

8. Петухов А.Н. Конструктивный облик лопатки вентилятора повышенной эксплуатационной живучести для современного конкурентоспособного ТРДД //Вопросы авиационной науки и техники. Сер.: Авиационное двигателестроение.– М.: ЦИАМ, 2006, Вып. 3 (1327), с. 6–16.
9. Петухов А.Н., Вахромеев А.М. Исследование выносливости титанового сплава BT3-1 при двухосном напряженном состоянии //В сб.: Прочность материалов и элементов конструкций при сложном напряженном состоянии.– Киев: Наукова думка, 1986, с. 61–64.
10. Быков Ю.Г., Петухов А.Н., Черкасова С.А. Циклическая трещиностойкость титановых сплавов BT3-1 и BT25 //ФХММ, 1990, №3, с. 49–53.
11. Петухов А.Н. Сопротивление усталости деталей ГТД.– М.: Машиностроение, 1993, 240 с.
12. Петухов А.Н. Некоторые проблемы конструкционной прочности, связанные с применением титановых сплавов в ГТД //Титан, 1998, №1 (10), с. 46–49.

А.А. Иноземцев, И.Г. Башкатов*, А.С. Коряковцев**

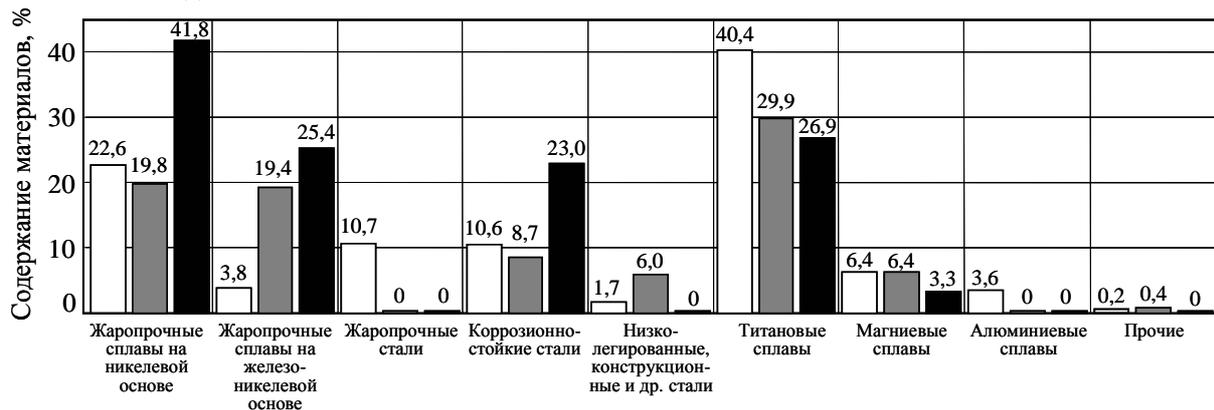
ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА В ИЗДЕЛИЯХ РАЗРАБОТКИ ОАО «АВИАДВИГАТЕЛЬ»

Известные преимущества титановых сплавов перед сталью, в частности по весовым и коррозионностойким характеристикам, привели к их широкому использованию в авиационном двигателестроении. На предприятии ОАО «Авиадвигатель» применение титановых сплавов в конструкции проектируемых двигателей началось в 1964 г. с турбореактивного двухконтурного двигателя Д-30, вот уже более 35 лет находящегося в серийном производстве и эксплуатации.

Возможность снижения массы в 1,7 раза при замене стальных деталей на титановые, с сохранением показателей прочности и долговечности, а также изготовление деталей из прутков, сварных листовых заготовок, штамповок и отливок позволили деталям из титановых сплавов прочно утвердиться в составе узлов так называемой холодной части газотурбинного двигателя.

Во всех следующих за Д-30 двигателях, разработанных в ОАО «Авиадвигатель» (Д-30 второй серии, Д-30 третьей серии, Д-30КУ, Д-30КП, Д-30Ф6 и ПС-90А), титановые сплавы находили все более широкое применение. Так, если на двигателе Д-30Ф6 титановые детали составляли 26,9% от общего количества деталей, то на ПС-90А объем применения титана 40,4% (см. рисунок). Наглядно объем использования титановых сплавов в конструкции двигателя ПС-90А показан в таблице, – видно, что из этих сплавов изготовлены детали самых разных узлов двигателя, но основная доля приходится на компрессоры низкого и высокого давления. При этом используют как деформируемые сплавы средней прочности, высокой прочности и жаропрочные, так и литейные. Благодаря более высокой удельной жаропрочности титановых сплавов по сравнению со сталями разработчикам удалось снизить массу компрессоров на 30–35%.

* ОАО «Авиадвигатель».



Применение материалов в изделиях ПС-90А (□); Д-30КУ и Д-30КП (■); Д-30Ф6 (■)

Для производства таких ответственных и нагруженных деталей, как диски, рабочие и направляющие лопатки, промежуточные кольца компрессора, применяли деформируемые двухфазные ($\alpha+\beta$)-сплавы: ВТЗ-1, ВТ8. Корпусные и другие детали на названных двигателях изготовлены из низколегированного сплава с повышенной пластичностью ОТ4-1, псевдо- α -сплавов средней прочности ОТ4, ВТ20, ($\alpha+\beta$)-сплава ВТ6, обладающих удовлетворительной технологической пластичностью. Для фасонного литья с целью повышения КИМ и снижения трудоемкости использовали α -сплав ВТ5Л. Более подробная информация об использовании титановых сплавов на двигателе ПС-90А представлена в таблице.

Достаточные прочность и надежность большого количества деталей, полученных из титановых сплавов, подтверждены многолетней эксплуатацией многотысячного парка двигателей семейства Д-30 на самолетах гражданской (Ту-134, Ту-134А, Ил-62М, Ил-76, Ту-154М) и военной авиации (МиГ-31).

Надежность, ресурс, качество и снижение трудоемкости деталей из титановых сплавов обеспечивались разработкой новых и совершенствованием традиционных технологий производства, направленных на исключение или существенное уменьшение влияния известных недостатков титановых сплавов. Обладая высокой коррозионной стойкостью во всеклиматических условиях, эти сплавы характеризуются в то же время низкими антифрикционными свойствами и высокой химической активностью. При трении они склонны к схватыванию и задиру. Для повышения износостойкости и исключения фреттинг-коррозии такие соединения, как замки лопаток компрессоров, покрываются серебром, что позволяет обеспечить надежную работу самой массовой детали двигателей.

Долговечность ряда ответственных деталей была повышена благодаря применению специальных технологических операций. С помощью методов упрочнения – поверхностно-пластического деформирования и термомеханической обработки – удалось улучшить сопротивление многоциклового усталости лопаток из сплавов ВТЗ-1 и ВТ8М на 15–30%.

В ОАО «Авиадвигатель» значительная работа по освоению и совершенствованию техпроцессов изготовления литых титановых деталей была выполнена не только в опытном, но и в серийном производстве, где только для двигателя Д-30Ф6 освоено 165 наименований литых деталей. В номенклатуре литых титановых деталей много сложнофасонных тонкостенных отливок с толщиной стенок 2,5–4 мм. Основной задачей при получении отливок заданной геометрии была стабилизация усадки форм, которая решена с помощью технологии на основе графитовых порошков со связующей фенольной смолой, катализатором-контактом, при двухступенчатой прокатке форм и вакуум-

но-дуговой плавке с центробежной заливкой отливок. Для особо сложных крупногабаритных и тонкостенных отливок разработана технология получения керамических форм с последующей пропиткой формы пироуглеродом из газовой фазы. Еще один пример из серийного производства – для более полной утилизации титанового возврата создана и внедрена установка электронно-лучевого переплава титановых литников с последующим использованием их в качестве слитков свежего сплава.

Титановые сплавы, используемые в конструкции двигателя ПС-90А

Сплав	Полуфабрикат	Требования к полуфабрикатам по ТУ (σ_B , МПа)	Назначение сплава (узлы, детали)	Рабочие температуры, °С
(α+β)-сплавы: BT8, BT8M ($d=4,48$ г/см ³) BT6 ($d=4,43$ г/см ³) BT3-1 ($d=4,5$ г/см ³)	Штамповка по ТУ1-807-312	960–100	Диски I–VI ступеней КВД (BT8) Рабочие лопатки вентилятора (BT8M)	До 350 90
	Штамповка по ОСТ1.90002	980–1180		
	Кольца сварные по ОСТ1.90100 Кольца цельнокатанные по ОСТ1.92039 Прутки по ОСТ1.90173	930–1080	Кольца, фланцы, обечайки, корпуса и др. Детали арматуры, переходники, фланцы, кольца, корпуса и др.	До 350 350–400
		≥883		
Прутки по ОСТ1.90173	900–1050	Детали крепежа	До 350	
Прутки по ОСТ1.90266	980–1225			
α-сплав BT5Л ($d=4,4$ г/см ³)	Литые электроды по ОСТ1.90031	686–980	–	–
	Отливки по ОСТ1.90060	686–980	Литые детали различной сложности (фланцы, кронштейны, цилиндры и др.)	До 400
Псевдо-α-сплав BT20 ($d=4,45$ г/см ³)	Цельнокатанные кольца по ОСТ1.92039	≥932	Фланцы, смеситель, сопло Корпус КВД, кольца НА, кольца рабочие средних ступеней КВД, фланцы Нагруженные листовые детали Фланцы, кольца	До 500
	Сварные кольца по ОСТ1.90105	930–1180		
	Листы по ОСТ1.90218 Прутки по ОСТ1.90173, ОСТ1.90107	930–1180 930–1180		
Сплав с преобладанием α-раствора с небольшим количеством β-фазы BT4 ($d=4,55$ г/см ³)	Цельнокатанные кольца по ОСТ1.92039	≥675	Кольца ВНА внутренние, опора шарикоподшипника, фланцы, кольца Кольца ВНА наружные, кольца НА, корпуса НА, кольца рабочие I–III ступени КВД, фланцы реверсивного устройства Штампуемые сварные детали (обечайки, манжеты, на-	До 350
	Сварные кольца по ОСТ1.90102	686–883		
	Листы по ОСТ1.90218	860–883		

Кроме литых титановых деталей, в конструкции двигателей, разработанных ОАО «Авиадвигатель», широко используют детали, полученные из кованных заготовок, сварные конструкции. Так, на двигателе ПС-90А около 40 сварных узлов с соединениями выполнены электронно-лучевой сваркой. На установках ЭЛУ-5, ЭЛУ-9, ЭЛУ-10 и ЭЛУ-25 свариваются соединения из сплавов ОТ4, ОТ4-1, ВТ5Л, ВТ6, ВТ8, ВТ20 с толщинами стыков от 1,25 до 20 мм. Свариваемые детали – корпуса, кольца, фланцы, штоки, направляющие и др.

Соответствующее оборудование и технология сварки обеспечивают прочность сварного соединения не менее 80% от прочности соединяемых материалов.

Для изготовления рабочих лопаток вентилятора, лопаток ВНА, НА и СА применяют заготовки, полученные методом объемной штамповки или штамповки по методу ТМО. Спрямоугольную лопатку вентилятора изготавливают из листа сплава ОТ4 с последующей трехкратной горячей вальцовкой и термофиксацией. Предприятие ОАО «Авиадвигатель» является одним из потребителей штампованных заготовок для дисков (см. таблицу), получаемых ВСМПО (Верхнесалдинским металлургическим производственным объединением), и кольцевых заготовок, изготавливаемых КМЗ (Кулебакским металлургическим заводом).

Более широкое внедрение титановых сплавов в разработки конструкторского бюро предприятия сдерживается по нескольким причинам. Сплавы на основе титана имеют недостаточную износостойкость и эрозионную стойкость. Ограничивает их применение невозможность получения деталей со стенкой до 0,8 мм при габаритах около 300 мм методом литья, отсутствие технических решений по термообработке сварных конструкций типа барабан ротора КВД из сплава ВТ8 и др. Решение этих проблем обеспечило бы значительное снижение массы изделий и повышение их ресурса. По некоторым из этих вопросов ведутся работы силами специалистов ОАО «Авиадвигатель».

Создание следующих поколений двигателей требует дальнейшего совершенствования имеющихся в разработке новых титановых сплавов и технологий их получения и использования.

С.С. Ушков, А.С. Кудрявцев*, Б.Г. Ушаков**

ПРИМЕНЕНИЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ В МОРСКОЙ ТЕХНИКЕ И ТРАНСПОРТНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Новые материалы, которые появились к началу XXI века, обладают рядом достоинств в решении технических проблем при создании высоконагруженных конструкций, для которых применение титана и сплавов на его основе занимает одно из ведущих мест.

Освоение титана и его сплавов как конструкционных материалов осуществлялось в несколько этапов.

В нашей стране первый этап начался с момента создания промышленного выпуска титановых полуфабрикатов в 50-е годы прошлого столетия. Весь титан предназначался для авиа- и ракетостроения, а также для создания космических аппаратов.