

были выпущены после 1985 года). Средняя погрешность модели составила <10 %, что позволяет проводить параметрические исследования и получать прогнозные решения соответствующие достигнутому уровню проектирования ГТД на сегодняшний день.

Такая точность модели для концептуального этапа проектирования обусловлена обработкой опубликованных современных статистических данных, а также представлением коэффициентов  $m_1$  и  $m_2$ , в виде зависимостей от основных параметров рабочего процесса двигателя.

#### Библиографический список

1. Вертолётные газотурбинные двигатели/ Под общ.ред. В.А. Григорьева и Б.А. Пономарева. М.: Машиностроение, 2007. 491 с.
2. В.С. Кузьмичев, В.Г. Маслов. Анализ корреляционной зависимости веса авиационных ГТД от основных параметров рабочего процесса. Вопросы проектирования и доводки малоразмерных ГТД и их элементов. Труды V всесоюзной межотраслевой научно-технической конференции по микроэнергетике. Куйбышев. 1975. С. 29-37.
3. Иностранные авиационные двигатели, 2000: Справочник/ Общая редакция и предисловие ведущего научного сотрудника Л.И. Соркина. М.: Изд. дом «Авиамир», 2000. 534 с.
4. Иностранные авиационные двигатели, 2005: Справочник ЦИАМ/ Общая редакция: В.А. Скибин, В.И. Солонин. М.: Изд. дом «Авиамир», 2005. 592 с.
5. Иностранные авиационные двигатели и газотурбинные двигатели: (по материалам зарубежных публикаций): справочник: вып.15./ сост.: Л.А. Клименко, Ю.В. Фокин, К.Н. Чикина и др.; отв. ред.: Л.И. Соркин и др. М.: ЦИАМ, 2010. 413 с.
6. Иллюстрированный справочник; Серия: Отечественная авиационная и ракетно-космическая техника. – М.: АКС-Конверсалт: Центр истории авиационных двигателей, 2000. – 394 с., 114 ил.
7. Зрелов В.А. Отечественные газотурбинные двигатели. Основные параметры и конструктивные схемы: Учеб.пособие. М.: ОАО «Издательство «Машиностроение», 2005. 336 с.
8. Авиационные двигатели/ Под ред. И.Г. Шустова. М.: ООО ИД "АЭРОСФЕРА", 2007. 344 с.

УДК 539.3:669

## УСТАЛОСТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ШПИЛЕК

© 2018 Т.А. Хибник

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### FATIGUE BREAKING OF STUD-BOLTS

Khibnick T.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*Fatigue fractures are considered stud-bolts securing the hub of propeller and the cover of turbine. A procedure for calculating the period of growth of a fatigue crack of a part is described, which allows the part to be operated with a fatigue crack to a safe failure.*

В настоящее время актуальными остаются исследования причин разрушения металлических деталей вследствие усталости [1,2]. Усталостные изломы деталей имеют весьма характерный вид, где всегда можно обнаружить две зоны: одну мелкозернистую (зона усталостного разрушения), которая может принимать фарфоровидное строение, а иногда и блестяще шлифованный вид, и другую – с волокнистым строением у вязких металлов и с крупнокристаллическим у хрупких (зона статического разрушения). Особый интерес вызывает зона усталостного

разрушения, где развивается усталостная трещина. Скорость её развития зависит от степени перегрузки и лежит в диапазоне от  $10^{-7}$  до  $10^{-4}$  мм/цикл. При значительной перегрузке она быстро переходит во вторую зону - зону статического разрушения. При скорости роста усталостной трещины меньше  $10^{-5}$  мм/цикл происходит её медленное развитие, обеспечивающее безопасное время эксплуатации детали с трещиной.

На рис. 1 представлен усталостный излом одной из сорока трёх штук шпилек крепления крышки турбины, которая была раз-

рушена в процессе эксплуатации гидроагрегата Саяно-Шушенской ГЭС [3]. Визуальный осмотр сорока трёх шпилек выявил зоны усталостного разрушения, которые составили от 5-98% от общей площади сечения детали, т.е. практически до полной потери несущей способности шпилек. Основной причиной разрушения шпилек явилось развитие усталостных трещин, зарождение которых происходило с внутренней поверхности резьбовой канавки.

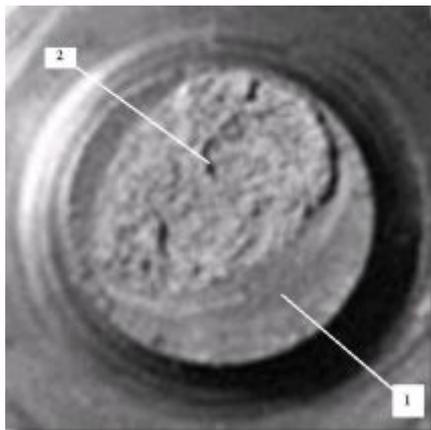


Рис.1. Усталостный излом шпильки крепления крышки турбины: 1 - серповидная усталостная трещина; 2 – зона статического разрушения

Серповидная усталостная трещина (1) на рис. 1 развивалась как результат действия концентрации напряжений (кольцевая резьбовая канавка) и в случае действия напряжений от изгиба. Изгибающие напряжения, которых в принципе не должно было быть, могли возникнуть в случае неправильной или неудовлетворительной затяжке резьбовых соединений или в результате перекоса опорных плоскостей деталей. В результате в резьбовом соединении шпилек развились остаточные деформации, которые привели к дальнейшему ослаблению стягиваемых стыков и увеличению ударных нагрузок при закрытии стыков.

На рис. 2 представлен усталостный излом шпильки крепления втулки воздушного винта, разрушенная в процессе эксплуатации самолёта Ан-26Б [4].

Как видно из рис. 2, усталостная трещина 1 захватила почти всё сечение. Следы линии фронта усталостной трещины проявились в результате остановок в продвижении её вглубь сечения. Чаще всего это имеет место при незначительном коэффициенте циклической перегрузке, т.е. когда действующие

напряжение незначительно превышает предел выносливости. В этом случае трещина при продвижении часто останавливается, так как встречает на своём пути более прочные объёмы металла. На остановку трещины также влияют циклические напряжения, которые меняют величину в процессе работы детали или отсутствие циклических напряжений в результате, когда машина останавливается.

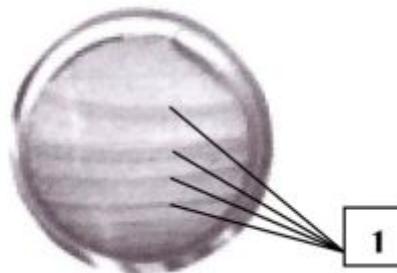


Рис.2. Усталостный излом шпильки крепления втулки воздушного винта: 1 - усталостные линии

Оценить безопасное время эксплуатации детали с усталостной трещиной можно с помощью методики расчёта периода роста усталостной трещины [5]. Данная методика позволяет на базе макроструктурного анализа усталостных изломов приближённо рассчитать период роста усталостной трещины по диаграммам предельных коэффициентов интенсивности напряжений. Это даёт возможность оперативно оценивать работоспособность детали с зарегистрированной глубиной усталостной трещиной и безопасно эксплуатировать её в определённых интервалах времени, оценивая при этом её скорость с помощью кинетической диаграммы.

#### Библиографический список

1. Шанявский, А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. Синергетика в авиации [Текст]/ А.А. Шанявский. – Уфа: ООО «Монография», 2007. – 500с.
2. Ильющенко, А.Ф. Атлас производственных разрушений различных конструкций [Текст] / А.Ф. Ильющенко, Л.В. Маркова, В.А. Чекан [и др]. – Минск: Беларуская навука, 2017. – 313с. – ISBN 978-985-88-2142-3.
3. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС: реальность и мифы /Геннадий Рассохин/  
<http://www.plotina.net/sshges-rassokhin-3/>
4. Шанявский, А.А. Безопасное усталостное разрушение элементов авиа конструкций. Синергетика в инженерных приложениях.

ях [Текст] / А.А. Шанявский - Уфа: Монография, - 2003.- 803с.

5. Кольцун, Ю.И. Методика расчёта периода роста усталостной трещины и её гра-

фическое обобщение [Текст] / Ю.И. Кольцун, Т.А. Хибник // Вестник Самарского гос. аэрок. Ун-та. – 2009. – № 3. Ч.2. – С. 70-79

УДК 621. 9.015

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ МИНЕРАЛОКЕРАМИКИ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ**

©2018 А.В. Храмов<sup>1</sup>, М.Г. Горшков<sup>1</sup>, Е.Н. Лексин<sup>1</sup>, Е.С. Киселев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГК "ХАЛТЕК", г. Ульяновск

<sup>2</sup>Ульяновский государственный технический университет

### **EFFICIENCY OF USE AND MANUFACTURING TECHNOLOGY OF MINERAL CERAMICS TOOLS FOR PRE-PROCESSING OF BLANKS MADE FROM HEAT-RESISTANT ALLOYS**

Khramov A.V., Gorshkov M.G., Leksin E.N. (HALTEC Group of Companies, Ulyanovsk, Russian Federation),

Kiselev E.S. (Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation)

*Considered is one of the radical methods of increasing the processing performance of nickel-based heat-resistant alloys with the aid of new non-traditional (in this area) instrumental materials. It is established that the use of ceramic Inserts in hollow-carrier face milling tools and monolithic ceramic end milling tools when roughing blanks made from heat-resistant alloys at high-speed, increases the processing performance (in terms of removed stock) by 10-16 times. A new option for the processing of holes when manufacturing mineral ceramics replaceable inserts, is proposed.*

Обработка заготовок из жаропрочных сплавов на никелевой основе монолитными и корпусными керамическими фрезами опробована в лабораторных условиях и хорошо зарекомендовала себя в действующем производстве ведущих зарубежных производителей авиационного и ракетного моторостроения. Как правило, традиционные технологии обработки заготовок из жаропрочных сплавов, относящихся к категории труднообрабатываемых, не позволяют достичь высоких значений элементов режима резания (скорость резания, подача). Это обусловлено их физико-механическими свойствами, такими как высокое упрочнение материала в процессе деформации резанием, способностью материала сохранять исходную прочность и твёрдость при высоких температурах, возникающих в зоне резания, низкой теплопроводностью, что является причиной плохого отвода теплоты из контактной зоны обработки, а также наличие в составе жаропрочных сплавов интерметаллидных или карбидных включений, приводящих к абразивному износу режущих кромок твёрдосплавного инструмента. Наиболее эффективную обработку заготовок из жаропрочных сплавов на ос-

нове никеля можно вести режущим инструментом, изготовленным из такого материала, для которого характерны высокие режущие свойства, такие как высокие значения красностойкости, стабильность режущих свойств в широком диапазоне температур и сопротивляемость абразивному износу. Применяемые в настоящее время в качестве инструментальных материалов твёрдосплавные инструменты не обладают в достаточной мере необходимыми характеристиками. Следует отметить, что для жаропрочных сплавов на никелевой основе характерна значительная потеря прочности и облегчение процесса резания при температурах выше 800°C. Вероятно эту особенность можно использовать хотя бы при предварительной (черновой) обработке. Особенно важно правильно выбрать материал режущей части инструмента, работающего в условиях высокоскоростной программной обработки на современных обрабатывающих центрах

Исходя из результатов поиска в интернете и анализа преимуществ и недостатков использования разных типов керамических инструментов были выбраны два типа керамики: Wisker – условное название разновид-