиків типу КМУ-3Л показав, що для всіх видів навантажень характеристики міцності ПКМ мають значно більші розсіювання в порівнянні із металічними матеріалами, які застосовуються в авіабудуванні. Найбільші розсіювання характеристик міцності та довговічності мають вуглепластики при стиску, зсуві і розтяганні відповідно [1]. Крім того ПКМ мають крихке руйнування при відносно невеликих деформаціях. 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.

Метою роботи є дослідження впливу вологонасичення і попереднього статичного навантаження та режимів тиску формування конструкційних обшивочних вуглепластиків на їх залишкову міцність.

Методика та результати досліджень. Вивчення вологонасичення та вплив його на характеристики міцності і довговічності здійснювалось на зразках, виготовлених із вуглепластика КМУ-3Л із широким спектром армування ($0,30 \pm 45, 90^\circ$) товщиною монослою 0,1...0,125 мм.

Випробування з визначення вмісту води в зразках проводились в деміліризованій воді при температурі (60 ± 5)°C із періодичним контролем їх маси на протязі 60 діб. Найбільш інтенсивне збільшення вмісту води в зразках спостерігається за першу добу випробувань (рис. 1), а через три доби сягає приблизно 80...90% його порогового значення. При цьому насичення 3% водним розчином хлористого натрію являється значно меншим з точки зору питомого вмісту та інтенсивності проникнення води, чим деміліризованою водою. Продовження терміну випробувань до 12 місяців показало, що вміст води складає не більше 1...1,1%.



Рис. 1 Характер вологонасичення вуглепластика КМУ – 3Л

В реальних умовах експлуатації в районах помірного клімату вміст води в вуглепластиках досягає 1...1,2%, але при значних термінах експлуатації і особливо при циклічній зміні температури з переходом через 0°C відмічається подальше накопичення води. Для надзвукових літаків в тропічних умовах експлуатації рівень води в ПКМ може досягати 1,8...2,5%. Такий рівень вмісту води є характерним для конструкцій із ПКМ з 20-річним терміном експлуатації.

Попереднє одноразове статичне навантаження зразків 12 шарового вуглепластика КМУ-3Л ($0, \pm 45, 90^\circ$) до рівня 0,67 від границі міцності сприяє росту вмісту води в матеріалі. Зменшення тиску при технологічному формуванні вуглепластиків із 0,25 МПа до 0,15 МПа з метою енергозбереження, також сприяє збільшенню води у матеріалі в процесі витримки зразків у водному середовищі (рис. 2).

Зміна залишкової міцності в процесі витримки зразків у водному середовищі на протязі 12 місяців при розтяганні та стиску показана на рис. 3. При цьому зменшення залишкової міцності при стиску складає 13...15%.

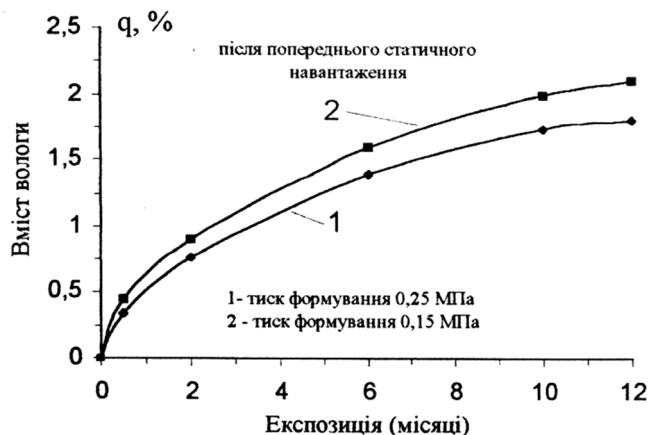


Рис. 2 Вплив попереднього статичного навантаження та тиску формування на вміст вологи

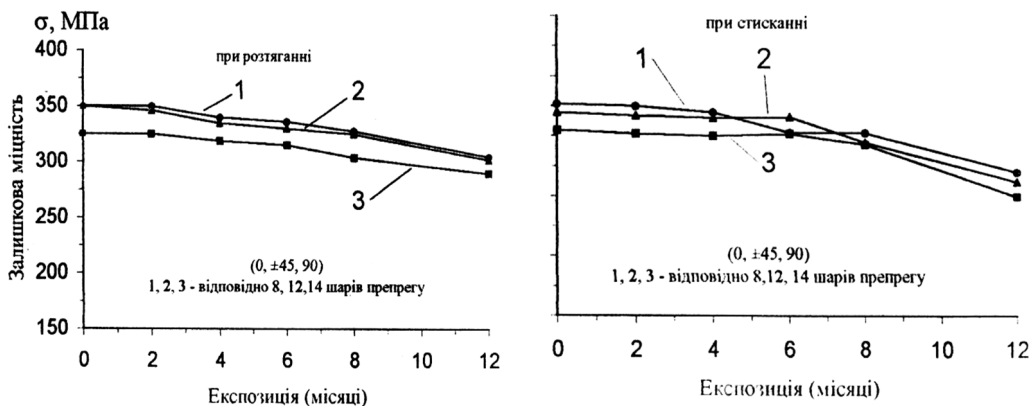


Рис. 3 Характер зміни міцності вуглепластика КМУ – ЗЛ в процесі витримки в воді

Циклічні зміни температури та вологи радикальним чином впливають на міцність конструкцій із ПКМ, особливо при матричних формах руйнування. Крім того положення класичної теорії опору втомі так, наприклад, гіпотеза лінійного накопичення пошкоджень в ПКМ не може бути застосована для цих матеріалів. В зв'язку з цим задача встановлення ресурсу конструкції із ПКМ може розглядатись лише із позицій залишкової міцності.

По даних авторів [2] експлуатація ПКМ в авіаконструкціях на протязі 8...10 років при циклічній зміні зовнішніх умов приводить до старіння полімерного зв'язуючого, а зниження міцності може сягати 13...15% від початкової. При чому зменшення міцності ПКМ відбувається без появи візуальних тріщин, тобто контролювати цей процес дуже важко. Тому для забезпечення високої надійності конструкцій із ПКМ необхідно приймати додаткові коефіцієнти запасу міцності, що приводить до підвищення матеріаломісткості виробів та їх вартості.

В зв'язку з цим неруйнівні методи контролю виробів із ПКМ відіграють важливу роль при оцінюванні їх експлуатаційної надійності. З допомогою неруйнівних методів контролю можливо виявити дефекти та різні недосконалості структури матеріалу виробів. Вплив виявлених дефектів на працездатність виробів при цьому не оцінюється.

В загальному випадку залишкову міцність можливо визначити за залежністю [3].

$$S = \int_i^p P_i dx_i \quad (1)$$

де P_i – розрахунковий параметр матеріалу; i – номер параметру.

Відхилення розрахункового параметру від фактичного оцінюється залежністю

$$K_i = \frac{P_{i\phi}}{P_i} \quad (2)$$

де $P_{i\phi}$ – фактичне значення параметру.

Тоді при зміні всіх розрахункових параметрів КМ зменшення міцності виробу можливо оцінювати коефіцієнтом фактичної міцності

$$K_\phi = \frac{S_\phi}{S} = \frac{\int_i^n R_i P_i dx_i}{\int_i^n P_i dx_i} \quad (3)$$

де S_ϕ – фактичне значення залишкової міцності виробу.

При цьому, врахувавши зміну показників властивостей матеріалу у виробі можливо визначити залишкову міцність елементів конструкцій. Такими показниками можуть бути питома електропровідність вуглецевих волокон та діелектрична проникність матриці.

З метою отримання достовірної і роздільної інформації необхідно застосування датчиків нового покоління, відносно стану волокон та матриці. Крім того, можливо застосування інших методів неруйнівного контролю для оцінки стану конструкцій із ПКМ в комплексі із руйнівними методами досліджень по визначенню залишкової міцності, що дозволить вирішити проблему встановлення ресурсу конструкцій із композитів.

Висновки. Показано, що вологонасичення конструкційних обшивочних вуглепластиків в процесі їх витримки у деміліризованій воді при температурі $(60 \pm 5)^\circ \text{C}$ на протязі року сягає 1,0...1,1%. Такий рівень вмісту води у матеріалі є характерним для конструкцій із 15...18 річним терміном експлуатації в умовах помірного клімату. При цьому зниження границі міцності вуглепластиків при розтяганні та стиску досягає 12...15%.

Встановлено, що попереднє статичне навантаження зразків із вуглепластиків до рівня 0,67 від границі міцності та зменшення технологічного тиску формування із 0,25 МПа до 0,15 МПа приводить до збільшення води у матеріалі в процесі витримки у водному середовищі і відповідно до збільшення розсіювання границі міцності, що необхідно враховувати при застосуванні вуглепластиків у відповідальних конструкціях.

Отримані результати можуть бути використані спеціалістами авіаційних підприємств.

Список літератури

1. Борозенець Г.М., Семак І.В. Вплив конструктивно-технологічних факторів на міцність вуглепластиків // Проблеми тертя та зношування. – 2017. № 2 (75). – С. 108-112.
2. Селихов А.Ф., Чижов В.М. Вероятностные методы в расчетах прочности самолета. М.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
3. Потапов А.И. Контроль качества и прогнозирование надежности конструкций из композиционных материалов. Л.: Машиностроение, 1980. – 240 с.

G. M. BOROZENETS, I. V. SEMAK

EVALUATION OF THE RESIDUAL STRENGTH OF STRUCTURAL CARBON PLASTICS IN THE PROCESS OF THEIR MOISTURE SATURATION, CHARACTERISTIC FOR OPERATING CONDITIONS

The nature of the moisture saturation of constructive skin carbon plastics is examined, as well as the effect of the previous static load and the process pressure of formation on the moisture content of the material. The change in the residual strength of carbon plastics in the process of their moisture saturation characteristic for the operating conditions is shown.

Key words: carbon fiber, moisture saturation, modes of formation pressure, residual strength

Reference

1. H.M. Borozenets, I.V. Semak. The impact of constructive and technological factors on the strength of carbon plastics // Journal of "Problems of friction and wear". – 2017. № 2 (75). – С. 108-112.
2. Selikhov A. F., Chizhov V. M. Probabilistic methods in calculating the strength of aircraft. M.: Mechanical engineering, 1987.-240 p.
3. Potapov A.I. Quality control and reliability prediction of composite materials. L.: Mechanical engineering, 1980, - 240 p.

Борозенець Григорій Михайлович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, пр. Космонавта Комарова 1, м. Київ, Україна, 03058, тел. 044 406 73 71.

Семак Інна Вікторівна – старший викладач кафедри машинознавства Національного авіаційного університету, пр. Космонавта Комарова 1, м. Київ, Україна, 03058, тел. 044 406 73 71.