

УДК 629.7:66.017

М.А. Горбовец¹, А.В. Славин¹**ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СООТВЕТСТВИЯ МАТЕРИАЛА
ТРЕБОВАНИЯМ ЧАСТИ 33 АВИАЦИОННЫХ ПРАВИЛ**

DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-89-94

Для обеспечения качества, надежности и долговечности авиационных двигателей гражданских судов введены в действие Авиационные правила, Часть 33 и Часть ВД. Они содержат требования, предъявляемые к материалам, применяемым в конструкции двигателя. Для того чтобы материал был допущен к применению в конструкции двигателя, необходимо доказать соответствие требованиям пунктов Авиационных правил. Проведен анализ нормативной документации РФ, регламентирующей доказательство возможности применения материалов в конструкции авиационного двигателя для обеспечения его летной годности.

Ключевые слова: нормативная документация, Авиационные правила, авиадвигателестроение, конструкционные материалы, летная годности.

М.А. Gorbovets¹, A.V. Slavin¹**PROOF OF MATERIAL COMPLIANCE
WITH THE REQUIREMENTS TO PART No. 33 OF JARs**

JARs, part No. 33 and auxiliary engine have been put into effect for providing quality, reliability and durability of civil aircraft engines. It contains requirements to materials, which are used for engine structure. It is necessary to prove compliance with the requirements to the clauses of JARs in order to accept material for application in aero-engine design. The article contains the analysis of the regulatory documentation of RF regulating materials application capability in aero-engine design for Essential Airworthiness.

Keywords: regulatory documentation, JARs, aero-engine building, construction materials, Essential Airworthiness.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

В современном авиадвигателестроении большое внимание уделяется показателям долговечности, надежности и безотказности узлов и элементов конструкции и, в свою очередь, предъявляются высокие требования к материалам, применяемым в конструкции [1–4].

Для обеспечения качества, надежности и долговечности авиационных двигателей гражданских судов введены в действие Авиационные правила, Часть 33 «Нормы летной годности двигателей воздушных судов» (1-е издание – 1994 г.; 3-е издание (поправки 33-1 и 33-2) – 2012 г.) и Авиационные правила, Часть ВД «Нормы летной годности вспомогательных двигателей воздушных судов» (1997 г.).

Авиационные правила АП-33 и АП-ВД содержат требования, предъявляемые к применяемым материалам. Выполнение требований АП-33 и АП-ВД необходимо для сертификации двигателя по АП-21 «Сертификация Авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей» [5–7].

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 2.2. «Квалификация и исследования материалов» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

Материалы и методы

Проведен анализ нормативной документации РФ, регламентирующей доказательство возможности применения материалов в конструкции авиационного двигателя для обеспечения его летной годности.

**Результаты и обсуждение
Требования, установленные
Авиационными правилами,****к материалам авиационных двигателей**

Авиационные правила АП-33 с поправками 33-1 и 33-2 гармонизированы с соответствующими разделами и приложениями Норм летной годности США FAR-33 с поправками по 33-30 включительно и с требованиями Европейских норм летной годности CS-E с поправками по E-2 включительно.

Требования Авиационных правил АП-33 и АП-ВД к материалам

АП-33 (с поправками 33-1 и 33-2), 2012 г.	АП-ВД, 1997 г.
<p>33.15. Материалы</p> <p>Пригодность и долговечность материалов, используемых для изготовления деталей двигателя, его систем и агрегатов, должны:</p> <p>(а) Устанавливаться на основании опыта использования и/или результатов испытаний с учетом условий работы материалов в двигателе; и</p> <p>(б) Соответствовать действующим стандартам, которые гарантируют прочностные и другие свойства материалов, принятые при проектировании. Принимаемые при расчетах прочности значения характеристик материала должны соответствовать статистически обоснованным минимальным значениям характеристик, реализуемых в детали (заготовке детали):</p> <p>(1*) Оцениваться с учетом влияния окружающих условий, ожидаемых в эксплуатации, технологических особенностей изготовления деталей поверхностное упрочнение, дополнительная термическая обработка и др.).</p> <p>(2*) Прочностные характеристики материалов должны определяться на основании достаточного количества испытаний, позволяющего установить статистически обоснованные расчетные значения.</p> <p>(а*) Обеспечивать там, где возможно, защиту двигателя от коррозии без использования внутренних и внешних ингибиторов коррозии</p>	<p>5.1.1. Материалы</p> <p>Пригодность и долговечность материалов, используемых в конструкции ВД, должны устанавливаться на основе опыта или испытаний, или того и другого вместе. Все материалы должны соответствовать действующим стандартам, которые гарантируют прочностные и другие свойства, принятые при проектировании</p>

Формирование требований АП-ВД осуществлено на основе требований JAR-APU (Раздел 1 и Приложение 1) и Технического стандарта TSO-C77a, с учетом требований Главы 9 Норм летной годности гражданских транспортных самолетов СССР (НЛГС-3) «Вспомогательный газотурбинный двигатель (ВГТД)» и АП-33 «Нормы летной годности двигателей воздушных судов».

Авиационные правила АП-33 и АП-ВД содержат требования, предъявляемые к применяемым материалам: в АП-33 – это пункт 33.15 «Материалы», в АП-ВД – это пункт 5.1.1 «Материалы» (табл. 1).

Требования к материалам, изложенные в АП-33, являются более подробными, и поскольку АП-ВД разрабатывались на основе АП-33, то в дальнейшем доказательство соответствия материалов пунктам Авиационных правил будет рассматриваться для п. 33.15 АП-33.

Как видно из данных табл. 1, основой для доказательства соответствия материала п. 33.15 АП-33 является получение расчетных значений характеристик прочности с учетом влияния окружающих условий, ожидаемых в эксплуатации (т. е. интервал температур, долговечностей, асимметрии нагружения и т. п.), и технологических особенностей изготовления деталей (поверхностное упрочнение, дополнительная термическая обработка и др.).

Доказательство соответствия материалов, применяемых в авиационном двигателе, требованиям Авиационных правил

Порядок доказательства соответствия

Подтверждением соответствия авиационного двигателя требованиям Авиационных правил является полученный Сертификат типа. Порядок сертификации изложен в АП-21 «Сертификация Авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей» (2013 г.). Оценку соответствия материалов устанавливает Раздел В – «Сертификация образцов авиационной техники», «Компоненты образца авиационной техники. Авиационные материалы», п. 21.27. «Авиационные материалы»: «Процедуры оценки соответствия авиационных материалов, используемых в конструкции образцов авиационной техники, требованиям Авиационных правил и порядок сертификации их производства устанавливаются Авиарегистром».

В соответствии с требованием этого пункта в 2012 г. АР МАК было введено в действие Руководство 33-ВД-М «Порядок оценки соответствия материалов, используемых в конструкции авиационного двигателя, требованиям Авиационных правил» (обязательное к исполнению) [8]. Руководство определяет порядок проведения и контроля оценки соответствия материалов/полуфабрикатов, используемых в конструкции

авиационного двигателя, требованиям Авиационных Правил (АП-21, АП-33, АП-ВД) и Норм прочности авиационных газотурбинных двигателей гражданской авиации. Действие Руководства распространяется на материалы/полуфабрикаты, предполагаемые для использования в конструкциях авиационных двигателей. Требования Руководства должны быть выполнены для каждого Поставщика материала/полуфабриката, в том числе при смене Поставщика. Предметом рассмотрения Руководства являются следующие группы материалов/полуфабрикатов конструкции авиационного двигателя:

а) Материалы, применяемые для изготовления основных деталей (ОД) авиационного двигателя.

б) Материалы, применяемые в особо ответственных деталях (не включенных в перечень основных деталей авиационного двигателя).

В Руководстве описывается порядок взаимодействия и ответственность участников процесса, последовательность действий и перечень предъявляемых документов для доказательства соответствия материала требованиям Авиационных правил.

Основой доказательства соответствия авиационного материала требованиям АП является квалификация материала, состоящая из двух этапов (п. 2.1. Руководства 33-ВД-М):

– общая квалификация, представляющая собой комплекс совместных действий Разработчика материала и Изготовителя материала/полуфабриката, в результате которых материал авиационного назначения должен быть зафиксирован как объект серийного производства. Фиксация проводится посредством выпуска и утверждения в установленном порядке комплекта документации, описывающей в объеме, необходимом для указанной цели, состав, процессы изготовления и контроля, уровень свойств и другие характерные признаки, а также характеристики, контролируемые в процессе приемосдаточных испытаний полуфабриката;

– специальная квалификация, представляющая собой комплекс действий, с помощью которых Разработчик авиационного двигателя совместно с Разработчиком материала и Изготовителем материала/полуфабриката определяет и демонстрирует в установленном порядке, что материал, примененный в типовой конструкции авиационного двигателя, обладает свойствами и параметрами, необходимыми для обеспечения летной годности авиационного двигателя в ожидаемых условиях эксплуатации.

Результатом общей квалификации является выпуск комплекта следующих документов:

– паспорт материала/полуфабриката, полученного в условиях опытного или опытно-промышленного производства, характеризующий ожидаемые уровни свойств материала/полуфабриката, необходимых для оценки воз-

можности его использования в авиационных конструкциях;

– технические условия (ТУ) на материал/полуфабрикат, которые должны обеспечивать получение в процессе производства двигателя характеристик конструкционной прочности гарантированного уровня, а также не превышение установленного количества металлургических дефектов разных размеров.

Общая квалификация проводится в соответствии с отраслевыми стандартами и отраслевой нормативной документацией. Во ФГУП «ВИАМ» порядок паспортизации материалов, в том числе объем необходимых испытаний для выпуска паспорта, определяется СТО 1-595-30-407-2012.

Результатом специальной квалификации являются:

– полный комплект (на момент завершения сертифицированных контрольных испытаний авиационного двигателя) отчетов с данными по выбору Расчетных значений характеристик прочности (РЗ ХКП) и с результатами проведенных квалификационных испытаний, демонстрирующих обоснованность выбора РЗ ХКП для подтверждения прочности и ресурса ОД и других особо ответственных деталей двигателя;

– окончательная редакция ТУ на материал/полуфабрикат, которая должна обеспечивать исключение возможности использования при производстве деталей двигателя материалов/полуфабрикатов, значения прочностных характеристик которых ниже соответствующих значений, использованных при подтверждении соответствия двигателя требованиям сертификационного базиса (РЗ ХКП).

Метод оценки соответствия требованиям п. 33.15 АП-33 в части определения РЗ ХКП изложены в Рекомендательном циркуляре РЦ-АП-33.15-1 «Методические рекомендации по определению расчетных характеристик конструкционной прочности металлических материалов», введенном в действие АР МАК в 2013 г. [9].

Рекомендательный циркуляр содержит рекомендации по достаточному объему испытаний, позволяющему установить статистически обоснованные расчетные значения (по п. 33.15.(b)(2*) АП-33), а также указания на конкретные приемлемые методы испытаний (ГОСТ, ASTM, OСТ) и методики расчета РЗ ХКП.

Предъявляемые документы

В типовой конструкции двигателя могут быть применены только материалы/полуфабрикаты авиационного назначения, прошедшие общую квалификацию, для которых действуют ТУ, подготовленные в виде государственных или отраслевых стандартов или в виде отдельных документов, оформленных в соответствии с процедурами, установленными органами государственного управления авиационной промышленностью применительно к утверждению их первоначального выпуска и последующих изменений.

Сравнение пунктов 33.15 для АП-33 и FAR-33

АП-33. 33.15. Материалы	FAR-33. 33.15. Материалы
<p>Пригодность и долговечность материалов, используемых для изготовления деталей двигателя, его систем и агрегатов, должны:</p> <p>(а) Устанавливаться на основании опыта использования и/или результатов испытаний с учетом условий работы материалов в двигателе; и</p> <p>(б) Соответствовать действующим стандартам, которые гарантируют прочностные и другие свойства материалов, принятые при проектировании. Принимаемые при расчетах прочностные значения характеристик материала должны соответствовать статистически обоснованным минимальным значениям характеристик, реализуемых в детали (заготовке детали):</p> <p>(1*) Оцениваться с учетом влияния окружающих условий, ожидаемых в эксплуатации, технологических особенностей изготовления деталей (поверхностное упрочнение, дополнительная термическая обработка и др.).</p> <p>(2*) Прочностные характеристики материалов должны определяться на основании достаточного количества испытаний, позволяющего установить статистически обоснованные расчетные значения.</p> <p>(а*) Обеспечивать там, где возможно, защиту двигателя от коррозии без использования внутренних и внешних ингибиторов коррозии</p>	<p>Пригодность и долговечность материалов, используемых в двигателе, должны:</p> <p>(а) Быть установлены на основе опыта или тестов; и</p> <p>(б) Соответствовать утвержденным спецификациям (таким как отраслевые или военные спецификации), которые гарантируют то, что они имели прочностные и другие свойства, принятые при проектировании</p>

Для обеспечения выдачи необходимых заключений предоставляются следующие документы:

- согласованная в установленном порядке спецификация материалов авиационного двигателя;
- СТО по квалификации материалов/полуфабрикатов;
- перечень ОД и других особо ответственных деталей двигателей с указанием материалов этих деталей и поставщиков материалов/полуфабрикатов;
- сведения о номенклатурах характеристик различных материалов/полуфабрикатов, методах и условиях проведения испытаний по определению этих характеристик;
- программы квалификационных испытаний материалов/полуфабрикатов;
- схемы вырезки из деталей (заготовок) образцов, чертежи образцов, сведения о технологии их изготовления;
- сведения об испытательных лабораториях, в которых проводились квалификационные испытания материалов;
- отчеты по результатам квалификационных испытаний с рекомендованными для подтверждения прочности и ресурса деталей статистически обоснованными значениями характеристик конструкционной прочности;
- ТУ на материал/полуфабрикат;
- программы исследований характеристик конструкционной прочности материалов/полуфабрикатов в процессе производства двигателя и возможного содержания металлургиче-

ских дефектов в поставляемых материалах/полуфабрикатах;

- программы исследований характеристик конструкционной прочности материалов/полуфабрикатов в процессе эксплуатации двигателя.

*Сравнение с зарубежными
Авиационными правилами*

Основой для АП-33 служат Нормы летной годности США FAR-33. Сравнение пунктов 33.15 приведено в табл. 2.

В зарубежной практике для доказательства соответствия принимаются материалы, внесенные в справочник MMPDS [10–12], так как для того, чтобы материал попал в справочник, производителю полуфабриката необходимо провести ряд процедур и большую серию испытаний [11].

К п. 33.15 FAR-33 также выпущены Рекомендательные циркуляры (Advisory circulars, ACs) 33.15-1 и 33.15-2 [12–14], однако они содержат рекомендации (необязательные) по технологии получения высококачественных полуфабрикатов (Premium quality) деталей вращения из титановых и никелевых сплавов.

В соответствии с требованиями РЦ-АП-33.15-1 РЗ ХКП определяются по результатам испытаний, указанных в табл. 3.

Для проведения таких испытаний с целью определения указанных характеристик требуется наличие значительного количества разнопланового

Перечень испытаний и оборудования для испытаний

Вид испытаний	Стандарт	Типы оборудования
Кратковременная прочность	ГОСТ 1497, ГОСТ 9651, ASTM E8, ASTM E21	Zwick/Roell Kappa 50DS, Zwick/Roell Kappa 50SS, Walter+Bai LFM50, Walter+Bai LFMZ50
Длительная прочность	ГОСТ 10145, ASTM E139	Zwick/Roell Kappa 50LA, ZST 2/3, Zwick/Roell Kappa 50DS, Zwick/Roell Kappa 50SS, Walter+Bai LFMZ50
Ползучесть	ГОСТ 3248, ASTM E139	Zwick/Roell Kappa 50LA, Zwick/Roell Kappa 50DS, Zwick/Roell Kappa 50SS, Walter+Bai LFMZ50
МЦУ	ГОСТ 25.502, ASTM E606, ASTM E466	Walter+Bai LFM100
МнЦУ	ГОСТ 25.502, ASTM E466	Walter+Bai LFM100, Rumul Testronic 50
СРТУ	ASTM E647, OCT1 92127–90	Walter+Bai LFM100

испытательного оборудования – например, в Испытательном центре (ИЦ) ФГУП «ВИАМ» применяется оборудование, указанное в табл. 3 [15–19].

Для получения полного набора РЗ ХКП материала требуется провести значительный объем различных испытаний. Для сокращения времени проведения специальной квалификации материалов двигателя при температурах до 1200°C, с целью получения необходимого комплекса РЗ ХКП в соответствии с требованиями РЦ-АП-33.15-1, целесообразно привлекать лаборатории, оснащенные комплексом необходимого оборудования по всем видам испытаний, – например, такие как лаборатория ИЦ ФГУП «ВИАМ».

Заключения

1. Для доказательства соответствия материала, применяемого в авиационном двигателе, п. 33.15 АП-33 необходимо получить РЗ ХКП в соответствии с требованиями РЦ-АП-33.15-1 и представить документы в соответствии с требованиями Руководства 33-ВД-М.

2. Для сокращения времени проведения специальной квалификации материалов двигателя при температурах до 1200°C, с целью получения необходимого комплекса РЗ ХКП в соответствии с требованиями РЦ-АП-33.15-1, целесообразно привлекать лаборатории, оснащенные комплексом необходимого оборудования по всем видам испытаний, – например, такие как лаборатория ИЦ ФГУП «ВИАМ».

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Ломберг Б.С., Сидоров В.В. Приоритетные направления развития технологий производства жаропрочных материалов для авиационного двигателестроения // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2013. №3. С. 47–54.
3. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
4. Каблов Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ для «Авиадвигателя» // Пермские авиационные двигатели: информ. бюл. 2014. №31. С. 43–47.
5. Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей: АП-21: введ. в действие с 05.07.1994. М.: Авиаиздат, 2013. 54 с.
6. Нормы летной годности двигателей воздушных судов: АП-33: утв. Постановлением 32-й сессии совета по авиации и использованию воздушного пространства 17.02.2012. 3-е изд. с поправками 1–2. М.: Авиаиздат, 2012. 85 с.
7. Нормы летной годности вспомогательных двигателей воздушных судов: АП-ВД: введ. в действие с 22.06.1998. М.: Авиаиздат, 1999. 20 с.
8. Порядок оценки соответствия материалов, используемых в конструкции авиационного двигателя, требованиям Авиационных правил: руководство 33-ВД-М: введ. в действие 19.12.2012. М.: Авиаиздат, 2012. 14 с.
9. Методические рекомендации по определению расчетных характеристик конструкционной прочности металлических материалов: РЦ-АП-33.15-1. М.: Авиаиздат, 2013. 41 с.
10. Code of Federal Regulations (Federal Aviation Regulations) PART 33–Airworthiness Standards: Aircraft Engines. URL: <http://faa.gov/> (дата обращения: 04.06.2018).

11. Metallic Materials Property Development and Standardization: [официальный сайт]. URL: <http://mmpds.org> (дата обращения: 04.06.2018).
12. Federal Aviation Administration: [официальный сайт]. URL: <http://faa.gov> (дата обращения: 04.06.2018).
13. Manufacturing Process of Premium Quality Titanium Alloy Rotating Engine Components: Advisory circular 33.15-1: [официальный сайт]. URL: <http://faa.gov> (дата обращения: 04.06.2018).
14. Manufacturing Processes for Premium Quality Nickel Alloy for Engine Rotating Parts: Advisory circular 33.15-2: [официальный сайт]. URL: <http://faa.gov> (дата обращения: 04.06.2018).
15. Беляев М.С., Хвацкий К.К., Горбовец М.А. Сравнительный анализ российского и зарубежных стандартов испытаний на усталость металлов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №9. Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.06.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-11-11.
16. Горбовец М.А., Кочетков Д.А., Ходинев И.А. Анализ и сравнение российских и зарубежных стандартов, устанавливающих методы испытаний на термомеханическую усталость // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2017. №4. Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.06.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-4-11-11.
17. Горбовец М.А., Ночовная Н.А. Влияние микроструктуры и фазового состава жаропрочных титановых сплавов на скорость роста трещины усталости // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №4. Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.06.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-3-3.
18. Соловьев А.Е., Голынец С.А., Хвацкий К.К., Асланян И.Р. Проведение статических испытаний при растяжении на машинах фирмы Zwick/Roell // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №8. Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.06.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-12-12.
19. Испытательный центр ВИАМ: [официальный сайт]. URL: <http://isp.viam.ru> (дата обращения: 04.06.2018).