doi: 10.32620/oikit.2022.95.03

УДК 629.73:338.45.05(477)

Мальцев О.Ю.[1], Толстой С.А.[2],
Конотоп Д.І.[1], к.т.н., Сухов В.В.[3], д.т.н., проф.

Особливості складання планерів літаків, які містять елементи із композиційних матеріалів

[1] ДП «АНТОНОВ», [2] Київський авіаційний фаховий коледж
[3] НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Представлені результати аналізу можливості використання відомих методів складання складових частин планеру літака, які містять, зокрема, елементи із композиційних матеріалів (КМ). Розглянуто особливості конструкцій із КМ і їх з`єднань, які впливають на подальше складання таких конструкцій. Систематизована інформація щодо термінології у сфері базування. Запропоновано альтернативні формулювання термінів, пов`язаних зі складанням.

Розглянуті деякі особливості вибору методів складання конструкцій, які містять елементи із КМ. Проаналізовано властивості КМ, які впливають на вибір складальних баз. Запропоновані потенційно можливі бази для складання складових частин авіаційних конструкцій із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях, зокрема, метод складання за віртуальними базами. Виконано класифікацію методів складання авіаційних суцільнометалевих конструкцій, вказані технологічні обмеження КМ, які мають безпосередній вплив на застосування відповідних елементів складального оснащення. Розглянуто деякі випадки наслідування конструктивних рішень авіаційних конструкцій із металів у конструкціях, які містять елементи із КМ. Проведена типізація основних складальних одиниць планеру літака, з точки зору орієнтування на певні методи складання.

Запропоновані формули розрахунку величини сумарної похибки складання складових частин, виготовлених із металів. Обґрунтовані чинники, які спливають на величину сумарної похибки для конструкцій із КМ. Укрупнено сформульовані сучасні тенденції використання КМ на ДП «АНТОНОВ». Розроблена адаптивна схема вибору методу складання складальних одиниць, які містять, зокрема, елементи із КМ, отримана екстраполяцією із суцільнометалевих конструкцій.

Зроблено висновки щодо необхідності орієнтування розроблюваної авіаційної конструкції на певний метод складання, сформульовано основні умови для проведення складальних робіт стосовно складових частин із КМ. Визначена можливість складання авіаційних конструкцій із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях, з переважним базуванням по отворах із використанням простого складального оснащення.

Ключові слова: складання; база; метод складання; композиційні матеріали; складальні одиниці; складова частина.

Вступ

Складальне виробництво є одним із фінальних і найбільш відповідальним етапом виробництва літаків. Рівень технічного і організаційного вдосконалення складального виробництва, трудомісткість якого для сучасного літака складає 40...50% від трудомісткості виготовлення літального апарату (далі – ЛА) в цілому, в значній мірі визначає його технологічну собівартість [1].

Наявність великої кількості механічних з'єднань давно стало чи не визначною рисою будь-якого ЛА. Еволюція кріпильних елементів, поява та постійне вдосконалення існуючих і перспективних кріпильних систем призвела до появи досить широкої номенклатури техніко-технологічних рішень щодо

впровадження того чи іншого типу з‘єднання практично для будь-якого варіанту поєднань деталей в конструкції сучасного літака. Традиційно, для металевих конструкцій більша частина механічних з‘єднань є заклепковими, менша – болтовими або їх аналогами (з використанням болт-заклепок, болтів типу Hi-Lock та ін.). Трудомісткість виконання таких з’єднань, особливо на етапі остаточного складання планера, безпосередньо впливає на величину загальної трудомісткості складальних робіт при створенні ЛА, а відповідно, – і його вартість [2]. Навіть при використанні автоматизованого складання, більшість з’єднань, згідно з [3], залишаються нетехнологічними або обмежено технологічними.

Однією з характеристик сучасного авіаційного виробництва є більший або менший рівень кооперації робіт із створення повітряного судна. Практично жодне авіаційне підприємство світу не має власний замкнений цикл виробництва, що і не є необхідним у сучасних умовах. Спостерігається тенденція виготовлення окремих компонентів літака на підприємствах, які знаходяться у досить віддалених один від одного місцях як усередині однієї країни, так і за її межами, а фінальні етапи складання можуть здійснюватися на інших, спеціалізованих виключно на остаточному складанні, підприємствах. Така ситуація характерна як для великих (Boeing, Airbus Group, Embraer, Bombardier та ін.), так і цілого ряду менших авіабудівних підприємств і корпорацій світу.

Розвиток таких кооперaційних процесів дозволяє в значній мірі досягти зниження та (або) оптимізації трудових і матеріальних витрат за рахунок можливості паралельного виготовлення окремих складових частин (далі – СЧ) планера, але зовсім не дозволяє знизити кількість з'єднань і, крім того, пред'являє істотні вимоги до забезпечення взаємозамінності компонентів, що надходять на складання.

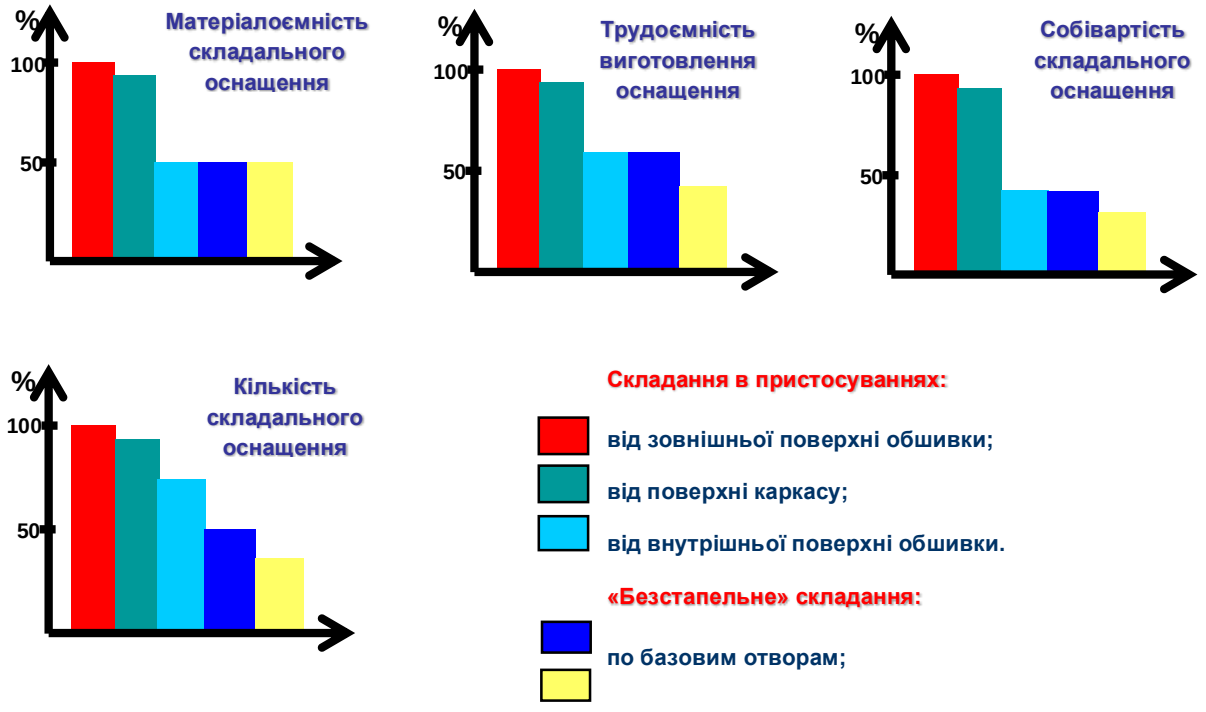

Рис. 1. Орієнтовна порівняльна характеристика техніко-економічних показників різних методів складання авіаційних конструкцій із металевих матеріалів

Питання забезпечення взаємозамінності при складанні авіаційних конструкцій, виготовлених переважно з металів, в даний час в значній мірі вирішені [4, 5, 6, 7]. Відомі і практично апробовані методи складання СЧ планера дозволяють забезпечити виконувані роботи із заданою якістю, прогнозованими витратами на підготовку виробництва і основні виробничі витрати. «Класичні», з точки зору співвідношення, дані щодо основних техніко-економічних показників різних способів складання показано на рисунку 1.

В кожному окремому випадку, коли для складання авіаційної конструкції використовуються одночасно декілька складальних баз (комбінований метод складання), варіації впливу кожної бази можуть значно різнитися. І тим більше, чим більше варіацій матеріалів деталей з'єднуваної конструкції. Такі поєднання матеріалів доречно умовно ділити на дві категорії: металеві (у різних поєднаннях) і металево-композиційні.

Основною метою і перевагою КМ у конструкції літака, на початку їх використання в авіації, було зменшення ваги планера. Більше ніж півстолітній досвід впровадження КМ для виготовлення СЧ планера ЛА наразі дозволяє сформулювати тезу щодо зміщення цієї переваги на другий план. Натомість, пріоритетом стає можливість значного підвищення монолітності конструкції планеру в цілому, зменшивши кількість експлуатаційних роз'ємів, стиків і кріпильних елементів, а відповідно, і з'єднань. Така монолітність дозволяє отримувати безступінчасті аеродинамічні поверхні, а отже, і досягти високих швидкостей польоту без збільшення витрат палива та (або) збільшення потужності авіаційних двигунів. Це підтверджується і в [8]: конструкції з КМ, володіючи властивістю великої монолітності (складаються з меншої кількості деталей), ніж конструкції з металу, є більш технологічними, мають хорошу формозмінність і оброблюваність, внаслідок чого трудомісткість і цикл підготовки їх виробництва не тільки не більші, а у багатьох випадках менші трудомісткості і циклу підготовки виробництва аналогічних конструкцій з металу.

Проте, надмірна монолітність може бути за певних умов малоефективною [9] з точки зору технологічних, економічних або організаційних вимог, які є на конкретному підприємстві.

1. Постановка задачі

На сьогодні у світі сформована певна тенденція використання, за необхідності, деталей із КМ і металів (переважно титанових і алюмінієвих сплавів) в одному з'єднуваному пакеті. При цьому, процес виконання механічних з'єднань таких конструкцій продовжує і донині бути предметом обговорення технологів у вигляді технологічної проблеми [11].

Буде доречно дещо конкретизувати поняття «складова частина» (СЧ), вживане, наприклад, в [12]. Так, під цим терміном у даній статті буде розумітись вузол, панель, відсік, секція, агрегат літака, що містить деталі з КМ та (або) металів у різних співвідношеннях (за номенклатурою і масою), який має механічні з'єднання і складається за певним методом.

Стосовно таких СЧ в даній статті поняття «складання» також буде дещо розширено в порівнянні з прийнятим в [12, 13, 14]. Так, термін «складання СЧ з КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях» охоплюватиме комплекс

робіт з установки в необхідне складальне положення, базування структурно відособлених СЧ з КМ (повністю затверділих на момент складання), а також СЧ з металу, і з'єднання їх засобами, заданими в конструкторській документації. Використовуючи методологію, вживану для авіаційних конструкцій з металів, будуть розглянуті деякі особливості складання авіаційних конструкцій, виготовлених переважно з КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях.

2. Актуальність питання

Як показав аналіз раніше опублікованих результатів досліджень [15, 16, 17 та ін.] у сфері складання СЧ з КМ, основною ознакою класифікації методів складання таких конструкцій є міра затверділості СЧ з КМ конструкції, що складається. Так, з урахуванням цієї обставини, процеси складання компонентів планеру, що містять СЧ із КМ, умовно були розділені на три групи:

1) складання агрегатів із напівфабрикатів, що поєднує операції виготовлення КМ і виробів з них;
2) складання-приформовка напівфабрикатів з КМ до готових (переважно металевих) СЧ;
3) складання СЧ з КМ і металів у різних співвідношеннях.

Сучасні публікації [18, 19] стосовно обсягів КМ у конструкції літаків і вертольотів, переважно (що цілком логічно), мають відношення до цивільної авіації; те ж саме стосується і теми складання СЧ із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях. При цьому, отримання більш-менш точних даних по обсягах, конструкції самих елементів і – головне – визначення з їх числа базових, не є можливим для практичного застосування. Тим не менше, огляд матеріалів дозволяє констатувати, що впродовж останніх років спостерігається тенденція створення суцільнокомпозиційних інтегральних конструкцій СЧ планера літаків. До нашого часу виробниками авіаційної техніки накопичений достатній досвід отримання таких конструкцій із КМ, в яких в значній мірі досягнута мінімально можлива кількість механічних з’єднань.

Крім цього, аналіз вказаних публікацій не дозволяє однозначно оцінити міру розробленості питання вибору методів складання СЧ із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях, із застосуванням саме механічних з'єднань. Тому питання складання таких СЧ і планера в цілому, із застосуванням операцій виконання механічних з'єднань, в даний час не втратили своєї актуальності.

3. Вплив КМ на вибір методу складання

Формування основних критеріїв вибору методів складання дозволить дати оцінку можливості застосування методів складання СЧ (характерних для конструкцій з металів), для складання СЧ із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях. Крім того, це надасть можливість, за необхідності, створити передумови для розробки спеціальних, відмінних від відомих, методів складання (і, відповідно, складальних баз) для таких конструкцій. У [20] зазначається, що використання існуючих методів складання в умовах сучасного розвитку комп’ютерних технологій і при автоматизованому складанні є недоцільним, а тому пропонується новий метод – за віртуальними базами (метод віртуальних баз). Суть цього методу складання полягає у тому, що базування СЧ відносно одна одної чи відносно складального пристосування відбувається за електронним макетом складальної одиниці, до складу якої

входять відповідні СЧ, за допомогою робота-маніпулятора. Вочевидь, такий підхід може бути застосований як до конструкцій із металів, так і КМ (КМ і металів у різних співвідношеннях). Єдиною передумовою практичного застосування запропонованого підходу, особливо на вітчизняних підприємствах, стане наявність відповідного програмного продукту та комплексна «діджиталізація» проєктних і складальних робіт. Остання цілком може стати темою окремої статті.

Як відомо [21], методи складання СЧ із металів розділяються на два класи: «пружне» складання (отримання конструкції із попередньо деформованих його СЧ) і складання без попередньої деформації СЧ. Стосовно складальних одиниць, які містять СЧ із КМ, перший з розглядуваних класів методів складання не може бути застосований, в зв’язку, насамперед, із надзвичайно високою жорсткістю самого КМ.

Методи складання авіаційних конструкцій без попередньої деформації (другий клас) діляться на дві групи:

1) складання із застосуванням складальних пристосувань і стапелів;
2) «безстапельне» складання.

У кожній із даних груп є розділення на підгрупи, з урахуванням видів застосовуваних складальних баз.

Використання устаткування з ЧПУ, високоточних вимірювальних машин, механізація і автоматизація виробничого процесу, як на етапах виготовлення СЧ, так і складанні планера в цілому, приводять до появи наступної тенденції. Методи складання, що регламентують використання складного складального оснащення, яке значною мірою забезпечує точність і взаємозамінність СЧ – в основному за рахунок можливості компенсації похибок кожної ланки розмірного ланцюга, – стають невиправдано трудомісткими. Крім того, підвищити точність і взаємозамінність конструкції із застосуванням таких методів складання, через вказані вище причини, стає практично неможливим. А це, в свою чергу, не дає змогу підвищити вимоги до якості виробу в цілому, що ставить під загрозу забезпечення конкурентоспроможності як основного інструменту утримання на ринку сучасної техніки і технологій.

Все це повною мірою відноситься до СЧ, виготовлених, переважно, з металу. Щодо КМ, то технологічні особливості цих матеріалів є основним чинником, що впливає на вибір методу складання як конструкцій виключно з КМ, так і КМ і металів у різних співвідношеннях. Ці особливості, крім того, визначають вигляд і розташування складальних баз, які використовуються при конкретному методі складання.

Як вже згадувалося вище, КМ, на відміну від металів, мають високий модуль жорсткості і не дозволяють отримувати пружні, навіть найменші деформації, що робить не можливою правку СЧ з КМ по місцю при виконанні складальних робіт. Доречно сказати, що саме поняття «правка при складанні» як сукупність будь-яких операцій з використанням силових (часто динамічних) способів отримання необхідних розмірів та (або) форми виробу є досить застарілим методом, не характерним для сучасної авіації. При цьому, на жаль, він є досить уживаним на вітчизняних авіабудівних підприємствах. Але в будь-якому змісті, операція правки КМ при складані недопустима, а отже, неприпустимі і методи складання, які передбачають правку.

Розглядувана технологічна особливість КМ в значній мірі визначає вміст вимог до елементів конструкції, що надходять на складання СЧ і планера в

цілому, особливо тих, які стосуються точності аеродинамічного обводу і товщини елементів, що сполучаються [10]. Сказане вище дозволяє констатувати, що використання складального оснащення з наявністю обводоутворюючих елементів як засобів забезпечення взаємозамінності при складанні СЧ, які містять елементи з КМ, не раціональне. Навпаки, використання «безстапельних» методів складання і характерного для них складального оснащення спрощеної конструкції, є одним із перспективних шляхів вирішення проблем складання СЧ з КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях.

4. Екстраполяція методології складання конструкцій з металу на конструкції, що містять СЧ з КМ

Аналіз численних сучасних вітчизняних і зарубіжних публікацій [22, 23], присвячених темі вибору схем розчленування авіаційних конструкцій, що містять СЧ з КМ, дозволяють констатувати наступне. В якості одного з основних (які, проте, вже дещо втрачають свою актуальність) шляхів вирішення проблеми складання таких конструкцій є деяке «копіювання» конструктивних рішень, прийнятих і апробованих для СЧ, що складаються переважно з металевих елементів. Крім того, те ж саме стосується і схем складання створюваних авіаційних конструкцій, що містять СЧ із КМ. Це певною мірою знову-таки підтверджує, що при виборі методу складання СЧ із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях, використання відомих методів складання в якості потенційно можливих допустимо і доцільно.

«Копіювання» конструктивних рішень із суцільнометалевих елементів на такі, що містять елементи із КМ, стосується як переліку СЧ (елементи каркасу, панелі), так і самого конструктивного виконання. Деякі приклади, що ілюструють таку тенденцію, представлені на рисунку 2.

а) б)

Рис. 2. Приклади «копіювання» конструктивних рішень на СЧ із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях:
а) панель фюзеляжу *(фото http://ro-ro.facebook.com/khai.composites/posts/994316537425088)*;
б) консоль крила *(фото http:// https://www.researchgate.net/figure/Parts-of-wing-to-fuselage-assembly-for-Airbus-A350-900-Outer-wing-box-left-and-central_fig2_339748858)*

Як видно на рисунку 2, різноманіття варіантів конструктивних вирішень таких авіаційних конструкцій не дозволяє однозначно визначити номенклатуру деталей кожної СЧ, які напевно виготовлятимуться або з КМ, або з металів. З урахуванням цієї обставини, пропонується *наступна методологія призначення потенційно можливих методів складання* СЧ із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях. В якості типових СЧ, наявних в конструкції суцільнометалевого планера літака, приймаються наступні:

- відсік фюзеляжу;
- центральна частина крила (ЦЧК);
- від'ємна частина крила (ВЧК);
- агрегати оперення (кіль, стабілізатор, керма висоти і напрямку);
- засоби механізації і управління крила (передкрилки, закрилки, елерони, інтерцептори і т.п.).

Вказані типові СЧ, в свою чергу, діляться на дві великі групи: елементи каркасу (лонжерони, балки, нервюри, шпангоути) і обводоутворюючі елементи (переважно, складені панелі). Зберігаючи підхід «копіювання» конструктивних рішень з суцільнометалевого планеру на планер, що має СЧ із КМ та КМ і металів у різних співвідношеннях, можна у першому наближенні свідчити про досить високий ступінь схожості цих конструкцій (виготовлених із металу та КМ).

Для кожної з приведених типових СЧ розглянуті найбільш характерні варіанти співвідношень складових частин з КМ і металів. За результатами такої систематизації, авторами запропонована схема, представлена на рисунку 3.

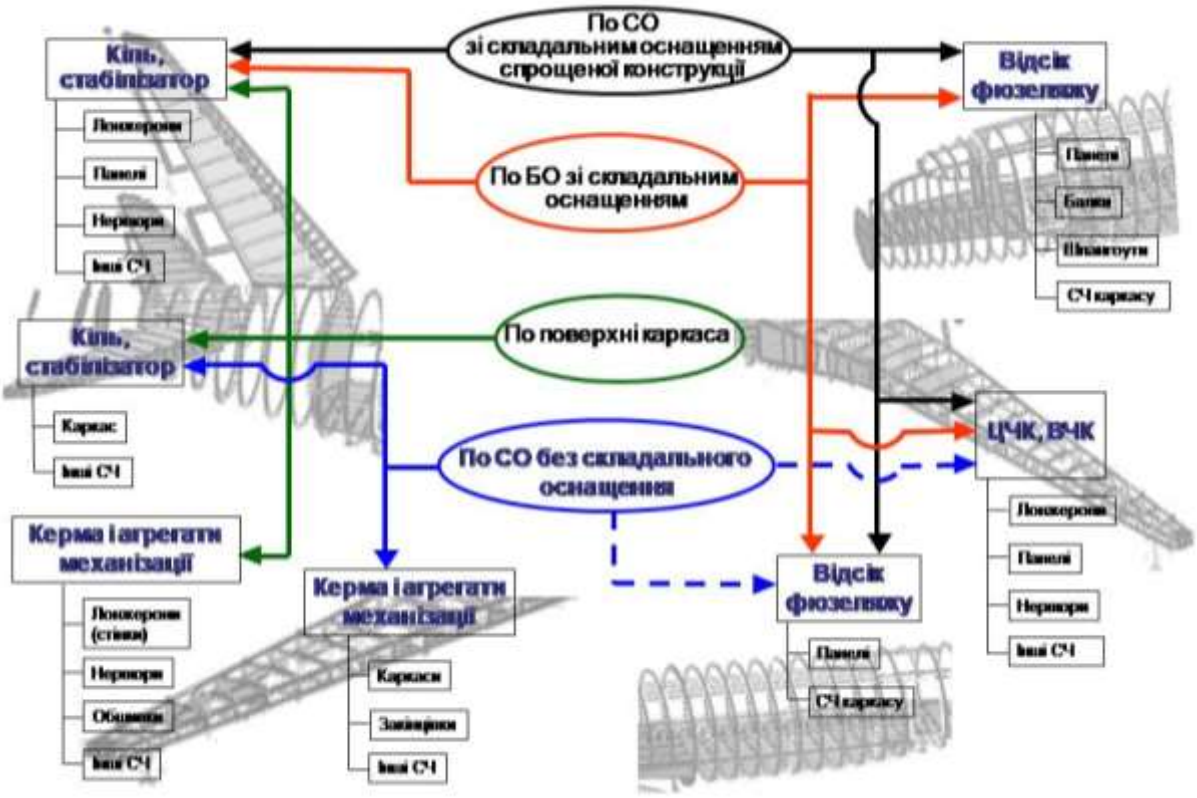

Рис. 3. Схема призначення потенційно можливих методів складання сучасних авіаційних конструкцій

5. Вибір методу складання СЧ із КМ

Враховуючи вище наведені міркування, потенційно можливими методами складання авіаційних конструкцій, які містять СЧ із КМ, з числа відомих методів (характерних для металевих конструкцій), описаних в літературі [1, 9, 21 та ін.], є наступні:

- з базуванням по складальних отворах (далі – СО) без застосування складального оснащення (стапелів, пристосувань і т.п.);
- з базуванням по СО із застосуванням складального оснащення спрощеної конструкції;
- з базуванням по базових отворах (далі – БО) із застосуванням складального оснащення спрощеної конструкції;
- з базуванням по поверхні каркасу;
- з комбінованою схемою базування.

При складанні СЧ з металів по СО, в кожному із двох компонентів, які сполучаються, окремо (на етапі її виготовлення) виконуються СО. Використовується складальне оснащення спрощеної конструкції або стенд. Точність складеної по СО конструкції залежить від: точності виконання отворів в самих деталях; точності деталей, які встановлюються на базову деталь; точності взаємної ув'язки СО і контурів деталей, які з'єднуються.

Пропонується наступна формула для розрахунку величини сумарної похибки складання СЧ (виготовлених із металу) з використанням баз у вигляді СО, яка включає «класичні» елементи:

$$\delta_{СЧ} = \delta_{1CO} + \delta_{cO\,(1-2)} + \delta_{2\,(CO-конт)} + \delta_{конт(2-3)} + \delta_3 + \delta_{деф} \qquad (1)$$

де: $\delta_{СЧ}$ – похибка складання СЧ;

$\delta_{1\,CO}$ – похибка положення СО у першій (базовій) деталі;

$\delta_{CO\,(1\text{-}2)}$ – похибка взаємної ув'язки СО у першій і наступній деталі;

$\delta_{2\,(CO\text{-}контр)}$ – похибка взаємної ув'язки положення СО і контуру наступної деталі;

$\delta_{конт\,(2\text{-}3)}$ – похибка контурів другої і третьої деталі;

δ_3 – похибка виготовлення обшивки;

$\delta_{деф}$ – похибка від деформацій, що виникають при складанні.

У варіанті, коли деталі СЧ виготовлено з КМ, з формули (1) потрібно вилучити параметр $\Delta h_{деф,}$ який, за замовчуванням, дорівнюватиме нулю, адже конструкціям, виготовленим із КМ, через жорсткість не властиві пружні чи пластичні деформації під час складання. Більш того, спроби деформувати такі конструкції з високою вірогідністю призведуть до появи неприпустимих внутрішніх напружень та (або) руйнування. Так, аналогічна ситуація відбувалася із прототипом кесону крила літака МС-21, коли конструкція «тріщала» під час складання у зв'язку із намаганням робочих здеформувати досить жорсткі верхню і нижню панелі із КМ по формі не менш жорсткого каркасу, коли технологія була ще не відпрацьована (рисунок 4).

Дана формула може бути адаптована для інших конструкцій, які містять СЧ із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях, що пояснюється єдиним алгоритмом встановлення деталей.

При складанні СЧ із металів по БО, такі отвори виконуються окремо в елементах конструкції і елементах складального оснащення спрощеної конструкції. СЧ встановлюється на елемент оснащення з БО, виконується

фіксація шляхом установки технологічних болтів. Можна використовувати складальне пристосування (стапель) спрощеної конструкції (рисунок 5).

Рис. 4. Прототип кесону крила літака МС-21
(фото http://aerocomposit.ru/pervyj-prototip-kessona-kryla-ms-21-proshel-zhestkostnye-ispytaniya/)

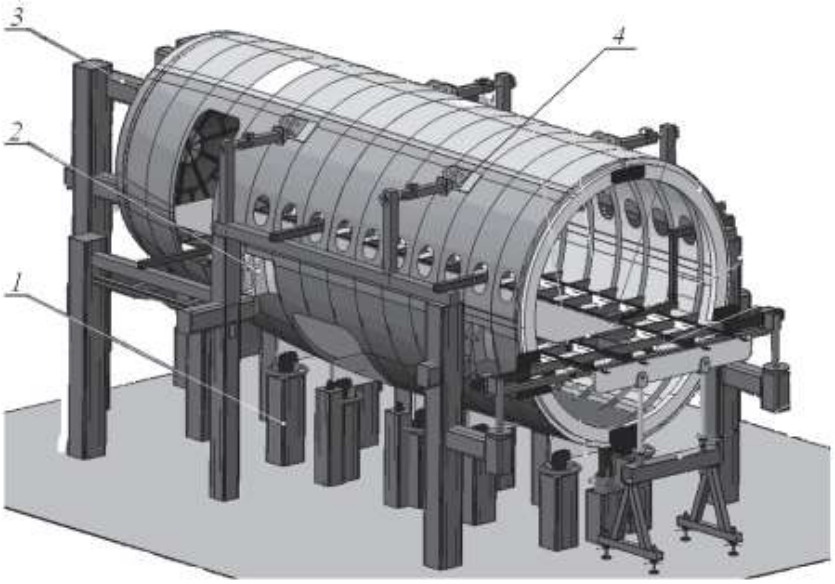

Рис. 5. Стапель спрощеної конструкції: *1* – стійки;
2 – такелажний вузол; *3* – кронштейни; *4* – пластини з СО (БО)
(фото http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39401/1/Vykhor_magistr.pdf)

Точність складання лежатиме у діапазоні ±0,6…1,0 мм для конструкцій із металів.

Величина похибки при складанні по БО може бути визначена за формулою, яка також, як і (1), містить «класичні» елементи:

$$\delta_{СЧ} = \delta_{пр} + \delta_{дет1(кон-БО)} + \delta_{дет2(кон-БО)} \quad (2)$$

де: $\delta_{пр}$ – похибка складального пристосування;

$\delta_{дет\ 1\ (кон\text{-}БО)}$ – похибка ув'язки БО на першій деталі і відповідному елементі стапелю;

$\delta_{дет\ 2\ (кон\text{-}БО)}$ – похибка ув'язки БО на другій деталі і відповідному елементі стапелю.

Формули (1) і (2) можна застосовувати і для конструкцій із КМ (КМ і металів у різних співвідношеннях) без перерахунку, адже пружні деформації можна не враховувати, а технологія суміщення осей отворів у сполучних деталях (деталях і елементах пристосування) ідентична для всіх варіантів поєднання матеріалів у пакеті.

При складанні СЧ з металів по поверхні каркасу точність складання знаходиться в інтервалі ±2,0…2,5 мм. Як відомо, зовнішній контур СЧ за такого методу буде формуватися, переважно, при складанні, наприклад, відсіків, обшивка встановлюється на вже складений каркас, притискається до нього, після чого виконуються її з'єднання з каркасом. Точність такого базування залежить від точності складання самого каркасу, похибок монтажу складальних баз пристосування, похибок товщини обшивки і клейового шару (за наявності) [24].

Величину похибки при складанні по поверхні каркасу можна визначити за формулою:

$$\delta_{СЧ} = \delta_{пр} + \delta_{кон(пр-дет)} + 2\delta_{обш} + 2\delta_{клея} \quad (3)$$

де: $\delta_{кон\ (пр\text{-}дет)}$ – похибка встановлення та ув'язки деталей каркасу і відповідних елементів складального пристосування;

$2\delta_{обш}$ – похибка товщини обшивки;

$2\delta_{клея}$ – похибка товщини клейового чи паяного шару.

Для конструкцій, які містять КМ, при автоматизованому виготовленні таких деталей, можна досягти дуже високої точності товщини обшивок (панелей), і похибкою $2\delta_{обш}$ можна знехтувати.

Комбінований метод складання передбачає поєднання мінімум двох методів. В кожному окремому випадку формула розрахунку точності складання може різнитися, з урахуванням складу складального оснащення, похибок виготовлення деталей та взаємної ув'язки тощо.

Доля КМ у конструкціях сучасних ЛА, в тому числі транспортної категорії, буде неухильно зростати [18]. Стосовно до вітчизняної авіації, доля покупних матеріалів закордонного виробництва для виготовлення вузлів із КМ у планерах літаків «Ан» досить суттєва, при відсутності налагодженого власного виробництва КМ, які відповідають світовим стандартам. Подальший розвиток цієї тенденції залежатиме від ряду технічних, економічних, стратегічних та політичних аспектів [25]. При цьому, беззаперечним залишається факт впровадження апробованих технічних рішень на конструкції, що містять КМ, як один із досить простих (фінансово і технологічно) шляхів забезпечення якості СЧ і ЛА в цілому.

Висновки

Визначення вигляду, місця розташування баз і складу складального оснащення є одними з найбільш трудомістких складальних робіт. Стосовно СЧ із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях, це стає тим більше актуальним. Тут більш важливу роль, ніж для металевих конструкцій, гратиме такий якісний параметр технологічності авіаційної конструкції, як «орієнтування на певний метод складання». На етапі проєктування СЧ із КМ, або КМ і металів

у різних співвідношеннях забезпечення даного параметра технологічності особливо важливе.

Важливо відзначити, що необхідними умовами для проведення складальних робіт стосовно СЧ із КМ (або КМ і металів у різних співвідношеннях), крім того, є:

- вища точність конструктивних елементів СЧ, що сполучаються, за аеродинамічними обводами і стиками (в порівнянні з металевими конструкціями);
- висока технологічність конструкції елементів з КМ;
- виключення деформації елементів з КМ, в процесі виконання складальних робіт;
- відсутність впливу складальних баз у вигляді отворів (СО або БО), розташованих на СЧ із КМ, на експлуатаційні характеристики конструкції, що складається.

Виконання цих і технологічного оснащення. Таким чином, використання відомих методів складання, що характеризуються відсутністю попередньої деформації СЧ, з «простим» складальним оснащенням або без нього, переважно з базуванням по отворам при складанні, на початкових етапах проєктування авіаційних конструкцій, що містять СЧ із КМ, а також КМ і металів у різних співвідношеннях, є доцільним. Необхідність розробки спеціальних методів складання, відмінних по ряду характеристик від відомих, на даному етапі маловірогідна, але в подальшому саме вона визначатиме всю ідеологію складання компонентів планерів літаків, які містять елементи із КМ.

Список літератури

1. Пекарш, А. И., Тарасов, Ю. М., Кривов, А. Г., Громашев, Г. А. и др. Современные технологии агрегатно-сборочного производства летательных аппаратов. – М.: Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
2. Кривов, Г. А. Стоимость – важнейший параметр проекта гражданского самолета и показатель его конкурентоспособности. – Технологические системы, 2009. – №5. – С. 22-36.
3. Замятин, В. К. Технология и автоматизация сборки: учебник для ВУЗов. – М.: Машиностроение, 1993. – 464 с.
4. Бабушкин, А. И. Методы сборки самолетных конструкций. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
5. Технология самолетостроения, под ред. Абибова, А. Л. – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
6. Бойцов, В. В., Ганихавнов, Ш. Ф., Крысин, В. Н. Сборка агрегатов самолета: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специаль-ности «Самолетостроение». – М.: Машиностроение, 1988. – 152 с.
7. Барвинок, В. А., Богданович, В. И., Бордаков, П. А. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов: Учебник для студентов высших технических учебных заведений. – М.: Машиностроение, 1996. – 576 с.
8. Андрєєв, О. В. Наукові основи підвищення ефективності створення конструкцій транспортних літаків з полімерних композиційних матеріалів на етапах життєвого циклу виробу. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.07.02 – проектування, виробництво

та випробування літальних апаратів. – К.: ДП «АНТОНОВ», Національний авіаційний університет, 2020.

9. Иванов, Ю. Л., Кузьмин, В. Ф., Марьин, Б. С., Волков, И. В. и др. Современные технологические процессы сборки планера самолета. – М.: Машиностроение, 1999. – 304 с.

10. Карпов, Я. С. Соединения деталей и агрегатов из композиционных материалов. – Харьков: НАУ «ХАИ», 2006. – 359 с.

11. ОСТ 1.42064 Сборка самолетов. Термины и определения.

12. СОУ-Н МПП 49.035-090:2007 Технология сборки узлов и агрегатов планера самолета с использованием отверстий в качестве сборочных баз.

13. ТИ.07509416.25088.04000 Сборка узлов и агрегатов планера самолета RRJ с использованием отверстий в качестве сборочных баз.

14. ОСТ 1.42064 Сборка самолетов. Термины и определения.

15. Tortolano, F. W. Making'em Lean. Fierce And Mean. «Des. News». 1981. 37. №5.

16. Mc Donnell Douglas New Process for Composite Part Manufacture. «Interavia Air Lett», 1982, №10101.

17. Materials for the Products of Tomorrow Aeronautes. «Mater.Eng», 1982, 95, №5.

18. Коцюба, А. А., Кондратьев, А. В. Синтез системы прогнозирования объемов применения полимерных композиционных материалов в отечественных гражданских самолетах на долгосрочные периоды. – Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов, 2017. – Вып. 2. – С. 7-23.

19. Астанін, В. В., Хоменко, А. В., Шевченко, О. А. Композиційні матеріали в конструкціях сучасних літальних апаратів. – Вісник НАУ, 2004 – №3. – С. 46-52.

20. Кривцов, В. С. Воронько, В. В., Зайцев, В. Е. Современные перспективы развития технологии сборки авиационных конструкций. – Наука та інновації, 2015. – Т. 11, №3. – С. 12-20.

21. Кривов Г.А. Технология самолетостроительного производства. – К.: КВІЦ, 1997. – 460 с.

22. Новиков В.Н., Авхимович Б.М., Вейтин В.Е. Основы устройства и конструирования летательных аппаратов: учеб. для вузов. – М.: Машиностроение, 1991. – 368 с.

23. Ендогур, А. И. Проектирование авиационных конструкций. Проектирование конструкций деталей и узлов: учеб. пособие. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. – 540 с.

24. Гусева, Р. И. Особенности технологии сборки планера самолета: учеб. пособие. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 133 с.

25. Бычков, С. А. Про перспективи розвитку фірми «АНТОНОВ» у сучасних умовах. – Авіаційно-космічна техніка і технологія, 2022 – №1. – С. 4-11.

References

1. Pekarsh, A. I., Tarasov, Yu. M., Krivov, A. G., Gromashev, G. A. i dr. Sovremennye tehnologii agregatno-sborochnogo proizvodstva letatelnyh ap-paratov. – M.: Agraf-press, 2006. – 304 s.

2. Krivov, G. A. Stoimost – vazhnejshij parametr proekta grazhdan-skogo samoleta i pokazatel ego konkurentosposobnosti. – Tehnologicheskie sistemy, 2009. – №5. – S. 22-36.

3. Zamyatin, V. K. Tehnologiya i avtomatizaciya sborki: uchebnik dlya VUZov. – M.: Mashinostroenie, 1993. – 464 s.

4. Babushkin, A. I. Metody sborki samoletnyh konstrukcij. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 248 s.

5. Tehnologiya samoletostroeniya, pod red. Abibova, A. L. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 551 s.

6. Bojcov, V. V., Ganihavnov, Sh. F., Krysin, V. N. Sborka agregatov samoleta: Ucheb. posobie dlya studentov vuzov, obuchayushihsya po special-nosti «Samoletostroenie». – M.: Mashinostroenie, 1988. – 152 s.

7. Barvinok, V. A., Bogdanovich, V. I., Bordakov, P. A. Sborochnye, montazhnye i ispytatelnye processy v proizvodstve letatelnyh apparatov: Uchebnik dlya studentov vysshih tehnicheskih uchebnyh zavedenij. – M.: Mashi-nostroenie, 1996. – 576 s.

8. Andryeyev, O. V. Naukovi osnovi pidvishennya efektivnosti stvorennya konstrukcij transportnih litakiv z polimernih kompozicijnih materialiv na etapah zhittyevogo ciklu virobu. Disertaciya na zdobuttya naukovogo stupenya dok-tora tehnichnih nauk za specialnistyu 05.07.02 – proektuvannya, virobnictvo ta viprobuvannya litalnih aparativ. – K.: DP «ANTONOV», Nacionalnij aviacij-nij universitet, 2020.

9. Ivanov, Yu. L., Kuzmin, V. F., Marin, B. S., Volkov, I. V. i dr. Sovremennye tehnologicheskie processy sborki planera samoleta. – M.: Mashinostroenie, 1999. – 304 s.

10. Karpov, Ya. S. Soedineniya detalej i agregatov iz kompozicionnyh materialov. – Harkov: NAU «HAI», 2006. – 359 s.

11. OST 1.42064 Sborka samoletov. Terminy i opredeleniya.

12. SOU-N MPP 49.035-090:2007 Tehnologiya sborki uzlov i agregatov planera samoleta s ispolzovaniem otverstij v kachestve sborochnyh baz.

13. TI.07509416.25088.04000 Sborka uzlov i agregatov planera samo-leta RRJ s ispolzovaniem otverstij v kachestve sborochnyh baz.

14. OST 1.42064 Sborka samoletov. Terminy i opredeleniya.

15. Tortolano, F. W. Making'em Lean. Fierce And Mean. «Des. News». 1981. 37. №5.

16. Mc Donnell Douglas New Process for Composite Part Manufacture. «Interavia Air Lett», 1982, №10101.

17. Materials for the Products of Tomorrow Aeronautes. «Mater.Eng», 1982, 95, №5.

18. Kocyuba, A. A., Kondratev, A. V. Sintez sistemy prognozirovaniya obemov primeneniya polimernyh kompozicionnyh materialov v ote-chestvennyh grazhdanskih samoletah na dolgosrochnye periody. – Voprosy pro-ektirovaniya i proizvodstva konstrukcij letatelnyh apparatov, 2017. – Vyp. 2. – S. 7-23.

19. Astanin, V. V., Homenko, A. V., Shevchenko, O. A. Kompozicijni materiali v konstrukciyah suchasnih litalnih aparativ. – Visnik NAU, 2004 – №3. – S. 46-52.

20. Krivcov, V. S. Voronko, V. V., Zajcev, V. E. Sovremennye perspe-ktivy razvitiya tehnologii sborki aviacionnyh konstrukcij. – Nauka ta inno-vaciyi, 2015. – T. 11, №3. – S. 12-20.

21. Krivov G.A. Tehnologiya samoletostroitelnogo proizvodstva. – K.: KVIC, 1997. – 460 s.

22. Novikov V.N., Avhimovich B.M., Vejtin V.E. Osnovy ustrojstva i konstruirovaniya letatelnyh apparatov: ucheb. dlya vuzov. – M.: Mashinostroe-nie, 1991. – 368 s.

23. Endogur, A. I. Proektirovanie aviacionnyh konstrukcij. Proek-tirovanie konstrukcij detalej i uzlov: ucheb. posobie. – M.: MAI-PRINT, 2009. – 540 s.

24. Guseva, R. I. Osobennosti tehnologii sborki planera samoleta: ucheb. posobie. – Komsomolsk-na-Amure: FGBOU VPO «KnAGTU», 2013. – 133 s.

25. Bychkov, S. A. Pro perspektivi rozvitku firmi «ANTONOV» u su-chasnih umovah. – Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologiya, 2022 – №1. – S. 4-11.

Надійшла в редакцію 15.02.2022, розглянута на редколегії 15.02.2022

Особенности сборки планеров самолетов, содержащих элементы из композиционных материалов

Представлены результаты анализа возможности использования известных методов сборки составных частей планера самолета, содержащих, в частности, элементы из композиционных материалов (КМ). Рассмотрены особенности конструкций из КМ и их соединений, влияющих на последующую сборку таких конструкций. Систематизирована информация о терминологии в области базирования. Предложены альтернативные формулировки терминов, связанных со сборкой.

Рассмотрены некоторые особенности выбора методов сборки конструкций, содержащих элементы из КМ. Проанализированы свойства КМ, влияющие на выбор сборочных баз. Предложены потенциально возможные базы для сборки составных частей авиационных конструкций из КМ, а также КМ и металлов в разных соотношениях, в частности, метод сборки по виртуальным базам. Выполнена классификация методов сборки авиационных цельнометаллических конструкций, указаны технологические ограничения КМ, которые оказывают непосредственное влияние на применение соответствующих элементов сборочной оснастки. Рассмотрены некоторые случаи подражания конструктивных решений авиационных конст-рукций из металлов в конструкции, содержащие элементы из КМ. Произведена типизация основных сборочных единиц планера самолета, с точки зрения ориентировки на определенные методы сборки.

Предложены формулы расчета величины суммарной погрешности сборки составных частей, изготовленных из металлов. Обоснованы факторы, влияющие на величину суммарной погрешности для конструкций из КМ. Укрупненно сформулированы современные тенденции использования КМ на ГП «АНТОНОВ». Разработана адаптивная схема выбора метода сборки сборочных единиц, содержащих, в частности, элементы из КМ, полученная экстраполяцией из цельнометаллических конструкций.

Сделаны выводы о необходимости ориентирования разрабатываемой авиационной конструкции на определенный метод сборки, сформулированы основные условия для проведения сборочных работ по составным частям из КМ. Определена возможность сборки авиационных конструкций из КМ, а также

КМ и металлов в разных соотношениях, с преимущественным базированием по отверстиям с использованием простой сборочной оснастки.

Ключевые слова: сборка; база; метод сборки; композиционные материалы; сборочные единицы; составная часть.

Features of the assembly of aircraft gliders, containing elements of composite materials

The results of the analysis of the possibility of using known methods for assembling the components of an aircraft airframe, containing, in particular, elements of composite materials (CM), are presented. The features of structures made of CM and their joints, which affect the subsequent assembly of such structures, are considered. Systematized information about the terminology in the home area. Alternative formulations of assembly-related terms are proposed.

Some features of the choice of methods for assembling structures containing elements from CM are considered. The properties of CM that influence the choice of assembly bases are analyzed. Potentially possible bases for assembling components of aircraft structures from CM, as well as CM and metals in different proportions, in particular, the method of assembly using virtual bases, are proposed. The classification of methods for assembling aircraft all-metal structures is carried out, technological limitations of CM are indicated, which have a direct impact on the use of the corresponding elements of assembly equipment. Some cases of imitation of design solutions of aircraft structures made of metals into structures containing elements of CM are considered. The typification of the main assembly units of the airframe of the aircraft has been made, in terms of orientation to certain assembly methods.

Formulas for calculating the value of the total error in the assembly of components made of metals are proposed. The factors influencing the magnitude of the total error for CM structures are substantiated. The current trends in the use of CM at the SE «ANTONOV» are formulated in an enlarged way. An adaptive scheme for choosing a method for assembling assembly units containing, in particular, elements from CM, obtained by extrapolation from all-metal structures, has been developed.

Conclusions are drawn about the need to orient the developed aircraft structure to a certain assembly method, and the main conditions for carrying out assembly work on composite parts from CM are formulated. The possibility of assembling aircraft structures from CM, as well as CM and metals in different proportions, with predominantly based on holes using simple assembly equipment, has been determined.

Keywords: assembly; base; assembly method; composite materials; assembly units; component.

Відомості про авторів:

Мальцев Олександр Юрійович – головний технолог, ДП «АНТОНОВ», Київ, Україна, e-mail: maltsev@antonov.com, тел.:+380637704417.

Толстой Сергій Анатолійович – завідуючий відділенням спеціальності «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», Київський авіаційний фаховий коледж, Київ, Україна, e-mail: graf.tolstoi84@gmail.com, тел.: +380975224494.

Конотоп Дмитро Ігорович – к.т.н., провідний інженер-конструктор, ДП «АНТОНОВ», Київ, Україна, e-mail: konotop.dmitriy@gmail.com, тел.: +380637704417.

Сухов Віталій Вікторович – д.т.н., проф., професор кафедри авіа- та ракетобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, e-mail: sukhovkpi@gmail.com, тел.: +380675061412.

About the Autors

Oleksandr Maltsev Yurievich– Chief Technologist, ANTONOV Company, Kyiv, Ukraine e-mail: maltsev@antonov.com, tel.:+380637704417.

Sergey Tolstoy Anatolyevich – Head of the Department of Aviation and Rocket and Space Technology, Kyiv Aviation Professional Co-Ledge, Kyiv, Ukraine, e-mail: graf.tolstoi84@gmail.com, tel.: +380975224494.

Konotop Dmitry Igorevich – Candidate of Technical Sciences, leading design engineer, ANTONOV Company, Kyiv, Ukraine, e-mail: konotop.dmitriy@gmail.com, tel.: +380637704417.

Sukhov Vitaliy Viktorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Aviation and Ra-Keto Construction, National Technical University of Ukraine "Kyiv Poly-Technical Institute. Igor Sikorsky", Kyiv, Ukraine, e-mail: sukhovkpi@gmail.com, tel.: +380675061412.