

УДК 621.7.044

С.И. МОЛОДЫХ, В.В. ТРЕТЬЯК

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ПОЛЫХ ШИРОКОХОРДНЫХ ЛОПАТОК ВЕНТИЛЯТОРА ТРДД**

Получение крупногабаритных лопаток современных газотурбинных двигателей представляет большую и актуальную технологическую проблему в авиадвигателестроении. В настоящей статье в качестве решения данной проблемы предлагается технология изготовления крупногабаритных пустотелых трехслойных лопаток. Процесс заключается в изготовлении лопатки полый конструкции из 3 составных элементов с последующей их высокотемпературной пайкой. Составные элементы лопатки (спинка, корыто и сотовый наполнитель) изготавливаются штамповкой взрывом. Предлагаемая технология позволит по сравнению с традиционными процессами получать лопатки с более высокими технико-эксплуатационными характеристиками, а также значительно снизить затраты на их производство.

технология, деформирование, лопатки вентилятора, динамическая правка, косой удар, матрица, листовая заготовка, двойная кривизна, точность, контактные напряжения, модель

Создание экономичных турбореактивных двигателей с высокой степенью двухконтурности вызвало проблему разработки высокоэффективного одноступенчатого вентилятора. Вентилятор играет ключевую роль в создании взлетной тяги (около 75%) силовой установки и от него зависит в значительной степени экономичность двигателя и его ресурс. В этой связи к нему предъявляются высокие требования, как на этапе производства, так и при эксплуатации. Основными элементами вентилятора являются лопатки.

Получение крупногабаритных лопаток современных газотурбинных двигателей представляет большую и актуальную технологическую проблему в авиадвигателестроении. Их производство вызывает определенные трудности связанные с высокими требованиями к точности выполнения сложнофасонных поверхностей пера и геометрии хвостовой части, трудной обрабатываемости материалов применяемых при их изготовлении, а также значительными затратами при подготовке производства.

В настоящее время на крупногабаритные вентиляторные лопатки изготавливают из цельных монолитных титановых штамповок, получаемых горячей

ковкой на мощном прессовом оборудовании в защитной атмосфере. Технология требует больших затрат при подготовке и производстве, КИМ изделий составляет не более 0,18 – 0,22. Эксплуатационные характеристики также не высокие – антирезонансные полки ухудшают аэродинамику вентилятора и весовые параметры лопаток.

Одним из методов решения данной проблемы является выполнение лопаток вентилятора пустотелыми.

Такие лопатки находят все большее применение западными фирмами для двухконтурных двигателей с тягой в диапазоне 61-258 кН [1]. При этом расход топлива уменьшается на 2,5%.

Однако, внедрение таких конструкций сдерживается ограниченными возможностями отечественных технологий, не позволяющих изготавливать многослойные полые лопатки.

Для решения вопроса по созданию новой конструкции лопатки предусматривалось взаимосвязанное комплексное конструктивно-технологическое решение с учетом технологических возможностей импульсных методов обработки давлением взрыва и достижений высокотемпературной пайки.

Области рационального применения импульсных методов обработки листа достаточно четко определены [2], и постоянно расширяются. Учитывая глобальные тенденции развития технологии машиностроения [3], авторы обратили свое внимание на положительный опыт получения точных оболочек двойной кривизны методом импульсной пространственной правки [4].

Следует отметить, что доля штампованных и штампованных деталей в производстве постоянно увеличивается, и это объясняется высокой производительностью процесса штамповки, стабильностью качества и размеров деталей, малой долей ручного труда, высоким коэффициентом использования материала, и как следствие этого – низкой себестоимостью

продукта. При этом возможно деформировать высокопрочные, малопластичные материалы, имеющие переменную толщину по длине и по ширине заготовки, а также возможно технологически увеличивать жесткость отштамповки без изменения конструкции всего изделия с целью обеспечения безинструментальной термофиксации.

Однако, производство точных маложестких оболочек, к которым можно отнести и лопасти вентилятора, связано с большими трудностями и, несмотря на очевидные преимущества перед другими методами обработки металлов, прессовая штамповка имеет существенные недостатки и ограничения, которые нередко отрицают сам принцип обработки металла давлением.

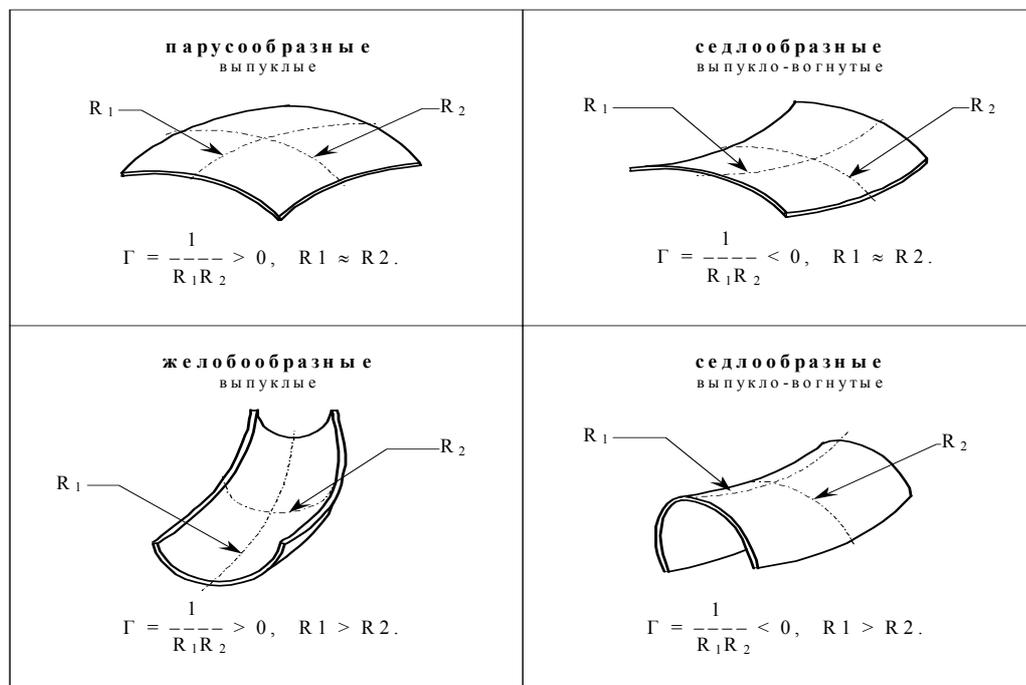


Рис. 1. Классификатор оболочек двойной кривизны

Основной недостаток это высокая стоимость оборудования – прессов, большой срок окупаемости капитальных затрат, сложность наладки и обслуживания, требование высокой квалификации рабочих и, особенно, наладчиков, дороговизна технологического оснащения.

Ну и, конечно, чисто технологические ограничения прессов – ограниченные давления и габариты

изделий, вертикальное направление нагрузки.

Существуют два основных прессовых метода изготовления крупногабаритных оболочек двойной кривизны (рис. 1) – мелкое технологическое членение, штамповку частей на большом количестве дорогостоящей оснастки и последующую сборку их в стапеле со сваркой и ручной рихтовкой для устранения поводов.

Сегодня импульсной обработкой металлов (ИОМД) взрывом освоены все процессы формовки, вытяжки, растяжки, однако, они в основном повторяют прессовые схемы и методы деформирования. Поэтому метод ИОМД до последнего времени имел почти те же и ограничения по формам, габаритам и предельной штампуемости, что и прессовая штамповка. В результате область эффективного применения этого ресурсосберегающего метода неоправданно сужалась, имея дополнительные ограничения по производительности и совместимости с традиционным производством.

Корни многих из перечисленных проблем лежат в неточном, упрощенном представлении финальной фазы динамического деформирования и теоретического его описания, пренебрежением некоторых факторов, считавшихся второстепенными. При реальных скоростях штамповки взрывом листовых металлов от 20 до 250 м/с существенный вклад в формообразование вносит прочность металла и неодномоментность столкновения заготовки с матрицей. Эффект косоугольного соударения значительно меняет характер и результат соударения по сравнению с плоским соударением. Причиной этого является несовпадение формы движения заготовки при динамической штамповке с формой матрицы. В 99% вариантах деталей соударение происходит под углом, по линии движущейся к середине детали с образованием складки перед зоной контакта.

Косое соударение вызывает эффект правки и присутствует в разной мере абсолютно во всех динамических процессах листовой штамповки и сильно влияет на его результаты. Оно сопровождается комплексом сложных и малоизученных явлений: значительные сдвиговые и контактные напряжения, которые вызывают существенное изменение размеров и формы деталей, потерю пластичности и устойчивости, упрочнение и разупрочнение металла, перераспределение напряжений и пружинение. Штамповка правкой происходит при малых пере-

мещениях металла и является по физической сути динамической прокаткой.

Исследования процесса правки позволили существенно расширить области эффективного применения импульсной обработки листовых металлов давлением взрыва, повысить технологические возможности производства при снижении затрат и повышении качества разнообразных сложных и крупногабаритных оболочек двойной кривизны повышенной точности из высокопрочных сплавов.

Благодаря изучению эффекта косоугольного соударения заготовок с матрицей при формоизменении создана система технологий, в которых параметрами удара управляют (используют при положительном его воздействии и устраняют или уменьшают эффект при отрицательном влиянии его на процесс формоизменения). Авторами найдены методы управления процессом, разработаны методики расчета технологии и определены пределы ее применимости.

Математическое моделирование подтверждает механизм прокатки и приближение заготовки к форме матрицы – эффект правки при определенной, оптимальной скорости в диапазоне 120 – 180 м/с. Экспериментально установлено, что при увеличении скорости точность падает из-за отскока.

Преимущества новых решений заключаются в меньшей энергоемкости процесса, повышенной точности, сокращении затрат, расширении технологических возможностей по габаритам, повышении прочности и снижении потребной пластичности обрабатываемых металлов.

Современные прогрессивные способы сварки и пайки, успешно применяемые в авиационной промышленности, и обеспечивающие высокую прочность и выносливость соединений. Они гарантируют создание достаточно надежных неразъемных соединений конструкций, позволяют изменить существующую технологию изготовления крупногабаритных лопаток. Применение сварки и пайки дает возможность разбивать лопатку на несколько простых

элементов, которые в свою очередь могут быть изготовлены без особых затруднений.

Разработанный технологический процесс заключается в следующем. Лопатка изготавливается из трёх составных элементов – спинки, корыта и сотового наполнителя (рис. 2).

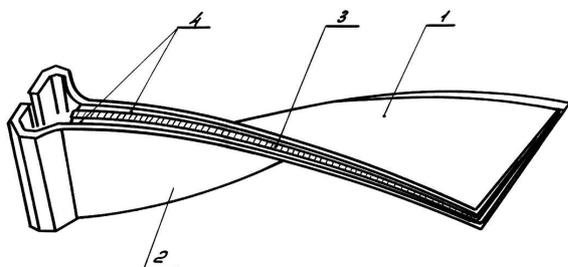


Рис. 2. Трехслойная лопатка ТРДД:

1 – спинка; 2 – корыто;

3 – сотовый наполнитель; 4 – слой припоя

Спинка 1 и корыто 2 изготавливается из титанового (сплава ВТЗ-1) катаного листа переменной толщины по высоте лопатки, путем штамповки энергией взрыва.

Для обеспечения переменной толщины перед штамповкой заготовка подвергается химическому фрезерованию. Причем штамповку элементов лопатки производят так, чтобы спинка пустотелой лопатки штамповалась по пуансону, а корыто по матрице [5].

При этом внешняя поверхность заготовок может быть отполирована перед штамповкой и обращена к передающей среде.

Это обеспечивает необходимое качество поверхности простым путём.

Для получения необходимой точности штамповки наружные элементы лопатки штампуются с технологическим рифтом жесткости в зоне припуска по контуру полуфабриката. После чего он термофиксируется, а затем технологический припуск вместе с рифтом обрезается.

Хвостовая часть лопатки типа "Ласточкин хвост" выполняется также полый конструкции и состоит из двух частей, которые формуется на утолщённом конце заготовки одновременно со штамповкой пера спинки, и корыта. Сотовый наполнитель 3, поме-

щаемый между корытцам и спинкой изготавливается из титановой фольги путем формовки энергией взрыва.

При этом высота наполнителя переменная по сечению профиля и соответствует толщине лопатки.

Изготовленная таким образом многослойная конструкция из штампованных пластин двойной кривизны и сотового наполнителя соединяется в единую деталь с помощью диффузионной сварки.

С целью повышения прочности и жесткости сварной конструкции перед диффузионной сваркой между элементами лопатки прокладывают высоко-температурный припой.

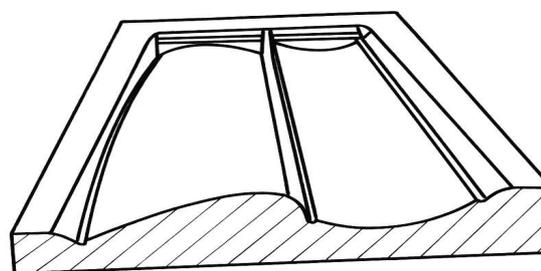


Рис. 3. Матрица для штамповки спинки и корыта

Изготовленная таким образом многослойная конструкция из штампованных пластин двойной кривизны и сотового наполнителя соединяется в единую деталь с помощью диффузионной сварки.

С целью повышения прочности и жесткости сварной конструкции перед диффузионной сваркой между элементами лопатки прокладывают высоко-температурный припой.

Одновременно со сваркой лопатка подвергается термофиксации для получения минимальных отклонений от заданных геометрических размеров, поскольку при сварке происходит резкое увеличение жесткости детали и исключаются поводки.

В целях повышения производительности способа и снижения затрат штамповка спинки и корыта лопатки осуществляется одновременно из объединенной заготовки, при этом формирующие поверхности спинки 1 и корыта 2 матрицы (рис. 2, 3) размещают так, чтобы элементы лопатки сопрягались по прямо-

линейной передней, кромке через технологический припуск.



Рис. 4. Лопатка после термофиксации и отделения припуска

Экспериментальный прототип лопатки, на котором отрабатывалась технология, после удаления припуска представлен на рис. 4.

Деталь 600 × 250 мм штамповалась взрывом по безбассейновой технологии, линейными распределенными зарядами, за один переход. Использовалась методика правки с организацией косоугольного соударения с матрицей. Отклонения детали от матрицы после штамповки носят равномерный характер и не превышают 0,2 мм. График отклонений представлен на рис. 5.

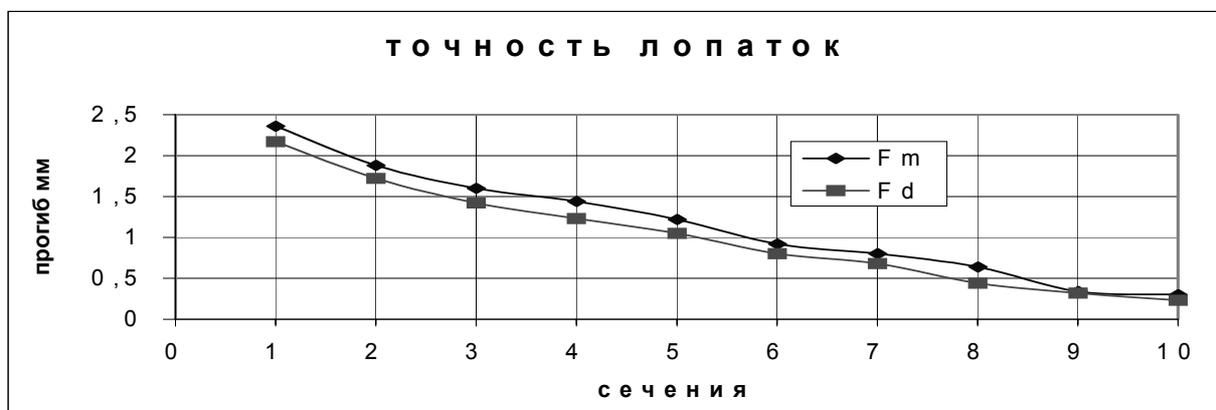


Рис. 5. Характеристика точности

Коэффициент использования материала в предполагаемом варианте лежит в пределах 0,6 – 0,85, что в 3 – 4 раза выше традиционного варианта.

Предлагаемая технология позволит по сравнению с традиционными процессами получить лопатку с более высокими технико-эксплуатационными характеристиками, а также значительно снизить материальные, энергетические и временные затраты на производство, что будет способствовать повышению конкурентоспособности отечественных моторостроительных предприятий.

Литература

1. Новости науки и техники // Сборник рефератов по материалам зарубежной печати. Серия “Авиационное двигателестроение”. – М.: ЦИАМ. – 1988. – № 7. – С. 7.

2. Борисевич В.К., Молодых С.И. Количественный анализ областей эффективного применения импульсных методов штамповки // Технология системы. – К. – 2002. – С. 37-41.

3. Молодых С.И. Технологические аспекты импульсной штамповки // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Х.: ХАІ, 1999. – Вип. 14. – С. 68-71.

4. Розробка безбасейнової технології штампування вибухом оболонок подвійної кривини // Отчет по теме №ДЗ/69-2006(МИНТ-15-06). – Х., 2007. – Г.Р.№0106U006055

5. Пихтовников Р.В., Завьялова В.И. Штамповка листового металла взрывом. – М., Машиностроение, 1964. – 175 с.

Поступила в редакцию 12.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.Ф. Симбирский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.