

ТИТАНИЧЕСКОЕ УСИЛИЕ: ПРОБЛЕМЫ, ВОЗМОЖНОСТИ, ПЕРСПЕКТИВЫ НА ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ГТД

Волков А.В., Ледер М.О.

ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», г. Верхняя Салда, volkovav@vsm-po.ru

Ключевые слова: титан, эксплуатация, ресурс, характеристики, устойчивость к повреждениям, долговечность.

Парк российских военных самолетов на текущий момент около 1,5 тыс. шт., с обновлением до 60 в год, т.е. с учетом замены 200-250 двигателей в год. А мировой парк гражданских самолетов – около 35000 (увеличился за 25 лет в 2 раза с 16000), при производстве около 1500 в год, т.е. с учетом замены 6000÷8000 двигателей в год. Учитывая колоссальный потенциал мирового рынка выход на него российских двигателестроителей просто необходим.

Это очень непростая задача, так как на Западе сложилась очень внимательная позиция к стоимостным затратам на эксплуатацию (ТО, ремонт, расходники) ГТД, которые сравнимы с затратами на персонал и примерно в 2÷2,8 раза ниже затрат на топливо [1].

Поэтому в базовых принципах организации надежности и долговечности (JAR 25.571) существует четкое разделение узлов и комплектующих ГТД на эксплуатацию по ресурсу (safelife) и по состоянию, т.е. в соответствии с принципами «устойчивости к повреждениям» или «безопасной повреждаемости» (damage tolerance).

При этом во главу угла ставятся расчетно-экспериментальные методы оценок, которые должны показать, что отказ вследствие усталости, коррозии или случайного повреждения будет предупрежден в течение всего срока эксплуатации (operational life).

Наиболее критичные узлы, отказ которых может привести к катастрофическим последствиям, и диагностика состояния которых затруднена или невозможна, эксплуатируются по ресурсу, т.е. ремонтируются и(или) заменяются по достижении установленных уровней наработки.

Остальные узлы эксплуатируются по состоянию, что позволяет существенно продлить срок их эксплуатации, т.е. повысить экономическую эффективность, обеспечив при этом безопасность их использования.

Реализация и развитие данных базовых принципов привела к очень тесной интеграции и взаимной ответственности эксплуатанта, производителя изделия, производителя комплектующих и материала через сложную, но гибкую систему взаимных гарантий. Где производитель финансово отвечает за последствия отказов не только в период начала эксплуатации, но и на протяжении всего срока эксплуатации.

Это очень сильно мотивирует производителя на максимально точное прогнозирование ресурса комплектующих, его продления, а также поддержание развития системы точной диагностики и выявление критического (предотказного) состояния узлов и комплектующих.

Это, в свою очередь, приводит к развитию расчетно-модельных методов оценки достижения критического (предотказного) состояния узлов конструкции, что в том числе учитывается при проектировании и доработке конструкции.

Это все транслируется на очень «стройную» и многопараметрическую систему требований к материалу, а также схему их подтверждения. Нормируются требования к параметрам материала в основных участках и направлениях изделий:

- горячему и холодному разрыву;
- K_{1c};
- МЦУ и МнЦУ гладкой и с надрезом;
- МЦУ и МнЦУ при комнатной температуре и при повышенной;
- СРТУ для длинных и коротких трещин;
- СРТУ при комнатной температуре и при повышенной.

Без точного прогнозирования расчетно-модельными методами оценки достижения критического (предотказного) состояния узлов конструкции гарантии надежности и долговечности производителя ГТД будут экономически неэффективными, то есть либо приведут к катастрофическим тратам на возмещение ущерба по отказам, либо, в случае очень больших конструктивных запасов на ресурс, приведут к преждевременной утилизации и завышенной стоимости обслуживания.

Причем важным аспектом является проведение анализа долговечности на этапе разработки конструкции, а не на этапе ее опытно-промышленной реализации, когда изменения уже невозможны.

Для создания и верификации расчетно-модельных методов необходим учет усталостного поведения материала в случае бездефектного состояния, а также влияния морфологии и распределения дефектов (металлургических и обработки).

В докладе показана важность учета K_{Ic} материала как характеристики предельной длины трещины, определяющей межремонтный период.

Рассмотрена прогрессивность определения ресурса по кривой усталости МЦУ и МнЦУ в отличии от запаса по прочности.

Рассмотрена важность и способы учета пороговой интенсивности напряжений ΔK_{th} для оценки безопасности производственных повреждений, а также СРТУ для оценки межремонтного периода. Показана важность оценки СРТУ в приближении малых и больших трещин.

Показано, что важно соотношение места нанесения производственных и эксплуатационных механических повреждений с его напряженным состоянием. Зарождение трещины от усталости может конкурировать с зарождением трещины от повреждения.

С материаловедческих позиций предложен комплекс механических свойств, необходимых для учета оценки достижения критического (предотказного) состояния и схема учета их влияния.

Наиболее важным аспектом в обеспечении точной оценки достижения критического (предотказного) состояния узлов, а также обеспечения технических характеристик ГТД является как выработка требований к материалу, так и обеспечение этих требований. Так как не все сочетания комплекса свойств можно реализовать. Именно согласованное взаимодействие производителя материала и изделия приведут к успеху.

Список литературы

1. Aeronautical Technologies for the Twenty-First Century. Washington, DC: The National Academies Press, National Research Council. 1992.
2. Requirements for Future Advanced Short/Medium Range Aircraft, AEA.
3. ATA World Airlines and Suppliers Guide, ATA.
4. World Airlines Technical Operations Glossary (WATOG), 10th Edition, ATA, IATA.
5. Sabreliner Maintenance and Repair, Sabreliner Corp., 1991.

Сведения об авторах

Ледер Михаил Оттович, директор по науке и технологии ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», титановые сплавы.

Волков Анатолий Владимирович, начальник отдела аналитического обеспечения НТЦ ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», материаловедение титана.

TITANIC EFFORT: CHALLENGES, OPPORTUNITIES, PROSPECTS ON THE WAY OF PROVIDING THE OPERATIONAL LIFE OF JET ENGINES

Volkov A.V., Leder M.O.

JSC “Corporation VSMPO-AVISMA”, Verkhnyaya Salda, volkovav@vsmpo.ru

Keywords: titanium, exploitation, use, characteristics, resistance to damage, durability.

The paper discusses the importance of the resource characteristics of a gas turbine engine, as a guarantee of competitiveness, problems and prospects for matching material properties with working conditions in a structure, the importance of understanding the essence of the resource-limiting effect and its parameterization, both from the material side and from the design side. Possible directions for the development of assessing the achievement of the critical (near failure) state of parts are presented on the example of titanium alloys.

The fleet of Russian military aircraft at the moment is about 1.5 thousand units, with an upgrade to 60 per year, i.e. taking into account the replacement of 200-250 engines per year. And the world fleet of civil aircraft is about 35,000 (increased 2 times over 25 years from 16,000) with a production of about 1,500 per year, i.e. of 6000÷8000 engines per year with taking into account the replacement need. Taking into account the big potential of the world market, the entry of Russian engine builders to it is simply necessary.

The report shows the importance of taking into account the K_{1c} material as a characteristic of the ultimate crack length, which determines the overhaul period.

The progressiveness of determining the resource according to the fatigue curve of the MCC and MNTsU, in contrast to the safety margin, is considered.

The importance and methods of taking into account the threshold stress intensity ΔK_{th} for assessing the safety of production damage, as well as FCGR for assessing the overhaul period are considered. It is shown the importance of assessing the FCGR in the approximation of small and large cracks.

It is shown that it is important to correlate the place of application of production and operational mechanical damage with its stress state. Fatigue crack initiation can compete with damage crack initiation.

From the point of view of materials science, a complex of mechanical properties necessary to take into account the assessment of the achievement of a critical (pre-failure) state and a scheme for accounting for their influence are proposed.

The most important aspect in ensuring an accurate assessment of the achievement of the critical (pre-failure) state of units, as well as ensuring the technical characteristics of the gas turbine engine is both the development of requirements for the material and the provision of these requirements. Since not all combinations of a set of properties can be realized. It is the coordinated interaction between the material manufacturer and the product that will lead to success.