

Влияния свойств материала и геометрии охлаждающих каналов на прочность лопатки турбины

А. А. Салимзянова¹, А. Х. Рахимов², А. С. Гишваров³

¹ nikaxa@inbox.ru, ² mr.abdusattor@list.ru, ³ kafedra.ad@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Проведено исследование влияния материалов ЖС-32 и ВЖМ-4, а также геометрии охлаждающих каналов на запас прочности лопатки 1 ступени турбины ТРДД.

Ключевые слова: рабочая охлаждаемая лопатка турбины; температурное состояние; жаропрочный сплав; прочность.

ВВЕДЕНИЕ

Рабочие охлаждаемые лопатки первой ступени турбины высокого давления (ТВД) авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) являются одними из самых нагруженных элементов в тепловом и прочностном отношении, в которых лопатки подвергаются высокому нагреву и механическому нагружению. В связи с этим при проектировании лопаток большое внимание уделяется выбору способа их охлаждения [1].

Рабочие лопатки ТВД подвергаются поломке или разрушению из-за высоких температур, центробежных воздействий на лопатку, а также влияния аэродинамических и вибрационных сил.

Анализ досрочно снятых двигателей показывает, что основными причинами их выхода из строя являются:

- 1) несовершенство конструкции;
- 2) неудачная технология или нестабильность производства;
- 3) низкое качество или нестабильность материала;
- 4) дефекты комплектующих изделий (изделий смежников);
- 5) нарушение правил эксплуатации и обслуживания двигателей.

Это, в свою очередь, приводит:

- а) к повышенной вибрации;
- б) к усталостным разрушениям лопаток;
- в) к дефектам по опорам;

г) к исчерпанию длительной прочности лопаток;

д) к разрушению элементов камеры сгорания.

Поэтому важной является проблема обеспечения надежности лопаток ТВД (рис. 1).

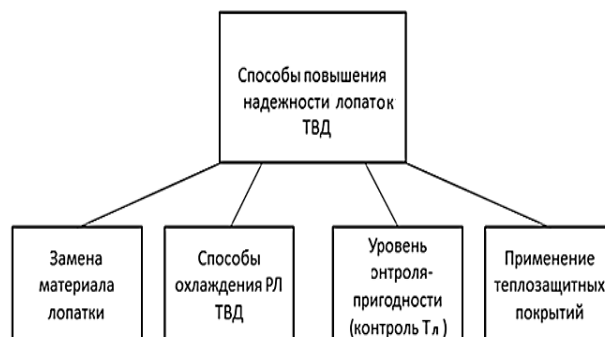


Рис. 1. Способы обеспечения надежности лопаток ТВД

В настоящее время для лопаток турбин двигателей 5-го поколения применяют жаропрочные сплавы ЖС-32 и ВЖМ-4, позволяющие снизить теплонагруженность лопатки и обеспечить требуемый запас прочности.

В данной работе проводилось исследование перечисленных материалов и геометрии охлаждающих каналов на запас прочности охлаждаемых лопаток 1 ступени турбины ТРДД (рис. 2).

Расчет теплового и прочностного состояния лопатки ТВД проводился с применением программного комплекса ANSYS.

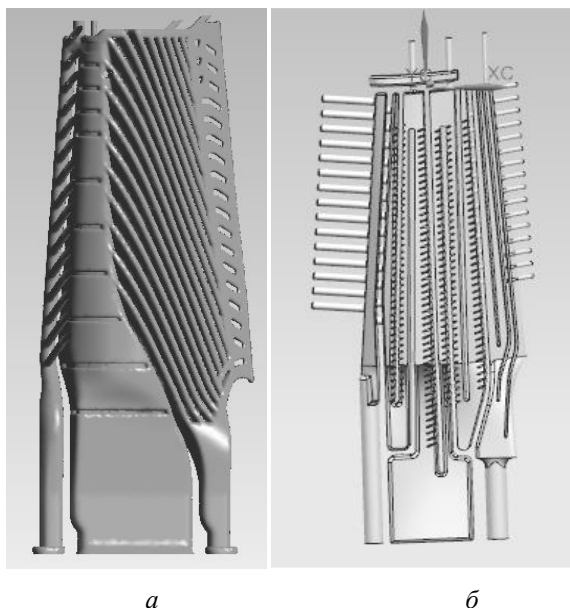


Рис. 2. Трехмерная модель охлаждающих каналов лопатки ТВД:

а – циклонно-матричное охлаждение; *б* – комбинированное конвективно-пленочное охлаждение

Для рассматриваемой лопатки применяется комбинированное конвективно-пленочное охлаждение. В каналах установлены полки, тормозящие поток охлаждающего воздуха, тем самым улучшая охлаждение лопатки.

Температурное поле профильной части лопатки для двух типов охлаждения приведено на рис. 3, откуда видно, что лопатка с измененной геометрией охлаждающих каналов более эффективна. Расположение перфорационных отверстий на входной кромке позволяет улучшить охлаждение лопатки.

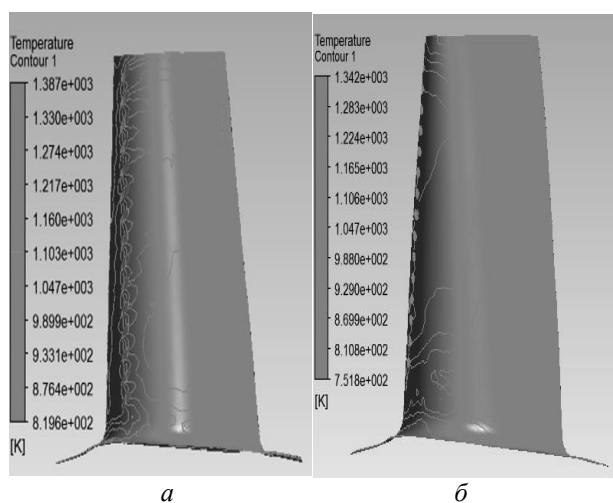


Рис. 3. Температурное поле лопаток:

а – исходная лопатка $T_{л. max} = 1387 K$;
б – лопатка с новой геометрией охлаждающих каналов $T_{л. max} = 1342 K$

Распределение коэффициента запаса прочности по перу лопатки приведено на

рис. 4, *а* распределение температуры по профильной части лопатки и эквивалентных напряжений по перу лопатки приведено на рис. 5.

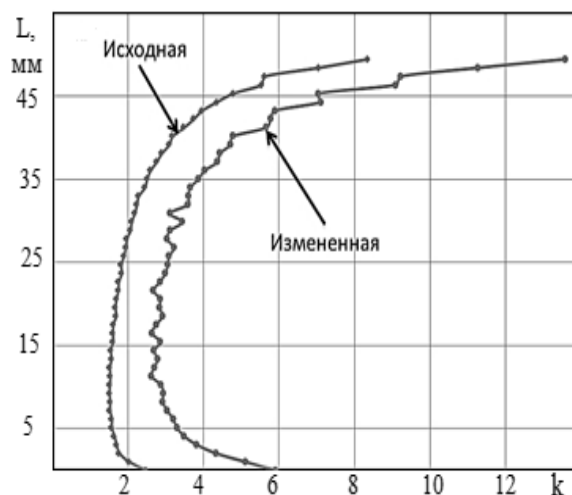


Рис. 4. Распределение коэффициента запаса прочности по высоте лопатки

Видно, что у лопатки с измененной геометрией охлаждающих каналов температура меньше, чем у исходной лопатки.

Оценка повреждаемости лопатки проводилась по формуле:

$$P = \tau / \tau^* \quad (1)$$

где τ – время работы лопатки на режиме; τ^* – долговечность лопатки (время до разрушения).

Для сплава ЖС-32 $\tau^* = 775$ часов; для сплава ВЖМ-4: $\tau^* = 1193$ часа.

Если повреждаемость исходной лопатки была равна:

$$P_0 = 0,25,$$

то замена материала лопатки позволила уменьшить повреждаемость до:

$$P_1 = 0,13.$$

Изменение геометрии охлаждающих каналов лопатки, изготовленной из сплава ЖС-32, позволило уменьшить повреждаемость до:

$$P_2 = 0,08,$$

а изменение геометрии охлаждающих каналов лопатки, изготовленной из сплава ВЖМ-4, позволило уменьшить повреждаемость до:

$$P_3 = 0,06.$$

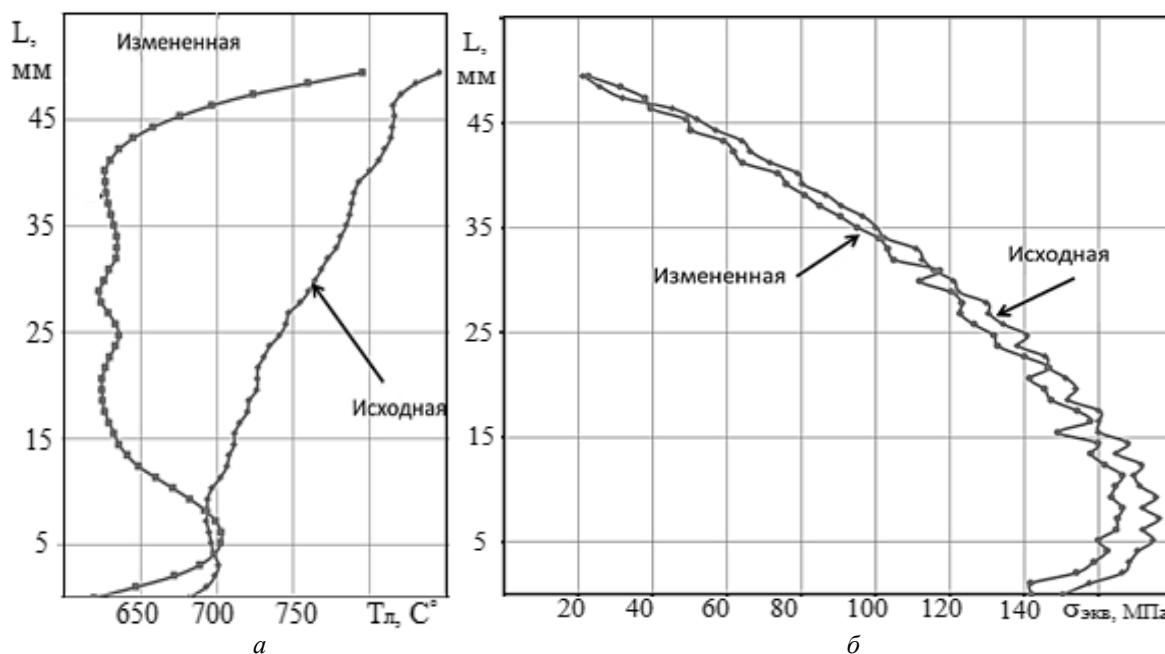


Рис. 5. Распределение температуры (а) по профильной части лопатки и эквивалентных напряжений (б) исходной и измененной лопаток

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, замена материала лопатки на сплав ВЖМ-4 и изменение геометрии охлаждающих каналов позволяет увеличить ресурс лопатки на взлетном режиме с $\tau_{рес.} = 155$ ч до $\tau_{рес.} = 298$ ч, т.е. увеличить ресурс в ≈ 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гишваров А. С., Рахимов А. Х. Влияние параметров охлаждающего воздуха на температурное состояние рабочей лопатки турбины ГТД // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Тенденции в современной науке-2017», Великобритания, Шеффилд, 2017 С.28-29. [A. S. Gishvarov, A. H. Rakhimov. The influence of the parameters of the cooling air on the temperature state of the rotor blade of the turbine GTD // Proceedings of XIII International Scientific-Practical Conference "Trends in contemporary science-2017", UK, Sheffield, 2017 p.28-29].

ОБ АВТОРАХ

РАХИМОВ Абдусаттор Хасанович асп. каф. авиационных двигателей. Дипл. маг. по авиастр. (УГАТУ, 2017). Исс. в обл. надежности и ресурса авиац. двиг.

САЛИМЗЯНОВА Айгуль Альфировна асп. каф. авиационных двигателей. Дипл. маг. по энер. машин. (УГАТУ, 2014). Исс. в обл. надежности и ресурса ГТД.

ГИШВАРОВ Анас Саидович, проф., зав. каф. авиац. двиг. Дипл. инж.-мех. по авиац. двиг. (УАИ, 1973). Д-р техн. наук по тепл. двиг. летательных аппаратов (УГАТУ, 1993). Иссл. в обл. надежности, ресурса, испытаний и прогнозирования состояния техн. систем.

METADATA

Title: Studies strength cooled rotor blade of high pressure turbine.

Authors: A. A. Salimzyanova¹, A. A. Rakhimov², A. S. Gishvarov³.

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹nikaxa@inbox.ru, ² mr.abdusattor@list.ru,

³ kafedra.ad@mail.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 122-124, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: studied strength cooled high pressure turbine rotor blade turbopan used as a ground drive turbine.

Key words: The working cooled turbine blade, the temperature state, the high-temperature alloys, the strength

About authors:

SALIMZYANOVA, Aigul Alfirovna, PhD Stud., Dept. of Aircraft Engines. Power Engineering (USATU, 2014).

RAHIMOV, Abdusattor Hasanovich, PhD Stud., Dept. of Aircraft Engines. Accident (USATU, 2017).

GISHVAROV, Anas Saidovich, Prof., Dept. of Aircraft Engines. Dipl. engineer (USATU, 1973). Dr. of Tech. Sci. (USATU, 1993).