

# "НИИД" - РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

**Валерий Александрович Гейкин**, Заместитель генерального директора - Руководитель приоритетного технологического направления "Технологии двигателестроения" АО "ОДК", Директор филиала "НИИД" АО "НПЦ газотурбостроения "Салют", доктор технических наук, профессор

**В АО "НПЦ газотурбостроения "Салют" специалистами "Научно-исследовательского института технологии и организации производства двигателей" (филиал "НИИД") проведено исследование технологических свойств новых материалов для перспективного двигателя и изготовлен опытный образец сварного ротора из жаропрочного никелевого сплава, а также крупногабаритная деталь внутреннего корпуса КВД из титанового интерметаллидного сплава.**

Создание двигателя нового поколения невозможно без решения принципиально новых конструкторских, технологических и материаловедческих задач. Причем взаимосвязь этих направлений настолько глубока, что в настоящее время уже почти невозможно установить четкую границу приоритетов и важности того или иного конструкторского решения, возможности конкретной новой технологии и свойств новых конструкционных материалов. При этом все указанные направления создания нового двигателя решают главную задачу - минимизацию массы отдельных узлов и всего ГТД при заданном их ресурсе и надежности.

Конструкция компрессора высокого давления (КВД) перспективного двигателя (ПД) должна работать при более высоких температурах на входе, масса узла должна быть меньше массы КВД двигателя предыдущего поколения при значительно увеличенном ресурсе.

В 2014 году на АО "НПЦ газотурбостроения "Салют" были начаты работы по изготовлению опытных образцов деталей и сварных узлов для конструкции перспективного двигателя. Исследовались технологические свойства новых сплавов, разработанных ФГУП "ВИАМ", применительно к конструкции КВД двигателя 5-го поколения. Важную роль в решении этих задач сыграли специалисты "Научно-исследовательского института технологии и организации производства двигателей" (филиал "НИИД").

За короткое время было решено много организационно-технических вопросов, начиная от технологии изготовления слитков новых сплавов, их последующей термической и механической обработки и заканчивая вопросами контроля качества материала изготовленных деталей, а также обеспечения их заданных геометрических размеров. Металлургическое обеспечение выполнения данной НИР проводили АО "МЗ" Электросталь" (Московская обл.), титановое производство ПАО "Чепецкий механический завод" (Глазов, Удмуртия) и ПАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА" (Верхняя Салда, Свердловская обл.) под руководством ФГУП "ВИАМ".

Новый титановый сплав, из которого были изготовлены рабочие колеса первых ступеней КВД, является псевдо- $\alpha$ -сплавом. Данный сплав по плотности соответствует плотности основных конструкционных титановых сплавов, а по характеристикам длительной прочности и малоциклового усталости значительно превосходит существующие дисковые сплавы BT18Y, BT8-1 и BT25Y. Основными преимуществами нового титанового сплава является его высокая рабочая температура (до 600 °С), которая значительно выше чем у других сплавов, а удачно подобранный химический состав позволяет изготавливать из него рабочие колеса близкой конструкции.

Зарубежными аналогами нового титанового сплава являются сплав IMI 834 (Великобритания) и Ti1100 (США). Эти сплавы также имеют рабочую температуру до 600 °С. Сплав IMI 834 ис-

пользован в первых ступенях КВД двигателя Trent 800 (Rolls-Royce), а сплав Ti1100 применен в конструкции КВД двигателя GE90 (General Electric). Новый титановый сплав значительно превосходит сплав IMI 834, имея квоты превосходства по разным показателям от 3,5 до 33 %. Особенно значимо преимущество по малоциклового усталости, которое достигает 13,5 %.

На кольцевых образцах из нового титанового сплава была отработана технология электронно-лучевой сварки (ЭЛС). Определены параметры режима ЭЛС, обеспечивающие получение бездефектного сварного соединения. Разработанный режим термической обработки обеспечивает механические свойства сварного шва, близкие к свойствам основного материала. Уровень остаточных напряжений в околосшовной зоне после термообработки имел низкие значения, соответствующие техническим условиям. Полученные результаты предварительных исследований были успешно реализованы при ЭЛС рабочих колес первых ступеней КВД.

Последние ступени КВД и вал были изготовлены из нового жаропрочного сплава на никелевой основе. Применение этого сплава позволило получить полностью сварную конструкцию ротора, что было сделано впервые в практике отечественного авиационного моторостроения. Вообще проблеме создания сварного ротора более 40 лет. Различными организациями и институтами разрабатывались схемы сварного соединения дисков из жаропрочных никелевых сплавов. По объективным причинам эти исследования заканчивались неудачей. Выход был найден тогда, когда было принято решение по изготовлению дисков из заведомо свариваемого никелевого сплава, который одновременно удовлетворял бы всем требованиям по прочности. Такой сплав был разработан в ФГУП "ВИАМ", и он является на сегодняшний день самым жаропрочным свариваемым никелевым сплавом. Аналогами нового сплава являются отечественные сплавы на никелевой основе ЭП708, ЭП718 и Inconel 718 (США). Квоты превосходства нового сплава по длительной прочности по сравнению с этими сплавами достигают 30 %, при этом рабочая температура сплава выше на 50 °С.

Так же как и в случае с новым титановым сплавом, специалистами "НИИД" были проведены работы по подбору режима электронно-лучевой сварки нового свариваемого жаропрочного никелевого сплава. Были исследованы различные схемы тер-



Рабочие лопатки КВД из нового титанового интерметаллидного сплава

мической обработки и после сравнительных испытаний образцов выбрана оптимальная.

Создание сварной конструкции ротора КВД позволит увеличить его жесткость, что, в свою очередь, значительно повысит ресурс ротора КВД и всего двигателя. Одновременно отказ от болтовой схемы соединения дисков снизит массу конструкции.

В выполненной работе впервые были изготовлены крупногабаритные детали из титановых интерметаллидных сплавов на основе орто-фазы  $Ti_2NbAl$  (внутренний корпус КВД) и опытная партия рабочих лопаток пятой ступени КВД. Титановые интерметаллидные сплавы с плотностью  $5100 \text{ кг/м}^3$  должны заменить никелевый сплав ЭП708 (плотность  $8550 \text{ кг/м}^3$ ), а сплавы с плотностью  $5280 \text{ кг/м}^3$  предназначены для замены лопаточного сплава ЭП718 (плотность  $8290 \text{ кг/м}^3$ ).

Кроме России, титановые сплавы на основе орто-фазы  $Ti_2NbAl$  и технологию изготовления деталей из них освоили четыре страны. Это США (сплав 22-23), Китай (сплав 22-20-3), Япония (сплав 22-20-2) и Франция (сплав 22-25-2-0.5). Сплавы, разработанные ВИАМ, находятся на уровне зарубежных аналогов.

Обладая высокими значениями удельной прочности, титановые интерметаллидные сплавы, вследствие недостаточной технологической пластичности требуют тщательной отработки технологических параметров типаковки, термообработки и последующей механической обработки.

Замена жаропрочных сплавов на основе титана, никеля и железа на алюминиды титана ( $Ti_3Al$ ,  $TiAl$ ,  $Ti_2NbAl$ ) позволит сни-



Внутренний корпус КВД из нового титанового интерметаллидного сплава

зить массу для статорных деталей на 20...40 %, а для роторных в дополнение к этому уменьшить нагрузки от инерционных сил, следствием чего будет повышение мощности, экономичности и ресурса двигателя. Применение интерметаллидов титана даст возможность повысить на 100...200 °С рабочие температуры деталей по сравнению с деталями, изготовленными из титановых конструкционных сплавов. Важным преимуществом для авиационного моторостроения является пожаробезопасность титановых интерметаллидных сплавов по сравнению с жаропрочными титановыми сплавами.

Опыта изготовления деталей из титановых интерметаллидных сплавов до начала проведения НИР не было. Проведенные исследования позволили оценить технологические свойства новых материалов, которые оказались удовлетворительными и показали их перспективность. В качестве примера следует отметить тот факт, что титановые интерметаллиды, имея низкую пластичность (относительное удлинение не выше 1,5 %), не имели технологического растрескивания и других поверхностных дефектов в процессе технологической обработки различными методами рабочих лопаток и корпуса КВД благодаря подобраным оптимальным режимам обработки

и соответствующего режущего инструмента.

Специалисты "НИИД" внесли, таким образом, значительный вклад в решение проблемы создания научных и технологических основ изготовления деталей и сварных узлов из новейших материалов в конструкции перспективных двигателей.



Сварная конструкция рабочих колес КВД из нового титанового жаропрочного сплава