

Исследование влияния барьерного обжатия и антифреттинговых покрытий на усталостную долговечность соединения двух полос с отверстиями, заполненными болтами с осевыми и радиальным натягами

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
Харьковское государственное авиационное предприятие*

Представлены результаты экспериментальных исследований усталостной долговечности двух полос с отверстиями, заполненными болтами с осевым и радиальными натягами. Установлено, что применение антифреттинговых покрытий в полостях кругового барьерного обжатия в зонах крепежных соединений и использование специальных шайб, с полимерными заполнителями повышает в 2.9-3.2 раза усталостную долговечность образцов двух полос из алюминиевого сплава Д16АТ с отверстиями, заполненными болтами с осевым и радиальным натягами при эксплуатационных нагрузках, по сравнению с усталостной долговечностью соединений двух полос с отверстиями, заполненными болтами с осевым и радиальным натягами, без применения барьерного обжатия и антифреттинговых покрытий в сопрягаемых поверхностях в зоне крепежного элемента.

Ключевые слова: антифреттинговое покрытие, усталостная долговечность, полимерный наполнитель, герметик, фреттинг-коррозия, полоса, контактное давление, круговое барьерное обжатие, крепежный элемент, болт, специальная шайба.

Известно [1-5,7], что 85% усталостных разрушений конструкции элементов планера самолёта происходит в зонах их соединения ее элементов как разъёмных, так и неразъёмных. Установлено, что усталостное разрушение элементов соединения при применении методов повышающих их долговечность, возникает в зонах интенсивного развития фреттинг-коррозии между контактирующими деталями соединения. Фреттинг-коррозия ограничивает дальнейшее повышение долговечности конструктивных элементов, не давая возможности в полной мере реализовать положительное влияние методов, повышающих усталостную долговечность соединений.

Поэтому разработка и исследование методов повышения усталостной долговечности соединений с применением антифреттинговых покрытий совместно с барьерным обжатием для контактирующих поверхностей сопрягаемых деталей соединений и крепежного элемента, снижающих вредное воздействие фреттинг-коррозии на усталостную долговечность конструктивных элементов, является актуальной задачей и целью данной статьи.

Для исследования усталостной долговечности образцов двух полос с отверстиями заполненными болтами 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 для соединения с натягом, стандартные шайбы 1,5 -8-16-ц ОСТ1 34507-80, применены специальные шайбы с выборкой глубиной 0.35мм и канавкой от R 4мм до R7мм (рис. 1) [6], гайки 8-ц-ОСТ1 33055-80, полосы с отверстиями Ø 8Н7, обработанные барьерным обжатием и необработанные из алюминиевого сплава Д16АТл5, и антифреттинговые покрытия, полимерный наполнитель ВЗ-27м и герметик У-30МЭС-5м. Форма и размеры образцов для проведения усталостных испытаний разработаны в соответствии с ГОСТ 25.502-79 «Расчеты и испытания на

прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов: Методы испытания на усталость». Геометрические размеры полос с отверстиями (заготовки) показаны на рис. 2, а трехмерная модель образца, не нагруженного на срез продольного болтового соединения двух полос, изображена на рис. 3.

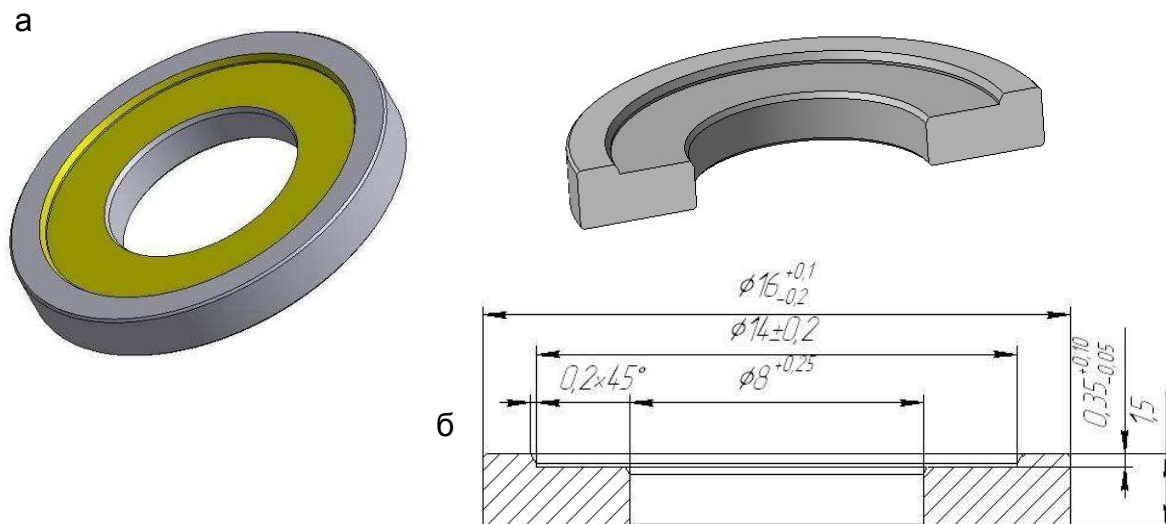


Рис. 1. Специальные шайбы: а - трехмерная модель специальной шайбы; б - геометрические размеры специальной шайбы

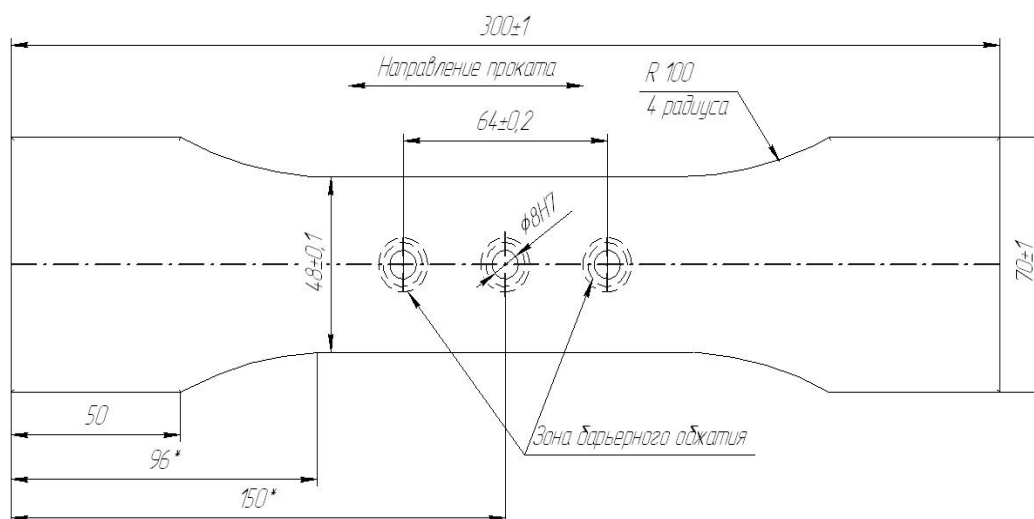


Рис. 2. Геометрические размеры заготовки для изготовления образцов

Полосы (заготовки) изготовлены из листа Д16АТ л.5 путем фрезерования по контуру на вертикально-фрезерном станке в Проблемной научно-исследовательской лаборатории ресурса авиационных конструкций кафедры проектирования самолетов и вертолетов Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». После изготовления полос на них было нанесено анодно-окисное покрытие Ан. Окс. Нхр. по серийной технологии авиационного предприятия. Одна из партий образцов была обработана круговым барьерным обжатием в зоне соединения крепежных элементов и соединения плоскостей.

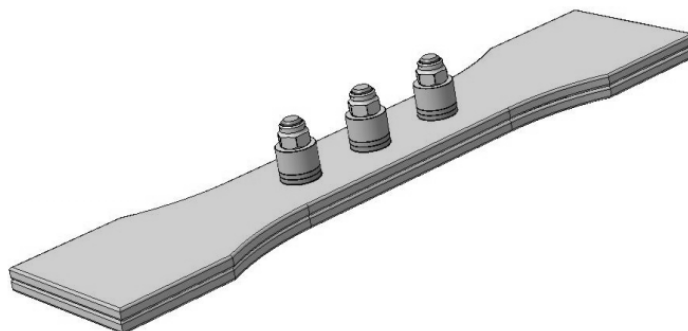


Рис. 3. Трехмерная модель образца модели, не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевым и радиальным натягами, для проведения усталостных испытаний

Для обработки образцов полос с отверстиями круговым барьерным обжатием были спроектированы и изготовлены обжимки [6], показанные на рис. 4,5 и 6. Барьерное обжатие выполнялось на глубину 0.35 мм, шириной 1.7 мм, на R 7.5 по границе контакта шайбы и головки болта глубиной 0.35 мм, шириной 1.7мм, на R 5.5, кроме того, проведено обнижение плоскости в зоне соединения крепежного элемента между полосами глубиной 0.15...0.35 мм, шириной от R 4 до R 7.5. Круговое барьерное обжатие выполняли на установке ZD 10/90 (рис. 7). Усилие, создаваемое установкой, для совместного обжатия составляло 80 000 ...100 000 Н. Перемещение обжимок – в пределах 0,7...0,9 мм, а глубина кругового барьерного обжатия находилась в пределах 0.3...0.35 мм и 0.1...0.15 мм, которая контролировалась на измерительном приспособлении с часовым индикатором (рис. 8).



Рис. 4. Обжимки для кругового барьерного обжатия

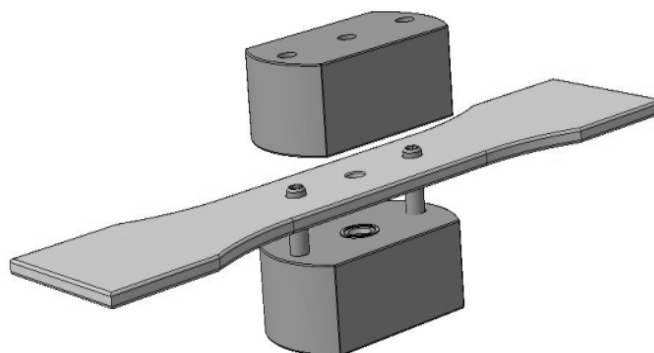


Рис. 5. Трехмерная модель образца и обжимок

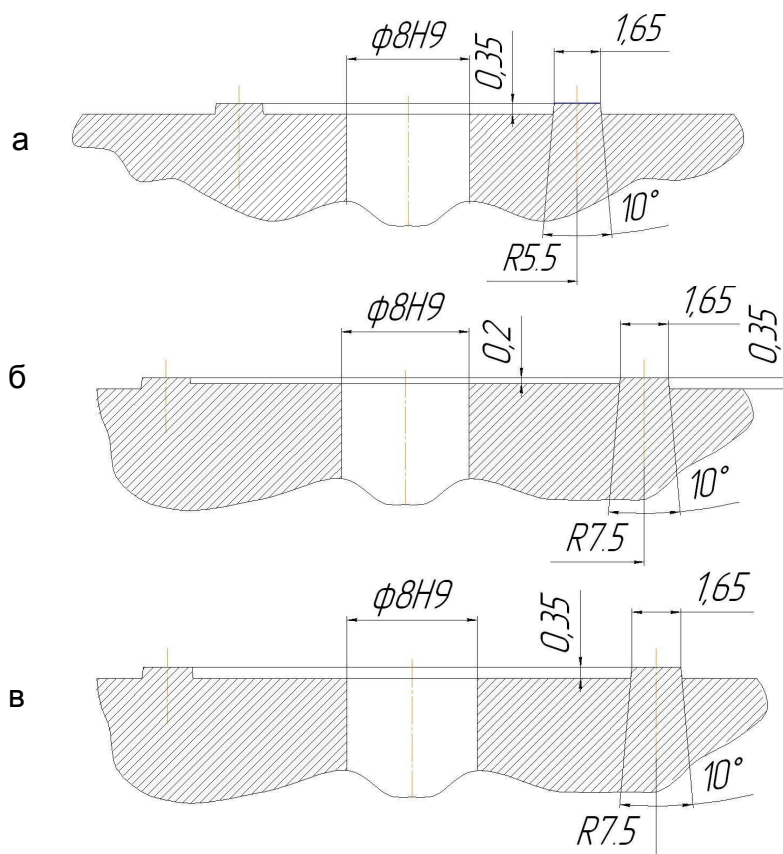


Рис. 6. Геометрические размеры буртиков круговых барьерных обжимок:
 а – для кругового барьерного обжатия полосы в зоне контакта головки болта;
 б – для кругового барьерного обжатия полос в зоне соединения плоскостей;
 в – для кругового барьерного обжатия полосы в зоне контакта специальной шайбы



Рис. 7. Установка полосы для выполнения кругового барьерного обжатия на испытательной машине ZD 10/90

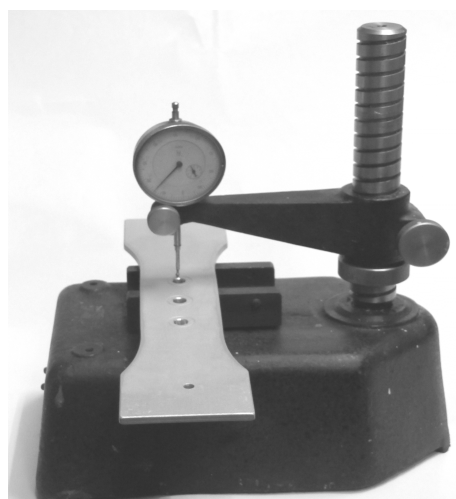


Рис. 8. Контрольно-измерительное приспособление для измерений глубины обжатия

Для устранения металлического контакта в зонах болтовых соединений нанесены полимерный наполнитель, герметик У-30МЭС-5м на две партии полос и специальные шайбы, покрытые ВЗ-27м, (рис. 9). Операции нанесения антифреттинговых покрытий выполнены по технологии авиационного завода.

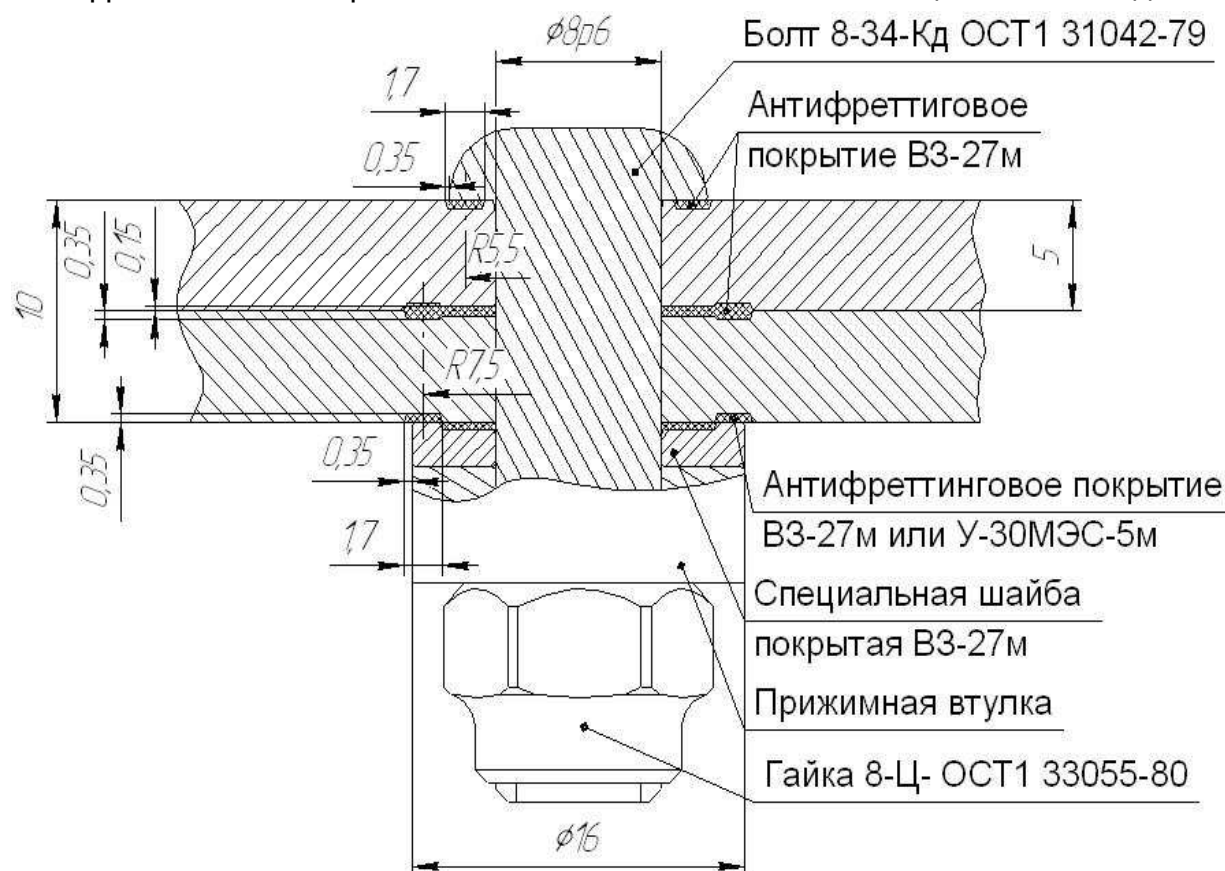


Рис. 9. Схема нанесения антифреттингового покрытия в полости барьерного кругового обжатия в зоне соединения полос и крепежного элемента

Сборка моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевым и радиальным натягами для проведения усталостных испытаний выполнялась согласно инструкции РТМ 1.4.1941-89 «Сборка болтовых соединений». Болты 8-34-Кд ОСТ 1 31042-79 вставляли в отверстие в полосах и выполняли втягивание болтов до момента отрыва хвостовика, что обеспечивает гарантированный радиальный натяг ($\Delta=1\%$) болта. После установки шайб и втулок выполняли затяжку болта моментным шкальным ключом КМШ-140, который соответствовал требованиям ГОСТ Р 51254. Момент затяжки болта составлял $M_{зам} = 22$ Н·м.

Усталостные испытания образцов проведены на гидравлической установке для усталостных и статических испытаний ЦДМ-10пу (рис. 10) при отнулевом растягивающем цикле нагружения с частотой $f=11$ Гц.

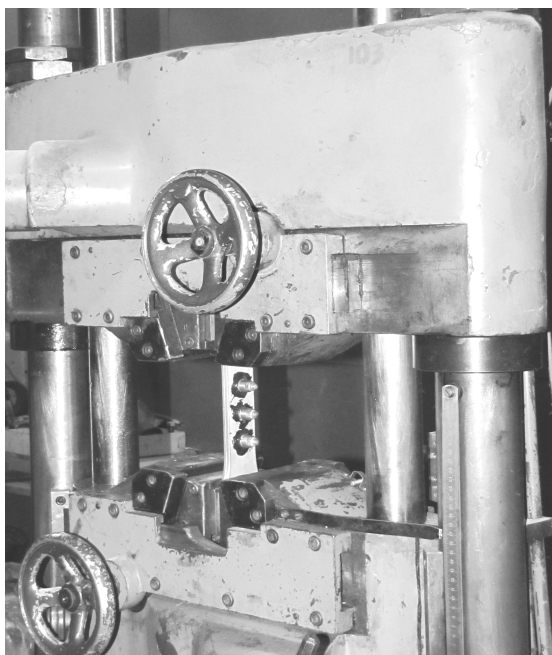


Рис. 10. Образец продольного не нагруженного на срез болтового соединения с осевыми и радиальными натягами, установленный в испытательную машину ЦДМ-10пу

Проведены экспериментальные исследования на усталостную долговечность трех типов моделей образцов на каждый уровень нагружения в количестве семи штук:

№ 1 — с отверстиями, заполненными болтами 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 и прижатыми стандартными шайбами 1,5 -8-16-ц ОСТ 1 34507-80 без обработки круговым барьерным обжатием и антифреттинговых покрытий ($M_{кр} = 22 \text{ Н}\cdot\text{м}$);

№ 2 — с отверстиями, заполненными болтами 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 и прижатыми специальными шайбами 1,5 -8-16-ц, покрытыми ВЗ-27м, с обработкой круговым барьерным обжатием по границам контакта крепежного элемента и в зоне контакта плоскостей полос и с заполненными лунками ВЗ-27м ($M_{кр} = 22 \text{ Н}\cdot\text{м}$);

№ 3 — с отверстиями, заполненными болтами 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 и прижатыми специальными шайбами 1,5 -8-16-ц, покрытыми ВЗ-27м, с обработкой круговым барьерным обжатием по границам контакта головок болта, шайб и в зоне контакта плоскостей полос с заполненными лунками ВЗ-27м и герметиком У-30МЭС-5М в зоне контакта шайб ($M_{кр} = 22 \text{ Н}\cdot\text{м}$).

Исследования проведены при двух уровнях циклических напряжений: $\sigma_{бр \text{ min}} = 0$, $\sigma_{бр \text{ max}} = 130 \text{ мПа}$ и $\sigma_{бр \text{ min}} = 0$, $\sigma_{бр \text{ max}} = 150 \text{ мПа}$.

Усталостное разрушение образцов партии №1 на уровне напряжений $\sigma_{бр \text{ min}} = 0 \text{ мПа}$, $\sigma_{бр \text{ max}} = 130 \text{ мПа}$ происходило от фреттинг-коррозии, возникающей на границе контакта (рис. 11) прижатых к поверхности образца шайб, а также наблюдалось схватывание контактирующих плоскостей полос, особенно в зоне крепежного элемента с последующим интенсивным фреттинг-изнашиванием

(рис. 12). Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения представлены в табл. 1

Таблица 1

Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевыми и радиальными натягами без кругового барьерного обжатия и антифреттинговых покрытий на уровне нагружения $\sigma_{\bar{b}p \min} = 0$ МПа, $\sigma_{\bar{b}p \max} = 130$ МПа

| Номер образца | $F_{\bar{b}p}$, мм ² | $\sigma_{\bar{b}p}$, МПа | | $P_{\bar{b}p}$, кг | | Количество циклов нагружения до разрушения N |
|------------------|----------------------------------|---------------------------|-----|---------------------|------|--|
| | | min | max | min | max | |
| 1.0.1 | 477.5 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 314 200 |
| 1.0.2 | 479 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 348 800 |
| 1.0.3 | 480 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 384 600 |
| 1.0.4 | 478 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 287 700 |
| 1.0.5 | 479 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 359 600 |
| 1.0.6 | 476 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 350 600 |
| 1.0.7 | 480 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 395 700 |
| Среднее значение | | | | | | 348 800 |



Рис.11. Зона и характер усталостного разрушения модели не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевыми и радиальными натягами при экспериментальных исследованиях в условиях фреттинг-коррозии в зоне контакта головок болтов 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 и прижатými шайбами 1,5 -8-16-ц ОСТ 1 34507-80 при уровне напряжений $\sigma_{\bar{b}p \max} = 130$ МПа (образец 1.0.5)

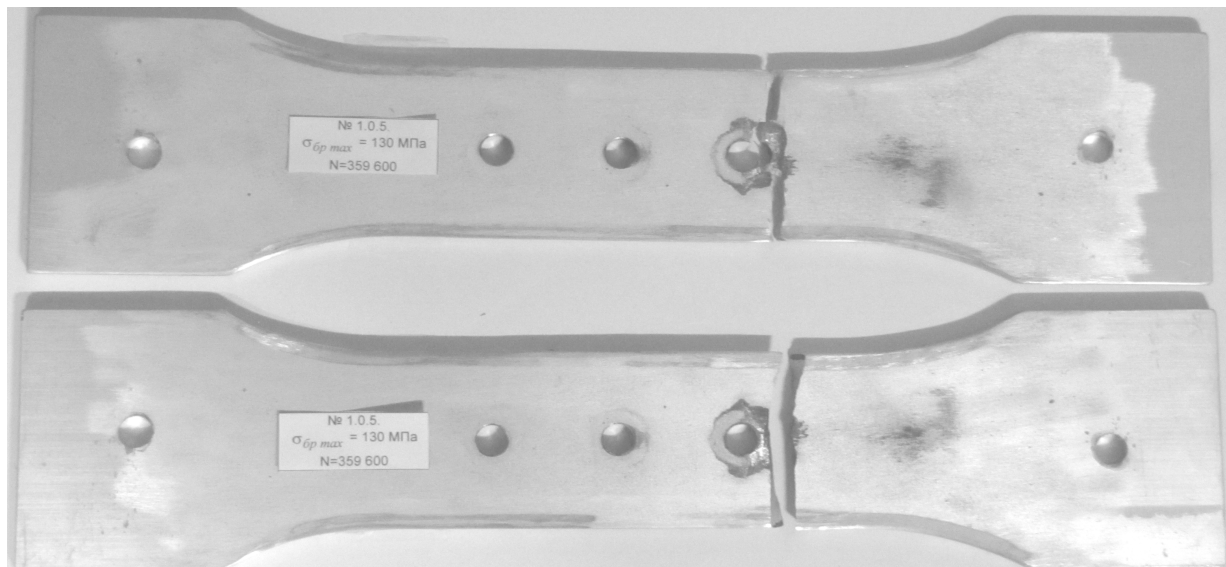


Рис. 12. Характер усталостного разрушения и повреждения модели не нагруженного на срез продольного болтового соединения при экспериментальных исследованиях в условиях фреттинг-коррозии в зоне соединения плоскостей полос при уровне напряжений $\sigma_{бр max} = 130$ мПа (образец 1.0.5)

Усталостное разрушение образцов партии №1 на уровне напряжений $\sigma_{бр min} = 0$ мПа, $\sigma_{бр max} = 150$ мПа происходило от фреттинг-коррозии, возникающей на границе контакта шайб, прижатых к поверхности образцов (1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, 1.1.6, 1.1.7) (рис. 13, 14).

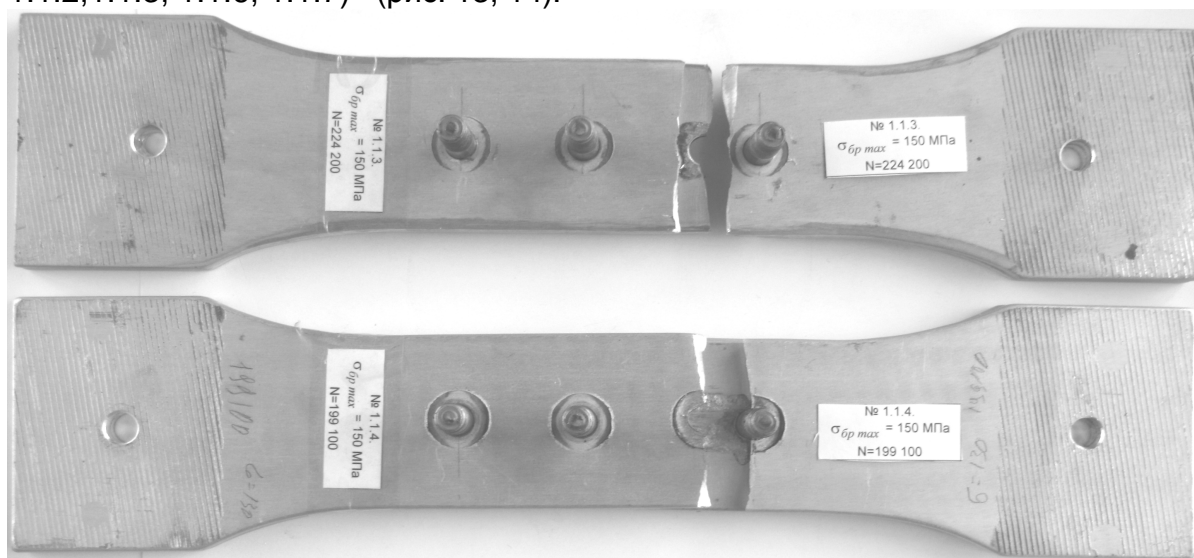


Рис. 13. Характер усталостного разрушения моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевыми и радиальными натягами при экспериментальных исследованиях в условиях фреттинг-коррозии с прижатыми шайбами 1,5 -8-16-ц ОСТ 1 34507-80 при уровне напряжений

$\sigma_{бр max} = 150$ мПа (образцы 1.1.3, 1.1.4)

Разрушение образцов 1.1.4, 1.1.5 происходило от фреттинг-коррозии в зоне крепежного элемента контактирующих плоскостей полос (рис.13). Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевыми и радиальными натягами без кругового барьерного обжатия и антифреттинговых покрытий на уровне нагружения $\sigma_{\bar{b}p \min} = 0$ МПа, $\sigma_{\bar{b}p \max} = 150$ МПа

| Номер образца | $F_{\bar{b}p}$, мм ² | $\sigma_{\bar{b}p}$, МПа | | $P_{\bar{b}p}$, кг | | Количество циклов нагружения до разрушения N |
|------------------|----------------------------------|---------------------------|-----|---------------------|------|--|
| | | min | max | min | max | |
| 1.1.1 | 477.5 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 148 700 |
| 1.1.2 | 479 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 154 100 |
| 1.1.3 | 480 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 224 200 |
| 1.1.4 | 478 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 199 100 |
| 1.1.5 | 479 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 186 300 |
| 1.1.6 | 476 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 183 500 |
| 1.1.7 | 480 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 156 900 |
| Среднее значение | | | | | | 179 000 |



Рис. 14. Характер излома образца после усталостного, разрушения в условиях фреттинг-коррозии (образец 1.1.3)

Ни один из образцов партии №2 на уровне нагружения $\sigma_{\bar{b}p \min} = 0$ МПа, $\sigma_{\bar{b}p \max} = 130$ МПа при достижении $N = 1\,000\,000$ циклов нагружения не разрушился. Образцы были сняты с испытаний. Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения представлены в табл. 3.

Для определения зон и характера усталостного разрушения испытания части образцов были продолжены на более высоком уровне нагружения: $\sigma_{\bar{b}p \min} = 0$ МПа, $\sigma_{\bar{b}p \max} = 150$ МПа.

При таком цикле образцы дополнительно простояли на более высоком уровне нагружения:

- образец 2.0.1 – 95 800 циклов нагружения;
- образец 2.0.2 – 80 200 циклов нагружения.

Усталостное разрушение образцов (рис.15) происходило по радиусному переходу первой полосы в зоне геометрической концентрации напряжений и распространялось примерно перпендикулярно к направлению действия главного растягивающего напряжения, разрушение второй полосы возникало в сечении примерно по оси отверстия, заполненного болтом.

Следовательно, фреттинг- коррозия в данном виде соединения не возникает.

Таблица 3

Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевыми и радиальными натягами, круговым барьерным обжатием и антифреттинговым покрытием ВЗ-27м

| Номер образца | $F_{\bar{b}p}$, мм ² | $\sigma_{\bar{b}p}$, МПа | | $P_{\bar{b}p}$, кг | | Количество циклов нагружения до разрушения N |
|--|----------------------------------|---------------------------|-----|---------------------|------|--|
| | | min | max | min | max | |
| 2.0.1 | 477.5 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1000000↑ |
| Дополнительное нагружение | | | 150 | 0 | 7200 | 95 800 |
| 2.0.2 | 479 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| Дополнительное нагружение | | 0 | 150 | 0 | 7200 | 80 200 |
| 2.0.3 | 480 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| 2.0.4 | 478 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| 2.0.5 | 479 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| 2.0.6 | 476 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| 2.0.7 | 480 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| Среднее значение при $\sigma_{\bar{b}p \min} = 0$ МПа, $\sigma_{\bar{b}p \max} = 130$ МПа. | | | | | | 1 000 000↑ |

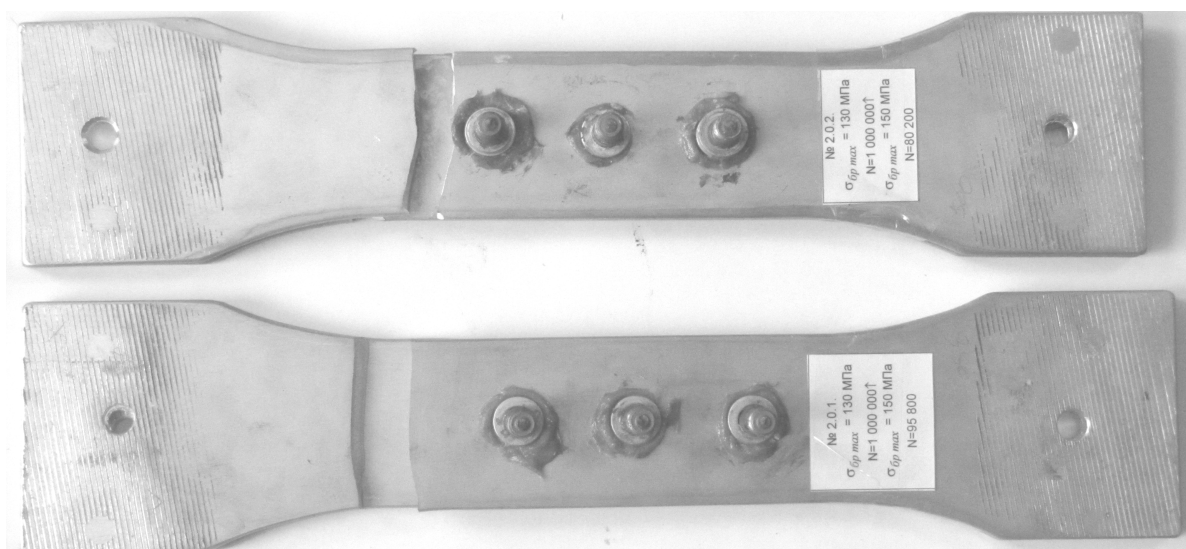


Рис. 15. Усталостные разрушения моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевыми и радиальными натягами с круговым барьерным обжатием, заполненным ВЗ-27м, с прижатыми специальными шайбами после усталостного разрушения в условиях циклических растягивающих нагрузок (образцы 2.0.1, 2.0.2)

Усталостное разрушение образцов партии №2 на уровне напряжений $\sigma_{бр\ min} = 0$ МПа, $\sigma_{бр\ max} = 150$ МПа возникало в зоне геометрической концентрации напряжений (рис.18) по радиусному переходу (рис. 16, 17), усталостная трещина распространяется примерно перпендикулярно к направлению действия главного растягивающего напряжения. Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения представлены в табл.4

Таблица 4

Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевым и радиальными натягами с круговым барьерным обжатием и антифреттинговым покрытием ВЗ-27м 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 | |
| 2.1.1 | 477.5 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 490 800 |
| 2.1.2 | 479 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 556 700 |
| 2.1.3 | 480 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 525 900 |
| 2.1.4 | 478 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 582 900 |
| 2.1.5 | 479 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 575 700 |
| 2.1.6 | 476 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 579 800 |
| 2.1.7 | 480 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 560 600 |
| Среднее значение | | | | | | 553 200 |

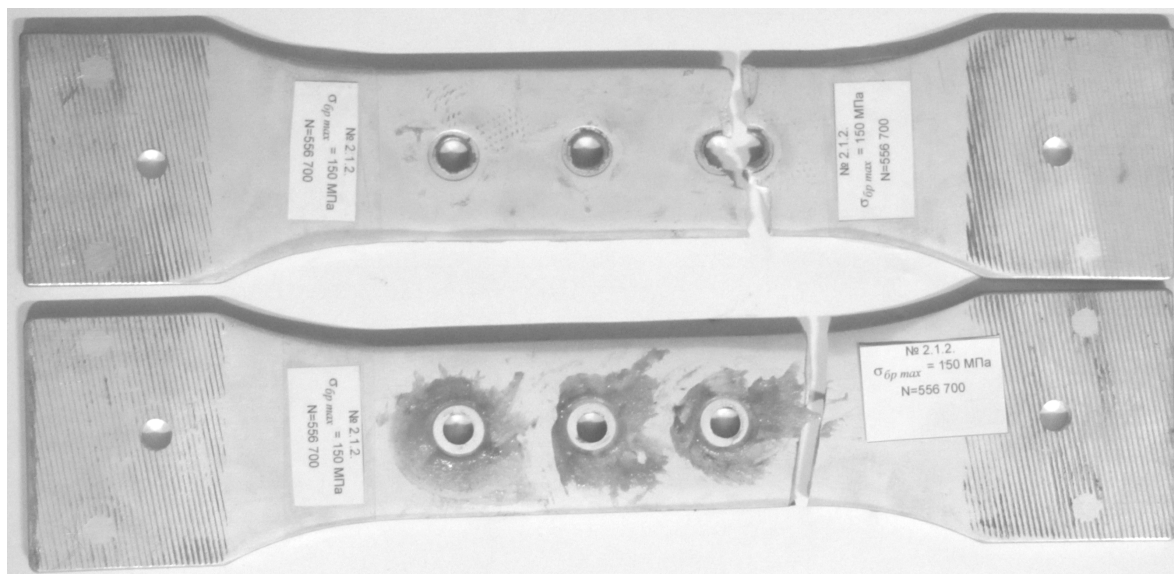


Рис. 16. Зона и характер усталостного разрушения моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевыми и радиальными натягами с круговым барьерным обжатием, заполненных ВЗ-27м в зоне контакта головок болтов 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 , и в зоне прижатия специальными шайбами после усталостного разрушения в условиях циклических растягивающих нагрузок при уровне напряжений

$$\sigma_{бр max} = 150 \text{ мПа (образец 2.1.2)}$$

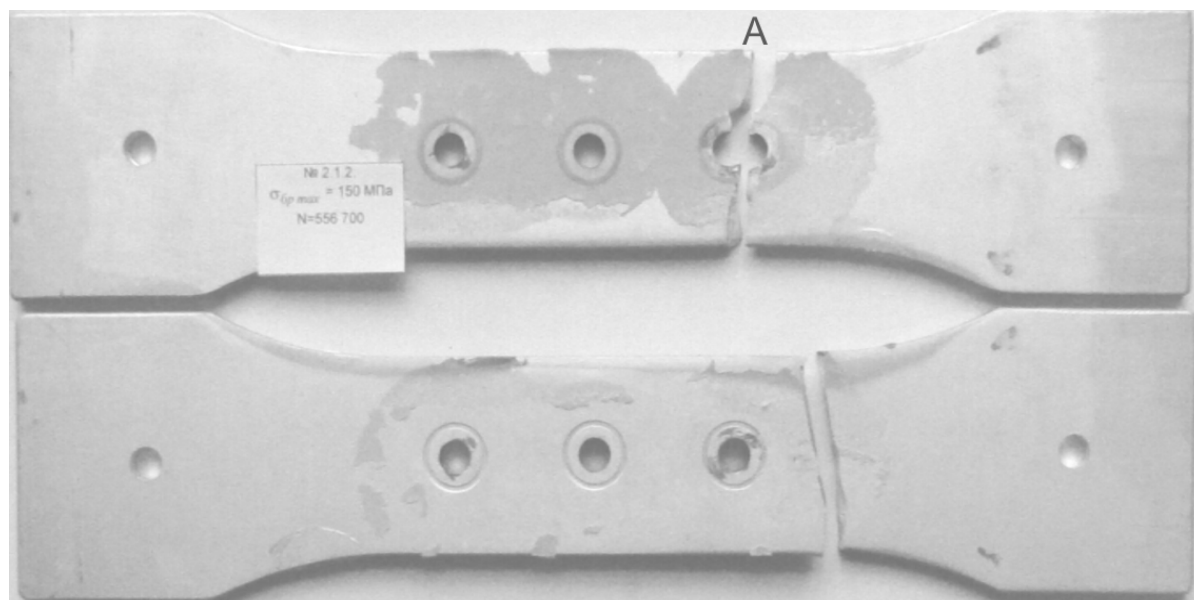


Рис. 17. Характер усталостного разрушения модели не нагруженного на срез продольного болтового соединения в зоне соединения плоскостей полос с круговым барьерным обжатием, заполненных ВЗ-27м после усталостного разрушения в условиях циклических растягивающих нагрузок при уровне напряжений

$$\sigma_{бр max} = 150 \text{ мПа (образец 2.1.2)}$$



Рис. 18. Характер излома полосы с круговым барьерным обжатием, покрытой полимерным наполнителем после усталостного разрушения (образец 2.1.2)

Образцы партии №3 на уровне нагружения $\sigma_{бр\ min} = 0$ МПа, $\sigma_{бр\ max} = 130$ МПа при достижении $N = 1\ 000\ 000$ циклов нагружения не разрушились и были сняты с испытаний. Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения представлены в табл.5.

Для определения зон и характера усталостного разрушения испытания части образцов были продолжены на более высоком уровне нагружения: $\sigma_{бр\ min} = 0$ МПа, $\sigma_{бр\ max} = 150$ МПа.

При таком цикле образцы дополнительно простояли на более высоком уровне нагружения:

- образец 3.0.1 – 75 300 циклов нагружения;
- образец 3.0.7 – 87 300 циклов нагружения.

Усталостное разрушение образца 3.0.7 (рис. 19) происходило по радиусному переходу в зоне геометрической концентрации напряжений и распространялось

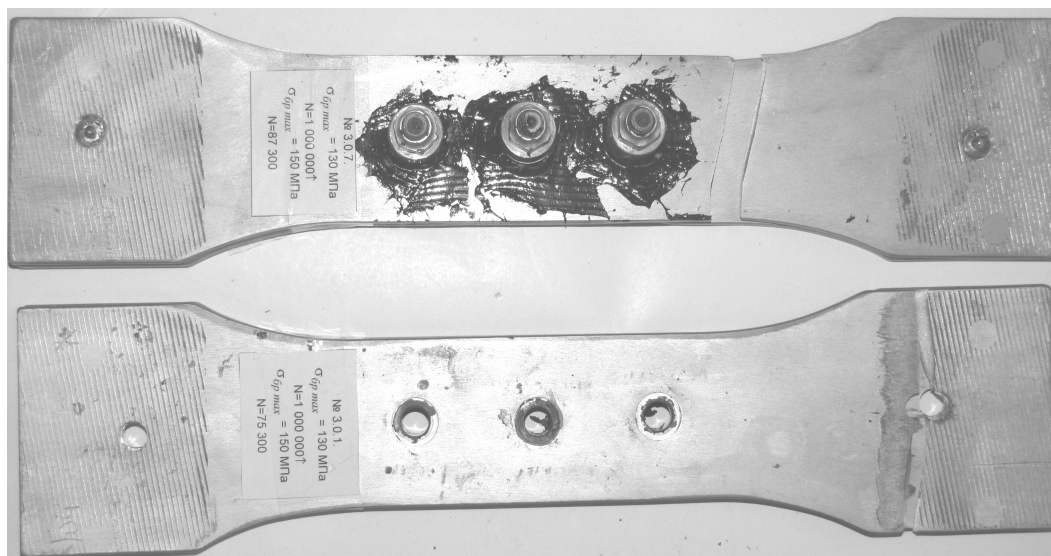


Рис. 19. Зона и характер усталостного разрушения моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевыми и радиальными натягами с круговым барьерным обжатием: заполненных ВЗ-27м в зоне контакта головок болтов 8-34-Кд ОСТ1 31042-79; в зоне прижатия специальными шайбами лунки – герметиком УЗ0МЭС-5м после усталостного разрушения в условиях циклических

растягивающих нагрузок при уровне напряжений $\sigma_{бр\ max} = 130$ МПа

(образцы 3.0.1, 3.0.7)

примерно перпендикулярно к направлению действия главного растягивающего напряжения; разрушение образца 3.0.1 возникло в зоне контакта захватов и распространялось к оси отверстия заполненного болтом. Следовательно, фреттинг-коррозия в данном виде соединения не возникает.

Таблица 5

Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевым и радиальными натягами с круговым барьерным обжатием и антифреттинговым покрытием ВЗ-27м и УЗ0МЭС-5м

| Номер образца | $F_{\sigma_{br}}$, мм ² | $\sigma_{\sigma_{br}}$, МПа | | $P_{\sigma_{br}}$, кг | | Количество циклов нагружения до разрушения N |
|---|-------------------------------------|------------------------------|-----|------------------------|------|--|
| | | min | max | min | max | |
| 3.0.1 | 477.5 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1000000↑ |
| Дополнительное нагружение | | 0 | 150 | 0 | 7200 | 75 300 |
| 3.0.2 | 479 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| 3.0.3 | 480 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| 3.0.4 | 478 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| 3.0.5 | 479 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| 3.0.6 | 476 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| 3.0.7 | 480 | 0 | 130 | 0 | 6240 | 1 000 000↑ |
| Дополнительное нагружение | | 0 | 150 | 0 | 7200 | 87 300 |
| Среднее значение при $\sigma_{\sigma_{br} \min} = 0$ МПа, $\sigma_{\sigma_{br} \max} = 130$ МПа | | | | | | 1 000 000↑ |

Усталостное разрушение образцов партии №3 на уровне напряжений $\sigma_{\sigma_{br} \min} = 0$ МПа, $\sigma_{\sigma_{br} \max} = 150$ МПа возникало в зоне геометрической концентрации напряжений (рис. 20) и по радиусному переходу (рис. 21), усталостная трещина распространялась примерно перпендикулярно к направлению действия главного растягивающего напряжения. Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты усталостных испытаний моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевым и радиальными натягами с круговым барьерным обжатием и антифреттинговым покрытием ВЗ-27м и УЗОМЭС-5м 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 | |
| 3.1.1 | 477.5 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 537 700 |
| 3.1.2 | 479 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 485 900 |
| 3.1.3 | 480 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 540 800 |
| 3.1.4 | 478 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 560 400 |
| 3.1.5 | 479 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 581 300 |
| 3.1.6 | 476 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 600 800 |
| 3.1.7 | 480 | 0 | 150 | 0 | 7200 | 589 400 |
| Среднее значение | | | | | | 556 700 |



Рис. 20. Зона и характер усталостного разрушения моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения с осевыми и радиальными натягами с круговым барьерным обжатием, заполненных ВЗ-27м в зоне контакта головок болтов 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 в плоскости контакта, в зоне прижатия специальными шайбами лунки – герметиком УЗОМЭС-5м после усталостного разрушения в условиях циклических растягивающих нагрузок при уровне напряжений $\sigma_{бр\ max} = 150$ мПа (образец 3.1.5)



Рис. 21. Характер усталостного разрушения моделей не нагруженного на срез продольного болтового соединения в зоне соединения плоскостей полос с круговым барьерным обжатием, заполненных ВЗ-27м и в зоне прижатия специальными шайбами лунки – герметиком УЗОМЭС-5м после усталостного разрушения в условиях циклических растягивающих нагрузок при уровне напряжений $\sigma_{бр max} = 150$ МПа (образец 3.1.5)

Выводы

В результате проведения экспериментальных исследований при отнулевом цикле растяжения частотой $f=11$ Гц на двух уровнях циклических напряжений $\sigma_{бр max} = 130$ МПа и $\sigma_{бр max} = 150$ МПа образцов моделей соединения двух полос не нагруженных на срез болтовых соединений установлено следующее:

1. Усталостная долговечность не нагруженного на срез болтового соединения двух полос с применением барьерного обжатия и антифреттинговых покрытий, а также специальных шайб с полимерным наполнителем повышает в 2.9-3.2 раза усталостную долговечность соединений двух полос с отверстиями, заполненных болтами с осевым и радиальным натягами, без использования барьерного обжатия и антифреттинговых покрытий.

2. В зонах контакта шайб, головки болта и плоскостей полос партий образцов №4 и 3 активная фреттинг-коррозия не наблюдается благодаря методам повышения усталостной долговечности и контактной схеме «металл – наполнитель – металл», так как металлические элементы не контактируют.

Результаты усталостных испытаний, показаны в виде номограммы на рис. 22.

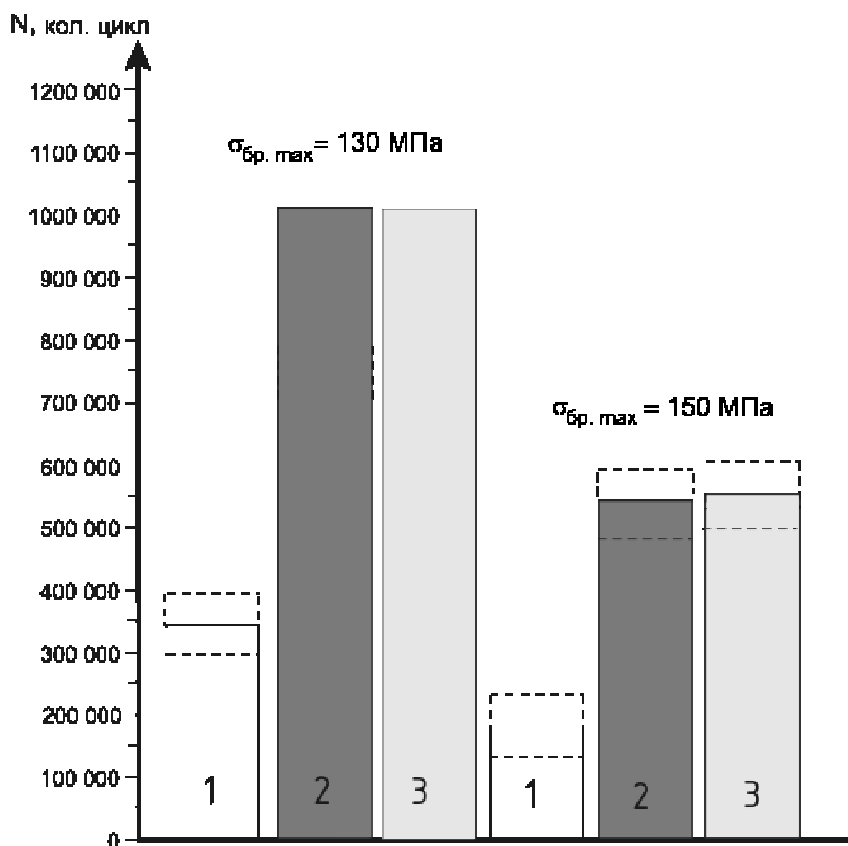


Рис. 22. Усталостная долговечность не нагруженного на срез болтового соединения двух полос из алюминиевого сплава Д16АТ л.5 с цилиндрическими отверстиями $\varnothing 8H7$ в условиях совместного действия циклических растягивающих нагрузок и фреттинг-коррозии:

- 1 — долговечность не нагруженного на срез болтового соединения двух полос с отверстиями, заполненными болтами 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 и прижатыми стандартными шайбами 1,5 -8-16-ц ОСТ 1 34507-80 без обработки круговым барьерным обжатием и антифреттинговых покрытий ($M_{кр} = 22 \text{ Н}\cdot\text{м}$);
- 2 — долговечность не нагруженного на срез болтового соединения двух полос с отверстиями, заполненными болтами 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 и прижатыми специальными шайбами 1,5 -8-16-ц, покрытыми ВЗ-27м, с обработкой круговым барьерным обжатием по границам контакта крепежного элемента, в зоне контакта плоскостей полос и с заполненными лунками ВЗ-27м ($M_{кр} = 22 \text{ Н}\cdot\text{м}$);
- 3 — долговечность не нагруженного на срез болтового соединения двух полос с отверстиями, заполненными болтами 8-34-Кд ОСТ1 31042-79 и прижатыми специальными шайбами 1,5 -8-16-ц, покрытыми ВЗ-27м, с обработкой круговым барьерным обжатием по границам контакта головок болта, шайб, в зоне контакта плоскостей полос с заполненными лунками ВЗ-27м и герметиком У-30МЭС-5М в зоне контакта шайб ($M_{кр} = 22 \text{ Н}\cdot\text{м}$)

Список литературы

1. Технология выполнения высокоресурсных соединений [Текст] / В.Ф. Пширков, Я.Н. Робаковский, А.С. Тарасов и др. – М.: ЦАГИ, 1980. – 171 с
2. Технология выполнения высокоресурсных заклепочных и болтовых соединений в конструкциях самолетов [Текст] / А.И. Ярковец, О.С. Сироткин, В.А. Фирсов, Н.М. Киселев. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
3. Методы определения влияния конструктивно-технологических параметров на выносливость элементов планера самолёта [Текст] / А.Г. Гребеников, С.В. Трубаев, В.А. Гребеников и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 10. – Х., 2001. – С. 19 – 54.
4. Соппротивление усталости элементов конструкций [Текст] / А.З. Воробьев, Б.И. Олькин, В.Н. Стебенев и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
5. Обеспечение ресурса высоконагруженных элементов конструкции планера самолета с функциональными отверстиями [Текст] / Г.А. Кривов, В.А. Матвиенко, Р.И. Гирш и др. // Технологические системы. – К.: УкрНИИАТ. – 2009. – Вып. 5 (49). – С. 94 – 100.
6. Мялица, А.К. Экспериментальное исследование влияния полимерных заполнителей, герметиков и барьерного обжатия на усталостную долговечность гладких полос в условиях фреттинг-коррозии [Текст] / А.К. Мялица, А.Г. Гребеников, И.П. Змиевской, // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 50. – Х., 2011. – С. 154 – 175.
7. Голего, Н.Л. Фреттинг-коррозия металлов [Текст] / Н.Л. Голего, А.Л. Алябьев, В.В. Шевель. – К.: Техніка, 1974. – 270 с.
8. Экспериментальное исследование влияния вакуумно-плазменного покрытия, нанесенного на шайбы, на усталостную долговечность конструктивных элементов в условиях фреттинг-коррозии [Текст] / А.Г. Гребеников, А.М. Гуменный, И.П. Змиевской и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 43. – Х., 2009. – С. 243 – 254.
9. Хейвуд, Р.Б. Проектирование с учетом усталости [Текст] / Р.Б. Хейвуд; пер. с англ; под ред. И.Ф. Образцова. – М.: Машиностроение, 1969. – 504 с
10. Нормы летной годности самолетов транспортной категории (АП-25). – М.: МАК, 1994. – 322 с.

Рецензент: кан-т техн. наук, доцент, начальник конструкторского отдела Е.Т. Василевский, Государственное предприятие «АНТОНОВ», г. Киев.

Поступила в редакцию 01.08.12

Дослідження впливу бар'єрного обтиснення і антифретінгових покриттів на втомну довговічність з'єднання двох смуг з отворами, заповненими болтами з осьовими і радіальним натягом

Представлені результати експериментальних досліджень втомної довговічності двох смуг з отворами, заповненими болтами з осьовим і радіальними натягами. Встановлено, що застосування антифретінгових покриттів в порожнинах кругового бар'єрного обтиснення в зонах кріпильних з'єднань і використання спеціальних шайб, з полімерними заповнювачами підвищує в 2.9-3.2 рази втомну довговічність зразків двох смуг з алюмінієвого сплаву Д16АТ з отворами, заповненими болтами з осьовим і радіальним натягом при експлуатаційних навантаженнях, у порівнянні з втомною довговічністю сполук двох смуг з отворами, заповненими болтами з осьовим і радіальним натягом, без застосування бар'єрного обтиснення і антифретінгових покриттів в сполучених поверхнях в зоні кріпильного елемента.

Ключові слова: антифретінгове покриття, втомна довговічність, полімерний заповнювач, герметик, фретинг-корозія, смуга, контактний тиск, круговий бар'єрне обтиснення, кріпильний елемент, болт, спеціальна шайба.

Investigation of the effect of barrier reduction antifrettingovyh and coatings on the fatigue life of the connection of the two strips with holes filled with bolts with axial and radial tightness

The results of experimental investigations of fatigue life two bands with holes filled with bolts with axial and radial tension. It is established that the use of antifrettingovyh coatings in the cavities of the circular barrier reduction in the areas of fasteners and the use of special washers, the polymer aggregates increases 2.9-3.2 times in the fatigue life of samples of the two strips of aluminum alloy D16AT with holes filled with bolts with axial and radial interference fit with operational loads, compared with the fatigue durability of compounds of two bands with holes filled with bolts with axial and radial preload, compression without the use of barrier coatings and antifrettingovyh mating surfaces in the area of the fastening element.

Keywords: antifrettingovoe coating fatigue life, the polymeric filler, sealant, fretting corrosion, the band, contact pressure, the circular barrier compression, fastener, bolt, special washer.