

УДК 621.45.043

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН И ШНЕКА-ВАЛА ТНА

© Дергач И.В., Шестов Н.С., Фесенко И.А.

*Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика  
М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация*

e-mail: dergach.2021@inbox.ru

Одним из перспективных направлений развития ракетно-космической техники является многоразовое применение первых ступеней ракет-носителей или многократное включение в полете двигателей верхних ступеней и разгонных блоков. При этом на узел турбины – один из основных элементов конструкции турбонасосного агрегата (ТНА), определяющий параметры и работоспособность жидкостного ракетного двигателя (ЖРД), – действуют высокие переменные нагрузки: давление, частота вращения, температура.

В процессе производства и эксплуатации рабочих колес на их поверхности, а также в основном материале возможно возникновение дефектов, вызванных особенностями технологического процесса и условиями эксплуатации [1].

Наиболее широко применяемым в настоящее время технологическим процессом изготовления лопаток РК турбины является электроэрозионная обработка (ЭЭО), а перспективным методом изготовления РК – аддитивные технологии.

При анализе лопатки РК турбины методом конечных элементов напряжение в зоне возможного наличия остатков дефектного слоя – на корыте лопаток – составляет ~ 147 МПа. В результате расчетов для каждого рассмотренного варианта получено минимальное число циклов до разрушения. В случае изготовления лопаток РК с применением ЭЭО, до достижения 80 % максимального числа циклов до разрушения рост трещины незначителен и не приводит к разрушению РК, дальнейшее увеличение числа циклов вызывает интенсивный рост трещины, приводя в итоге к разрушению лопатки. При анализе случая изготовления с применением аддитивных технологий рост размера трещины/дефекта начинается практически с первого нагружения, особенно ярко это проявляется для дефектов с большей первоначальной протяженностью.

Для уменьшения дефектного слоя элементов ТНА при чистовой обработке применяют буксирное оборудование [2], которое позволяет получить высокий класс шероховатости поверхности изделия, упрочнение материала, быструю и равномерную обработку со всех сторон лопаток, отсутствие механических повреждений, высокую производительность и надежность процесса изготовления.

Были проведены исследования стойкости к возгоранию в среде окислительного генераторного газа образцов лопаток РК ТНА ЖРД, изготовленных из сплава ЭП648ПС, с использованием технологии селективного лазерного сплавления (СЛС) [3].

Результаты показали, что возгорание сплава ЭП648ПС, изготовленного методом СЛС, в среде окислительного генераторного газа, обогащенного кислородом и содержащего частицы алюминиевого сплава АМг6, происходит при температуре выше 600 °С, что соответствует статистическим данным, полученным на ранее проведенных испытаниях образцов лопаток, изготовленных из никелевых сплавов ЭП202, ЭП741НП и др.; наличие частиц металлопорошковой композиции жаропрочного сплава на никелевой основе ЭП648 в высокотемпературном окислительном генераторном газе не приводит к возгоранию образцов лопаток; оксидный слой, образующийся на наружной

поверхности образцов лопаток в процессе горячего изостатического прессования (ГИП), обеспечивает надежную защиту от возгорания образцов лопаток; для повышения стойкости к возгоранию в среде окислительного генераторного газа детали и сборочные единицы, изготовленные методом СЛС, должны проходить процесс ГИП без удаления оксидного слоя с наружной поверхности.

Для улучшения устойчивости к температурам лопаток турбин и шнека-вала можно использовать метод направленной кристаллизации [4].

Технология производства представляется следующим образом. Изделие отливают и затем медленно извлекают из зоны нагрева, охлаждая при этом нижнюю часть заготовки. Такой процесс приводит к образованию кристаллов нижней части заготовки и последующему их росту в определенном направлении. При использовании определенных затравок удалось достичь такого роста одного кристалла, когда он занимает весь объем лопатки. Данная структура и будет являться монокристаллической, что и позволяет материалу выдерживать высокие температуры. В настоящее время разработаны охлаждаемые лопатки с монокристаллической структурой из жаропрочного никелевого сплава, выдерживающие температуру до 2200 К.

Таким образом, в рассмотренных работах показаны актуальность проблем совершенствования лопаток турбин и шнека-вала ТНА и необходимость дальнейшего их изучения и совершенствования методик расчета и проектирования лопаток турбин и шнека, что позволит увеличить КПД и надежность всего ТНА ЖРД.

### Библиографический список

1. Иванов А.В., Рудис М.А. Оценка долговечности лопаток рабочего колеса турбины ТНА при наличии дефектов, вызванных особенностями изготовления // *Авиационные двигатели*. 2020. № 2 (7). С. 7–14.
2. Лобза А.А., Васянина А.Ю., Ермоленко Д.А., Лобза В.С. Повышение качества обработки лопаток шнека-вала ТНА ЖРД // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2018. Т. 1. № 14. С. 203–204.
3. Белов Е.А., Иванов А.В., Иванов Н.Г. [и др.]. Исследование стойкости к возгоранию в среде окислительного генераторного газа образцов лопаток рабочего колеса и статора турбины, изготовленных с использованием технологии селективного лазерного сплавления // *Труды НПО Энергомаш имени академика В.П. Глушко*. 2018. № 35. С. 121–138.
4. Дубынин П. А., Клешнина И. А., Яцуненко В. Г. Использование метода направленной кристаллизации лопаток турбин ТНА // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2017. Т. 1. № 13. С. 292–294.