

Влияние величины одностороннего утолщения в зоне отверстия на характеристики локального НДС полосы с отверстием при ее растяжении

Государственное предприятие «АНТОНОВ»

Показано, что для полосы с отверстием в диапазоне значений напряжений в сечении брутто от 100 до 200 МПа применение одностороннего утолщения в зоне отверстия способствует уменьшению максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в 1,03 – 1,1 раза по сравнению с напряжением в полосе с отверстием без усиления. При этом величины максимальных главных растягивающих деформаций и максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла уменьшаются в 1,04 раза и 1,03 – 1,14 раза соответственно.

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

Значительные трудности в обеспечении усталостных характеристик силовых элементов конструкции с функциональными отверстиями представляет задача исключения их усталостных разрушений. Эти отверстия часто являются источниками усталостных трещин, приводящих к преждевременному разрушению конструкции. Анализ разрушений натуральных конструкций кессон-баков показывает, что в тех случаях, когда не применяют специальные методы повышения характеристик сопротивления усталости зон с отверстиями, значения показателей качества K_y по отдельным концентраторам могут достигать четырех [1]. Одним из конструктивных приемов снижения отрицательного влияния отверстий на статическую прочность и долговечность конструкции является применение местного утолщения в зоне отверстия.

Исследовано влияние величины одностороннего утолщения в зоне отверстия на характеристики локального НДС полосы с отверстием при ее растяжении. Толщина полосы – 5 мм. Величина утолщения (параметр thk) варьируется в диапазоне от 1 до 3,5 мм. Величина растягивающих напряжений в сечении брутто составляет 0, 50, 100, 130, 150 и 200 МПа.

Исследование выполнено с применением метода конечных элементов, реализовано в системе инженерного анализа ANSYS.

Геометрические размеры полосы с отверстием, принятые для анализа, показаны на рис. 1. Материал полосы – алюминиевый сплав 1163 со следующими механическими характеристиками: модуль упругости $E = 72000$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$, предел текучести $\sigma_T = 265$ МПа [2]. Модель поведения материала – полилинейная упругопластическая с кинематическим упрочнением [3].

С учетом геометрической симметрии модели и характера нагружения при моделировании рассмотрена 1/4 конструкции с заданием соответствующих условий симметрии. Расчетная схема полосы с отверстием показана на рис. 2.

Для аппроксимации расчетной модели полосы выбраны восьмиузловые элементы твердого деформируемого тела, обладающие тремя степенями свободы в каждом из узлов (линейные перемещения вдоль осей X , Y , Z) [4].

Конечноэлементная модель полосы с отверстием показана на рис. 3.

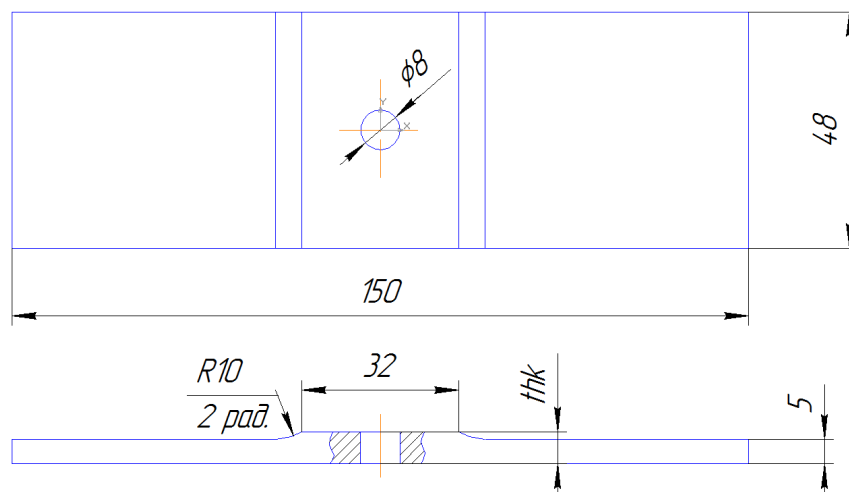


Рис. 1. Геометрические размеры полосы с отверстием

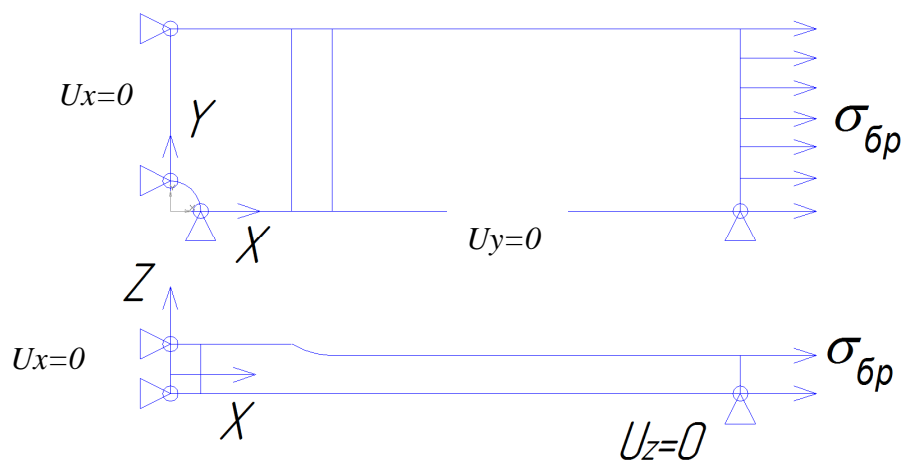


Рис. 2. Расчетная схема полосы с отверстием

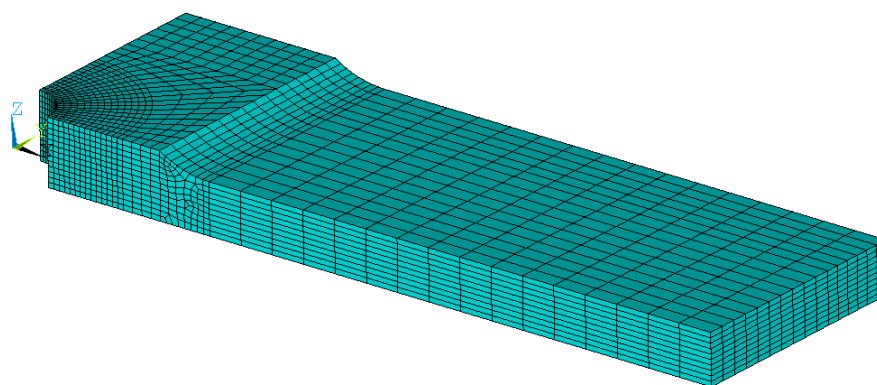


Рис. 3. Конечноэлементная модель полосы с отверстием

На рис. 4 показан характер распределения главных растягивающих напряжений в полосе с отверстием при уровне растягивающих напряжений в сечении брутто 130 МПа.

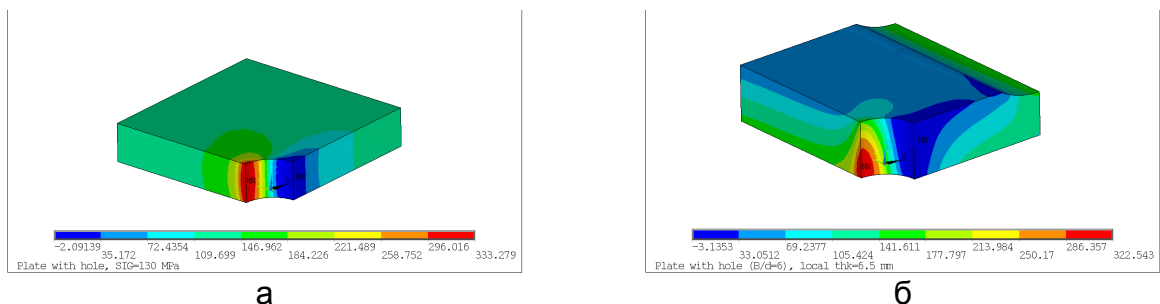


Рис. 4. Характер распределения главных растягивающих напряжений в полосе с отверстием при уровне растягивающих напряжений в сечении брутто 130 МПа:
 а – полоса с отверстием (без утолщения);
 б – полоса с отверстием (утолщение 1,5 мм)

На рис.5 показан характер распределения главных растягивающих напряжений по толщине полосы в сечении по оси отверстия при уровне растягивающих напряжений в сечении брутто 50 и 130 МПа.

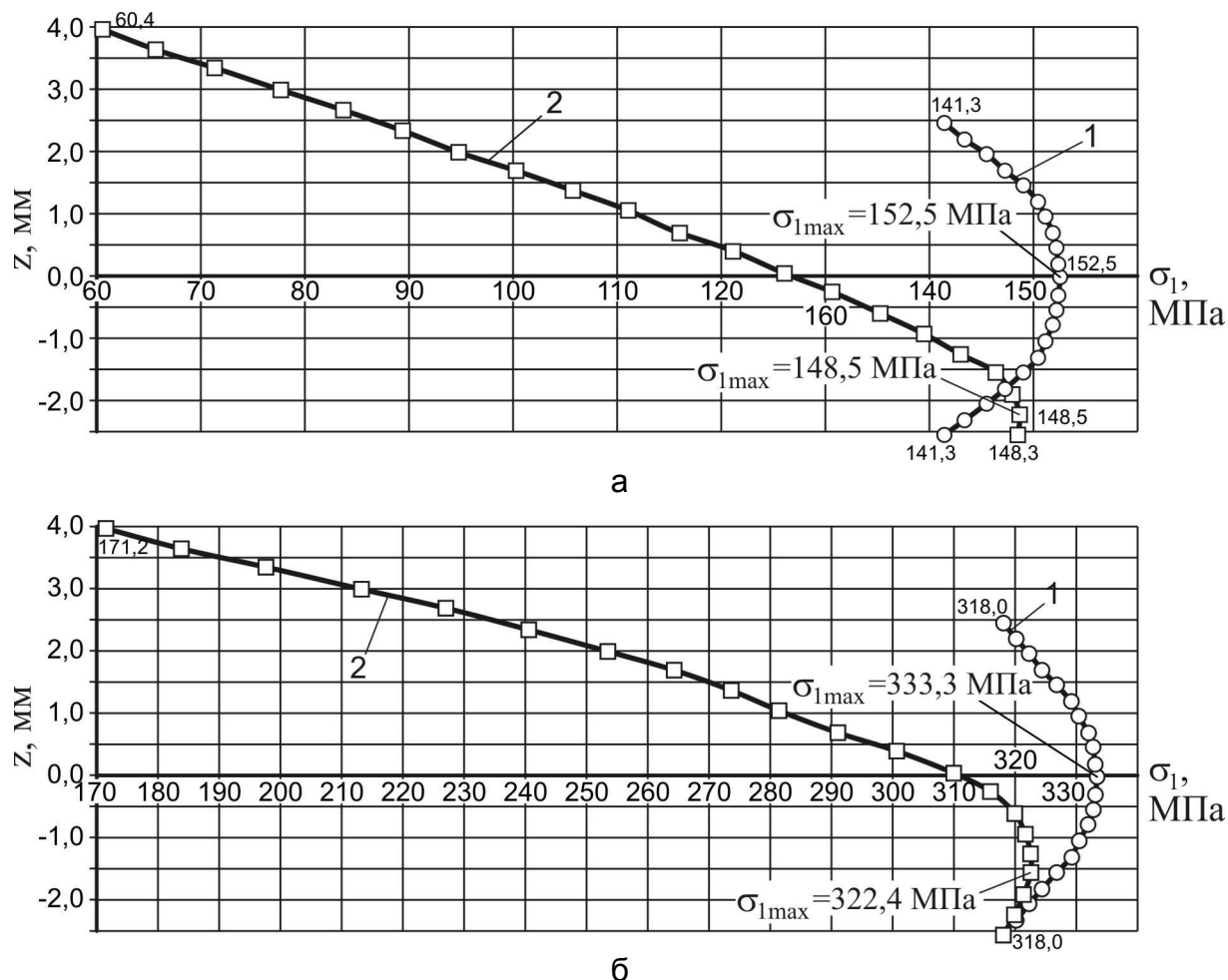


Рис. 5. Характер распределения главных растягивающих напряжений по толщине полосы: а – $\sigma_{бр} = 50$ МПа; б – $\sigma_{бр} = 130$ МПа:
 1 – полоса с отверстием без утолщения;
 2 – полоса с отверстием с утолщением 1,5 мм

На рис. 6 показан характер распределения главных растягивающих напряжений по радиусному переходу в сечении по оси продольной симметрии полосы при уровне растягивающих напряжений в сечении брутто 50 и 130 МПа.

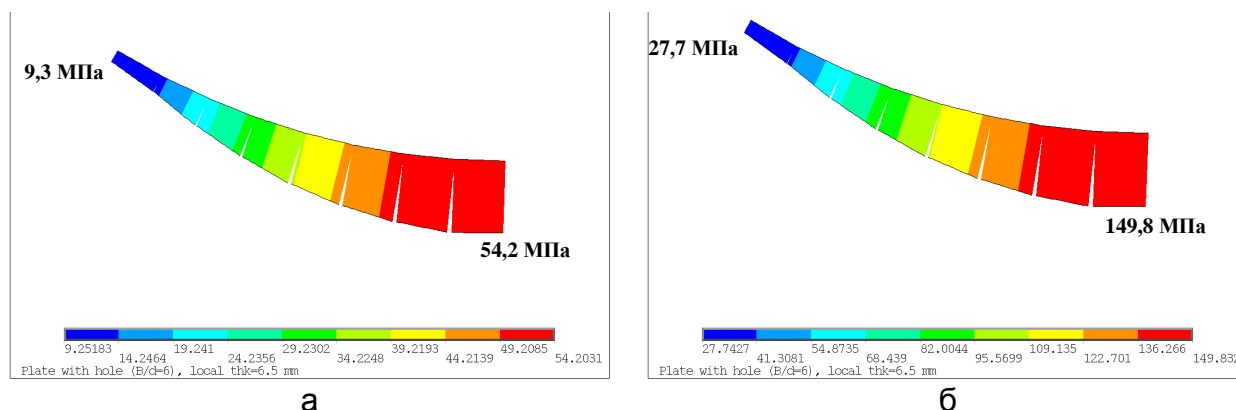


Рис. 6. Характер распределения главных растягивающих напряжений по радиусному переходу: а – $\sigma_{бр} = 50$ МПа; б – $\sigma_{бр} = 130$ МПа

Анализируя характер распределения главных растягивающих напряжений, необходимо отметить следующее. Для полосы с отверстием без утолщения зона максимальных напряжений находится на кромке отверстия с локализацией в точке, расположенной посередине толщины полосы, а для полосы с утолщением в зоне отверстия наблюдается смещение зоны максимальных напряжений ближе к нижней поверхности полосы в силу локального изгиба, вызванного эксцентриситетом в передаче нагрузки. При этом с увеличением уровня напряжений в сечении брутто наблюдается увеличение разницы между максимальными главными растягивающими напряжениями для полосы без утолщения и с утолщением. Распределение главных растягивающих напряжений по радиусному переходу характеризуется резким снижением уровня напряжений, при этом в начале радиусного перехода уровень напряжений соответствует уровню напряжений в сечении брутто.

На рис. 7 показан результат влияния величины утолщения на распределение главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в сечении по оси отверстия при уровне растягивающих напряжений в сечении брутто 130 МПа.

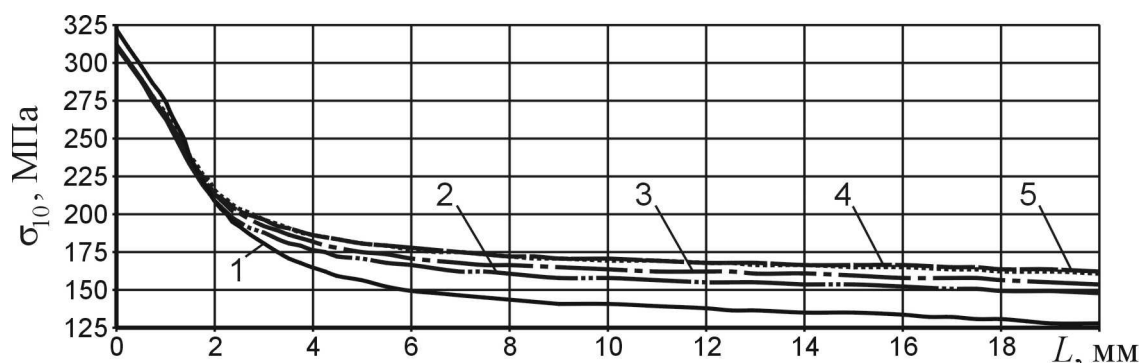


Рис. 7. Характер распределения главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием:
 1 – полоса с отверстием без утолщения; 2 – утолщение 1,0 мм;
 3 – утолщение 1,5 мм; 4 – утолщение 2,5 мм; 5 – утолщение 3,5 мм

Из графика видно, что усиление полосы в зоне отверстия приводит к перераспределению напряжений по сечению, при этом величина максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла уменьшается на 3,2% по сравнению с аналогичным значением для полосы с отверстием без утолщения.

На рис. 8 – 10 показаны результаты исследования влияния величины утолщения в зоне отверстия на величины главных растягивающих напряжений, упругих деформаций и удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла.

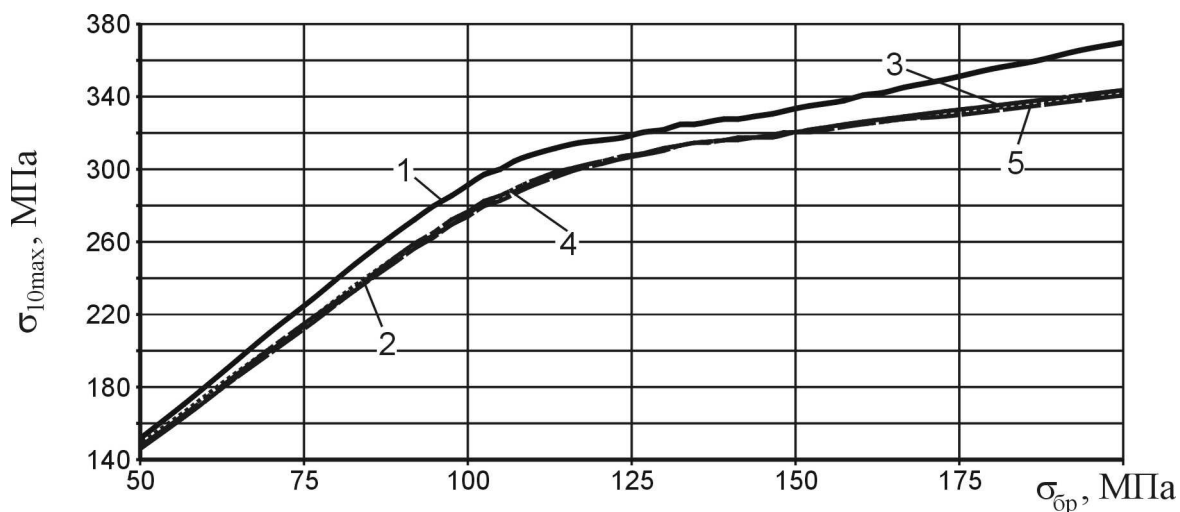


Рис. 8. Влияние уровня нагружения и величины утолщения на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием:
 1 – полоса с отверстием без утолщения; 2 – утолщение 1,0 мм;
 3 – утолщение 1,5 мм; 4 – утолщение 2,5 мм; 5 – утолщение 3,5 мм

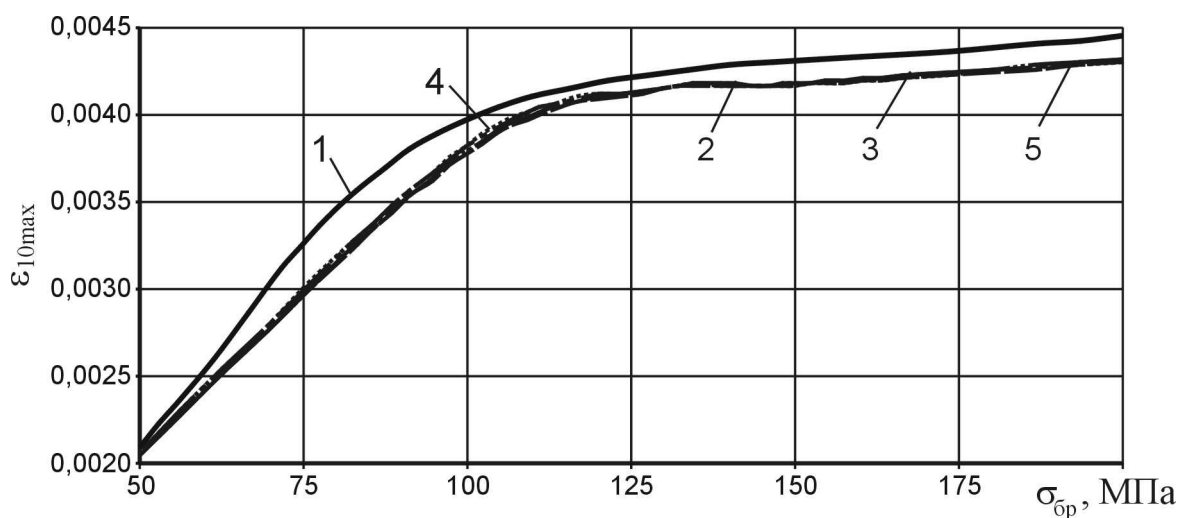


Рис. 9. Влияние уровня нагружения и величины утолщения на изменение максимальных главных растягивающих упругих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием:
 1 – полоса с отверстием без утолщения; 2 – утолщение 1,0 мм;
 3 – утолщение 1,5 мм; 4 – утолщение 2,5 мм; 5 – утолщение 3,5 мм

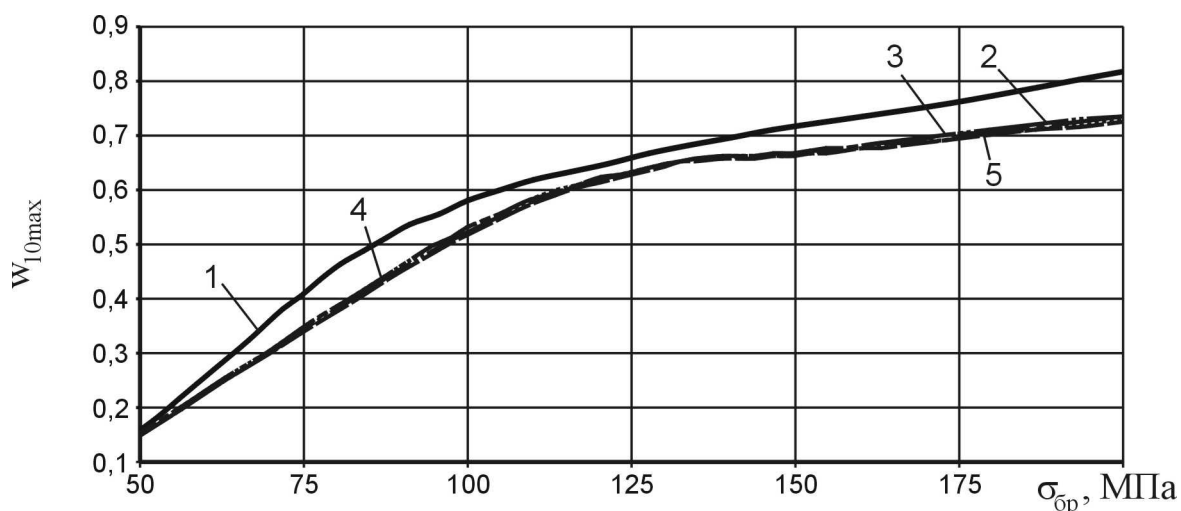


Рис. 10. Влияние уровня нагружения и величины утолщения на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием

Выводы

1. Установлено, что одностороннее утолщение полосы в зоне отверстия не приводит к существенному изменению (не более 3%) величины максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в сечении по оси отверстия.

2. Показано, что для полосы с отверстием в диапазоне значений напряжений в сечении брутто от 100 до 200 МПа применение утолщения в зоне отверстия способствует уменьшению максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в 1,03 – 1,1 раза по сравнению с напряжением в полосе с отверстием без усиления. При этом величины максимальных главных растягивающих деформаций и максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла уменьшаются в 1,04 раза и 1,03 – 1,14 раза соответственно.

3. Для гарантированного достижения заданных характеристик долговечности конструктивных элементов планера самолета в зоне функциональных отверстий необходима разработка и внедрение новых методов, не требующих увеличения массы конструкции.

Список литературы

1. Сопротивление усталости элементов конструкций [Текст]/ А. З. Воробьев, Б. И. Олькин, В. Н. Стебенев и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
2. Авиационные материалы. – Т. 4. Алюминиевые и бериллиевые сплавы [Текст]/ Р.Е. Шалин. – М.: ОНТИ, 1982. – 627 с.
3. ANSYS Structural Analysis Guide. Chapter 8. Nonlinear Structural Analysis. Section 8.4.1.1.1 Plastic Material Models. 001087. 4th Edition. SAS IP[©].
4. ANSYS Element Guide. Chapter 3. Element References. Section 3.1. Element Library. 001087. 4th Edition. SAS IP[©].

Поступила в редакцию 15.09.2015

Вплив величини одностороннього стовщення в зоні отвору на характеристики локального НДС смуги з отвором при її розтягуванні

Показано, що для смуги з отвором у діапазоні значень напружень у перерізі бруто від 100 до 200 МПа застосування одностороннього стовщення в зоні отвору сприяє зменшенню максимальних головних розтягальних напружень еквівалентного віднульового циклу в 1,03 – 1,1 раза порівняно з напруженнями в смугі з отвором без посилення. При цьому величини максимальних головних розтягальних деформацій та максимальної питомої енергії деформування еквівалентного віднульового циклу зменшуються відповідно в 1,04 раза та 1,03 – 1,14 раза.

Ключові слова: функціональний отвір, метод кінцевих елементів, локальний напружено-деформований стан, головні напруження розтягу еквівалентного віднульового циклу, питома енергія деформування.

Effect of one-sided thickening in hole area upon the characteristics of the local mode of deformation of strip with a hole under tension

It has been shown that for a strip with a hole within the stress range of 100 to 200 MPa acting in the gross section the use of a one-sided thickening of the hole area reduces maximum principal tensile stress of equivalent zero-to-tension stress cycle in 1.03 - 1.1 times compared with tension in the strip with the hole without reinforcement. The values of maximum principal tensile stress and maximum specific deformation energy of equivalent zero-to-tension stress cycle reduce in 1.04 and 1.03 - 1.14 times, respectively.

Keywords: functional hole, finite element method, local mode of deformation, principal tensile stress, equivalent zero-to-tension cycle, specific energy of deformation.