

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ НА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ РОЗНІМНИХ З'ЄДНАНЬ В РКТ

*Олександр Володимирович Літот*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4449-7349>

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля»,  
Дніпро

*Тамара Антонівна Манько*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4146-607X>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

У ракетно-космічній техніці до конструкцій пред'являються підвищені вимоги по їх міцності і надійності в умовах експлуатації. Що стосується використання композитних матеріалів та в першу чергу вуглепластиків, їх застосування виправдане високими показниками питомої міцності і надійності як по компонентно, так і в складі армованого матеріалу, до складних і агресивних середовищ, таких як робочі гази і рідини при температурі від мінус 196°C до плюс 100 °C. Беручи до уваги, що значну частину сухої ваги ракети-носія складають такі деталі як паливні баки та криогенні трубопроводи, особливо критичним є завдання зменшення ваги верхніх ступенів ракети-носія, а також всього легкого класу, де реалізувати ефективні цільнокомпозитні безлейнерні конструкції криогенних паливних баків та трубопроводів технологічно можливо [1]. Це призводить до необхідності виконувати рознімні фланцеві з'єднання у стику деталей бак-трубопровід, та забезпечувати його герметичність в умовах експлуатації.

Завдання проектування особливо ускладнюється при моделюванні взаємодії всіх елементів конструкції в умовах силових навантажень та криогенних температур [2]. Це насамперед збереження міцності та достатнього рівня жорсткості матеріалу та деталей конструкції в умовах тривалого зовнішніх факторів. Істотно впливає на герметичність роз'ємного фланцевого з'єднання відмінність коефіцієнтів лінійного температурного розширення матеріалів та деталей що знаходяться в контакті, що при використанні вуглепластиків суттєво залежить від схеми армування деталі.

В роботі розглянуто питання забезпечення герметичності фланцевого рознімного з'єднання з вуглепластику для криогенних компонентів палива. В якості матеріалів конструкції використовували епоксидні вуглепластики на основі високоміцних вуглецевих волокон та тканин рівномірної структури з плетінням типу twill. Як матеріал елементів ущільнення – фторопласт марки Ф4 (політетрафторетилен)

наповнений на 25% вуглецевим порошком з метою підвищення зносостійкості та стійкості до екструзії.

Враховуючи особливість конструкції та умови роботи рознімного фланцевого з'єднання, а саме, багаторазова криогенна стабілізація та її циклічне повторення, розроблено дослідну конструкцію композитного фланця криогенного трубопроводу пропускною здатністю  $\varnothing 146$  мм. Особливу увагу приділено герметизації композитного фланця та забезпечення працездатності за умов криогенних температур. Досліджено фланцеве ущільнення з профілем PRS19 та PRS19B з матеріалу PTFE-25%T125-C25 carbon grey.

До класу фланцевих ущільнень, крім їх геометричних параметрів поверхонь для встановлення, пред'являються додаткові вимоги щодо їх точності та шорсткості [3]. Так, для такого середовища як рідкий азот, визначено параметр шорсткості поверхні для встановлення ущільнення, що становить Ra 0.63-0.8, а для газоподібного гелію Ra 0.16-0.32. При цьому також відмічено вимогу до самого профілю формування шорсткості та бази вимірювань. Отримання поверхні такої чистоти для вуглепластика вимагає додаткової поверхневої механічної обробки та попередньої підготовки матеріалу. За результатами вимірювань за допомогою профілометра та мікроскопічних досліджень поверхні вуглепластику композитного фланцю встановлено, що з огляду на особливість структури плетіння тканини в зовнішньому шарі неминуче формуються поверхневі смоляні раковини шириною від 0.1 до 0.3 мм та глибиною в половину моношару тканини. Також відзначено незначне порушення площинності поверхні контакту під установку ущільнення, що виникла через внутрішні напруження та деформації матеріалу фланцю через різний коефіцієнт лінійного температурного розширення в межах всієї площини контакту з ущільненням, що визначено різною схемою армування деталей що знаходяться в з'єднанні.

Випробування проходило два конструктивно-подібних макета фланцевого з'єднання криогенного трубопроводу. Основним критерієм оцінки працездатності конструкції було дослідження герметичності при надмірному тиску гелію 1.15МПа після виконання 10 циклів заправки/злив рідким азотом при тиску 1.5 МПа. Додатково виконано повне заправлення, та витримку конструкції під надмірним тиском рідкого кисню 1.5 МПа.

Додатково проводили структурний аналіз поверхні на зразках конструкцій з вуглепластика за результатом якого виявлено, що при впливі криогенного середовища виникають мікроструктурі пошкодження поверхні та приведені технологічні рекомендації щодо їх усунення.

Встановлено, що проведені випробування на герметичність газоподібним гелієм після виконання температурного циклування підтвердили працездатність фланцевих ущільнень PRS19 та PRS19B в контакті з вуглепластиком. Вітік гелію не виявлено як за допомогою гелієвого течешукача, так і методом спаду тиску. Додатково виконано випробування розрахунковим навантаженням, що дорівнює 1.9 МПа надлишковим тиском води, при цьому руйнування або втрата герметичності конструкції не відбулася.

## ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто питання забезпечення герметичності фланцевого рознімного з'єднання з вуглепластику для криогенних компонентів палива.

Проведені експериментальні дослідження та структурний аналіз поверхні вуглепластикового фланцю дозволили забезпечити герметичність конструкції як в умовах криогенних температур, так і під час перевірки гелієм.

Прийняте конструктивне виконання з легкістю масштабується для будь-якого типу і розміру рознімних фланцевих з'єднань з вуглепластику для криогенних трубопроводів і паливних баків, а дослідження та методологія, що проводиться, служить основою для подальших розробок.

## ПОСИЛАННЯ

1. Гагауз П. М., Гагауз Ф. М., Карпов Я. С., Кривенда Я. С. Проектирование и конструирование изделий из композиционных материалов. Теория и практика: учебник/ П. М. Гагауз, Ф. М. Гагауз, Я. С. Карпов, С. П. Кривенда, под общей редакцией Я. С. Карпова: Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им Н. Е. Жуковского, 2015. 672 с.
2. Карпов Я. С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: учебник / Я. С. Карпов.: Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. Авиацион-т», 2010. 768 с.
3. Carbon Fiber Pipes Characteristics Research Under cyclic pressure action. Journal of Modern Approaches on Material Science, 2 (1) 2019: MAMS.MS.ID.000129, p. 178-181.