УДК 620.22

Шевченко О.А., канд. техн. наук, доцент
Панасюк А.А., студент
Нитка С.М., асистент
Національний авіаційний університет, Київ, oashev@nau.edu.ua

ВИПРОБУВАННЯ ПОСУДИН ПІД ТИСКОМ ПОКРИТИХ КОМПОЗИТНОЮ ОБОЛОНКОЮ

Посудини що працюють під тиском знайшли широке застосування в паливних, пневмогідравлічних та системах життєзабезпечення аерокосмічних апаратів. В залежності від конструктивного призначення, посудини виготовляють сферичної або циліндричної форми. Згідно з класифікацією Американського товариства інженерів-механіків (ASTM) та Міжнародної організації стандартизації (ISO) посудини під тиском поділяють на п’ять типів: I - повністю металеві сталеві або алюмінієві; II - сталевий або алюмінієвий лайнер (вкладиш) та композитний обруч обгортання; III - сталевий або алюмінієвий лайнер та повне композитне обгортання; IV - пластиковий лайнер та повне композитне обгортання; V – немає лайнера - повністю композитна оболонка, (рис. 1) [1].

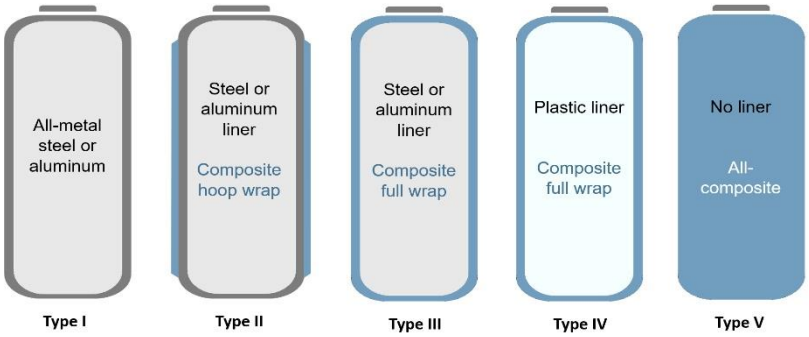

Рис. 1 – Класифікація типів посудин, що працюють під тиском

У даній роботі розглянуто виготовлення та вимоги до випробувань посудин під тиском з композитними оболонками, які відносяться до типу III (див. рис. 1). Посудини з композитними оболонками, що працюють під тиском, відомі в англомовних джерелах під абревіатурою COPV (composite overwrapped pressure vessels), з’явились завдяки Національному управлінню з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA) і свого часу стали доступними для громадськості через Програму використання технологій NASA. В сьогоденному світі COPV знайшли широку комерційну реалізацію у ряді галузей промисловості, включаючи системи зберігання для транспортних засобів, що використовують природний газ, хімічну обробку, видобуток нафти, фармацевтичне виробництво та морське буріння.

Зменшена, подекуди в два рази у порівнянні з суцільнометалевими посудинами, вага COPV при збереженні експлуатаційних характеристик для посудин, що працюють під тиском, визначили пріоритетність застосування COPV в паливних, пневмогідравлічних системах та системах життєзабезпечення аерокосмічних апаратів.

Широка комерціалізація COPV почалась в результаті успіху концепції дихальної системи NASA Firefighter’s Breathing System, прийнятої пожежними службами США, яка включала нові посудини з композитними оболонками із скловолокна, що мали вдвічі меншу вагу в порівнянні з суцільнометалевими, зберігаючи при цьому необхідну кількість повітря для дихання пожежників. Після сертифікації цих COPV Міністерством оборони США (DoD) в 1975 році розпочалось їх комерційне виробництво [2].

COPV потребують специфічних вимог до проектування, виготовлення, випробувань, експлуатації, які регламентовані стандартом ANSI/AIAA S-081B-2018 [3]. Проектування

COPV вимагає аналізу лайнера (вкладиша), волокнистого покриття і взаємодії між ними. Металевий лайнер в COPV виконує декілька функцій: герметичне ущільнення рідин та газів, форма або оправка, на яку намотується композитна оболонка, і в деяких випадках несучий елемент конструкції. Металевий лайнер виготовляють з алюмінію, високоміцної сталі, сплаву Inconel®, титану або кріогенної нержавіючої сталі типу AISI [2].

Композитну оболонку отримують намотуванням просочених в'яжучим волокон, які виконують функцію сприйняття основної частини навантаження. Правильне розміщення волокон полегшує розподіл навантаження та забезпечує захист. Зазвичай в'яжучим є полімерна матрична смола, а волокна використовують вуглецеві, скляні та арамідні (Kevlar® і Zylon®) [4]. Якщо посудина не сферична а циліндрична, зазвичай застосовують як поздовжнє (спіральне), так і окружне (обручеве) намотування волокна. Після намотування просочених волокон, полімерізації смоли при підвищеній температурі і наступної перевірки полімеризації, посудина може бути змінена за розміром або піддана автофретажу для поліпшення структурних характеристик. Автофретаж – це процес, за допомогою якого тиск COPV перевищує границю текучості металевого вкладиша, що призводить до пластичної деформації або розширення вкладиша. Залишкова деформація стиснення у вкладиші призводить до покращеного його терміну служби [2].

Аналітичні розрахунки COPV практично неможливі, але можуть бути проведені методом скінчених елементів за допомогою спеціальних програм наприклад MSC Nastran/Patran, яка дозволяє розраховувати конструкції з шаруватих композиційних матеріалів. Але для розрахунків композиційної оболонки необхідним є знання механічних характеристик шарів, які враховують відповідну технологію намотування та відповідні режими отвердження. Планується виготовлення зразків з односпрямованої вуглецевої стрічки просоченої епоксидним сполучником SR 8500 фірми SICOMIN (Франції) з активатором КТА-221, що дозволить отримати високі характеристики міцності і жорсткості. Отримані при випробуваннях механічні характеристики шарів будуть використані при розрахунках напружено-деформівного та граничного станів посудин.

Кількість випробувань, які проводять на різних етапах створення COPV, призначених для аерокосмічних апаратів, є значною. До них відносять перевірку фізико-хімічних властивостей матеріалів, неруйнівний контроль, перевірку герметичності, і такі специфічні для COPV, як візуальне випробування порогу механічного пошкодження, випробуванням на пошкодження оболонки, стійкість до пошкоджень у найгіршому випадку, витік перед вибухом (LBB) (англійською – Leak before burst). LBB – режим відмови COPV, при якому посудина протікає під тиском, перш ніж вона лопне [4]. LBB зазвичай стосується лише металевого вкладиша, але з усіма вище переліченими випробуваннями входить до переліку стандартних випробувань COPV [3].

В роботі представлені відомості про виробництво та випробування посудин, що працюють під тиском з композитними оболонками (COPV) призначених для застосування у аерокосмічних апаратах. Наведені матеріали для виготовлення COPV, відомості щодо особливостей випробувань COPV, і нормативні документи з вимогами до COPV і особливо їх випробувань. Представлено напрямок експериментальних досліджень, з метою визначення механічних характеристик композитної оболонки для використання у моделюючих комп'ютерних програмах.

Список посилань

1. Composites end markets: Pressure vessels (2022) URL [Електронний ресурс]: https://etcwinders.com/news/compositesworld-the-markets-pressure-vessels-2022/

2. Composite Overwrapped Pressure Vessels, A Primer, NASA/SP–2011–573, Pat B. McLaughlan, P.E. Scott C. Forth, Ph.D. Johnson Space Center, Houston, Texas Lorie R. Grimes-Ledesma, Ph.D. Technical Review Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif .

3. ANSI/AIAA S-081B -2018 Space systems- Composite Overwrapped Pressure Vessels.

4. Inspection for Damage to Carbon/ Epoxy Composite Overwrapped Pressure Vessels. NASA White Sands Test Facility. August 2010.

УДК 629

Кужельний Я.В., канд. техн. наук, доцент
Галенко Д.А., здобувач вищої освіти
Палій І.М., здобувач вищої освіти
Національний університет «Чернігівська політехніка», kyzhelnuyitm@stu.cn.ua

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА РОБОТИ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ

Тренд на екологічність транспортних засобів зростає, також збільшується кількість авто на електротязі. Автомобіль з гібридним двигуном отримує для роботи енергію від різних джерел живлення. У такому автомобілі використовуються ДВЗ та електродвигун, які доповнюють один одного. Завдяки цьому знижується навантаження та підвищується ефективність автомобіля [1].

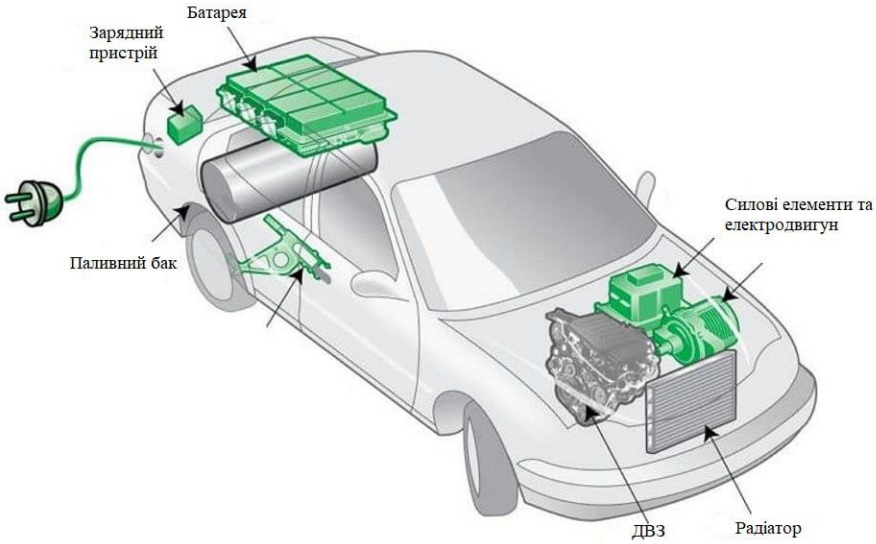

Рис.1 – Основні складові частини гібридного автомобіля

Гібридні автомобілі мають унікальні особливості як у своїй конструкції, так і у режимі роботи. Розглянемо конструкцію гібридного автомобіля на прикладі Ford Fusion Hybrid.

1. Двигун: гібридні автомобілі мають два джерела потужності: двигун внутрішнього згоряння та електродвигун. Зазвичай це бензиновий двигун в поєднанні з електродвигуном або двигуном, що працює на дизельному паливі, які узгоджені за допомогою складної системи керування.

2. Батарея: гібридні автомобілі обов'язково мають батарею для зберігання електричної енергії. Це дозволяє зберігати енергію, отриману під час гальмування або від електричного джерела, та використовувати її під час руху або для запуску автомобіля.

3. Режими роботи: гібридні автомобілі мають декілька режимів роботи:

- Електричний режим: автомобіль може рухатися тільки на електричному двигуні, що зменшує споживання палива та викиди.
- Гібридний режим: використовуються обидва джерела енергії, при цьому автомобіль може самостійно визначати, коли використовувати кожен тип двигуна для оптимальної ефективності.
- Традиційний режим: використовується лише двигун з внутрішнім згорянням, який може бути важливим під час експлуатації у швидкісному режимі та розгону автомобіля або під час руху у складних дорожніх умовах.