

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ИЗ СПЛАВА ВД 17, ОТРАБОТАВШИХ РЕСУРС, С ЦЕЛЬЮ ИХ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПОВТОРНЫЙ ОБОРОТ

проф. **С. В. ОЧАГОВ***
МГТУ ГА
Москва, Россия

При разработке программ модернизации и восстановления летной годности изделий авиационной техники приходится решать задачи вовлечения в повторный оборот элементов авиационных изделий, от прочностного состояния которых зависят возможности увеличения ресурса изделий в целом. В докладе представлена методология оценки остаточной прочности лопаток авиационных двигателей из сплава ВД 17, отработавших назначенный ресурс, с целью их вовлечения в повторный оборот.

ВВЕДЕНИЕ

Гражданская авиация эксплуатирует тысячи единиц стареющей авиационной техники (самолетов, вертолетов и авиадвигателей), которые целесообразно подвергнуть модернизации.

Так, например рыночные планы, разработанные ведущими авиационными фирмами, предполагают модернизацию в течение 2000÷2019 гг. нескольких тысяч эксплуатируемых в настоящее время стареющих самолетов [1].

Под модернизацией стареющих самолетов и вертолетов следует понимать:

- восстановление их летной годности,
- восстановительный ремонт,
- модернизацию путем доработок с целью повышения технического уровня техники,
- переоборудование воздушных судов из пассажирских в транспортные,
- продление (увеличение) сроков службы и жизненного цикла авиационной техники.

Исследования проведены применительно к двигателям Д30 – КУ 154, которые представляют семейство двигателей типа Д30, имеющих единую конструктивную схему. Двигатели типа Д30 установлены на ряде воздушных судов гражданской авиации России (табл. 1).

Табл. 1. Двигатели типа Д30, установленные на различных типах воздушных судов России

Тип воздушного судна	Тип двигателя	Количество двигателей
Ту-134	Д-3КУ – 1 серии	2
Ту-134А	Д-30КУ – 2 серии	2
Ту-154М	Д-КУ – 154 II	3
ИЛ-62	Д-30КУ	4
ИЛ-76	Д-30КП	4

КРИТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

Анализ критических элементов, то элементов, являющихся основными причинами отказов и неисправностей двигателей, показал, что значительный процент (19,5%) [2] повреждений на лопатках компрессоров и турбин, табл. 2.

Табл. 2. Критические элементы в общем числе отказов и неисправностей авиационных двигателей [2]

1.	Резино-технические элементы	3,5%
2.	Корпусные детали	4,0%
3.	Подшипники	10,5%
4.	Лопатки	19,5%
5.	Остальные элементы	62,5%

* Очагов Сергей Валентинович, 1933 г.р., окончил МАТИ (1962), профессор кафедры ремонта летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, кандидат технических наук, доцент, автор более 80 научных работ, область научных интересов – технология производства и ремонта авиационной техники.

Анализ механизмов повреждаемости лопаток авиадвигателей (табл. 3) показал, что 53,3% составляют усталостные трещины, из которых 11,8% приходится на лопатки направляющих аппаратов, изготовленных из алюминиевого сплава ВД 17. Количество лопаток в трех корпусах направляющих аппаратов двигателя (рис. 1) составляет 170 единиц. Необходимость замены такого количества лопаток в каждом двигателе после отработки ими ресурса является сложной экономической проблемой. Это делает актуальной задачу восстановления летной годности лопаток направляющих аппаратов из сплава ВД 17 двигателей семейства Д 30 с целью вовлечения их в повторный оборот. Кроме того, модернизация двигателей типа Д 30 невозможна без восстановления усталостной прочности лопаток направляющих аппаратов.

Алюминиевый сплав ВД 17 (системы Al–Cu–Mg–Mn) относится к сплавам с пониженным содержанием меди и высоким содержанием магния [3], что обеспечивает ему повышенную жаропрочность при температурах 250-300°С, которые имеют место в компрессоре низкого давления. Благодаря этому обстоятельству сплав ВД 17 широко используется для производства лопаток направляющих аппаратов компрессоров низкого давления (КНД) семейства двигателей типа Д30.

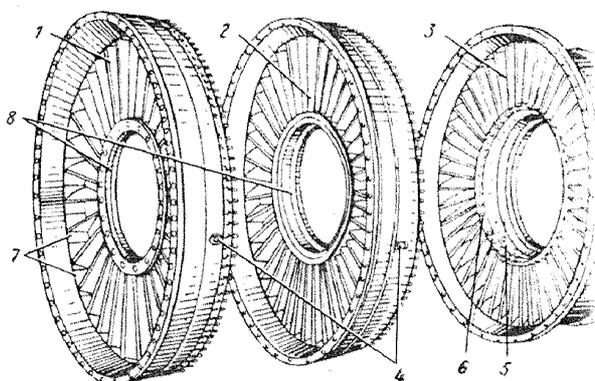


Рис. 1. Корпуса КНД с направляющими аппаратами (НА): 1 - корпус с НА I ступени (33 лопатки); 2 - корпус с НА II ступени (33 лопатки); 3 - корпус с НА III ступени (94 лопатки); 4 - лопатки; 5 - внутренние кольца; 6 - крепеж; 7 - распорные вставки; 8 - кольца

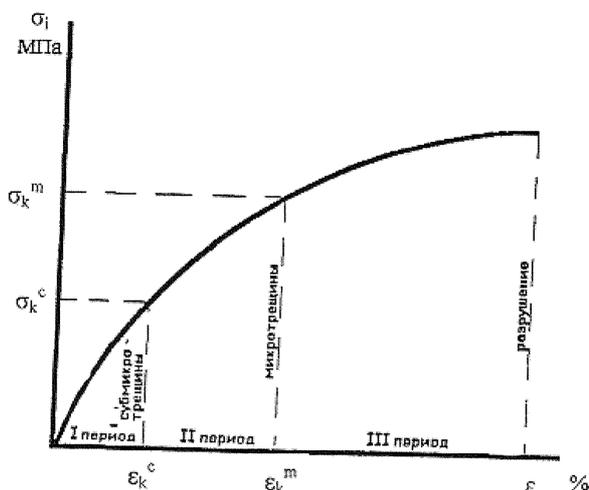


Рис. 2. Стадии повреждаемости конструкционных материалов

В работе представлена методология оценки остаточной прочности лопаток авиационных двигателей из сплава ВД 17, отработавших гарантийный ресурс, с целью их вовлечения в повторный оборот.

Табл. 3. Механизмы повреждаемости лопаток авиационных двигателей (за 100% принято число экспериментов) [2]

1.	Усталостные трещины	53,3%
2.	Ползучесть	0,4%
3.	Коробление	4,3%
4.	Забойны	8,6%
5.	Местные деформации	3,5%
6.	Межкристаллитная коррозия	5,2%
7.	Отслаивание покрытий	0,4%
8.	Микротрещины	2,2%
9.	Коррозионные повреждения	6,1%
10.	Перегрев	11,3%
11.	Перегрузки	4,8%

СУЩНОСТЬ МЕТОДИКИ

Основные требования, предъявляемые к методике:

- в методике должно использоваться минимальное количество экспериментального материала,
- в методике должны использоваться элементарные расчетные методы,
- методика должна обеспечивать возможность однозначного принятия решений на основе результатов исследований.

Схематически содержание методики можно представить так:

- необходимо оценить состояние материала лопаток после выработки ими ресурса с целью оценки целесообразности их вовлечения в повторный оборот,
- провести ремонтно-восстановительные работы на лопатках, которые подлежат вовлечению в повторный оборот,
- оценить показатели выносливости, лопаток после ремонтно-восстановительных работ и принять соответствующее решение.

В современной механике разрушения установлены три стадии накопления усталостных повреждений элементов конструкций [4].

Первая стадия интенсивного упрочнения связана с ростом плотности дислокаций в металле по мере увеличения эксплуатационных напряжений (рис. 2). К моменту завершения первой стадии в локальных объемах с критической плотностью дислокаций, возникают субмикроскопические трещины. Соответствующие напряжения и деформации называют напряжениями и деформациями обратимых повреждений и обозначают σ_k^c и ϵ_k^c (рис. 2).

Вторая стадия обратимых повреждений связана с увеличением числа и разрастанием субмикроскопических трещин. Их число и размеры увеличиваются в тех объемах металла, где, прежде всего, достигнута критическая плотность дислокаций. Повреждения, возникшие в результате образования субмикроскопических трещин, могут быть устранены восстановительной упрочняющей обработкой, например, электрохимической обработкой (ЭХО), поверхностным пластическим деформированием (ППД) и т.д. К моменту завершения второй стадии в металле образуются трещины микроскопических размеров, являющиеся эффективными концентраторами напряжений. Соответствующие напряжения и деформации называют напряжениями и деформациями необратимых повреждений и обозначают $\sigma_{\text{н}}$ и $\epsilon_{\text{н}}$ (рис. 2).

Третья стадия связана с ростом количества и размеров микротрещин, из которых образуются магистральные трещины, вызывающие разрушения конструктивных элементов. Повреждения, возникшие на этой стадии, нельзя устранить восстановительными обработками. Естественно, что возникновение и накопление повреждений в металле приводит к изменению его структурно-чувствительных свойств. К числу структурно-чувствительных свойств относятся такие показатели, как хрупкость и сопротивление металла усталостному разрушению.

При длительном воздействии различных эксплуатационных факторов меняются пластические свойства конструкционного металлического материала, что приводит к неоднородности его пластических свойств, то есть к накоплению повреждений на молекулярном уровне. Отсюда следует, что оценка степени повреждения того или иного конструктивного элемента должна сводиться к оценке прочностных показателей, однородности металлического конструкционного материала, из которого изготовлен элемент (лопатка НА КНД и т.д.), путем испытания его на одноосное растяжение. По результатам испытаний одной из лопаток оцениваются пластические свойства и однородность материала и принимается решение о работоспособности остальных лопаток, входящих в состав НА КНД. Таким образом, изменения свойств материала конструктивного элемента могут быть приняты в качестве диагностического признака степени его повреждения.

При постоянном составе все проявляемые металлическими сплавами свойства полностью зависят от их внутреннего строения. А обратно следует, что ни одно изменение свойства не может произойти без изменения первоначального строения. Обобщенным показателем свойств, структуры и повреждений материала может служить кривая упрочнения металла в виде $\sigma_S = C(\varphi_0 + \varphi_{III})^n$ и ее постоянные C , φ_0 , n [4]. Сравнение полученной кривой и ее постоянных с эталонным видом кривой для данного материала может служить диагностическим признаком пригодности материала к дальнейшей эксплуатации. При сравнении кривой упрочнения испытываемого материала и ее постоянных с эталонными значениями необходимо располагать данными об их допустимых и предельных отклонениях.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ЛОПАТОК НА КНД АВИАДВИГАТЕЛЯ Д-30КУ-154 ИЗ СПЛАВА ВД 17

С целью подтверждения эффективности восстановления летной годности лопаток НА КНД из сплава ВД 17 были проведены сравнительные усталостные испытания четырех партий лопаток. Характеристика лопаток и результаты сравнительных испытаний представлены в табл.4.

Условия испытаний лопаток:

- частота изгибных колебаний $f = 1635...2088$ Гц,
- амплитуда переменных напряжений $\sigma_a = 103...180$ МПа.

Табл. 4. Результаты сравнительных усталостных испытаний лопаток направляющих аппаратов из сплава ВД 17

№ партии	Количество лопаток	Наработка в часах	Предел выносливости на базе $N = 2 \cdot 10^7$ циклов, в МПа	Примечание
1	25	1-ой категории	77	
2	13	5774	71	Лопатки, предназначенные для утилизации
3	22	5011...5774	90	Лопатки, отработавшие гарантийный ресурс и восстановленные по методике
4	18	12000	70	Лопатки, восстановленные по методике

ВЫВОДЫ

1. Лопатки НА КНД из сплава ВД 17 с наработкой 5011...5774 часов, отработавшие гарантийный ресурс и прошедшие восстановительный ремонт с применением настоящей методики, имеют предел выносливости на базе 2Ч107 циклов, что на 17% выше лопаток первой категории. Их гарантийный срок службы восстановлен до первоначального уровня.
2. Лопатки с наработкой 12000 часов, прошедшие восстановительную обработку с применением настоящей методики, не могут быть вовлечены в повторный оборот; это находится в соответствии с обоснованием методики.
3. Восстановлению усталостной прочности могут быть подвергнут лопатки НА КНД двигателей семейства Д-30 из сплава ВД 17 трех ступеней НА КНД с наработкой, соответствующей гарантийной.
4. Методика может быть применена при восстановлении усталостной прочности элементов авиационной техники из сплавов аналогичных сплаву ВД 17; при этом необходимо учитывать особенности эксплуатации конструктивных элементов и условия рабочей среды.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Гончарова Е.:** *Будущее и перспективы рынка вспомогательных услуг.* Авиаглобус, № 12, 2000.
- [2] **Bukowski L., Klysz S.:** *Zmęczenie konstrukcji lotniczych. Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej.* Tom 2. Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych. Warszawa 1993.
- [3] **Колобнев И. Ф.:** *Термическая обработка алюминиевых сплавов.* М.: Металлургия. 1966.
- [4] **Очагов С. В., Селиверстов Е. Б.:** *Применение кривых упрочнения металлов и сплавов для оценки степени повреждаемости элементов авиационных конструкций в условиях практической эксплуатации.* М.: МГТУ ГА, 2004.

S. W. Oczagow

OCENA ZDATNOŚCI ELEMENTÓW SILNIKA, WYKONANYCH ZE STOPU WD 17, KTÓRE WYPRACOWAŁY RESURS, W CELU POWTÓRNEGO WPROWADZENIA ICH W OBIEG

Streszczenie

W trakcie opracowywania programów modernizacji i przywracania zdolności do lotu wytworów techniki lotniczej, trzeba rozwiązać problem powtórnego wprowadzenia w obieg tych elementów wyrobów lotniczych, od stanu wytrzymałości których zależy możliwość zwiększenia resursu całego wyrobu. W artykule przedstawiono metodologię oceny pozostałej wytrzymałości łopatek silników lotniczych, wykonanych ze stopu WD 17, które wypracowały wyznaczony resurs, w celu powtórnego wprowadzenia ich w obieg.

S. W. Oczagov

AN EVALUATION OF THE AIRWORTHINESS OF ENGINE ELEMENTS, CREATED FROM THE WD 17 ALLOY, WHICH ACHIEVED THE OVERHAUL LIFE, WITH THE AIM OF THEIR REPEATABLE USE

Summary

In the course of development of modernization programs and return to airworthiness of products of aerospace technology, the problem of repeatable use of these elements of aerospace products should be solved, on whose state of durability the ability to increase service life of the whole product depends. In the article, the methodology of evaluating the reserve durability of blades of engines used in aerospace, created from the WD17 alloy, which achieved the demanded overhaul life, with the aim of their repeatable use.