

УДК 620.178.16 (045)

А.М. Хімко, к.т.н., доц.
В.О. Краля, к.т.н., проф.
Н.В. Холод, асп.
О.П. Костенко, асп.

ФРЕТИНГОСТІЙКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Проведено випробування композиційних матеріалів на зносостійкість в умовах фретинг-корозії з використанням різних зв'язувальних матеріалів, різної кількості армуючого шару, зі сталлю 30ХГСА і сплавом Д16. Установлено, що найбільш зносостійким виявився матеріал із чотирма шарами склотканини Т-10-14 і зв'язувальними матеріалами ЕДТ-69Н і 5-211-БН. Розроблено рекомендації щодо зменшення фретинг-зносу композиційних матеріалів.

Tests of composite materials were made for wearability in fretting condition. Different binding materials, different quantity of reinforcement layer were used for testing whith steel of 30ХГСА and alloy of Д16. It was set that combination of Т-10-14 (four layers of glass fabric) and binders ЭДТ-69Н and 5-211-БН has better characteristics of wearability. Recommendations for reducing of composite material's fretting were designed.

Постановка проблеми

З огляду на високі характеристики міцності і жорсткості та малу масу порівняно з традиційними матеріалами [1], у наш час композиційні матеріали (КМ) все частіше застосовують у конструкціях літальних апаратів.

У зв'язку з цим КМ мають такі переваги [2; 3]:

- порівняно низька густина;
- високі питому міцність та жорсткість;
- високі хімічну та корозійну стійкість;
- технологічність переробки у виріб;
- високі втомлювальні характеристики волокнистих КМ;
- можливість керування силовими потоками за рахунок раціонального розміщення арматури;
- наявність спеціальних властивостей (радіопрозорість, термостійкість та ін.).

До недоліків КМ відносять:

- високу вартість більшості КМ порівняно з металевими сплавами;
- низьку міжшарову міцність та жорсткість;
- низьку міцність полімерних КМ на стиснення, що перешкоджає з'єднанню виробів з елементами кріплення;
- відсутність зони текучості, крихкий характер руйнування;
- необхідність прийняття спеціальних заходів з охорони праці та під час переробки КМ.

У нових типах літальних апаратів застосування КМ становить більше 30 % [3]. Проте ці прогресивні матеріали зазнають негативного впливу під час експлуатації, і, як наслідок, виникає ціла низка дефектів (тріщини, вм'ятини, проколи, розшарування конструкцій, корозія та фретинг-знос). Ці дефекти досліджені досить мало, але вони призводять до зниження працездатності як самого матеріалу, так і всієї конструкції в цілому.

Одним із найменш досліджених дефектів є фретинг-знос від фретинг-корозії [4], який може виникати в місцях з'єднання КМ з болтами та заклепками.

Металеві заклепки та болти в конструкціях негативно впливають на з'єднання деталей із КМ. Вони піддаються корозії від впливу компонентів полімерної матриці та волокон. Якщо у складі КМ містяться струмопровідні компоненти (вуглецеві волокна, які є активним катодом по відношенню до металів), то спостерігається інтенсивна електрохімічна корозія заклепок та болтів у місцях прилягання їх до КМ.

Метою роботи є дослідження фретинг-зносу КМ під час контакту з найбільш поширеними авіаційними металевими матеріалами та розробка рекомендацій щодо зменшення пошкоджень КМ.

Методика випробувань композиційних матеріалів в умовах фретинг-корозії

Випробування на фретинг-корозію проводили на установці МФК-1 за схемою контакту площа – площа відповідно до ГОСТ 23.211-80. Сутність методу полягає в тому, що циліндричний рухомий зразок (контрзразок), який стикається торцем з нерухомим циліндричним зразком при заданому тиску, приводиться в зворотно-обертальний рух із заданими амплітудою і частотою [5].

Дослідження виконувалися з постійним навантаженням 10 МПа й амплітудою переміщень зразків 175 мкм. Частота коливань становила 30 Гц. База випробувань – $3 \cdot 10^5$ циклів. Температура зразків становила 293 К. Дослідження щодо вивчення інтенсивності зношування КМ проводились просто неба. Тертя відбувалось без мастильного матеріалу.

Випробування здійснювали з полімерними КМ (склопластики) з наповнювачем зі склотканини Т-10-14 та зв'язувальними матеріалами:

- ЭДТ-69Н (білий колір, чотири шари склотканини Т-10-14);
- 5-211-БН (світло-жовтий колір, два шари склотканини Т-10-14);
- 5-211-БН (темно-жовтий колір, чотири шари склотканини Т-10-14);
- ФП-520 (темно-червоний колір, шість шарів склотканини Т-10-14).

Товщина одного шару препрега, згідно з технологічною документацією на виготовлення КМ, становить 0,24 мм.

Зразок являє собою циліндричні ролики діаметром 20 мм, виготовлені з конструкційної сталі. На торець зразка приклеювали пластину, вирізану з відповідного листа КМ (рис. 1, б). Використовували клей „Суіапоран МЕ” (основа – ціанакріл).

Контртіла для випробувань КМ виготовляли зі сплаву Д16 та авіаційної сталі 30ХГСА (рис. 1, а).

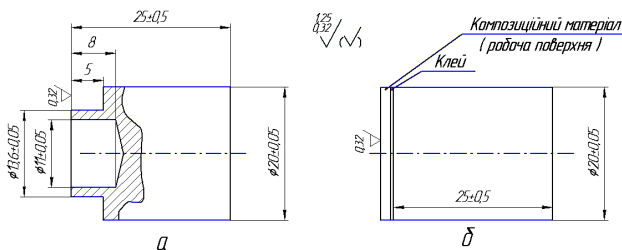


Рис. 1. Зразки для випробувань КМ на зносостійкість в умовах фретинг-корозії:

а – контрзразок;

б – зразок з наклеєним КМ

Матеріали вибирали з найбільш поширених, що застосовуються в авіації (заклепочні та болтові з'єднання).

Контакт зразків відбувався по поверхні, яка являє собою замкнуте кільце з номінальною площею контакту $0,5 \text{ см}^2$, внутрішнім діаметром 11 мм та зовнішнім діаметром 13,6 мм.

Зразки промивали та висушували до та після експерименту.

Як рідину для промивання використовували бензин, ацетон, етиловий спирт.

Лінійний знос нерухомого зразка з КМ вимірювали за допомогою оптиметра вертикального типу ИКВ, знімаючи профілограми з восьми ділянок робочої поверхні зразка в радіальному напрямі. За значенням лінійного зносу визначали зносостійкість досліджуваного КМ.

Важливою перевагою визначення зносу лінійним методом є те, що значення зносу не залежить від питомої ваги матеріалу та можливих змін маси зразків.

Експериментів було не менше, ніж три на кожен гістограму.

Фретинг-знос композиційних матеріалів

Найбільші значення зносу мають КМ на основі зв'язувальних матеріалів ФП-520 та 5-211-БН, де матеріал складається з двох шарів препрега, а вакуумно-автоклавне формування відбувалося за температури $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 2).

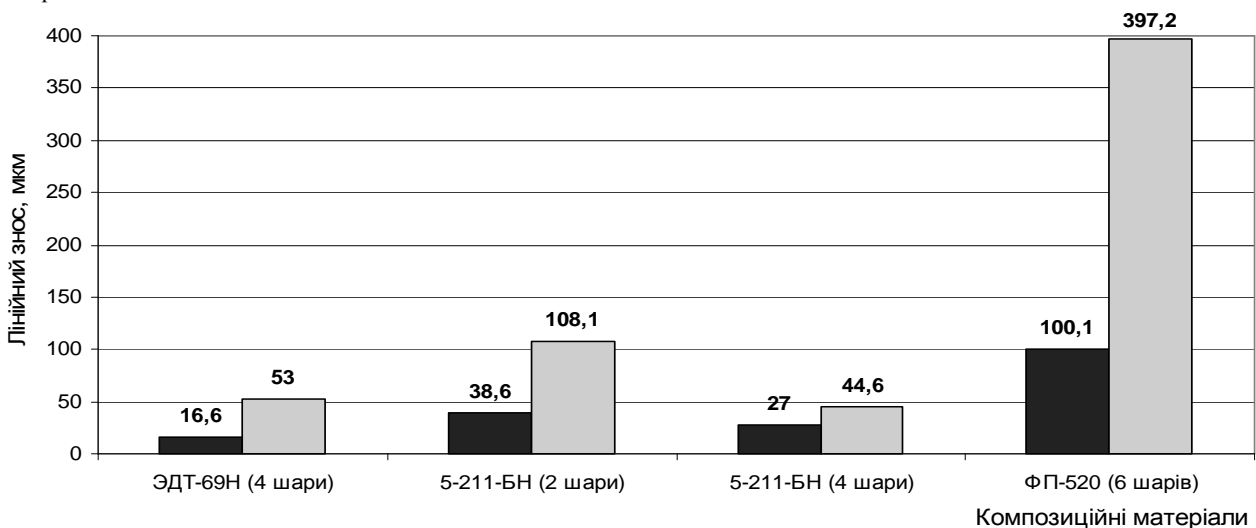


Рис. 2. Гістограми залежності лінійного фретинг-зносу КМ від типу зв'язувального матеріалу, кількості шарів склотканини Т-10-14, матеріалу контртіла:

■ – сталь 30ХГСА;

□ – сплав Д16

У першому випадку це пояснюється фізико-механічними та хімічними властивостями самого зв'язувального матеріалу ФП-520, в другому – малою товщиною матеріалу.

Найкращі зносостійкі характеристики мають КМ на основі зв'язувальних матеріалів ЭДТ-69Н та 5-211-БН, якщо матеріал складається з чотирьох шарів препрега, а вакуумно-автоклавне формування відбувалось за температури 120 ± 5 °С.

В першому випадку це пояснюється фізико-механічними та хімічними властивостями самого зв'язувального матеріалу ЭДТ-69Н, у другому – більшою вдвічі товщиною матеріалу та, можливо, вищою на 10 °С температурою вакуумно-автоклавного формування КМ.

У цілому можна відзначити, що під час контакту КМ зі сплавом Д16 знос зразків у два-чотири рази більший, ніж у разі випробувань зі сталлю 30ХГСА. Під час контакту сплаву Д16 з поверхнею КМ утворюється оксид алюмінію Al_2O_3 , який дуже активно й інтенсивно сприяє швидкому зносу цієї поверхні. У цьому разі знос у 1,6–4 рази більший, ніж у разі взаємодії зі сталлю 30ХГСА.

У результаті контакту сталі 30ХГСА з поверхнею КМ утворюється оксид заліза Fe_2O_3 , який менш активно та інтенсивно впливає на знос поверхні, проте ці значення для деяких видів композитів можуть бути дуже істотними, наприклад, на основі зв'язувального матеріалу ФП-520 і перевищувати 50 мкм.

Виявлення фретинг-корозії проводили візуально, безпосередньо за продуктами зносу (чорний, червоний порошки – частинки КМ, оксиди металів) та за доріжками тертя.

На рис. 3 зображено топографії поверхонь доріжок тертя КМ під час випробувань в умовах фретинг-корозії зі сталлю 30ХГСА та сплавом Д16. Аналіз поверхні доріжок тертя показав, що особливості зношування КМ у випробуваннях зі сталлю 30ХГСА та сплавом Д16 майже однакові. Усі поверхні досить гладкі, з певною шорсткістю.

Знос КМ відбувався за рахунок окиснення контртіла та руйнування в процесі випробування армованої склотканини Т-10-14.

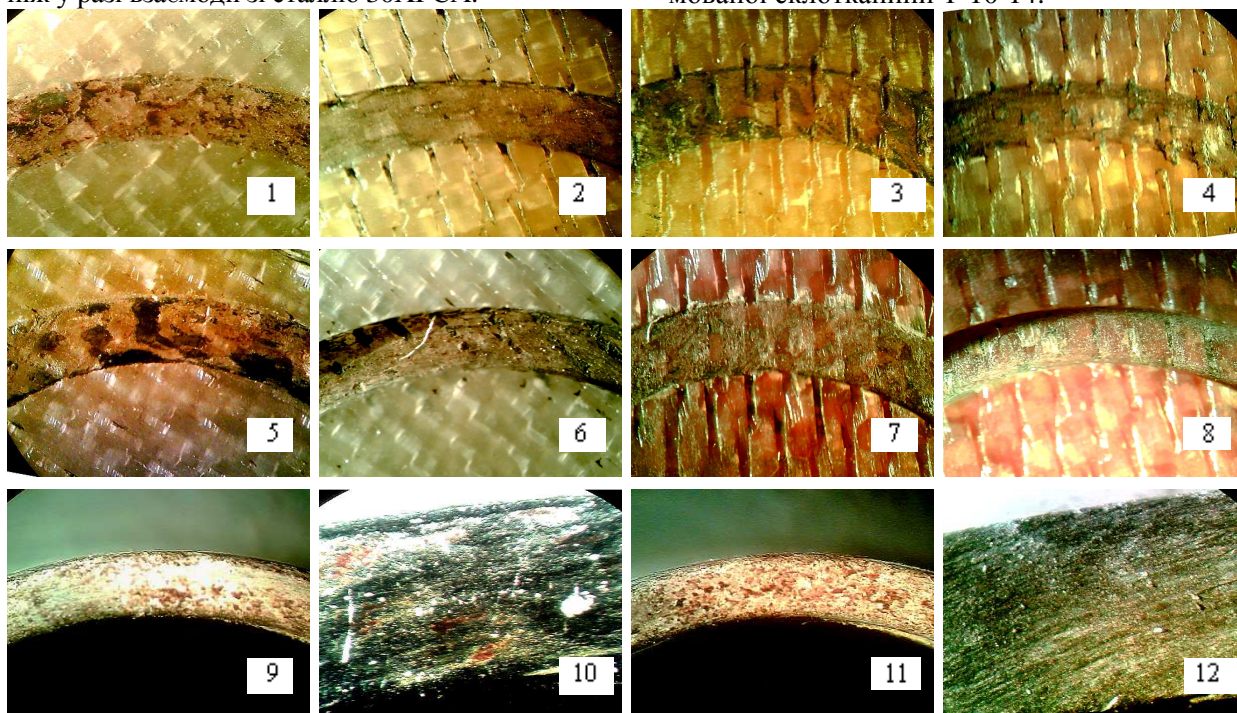


Рис. 3. Топографії поверхонь тертя КМ в умовах фретинг-корозії залежно від виду зв'язувального матеріалу (*28):

- 1 – зв'язувальний матеріал 5-211-БН та два шари склотканини з 30ХГСА;
- 2 – зв'язувальний матеріал 5-211-БН та два шари склотканини з Д16;
- 3 – зв'язувальний матеріал 5-211-БН та чотири шари склотканини з 30ХГСА;
- 4 – зв'язувальний матеріал 5-211-БН та чотири шари склотканини з Д16;
- 5 – зв'язувальний матеріал ЭДТ-69Н та чотири шари склотканини з 30ХГСА;
- 6 – зв'язувальний матеріал ЭДТ-69Н та чотири шари склотканини з Д16;
- 7 – зв'язувальний матеріал ФП-520 та шість шарів склотканини з 30ХГСА;
- 8 – зв'язувальний матеріал ФП-520 та шість шарів склотканини з Д16;
- 9 – контртіло сталь 30ХГСА;
- 10 – контртіло сталь 30ХГСА (*98);
- 11 – контртіло сплав Д16;
- 12 – контртіло сплав Д16 (*98)

Абразивні частки, що утворюються в процесі тертя, руйнують поверхню зв'язувального матеріалу, чим і пояснюється підвищений знос КМ під час випробувань з алюмінієм.

Отже, фретинг-корозія стосовно КМ виникає в тих місцях, де не передбачено реальний рух однієї поверхні відносно іншої:

- клепані та болтові з'єднання у вузлах навішування поверхонь керування;
- стики залізів, обтічників, композитних панелей з металевою обшивкою;
- вузли кріплення силових балок.

Як результат – послаблення характеристик міцності та жорсткості всієї конструкції.

Негативний вплив металевих заклепок на деталі з КМ, що з'єднуються, виявляється вже в процесі осадки замикаючої головки, коли спостерігається часткове руйнування з'єднаних деталей. Це викликано низькою міцністю і деформованістю КМ при стисненні головками заклепки в момент осадки стрижня і високим рівнем технологічних напружень. Радіопрозорі, електро- або теплоізолюючі КМ мають гірші характеристики через наявність в місцях з'єднання металевих болтів та заклепок.

На основі проведених експериментальних досліджень з фретинг-зносу КМ можна рекомендувати проводити стопоріння шплінтами, шайбами з боку металу, стопоріння контргайками, дротом, самоконтрящими прорізними гайками – з боку КМ, що зменшує рух поверхонь деталей.

Контакт з металами, які містять у своєму складі алюміній, небажаний для КМ, оскільки оксиди цього металу сприяють інтенсивним процесам зносу КМ, діючи як наждачний папір. Заклепки, болти та інші елементи з'єднання мають бути виготовлені зі сталі або інших матеріалів:

- заливні заклепки з термопластів, які формуються після впорскування розплаву в порожнину, обмежену стінками отвору, через охолодження термопласта;
- комбіновані металопластикові заклепки, в яких металева частина працює на зріз, а пластмасова фіксує деталі від осьових переміщень;
- заклепки з волокнистих полімерних композитів.

Підбираючи зв'язувальний матеріал для заклепки, можна здійснити зварне або клейове з'єднання на межі контакту тіла заклепки і з'єднаних листів. При цьому міцність заклепкового з'єднання може бути підвищена на 40 % [6; 7].

Висновки

1. Із композиційних матеріалів, що піддаються фретинг-корозії, слід вибирати матеріали на основі зв'язувальних матеріалів ЕДТ-69Н та 5-211-БН з чотирма шарами склотканини Т-10-14, які показали найкращі характеристики зі зносостійкості в умовах фретинг-корозії.
2. Під час контакту поверхні КМ з Д16 значення зносу в 3,97-1,65 разів більше, ніж при контактах з ЗОХГСА, адже один з продуктів зносу – оксид алюмінію – активніше взаємодіє з поверхнею, ніж оксид заліза.
3. Фретинг-корозія композитів – небезпечний і прихований вид руйнування, який негативно впливає на стан поверхні виробу, погіршуючи його характеристики надійності і, як наслідок, ресурс.

Література

1. Астанін В.В., Хоменко А.В., Шевченко О.А. Композиційні матеріали в конструкціях сучасних літальних апаратів. – Вісник НАУ. – 2004. – № 3. – С. 46 – 52.
2. Фрегер Г.Е., Аптекарь М.Д., Игнатьев Б.Б. Основы механики и технологии композиционных материалов: учеб. пособие. – К.: Аристей, 2004. – 524 с.
3. Копань В.С. Композиційні матеріали. – К.: Пульсари, 2004. – 200 с.
4. Шевеля В.В., Олександренко В.П. Трибохимия и реология износостойкости. – Хмельницький: ХНУ, 2006. – 278 с.
5. Краля В.О., Хімко А.М., Якобчук О.С. Зносостійкість плазмових покриттів в умовах фретинг-корозії. – Вісник НАУ. – 2006. – № 4. – С. 108 – 113.
6. Бичков С.А., Гайдачук О.В., Гайдачук В.С. Технологія виробництва літальних апаратів із композиційних матеріалів: підруч. / під ред. чл.-кор. ІАУ, д.т.н., проф. В.Є. Гайдачука. – К.: ІСДО, 1995. – 375 с.
7. Животовська К.А., Животовський М.О., Мамлюк О.В. Авіаційні матеріали та їх обробка: підруч. / під ред. Ю.М. Терещенка. – К.: Вища освіта, 2003. – 304 с.

Стаття надійшла до редакції 10.11.08.