

АНАЛИЗ УСТАЛОСТНЫХ И ИЗНОСОВЫХ РАЗРУШЕНИЙ В ПРЕДЕЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ УЗЛАХ САМОЛЕТНЫХ АГРЕГАТОВ

Введение

Шарнирные узлы являются весьма распространенным типом стыков в планере и шасси самолетов.

В подавляющем большинстве случаев с помощью таких узлов состыковываются между собой все основные агрегаты самолета: крыло – с фюзеляжем, горизонтальное оперение – с вертикальным (рис. 1), двигатели – с крылом (рис. 3). Таких узлов на самолете, как правило, небольшое количество, но они относятся к категории «особо ответственных», т.к. наряду с основными агрегатами в полной мере определяют ресурс самолета в целом.

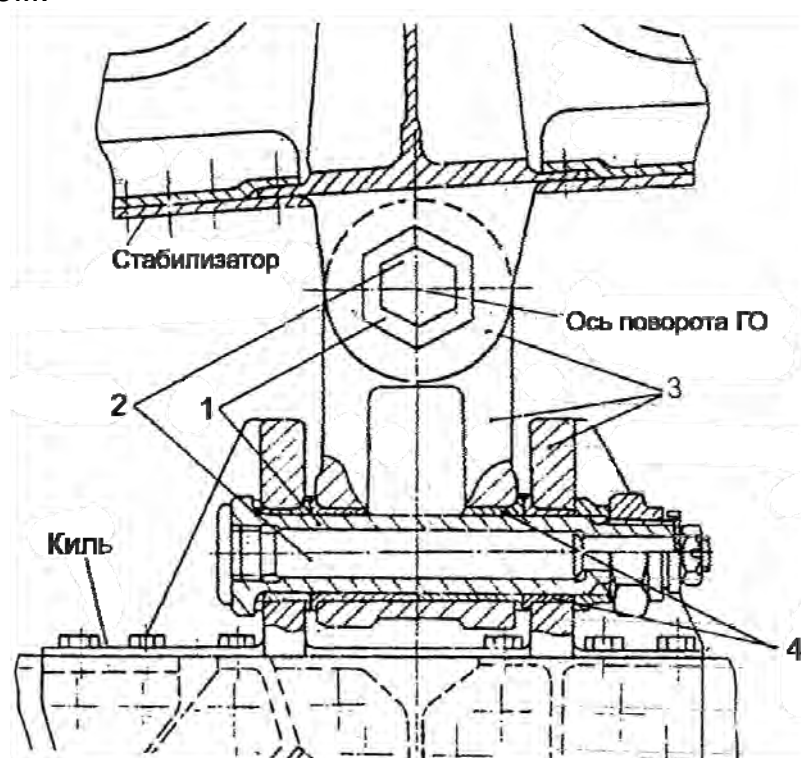


Рисунок 1 – Узлы навески стабилизатора самолета Як 42:

1 – наружная деталь стыкующей под сборки; 2 – внутренняя деталь стыкующей под сборки; 3 – стыкуемые элементы; 4 – покрытия (антифрикционные втулки)

Известны также десятки и сотни примеров, когда наличие чрезмерного износа или появление усталостных трещин в особо ответственных узлах вызывало крайне нервную обстановку в эксплуатирующих компаниях и у создателей авиационной техники, что приводило к отмене десятков рейсов самолетов гражданской авиации, к доработке целых серий самолетов ВВС [1 – 3].

Следует также отметить, что отказы в этих узлах, т.е. преждевременное разрушение поверхностей трения и усталостные разрушения деталей проявляются очень рано. Так, на рис. 2 показано проявление отказов на самолете Як-40. Как видно еще до достижения одной тысячи взлетов-посадок появляются износосвые и усталостные разрушения деталей шарнирных узлов.

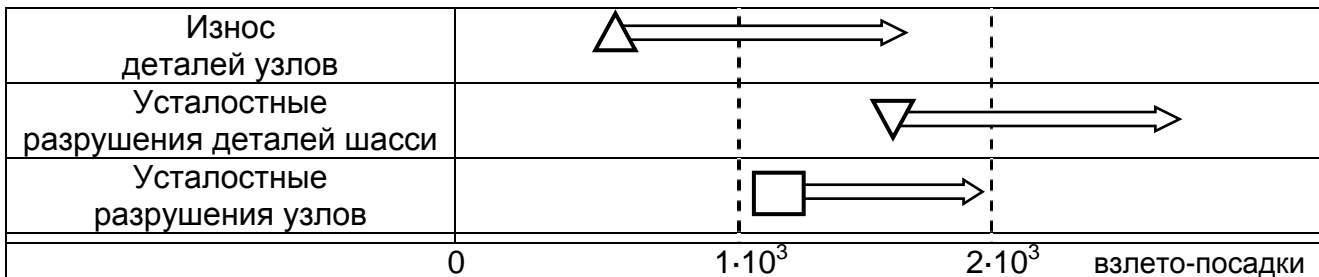


Рисунок 2 – Проявление основных видов отказов в шасси первых серийных самолетов Як-40 в зависимости от продолжительности их эксплуатации [3]

Известны десятки научных работ, посвященных решению проблемы ресурса подвижных узлов самолетных агрегатов. Однако применение в современных авиационных конструкциях высокопрочных нержавеющей сталей и титановых сплавов, а также повышенные требования к календарному и техническому ресурсу вновь обострили проблему долговечности подвижных узлов самолетных агрегатов.

Постановка задачи исследований

Предметный анализ усталостных и износосвых разрушений в подвижных узлах самолетов ДС-10, Як-42, С-32, Ан-30 выявленных в процессе их эксплуатации, установление причин разрушений и формирование направлений дальнейших исследований по обеспечению заданной долговечности узлов рассматриваемого типа.

Наиболее опасные усталостные разрушения в подвижных узлах

Усталостные разрушения в узлах возникают позже износосвых отказов (см. рис. 1), но также достаточно рано ($N \approx 1,2 \cdot 10^3$ взлетов-посадок), и этот вид разрушений более опасен, чем износосвые отказы, поскольку может привести именно к катастрофе (рис. 3) [3].

Рассматривая разрушения приведенные на этом рисунке и другие, аналогичные этому, нельзя не отметить, что в этом узле происходило два вида разрушений одновременно. На стыкующей детали узла отчетливо видны износосвые разрушения её поверхностных слоев. Не они – основная причина усталостного разрушения, а избыточные изгибные напряжения в стыкующей детали, которые существенно превышали уровень нагрузок, действующих на узел. Но износосвые разрушения поверхности способствовали ускоренному усталостному разрушению, как микроконцепторы нормальных напряжений.

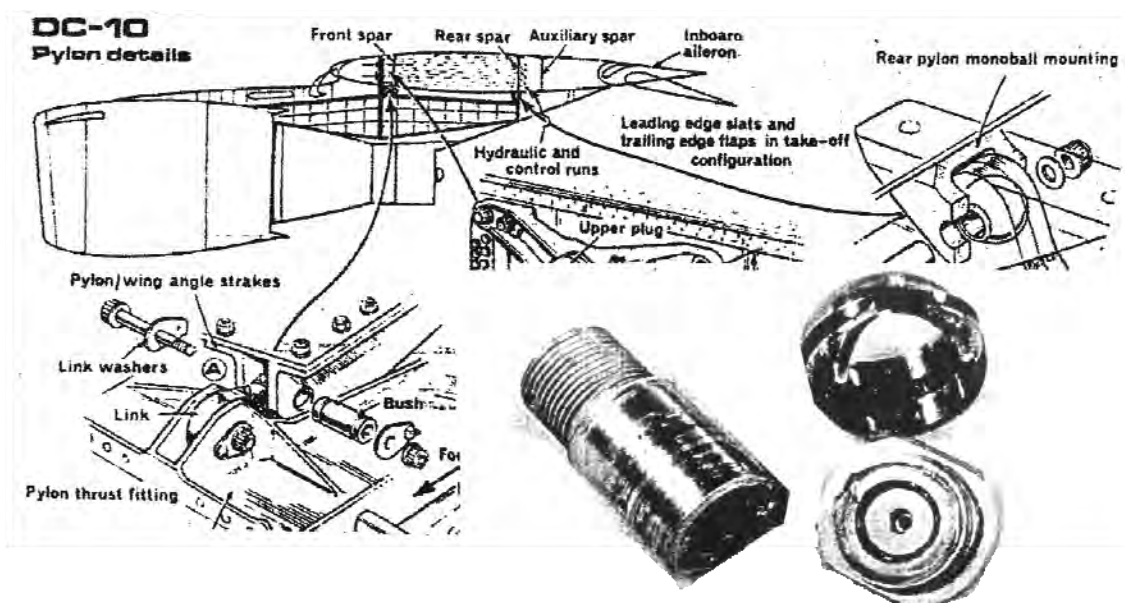


Рисунок 3 – Усталостное разрушение стыкующей детали и сферического вкладыша узла навески двигателя самолета ДС-10

Усталостные разрушения подобного рода имели и до сих пор имеют место в рассматриваемых узлах современных самолетов. В табл. 1 приведены лишь некоторые из них для самолетов Як-42 и Ан-30.

Таблица 1 – Усталостные разрушения в подвижных узлах агрегатов самолетов транспортной категории

Тип самолета	Стыковой узел	Влияние на ресурс самолета	Причины низкого ресурса
Як-42	Механизм перестановки стабилизатора	Износ и разрушение механизма управления ($N=2$ тыс. ч)	Необоснованный выбор параметров узлов навески стабилизатора
ДС-10	Пилон навески двигателя	Усталостное разрушение стыкующей детали узла навески двигателя	Неправильный выбор соотношения толщины соединяемого пакета и длины стыкующей детали
Ан-30	Механизм управления передней опорой	Усталостные разрушения стыкующей детали ($N=2...3$ тыс. посадок)	Неправильный выбор вида подвижности узла

Следует отметить, что усталостная долговечность узлов подобного типа, анализировалась в ряде известных работ. Так, выносливость стыкующих элементов фундаментально рассмотрена и частично решена в известных работах Б.В. Бойцова [4].

Проблема усталостной долговечности стыкующих деталей (подборок) обстоятельно рассмотрена и частично решена в работе С.Е. Шеметова [7]. Однако в этой работе объяснены причины и количественно оценена усталостная долговечность симметрично нагруженных узлов усилием P (рис. 4,а).

С учетом исследований, приведенных в этих работах, следует отметить одну очень важную особенность. У узлов передающих нагрузку P , усталостные разрушения наблюдаются (рис. 4,а) в плоскости геометрической симметрии узла, тогда как у узлов с кососимметричным нагружением, т.е. воспринимающих и передающих момент (M), они сдвигаются ближе к плоскостям среза с равной вероятностью разрушения в обеих плоскостях (рис. 4,б).

Приведенные результаты говорят о том, что кососимметричное нагружение (M) подвижного узла вносит существенные изменения в напряженное состояние стыкующих подборок и требует проведения отдельных исследований.

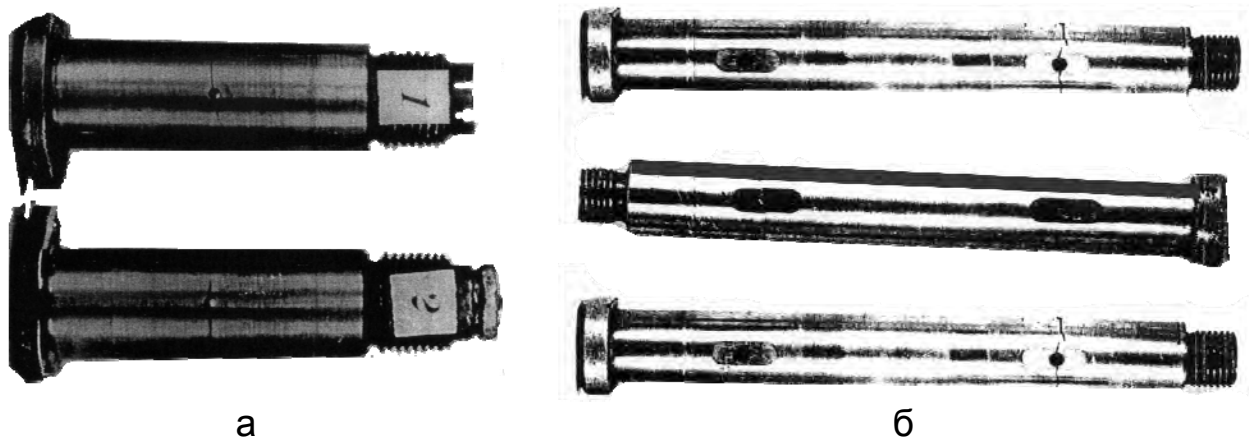


Рисунок 4 – Типичные усталостные разрушения стыкующих деталей подвижных узлов:
а – при симметричном нагружении (P); б – при кососимметричном нагружении (M)

Наиболее массовые износые отказы в подвижных самолетных узлах

Износые отказы проявляются раньше усталостных (см. рис. 2). Проанализируем причины их проявления и характеры разрушений поверхностей трения.

Как известно основная пара, применяемая в подвижных узлах трения шасси – это бронза-сталь. Особенностью этой пары является то, что стальной болт с хромовым покрытием по подвижному сопряжению практически не изнашивается. Массовые микрообмеры болтов показали, что их размеры не превышали верхнего отклонения поля допуска на изготовление. Износ по сопряжению происходил в основном за счет изнашивания бронзовых втулок.

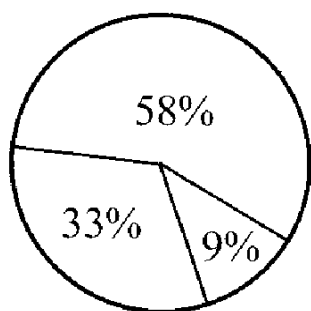
В противоположность первому виду износа второй характеризуется значительным разрушением поверхностей трения втулок в результате схватывания. В зоне контакта наблюдалось большое количество бронзовой стружки (продуктов износа).

Таблица 2 – Износые разрушения в подвижных узлах самолетов Як-40 и С-32

Номер узла	Тип самолета	Наименование узла трения	Вид износа	Линейный износ, мм
1	Як-40	Соединение траверсы основной стойки со штоком	Выделение меди	0,090/2000
2		Соединение шатуна с траверсой основной стойки	Усиленный износ схватывания	0,180/2000
3	С-32	Соединение шлицшарнира с полувилкой основной стойки	Выделение меди	0,080/400
4		Соединение полувилки основной стойки со штоком амортизатора	Усиленный износ до 250 в/п Выделение меди после 250 в/п	0,180/400

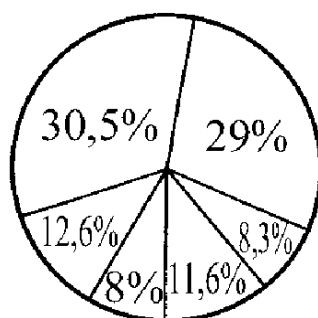
Необходимо остановиться на результатах обследования узлов 2 и 4. Было установлено, что в начальный период их работы наблюдался усиленный износ втулок в результате схватывания. Однако после некоторой наработки (через 250 взлетов-посадок) на поверхностях трения возбуждался процесс избирательного выделения меди, что привело к существенному уменьшению интенсивности изнашивания втулок.

В некоторых узлах было обнаружено протекание одновременно двух видов износа по длине контакта с болтом одной и той же втулкой, причем имело место течение металла втулки в осевом направлении.



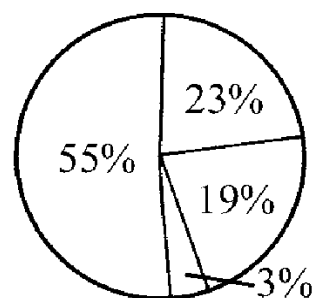
58% - в шасси, 33% - в планере самолета, 9% - в механической части системы управления

а



30,5% - износ в подвижных сочленениях, 29% - трещины, 12,6% - фреттинг-коррозия, 8% - наклеп, 11,6% - заедание, задиры, разбалтывание

б



55% - износ, вызванный истиранием, пластическим деформированием, 23% - износ в мало-подвижных сочленениях (фреттинг-коррозия), 3% - износые усталостные выкрашивания, 19% - прочие виды износа

в

Рисунок 5 – Распределение отказов по агрегатам самолета Як-40 [2, 3]: а – по агрегатам; б - в силовых элементах шасси; в - в подвижных узлах шасси

Если проанализировать отказы в рассматриваемых узлах, то можно однозначно констатировать, что чрезмерный износ занимает ведущее место в общем потоке отказов (износ, фреттинг-коррозия, наклеп, заедание, зазоры, разрабатывание).

Причин столь массовых разрушений в зонах трения подвижных узлов несколько: недостаточно обоснованный выбор конструкционных материалов для основных несущих деталей узла; недостаточная изученность особенностей покрытий, наносимых в зонах трения; отсутствие данных по предельным возможностям покрытий, принимаемых в расчетах; изученность распределения контактных давлений в зонах трения [2].

Анализ поверхностных разрушений в зонах трения показывает, что практически все виды отказов – и усиленный износ, и наклеп, и заедание, и даже фреттинг-коррозия – являются следствием чрезмерных контактных давлений, возникающих в зонах контакта стыкующихся деталей [3]. Особенно чувствительны к контактным перенапряжениям тонкослойные покрытия, составная часть подвижного узла, а в наибольшей мере такая чувствительность проявляется в узлах с кососимметричным нагружением (M), которые по своей природе вносят существенную неравномерность давлений в зонах трения узлов. Так например, увеличенный износ в подвижных узлах самолетов Як-40 и С-32 (см. табл. 2) частично объясняется существенной неравномерностью обхвятий в зонах трения ($y_i > y_k$) (рис. 6).

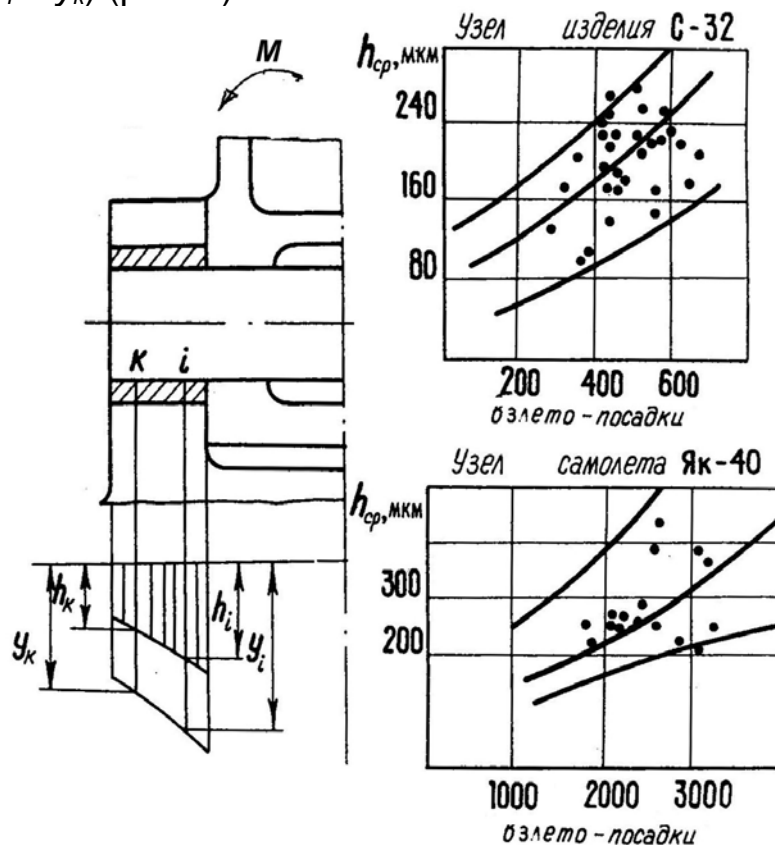


Рисунок 6 – Изменение износов в кососимметрично нагруженных узлах самолетов Як-40 и С-32

Выводы

Приведенный в статье анализ выявил, что подвижные узлы самолетных агрегатов обладают наиболее низким ресурсом как по критерию усталостной долговечности, так и по показателю долговечности на износ. Причиной усталостных разрушений стыкующих деталей узла (или стыкующих подборок) является их перегрузка по нормальным напряжениям от изгиба.

Исследованиями установлено, что для узлов, передающих силу (P – симметричное нагружение), количественная величина избытка нормальных напряжений в стыкующей подборке может быть оценена, тогда как в узлах с кососимметричным нагружением (M) таких решений пока не получено.

Причин массовых износных разрушений в подвижных узлах несколько, но на данный момент главными являются малая изученность свойств антифрикционных покрытий в условиях действия на узел предельной нагрузки и её вида – в особенности кососимметричного (M), нагружение которого приводит к существенному перенапряжению отдельных зон трения по удельным давлениям.

Таким образом, приведенный анализ предопределил направления дальнейших исследований: оценка избыточных напряжений в зонах трения при кососимметричном нагружении, а также оценка предельных возможностей антифрикционных покрытий, используемых в подвижных самолетных узлах.

Список использованных источников

1. Причины катастроф самолетов Б707 и ДС-10. Отчет ЦАГИ [Текст]. – М., №535.1989 – 109 с.
2. Ольхин, Б.И. Справочные материалы по долговечности и типовым усталостным разрушениям элементов авиационных конструкций [Текст] / Б.И. Ольхин – М. ЦАГИ. - №535, 1993. – 63 с.
3. Якобсон, И.В. Разрушение деталей шарнирных узлов при эксплуатации самолетов [Текст] / И.В. Якобсон. – М.: Тр ГОСНИИ ГА, 1978. – Вып.22. – С. 15 – 22.
4. Борисов, Ю.С. Плазменные порошковые покрытия [Текст] / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова. – К.: Техніка, 1986. – 156 с.
5. Гайдачук, В.Е. Конструирование и изготовление конструкций композиционных материалов [Текст] / В.Е. Гайдачук, Д.С. Кива, В.И. Рябков – Х.: Харьк. авиац. ин-тут, 1998. – 128 с.
6. Шеметов, С.Е. Пути повышения надежности и долговечности вильчатых стыковых узлов [Текст] / С.Е. Шеметов, Л.Д. Арсон // Вопросы оптимизации силовых конструкций. – Х.:ХАИ. 1976. – Вып. 2 – С. 41–47.

Поступила в редакцию 19.08.2013.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Бычков,
ГП «Антонов», г. Киев*