

## **Анализ и классификация конструктивно-технологических отклонений в серийном производстве**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт»*

На основании изучения влияния технологии, условий производства металлургических конструктивных факторов проведена классификация возможных конструктивно-технологических отклонений в серийном производстве и выполнен предварительный анализ влияния возможных отклонений от нормативных документов на усталостную долговечность и ресурс деталей.

**Ключевые слова:** усталостная долговечность, ресурс, внутренние дефекты, поверхностный слой, крепежные элементы, соединяемые материалы.

Ресурс является одной из важнейших характеристик и закладывается на начальном этапе проектировании самолета. Наряду с надежностью конструкции он должен обеспечиваться в процессе проектирования, изготовления самолета и поддерживаться в процессе его эксплуатации.

Долговечность и надежность конструкции не будут обеспечены, если на каждом из указанных этапов решению этой проблемы не уделять должного внимания, поэтому для определения методов восстановления качества сборных самолетных конструкций необходимо понимать с какими дефектами придется столкнуться.

Целью данной работы является проведение анализа и классификация конструктивно-технологических отклонений возникающих в процессе проектирования и производства самолетов.

К конструктивным дефектам можно отнести следующие дефекты:

- сложность оценки влияния наличия суммарных отклонений параметров (факторов) закладываемых в расчетах, находящихся в пределах своих допусков;
- не технологичность конструкции;
- не достаточный контроль качества, заложенный в конструкторской документации (КД);
- не достаточный учет чувствительности заложенного материала к концентрации;
- не достаточный учет коррозионной стойкости заложенного материала;
- не достаточный учет коррозионной совместимости соединений (сборок) деталей из различных материалов;
- не возможность учета величин и частоты случайных нагрузок, имеющих место в реальных условиях;
- не точность параметров полученных в ходе ресурсных испытаний, в связи с наличием разброса, свойственного всем результатам усталостных испытаний;
- не правильный выбор типа соединения и требований к его выполнению;
- не правильный выбор типа крепежных элементов и т.д.

К технологическим дефектам можно отнести следующие дефекты:

- не возможность обеспечения имеющейся, директивной технологией (не правильный ее выбор) требований КД;
- не достаточная технологическая оснащенность;

- нарушение технологии при изготовлении;
- наличие остаточных напряжений;
- не достаточный входной контроль применяемых материалов;
- не обеспечение надежного антикоррозионного покрытия;
- наличие внутренних дефектов как металлургических, так и возникающих в процессе производства и т.д.

Далее рассмотрим и проанализируем некоторые, основные отклонения от КД самолетных конструкций, имеющие место в процессе производства и требующие определенных мероприятий по восстановлению их качества.

**Влияние технологии и условий производства на ресурс деталей.** Задачей технологического процесса в целом при громадном разнообразии его частей является организованное воздействие на материал, полуфабрикаты и детали с целью переработки их в изделия с требуемыми формами, размерами, свойствами и другими характеристиками. Технология должна предвосхищать и опережать конструкторскую разработку, что важно не только для создания конструкции, но и для предотвращения неблагоприятной технологической наследственности, могущей в несколько раз снизить сопротивление усталости, вследствие чего технология может оказывать решающее влияние на ресурс и надежность.

В литературе [1] имеются некоторые данные о влиянии так называемых технологических дефектов на усталость, которые можно классифицировать по их происхождению и воздействию на сопротивление усталости на следующие группы:

1. Шероховатость-величина, форма и направление неровностей.
2. Отклонение от размеров конструктивных концентраторов напряжений: чем они больше, тем интенсивнее их воздействие.
3. Шлифование, как процесс, и в основном прожоги при грубом шлифовании очень интенсивно снижают сопротивление усталости, особенно в конструкциях из титановых сплавов и высокопрочных сталей.
4. Риски, подрезы и другие отклонения при механической обработке могут существенно влиять на сопротивление усталости, особенно, если они находятся в поле напряжений геометрического концентратора.
5. Химическая обработка при травлении, очистка - незначительно влияют на сопротивление усталости, так же как и шероховатость поверхности, созданная такой обработкой.
6. Неравномерное поле поверхностных остаточных напряжений и поверхностной твердости как следствие термической обработки, формообразования и правки, и, особенно, разной механической обработки, главным образом, ручных операций. Влияния такого поля может быть существенным.
7. Поверхностные и под поверхностные поры и включения в литых и сварных конструкциях также весьма существенно снижают сопротивление усталости.
8. Твердые хрупкие покрытия и диффузионные слои, появляющиеся в результате процесса нанесения покрытия, термической, химико-термической и других видов обработки могут повышать и существенно снижать циклическую долговечность.
9. Мягкие пластичные покрытия и поверхностные слои, появляющиеся в результате, например плакирования или термической обработки, в большей

степени снижают циклическую долговечность в области много цикловой усталости, в меньшей - в области малоцикловой усталости.

10. Пластически деформированные растяжением поверхностные слои, возникающие, как правило, при процессах механического упрочнения (ППД) значительно повышают сопротивление усталости. При этом повышение сопротивления усталости тем больше, чем ниже уровень нагружения.

По данным зарубежной литературы, технологические и производственные дефекты являются причиной половины всех усталостных разрушений в эксплуатации. К таким дефектам относятся трещины появившиеся в процессе закалки и шлифования, другие дефекты термической и механической обработки, вредные напряжения при сборке и т.д. Так влияние технологической обработки на сопротивление усталости, а также влияние на нее среды и эксплуатационных повреждений, аналогично, а иногда и превосходит влияние острого надреза, являющегося по сути дела начальной трещиной [1].

Так в работе [3], на примере замены механической обработки панелей из алюминиевых сплавов на метод химического травления отмечено, что при правильном выборе метода обработки, для конкретного алюминиевого сплава, можно повысить усталостную прочность деталей.

Если заготовкой детали является литье, то предел выносливости заготовок из алюминиевых и магниевых сплавов при наличии поверхностных дефектов литья, таких, как поры у поверхности, может быть снижен в два раза, причем дробеударная обработка таких поверхностей, например, может восстановить предел выносливости до исходного значения. Таким образом, долговечность, а, следовательно, и ресурс деталей из конкретного материала в первую очередь определяется состоянием поверхностного слоя и его повреждением и, в меньшей степени, состоянием сердцевины (внутренних слоев) материала деталей.

***Влияние поверхностного слоя детали.*** Усталостное повреждение в основном возникает на поверхности или вблизи нее, что объясняется разницей в состоянии энергетических связей частиц материала на поверхности и под ней. Поверхностный слой, в котором при повторных нагружениях образуется микротрещина, характеризуется более ранним пластическим течением, чем внутренние слои.

Поверхностный слой имеется у всех металлов независимо от типа кристаллической решетки и наличия окисной пленки, его толщина составляет 0,05 ... 0,5 мм. Иногда поверхностный слой может играть барьерную роль в общем процессе деформирования, так как после определенной ее степени свойства поверхностного слоя могут стать близкими к объемным свойствам вследствие упрочнения поверхностного слоя за счет опережения его пластической деформации. Приведенный выше анализ относится к случаю отсутствия геометрической концентрации напряжений, в том числе и отклонений от КД. В случае геометрической концентрации напряжений, механизм усталостного повреждения аналогичен, но с одной особенностью: в зоне геометрической концентрации количество зерен на поверхности, имеющих благоприятное направление плоскостей скольжения значительно ниже.

При «остром» концентраторе напряжений трещина появляется значительно раньше, практически при начальных циклах нагружения, располагаясь не под углом 45 градусов к направлению действия нагрузки, а перпендикулярно к ней.

Работа материала в условиях уже возникшей трещины может иметь место

не только по причине «острых» геометрических концентраторов напряжений, но и в случаях хрупких пленок или покрытий, обладающих хорошей адгезией к основному материалу. При напряжениях, не превышающих некоторую величину, трещины из покрытия не проникают в основной материал. Такое напряжение представляет собой предел выносливости хромированных высокопрочных сталей.

Как рассмотрено в [1] трещины из покрытия распространяются в стали различно, в зависимости от уровня нагружения. На высоких уровнях разрушение начинается практически одновременно из нескольких очагов; на низких - развивается одна из возникших трещин, она растет с не высокой скоростью и разрушение происходит при большом цикле нагружения.

В работе [2] предложена зависимость, позволяющая прогнозировать долговечность конструкции при уже имеющейся начальной трещине длиной в пределах 0,01 ... 0,2 мм в функции номинального действующего напряжения ( $N$ ):

$$N = K \int_{l_n}^{l_k} \frac{1}{\left( \frac{1+m}{2} \sigma_{max} - 2\sigma_{кр} \right)^2} \cdot \frac{d(2l)}{2l}, \quad (1)$$

где  $K$  – постоянный коэффициент, определяемый свойствами материала (модуль упругости, коэффициент Пуассона, предел текучести);

$l$  – полудлина трещины;

$l_n$  – начальная полудлина трещины;

$l_k$  – конечная полудлина трещины, при достижении которой происходит разрушение (определяется по величине критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{1c}$ );

$m = \frac{\Delta\sigma_a}{\Delta\sigma_m}$  – коэффициент влияния асимметрии цикла при наличии трещины

(определяется по полной диаграмме усталости);

$\sigma_{max}$  – максимальное действующее напряжение цикла;

$\sigma_{кр}$  – минимальное переменное напряжение необходимое для распространения трещины.

Указанная зависимость применима при отсутствии специальной обработки поверхности, повышающей сопротивление усталости. Так же примером действия хрупкого слоя является покрытие типа анодной окисной пленки на деталях из алюминиевых и титановых сплавов, которое создает такие же условия и образует такой же механизм усталостного повреждения, как и твердое хромовое покрытие.

Снижение сопротивления усталости при наличии диффузионного хрупкого слоя у поверхности проявляется, например, при альфировании титановых сплавов. При этом вследствие насыщенности поверхности кислородом и азотом поверхностный слой становится хрупким. В результате усталостных нагружений в нем быстро возникают трещины, которые распространяются в основной металл.

Покрытия могут быть не только твердыми, хрупкими, но и мягкими, пластичными. К таким покрытиям, например, можно отнести плакирование техническим алюминием листов из алюминиевых сплавов, к мягким поверхностным слоям

можно отнести полное или частичное обезуглероживание поверхностного слоя стальных деталей и т.д. Плакирование незначительно снижает долговечность на высоких уровнях нагружения и существенно (почти на порядок) – на низких уровнях нагружения (при больших долговечностях). Аналогичное влияние на выносливость высокопрочной стали оказывает наличие обезуглероженного поверхностного слоя. Причиной такого действия мягких слоев в области многоциклового усталости является значительно более низкая механическая прочность поверхностного слоя по сравнению с нижележащими слоями.

Можно сделать заключение, что и мягкие и хрупкие поверхностные слои влияют на сопротивление усталости конструкции в многоциклового области весьма существенно, а в малоциклового области мягкие слои, в отличие от хрупких, снижают сопротивление усталости незначительно.

**Влияние внутренних дефектов материалов деталей.** Особой специфической разновидностью поверхностного слоя являются граничные поверхности внутренних дефектов материала (поры, инородные включения, трещины и т.д.). Усталостное повреждение от таких поверхностей происходит значительно реже, чем от поверхностного слоя, но когда такого рода дефекты выходят на поверхность или располагаются вблизи ее, как правило, разрушение начинается с них.

В практике встречаются детали, имеющие внутренние пороки металлургического происхождения или дефекты, возникающие в процессе сварки,ковки, литья, термической или механической обработки, что может привести к разрушению этих деталей и к выходу из строя агрегатов. Особенно опасны по своему влиянию на сопротивление усталости внутренние трещины, так как концентрация энергии в их устье чрезвычайно велика, поэтому для разрушения требуются относительно небольшие напряжения.

Для ответственных деталей конструкции нужно стремиться использовать чистые материалы, например, стали вакуумнодугового переплава, алюминиевые сплавы повышенной чистоты, а также применять такие процессы, как сварка и литье в вакууме и т.д.

Существенное влияние на выносливость оказывают дефекты материала, возникающие в процессе литья. Такие дефекты представляют газовые поры, усадочные раковины различных размеров и инородные включения, как правило, твердых частиц из  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  и других. Крупные включения, находящиеся у поверхности (типа засоров), усадочные раковины, трещины, а также ликвационные зоны в зоне так называемых рыхлот, как правило, в отливках отсутствуют, ибо они удаляются при обрезке литников и зачистке литья.

Дефекты в стальных отливках так существенно влияют на сопротивление усталости, что разрушение зачастую начинается не с поверхности (если в поверхностном слое отсутствуют дефекты), а в сердцевине материала от имеющихся дефектов.

Повышение плотности структуры, т.е. уменьшение количества и размеров дефектов в литье, может быть достигнуто технологическими мероприятиями, обеспечивающими постоянную подпитку металлом сечений отливки, опасных по образованию пор и раковин, улучшение дегазации отливки, применение литья в вакууме и т.д.

При изготовлении деталей с применением сварки плавлением в материале сварного шва также появляются различные дефекты в виде пор, включений, несплавлений и т.д. Не все дефекты могут быть выявлены при контроле и

устранены последующей обработкой. К таким дефектам следует отнести газовые поры небольшого размера (диаметром 0,2...0,5 мм), скопление более мелких пор, мелкие усадочные поры удлиненной формы, включения вольфрама, оксидные и сульфидные включения размером до 0,5 мм. Все эти дефекты снижают в различной степени выносливость конструкции в зависимости от их размеров, взаимного расположения, а также положения относительно поверхности и материала включений.

Таким образом, можно сделать заключение, что внутренние дефекты в материале и заготовках существенно влияют на сопротивление усталости, снижая его. Это сказывается на выборе материала и заготовки при проектировании конструкции, а также на определении допустимых напряжений в случае применения, например литья. В то же время, в большинстве случаев влияние дефектов не учитывается при проектировании конструкции, поэтому необходимо принимать в производстве меры по устранению их влияния (применение методов неразрушающего контроля).

***Влияние конструктивных факторов на усталостную прочность соединений.*** Усталостные трещины в соединениях механическими видами крепежа (болты, заклепки и т.п.) образуются, как правило, на контуре отверстия под крепеж. Образование усталостных трещин обусловлено высоким уровнем локальных напряжений в этих участках (концентрацией напряжений). Величина коэффициента концентрации зависит от вида нагружения (растяжение, изгиб), формы отверстия (цилиндр, эллипс, конус) и геометрических размеров элемента.

Результаты многочисленных испытаний и опыт эксплуатации самолетов убедительно свидетельствуют о зависимости усталостной долговечности от конструкции соединения, характеризующейся материалом соединяемых и соединительных элементов, числом плоскостей среза, числом рядов, конструкцией крепежа, расстоянием между крепежными элементами в направлении действия силы и в направлении, перпендикулярном этому направлению, расстоянием от крайних крепежных элементов до края листа и т.д.

***Влияние числа плоскостей среза.*** Так многими исследованиями было показано, что число плоскостей среза в соединении заметно влияет на его усталостную прочность: двухсрезовые соединения, как правило, долговечнее односрезных, из-за наличия дополнительных напряжений от изгиба и увеличение неравномерности распределения контактных напряжений по толщине, обусловленное наклоном крепежной детали в односрезных соединениях. Таким образом, можно сделать вывод, что чем больше толщина присоединенного элемента, тем выше долговечность однорядного соединения, а эффективность использования жестких накладок в случае однорядных соединений объясняется тем, что у этих соединений образуются наибольшие напряжения изгиба и наличие дополнительной жесткости.

***Влияние числа рядов крепежных элементов.*** В зависимости от нагруженности конкретного участка конструкции, соединение элементов может иметь различное число рядов крепежных элементов. При одной и той же нагрузке на соединение его усталостная долговечность с увеличением числа рядов крепежных элементов растет, но степень повышения усталостной долговечности становится все меньшей и при числе рядов свыше трех рост усталостной долговечности прекращается (данные испытаний четырех-, пятирядных

соединений лежат в полосе разброса данных испытаний трехрядных соединений) [4]. Объяснить такой характер зависимости усталостной долговечности от числа рядов можно тем, что с увеличением числа рядов крепежных элементов нагрузка, передаваемая первым рядом, снижается, но увеличивается нагрузка, проходящая по соединяемой поверхности, и повышается неравномерность распределения нагрузки по рядам.

Распределение нагрузки по рядам соединения. Экспериментальные исследования распределения нагрузки по рядам соединения показали, что при переменных нагрузках критическими в отношении усталости будут наиболее нагруженные, обычно крайние, ряды соединения. Для выравнивания распределения нагрузок рядам, в реальных конструкциях соединения выполняется плавное или ступенчатое снижение толщин соединяемых элементов или же специальные вырезы, уменьшающие жесткость соединяемых элементов. Также очевидно, что распределение нагрузок по рядам должно зависеть от податливости листа и податливости крепежа. Исходя из этого в некоторых случаях, рекомендуется снижать диаметр крепежа в крайних рядах. Хотя при этом распределение нагрузок и улучшается, результаты экспериментов [4] не показывают повышение усталостной долговечности соединения, так как это приводит к увеличению неравномерности контактных напряжений по толщине листа, т.е. к повышению эффективного коэффициента концентрации напряжений, поэтому более эффективным считается постановка на крайние ряды крепежа из более податливого материала.

Влияние материала соединяемых элементов (листов). Наиболее обширные испытания этого вопроса выполнил Г.Бюрнгейм. Испытаниям были подвергнуты трехрядные соединения внахлест листов из алюминиевых сплавов  $AlCu$  (лист плакирован) и  $AlZn$  (лист не плакирован) заклепками с полукруглой головкой. Как показали эксперименты, пределы выносливости соединений на базе  $10^7$  циклов практически не зависят от марки сплава, а пределы ограниченной выносливости гладкого образца и образца со свободным отверстием из сплава  $AlCu$  были выше, чем у таких же образцов из сплава  $AlZn$ . По-видимому, именно поэтому для обшивок фюзеляжа практически на всех самолетах предпочтение отдается более пластичным сплавам системы  $AlCu$ . Также следует отметить, что значительно большие изменения усталостной долговечности наблюдаются при использовании различных полуфабрикатов одного и того же материала, чем при использовании одинакового полуфабриката разных сплавов (алюминиевых).

Влияние отношения диаметра крепежа к толщине листа. Исследование Г.Бюрнгейма по влиянию диаметра крепежа к толщине листа на усталостную долговечность соединения внахлест показали следующее, что при увеличении диаметра заклепки свыше 4 мм (листы толщиной 1,5 мм) средние значения циклической долговечности увеличиваются, но одновременно с этим увеличивается рассеяние и минимальные значения циклической долговечности остаются на одном уровне. При уменьшении диаметра заклепки средние и минимальные значения циклической долговечности уменьшаются. Уменьшение диаметра заклепок неблагоприятно также с точки зрения статической прочности соединений.

Взаимное влияние крепежных элементов. На усталостную долговечность соединения может влиять также расстояние между соседними крепежными элементами, при этом наибольшей усталостной долговечностью обладают соединения, где отношение указанного расстояния к диаметру заклепки лежит в

пределах 2,5...3,7. При увеличении этих значений до значения 6,2 усталостная долговечность снижается в пять раз, а при дальнейшем увеличении рассматриваемого параметра до десяти – примерно в 20 раз. Возвращаясь к анализу влияния диаметра заклепки, можно отметить, что полученное там снижение усталостной долговечности при уменьшении диаметра заклепки в значительной мере связано с увеличением расстояния между заклепками.

Как показывают результаты исследований влияния расстояния между рядами, увеличение этого расстояния приводит к увеличению усталостной долговечности трехрядного соединения внахлест. Отмечается, что выгодное с позиции минимальной массы стыка близкое расположение заклепок приводит к неудовлетворительным усталостным характеристикам. Увеличение расстояния между крепежными элементами в ряду приводит к увеличению нагрузки на каждый ряд, вызывая снижение усталостной долговечности соединений.

Влияние расстояния от центра крайнего крепежного элемента до края листа. Исследования влияния указанного параметра («перемычки») на усталостную долговечность показали, что повышению усталостной долговечности соединения способствует уменьшение рассматриваемого расстояния, однако при этом падает статическая прочность соединения. С увеличением числа заклепок в ряду эффективность воздействия данного параметра должна снижаться, поскольку улучшение характеристик сопротивления усталости будет относиться только к отверстиям, расположенным у края листа, средние же отверстия в ряду при неизменном расстоянии между ними будут иметь неизменное значение коэффициента концентрации напряжений.

Влияние конструкции крепежа. Распространено мнение о том, что форма головки (потайная или не потайная) крепежа является фактором, наиболее сильно влияющим на усталостную долговечность соединения, однако, опыт далеко не всегда подтверждает это. Как показали результаты испытаний [4] соединений двух пластин с плавным изменением толщины соединяемых деталей болтами с потайной и выступающей головкой, при определенных конструктивно-технологических сочетаниях усталостная долговечность соединений болтами с потайной головкой может быть даже выше, чем в случае не потайных болтов. Испытания соединений универсальными заклепками, осадка стержней которых производится одновременно с двух сторон, показали, что усталостная долговечность потайного соединения была даже несколько большая, чем у непотайного. Во всех этих случаях отсутствовало сквозное прозенковывание элемента в опасном сечении при выполнении гнезда под потайную головку крепежа. При таком сочетании размеров крепежа и соединяемых элементов, когда в опасном сечении соединяемый элемент прозенкован насквозь, усталостная долговечность соединения может быть до пяти раз ниже, чем в аналогичном соединении непотайным крепежом. С учетом этого, рекомендуется выбирать такое соотношение размеров крепежа и соединяемых элементов, чтобы минимально гарантируемый размер цилиндрического пояса в зенкованном отверстии составлял не менее 0,2 мм.

Фирма «Локхид» провела исследования возможности повышения сопротивления усталости соединений внахлест с прокладкой герметика между листами (применительно к продольным стыкам фюзеляжа). Основной упор был сделан на уменьшение повреждающего эффекта глубокого зенкования и на увеличение натяга со стороны закладной головки. Первое достигалось



уменьшением размера (высоты) потайной головки (0,25 от диаметра заклепки, вместо стандартной 0,4 от диаметра). Еще большего эффекта удалось достичь, заменив герметик между листами клеєм (усталостная долговечность при этом возросла от исходного значения 55800 до 3600000 циклов).

Как показывают полученные данные, даже незначительная разница в конструкции компенсатора на закладной головке приводит к заметной разнице в циклической долговечности. Улучшение достигается выполнением тела заклепки с расширяющимся раструбом от минимального диаметра в середине пакета до максимального на поверхности соединяемых элементов.

Фирма «Боинг» разработала устанавливаемые автоматически заклепки с не полностью сформированными закладными потайными головками (аналогичны отечественным универсальным заклепкам для установки автоматами или прессами). Полное заполнение потайного гнезда в обшивке осуществляется в процессе осаживания заклепки, так что деформирование стержня происходит и со стороны закладной, и со стороны замыкающей головок заклепок.

Для соединения тонкостенных элементов разработаны заклепки с уменьшенной высотой потайной головки (у заклепки с углом конуса  $90^{\circ}$  высота уменьшенной головки составила 30% от размера диаметра заклепки, вместо стандартных 40%). Испытания подтвердили высокую эффективность этих заклепок в соединениях листов внахлест - усталостная долговечность таких соединений оказывается не ниже, чем в случае применения в первом ряду не потайной заклепки, а масса конструкции и ее аэродинамическое сопротивление уменьшаются. С целью дальнейшего уменьшения высоты потайной головки угол конуса увеличивают до 120%.

### **Выводы**

Таким образом, детально изучив и проанализировав влияние каждого возможного конструктивно-технологического отклонения в детали, сборке можно будет просчитать потери не только в статической прочности при комплексе отклонений, но и попытаться максимально точно спрогнозировать потери в усталостной долговечности, как в детали, так и в агрегате (самолете) в целом.

### **Список литературы**

1. Бронз Л.Д. Технология и обеспечение ресурса самолетов / Л.Д. Бронз. – М.: Машиностроение, 1986. –184 с.
2. Рябой А.Я. Повышение ресурса авиационных деталей из высокопрочных сталей / А.Я. Рябой, Л.Д. Бронз. – М.: Машиностроение, 1977. – 147 с.
3. Шабалин В.И. Влияние химического размерного травления на усталостную прочность алюминиевых сплавов / В.И. Шабалин, Г.Е. Гантимуров, В.Н. Чаплыгин // Труды ЦАГИ, 1978 г. – С. 54 – 55.
4. Сопротивление усталости элементов конструкций / А.З. Воробьев, Б.И. Олькин, В.Н. Стебнев, Т.С. Родченко. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.

**Рецензент:** к.т.н., доц. А.М. Гуменный, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 20.01.11.

## **Аналіз і класифікація конструктивно-технологічних відхилень в серійному виробництві**

На основі вивчення впливу технології, умов виробництва металургійних конструктивних факторів проведено класифікацію можливих конструктивно-технологічних відхилень у серійному виробництві і виконано попередній аналіз впливу можливих відхилень від нормативних документів на втомну довговічність і ресурс деталей.

**Ключові слова:** втомна довговічність, ресурс, внутренні дефекти, поверховий шар, кріпінні елементи, сполучувані матеріали.

## **Experimental investigations of fatigue life characteristics of aircraft airframe structural member standard components in the zone of detachable bolted joints**

Based on investigation of influence of technology, environment of metallurgical structural factors manufacturing the classification of possible structural and technological deviations in series production is executed and preliminary analysis of possible deviations from standard publications influence on structural members fatigue life and service life is performed.

**Keywords:** fatigue life, service life, internal defects, surface layer, attachment fittings, attachable materials.