

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.

* ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» (Санкт-Петербург).

Неоценимой заслугой коллектива лаборатории «Титановые сплавы для конструкций планера и двигателя самолетов» ВИАМ является создание первых титановых сплавов и полуфабрикатов и основ титановой металлургической промышленности в нашей стране.

Высокая удельная прочность, в том числе при повышенных температурах, абсолютная коррозионная стойкость и немагнитность, а также другие уникальные свойства титановых сплавов обратили на себя внимание судостроителей. Следствием этого в апреле 1953 г. вышел приказ министра МТТМ о развитии исследований возможности и областей применения титана и его сплавов в судостроении, а в январе 1955 г. вышло Решение секции Металлургии и сварки научно-технического Совета Министерства судостроительной промышленности по вопросу разработки технологии производства и обработки титана и его сплавов. В ЦНИИ-48 (ныне ЦНИИ КМ «Прометей») создана экспериментальная лаборатория для исследования титана и его сплавов. Впоследствии организован отдел титана и его сплавов, который состоял из:

- лаборатории горячей пластической и термической обработки титана и его сплавов;
- лаборатории сварки титана и его сплавов;
- экспериментальной лаборатории титана и его сплавов;
- лаборатории фасонного литья титана и его сплавов.

В марте 1956 г. Решением Министерства перед ЦНИИ-48 поставлена задача стать основной базой для проведения всех работ по изготовлению опытных аппаратов, приборов и сварных судовых конструкций из титана для их использования и внедрения в производство. Появление нового металлоемкого потребителя – судостроения – означало начало второго этапа освоения титана. С этого момента ЦНИИ-48 является ведущим предприятием по разработке сплавов на основе титана морского применения для судостроительных конструкций: корпусных, машиностроительного и энергетического оборудования.

На тот период для решения задач создания авиакосмической техники достаточным было производить несколько сотен тонн слитков массой 250–400 кг, листов размером 26×1200×2000 мм, прутков диаметром до 40 мм, поковок $\varnothing(150–200)$ мм, труб (прессовых) $\varnothing 70 \times 6$ мм и т. д. Этого было вполне достаточно для постройки двигателей, изготовления элементов планеров и шасси летательных аппаратов и др.

Для строительства подводной лодки необходима была радикальная перестройка титановой индустрии. Необходимо было создать производство:

- слитков массой 4–8 т;
- листов толщиной от 5 до 60 мм, длиной до 6 м;
- поковок массой 4–6 т;
- фасонных отливок массой 60–120 кг;
- сварочной проволоки 500–800 кг/год.

Первой цельнотитановой подводной лодкой был проект 661, о строительстве которого было принято решение в 1958 г. В конце 1969 г. подводная лодка проекта 661 была создана. Затем были построены лодки по другим проектам.

Титановые сплавы, разработанные в ЦНИИ КМ «Прометей» для условий эксплуатации конструкций в морской воде, полностью отвечают следующим требованиям:

- высокая коррозионная стойкость при постоянном контакте с морской водой;
- широкий диапазон прочностных свойств и работоспособности при статических, циклических и динамических нагрузках;
- хладостойкость в интервале температур до -50°C ;
- высокая эрозионная стойкость при скоростях потоков в трубопроводах;

- отсутствие наводороживания (водородное охрупчивание) в условиях контакта с другими металлическими материалами и при наложении потенциалов катодной защиты;
- технологичность при производстве полуфабрикатов, изготовлении оборудования и конструкций, их монтаже и последующем ремонте (хорошая свариваемость без применения термической обработки сварных узлов);
- применение титановых сплавов в оборудовании должно обеспечить снижение стоимости жизненного цикла оборудования, т. е. обеспечить снижение затрат за весь срок эксплуатации.

Опыт эксплуатации корабельных и судовых конструкций из титановых сплавов ВТ1-0, ПТ-1М, ПТ-7М, ПТ-3М, ПТ-3В, ТЛ3 и ТЛ5 и других показал высокую надежность этого класса материалов – как по механической прочности, так и коррозионной стойкости в морской воде. В результате исследований и на основании опыта эксплуатации изделий из титановых сплавов установлено, что коррозионный ресурс труб, арматуры, насосов, теплообменников и др. составляет не менее 120 тыс. ч, а срок службы судовых конструкций, включая корпусные, не менее 40 лет.

К концу XX века титановая металлургическая промышленность набрала максимальную мощность и смогла производить:

- слитки до 10 т с объемом производства 110000 т/год;
- прокат толщиной 0,3–160 мм;
- полуфабрикаты 65000 т/год;
- листовые штамповки габаритом 2500×2500 мм;
- катаные и кованые прутки диаметром до 400 мм;
- поковки массой до 8 т;
- трубы диаметром от 3 до 325 мм;
- фасонное литье с массой отливки до 3 т.

В 90-х гг. прошлого столетия изменилось отношение к титану. Он стал интересен как конструкционный материал для гражданской сферы промышленности. Это стало началом третьего этапа. Появление новых областей применения титана, таких как энергетическое (в том числе и атомное) машиностроение, создание оборудования для химической, нефтегазодобывающей и перерабатывающей промышленности и других, стало возможным потому, что резко сократилось потребление его для военных целей.

Развитие атомной энергетики и ее конкурентоспособность в ближайшее время будут во многом определяться созданием и применением новых конструкционных материалов, отличающихся одновременно высокой радиационной стойкостью, низким уровнем наведенной радиоактивности в нейтронных полях и ее способностью к быстрому спаду в течение 1–5 лет.

Результаты многолетних работ по комплексной оценке работоспособности и ресурса титановых сплавов показывают:

- по комплексу физико-механических свойств, коррозионной и радиационной стойкости и другим служебным характеристикам титановые α -сплавы и их сварные соединения находятся на уровне корпусных реакторных сталей, аустенитных сталей и высоконикелевых сплавов или превосходят их;
- по технологическим характеристикам титановые α -сплавы отличаются от традиционно используемых сталей тем, что для достижения требуемого уровня служебных свойств изделий исключается необходимость в антикоррозионной наплавке, многостадийных длительных дорогостоящих термообработках, в том числе отжиге сварных соединений, так как свойства титановых α -сплавов определяются только их химическим составом;

– титановые α -сплавы в качестве конструкционного материала могут быть использованы для изготовления корпусов реакторов, ВКУ, парогенераторов, теплообменников и другого оборудования АЭС, работающих при температуре до 400°C;

– по уровню наведенной радиоактивности и скорости ее спада сплавы на основе титана (с учетом основных легирующих и примесных элементов) являются конструкционными материалами, обеспечивающими высокую экологическую безопасность при длительной эксплуатации АЭС и решающими проблему обращения с радиоактивными отходами.

В настоящее время имеется достаточно оснований для начала работ по аттестации и расширению внедрения малоактивируемых титановых α -сплавов в атомное реакторостроение. При этом срок службы различных конструкций водо-водяных АЭС может быть увеличен в 1,5–2 раза, а спад наведенной радиоактивности до безопасного уровня составит 3–5 лет.

В.С. Петров, А.И. Козлов*, А.А. Живушкин*, А.В. Васильев**

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЛАВА ВТ25У ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ КОМПРЕССОРОВ СОВРЕМЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящее время в авиационной промышленности широкое распространение получила металлургия гранул. Данная работа посвящена развитию этой технологии на ФГУП «Завод им. В.Я. Климова», применению ее для изготовления закрытых центробежных колес из сплава ВТ25У в опытных и серийных газотурбинных двигателях. Приводятся данные, полученные в результате эксплуатации серийных изделий и длительных испытаний опытных изделий.

ФГУП «Завод им. В.Я. Климова» имеет очень большой опыт применения титановых сплавов в конструкциях своих двигателей. Уже с 60-х гг. XX века на двигателях ГТД350 и ТВ2-117 (далее на ТВ3-117 и РД33) более половины всех роторных и статорных деталей компрессоров (диски роторов, рабочие и направляющие лопатки, корпуса и т. д.) изготавливаются из титана известных марок, таких как ОТ4-1, ВТ3-1, ВТ5, ВТ8, ВТ8М, ВТ9, ВТ20, ВТ25 и др. [1, 2].

В процессе форсирования характеристик двигателей, модернизации их отдельных элементов и появления новых поколений двигателей повышаются и требования к характеристикам материалов деталей. Возрастает теплонапряженное состояние роторных деталей, повышаются нагрузки на отдельные ступени компрессоров.

Например, при создании в 80-х гг. XX века двигателя ТВ7-117С (для самолета Ил-114) в конструкции компрессора применены 4 сверхзвуковые осевые ступени и 1 центробежная. В связи с повышенным теплонапряженным состоянием полуоткрытого центробежного колеса для его изготовления был применен новый на то время деформированный материал ВТ25У, который хорошо зарекомендовал себя при работе на этом двигателе.

Предприятиями ФГУП «Завод им. В.Я. Климова», ОАО «ММП им. В.В. Чернышева» и ОМП им. П.И. Баранова было изготовлено более 100 двигателей ТВ7-117С. Суммарная наработка полуоткрытых центробежных колес из деформированного материала ВТ25У (на 01.05.04) – более 63411 ч, в том числе в эксплуатации 9307 ч. Максимальная наработка центробежного колеса составила 1782 ч (на двигателе производства ФГУП «Завод им. В.Я. Климова» на самолете Ил-1124).

* ФГУП «Завод им. В.Я. Климова».