

Шляхи підвищення ефективності засобів технологічного оснащення для виробництва збірних конструкцій із ПКМ

Київський авіаційний технікум

Було розглянуто та систематизовано основні шляхи підвищення ефективності засобів технологічного оснащення для виробництва збірних конструкцій із ПКМ, для формування яких проаналізовано актуальні виробничі програми сучасних авіаційних конструкцій. Результати аналізу й додаткові дослідження дозволили сформуванню комплекс специфічних вимог до такого оснащення та виділити основні резерви підвищення його ефективності. Запропоновані рішення стосуються можливостей автоматизації сучасних авіабудівних підприємств.

Ключові слова: ефективність і продуктивність оснащення, виробництво збірних конструкцій із ПКМ.

Вступ

Значна кількість операцій виконання з'єднань складових частин (СЧ) сучасних авіаційних конструкцій із широким використанням ПКМ, жорсткі вимоги до точності геометричних параметрів і міцності, мінімальної маси та максимальної виробничої і експлуатаційної технологічності призводять до того, що переважаючу частку трудомісткості має агрегатно-складальний сегмент виробництва – близько 50 % [1].

Розвиток концепції застосування інтегральних конструкцій висуває ряд нових, специфічних вимог до розроблення технологій їх виробництва, а як наслідок – до засобів їх технологічного оснащення (ЗТО). Роботи над актуальними авіавиробничими програмами, такими, як Airbus A380 [2, 3] та A350 [3-7], Boeing 787 [5, 8], Bombardier CSeries [9-11], SSJ-100 [12, 13] та MC-21 [14, 15], вже виявили основні чинники впливу на концепції технологій виробництва, проте ця інформація є розосередженою та несистематизованою, а часто й недоступною. Без системного аналізу всієї структурності чинників задачу підвищення ефективності технології виробництва інтегральних конструкцій із ПКМ вирішити неможливо, а сама така задача є актуальною і для України, і для світу.

1. Чинники впливу на ефективність ЗТО для виробництва збірних конструкцій із ПКМ

Структурний аналіз чинників впливу на ефективність ЗТО доцільно розглядати за такими основними концептуальними положеннями технології виробництва збірних конструкцій із ПКМ:

1. Загальні положення та технічні рішення в методах виготовлення СЧ конструкції із ПКМ – **метод виготовлення**.
2. Загальні положення та технічні рішення в методах і способах базування СЧ конструкції із ПКМ при складанні – **метод складання**.
3. Конструктивно-технологічні параметри **оснащення для виготовлення СЧ із ПКМ і складання** конструкції в цілому.
4. Першоджерела та засоби ув'язки геометричних параметрів СЧ конструкції із ПКМ з оснащенням для виготовлення та складання – **метод ув'язки**.

Ефективність методів виготовлення СЧ конструкцій із ПКМ

Для конструкцій цілком із ПКМ задача забезпечення ефективності технології виробництва дещо спрощується, оскільки однорідність матеріалів СЧ зумовлює можливість застосування типових ТП їх виготовлення. У роботі [16] розглянуто концепцію суцільної автоклавної полімеризації кесонної частини крила (КЧК), яка складалася з попередньо відформованих панелей та елементів каркаса. Зазначимо, що така концепція є ефективною тільки для конструкцій нескладної конфігурації каркаса. Крім того, матимуть місце габаритні обмеження конструкції, яка підлягає автоклавній полімеризації.

У роботі [17] розглянуто виробництво багатолонжеронного крила методом намотування. Лонжерони намотані за допомогою технологічних сердечників і з'єднані між собою адгезійним методом. Герметизуються вони обшивкою, яка, в свою чергу, формується намотуванням на зовнішню поверхню лонжеронів. У роботі [18] розглянуто аналогічний ТП виробництва крила з більш складним конструктивним набором. Досліджені процеси забезпечують відсутність зазорів між обшивкою та елементами каркаса, проте значно зменшується корисний об'єм внутрішньої порожнини крила, яка, як правило, служить паливним баком.

Декілька методів виробництва багатолонжеронного крила, оснований на термокомпресійних процесах, наведено в роботі [19]. Суть методів полягає в попередньому формуванні СЧ конструкції (лонжеронів і панелей) і подальшій сумісній полімеризації в автоклаві. Після цього встановлюють нервюри та виконують механічні з'єднання, що є трудомістким процесом, а також зменшує міцність конструкції в цілому.

Ефективність методів складання конструкцій із ПКМ

У цей час до найефективніших методів складання конструкцій із ПКМ відноситься складання від зовнішньої поверхні обшивки. При розгляді конструкцій з окремими СЧ із ПКМ, наприклад, в КЧК – верхні та нижні панелі, а елементи каркаса – металеві, ефективним методом складання і буде метод від зовнішньої поверхні обшивки, причому з використанням модульного принципу. Згідно з [20] виготовлені панелі із ПКМ встановлювалися в спеціальні модулі – окремі складальні пристрої (СП) з базою від зовнішньої поверхні, які, в свою чергу, вмонтовувались у стаціонарний СП для складання об'єкта в цілому. Після позиціонування панелей в СП встановлювалися СЧ каркаса КЧК – нервюри та лонжерони.

Такий модульний принцип складання забезпечує необхідну точність геометричних параметрів агрегату чи відсіку, при цьому, СЧ із ПКМ залишаються недеформованими в процесі складання. Модульні СП дозволяють ефективно реалізовувати технологію складання габаритних конструкцій складної геометрії та конфігурації.

За наявності складної конструкції внутрішнього набору об'єкта складання можливе застосування комплекту поопераційних СП [21]. Окремо відформовані панелі та елементи каркаса зводяться та з'єднуються на комплекті окремих СП із ЧПК. Таке рішення забезпечить стабільну якість складання конструкції із ПКМ, проте матиме більшу трудомісткість, а як наслідок – подовжений цикл виробництва.

Виробництво композитного крила, розглянутого в роботі [22], розділено на три основних етапи:

1. Виготовлення нижньої частини. Із використанням напівфабрикатів – препрегів

- формується інтегральна конструкція нижньої панелі з лонжеронами.
2. Виготовлення верхньої частини. Також із використанням препрегів формується верхня панель.
 3. З'єднання частин. Виконується формування нервюр та остаточне з'єднання інтегральних частин.

З точки зору оптимізації трудомісткості ТП виробництва конструкції із ПКМ цей варіант є раціональним, проте значним його недоліком є обмеженість підходів для формування нервюр у середині крила та велика кількість механічних з'єднань, які зменшують міцнісні характеристики конструкції в цілому.

З іншого боку, для окремих конструкцій із ПКМ ефективним є метод складання з базуванням від каркаса. Складання КЧК згідно з [23] передбачає встановлення в СП за визначеною послідовністю СЧ каркаса, після чого подаються панелі. Така послідовність складання є найпростішою із розглянутих вище, проте не забезпечить точність обводів складеної КЧК та передбачатиме велику кількість підгінних робіт.

Ефективність оснащення для виготовлення окремих СЧ із ПКМ і складання конструкції в цілому

Нова система для створення панелей крила літака Airbus A340-600, побудована на основі системи E4000 для A320, складається з двох виробничих ліній (по 134 м кожна) для верхньої та нижньої панелей відповідно до [24]. Кожна лінія складається з трьох суміжних, повністю автоматизованих фіксаторів, які обслуговуються двома складальними пристроями з ЧПК E4100.

У роботі [25] розглянуто автоматичне СП для лонжерона крила літака Boeing 767, розроблене в 1970-х роках. З тих пір концепція була вдосконалена та інтегрована у всі виробничі лінії крил літаків Boeing. Четверте покоління системи ASAT4 для літака Boeing C-17 Globemaster III забезпечує високий рівень переналаджованості при мінімальній виробничій площі. Система ASAT4 оснащена незалежною тривісною машиною E5000, яка має робочі головки з автоматичним обладнанням (АО) для виконання з'єднань при складанні.

При створенні дільниці складання КЧК літака Boeing 787 Dreamliner (Секція 11) використовували модульну конструкцію СП [26]. Дільниця складання складається з двох сумісних СП, кожний з яких складається з чотирьох модулів: підкриловий підтримуючий; передньолонжеронний лівий; передньолонжеронний правий; пересувний. Даний підхід дозволяє забезпечити жорстке та точне позиціонування кожного основного компонента.

Конструкція стапеля для складання крила згідно з [27] передбачає вертикальне розташування нервюр при складанні. Верхня балка служить для кріплення стінки крила, в той час як оснащення основного лонжерона розташовано знизу. Для встановлення нервюр між лонжеронами використовують роботизоване оснащення. Точність позиціонування роботом становить $\pm 0,5$ мм, що досягається використанням лазерних систем.

Складання крила літака A380 (етап 01) [28] виконується на чотирьох-поверхневому стапелі, який включає HAWDE (горизонтальне автоматизоване крилове свердлильне обладнання), портативну свердлильну установку з ЧПК і гідравлічно керовану платформу. Це оснащення працює з мобільною GRAWDE (автоматичне крилове свердлильне обладнання основних ступок шасі). Завдяки використанню цього оснащення точність установки окремих СЧ досягла $\pm 0,065$ мм.

Традиційно в авіаційному виробництві фіксатори для складання є досить

габаритними і виконуються за індивідуальним замовленням. Як наслідок вони дорогі при виготовленні та експлуатації. У роботі [29] запропоновано «гнучке» переналагоджуване фіксуєчне оснащення компанії «Airbus Operations Ltd.».

Окремим питанням в аналізі ефективності оснащення є спеціалізоване обладнання для виконання з'єднань при складанні конструкцій із ПКМ. У роботах [30 - 33] розглянуто автоматизоване промислове обладнання з ЧПК для виконання з'єднань при складанні конструкцій КЧК і фюзеляжу, з різними сполученнями матеріалів у пакетах (ПКМ із ПКМ і ПКМ із металевими матеріалами (ММ)).

У роботі [34] наведено опис автоматизованої клепальної системи Е4000 для з'єднання СЧ секції крила літака А320. Система використовує 5-осьовий захват (у вигляді ярма) з робочими головками на кожному з кінців захвату. Така система відрізняється високою продуктивністю, крім того, вона легка та маневрена.

Ефективність методів ув'язки геометричних параметрів СЧ конструкції із ПКМ з оснащенням для виготовлення та складання

Для забезпечення високої точності складання необхідними є використання та інтеграція комп'ютеризованих систем, починаючи з етапів проектування конструкції і завершуючи виробничими процесами, з широким застосуванням автоматизованого обладнання (АО) з ЧПК. Так, для виробництва КЧК А380 значне фінансування було виділено на створення унікального АО для виконання з'єднань, монтажу складального оснащення та контролю точності встановлення [31; 35; 36].

Ураховуючи те, що сучасні конструкції створюються на базі відповідних електронних визначень виробу, а також розглянуте вище оснащення, як ефективні методи ув'язки базових поверхонь СЧ конструкції та оснащення застосовують незалежні методи: частіше – програмно-інструментальний (ПРИМ), рідше – креслярсько-інструментальний.

Аналіз основних концептуальних положень технології виробництва складаних конструкцій із ПКМ дозволяє попередньо оцінити чинники впливу на ефективність відповідних ЗТО. При цьому до окремих ЗТО має бути висунутий ряд специфічних вимог, відповідність яким буде свідчити про доцільність їх ефективного використання та необхідність розгляду задачі підвищення їх ефективності.

2. Формування специфічних вимог до ЗТО для виробництва збірних конструкцій із ПКМ

Для аналізу ефективності ЗТО також необхідно визначити конструктивно-технологічні параметри (КТП) якості СЧ із ПКМ і конструкції в цілому, зміна яких впливає на загальну ефективність технології виробництва та ЗТО безпосередньо. До таких основних груп КТП доцільно віднести:

- відхилення геометричних параметрів – **КТП_{гп}**;
- параметри напружено-деформованого стану (міцність статична і динамічна, жорсткість та ін.) – **КТП_{ндс}**;
- технологічність – **КТП_{техн}**;
- трудомісткість операцій виробництва – **КТП_{труд}**.

Структурні зв'язки цих КТП із раніше зазначеними чинниками впливу на ефективність ЗТО в сукупності і будуть формувати комплекс специфічних вимог до

відповідних ЗТО для виробництва збірних конструкцій із ПКМ. Чинники впливу, виявлені із наведеного вище аналізу, доцільним буде формувати за структурними блоками (підблоками), відповідно до раніше сформульованих концептуальних положень технології виробництва (рис. 1).

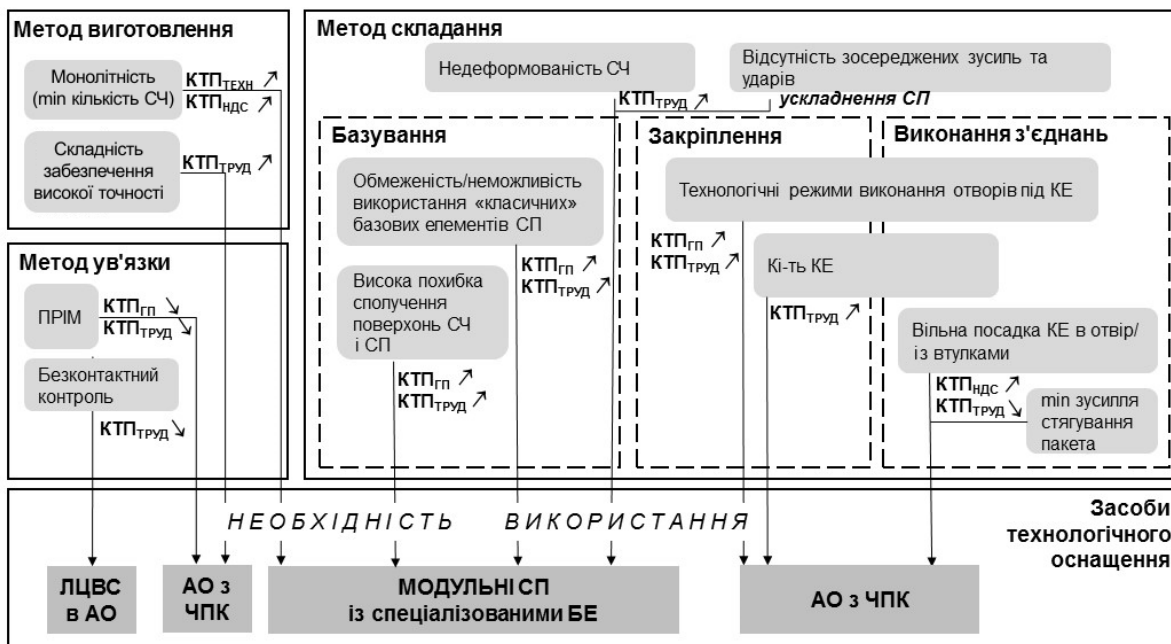


Рис. 1. Схема формування вимог до ЗТО для виробництва збірних конструкцій із ПКМ

Рис. 1 не тільки ілюструє причинно-наслідкові зв'язки між методами виготовлення, складання, ув'язки та ЗТО, але й вказує (стрілками \uparrow або \downarrow) на те, як окремий чинник відбивається на комплексі КТП – відповідно підвищує або знижує. Умовами підвищення ефективності ЗТО будуть свідчити підвищення KTP_{NDC} та KTP_{TECH} і зниження KTP_{TRUD} і KTP_{TRUD} . Міра відповідності таким умовам безпосередньо впливає на фактичний характер – спрощення або посилення специфічних вимог до відповідних ЗТО для виробництва збірних конструкцій із ПКМ.

За схемою (рис. 1) основні специфічні вимоги до ЗТО зводяться до необхідності використання:

- 1) модульних СП із спеціалізованими базовими елементами (БЕ) – для підвищення KTP_{NDC} і KTP_{TECH} і зниження KTP_{TRUD} і KTP_{TRUD} ;
- 2) автоматизованого обладнання (АО) з числовим програмним керуванням (ЧПК) для виконання окремих операцій і процесів – для підвищення KTP_{TECH} і зниження KTP_{TRUD} і KTP_{TRUD} ;
- 3) лазерних центруючих вимірювальних систем (ЛЦВС), вмонтованих в АО, – для підвищення KTP_{TECH} і зниження KTP_{TRUD} .

3. Резерви підвищення ефективності ЗТО для виробництва збірних конструкцій із ПКМ

У загальному розумінні під задачею підвищення ефективності (економічної ефективності) виробництва розуміється підвищення ступеня віддачі, тобто

збільшення відношення корисного ефекту (результату) виробництва до витрат на його одержання [37]. У даній роботі розглядається частка загальної ефективності технології виробництва, яка характеризує окремі ЗТО, а задача підвищення ефективності зводиться до збільшення відношення продуктивності до відповідних витрат на ЗТО, що використовуються:

$$E_{ЗТО} = \sum_{i=1}^n (E_{ЗТО1} + \dots + E_{ЗТОn}) / n, \quad (1)$$

$$E_{ЗТОi} = P_{ЗТОi} / B_{ЗТОi},$$

де E – ефективність ЗТО;
 P – продуктивність ЗТО;
 B – витрати ЗТО;
 $i = (1, n)$, n – кількість ЗТО.

Для задачі, що розглядається, згідно з (1), пріоритет слід надати критерію підвищення продуктивності, а не зменшенню витрат. Під продуктивністю тут розуміється здатність комплексу ЗТО виробляти певну кількість продукції за одиницю часу [37]:

$$P_{ЗТО} = \sum_{i=1}^n (P_{ЗТО1} + \dots + P_{ЗТОn}) / n, \quad (2)$$

$$P_{ЗТОi} = K_{ЗТОi} / \tau,$$

де K – кількість продукції;
 τ – час (цикловий) виробництва.

Для вирішення задачі підвищення ефективності ЗТО згідно з (1) і (2) пропонується розглянути комплексний системний приклад імітаційної моделі виробництва типової кесонної конструкції (КК) із ПКМ (рис. 2).



Рис. 2. Типова КК із ПКМ

З урахуванням результатів [38, 39] схема взаємозв'язку основних етапів виробництва СЧ КК із ПКМ з можливістю використання АО показана на рис. 3.

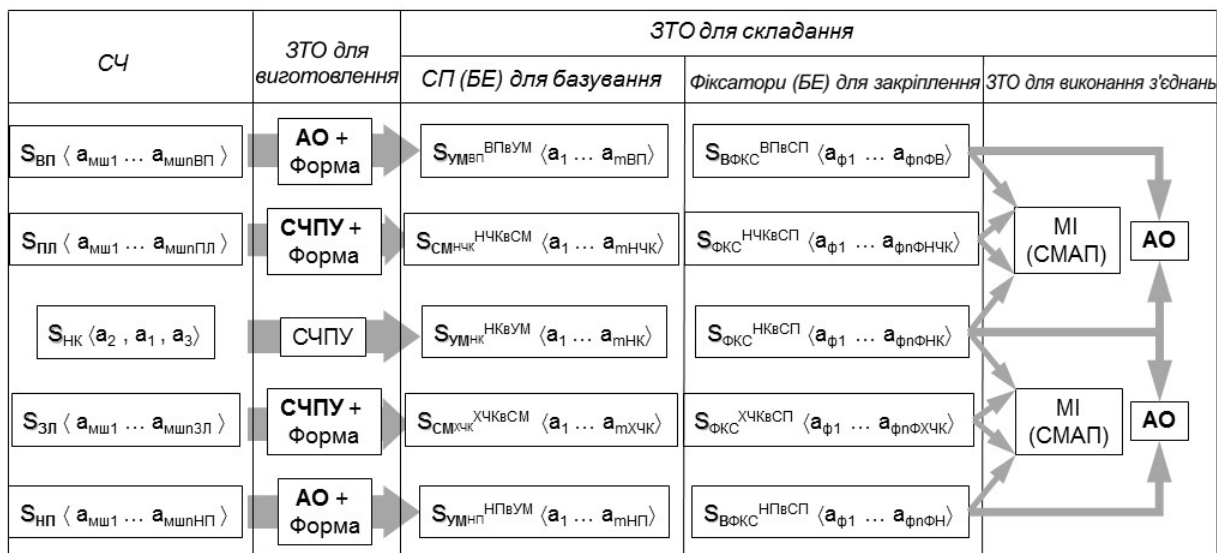


Рис. 3. Схема взаємозв'язку основних етапів виробництва СЧ КК із ПКМ:

S – елемент КК або ЗТО, нижній індекс якого є його позначенням, а верхній індекс вказує на СЧ, до складу якої входить елемент; $\langle a_1 \dots a_n \rangle$ – множина СЧ КК або ЗТО; **БЕ** – базові елементи; **мш** – моношар ПКМ; **УМ** – установлювальний модуль СП; **СМ** – складальний модуль СП; **НЧК** – носова частина крила; **ХЧК** – хвостова частина крила; **ФКС** – фіксатор; **ВФКС** – вакуумний фіксатор; **МІ** – механізований інструмент; **СМАП** – свердлильна машина з автоматичною подачею

Таке зображення (рис. 3) дозволяє виявити зміни продуктивності та ефективності ЗТО на відповідних технологічних процесах і операціях, без змін у загальній моделі виробництва. Причому зміни вказаних вище показників будуть прямо пропорційно залежати від можливості застосування АО в тій чи іншій операції або процесі із збереженням загальної концепції виробництва.

Таким чином, задача підвищення ефективності ЗТО в постановці для виробництва збірної КК із ПКМ зводиться до розгляду питання підвищення ступеня автоматизації виконання окремих технологічних операцій та процесів.

4. Напрямки автоматизації технології виробництва збірних конструкцій із ПКМ

Існує два види до автоматизації – повна та часткова.

Повна автоматизація дозволить сформуванню нового підходу реформатування технологій виготовлення СЧ із ПКМ і складання конструкції в цілому. Цей підхід буде комплексним і завершеним з точки зору можливості впровадження CALS-технологій (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) і дозволить використання типових засобів оцінювання та забезпечення параметрів якості (точності геометричних параметрів), наприклад, електронних моделей (ЕМ), що є вихідними даними для спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ), на основі якого працює АО з ЧПК для виготовлення СЧ і складання конструкції в цілому.

Проте реалізація такого підходу потребує значних витрат на етапах проектування та технологічної підготовки виробництва (ТПВ). Найбільші витрати припадають на придбання і опрацювання АО для виготовлення та складання

конструкцій із ПКМ як для основного, так і для допоміжного виробництва. Типовим АО є такі:

- при основному виробництві:
 - СЧПУ для формування/формоутворення;
 - АО для базування СЧ на базових елементах СП у складане положення;
 - АО для фіксації (закріплення) СЧ на базових елементах СП у складаному положенні;
 - АО для маніпуляції (управління) положенням елементів СП, що забезпечує складане положення СЧ в агрегаті (відсіку, секції, вузлі) та конструкції в цілому;
 - АО для виконання з'єднань (заклепочних, болтових, клейових і комбінованих) СЧ агрегату (відсіку, секції, вузла) та конструкції в цілому;
 - АО для остаточного оброблення збірної конструкції в цілому;
- при допоміжному виробництві:
 - АО для підготовки та подачі сировини (волокон) ПКМ у СЧПУ для формування/формоутворення СЧ із ПКМ;
 - АО для підготовки та логістики виготовлених СЧ із ПКМ на подальші етапи формування/формоутворення та складання;
 - АО для підготовки та логістики збірних агрегатів (відсіків, секцій, вузлів) та конструкції із ПКМ на подальші або остаточний етап складання;
- при контролі:
 - АО для контролю виготовлених СЧ із ПКМ;
 - АО для контролю збірних агрегатів (відсіків, секцій, вузлів) і конструкції із ПКМ у цілому.

Часткова автоматизація базуватиметься на актуалізації та переоснащенні окремих найтрудомісткіших технологій виробництва, а саме – агрегатного і остаточного складання конструкції із ПКМ. Це дозволить акумулювати та зосередити витрати тільки на АО у відповідних сегментах основного виробництва збірних конструкцій із ПКМ.

Актуальні в цей час часткові засоби автоматизації агрегатного і остаточного складання конструкції із ПКМ, про що свідчить раніше наведений аналіз, спрямовані на зниження трудомісткості таких комплексів технологічних операцій:

- 1) базування та фіксації СЧ у складане положення;
- 2) виконання з'єднань СЧ.

Остання операція є найтрудомісткішою у випадку механічних з'єднань (заклепочних, болтових, болт-заклепочних та ін.) СЧ із неспоріднених матеріалів, наприклад: ПКМ із ММ.

Завдання автоматизації операцій базування та фіксації СЧ із ПКМ зараз має раціональний розв'язок, який базується на принципі модульного складання. Як зазначалося раніше, в модульному складанні використовують модульні СП – ті, які складаються з окремих модулів (установлювальних або складальних), які, в свою чергу, після базування та фіксації СЧ у складане положення самі монтуються на головну частину СП (наприклад, стапельна рама) остаточного складання конструкції (рис. 4).

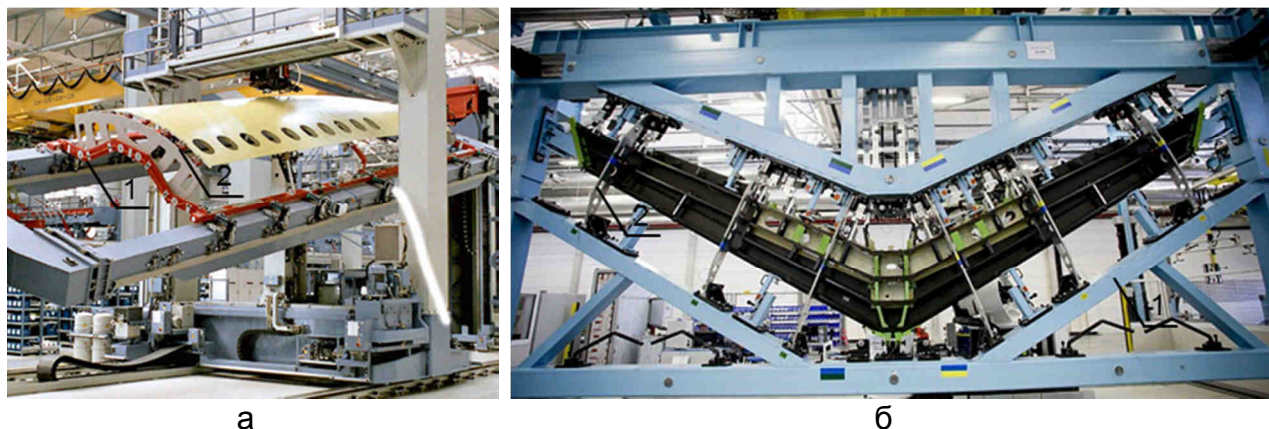


Рис. 4. Приклади модульних СП для складання конструкцій із ПКМ:
а – складальний модуль панелі фюзеляжу на клепальному автоматі;
б – стапельна рама для складання горизонтального оперення;
1 – каркасні елементи; 2 – базові елементи [40]

Крім того, доцільним є використання вакуумних систем фіксації СЧ (рис. 5).

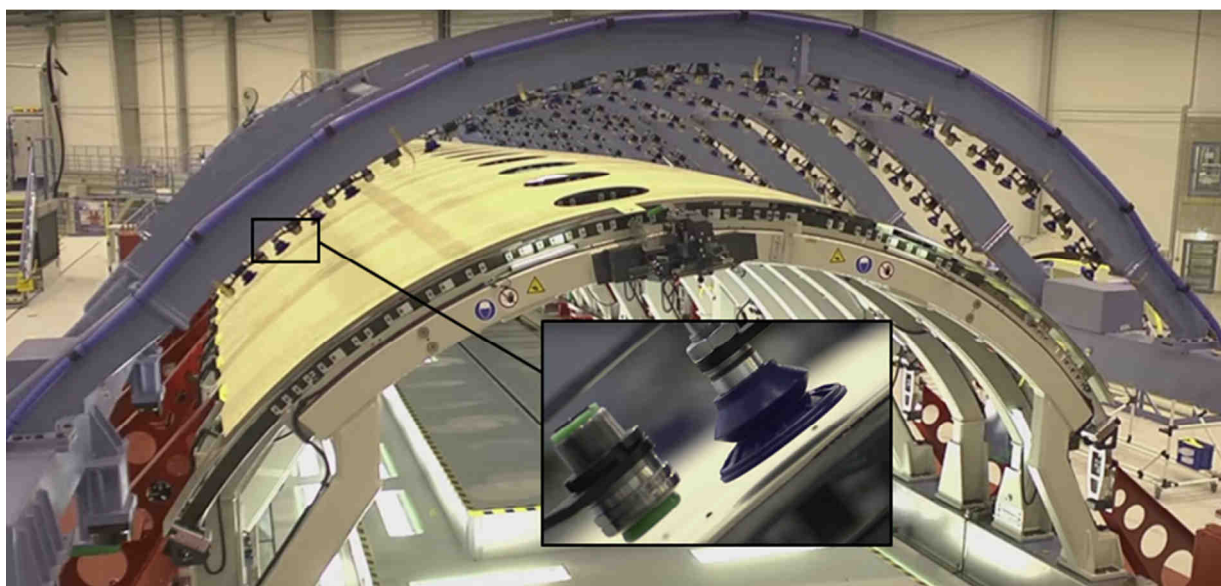


Рис. 5. Вакуумна система фіксації СЧ [40]

Такі системи дозволяють забезпечити точність базування без залишкових деформацій СЧ із ПКМ і зосереджених зусиль при встановленні.

Що стосується можливості автоматизації процесів виконання з'єднань СЧ із ПКМ, то вона обмежується лише доступністю зон з'єднань, оскільки вимоги до режимів виконання операцій зараз стабільно реалізує спеціалізоване АО – автомати для виконання з'єднань (рис. 6).

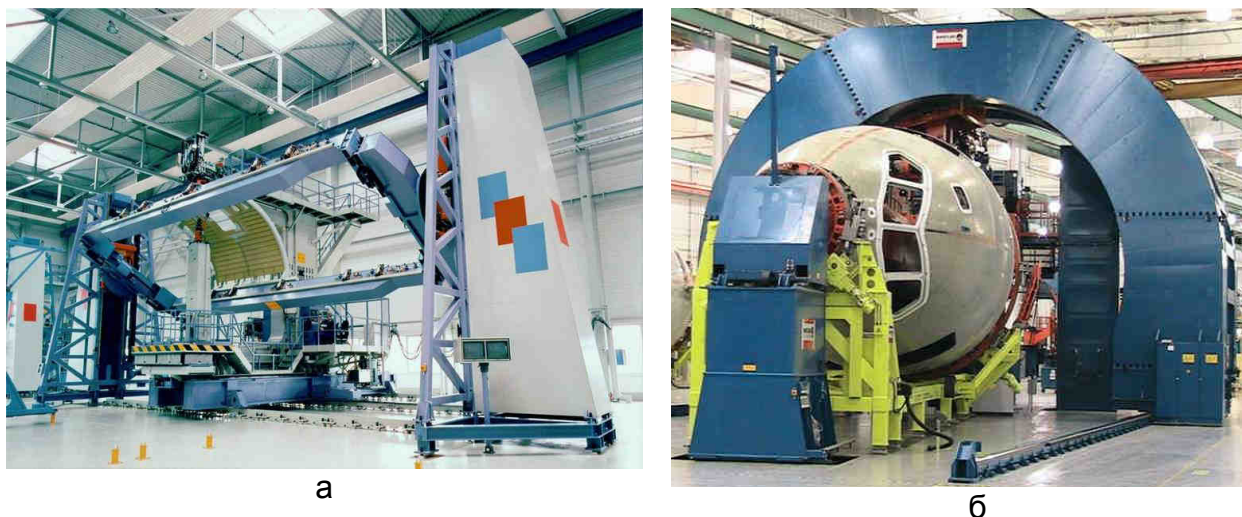


Рис. 6. Приклади автоматів для виконання з'єднань:
а – автомат для клепання панелей; б – автомат для клепання відсіків [40]

У цей час продуктивність клепальних автоматів становить близько 12-15 з'єднань (кріпильних точок) за хвилину, що дозволяє суттєво збільшити продуктивність і ефективність технології в цілому.

Робота модульних СП та АО в автоматичному режимі має керуватися спеціальними програмами, узгодженими із ЕМ СЧ і конструкції в цілому. Розроблення таких програм, як правило, є задачею індивідуальною, в якій мають бути задоволені специфічні конструктивно-технологічні вимоги до окремих СЧ із ПКМ і конструкції в цілому.

Таким чином, реалізація описаних вище напрямків автоматизації дозволить раціоналізувати резерви підвищення ефективності (1) шляхом підвищення продуктивності ЗТО (2), тобто зменшення циклового часу виробництва збірних конструкцій із ПКМ.

Висновки

Системний аналіз чинників впливу на ефективність ЗТО для виробництва збірних конструкцій із ПКМ дозволив сформувавши блоки та підблоки концептуальних положень технологій виготовлення та складання, які в сукупності із КТП якості дозволяють висунути ряд специфічних вимог до ЗТО.

Висунуті вимоги до ЗТО дозволяють сформувавши загальні резерви підвищення їх ефективності, які базуються на задачах підвищення продуктивності різних етапів виробництва. Проаналізовані напрямки повної та часткової автоматизації, як раціональні шляхи підвищення продуктивності виробництва, задовольняють висунутим специфічним вимогам до ЗТО для виробництва збірних конструкцій із ПКМ.

Список літератури

1. Колганов, И. М. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Часть 1 / И. М. Колганов, П. В. Дубровский, А. Н. Архипов. Ульяновск. гос. техн. ун-т, 2013 – 148 с.
2. Building the world's largest passenger aircraft wings, www.cadinfo.net

3. Composite in Airbus, Guy Hellard, 2010
4. Composite wings near to major assembly, Siobhan Wagner, 2009
5. Taking carbon fibre to new heights, Aerospace Manufacturing Magazine, 2010
6. The Final Frontier, Aerospace Manufacturing Magazine, 2010
7. A350 composites – innovative, yet proven, Aircraft Technology Engineering & Maintenance, 2006
8. Building a dream(liner), Rockford Aerospace – Lorna Collier, 2008
9. Bombardier Spreads its Wings, Aerospace Manufacturing Magazine, 2010
10. Belfast Plant Tour FINAL, Belfast, Bombardier, 2009
11. CSeries Program Update, Bombardier, 2009
12. <http://superjet100.info>
13. <http://superjet.wikidot.com>
14. <http://mc-21.wikidot.com>
15. <http://sdelanounas.ru>
16. Carbon Fibre Composite Wing Manufacture, Paul Charnock, Robert Brown, Colin Whaites – British Aerospace Public Limited Company, 1993
17. Composite Wing and Manufacturing Process Thereof, Sam Williams – Williams International Corporation, 1994
18. Monolithic Composite Wing Manufacturing Process, Kari Appa, 2001
19. Wing of Composite and Method of Fabricating the Same, Amaoka Kazuaki, Nagao Takayuki, Harada Atsushi, Takizawa Naoya, Hideyuki Sano, Tol Yasuhiro, Hiraki Megumi – Fuji Jukogyo Kabushiki Kaisha, 2007
20. AST Composite Wing Program – Executive Summary, Michael Karal – The Boeing Company, Long Beach, California, 2001
21. Determinant Wing Assembly, Clayton Munk, Paul Nelson, David Strand – The Boeing Company, 1997
22. Method of Manufacturing a Composite Material Wing and a Composite Material Wing, Shigeki Tanaka, Atsushi Harada – Fuji Jukogyo Kabushiki Kaisha, 2004
23. The Art of Wing Assembly, Stuart Birch – European Editor, 2010
24. Automated Wing Panel Assembly for the A340-600, John Hartmann and Chris Meeker – Electroimpact, Inc.; Alan Minshull and Andrew Smith – Airbus UK, Ltd.; 2000
25. ASAT4-Enhanced Flexibility for the C-17, John Hartmann – Electroimpact, Inc., 1998
26. Assembly Fixture for 78 Section 11, Heavy Composite Assembly, Jim Yinger and Peter Zieve - Electroimpact, inc; Masatomo Nakada - FHI, Ltd., 2007
27. Automatic Wing Box Assembly Developments, Brian Rooks – Associate Editor of journal “Industrial Robot: An International Journal”, 2001
28. Automation Speeds A380 Wing Assembly, Brian J. Hogan – Editor, Manufacturing Engineering Magazine, 2005
29. Reconfigurable Flexible Tooling for Aerospace Wing Assembly, Alison Millar – Airbus Operations Ltd.; Henrik Kihlman – DELFOi, 2009
30. Composite Automatic Wing Drilling Equipment (CAWDE), Benjamen Hempstead, PE and Brent Thayer - Electroimpact; Stephen Williams - Airbus UK, 2006
31. HAWDE Five Axis Wing Surface Drilling Machine, Rick Calawa - Electroimpact, Inc.; Steve Smith, Ian Moore and Tony Jackson - Airbus UK, Ltd., 2004
32. One Piece Barrel Fastening, Naoya Hiratsuka, Tsuyoshi Osawa – Kawasaki Heavy Industries; Michael Assadi, Rick Calawa, Scott Smith, Scott Tomchick – Electroimpact Incorporated; Makoto Nitta – Fuji Industries Co., LTD; 2007;
33. True Offset Fastening, Michael D. Assadi, Carter L. Boad – Electroimpact, Inc., USA; Tsuyoshi Osawa – Kawasaki Heavy Industries, Japan; 2006

34. Wing Assembly System for British Aerospace Airbus for the A320, Dr. Peter Zieve, Ph.D. – Electroimpact, Inc.; Andrew Smith – British Aerospace – Airbus; 1997

35. Automated Wing Drilling System for the A380-GRAWDE, Scott Hogan, John Hartmann, Brent Thayer and Jack Brown – Electroimpact Inc, USA; Ian Moore, Jim Rowe and Mark Burrows – Airbus UK, 2003

36. A Two Tower Riveting Machine With a True Z Axis, Peter Zieve, Todd Rudberg and Peter Vogeli – Electroimpact, Inc.; Andrew Smith and Ian Moore – Airbus UK, Ltd., 2004

37. OEE for Operators: Overall Equipment Effectiveness / Институт комплексных стратегических исследований // Редактор – В. Болтрукевич, переводчик – И. Попеско. – 2007. – 120 с.

38. Пасічник В.А. Класифікація конструктивних і технологічних параметрів кесонних конструкцій із полімерних композиційних матеріалів / В.А. Пасічник, О.О. Хмуренко // Журнал інженерних наук. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 14-20.

39. Пасічник В.А. Конструктивно-технологічне моделювання композиційних конструкцій з використанням системного аналізу / В. А. Пасічник, О.О. Хмуренко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 4/7 (76). – С. 15-20.

40. <http://www.broetje-automation.de/en/>

Поступила в редакцию 21.03.2016

Пути повышения эффективности средств технологического оснащения для производства сборных конструкций из ПКМ

Рассмотрены и систематизированы основные пути повышения эффективности средств технологического оснащения для производства сборных конструкций из ПКМ, для формирования которых были проанализированы актуальные производственные программы современных авиационных конструкций. Результаты анализа и дополнительные исследования вопроса позволили сформировать комплекс специфических требований к такому оснащению и выделить основные резервы повышения его эффективности. Предложенные решения касаются возможности автоматизации современных авиастроительных предприятий.

Ключевые слова: эффективность и продуктивность оснащения, производство сборных конструкций из ПКМ.

Ways of increasing the means of technological equipment efficiency for assembly composite constructions production

In this work we have been reviewed and systematized the main ways of increasing the means of technological equipment efficiency for assembly composite constructions production, to form which current production programs of modern aircraft structures were analyzed. The results of the analysis, and more research is allowed to form a complex issue of specific requirements for such equipment and to identify the main reserves of its efficiency increasing. The proposed solutions relate to automation capabilities of modern aircraft construction enterprises.

Key words: equipment efficiency and productivity, assembly composite constructions production.