

## ОПЫТ СОЗДАНИЯ БЛОЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ СОПЛОВЫХ АППАРАТОВ ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО И СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОГО ГТД

Ефремов Д.В., Загребельная В.С., Терешко В.Ю.  
ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара

*Ключевые слова:* одиночные сопловые лопатки, секция сопловых лопаток, процесс сборки, паяное соединение, турбина, герметизация стыков

В рамках доводки до проектных значений параметров ТРДД с большой степенью двухконтурности возникла необходимость значительного снижения удельной массы турбины с одновременным улучшением эффективности работы ее ступеней.

В поиске путей реализации поставленных целей установлено, что наиболее эффективным методом является сокращение количества элементов в конструкции сопловых аппаратов в первую очередь путем объединения сопловых лопаток в единый блок по три лопатки - это позволит снизить количество уступов по стыковым поверхностям лопаточного венца и уменьшить площадь мест утечек рабочего тела, а как следствие, значительно повысить основные характеристики ступени турбины. Дополнительным мероприятием повышения эффективности работы ступени рассмотрено ужесточение требования по шероховатости поверхностей трактовых поверхностей с целью снижения гидравлических потерь.

Эффективность мероприятия по массе турбины в расчетной оценке составила более 2% относительно массы всей составной части. В первую очередь за счет объединения деталей системы охлаждения и наддува внутренних полостей турбины, компонентов уплотнения стыковых поверхностей трактовых полок лопаточного венца и литейных приливов для размещения уплотнения.

Однако для взвешенной оценки стоит обратить внимание на трудности связанные с технической реализацией и экономической целесообразностью разработанных мероприятий.

Технические ограничения связаны с тем, что на текущий момент сохраняются высокие риски не реализации конструктивного исполнения при безусловном обеспечении приемлемого показателя уровня выхода годных деталей, которые удовлетворяли бы заявленным механическим свойствам для обеспечения работоспособности исходя из условий работы.

Учитывая совокупности факторов, описанных выше с целью утверждения конструктивного облика, принято решение о проведении сравнительной экспериментальной оценке эффективности работы турбины в составе изделия с сопловыми аппаратами в одиночном и блочном исполнении с ужесточенным классом чистоты поверхности.

В ходе реализации поставленной цели была разработана программа опытного изготовления блока сопловых лопаток методом пайки из ранее стоявших и отстраненных от испытаний лопаток изделия и выполнения термоциклических испытаний.

В рамках программы отрабатывалась технология соединения трех одиночных лопаток в блок, методология контроля качества паяного соединения рентгенографией и проверка термо-устойчивости соединения под воздействием высокой температуры до 1200 °С. В заключительной стадии программы выполнялась разрезка блока на отдельные лопатки по местам соединения с целью выдачи заключения о достоверности результатов контроля рис. 1 и 2.



Рис. 1 – Общий вид паяного блока сопловых лопаток



Рис. 2 – Вид паяного соединения после термоциклических испытаний и разрезки блока сопловых лопаток

Обеспечение требуемой чистоты поверхности достигалось полировкой профиля пера и тракта образующих полок до значений шероховатости Ra 2,5.

По итогам работы разработаны и апробированы методы соединения сопловых лопаток в блок, определен объем и порядок технологических операций и установлены правила приемки качества паяного соединения, которые вошли в состав программы на сборку объектов испытания.

Следующим этапом стало определение объема и порядка действий для обеспечения собираемости блочных лопаток в единый сопловой аппарат. Сложности сборки были связаны с тем, что осевая фиксация одиночных лопаток в корпусе внутреннем соплового аппарата осуществляется по средствам телескопического соединения через бобышки, предназначенные для транспортировки воздуха для наддува внутренних полостей и лабиринтных уплотнений изделия. Обеспечение монтажа секций осуществлялось удалением двух крайних бобышек и введением взамен них двух втулок, в которых реализовано осевое и радиальное «плавание», компенсирующее смещение образовавшегося при соединении лопаток в единый блок. Окружное положение аппарата в составе турбины обеспечено за счет удаления 2/3 фиксирующих штифтов на наружных корпусах рис. 3.

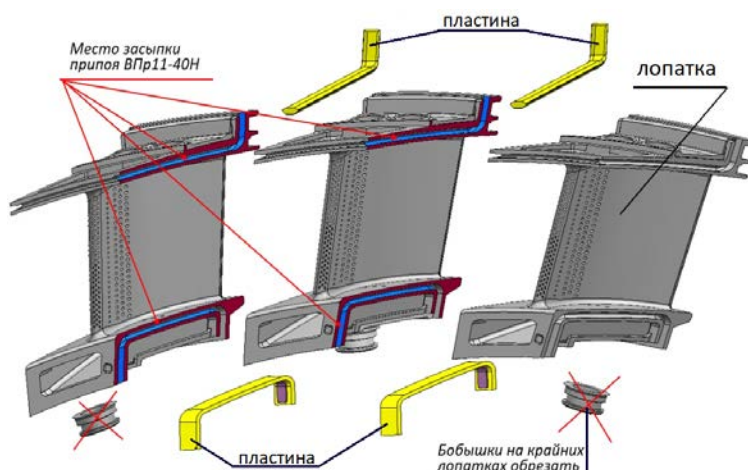


Рис. 3 – Эскиз требований паяного соединения сопловых лопаток в блок с мероприятиями по обеспечению собираемости

В дальнейшем столкнулись с проблемой герметизации зазоров в стыках сопловых секций, которые проявились по результатам ложной сборки аппаратов и значительно превышали расчетно определенные значения и их разброс рис. 4. Стоит отметить, что суммарная площадь зазоров по стыкам сопловых секций на прямую влияет на массовый расход утечек и оказывает значительное негативное влияние на температурное состояние деталей и давление во внутренних полостях турбины.



Рис. 4 – Зазоры по стыкам сопловых секций в составе аппарата

Сложность заключалась в том, что необходимо обеспечить надежное соединение элементов уплотнения стыковых поверхностей для исключения утечек из проточной части турбины через щели в зазорах. Решение данной проблемы реализовано по средствам изготовления индивидуальных уплотнителей и соединение с секцией стороны корыта также методом пайки и индивидуальной подгонкой по месту сопряжения рис. 5.

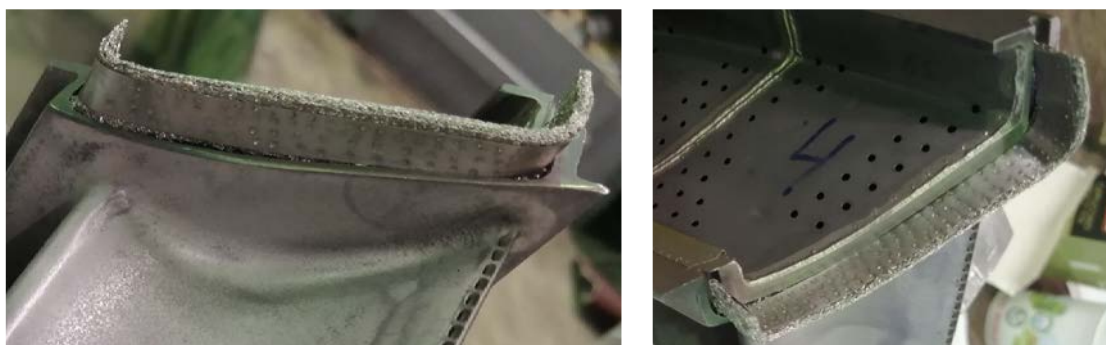


Рис. 5 – Общий вид уплотнительного элемента

По результатам комплекса проведенных работ собрано изделие с опытными образцами сопловых аппаратов в блочном исполнении и направлены на испытания с целью определения влияния мероприятий по повышению эффективности работы ступеней турбины.

Экспериментальная оценка влияния эффективности внедрения мероприятий показала положительный эффект как по приведенной полной температуре газа в горле первого соплового аппарата турбины, так и по удельному расходу топлива опытного образца.

Дефектация материальной части после испытаний показала, что состояние сопловых лопаток в блочном исполнении удовлетворяет требованиям норм износа согласно технической документации. Паяное соединение лопаток в хорошем состоянии без разрушения и следов окисления соединения, исходя из чего можно сделать вывод о работоспособности данного метода изготовления сопловых лопаток в блочном исполнении, однако однозначно утверждать, о надежности данного конструктивного решения в рамках требуемого межремонтного ресурса, нельзя и принято решение об освоении конструкции сопловых лопаток из отливок секции по три лопатки в блоке.

## EXPERIENCE OF CREAT A BLOCK DESIGN OF NOZZLE DEVICES OF A HIGH AND MEDIUM PRESSURE TURBINE OF A MODERN GAS TURBINE ENGINE

Efremov D.V. Zagrebel'naya V.S., Tereshko V.Yu.  
JSC Kuznetsov, Samara, Russia,

*Keywords: single nozzle vanes, nozzle vane section, assembly process*