

УДК 539.4:620.191

А.И. ДОЛМАТОВ, А.А. КОЛОС

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

КОЛИЧЕСТВЕННО-КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Рассмотрена количественно-качественная категория, характеризующая изнашивание зубчатых колёс, со стороны числа и существенных признаков.

зубчатые колеса, изнашивание, анализ, количество, качество, причины, ремонт, упрочняющие технологии

Введение

Анализ количественно-качественной категории, характеризующей изнашивание зубчатых колёс, представляет интерес, как основа для условий по продлению межремонтного ресурса узлов и агрегатов изделия.

Формулирование проблемы Качество, а также и количество, как объективный показатель, тех или иных существенных признаков изнашивания определяет причинно-следственную связь детали и методов ремонта, а следовательно, и конструктивно-технологических мероприятий по данному вопросу. Для этого необходимо оценить в количественном отношении наличие различных видов изнашивания данного типа деталей.

Обзор публикаций и выделение нерешенных задач. Анализ различных литературных данных показывает, что стремление к повышению долговечности машин за счёт дальнейшего ужесточения требований к точности геометрических параметров сопрягаемых деталей малоэффективно, так как приводит к существенному росту технологических трудностей и затрат на изготовление ответственных деталей машин хотя и способствует росту статической прочности, однако сопровождается существенным ростом технологической себестоимости изделий. Наиболее эффективно повышение эксплуатационных свойств деталей технологическими методами [1].

Установлено, что изготовление деталей из одного и того же материала по различной технологии и с разными режимами обработки приводит к резкому изменению свойств поверхностного слоя, при этом долговечность таких деталей различна.

Изучение технологий обычно ограничивается рамками отдельных операций. Однако, при использовании высокоинтенсивных воздействий потоками энергии и вещества необходимо всесторонне исследовать точность и физико-механические свойства, учитывая действие технологическо-эксплуатационной наследственности.

Это означает, что все операции и их технологические переходы, а также характеристики обработанных поверхностей формируются всем комплексом технологических воздействий, и изменяются в процессе эксплуатации детали [2].

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

Постановка задачи исследования. Задачами исследования ставятся определение, и анализ видов изнашивания зубчатых колес эксплуатирувавшихся узлов и агрегатов изделий. Результаты данных исследований могут служить данными для рассмотрения вопроса о повышении эффективности упрочняющих технологий изготовления и ремонта изделий.

Изложение основного материала с обоснованием полученных результатов

В ходе проведенных исследований были рассмотрены основные виды изнашивания зубчатых колёс модулей, узлов, агрегатов изделия, выразившихся в дефектах типа износ и коррозия.

Многообразие явлений и процессов при трении и изнашивании связано, в основном, с особенностями их контактного напряжения. Примером этого являются типы износа: окислительный, адгезионный, усталостный, а также и типы коррозии, такие как феттинг-коррозия, химическая коррозия и коррозия под напряжением.

Таблица 1

Количественно-качественная характеристика изнашивания зубчатых колёс

Вид изнашивания	Местонахождение дефекта	Качественный показатель	Количественный показатель, %
Усталостный износ	цапфы; рабочая поверхность зубьев; валы	Причины: внутренние напряжения; процесс пластической деформации; явление усталости металла. Следствие: выкрашивание поверхностного слоя	52
Абразивный износ	торцы зубьев; рабочая и нерабочая поверхность зубьев	Причины: неоднородность микроструктуры; процесс пластической деформации. Следствие: срезание; микроцарапание поверхностного слоя.	15
Феттинг-коррозия	шлицы, цапфы, валы	Причины: циклические напряжения; процесс пластической деформации; окисление поверхностного слоя. Следствие: микрорезание, микроцарапание, выкрашивание поверхностного слоя; окисление.	22
Коррозия	поверхность зубьев, цапфы, валы	Причины: статические, циклические, температурные напряжения; химические реакции. Следствие: растрескивание; коррозионная усталость; окисление; разрушение поверхностного слоя.	6
Адгезионный износ	шлицы, шаровая опора	Причины: процесс пластической деформации поверхностного слоя; молекулярное сцепление. Следствие: наволакивание, микроцарапание, выкрашивание поверхностного слоя.	5

Для выявления неисправностей и дефектов, а также для разработки технологии их устранения важно установить физические процессы, приводящие к их появлению. Различают разрушения хрупкие, усталостные и под воздействием длительной статической нагрузки. Несмотря на совершенствование методов расчётов на прочность, наблюдается большое расхождение между расчётными и реальными характеристиками.

Для производства зубчатых колёс применяются высокопрочные стали, которые обладают высокими

пределами прочности, выносливости, сопротивлением термической усталости, коррозионной стойкости. Однако типичным и общим дефектом материалов такого рода является их микроструктурная неравномерность, вследствие чего возникают локальные зоны с пониженными механическими свойствами.

Как показывает опыт, прочность конструкций оказывается значительно меньшей, чем прочность материалов из которых конструкция изготовлена. Причины этого заключаются во влиянии масштаб-

ного фактора, наличии в деталях остаточных напряжений, анизотропии свойств, различном состоянии поверхности, изменении свойств материалов в процессе эксплуатации. Учесть все эти факторы на стадии проектирования и изготовления практически невозможно [3].

При определении усилий в зубчатом зацеплении пренебрегают силами трения, вызванными скольжением профилей; распределённую нагрузку заменяют сосредоточенной силой, приложенной в середине зубчатого венца. В действительности из-за неравномерного распределения нагрузки по ширине зубчатого венца результирующая сила смещена от середины зубчатого венца. Однако это смещение не превышает $1/6 b_w$, где b_w – рабочая ширина зубчатого венца, и им можно пренебречь при определении усилий в опорах и расчете валов на прочность. Составляющими нормального усилия в зацеплении цилиндрической передачи являются окружное, радиальное, осевое, нормальное усилие.

Зубчатые колеса подвергается действию статических нагрузок, поверхностных нагрузок (силовое взаимодействие сопряженных деталей; температурные нагрузки).

Одной из причин отказов является необратимое изменение характеристик материала во времени, вызванное происходящими в изделиях физико-химическими процессами. По величине дефекты твёрдого тела подразделяются на следующие группы:

Во-первых, дефекты атомного строения. Это особые зоны искажений атомной решетки, содержащиеся в реальных кристаллах в огромных количествах. В связи с этим особенно важно оценить тонкую структуру поверхностного слоя, наиболее сильно подвергающегося внешним воздействиям.

Во-вторых, нарушение сплошности материалов микроскопического порядка. К этой группе дефектов относят микроскопические трещины, по размерам не превышающие предела разрешения оптиче-

ского микроскопа ($< 0,2$ мкм). Они могут образовываться по границам кристаллов в процессе его роста, а также в результате напряжений, особенно знакопеременных. Субмикротрещины всегда имеются в реальном металле в том или ином количестве. Такие трещины образуются на поверхности и в глубине деталей, как в процессе изготовления, так и в процессе эксплуатации под действием внешнего нагружения. Даже при незначительной глубине (несколько микрометров) эти трещины резко снижают прочностные характеристики детали.

В-третьих, макроскопические дефекты. Это различного рода нарушения сплошности или однородности материала, часто видимые невооруженным глазом. Эти дефекты особенно резко снижают прочность деталей и, как правило, приводят к разрушению при эксплуатации.

Бездефектных деталей не существует. Любая деталь, изготовленная самым тщательным образом, имеет дефекты атомного или субмикроскопического порядка, которые под действием внешнего нагружения могут развиваться в микро- и макроскопические дефекты.

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 колёс 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%.

Поэтому улучшение характеристик деталей это, прежде всего, полное исключение, наиболее опасных дефектов и сведение до некоторого разумного минимума содержания дефектов менее опасных.

Выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении

В результате проведенных исследований были выявлены и проанализированы характерные виды дефектов зубчатых колес изделий после эксплуатации.

Очевидно, основные параметры, по результатам которых проявляется изнашивание поверхностного слоя зубьев детали: шероховатость, волнистость, физико-механические свойства микроструктуры и остаточные напряжения.

Повышение прочности несущего слоя возможно в результате создания комбинированных упрочняющих технологий посредством разделения влияния на несущую способность степени наклёпа и глубины наклёпанного слоя.

Поверхностно упрочнённые детали часто выходят из строя из-за отслаивания, вследствие, превышения эксплуатационными напряжениями допустимого уровня на границе недостаточно упрочнённого несущего слоя.

Подводя итог данного этапа исследований, можно сказать, что необходимо знать характер влияния параметров качества поверхностного слоя зубчатых колес, и предрасположенность к тому или иному виду эксплуатационных дефектов, для выявления рациональных областей эффективного 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. – 2004. – № 11. – С. 2-5.
2. Киричек А.В. Повышение эффективности упрочняющих технологий // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. – 2004. – № 3. – С. 15-20.
3. Косточкин В.В. Надёжность авиационных двигателей и силовых установок. – М.: Машиностроение, 1988. – С. 151-166.
4. Технология производства авиационных двигателей / 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. Конончук Н.И., Авчинников Б.Е., Фролов В.П. Ремонт авиационных двигателей / Под ред. А.Д. Пономарёва. – М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1955. – 408 с.
6. Папшев Д.Д. Упрочняющая технология в машиностроении (методы поверхностного пластического деформирования). – М.: Машиностроение, 1986. – С. 4-11.
7. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 9-29.
8. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. – М.: Металлургия, 1975. – С. 134-196.

Поступила в редакцию 30.05.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.К.Борисевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.