

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМАЗКИ И ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА РЕСУРС ПОДШИПНИКОВ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ (ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РЕДУКТОРАМ ВЕРТОЛЕТОВ)

Наджафов А.Ф.

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет», г. Оренбург**

На ресурс подшипника оказывают влияние многие факторы, самые важные из которых – это смазка и загрязнение. Лучше поняв механизмы сокращения ресурса подшипника, мы можем усовершенствовать конструкцию подшипников и улучшить их работу.

Применение подшипников качения даёт снижение потерь, вызванных трением, и увеличения производительности системы. Этого можно достичь, если риск разрушения металла вследствие усталости достаточно снижен. Однако в подшипниках качения в момент восприятия нагрузки, проявляется концентрированное воздействие всех явлений, возникающих в движущихся точках контакта (т.н. контакты Герца); это приводит к появлению сильных локальных напряжений и поэтому требует высокого качества смазки и обработки поверхностей, предотвращающих дальнейшее накопление напряжений.

Шероховатость поверхности, вмятины, образовавшиеся от частиц износа, и следы загрязнений, присутствующие на дорожках качения колец подшипника, могут вызывать накопление напряжений и рост усталости, развивающейся с поверхности. Смазывающая плёнка, образующаяся у вмятин, и взаимосвязанные локальные поверхностные напряжения также очень важны для механизмов возникновения трещин.

Для примера был рассмотрен авиационный редуктор ВР-8А, для которого характерным отказом является разрушения сателлитных подшипников 6-42408К4.

На поверхности беговой дорожки наружного кольца подшипника 6-42408К4 по всей длине имеется темная полоса по центру беговой дорожки шириной 6 мм (рисунок 1).



Рисунок 1.16 – Выкрашивание дорожки качения внутреннего кольца подшипника 6-42408К4

На поверхности образующих роликов подшипника 6-42408К4 имеется наклеп в виде рисок по центру (рисунок 2).



Рисунок 1.17 – Наклеп в виде рисок по центру образующей роликов и дорожки качения наружного кольца подшипника 6-42408К4

Методика ВНИПП и ЦИАМ

Способы снижения риска образования вмятин:

максимально возможная чистота смазочных материалов (фильтрация масла, своевременная замена смазки и поврежденных уплотнений);

строгое соблюдение правил монтажа подшипников (тепловая сборка, исключение передачи нагрузок при монтаже через тела качения и т.д.);

обеспечение надлежащей толщины УГД-пленки (повышенная вязкость за счет выбора масла, тепловой режим подшипника и т.д.). Достаточная пленка УГД – смазки может свести к минимуму повреждения поверхностей вокруг вмятины и увеличить ресурс поверхности.

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C_r}{P} \right)^\alpha,$$

где $C_r = C_{rк} \cdot K_{кач} \cdot K_\phi \cdot K_{dn} \cdot K_\mu$, C_r – базовая динамическая радиальная расчетная грузоподъемность подшипника для авиационных изделий; K_ϕ – коэффициент, учитывающий тонкость фильтрации; K_{dn}, K_μ – коэффициенты, гидродинамические процессы, развивающиеся в зоне контакта тел качения; $K_{кач}$ – коэффициент качества, выбирается в зависимости от точности изготовления подшипника, материала деталей подшипника и их конструкции.

Справочник ASME.

$$L_a = D \cdot E \cdot F \cdot G \cdot H \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C_r}{P_0} \right)^n,$$

где D, E, F, H – поправочные коэффициенты, учитывающие рабочие условия или конструкцию подшипника (определяется экспериментально); F, G, H – коэффициенты рабочих условий (учитывающие влияние смазки, скорости вращения и перекоса колец); D – коэффициент материалов; E – коэффициент технологии получения материалов.

Эффективный номинальный срок службы подшипников

Формула для расчёта срока службы подшипника качения выглядит следующим образом:

$$L_{10m} = a_{srf} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^P,$$

где C – динамическая грузоподъемность подшипника; P – эквивалентная нагрузка; a_{srf} – случайный фактор напряжения.

В уравнении корректировочный коэффициент зависимости между сроком службы и испытываемыми напряжениями, имеет следующий вид:

$$a_{srf} = \frac{1}{10} \left[1 - \left(\eta \frac{P_u}{P} \right)^\omega \right]^{-c/e},$$

где P_u – предельная нагрузка на усталость; ω, c, e – постоянные показатели степени; η – коэффициент на потери, определяемый в диапазоне $0 < \eta < 1$.

Коэффициент на потери определяет среднее значение к состоянию действительного напряжения, действующего на контакт качения, которое работает в дополнение к идеальному равномерному напряжению η и описывается как результат одновременно действующих величин: фактора смазки η_b и фактора загрязнения η_c .

При хорошей смазке и отсутствии частиц $\eta_b = 1$; $\eta_c = 1$ и никакие дополнительные потери при определении ресурса подшипника не учитываются.

При похожих условиях, но при наличии частиц в смазке принимается $\eta_b = 1$ и $\eta_c < 1$ чтобы учесть дополнительные локальные напряжения, возникающие на кольце подшипника при наличии загрязнения.

Сокращение срока службы в результате вмятин на кольце подшипника от загрязнения может быть выражено в количественной форме по отношению к теоретическому сроку службы подшипника в условиях гладкий и неровный. Это можно проверить следующим отношением:

$$\frac{L_{10,d}}{L_{10,s}} = \frac{a_{srf,d}}{a_{srf,s}},$$

где индекс s – (smooth) – гладкий; индекс d – (dened) – неровный.

В большинстве случаев показатель долговечности из формулы определяется для того, чтобы обозначить подшипники, обработанные смазкой с различным количеством инородных частиц, при этом используется методика микропенки упругой гидродинамической смазки. Для того, чтобы выполнить данные вычисления, необходимо вычислить количество вмятин, которые обнаружены на стандартном кольце подшипника, обработанного смазкой с различным уровнем инородных частиц.

Результаты проведенных испытаний показали, что долговечность увеличивается с улучшением фильтрации, и справедлива зависимость:

$$LF = 3,5(FR)^{-0,55}.$$

Измерение внутренней дорожки качения после испытаний показало, что при увеличении тонкости фильтрации масла до 8 мкм наблюдается уменьшение овальности. Практически отсутствует овальность при фильтрации в 3 мкм. Частицы менее 3 мкм слишком малы, чтобы иметь какой-либо эффект на окружность и просто прошли через контакт роликов с дорожками.

Вывод: технологии для улучшения фильтрации масла являются коммерчески доступными. С помощью сведения к минимуму количества загрязняющих частиц, входящих в подшипник качения, фильтрация масла может существенно увеличить долговечность подшипника.

Список использованных источников

1. Клиффорд Метьюс *Справочник инженера – инженерная механика [Текст]: справочник/ Клиффорд Метьюс. – Издательство ассоциации строительных вузов, 2003. – 280 с.*
2. Чичинадзе, А.В. *Трение, смазка и износ в машинах [Текст]/ А.В.Чичинадзе, ЭЭ.Д.Браун, Н.А.Буше.-М.:Машиностроение,2001.-664с.*
3. *Редуктор ВР-8А [Текст]: руководство по ремонту.*
4. Моралес, Г.Е. *Контактные напряжения в подшипниках качения-скольжения [Текст]/ Г.Е.Моралес, А. Габели.-2000.-606с.*