

Основные положения метода обеспечения долговечности подвижных самолетных узлов в условиях кососимметричного нагружения

Государственное предприятие "Антонов"

Впервые предложены основные положения метода обеспечения долговечности на усталость и износ (одновременно) подвижных узлов самолетных агрегатов с учетом избыточности коэффициентов погонных усилий в зонах трения и коэффициента изгибных напряжений в стыкующих подборках, обусловленных специфическим кососимметричным нагружением узлов. Сформулированы условия на разработку моделей взаимодействия основных элементов узла при кососимметричном его нагружении, а также на модели расчетно-экспериментального определения связей основных конструкционных материалов и покрытий с износостойкостью и усталостной долговечностью подвижного узла.

Ключевые слова: подвижный самолетный узел, коэффициенты избыточности погонных усилий и нормальных напряжений, долговечность на износ и усталость.

Введение

Подвижные узлы получили широкое применение распространения в конструкциях агрегатов самолетов. С их помощью обеспечиваются функционирование перспективных стабилизаторов, крепление двигателей к пилону, выпуск, уборка и нормальная работа стоек шасси и т. д.

В ряде случаев они являются "особо ответственными", поскольку оказывают решающее влияние на соединяемые с их помощью агрегаты и на ресурс самолета в целом.

Имеется целый ряд исследований, направленных на повышение их конструктивного, технологического и эксплуатационного совершенства. Следует отметить вклад Е.Т. Василевского, В.А.Трофимова, А.Г. Гребеникова в развитие механики усталостных разрушений в этих узлах. В работах Ю.С. Борисова, А.Г.Моляра, А.И. Васильева, С.И. Самофалова сформулированы рекомендации по повышению износостойкости подвижных узлов в основном за счет применения в зонах трения антифрикционных покрытий.

Все исследования и рекомендации, полученные указанными авторами, относятся, в основном, к так называемым симметрично нагруженным узлам, т. е. воспринимающим и передающим усилие P .

Особенности проектирования таких узлов [1,2] заключаются в том, что выбор их параметров Φ_y^p ведется с учетом требований долговечности

$$\Phi_y^p = \Phi(K^p, \sigma_e, \sigma_{-1}, q_{\text{пог.ср}}) \quad (1)$$

по предельным значениям статической нагрузки (K^p) и предельно допустимых величин $\sigma_e, \sigma_{-1}, q_{\text{пог.ср}}$,

где $K^p = \frac{P}{P_p}$ – уровень симметричной нагрузки, передаваемой узлом;

σ_e – предел прочности на разрыв;

σ_{-1} – предел усталости на растяжение;

$q_{\text{пог.ср}}$ – средняя величина погонных усилий в зонах трения подвижных узлов.

В такой постановке задача обеспечения долговечности по усталости для симметрично нагруженных узлов (Р) частично решена [3].

Однако в самолетных агрегатах достаточно часто встречаются кососимметрично нагруженные узлы (М), т.е. передающие моментную нагрузку.

Кроме того, в последнее время в конструкциях основных несущих деталей узлов рассматриваемого типа стали широко использовать высокопрочные нержавеющие стали ВНС-5; ВКС-170 и титановые сплавы типа ВТ-22.

Постановка задачи исследования

Кососимметричность нагружения изначально приводит к существенному перераспределению напряженно-деформированного состояния деталей узла, в частности к появлению избыточных изгибных напряжений в стыкующей подбороке (α_{σ}^M) и избыточных погонных усилий в зоне трения (α_g^M) узла. Влияние α_{σ}^M и α_g^M возрастает и в сочетании с особенными свойствами новых конструкционных материалов и покрытий в узле. Поэтому основной задачей данной работы является формирование основных положений метода выбора параметров подвижного узла Φ_y^M по критерию долговечности

$$\Phi_y^M = \Phi(K^M, \alpha_{\sigma}^M, N, \alpha_g^M) \quad (2)$$

локальных коэффициентов избыточности $\alpha_{q,\sigma}$, вызванных кососимметричностью нагружения (М)

где $K^M = \frac{M}{M_p}$ – уровень нагрузки, передаваемой узлом при его нососимметричном нагружении;

α_{σ}^M – коэффициент избыточности нормальных напряжений в стыкующей подбороке;

α_g^M – коэффициент избыточности погонных усилий в зоне трения узла;

Объект исследований и его основные параметры

Объектом исследований в данной работе являются подвижные узлы самолетных агрегатов, воспринимающие и передающие моментную нагрузку (М) (рис. 1).

Его основными параметрами (Φ_y^M) принято считать такие (см. рис. 1).

- 1, 2 – первая и вторая стыкуемые детали (элементы);
- 3 – стыкующая деталь (стыкующая подборка);
- 4 – антифрикционное покрытие (втулка);
- 5 – стяжка в стыкующей подбороке;
- 6 – геометрические параметры $d, d_g, \delta, \delta_n, \Delta$;
- 7 – изгибная жесткость стыкующей детали (подборки) - $EI(x)$;
- 8 – модули первого рода материалов стыкуемых (E_1) и стыкующей (E_2) деталей;

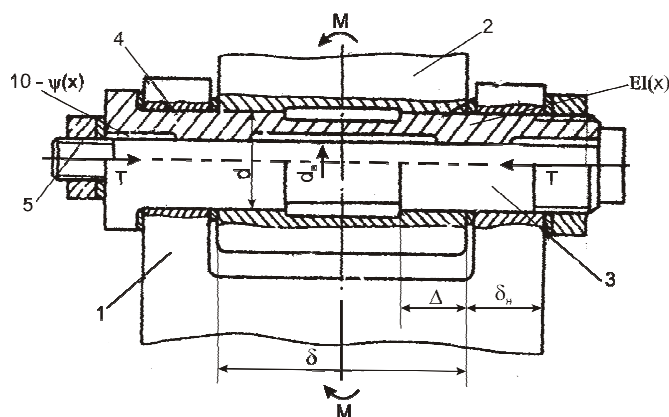


Рис. 1. Типичный подвижный самолетный узел с кососимметричным нагружением (M)

9 – модули на смятие материалов стыкуемых деталей - $G_{см1}$ и $G_{см2}$;

10 – исходные (или образовавшиеся) зазоры по линии контактов стыкуемых и стыкующей деталей $\Psi(x)$;

11 – величина погонной нагрузки в сечении q_i ;

12 – предварительное усилие в стыкующей подбороке – T .

Представляя объект исследований, необходимо обозначить зоны контактов в подвижном узле (рис. 2).

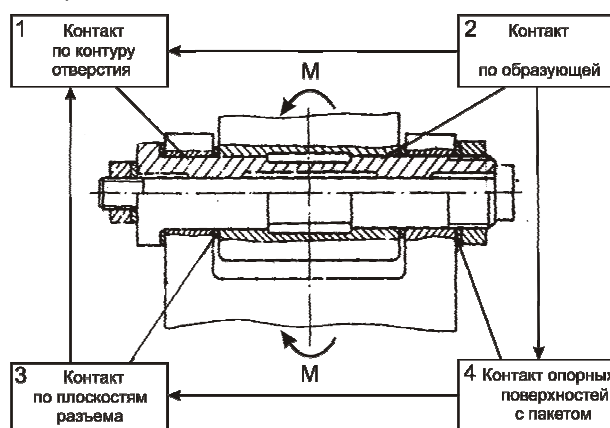


Рис. 2. Основные области контактов стыкуемых и стыкующей деталей в узле

Можно подчеркнуть, что наиболее исследована первая область контакта в узлах. В этой области следует выделить применение натяга как эффективного средства изменения условий контакта, а значит, и влияния на выносливость стыкуемых деталей, герметичность и жесткость узлов [2].

Достаточно интенсивно, но в значительной меньшей степени исследовано влияние третьей и четвертой областей как на несущую способность, так и на долговечность узлов, их герметичность и жесткость [2].

Исследования в этом направлении продолжаются, в особенности в вопросах снижения отрицательного влияния фреттинг-коррозии на долговечность узлов.

В настоящей работе преследуется цель оценить влияние 2 области контактов как на износостойкость, так и на усталостную долговечность узлов рассматриваемого типа.

Понятия о коэффициентах избыточности погонных усилий и нормальных напряжений в подвижных узлах с кососимметричным нагружением

В типичном подвижном узле различают стыкуемые детали (принадлежащие самолетным агрегатам) и стыкующую деталь (или стыкующую подсорку), вокруг которой и перемещаются детали (или агрегаты) (см. рис.1,2).

При этом независимо от конструктивного исполнения применяемых материалов и видов нагружения (симметричное или кососимметричное) расчетными являются сечения стыкующей детали (или стыкующей подсорки) по плоскостям разъема стыкуемых деталей узла. Определяющими при этом служат разрушающие касательные напряжения τ_b . В связи с этим для узла с кососимметричным нагружением (M) справедливо выражение

$$\frac{M}{M_p} = \frac{\tau}{\tau_e}, \quad (3)$$

где M, M_p – действующий и разрушающий моменты при статическом нагружении;
 τ, τ_p – действующие и разрушающие касательные напряжения в стыкующей детали (подсорке) по плоскостям разъема узла.

Введем обозначения

$$\frac{M}{M_p} = K^M \quad (4)$$

$$\frac{\tau}{\tau_p} = \alpha_\tau, \quad (5)$$

где K^M – уровень действующей на узел эксплуатационной нагрузки;

α_τ – уровень касательных напряжений в стыкующей детали (подсорке) при эксплуатационном нагружении узла.

На рис. 3 соотношение между K^M и α_τ представлено в виде прямой линии вплоть до статического разрушения узла ($K^M = \alpha_\tau = 1,0$).

Под действием внешнего нагружения (M) в стыкующей детали возникают и развиваются:

– погонные усилия по образующей зоны трения стыкующей и стыкуемых деталей ($q_{\text{пог}}$);

– нормальные напряжения в стыкующей подсорке (σ), вызванные ее изгибом от $q_{\text{пог}}$.

Введем обозначения их уровней:

$$\frac{\sigma}{\sigma_e} = \alpha_\sigma; \quad (6) \quad \frac{q_{\text{пог}}}{q} = \alpha_q \quad (7)$$

Многочисленные данные, полученные и в эксплуатации [5], и в лабораторных условиях [4], показывают, что в области эксплуатационных нагрузок ($K^M < 0,65$) величины α_σ и α_q превосходят значения α_τ (рис. 3), что и приводит к пониманию коэффициентов избыточности погонных нагрузок и нормальных напряжений путем введения соотношений

$$\alpha_q^M = \frac{\alpha_q}{K^M}, \quad (8) \quad \text{и} \quad \alpha_\sigma^M = \frac{\alpha_\sigma}{K^M}. \quad (9)$$

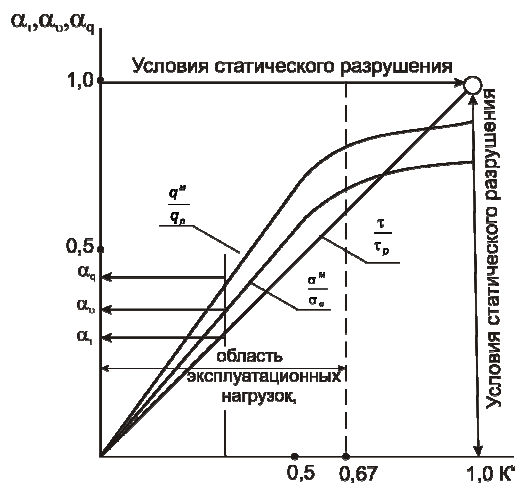


Рис. 3. Схема изменения относительных величин напряжений $(\frac{\tau}{\tau_p}); \frac{\sigma^M}{\sigma_s}$

и погонных нагрузок $(\frac{q^M}{q_{пр}})$ в зависимости от условия внешних воздействий $(\frac{M}{M_p})$

Особенность подвижных узлов заключается в том, что в области эксплуатационных нагрузок, т. е. при $(K^M < 0,65)$, величины

$$\alpha_q^M > 1,0 \quad \text{и} \quad \alpha_\sigma^M > 1,0, \quad (10)$$

где α_q^M – коэффициент избыточности погонных усилий в зоне трения узла нагруженного моментом;

α_σ^M – коэффициент избыточности нормальных напряжений в стыкующей подборке при кососимметричном ее нагружении.

Величины этих коэффициентов ($\alpha_q^M > 1,0$; $\alpha_\sigma^M > 1,0$) и являются первопричиной преждевременного и непредсказуемого износа в зонах трения, а также усталостного разрушения стыкующей подборки узла.

Метод обеспечения долговечности подвижных узлов самолетных агрегатов с учетом коэффициентов избыточности погонных усилий и нормальных напряжений

Предлагаемый в данной работе метод отличается прежде всего тем, что он учитывает кососимметричность нагружения и локальные изменения погонных усилий и нормальных напряжений в наиболее нагруженных зонах узла:

$$\Phi_y^M = \Phi(M, q_{\text{пог. max}}, \sigma_{\text{max}}, N) \quad (11)$$

Поскольку $q_{\text{пог}}$ и σ_{max} в узлах с кососимметричным нагружением имеют ярко выраженный избыточный характер, то наиболее эффективным путем обеспечения заданной долговечности как по износу, так и по усталости, является выбор параметров узлов по вновь введенным коэффициентам избыточности погонных усилий (α_q^M) в зонах трения и нормальных напряжений (α_σ^M) в стыкующих под-

сборках узла:

$$\alpha_q^M, \alpha_\sigma^M(\Phi_y^M) \leq \alpha_q^M, \alpha_\sigma^M(N) \quad (12)$$

Как следует из соотношений (10), распределение всех внутренних силовых факторов носит ярко выраженный избыточный характер.

Неравенства (5); (7), и (10) говорят о том, что в отдельных зонах узла уровень действующих контактных давлений и изгибных напряжений может превышать (и существенно) уровень эксплуатационной нагрузки приложенной к узлу (K^M).

Каков же механизм связи уровней усилий, напряжений и контактных давлений в узлах? Прежде всего следует отметить, что уровни напряжений и погонных усилий оказывают решающее влияние как на износ подвижных, так и на усталость неподвижных конструктивных элементов. Поэтому связь типа

$$\Phi_y^M \rightarrow \begin{matrix} \alpha_q^M & \rightarrow & N_{(износ)} \\ \alpha_\sigma^M & \rightarrow & N_{(усталость)} \end{matrix} \{N_y \quad (13)$$

является общей для подвижных и неподвижных зон узла.

В связи с этим для выбора параметров узла (Φ_y^M) по критерию долговечности (N) следует разрабатывать так называемые ресурсные модели, в которых

$$N_y^M = N(\Phi_y^M, \alpha_q^M, \alpha_\sigma^M) \quad (14)$$

– связь параметров узла (Φ_y^M) с долговечностью (N) – осуществляется через коэффициенты избыточности погонных усилий α_q^M и нормальных напряжений α_σ^M .

Из приведенных выражений (4 – 9), вытекает общий подход к обеспечению долговечности подвижных узлов, который базируется на реализации зависимостей типа

$$\alpha_{q,\sigma}^M(\Phi_y^M) \leq \alpha_{q,\sigma}^M(N) \quad (15)$$

Графическая интерпретация этого правила приведена на рис. 4. Здесь показаны соотношения левых и правых частей условия (15) для узла, воспринимающего один и тот же момент M .

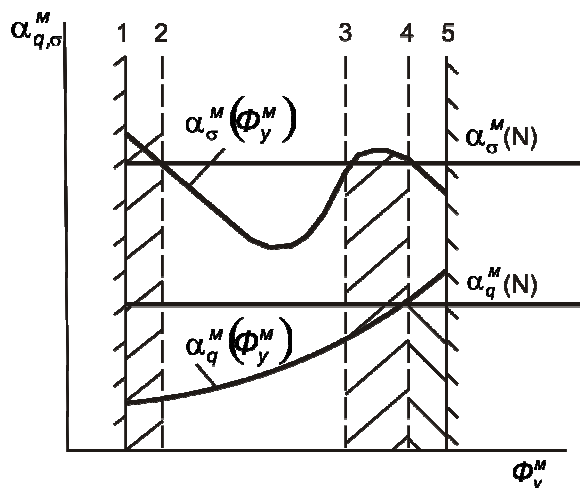


Рис. 4. Выбор параметров узла (Φ_y^M) по условию (15)

1–5 – общие ограничения; 1–2; 3–4 – ограничения по недостаточной усталостной долговечности ;4–5 – ограничение по недостаточной износостойкости; 2–3 – приемлемые значения Φ_y^M и по усталостной долговечности, и по износу

Очевидно, что принципиальная особенность предлагаемого метода заключается в том, что при выполнении его основных положений обеспечивается одновременно заданная величина долговечности и по усталости, и по износу.

Выводы

1. В статье впервые предложены концептуальные положения обеспечения усталостной и износостойкой долговечности (одновременно) подвижных узлов самолетных агрегатов (13) с учетом коэффициентов избыточности погонных усилий в зонах трения α_q^M и нормальных напряжений α_σ^M в стыкующих подбороках, обусловленных специфичным кососимметричным нагружением узлов.

2. Левые части неравенства (15) $\alpha_{q,\sigma}^M (\Phi_y^M)$ должны быть получены на основании решения единой задачи деформируемости узла с кососимметричным нагружением (М), т. е. должны быть установлены связи $\alpha_q^M = f(\Phi_y^M)$, $\alpha_\sigma^M = f(\Phi_y^M)$, позволяющие учесть влияние параметров конструирования Φ_y^M на величины коэффициентов α_q^M при проектировании узлов рассматриваемого типа.

3. Правые части выражения представляют собой, по сути ресурсные модели узла: на износ – $\alpha_q^M = f(N_{\text{износа}})$ и на усталостную долговечность – $\alpha_\sigma^M = f(N_{\text{усталости}})$. Такие зависимости должны быть получены расчетно-экспериментальным путем, с целью учесть особенности большого разнообразия конструкционных материалов и покрытий, используемых в подвижных узлах современных самолетов.

Список литературы

1. Астахов, М.Ф. Справочная книга по расчету самолета на прочность [Текст] / М.Ф. Астахов. – М.: Машиностроение, 1955. – 632 с.
2. Сухарев, И.П. Прочность шарнирных узлов машин [Текст] / И.П. Сухарев // Справ. пособие – М. Машиностроение, 1987. – 168 с.
3. Рябков, В.И. Исследование влияния конструктивно-технологических особенностей соединений на напряженное состояние их элементов [Текст] / В.И. Рябков, С.Е. Шеметов // Вопросы проектирования самолетных конструкций. – Х.: ХАИ, Вып. 2. – С. 52–58.
4. Селихов, А.Ф. Система классификации конструктивных нерегулярностей планера самолета [Текст] / А.Ф. Селихов, С.И. Галкин // Тр. ЦАГИ, 1976. – Вып. №1739. – С. 1–49.
5. Ольхин, Б.И. Справочные материалы по долговечности и типовым усталостным разрушениям авиационных конструкций [Текст] / Б.И. Ольхин // Тр. ЦАГИ, 1976. – Вып. № 535. – 63 с.

Поступила в редакцию 03.12. 2013

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

Основні положення методу забезпечення довговічності рухливих літакових вузлів в умовах кососиметричного навантаження

Вперше запропоновано основні положення методу забезпечення довговічності на втому і знос (одночасно) рухомих вузлів літакових агрегатів з урахуванням надмірності коефіцієнтів погонних зусиль у зонах тертя і коефіцієнта згинальних напружень в стиках підборки, обумовлених специфічним кососиметричним навантаженням вузлів. Сформульовано умови на розробку моделей взаємодії основних елементів вузла при його кососиметричному навантаженні, а також на моделі розрахунково-експериментального визначення зв'язків основних конструкційних матеріалів і покриттів зі зносовою і втомною довговічністю рухомого вузла.

Ключові слова: рухливий літаковий вузол, коефіцієнти надмірності погонних умов і нормальних напружень, довговічність на знос і втому.

Fundamentals of method to ensure the durability of airplane movable units under skew-symmetrical loading conditions

First fundamentals of the method to ensure the wear and fatigue life (simultaneously) of airplane movable units, taking into account line loads redundancy factors in the areas of friction and coefficient of bending stresses in the attaching subassemblies, caused by specific skew-symmetrical loading, are proposed. The conditions for the development of models of interaction between the primary members' components under skew-symmetric loading, as well as on the models of calculation and experimental determination of the relations between the basic structural materials and coatings with wear and fatigue life of the movable units.

Keywords: airplane movable unit, line loads and normal stresses redundancy factors, wear and fatigue life