

УДК 621.77

ВИГОТОВЛЕННЯ ФРАГМЕНТУ ПОРОЖНИСТОЇ ЛОПАТКИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Тітов В.А., Гараненко Т.Р.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

***Анотація:** Розглянуті основні положення процесу виготовлення фрагменту порожнистої лопатки газотурбінного двигуна. Визначені конструктивні особливості порожнистої лопатки. Головні конструктивні особливості порожнистої лопатки: загальна ширина пера та загальна висота профіля лопатки, відстань між зонами з'єднання наповнювача та обшивки, товщина обшивки та наповнювача. Встановлені технологічні операції, що необхідні для виготовлення фрагменту порожнистої лопатки. Спроектовано пристрій для дослідження процесу виготовлення пластичним деформуванням типового елемента порожнистої лопатки. Надані результати відпрацювання процесу та рекомендації по його реалізації.*

***Ключові слова:** двоконтурні газотурбінні двигуни; вентиляторна лопатка; титанові сплави; широкохордові лопатки; полегшена лопатка; порожниста лопатка; надпластичність.*

Для створення додаткової тяги, зниження температури вихідного газу, зниження витрати палива і зменшення шуму газотурбінного двигуна великого поширення набули двох і трьохкаскадні схеми осювих компресорів. Газотурбінні двигуни з такою схемою компресорів називають двоконтурні газотурбінні двигуни. Осювий компресор розташований попереду називають компресором низького тиску, компресор розташований за ним - високого тиску [1].

Лопатка відноситься до робочих лопаток компресора низького тиску двоконтурного ГТД. Лопатка по конструктивній ознаці відноситься до типу окремих лопаток, які розрізняються по конструкції хвостової частини, завдяки якому вставляються в паз диска компресора. Сучасні вентиляторні лопатки в довжину досягають 2000мм [2,3].

При проектуванні великогабаритних лопаток необхідно вирішити наступні проблеми. Проблема пов'язана з забезпеченням допустимих віброннапружень в лопатках. Для демпфірування коливань і зниження віброннапружень лопатки вентилятора з великим подовженням виконують з антивібраційними полками на одному або декількох рівнях. Для виготовлення вентиляційних лопаток широко застосовують титанові сплави через малу питому масу. Крім того, титанові сплави чутливі до концентраторів напружень, якими є антивібраційні полки. Тому в наступному поколінні вентиляторних лопаток в конструкції немає антивібраційних полок, але застосовують значне розширення по хорді. Таке покоління вентиляторних лопаток називають широкохордові [4].

Широкохордові лопатки проявили хороші експлуатаційні та аеродинамічні характеристики, їх подальша модернізація полягає в усуненні головного недоліку надмірної маси. Питання по зниженню маси вирішується поєднанням двох напрямків: вдосконалення конструкції лопатки та використання різних матеріалів. Внаслідок виникло наступне покоління вентиляторних лопаток – полегшені. Виділилося кілька напрямків виготовлення полегшених лопаток вентилятора ГТД в залежності від матеріалів: створення металевих порожнистих лопаток, виготовлення лопаток з композитних матеріалів, і поєднання двох способів - гібридні лопатки і лопатки складової конструкції [5, 6, 7, 8, 9, 10].

На підставі цього вибрана та узгоджена з замовником конструкція металевої порожнистої лопатка з гофровим наповнювачем.

В конструкції порожнистої лопатки поєднано елементи, які використовуються в інших типах порожнистих деталей. Порожністі конструкції набувають широкого використання в інших галузях. Вони поєднали в собі дві головні риси: зменшення маси без втрати стійкості. Розглянемо детально металеву порожнисту лопатку гофрового типу.

Метою дослідження є розробка процесу деформування та його обґрунтування на основі досліджень основних закономірностей формоутворення порожнистих широкохордних лопаток.

На технологічні параметри процесу виготовлення порожнистої лопатки впливають конструктивні особливості елементів. Головні конструктивні особливості порожнистої лопатки: загальна ширина пера та загальна висота профілю лопатки, відстань між зонами з'єднання наповнювача та обшивки, товщина обшивки та наповнювача.

Для отримання порожнистої лопатки вирішені наступні задачі: проектування оснащення та установки для формоутворення фрагмента порожнистої лопатки, проведення випробувань по деформуванню титанових сплавів в умовах надпластичності, проведення випробувань по дифузійній сварці конструктивних елементів, технологічні дослідження деформування листового титана в умовах надпластичності, випробування заготовок на міцність та герметичність, відпрацювання технології формоутворення пера лопатки. Для вирішення поставлених задач була прийнята спрощена форма фрагменту металевої порожнистої лопатки гофрового типу, яка складається з трьох титанових листів (рис. 1.).

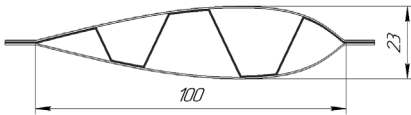


Рис. 1. Профіль фрагменту металевої порожнистої лопатки

Два листя формують корпус, один лист – наповнювач з нахиленими ребрами жорсткості. Такий тип порожнистої лопатки з титанових сплавів більш технологічний. Фрагмент профілю лопатки симетричний відносно горизонтальної осі, шириною пера 100мм, висотою 250мм,

висота профілю 23мм, відсутня закрутка пера.

Спроектовано пристрій призначений для дослідження деформування елементів порожнистої лопатки (рис. 2.). Заготовки складаються з двох або трьох листів, зварених по контуру.

Заготовка в пристрої розташовується в пічці на нагрівається до певної температури. Через штуцер подається під тиском газ аргон, в результаті чого формується порожниста лопатка. Середній лист формує перегородки.

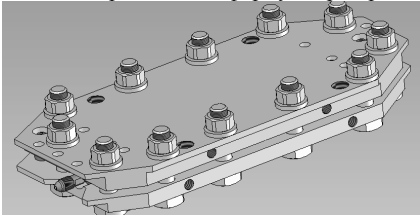


Рис. 2. Оснащення для отримання елемента порожнистої лопатки



Рис. 3. Фото отриманого зразка

На поверхню оснащення обов'язково наноситься захисне покриття, після цього заготовка поміщається між поверхнями двох матриць та з'єднуються болтами. Формоутворення відбувалося при 8300С, час формоутворення 60 хв тиском 3 атм.

Отримано елемент порожнистої лопатки з двох титанових листів сплаву ОТ4-0 товщиною 0,5мм (рис. 3.).

Визначені конструктивні особливості порожнистої лопатки. Отриманий фрагмент порожнистої металевої лопатки. Встановлені технологічні операції, що необхідні для виготовлення порожнистої лопатки. Технологічний процес виготовлення порожнистої лопатки вентилятора поляє в наступному:

1. Зібрати заготовки обшивки і наповнювача в пакет;
2. Нагріти пакет до температури дифузійного зварювання і здійснити з'єднання заготовок;

3. Здійснити пневмоформування для отримання порожнистого пера лопатки і формування ребер жорсткості.

Production of a fragment hollow blade of a gas turbine engine

Titov V.A., Garanenko T.R.

Abstract. The main provisions of the process manufacturing a fragment hollow blade of a gas turbine engine are considered. The design features of the hollow blade are determined. The main design features of the hollow blade are: the total width feather and the overall height of the blade profile, the distance between the zones of joint between the sheeting and the extender, the thickness of the sheeting and the extender. The established technological operations necessary for the manufacture of a fragment hollow blade. A device was designed to study the process of manufacturing by plastic deformation of a typical element hollow blade. The results of the process refinement and recommendations for its implementation are presented.

Keywords: bypass turbofan engine; fan blade; titanium alloy; wide-card blade; light-weight blade; hollow blade; superplastic

Изготовление фрагмента пустотелой лопатки газотурбинного двигателя

Титов В.А., Гараненко Т.Р.

Аннотация. Рассмотрены основные положения процесса изготовления фрагмента пустотелой лопатки газотурбинного двигателя. Определены конструктивные особенности пустотелой лопатки. Главные конструктивные особенности конструкции пустотелой лопатки: общая ширина пера и общая высота профиля лопатки, расстояние между зонами соединения наполнителя и обшивки, толщина обшивки и наполнителя. Установленные технологические операции, необходимые для изготовления фрагмента пустотелой лопатки. Спроектировано устройство для исследования процесса изготовления пластическим деформированием типового элемента пустотелой лопатки. Представлены результаты обработки процесса и рекомендации по его реализации.

Ключевые слова: двухконтурные газотурбинные двигатели; вентиляторная лопатка; титановые сплавы; ширококордные лопатки; облегченная лопатка; пустотелая лопатка; сверхпластичность.

Список літератури

1. Иноземцев А.А. Газотурбинные двигатели. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Том 2. А.А. Иноземцев, М.А. Нихамкин, В.Л. Сандрацкий. – М.: Машиностроения, 2007. – 396 с.
2. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора. Часть 1 / В.А. Богуслаев, Ф.М. Муравченко и др. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003. – 420 с.
3. Машошин О.Ф. Рабочие лопатки авиационных ГТД: конструкции, прочность, эксплуатация / О.Ф. Машошин, Б.А. Чичков. – М.: МГТУ ГА, 2017. – 80 с.
4. М.Ш. Нихамкин, О.Л. Любчик Теоретические коэффициенты концентрации напряжений в полых лопатках вентилятора с повреждениями // Вестник ПНИПУ, Аэрокосмическая техника -2012 -№32-С.25-35
5. Гусев Ю.А. Анализ напряженно-деформированного и динамического состояния ширококордной лопатки вентилятора ТРДД / Ю.А. Гусев, Ф.Ф. Сиренко, Н. Бабиито, В.В. Бойко // Вестник двигателестроения. – 2010. - № 2. – С. 109-113.
6. Павлов В.П. Прочность лопатки компрессора авиационного двигателя при замене титанового сплава на композиционный материал / В.П. Павлов, Э.М. Нусратуллин, А.А. Филиппов // Вестник УГАТУ. – 2011. - № 4. – с.98-106.
7. Корягин А.А. Разработка конструкции моноколеса вентилятора с полыми лопатками для ТРДД высокой степени двухконтурности /А.А. Корягин, С.В. Багров, К.Р. Пятушин // Электронный журнал «Труды МАИ». – 2011. - № 45.
8. Потапов С.Д. Обеспечение прочностной надежности полых ширококордной лопатки вентилятора с учетом особенностей этапов ее жизненного цикла / С.Д. Потапов, Д.Д. Перепелица // Двигатель. – 2010. - № 5. – С.30-33.
9. Слободкина Ф.А. Оптимизация формы лопатки газовой турбины методами математического моделирования / Ф.А. Слободкина, В.В. Малинин, А.В. Малинин // Двигатель. – 2011. - № 5. С. 28-30.
10. Ахунов А.Х. Расчет полей перемещений трехслойных полых конструкций для неразрушающего контроля качества методом цифровой голографической интерферометрии /А.Х. Ахунов, С.В. Дмитриев, Р.В. Сафиуллин, А.Р. Сафиуллин, Ф.Ф. Сафин // Письма о материалах. – 2012. – т. 2. – С. 90-94.