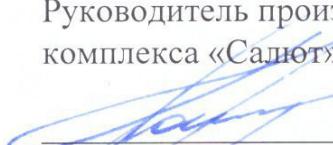


ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС «САЛЮТ»

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель производственного
комплекса «Салют» АО «ОДК»

 А.Н. Громов

 «12 » апреля 2023 г.

Конкурсная работа

в номинации «За создание новой технологии»

(указывается номинация конкурса)

в конкурсе «Авиастроитель года» по итогам 2022 года

«Способ изготовления биметаллического рабочего колеса турбины с охлаждаемыми лопатками»

(указывается наименование работы)

Москва 2023 год

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Термины, определения.....	2
2.	Введение.....	2
3.	Цель работы.....	4
4.	Актуальность работы.....	4
5.	Краткое описание работы	5
6.	Результаты и практическая значимость выполненных работ	7
7.	Заключение	7

1. Термины, определения

Блиск (англ. Bladed disk) – ступень ротора, лопатки которого составляют единое целое с диском ротора

БМРК – биметаллическое рабочее колесо

Ротор турбины – вращающаяся часть турбины, состоящая из диска, лопаток и вала

ТВД – турбина высокого давления

ТРИЗ – теория решения изобретательских задач

2. Введение

Ротор турбины работает в условиях неравномерного нагрева и нагружения, поэтому требования к материалам диска и лопаток различны. Материал диска в области ступицы и полотна должен обладать высоким сопротивлением малоцикловой усталости и развитию трещин при умеренной температуре, а в области обода, работающей при более высокой температуре, и длительной прочностью. Материал лопаток подвержен температурам до 1100 °C и должен иметь высокое сопротивление ползучести и многоцикловой усталости. В традиционной конструкции рабочего колеса турбины высокого давления лопатки и диск, изготовленные из разных марок жаропрочных сплавов, соединяются при помощи замков, выполняемых на

хвостовиках лопаток и ободе диска. Замковое соединение имеет среди недостатков необходимость изготавливать массивный обод диска и хвостовики лопаток сложной формы, что связано с высокой трудоёмкостью технологии и металлоемкостью конструкции, а также обеспечения малой площади контакта лопаток с диском, за счет которой образуются концентраторы напряжений.

Перспективной является конструкция БМРК типа блиск, которая по отношению к ТВД авиационного двигателя является новой, опытной, требующей разработки технологии производства.

БМРК ТВД представляет собой беззамковую конструкцию. При этом лопатки и диск изготавливаются из разных марок жаропрочных сплавов и соединяются при помощи диффузионной сварки в процессе горячего изостатического прессования (ГИП). Достоинства БМРК в отсутствии необходимости выполнять обод диска для «елочного» соединения лопаток с диском и в большой площади контакта лопатки с диском. Отсутствие обода снижает массу рабочего колеса в целом и перераспределяет массу ротора, обеспечивая более легкое вращение ротора и повышая его долговечность.

Отсутствие обода и замков лопаток позволяет снизить массу рабочего колеса ТВД двигателя АИ-222-25 на 24% (на 7,24 кг). При этом, учитывая облегчение колеса на значительном удалении от ступицы, и как следствие, снижение центробежной нагрузки, возможно дальнейшее снижение массы за счет уменьшения толщины обода и ступицы диска. Общее снижение массы рабочего колеса возможно на более чем 30% (на 9 кг).

Технологическое решение, разработанное вместе с конструкцией блиска, предусматривает применение промежуточной операции пайки лопаток в технологическое кольцо и изготовление капсул для удержания лопаток и обеспечения герметичности при горячем изостатическом прессовании (ГИП). Недостатком известной технологии является необходимость проведения процесса пайки. Процесс пайки требует изготовления массивных технологических деталей

капсулы (кольца и крышек) с точными размерами зазоров под пайку лопаток. Операции подбора лопаток для обеспечения точных зазоров, установка лопаток в кольцо, сборка и удаление капсулы и последующее удаление технологического кольца являются трудоемкими, они удороожают технологию. Кроме того, имеются риски брака паяных швов и неравномерной насыпки порошка в капсулу, так как проконтролировать качество паяных швов и равномерность насыпной плотности порошка неразрушающими методами контроля невозможно. После выполнения своей функции технологическое кольцо необходимо полностью удалять (вырезать или вытравливать), что тоже очень трудоемко.

Как видно из приведенного выше описания технологии изготовления БМРК ТВД, наиболее сложной и трудоемкой ее частью является процесс пайки, который находится в технологическом процессе далеко от конечного результата, и который следует оптимизировать.

3. Цель работы

Предложить совершенную технологию изготовления БМРК ТВД для снижения массы ротора турбины, а также обеспечить экономичность и надежность технологии изготовления биметаллических рабочих колес турбин путем свертывания процесса пайки и отсутствии необходимости изготавливать массивные технологические детали. Свертывание пайки может быть осуществлено в случае обеспечения герметичности соединения лопаток и диска при ГИП другими, более экономическими способами. Поставленная цель изобретения достигается тем, что основные компоненты технической системы «биметаллическое рабочее колесо турбины» сами выполняют функции удержания лопаток и обеспечения герметичности при ГИП.

4. Актуальность работы

Уменьшение массы рабочего колеса ТВД ведет к улучшению приемистости двигателя, имеющего в своей конструкции биметаллический ротор типа блик (рис.1). Это происходит потому что снижение массы рабочего колеса особенно в районе обода позволяет уменьшить инерционные силы, которые затрудняют быстрое

изменение скорости вращения турбины. Уменьшение массы рабочего колеса турбины также позволит увеличить частоту вращения турбины, что улучшает отклик двигателя на изменения нагрузки. По данным зарубежных исследователей, именно тяжелый обод диска с замками лопаток в настоящее время сдерживает реализацию увеличения частоты вращения ротора турбины. В свою очередь, повышение газодинамической эффективности рабочего колеса турбины приводит к возможности повышения КПД двигателя.



Рис.1

5. Краткое описание работы

Предлагается технология изготовления биметаллического рабочего колеса турбины из высокопрочного сплава лопаток и жаропрочного гранулированного никелевого сплава диска без применения пайки лопаток в технологическое кольцо и без необходимости изготовления капсулы.

Строго говоря, для изготовления конструкции БМРК свариваются три элемента: лопатки, диск и порошок. Капсула только обеспечивает герметичность.

Применяем инструмент ТРИЗ «идеальный конечный результат»: Икс-элемент, абсолютно не усложняя систему и не вызывая вредных явлений, устраняет излишнюю

трудоемкость изготовления технологической оснастки, сохраняя герметичность капсулы.

Получаем идею: диск турбины сам работает как капсула, удерживая лопатки и порошок в пространстве и обеспечивая вакуум, не мешая процессу сварки и не прекращая выполнять свою функцию – останавливать прессование порошка. Это достигается путем изготовления индивидуальных капсул для каждой лопатки вместо одной большой капсулы.

Развивая идею, получаем техническое решение: выполнить в заготовке диска пазы под ножки лопаток, засыпать в них слой порошка и предварительно запрессовать лопатки в пазы с порошком (рис.2). Выполнить каналы для откачки воздуха из пазов, заварить отверстия каналов в вакууме после откачки воздуха. Затем можно выполнять диффузионную сварку при ГИП.

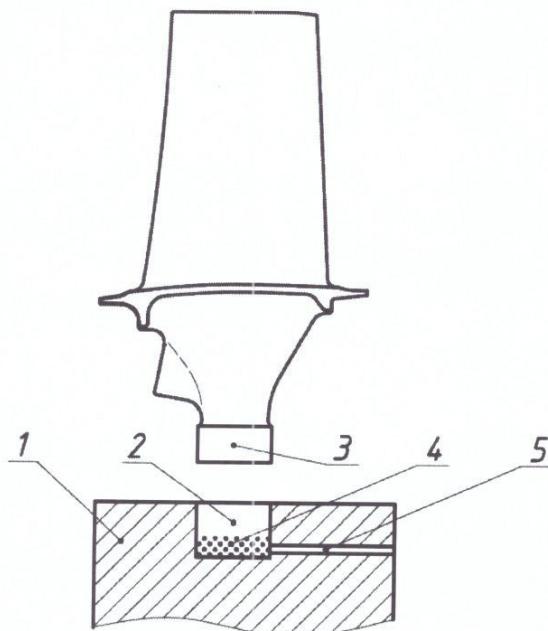


Рис.2

1 – заготовка диска, 2 – полость под хвостовик лопатки, 3 – хвостовик лопатки, 4 – порошок для диффузионной сварки, 5 – канал для выхода воздуха.

Технология более не предусматривает никаких посторонних элементов. Все потребности технологической системы обеспечиваются средствами основных ее компонентов.

В отличие от диффузионной сварки лопаток, впаянных в кольцо с заготовкой диска, где порошок расположен во всем кольцевом зазоре между лопатками и заготовкой диска, в предлагаемой технологии порошок засыпается в полости, площадь поперечного сечения которых равны площади поперечного сечения торцов хвостовиков лопаток и объем которых минимален. Этим достигается максимальная экономия порошка для диффузионной сварки.

6. Результаты и практическая значимость выполненных работ

Получен патент на изобретение № 2766654.

Конструкция и технология БМРК ТВД включена в перечень инноваций для двигателя шестого поколения.

Ведутся работы по изготовлению опытного образца БМРК. В частности, в 2022 году методом литья получена партия заготовок лопаток.

7. Заключение

Современные проблемы требуют современных решений. Инструменты ТРИЗ позволяют получать сильные решения для достижения целей.

Информация об авторах

Ремпель Георгий Борисович – главный специалист по системам автоматизированного проектирования опытного конструкторского бюро производственного комплекса «Салют» АО «ОДК». Работает в организации с 2011 года. Обладает компетенциями в области проектирования форсажных камер и турбин авиационных двигателей, в составлении методических указаний, инструкций пользователя и в преподавании САПР, является ТРИЗ-специалистом 3 уровня.

Ясинский Валентин Васильевич – главный специалист отдела турбин опытного конструкторского бюро производственного комплекса «Салют» АО «ОДК». Работает в организации с 2007 года. Является экспертом по турбинам авиационных двигателей.

Кружалов Алексей Геннадьевич – инженер-конструктор 2 категории отдела турбин опытного конструкторского бюро производственного комплекса «Салют» АО «ОДК». Работает в организации с 2020 года. Обладает компетенциями в области проектирования турбин авиационных двигателей, в составлении инструкций пользователя и в преподавании САПР, является ТРИЗ-специалистом 1 уровня.