

УДК 539.4.016 : 621.831

**А.И. ДОЛМАТОВ, А.А. КОЛОС***Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РЕСУРС РАБОТЫ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Предложен к рассмотрению системно-комплексный метод исследования факторов, влияющих на ресурс работы зубчатых колес узлов и агрегатов авиационных двигателей, поставлена задача систематизации дефектов, выявляемых в процессе ремонта, для анализа технологических причин, приводящих к появлению характерных дефектов, с целью определения рационально-эффективного применения различных способов упрочнения.

**долговечность, ресурс, зубчатые колеса, дефекты, причины, анализ, систематизация информации, ремонт, упрочняющие технологии**

**Введение**

Повышение ресурса авиационных двигателей является важнейшей задачей современного авиадвигателестроения и ремонта, поскольку ресурс в значительной мере определяет экономичность, конкурентоспособность и безопасность полетов летательных аппаратов.

**Формулирование проблемы.** Установление и продление ресурсных показателей зубчатых колес узлов и агрегатов авиационных двигателей является актуальной проблемой для конструкторов, технологов, производственников, эксплуатационников и ремонтников. В разрешении которой научно-практической задачей поставлено исследование причинно-следственных связей результатов эксплуатации изделий и технологий производства и ремонта.

Во-первых, должны анализироваться статистические данные по видам дефектов зубчатых колес авиадвигателей, выявленных в эксплуатации и при определенном виде ремонта. Так как значительная часть дефектов деталей выявляется и исследуется только при ремонте на заводах, что обусловлено заменой именно неисправного модуля или агрегата авиадвигателя в эксплуатации.

Во-вторых, должны расследоваться и анализироваться причины замены узла или агрегата до выра-

ботки ими установленного межремонтного или назначенного ресурса.

Следовательно, для изучения причин появления отказов и разработки конструктивно-технологических мероприятий по их предупреждению большое значение имеет сбор и анализ информации о дефектах выявляемых при ремонте агрегатов и узлов двигателя.

**Обзор публикаций и выделение нерешенных задач.** Анализ различных литературных данных показывает, что в последнее время частично наметилась тенденция к исследованиям по повышению долговечности почти всех деталей как при изготовлении, так и при ремонте. Это заставляет прибегнуть к экономическим аспектам долговечности изделий, что привело к понятию оптимальной долговечности, обеспечение которой комплексно решается как при изготовлении так и при ремонте, одной организацией исполнителем [1].

Стремление к повышению долговечности авиационных двигателей за счет дальнейшего ужесточения требований к точности геометрических параметров сопрягаемых деталей малоэффективно, так как приводит к существенному росту технологических трудностей и затрат на изготовление. Применение новых высокопрочных материалов для изготовления ответственных деталей авиадвигателей, хотя и способствует росту статической прочности,

однако, сопровождается существенным ростом технологической себестоимости изделий. Наиболее эффективно повышение эксплуатационных свойств деталей технологическими методами [2].

Таким образом, можно сказать, что вопрос о повышении долговечности зубчатых колес актуален и представляет интерес для дальнейших исследований.

**Постановка задачи исследования.** Следовательно, задачей исследования ставится выявление, систематизация и анализ дефектов зубчатых колес авиадвигателей на всех этапах от изготовления, испытания, эксплуатации до дефектации и ремонта. Результаты данных исследований будут служить конечно-исходными данными для рассмотрения вопроса о закономерном повышении эффективности упрочняющих технологий изготовления и ремонта зубчатых колес авиационных двигателей.

### **Изложение основного материала с обоснованием полученных результатов**

В ходе проведенных исследований были определены и систематизированы следующие виды дефектов зубчатых колес авиадвигателей.

Разрушение зубчатых колес, один из самых опасных и значительных дефектов, приводящих к неисправностям и отказам узлов и агрегатов авиадвигателя. В ряде случаев появление трещин и поломок зубчатых колес связано с местным повышением напряжений в так называемых зонах концентраторах напряжений. Неправильный выбор допусков и посадок причина местных концентраторов напряжений. Причиной разрушения в большинстве случаев оказывается неверно выбранные методы и режимы обработки детали. Так, например, при появлении прижогов происходит структурно-фазовое изменение состояния поверхностного слоя материала заготовки детали, и в результате сопротивление усталости детали снижается примерно на 20 – 25%. Разрушаются зубчатые колеса в следствии местного

ослабления прочности деталей из-за недостаточно продуманного способа производственного контроля [3].

Усталостное (оспovidное) изнашивание, возникающее при трении качения, является следствием усталости поверхностных слоев металла, и также выступов микронеровностей, при повторном нагружении одних и тех же микрообъемов поверхностного слоя. Ведущее к накоплению повреждений и в результате выражающееся в усталостном выкрашивании поверхностей зубьев, т.е. разрушении. Основной причиной в результате которой активно проявляется усталостное выкрашивание поверхностного слоя зубьев, является не обеспечение требуемого качества поверхностного слоя детали: шероховатости, волнистости, физико-механических свойств, микроструктуры металла и остаточных напряжений [4].

Абразивное изнашивание также вид изнашивания, при котором отделение части поверхности происходит за счет микрорезания материала поверхностного слоя зубчатого колеса неровностями или твердыми структурными составляющими материала сопряженного зубчатого колеса, или микроцарапания, производимого абразивными частицами, находящимися между поверхностями трущихся поверхностей зубьев. Причиной данного вида износа, является наличие твердых посторонних частиц в рабочем воздухе, топливе, смазочных материалах, охлаждающих жидкостях, загрязнение полостей двигателя. Также определяющей причиной абразивного изнашивания есть неудовлетворительное качество обработки рабочих поверхностей трения зубьев [5].

Заедание зубьев заключается в местном молекулярном сцеплении контактирующих поверхностей зубьев колес в условиях разрушения смазочной пленки, характеризуемое местным налипанием и отделением частиц на поверхности трения (адгезионный отрыв). Изнашивание такого вида возникает при высоких давлениях и больших скоростях относительного скольжения, как правило, обладает

большой интенсивностью. Превалирующей причиной заедания зубьев может быть выдавливание или изнашивание масляной пленки или понижение вязкости и защитной способности масла от нагрева, т.е. в зоне трения возникает тепловой износ, в следствии неправильной сборки зубчатого зацепления, узла. Заеданию более подвержены зубья с незакаленными поверхностями из однородных материалов, однако, это явление наблюдается также и при разнородных материалах и закаленных поверхностях.

Фреттинг-коррозия, являющаяся разновидностью коррозионно-механического изнашивания, происходит под воздействием окислительных процессов и абразивного изнашивания металла зубчатых колес. Пластически деформированный и насыщенный кислородом поверхностный слой зубчатых колес, с присутствующими в области трения окисленными продуктами изнашивания, разрушается под воздействием многократно повторяющихся нагрузок, после чего в процесс вступают новые нижние слои металла. В результате на поверхностях взаимного касания образуются язвочки и продукты коррозии в виде налета, пятен и порошка. Причинами коррозионно-механического изнашивания являются: шероховатость поверхности, направление неровностей, волнистость обусловленные методами и режимами механической обработки, а также физической природы металла. Существенное значение для протекания процесса фреттинг-коррозии имеет окисление поверхностей возникающие вследствие вибраций или деформации под нагрузками.

Механические повреждения торцов и рабочих поверхностей зубьев происходят по следующим причинам, очевидной из которых, является нарушение технологического процесса сборки, а именно использование непредусмотренного технологическим процессом инструмента, и невыполнение технических требований и условий сборки. Также попадание в зону контакта зубьев или других поверх-

ностей, посторонних металлических и абразивных частиц в процессе сборки или эксплуатации. Посторонние механические частицы при попадании в зазоры трущихся пар участвуют в восприятии нагрузки и могут в зависимости от местных условий впрессовываться в поверхность трения, раздавливаться на более мелкие фракции, скользить или перекатываться вдоль поверхности, вызывая дефекты поверхностного слоя зубчатого колеса.

Приработка рабочих поверхностей зубьев, цапф, шлицев является первоначальным износом, который происходит по физическим процессам износа.

В результате пластической деформации поверхностных слоев, на контактных поверхностях зубьев происходит наклеп. При наклепе уменьшаются пластичность и ударная вязкость, и повышаются твердость и прочность. Очевидной причиной наклепа на профиле зубьев в процессе работы зубчатых передач, является превышающая оптимальную микротвердость поверхностного слоя после изготовления детали, приводящая в дальнейшем к перенаклепу. Также причиной может быть и меньшая, чем оптимальная микротвердость детали, в этом случае в процессе работы на зубчатых колесах происходит интенсивный износ, до пор, пока пластическая деформация поверхностного слоя не повысит его микротвердость до величины оптимальной.

Коррозионное разрушение поверхностей зубчатых колес в результате химического воздействия среды, проявляется в разрушении поверхности металла. Интенсивность этого процесса зависит от физической природы металла, параметров поверхностного слоя и условий эксплуатации [4]. Коррозия способствует процессу кавитационного разрушения и фреттинг-коррозии металла.

Кавитационный износ, протекающий в процессе кавитации, при этом поверхность металла начинает наклепываться на малую глубину, появляются линии сдвига с выявлением границ отдельных зерен. Процесс кавитации вызывает разупрочнение, пере-

наклеп материала на отдельных микроучастках, сопровождающихся возникновением очагов разрушения в виде трещин и питтинга. Разрушение может развиваться в пределах зерен или по границам их. Возникновение кавитации связано с наличием дополнительного разрежения вследствие высокого гидросопротивления, имеющего место по конструктивным причинам.

### **Выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении**

В результате проведенных исследований были выявлены, систематизированы и предварительно проанализированы характерные виды дефектов зубчатых колес авиационных двигателей после эксплуатации.

Очевидно, во-первых, что использование действующих упрочняющих технологий не может предотвратить появление дефектов на поверхностном слое зубчатых колес, и как следствие более увеличить межремонтный ресурс эксплуатации узла или агрегата авиадвигателя.

Во-вторых, из выше сказанного, не представляется возможным сократить объем и сроки работ, производимых при ремонте данного типа деталей, а как следствие, и экономию материальных средств, затрачиваемых на восстановление или изготовление (взамен забракованных после эксплуатации) зубчатых колес.

Подводя итог данного этапа исследований, можно сказать, что необходимо знать характер влияния параметров качества поверхностного слоя зубчатых колес, на предрасположенность к тому или иному виду эксплуатационных дефектов, а в перспективе для выявления рациональных областей эффективно применения различных способов упрочнения.

### **Литература**

1. Суслов А.Г. Направления работ Брянской технологической школы по решению проблемы «Обеспечения и повышения качества изделий машиностроения и технологической оснастки» // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. – М.: Машиностроение, 2004. – № 11. – С. 2 – 5.
2. Киричек А.В. Повышение эффективности упрочняющих технологий // Справочник. Инженерный журнал. Приложение – М.: Машиностроение, 2004. – № 3. – С. 15 – 20.
3. Косточкин В.В. Надежность авиационных двигателей и силовых установок. – М.: Машиностроение, 1988. – 266 с.
4. Богуслаев В.А. и др. Технология производства авиационных двигателей: Монография / А.Я. Качан, В.Ф. Мозговой, Е.Я. Корневский; Под ред. В.А. Богуслаева – Запорожье: Изд. комплекс ОАО «Мотор Сич», 2000. – Т. 1. – 945 с.
5. Ремонт авиационных двигателей. / Н.И. Кончук, Б.Е. Авчинников, В.П. Фролов; Под ред. А.Д. Пономарева. – М.: Изд. ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1955. – 310 с.
6. Папшев Д.Д. Упрочняющая технология в машиностроении (методы поверхностного пластического деформирования). – М.: Машиностроение, 1986. – 160 с.
7. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
8. Геллер Ю.А. Рахштадт А.Г. Материаловедение. – М.: Металлургия, 1975. – 328 с.

*Поступила в редакцию 31.05.2005.*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Я.Мовшович, ГП «Харьковский научно-исследовательский институт технологии машиностроения», Харьков.