

Влияние барьерного обжатия на характеристики локального НДС полосы с отверстием при ее растяжении

Государственное предприятие «Антонов»

Рассмотрено решение задачи о растяжении полосы с отверстием с учетом предварительного пластического деформирования материала в зоне отверстия. Проанализировано влияние радиуса, на котором расположена обжимка, и уровня нагружения на характеристики локального НДС полосы с отверстием. Применение сегментного обжатия на глубину 0,3 мм способствует уменьшению максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в 1,5 – 2,2 раза в сечении по оси отверстия и в 1,4 – 1,7 раза в зоне обжатия по отношению к напряжениям для полосы с отверстием.

Ключевые слова: барьерное обжатие, метод конечных элементов, локальное напряженно-деформированное состояние, главные растягивающие напряжения эквивалентного отнулевого цикла, удельная энергия деформирования.

Результаты испытаний, подтверждающие эффективность применения барьерного обжатия как метода повышения усталостной долговечности силовых элементов планера самолета в зоне функциональных отверстий, приведены в работах Б. И. Олькина [1], В.П. Рычика [2], Е. А. Шахатуни [3] и др.

В данной работе приведено решение задачи о растяжении полосы с отверстием. В качестве метода повышения усталостной долговечности рассмотрено барьерное обжатие. Исследовано влияние положения сегментной обжимки на характеристики локального НДС полосы с отверстием.

Целью работы является разработка метода определения характеристик локального НДС полосы с отверстием при барьерном обжатии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ характеристик напряженно-деформированного состояния полосы с отверстием при барьерном обжатии;
- оценить влияние радиуса, на котором расположена обжимка, при обжатии и уровня нагружения на характеристики локального НДС.

Геометрические размеры полосы с отверстием показаны на рис. 1, обжимки – на рис. 2.

Толщина полосы – 5 мм. Материал полосы – алюминиевый сплав 1163.

При расчете рассматривали следующие значения радиуса: 6, 7 и 7,5 мм. Величина растягивающих напряжений в сечении брутто составляет 0, 50, 100, 130, 150 и 200 МПа.

С учетом геометрической симметрии модели и характера нагружения при моделировании рассмотрена 1/8 конструкции с заданием соответствующих условий симметрии. Обжимку моделировали как абсолютно жесткое тело.

Расчетная схема полосы с отверстием показана на рис. 3.

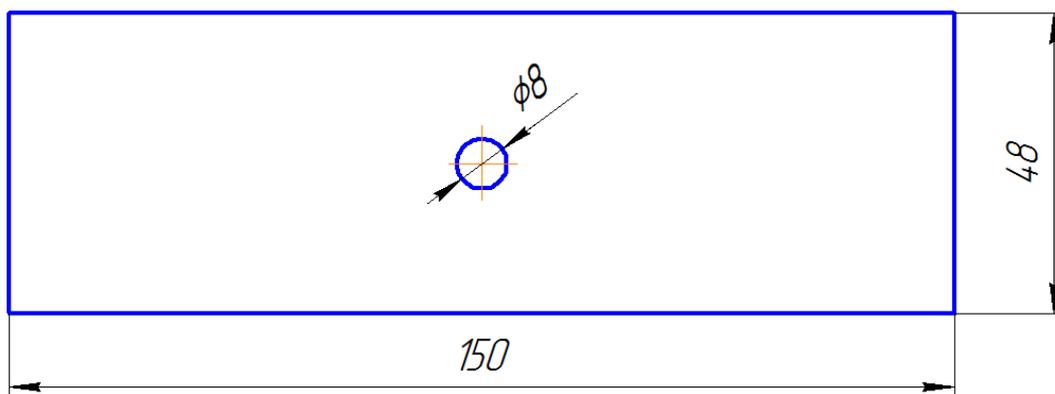


Рис. 1. Полоса с отверстием

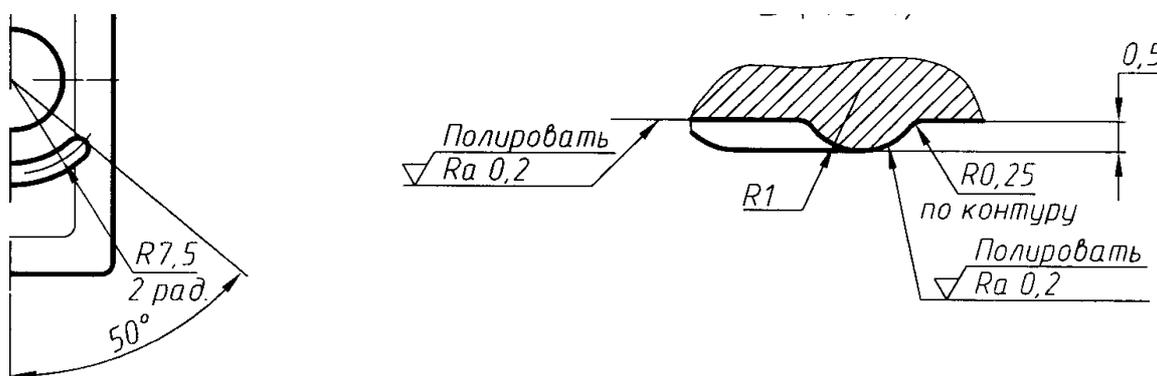


Рис. 2. Фрагмент чертежа обжимки для выштамповки сегментных лунок

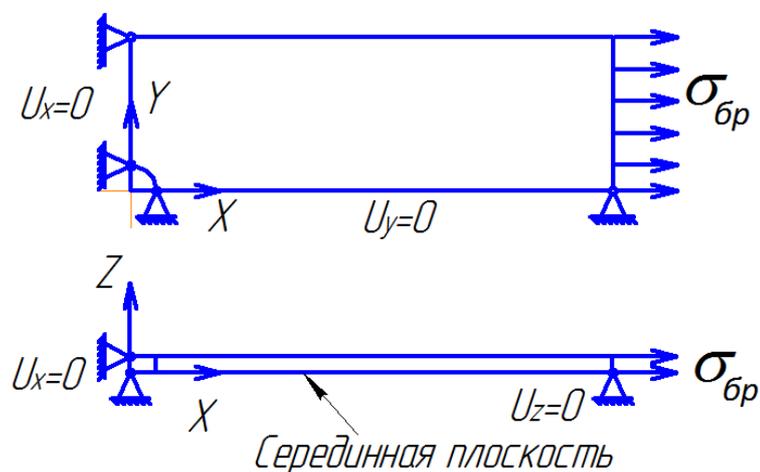


Рис. 3. Расчетная схема полосы с отверстием

В качестве параметров, характеризующих локальное НДС полосы с отверстием, рассмотрены следующие: максимальные главные растягивающие напряжения эквивалентного отнулевого цикла (σ_{1max0}), упругая составляющая максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла (ϵ_{1max0}) и удельная энергия деформирования (w_{1max0}).

Эти параметры определены численным методом с помощью метода конечных элементов, реализованного в системе ANSYS.

Для аппроксимации расчетной модели полосы выбраны 20-узловые элементы твердого деформируемого тела, обладающие тремя степенями свободы в каждом из узлов (линейные перемещения вдоль осей X, Y, Z) [4]. Контактное взаимодействие дорна со стенкой отверстия описано общей моделью контакта типа «поверхность–поверхность» с применением кулоновской модели трения [5]. Значение коэффициента трения скольжения для пары «сталь-алюминий» принято равным 0,6 [6].

Для описания поведения материала полосы применена модель, рассмотренная в работе [7].

Конечно-элементные модели полосы и обжимки показаны на рис. 4.

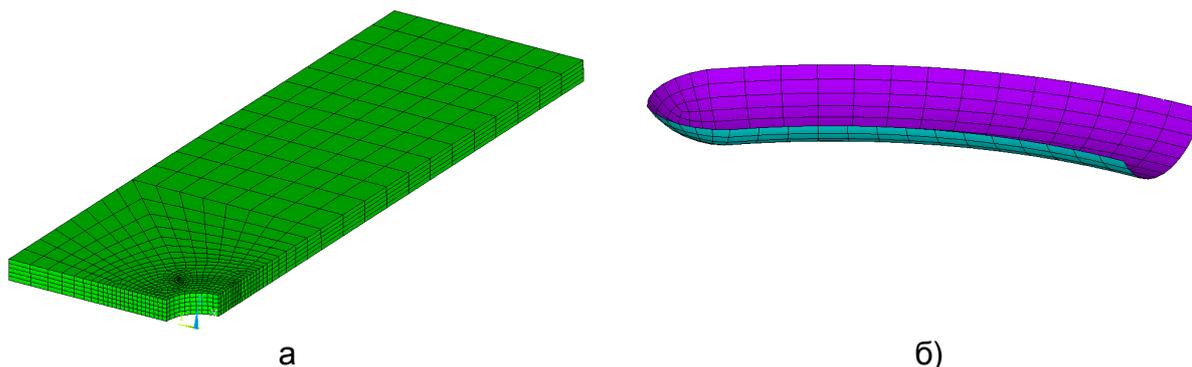


Рис. 4. Конечно-элементные модели:
а – полосы;
б – обжимки

Решена задача контактного взаимодействия полосы с отверстием и обжимки, в результате получен характер распределения осевых перемещений (рис. 5) и эквивалентных напряжений по Мизесу (рис. 6) в зоне обжатия .

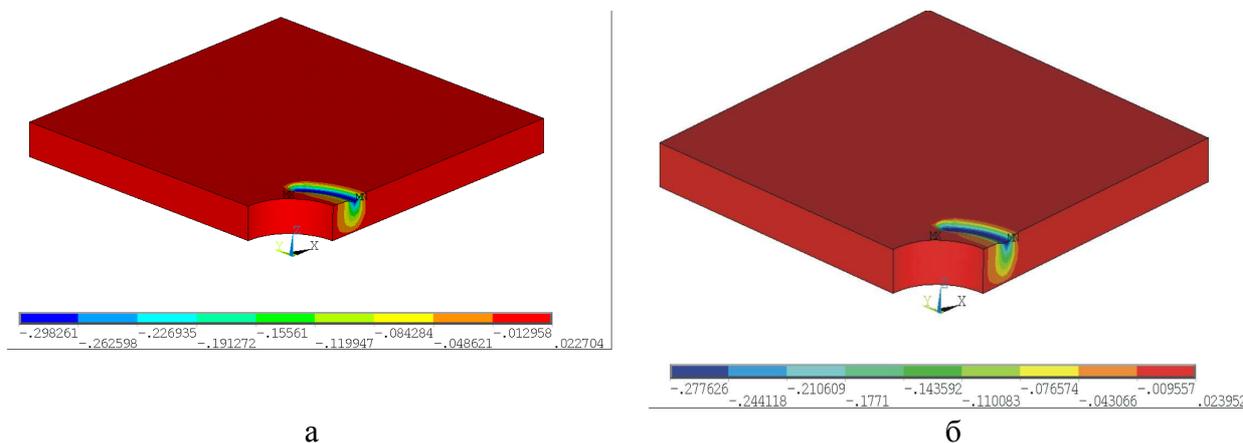


Рис. 5. Характер распределения осевых перемещений (U_z , мм) в полосе в зоне отверстия: а – после обжатия на глубину 0,3 мм; б – после отвода обжимки

Следует отметить, что после отвода обжимок в результате упругой разгрузки материала глубина лунки уменьшилась до 0,277 мм. При этом в материале полосы, расположенном в зоне отверстия, возникает область остаточных напряжений, величина которых превышает предел текучести (см. рис. 6).

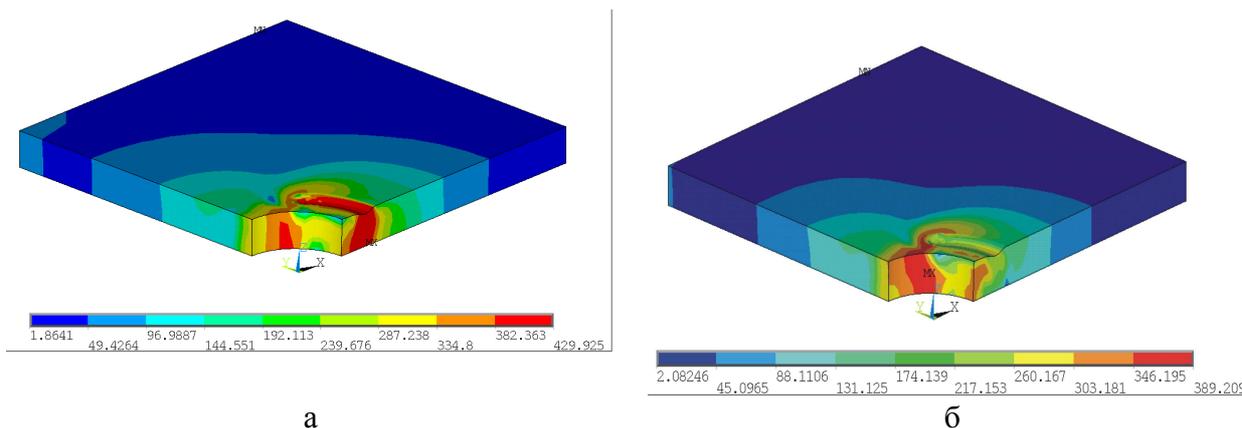


Рис. 6. Характер распределения эквивалентных напряжений по Мизесу ($\sigma_{\text{ЭКВ}}$, МПа) в полосе в зоне отверстия: а – после обжатия на глубину 0,3 мм; б – после отвода обжимки

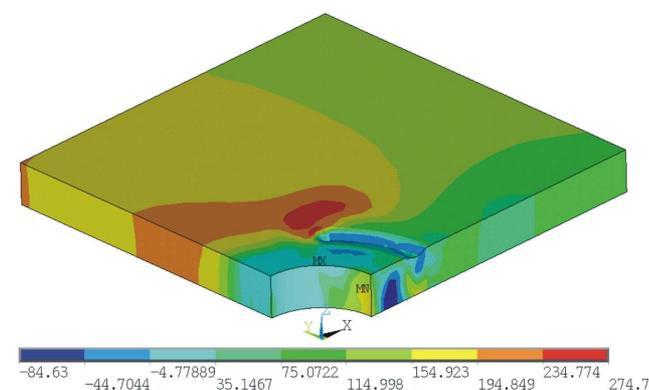


Рис. 7. Характер распределения главных растягивающих напряжений (σ_1 , МПа) в полосе в зоне отверстия после обжатия на глубину 0,3 мм и последующего растяжения $\sigma_{\text{бр}} = 130$ МПа

Результаты исследования влияния уровня напряжений в сечении брутто на изменение характеристик локального НДС полосы с отверстием показаны на рис. 8 – 10, где приняты следующие обозначения: 1 – полоса с отверстием, 2 – $R = 6$ мм, 3 – $R = 7$ мм, 4 – $R = 7,5$ мм.

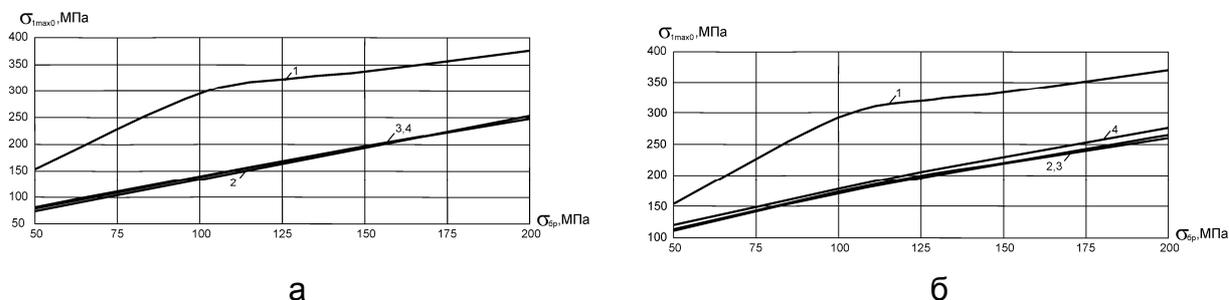


Рис. 8. Влияние уровня нагружения и радиуса на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: а – в сечении по оси отверстия; б – в зоне обжатия

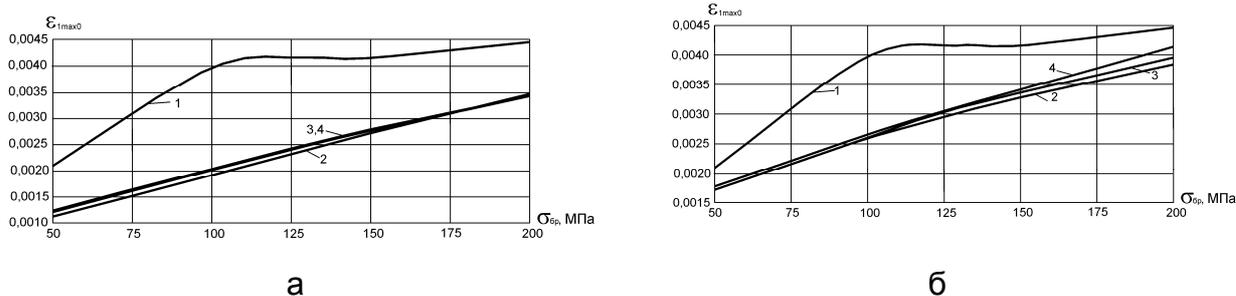


Рис. 9. Влияние уровня нагружения и радиуса на изменение максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: а – в сечении по оси отверстия; б – в зоне обжатия

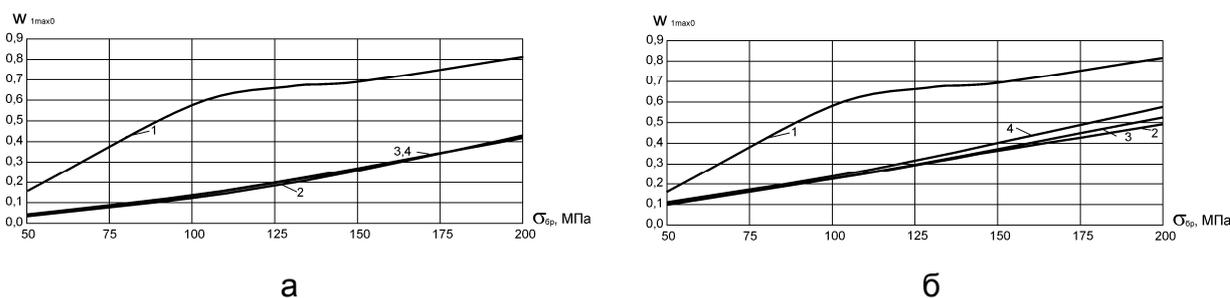


Рис. 10. Влияние уровня нагружения и радиуса на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: а – в сечении по оси отверстия; б – в зоне обжатия

Анализ полученного результата позволяет сделать вывод о том, что изменения относительного радиуса R/d в диапазоне от 1,5 ... 1,875 не оказывают существенного влияния на изменение максимальных главных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла.

Выводы

1. При барьерном обжатии в материале полосы в зоне отверстия возникают остаточные сжимающие напряжения, величина которых превышает предел текучести материала. Наличие остаточных сжимающих напряжений приводит к изменению цикла локальных напряжений в зоне отверстия и разгрузке данной зоны. Зона максимальной амплитуды главных растягивающих напряжений и деформаций смещается от стенки отверстия на величину 4 ... 5 мм.

2. Лунки, образующиеся на поверхности полосы в результате обжатия, являются концентраторами напряжений. В диапазоне значений напряжений в сечении брутто от 100 до 200 МПа значение коэффициента концентрации напряжений изменяется в диапазоне от 1,45 ... 2,57.

3. В диапазоне значений напряжений в сечении брутто от 100 до 200 МПа применение сегментного обжатия на глубину 0,3 мм способствует уменьшению максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в 1,5 – 2,2 раза в сечении по оси отверстия и в 1,4 – 1,7 раза в зоне обжатия по отношению к напряжениям для полосы с отверстием. При этом величины максимальных главных растягивающих деформаций и максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла уменьшаются в 1,3 – 2

раза и 1,95 – 4,1 раза в сечении по оси отверстия и в 1,2 – 1,54 раза и в 1,67 – 2,6 раза в зоне обжатия соответственно.

Список литературы

1. Соппротивление усталости элементов конструкций [Текст] / А.З. Воробьев, Б. И. Олькин, В. Н. Стебенев, Т. С. Родченко. – М. : Машиностроение, 1990. – 240 с.
2. Исследование выносливости нижних панелей крыла с отверстиями для перетекания топлива [Текст] / В. П. Рычик, А. Е. Литвиненко, Н. Т. Остапенко, Е. Т. Василевский // Тр.научн.-техн. конф. по выносливости и ресурсу авиационных конструкций (ноябрь 1976); под. Ред. А.З. Воробьева и Н.Г. Белого. – С.100-103.
3. Шахатуни, Е.А. Увеличение выносливости самолетных конструкций путем обжатия вокруг отверстий цилиндрических поясов [Текст] / Е. А. Шахатуни, Ф. М. Любарец // Авиационная промышленность. № 9. – 1977. – № 9. – С.12-13.
4. ANSYS Element Guide. Chapter 3. Element References. Section 3.1. Element Library.001087. 4th Edition. SAS IP[©].
5. ANSYS Contact Technology Guide. Chapter 3. Surface-to-Surface Contact. 001087. 4th Edition. SAS IP[©].
6. Эксплуатация, обслуживание, ремонт, надежность [Текст] / Авиационный технический справочник; под общ. ред. В. Г. Александрова. – М.: Транспорт, 1969. – 412 с.
7. Семенцов, В. Ф. Влияние величины радиального натяга при дорновании и уровня нагружения при растяжении на характеристики локального напряженно-деформированного состояния полосы с отверстием [Текст] / В.Ф. Семенцов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. научн. тр. нац. аэрокосм. ун-та им Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2015. – № 67. – С. 123 – 134.

Поступила в редакцию 15.06.2015

Вплив бар'єрного обтиснення на характеристики локального НДС смуги з отвором при її розтягуванні

Розглянуто вирішення задачі про розтягування смуги з отвором з урахуванням попереднього пластичного деформування матеріалу в зоні отвору. Проаналізовано вплив радіуса, на якому розташовано обтискач, і рівня навантаження на характеристики локального НДС смуги з отвором. Застосування сегментного обтиснення на глибину 0,3 мм сприяє зменшенню максимальних головних розтягуючих напружень еквівалентного віднулевого циклу в 1,5 – 2,2 рази в перетині по осі отвору і в 1,4 – 1,7 рази в зоні обтиснення по відносно до напружень для смуги з отвором.

Ключові слова: бар'єрне обтиснення, метод скінченних елементів, локальний напружено-деформований стан, головні розтягальні напруження еквівалентного віднулевого циклу, питома енергія деформування.

Effect of barrier compression on the characteristics of local deflected mode of plate with a hole under tensile load

The solution of the problem of the tension of plate with a hole taking into account plastic deformation of the material in the area of the hole is given. The effect of the swage location and the level of loading on the characteristics of local deflected mode of plate a hole is considered. Use of the barrier compression to a depth of 0.3 mm reduces the maximum principal tensile stresses of equivalent zero-to-tension stress cycle by 1.5 ... 2.2 times at the section of hole location, and 1.4 ... 1.7 times at compression area compared with stress in a plate with a hole.

Keywords: barrier compression, finite element method, the local deflected mode, the maximum principal stress of equivalent zero-to-compression stress cycle, the specific energy of deformation.