

Конструктивно-технологический метод повышения усталостной долговечности дорнованием, совместным локальным и барьерным обжатием конструктивных элементов разъемных болтовых соединений планера самолета

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

Разработан конструктивно-технологический метод повышения усталостной долговечности и ресурса разъемных болтовых соединений элементов планера самолета путем применения дорнования стенок цилиндрических отверстий, а также локального и барьерного обжатия конструктивных элементов в зоне цилиндроконических отверстий.

Ключевые слова: усталостная долговечность, разъемное болтовое соединение, цилиндрическое отверстие, цилиндроконическое отверстие, дорнование, барьерное обжатие.

Одним из приоритетных направлений развития промышленности Украины является создание авиационной техники. В последние десятилетия отмечается увеличение роста конкуренции на мировых рынках авиационных транспортных услуг. Для сохранения конкурентоспособности новой авиационной техники, создаваемой в Украине, необходимо вести новые научные разработки в области проектирования и производства самолетов.

Ресурс планера самолета определяется ресурсом его основных силовых элементов.

Конструктивные элементы с разъемными болтовыми соединениями являются одними из элементов конструкции планера самолета, определяющих его ресурс. Их долговечность должна быть не менее долговечности неразъемных продольных болтовых соединений силовых элементов планера, выполненных с осевым и радиальным натягом [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Целью данной работы была разработка конструктивно-технологического метода повышения усталостной долговечности дорнованием, совместным локальным и барьерным обжатием конструктивных элементов разъемных болтовых соединений планера самолета, выполненных из материала Д16АТ л.5.

Разработанный конструктивно-технологический метод повышения усталостной долговечности разъемных болтовых соединений включает:

- образование отверстий с назначенным допуском;
- дорнование стенок цилиндрических отверстий элементов разъемного болтового соединения;
- установка с помощью разработанных специальных технологических болтов самоконтрящихся гаек с гарантированным осевым натягом [7];
- образование отверстий под заклепки для самоконтрящихся гаек и снятие заусенцев;
- выполнение заклепочных соединений самоконтрящихся гаек с элементами конструкции;
- снятие технологических болтов;
- обработка конструктивных элементов в зоне цилиндроконических отверстий совместным обжатием переходных зон и круговым барьерным об-

жатию;

- установка болтов крепления и контроль стяжки пакета.

Для подтверждения эффективности разработанного конструктивно-технологического метода повышения усталостной долговечности разъемных болтовых соединений проведены усталостные испытания моделей разъемных не нагруженных на срез соединений на уровне нагружения $\sigma_{бр\ min} = 0$ МПа,

$\sigma_{бр\ max} = 150$ МПа.

Для исследования влияния разработанного конструктивно-технологического метода повышения усталостной долговечности на характеристики усталостной долговечности типовых моделей конструктивных элементов планера самолета в зоне не нагруженных на срез разъемных болтовых соединений экспериментальные исследования были проведены для моделей соединений, в которых:

- полосы с цилиндрическим отверстием ($\varnothing 5$ мм) и цилиндроконическим отверстием ($\varnothing 5$ мм) дополнительно не обрабатывались в зоне отверстий;
- полоса с цилиндрическим отверстием обработана в зоне отверстия дорнованием стенок отверстий, полоса с цилиндроконическим отверстием обработана в зоне отверстия совместным обжатием переходных зон и круговым барьерным обжатием.

Трехмерная модель не нагруженного на срез разъемного болтового соединения представлена на рис. 1.

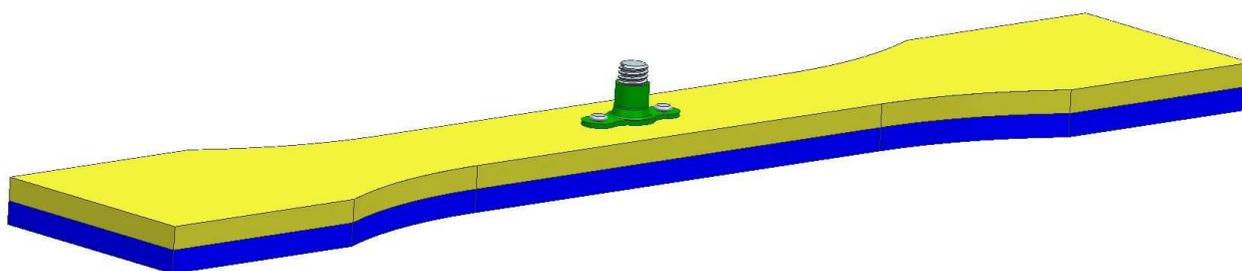


Рис. 1. Трехмерная модель не нагруженного на срез продольного разъемного болтового соединения

Трехмерные модели обжимок для обжатия переходных зон и кругового барьерного обжатия представлены на рис. 2 и 3, а двухмерные модели на рис. 4, 5 соответственно.

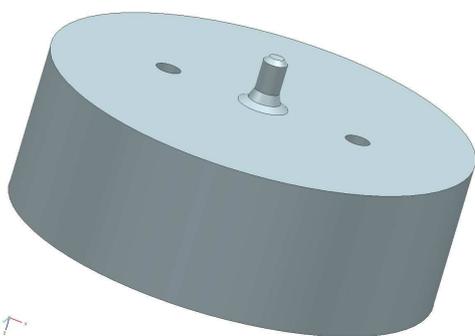


Рис. 2. Трехмерная модель обжимки для обжатия переходных зон

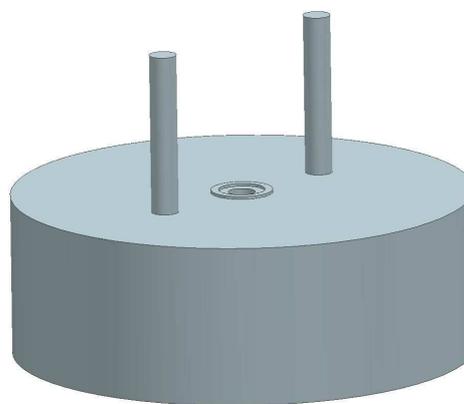


Рис. 3. Трехмерная модель обжимки для кругового барьерного обжатия

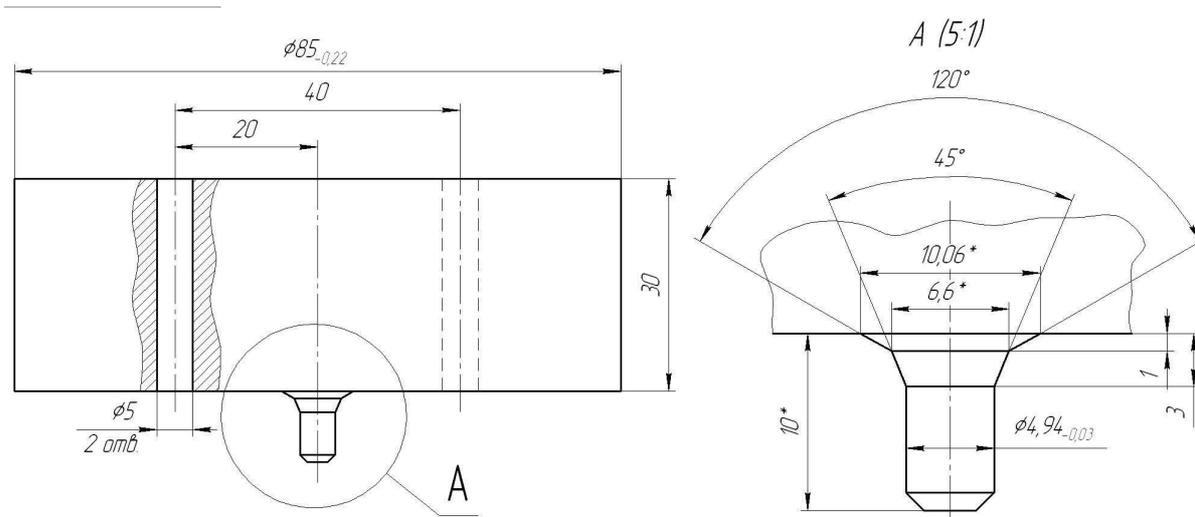


Рис. 4. Двухмерная модель обжимки для обработки переходных зон цилиндрического отверстия

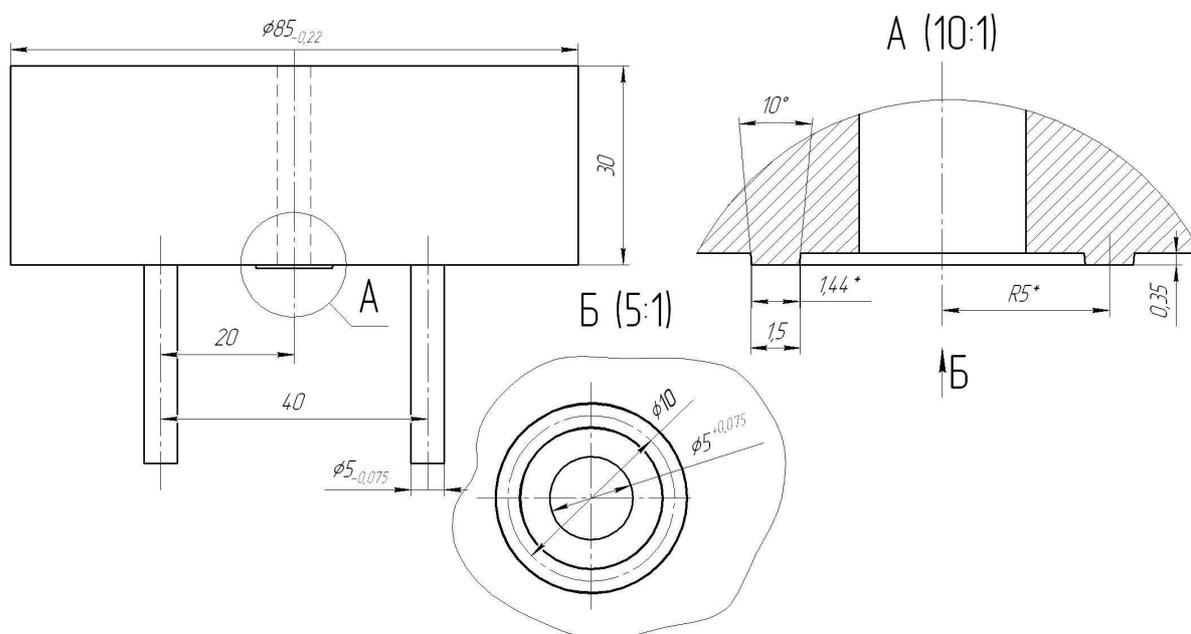


Рис. 5. Двухмерная модель обжимки для кругового барьерного обжатия

Дорнование стенок цилиндрического отверстия ($\phi 5$ мм) выполнено с относительным натягом 4%.

Зоны обработки полосы в зоне цилиндрического отверстия совместным обжатием переходных зон и круговым барьерным обжатием представлены на рис. 6.

Совместное обжатие переходных зон цилиндрического отверстия и круговое барьерное обжатие проводили на установке ZD 10/90 (см. рис. 7). Усилие, создаваемое установкой, для совместного обжатия составляло 52 000 Н.

Перемещение обжимки для обжатия переходных зон находилось в пределах 0,35...0,45 мм. При этом относительный натяг по переходным зонам цилиндрического отверстия составлял 0,6 и 7% соответственно (см. рис. 6).

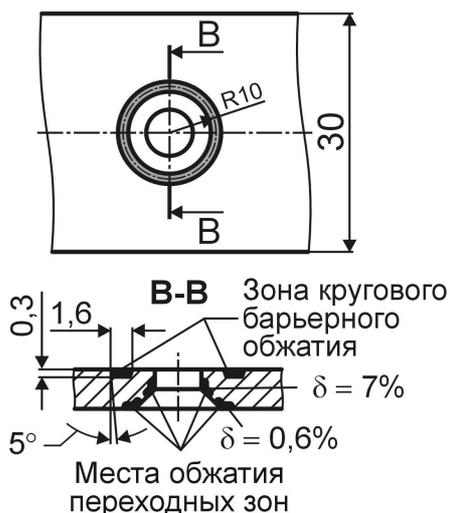


Рис. 6. Зоны обработки полосы с цилиндроконическим отверстием совместным обжатием переходных зон и круговым барьерным обжатием



Рис. 7. Установка образца для выполнения совместного локального и барьерного обжата полосы в зоне цилиндроконического отверстия на установке ZD 10/90

Глубина кругового барьерного обжата находилась в пределах 0,24...0,28 мм.

Усталостные испытания не нагруженных на срез разъемных болтовых соединений проведены при уровне нагружения $\sigma_{\text{бр min}} = 0$ МПа, $\sigma_{\text{бр max}} = 150$ МПа на гидравлической установке для усталостных и статических испытаний ЦДМ-10ПУ в Проблемной научно-исследовательской лаборатории ресурса самолетных конструкций Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт».

В испытательной установке ЦДМ-10ПУ образцы нагружали одноосными переменными циклическими нагрузками. Частота нагружения составляла 11 Гц.

На заданном уровне нагружения было испытано пять образцов не нагруженного на срез продольного разъемного болтового соединения в котором полоса с цилиндрическим отверстием не обрабатывалась в зоне отверстия дорнованием стенок отверстий и полоса с цилиндроконическим отверстием не обрабатывалась в зоне отверстия совместным обжатием переходных зон и круговым барьерным обжатием.

Усталостное разрушение образцов происходило в сечении по оси цилиндроконического отверстия, и оно возникало в зоне перехода конической части отверстия в цилиндрическую.

Результаты усталостных испытаний представлены в табл. 1.

Зоны и характер усталостного разрушения образцов показаны на рис. 8.

Также на заданном уровне нагружения было испытано пять образцов не нагруженного на срез продольного разъемного болтового соединения в котором полоса с цилиндрическим отверстием обработана в зоне отверстия дорнованием стенок отверстий, полоса с цилиндроконическим отверстием обработана в зоне отверстия совместным обжатием переходных зон и круговым барьерным обжатием.

Таблица 1

Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного разъемного болтового соединения, элементы которого дополнительно не обрабатывались в зоне цилиндрического и конического отверстий, на уровне нагружения $\sigma_{бр\ min} = 0$ МПа, $\sigma_{бр\ max} = 150$ МПа

Номер образца	$F_{бр}$, мм ²	$\sigma_{бр}$, МПа		$P_{бр}$, кг		Количество циклов нагружения до разрушения (N)
		min	max	min	max	
13.0.1	292,4	0	150	0	4 500	30 200
13.0.2	286,8	0	150	0	4 500	28 900
13.0.3	298,2	0	150	0	4 500	30 800
13.0.4	294,8	0	150	0	4 500	31 400
13.0.5	296,4	0	150	0	4 500	28 800
Среднее значение						30 000

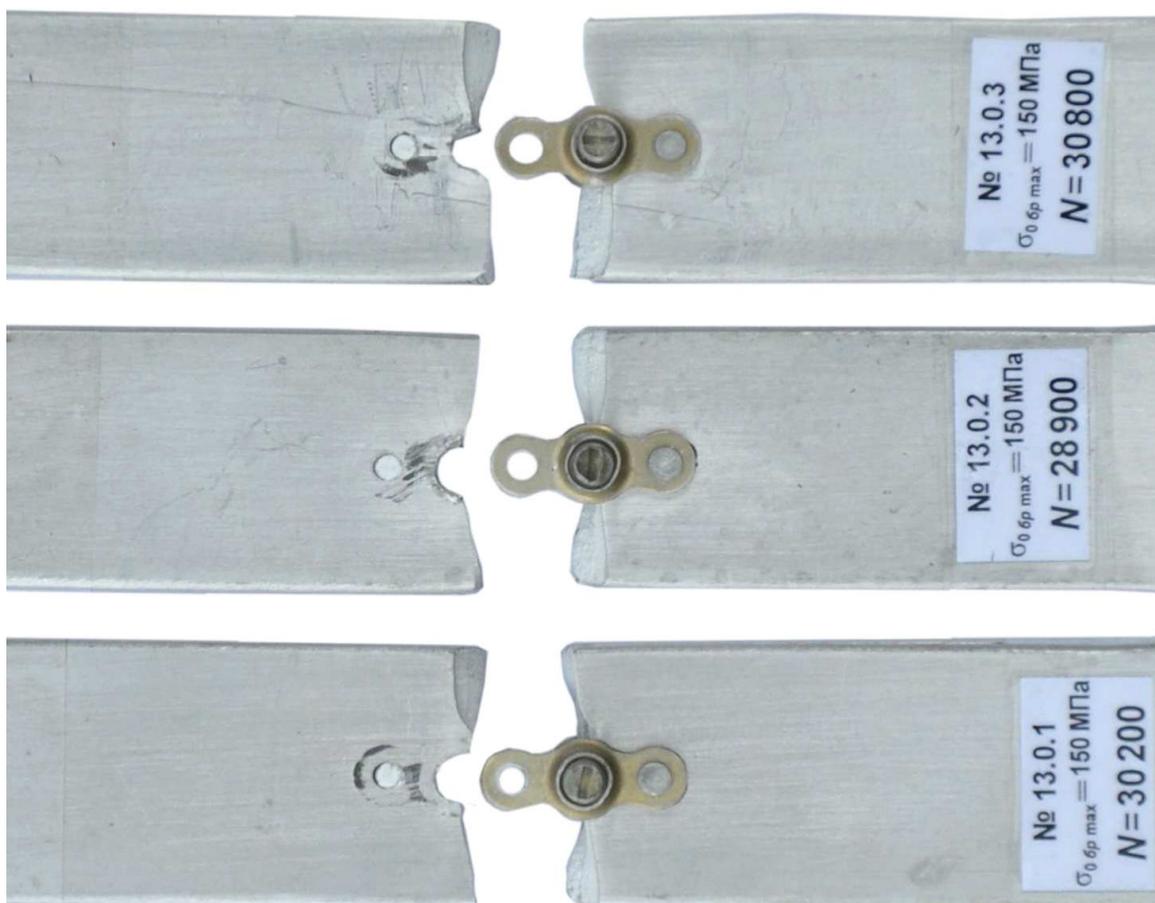


Рис 8. Зоны и характер усталостного разрушения модели не нагруженного на срез продольного разъемного болтового соединения, элементы которого в зоне цилиндрического и конического отверстий дополнительно не обрабатывались

Усталостное разрушение образцов 14.1.2, 14.1.3 происходило в сечении по оси цилиндрического отверстия, и оно возникало в зоне перехода фаски в цилиндрическую часть отверстия. Усталостное разрушение образцов 14.1.1, 14.1.4, 14.1.5 произошло в полосе с цилиндрическим отверстием в сечении по оси заклепки.

Результаты усталостных испытаний представлены в табл. 2.

Зоны и характер усталостного разрушения образцов показаны на рис. 9.

Таблица 2

Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного разъемного болтового соединения (полоса с цилиндрическим отверстием обработана дорнованием стенок отверстия, полоса с цилиндроконическим отверстием обработана в зоне отверстия обжатием переходных зон и круговым барьерным обжатием) на уровне нагружения

$$\sigma_{\text{бр min}} = 0 \text{ МПа}, \sigma_{\text{бр max}} = 150 \text{ МПа}$$

Номер образца	$F_{\text{бр}}, \text{ мм}^2$	$\sigma_{\text{бр}}, \text{ МПа}$		$P_{\text{бр}}, \text{ кг}$		Количество циклов нагружения до разрушения (N)
		min	max	min	max	
14.1.1	296,8	0	150	0	4 500	312 000
14.1.2	288,2	0	150	0	4 500	307 000
14.1.3	298,8	0	150	0	4 500	326 100
14.1.4	300,4	0	150	0	4 500	299 300
14.1.5	296,8	0	150	0	4 500	303 200
Среднее значение						309 500

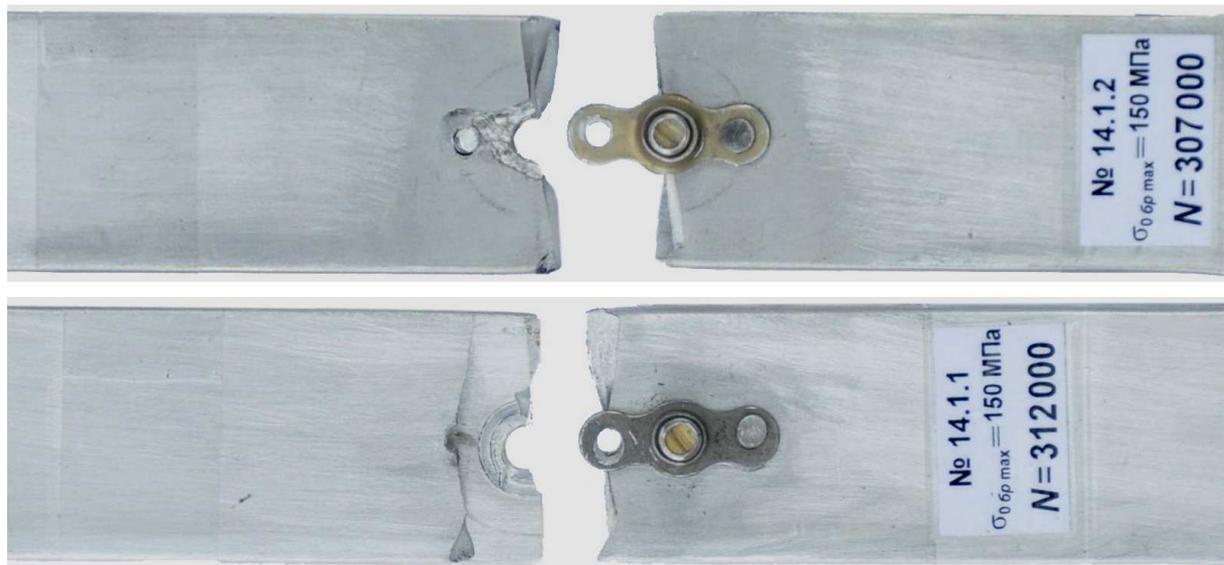


Рис. 9. Зоны и характер усталостного разрушения модели не нагруженного на срез продольного разъемного болтового соединения, элементы которого в зоне цилиндрического отверстия обработаны дорнованием стенок отверстия, а в зоне цилиндроконического отверстия обработаны совместным обжатием переходных зон и круговым барьерным обжатием

При этом установлено, что на уровне нагружения $\sigma_{\text{бр min}} = 0$ МПа, $\sigma_{\text{бр max}} = 150$ МПа усталостная долговечность неупрочненных моделей образцов составила 30 000 циклов нагружения. Усталостная долговечность моделей образцов не нагруженного на срез продольного разъемного болтового соединения, конструктивные элементы которого обработаны в зоне цилиндрического отверстия дорнованием стенок отверстия, а в зоне цилиндрического отверстия – обжатием переходных зон и барьерным круговым обжатием составила 310 000 циклов нагружения. Таким образом, применение разработанного конструктивно-технологического метода привело к повышению усталостной долговечности более чем в 10 раз.

Выводы

1. Разработаны технология сборки съемных панелей крыла, исключая повреждение стенок отверстий в соединяемых деталях технологическим и боевым болтами, конструкция специального технологического болта для фиксации перед клепкой самоконтрящихся двухушковых гаек анкерных соединений, конструкция технологических обжимок для одновременной клепки двух заклепок анкерной гайки.

2. Разработан конструктивно-технологический метод повышения усталостной долговечности и ресурса разъемных болтовых соединений элементов планера самолета путем применения дорнования стенок цилиндрических отверстий, а также локального и барьерного обжатия конструктивных элементов в зоне цилиндрических отверстий.

Список литературы

1. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
2. Нормы летной годности самолетов транспортной категории (АП-25). – М.: МАК, 1994. – 322 с.
3. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолётов / А.И. Пекарш, Ю.М. Тарасов, Г. А. Кривов и др. – М.: Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
4. Соппротивление усталости элементов конструкций / А.З. Воробьев, Б.И. Олькин, В.Н. Стебенев и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
5. Технология выполнения высокоресурсных соединений / В.Ф. Пширков, Я.Н. Робаковский, А.С. Тарасов и др. – М.: ЦАГИ, 1980. – 171 с.
6. Экспериментальные исследования влияния конструктивных и технологических факторов на выносливость типовых элементов авиационных конструкций / Б.И. Олькин, Н.И. Гильванова, Т.С. Родченко и др. // Труды ЦАГИ. – 1980. – 86 с.
7. Гребеников В.А. Технология сборки соединений съемных панелей крыла / В.А. Гребеников // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 38. – Х., 2008. – С. 105 – 112.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. П.А. Фомичев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков.

Поступила в редакцию 20.12.10.

**Конструктивно-технологічний метод підвищення
втомної довговічності дорнуванням, сумісним
локальним і бар'єрним обтисненням конструктивних
елементів роз'ємних болтових з'єднань планера літака**

Розроблено конструктивно-технологічний метод підвищення втомної довговічності та ресурсу роз'ємних болтових з'єднань елементів планера літака шляхом застосування дорнування стінок циліндричних отворів, а також локального та бар'єрного обтиснення конструктивних елементів в зоні циліндроконічних отворів.

Ключові слова: втомна довговічність, роз'ємне болтове з'єднання, циліндричний отвір, циліндроконічний отвір, дорнування, бар'єрне обтиснення.

**Design-engineering method to increase fatigue life by burnishing,
combined local and barrier compression of detachable bolted joint
structural members of aircraft airframe**

Design-engineering method has been developed to increase fatigue life and working life of airframe detachable bolted joint structural members by burnishing walls of parallel holes as well as local and barrier compression of structural members in the zone of cylinder-conic holes.

Keywords: fatigue life, detachable bolted joint, cylindrical boring, cylinder-conic hole, burnishing, barrier compression.