

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

Государственное предприятие «АНТОНОВ»

Показано, что для полосы ($\delta = 5$ мм) с отверстием $\varnothing 8$ мм в диапазоне значений напряжений в сечении брутто от 100 до 200 МПа применение двухстороннего утолщения в зоне отверстия в 1,2 – 1,7 раза способствует уменьшению максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в 1,1 – 1,7 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 1,02 – 1,67 раза и 1,2 – 2,8 раза соответственно.

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

Для обеспечения характеристик прочности и усталостной долговечности конструктивных элементов планера самолета в зоне функциональных отверстий выполняют одностороннее и двухстороннее утолщение в зоне отверстия. В работе [1] показано, что одностороннее утолщение полосы с отверстием незначительно влияет на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в сечении по оси отверстия из-за эксцентриситета передачи нагрузки.

Целью данной работы является исследование влияния величины двухстороннего утолщения в зоне отверстия на характеристики локального НДС полосы с отверстием. Величина утолщения (параметр thk) варьируется в диапазоне от 0,5 до 1,75 мм. Величина растягивающих напряжений в сечении брутто составляет 0, 50, 100, 130, 150 и 200 МПа.

Исследование выполнено с применением метода конечных элементов, реализованного 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 1/8 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].

Конечно-элементная модель полосы с отверстием показана на рис. 3.

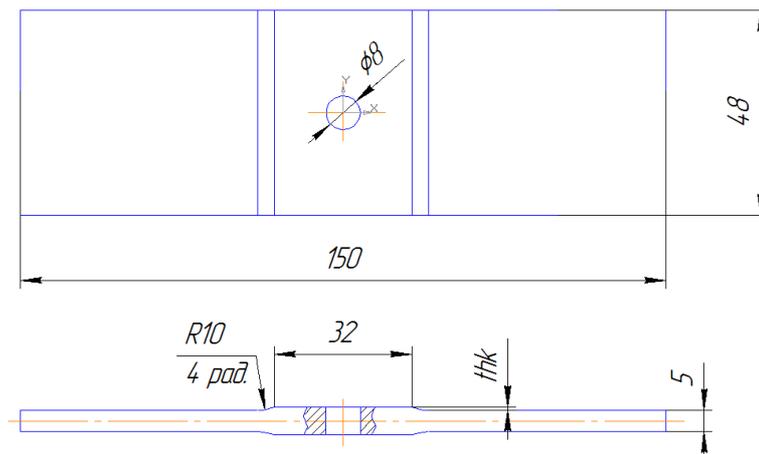


Рис. 1. Геометрические размеры полосы с отверстием

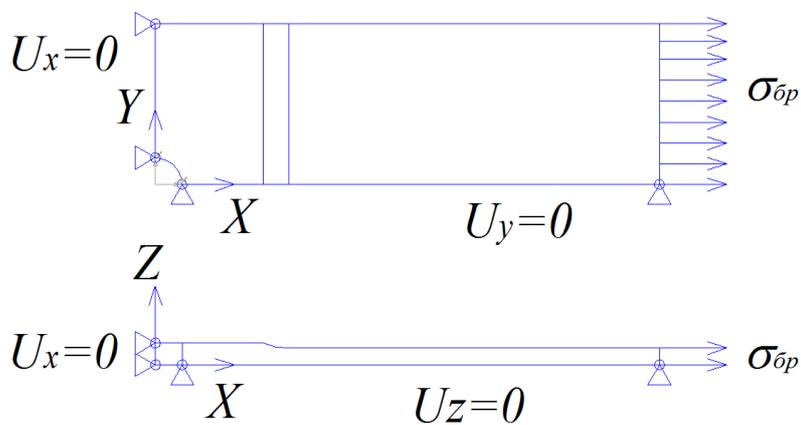


Рис. 2. Расчетная схема полосы с отверстием

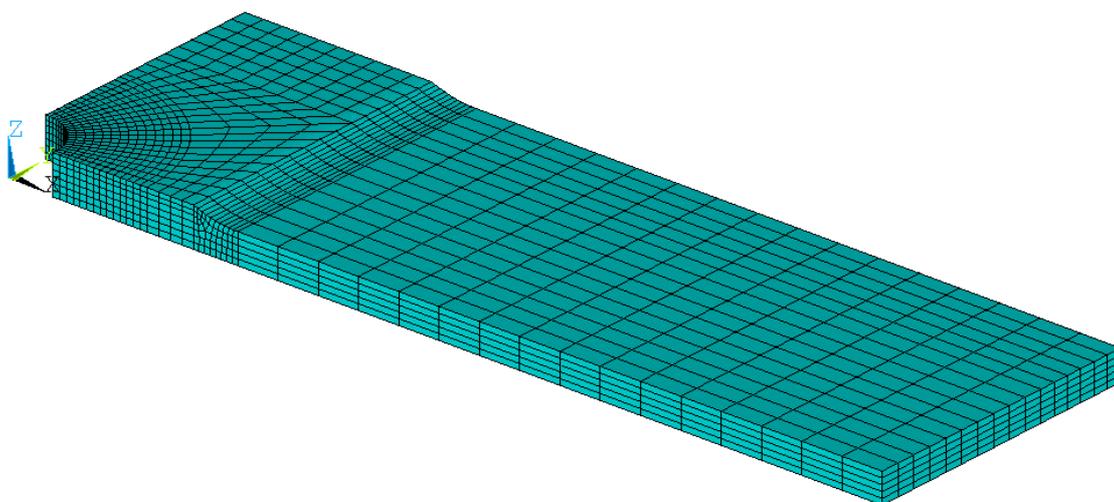


Рис. 3. Конечно-элементная модель полосы с отверстием

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

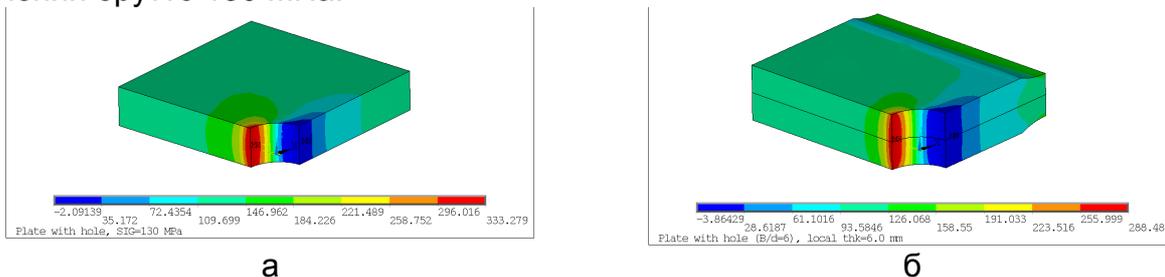


Рис. 4. Характер распределения главных растягивающих напряжений в полосе с отверстием при уровне растягивающих напряжений в сечении брутто 130 МПа:
 а – полоса с отверстием (без утолщения);
 б – полоса с отверстием (утолщение 0,75 мм с двух сторон)

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.

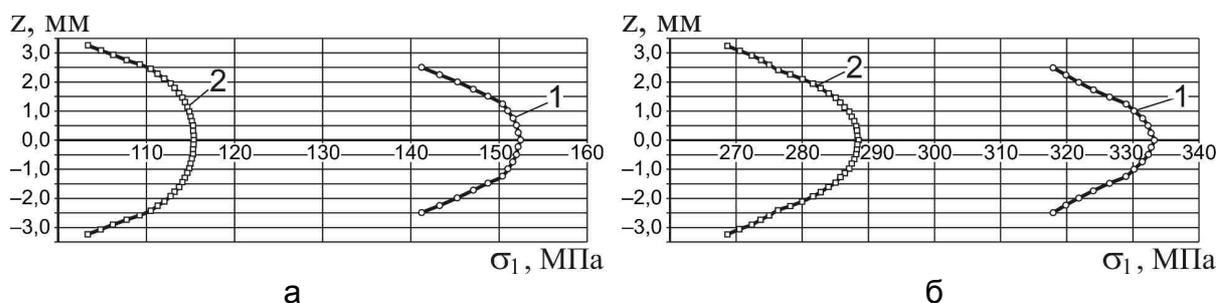


Рис. 5. Характер распределения главных растягивающих напряжений по толщине полосы: а – $\sigma_{бр} = 50$ МПа; б – $\sigma_{бр} = 130$ МПа: 1 – полоса с отверстием (без утолщения); 2 – полоса с отверстием (утолщение 0,75 мм с двух сторон)

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.

Результат представлен для полосы с отверстием в случае двухстороннего утолщения, равного 0,75 мм.

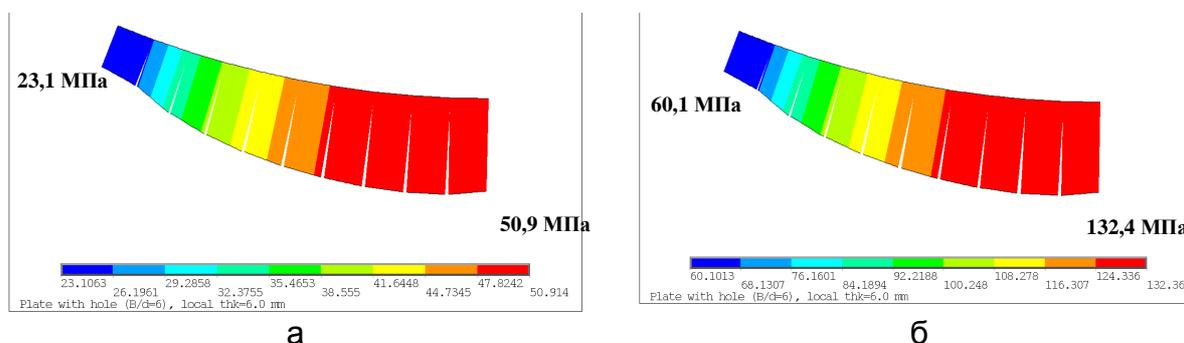


Рис. 6. Характер распределения главных растягивающих напряжений по радиусному переходу: а – $\sigma_{бр} = 50$ МПа; б – $\sigma_{бр} = 130$ МПа

Видно, что в обоих случаях величина главных растягивающих напряжений по радиусному переходу незначительно превышает уровень напряжений в сечении брутто.

На рис. 7 показан результат определения 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.

На рис. 7 – 10 приняты следующие обозначения: 1 – полоса с отверстием (без утолщения), 2 – полоса с отверстием (утолщение 0,5 мм с двух сторон), 3 – полоса с отверстием (утолщение 0,75 мм с двух сторон), 4 – полоса с отверстием (утолщение 1,25 мм с двух сторон), 5 – полоса с отверстием (утолщение 1,75 мм с двух сторон).

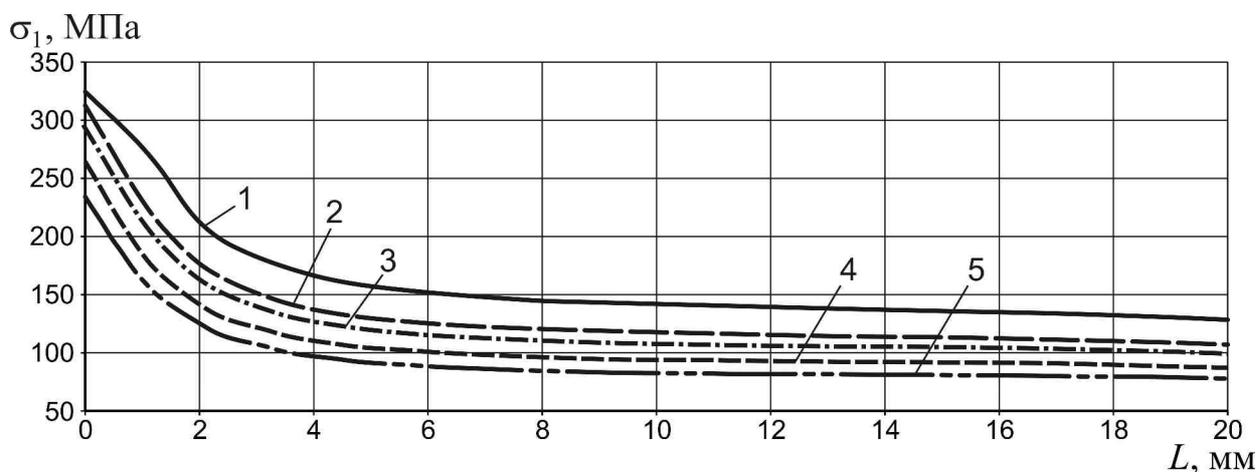


Рис. 7. Характер распределения главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием:
 1 – пластина с отверстием; 2 – утолщение 0,5 мм (двухстороннее);
 3 – утолщение 0,75 мм (двухстороннее); 4 – утолщение 1,25 мм (двухстороннее); 5 – утолщение 1,75 мм (двухстороннее)

Из рис. 7 видно, что усиление полосы в зоне отверстия приводит к перераспределению напряжений по сечению, при этом величина максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла уменьшается в 1,4 раза 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.

Проанализировано изменение характеристик локального НДС в полосе с отверстием для случаев применения одностороннего и двухстороннего утолщения (см. рис. 11 – 13).

На рис. 11 – 13 приняты следующие обозначения: 1 – полоса с отверстием (без утолщения), 2 – полоса с отверстием (одностороннее утолщение 1,5 мм), 3 – полоса с отверстием (двухстороннее утолщение 0,75 мм).

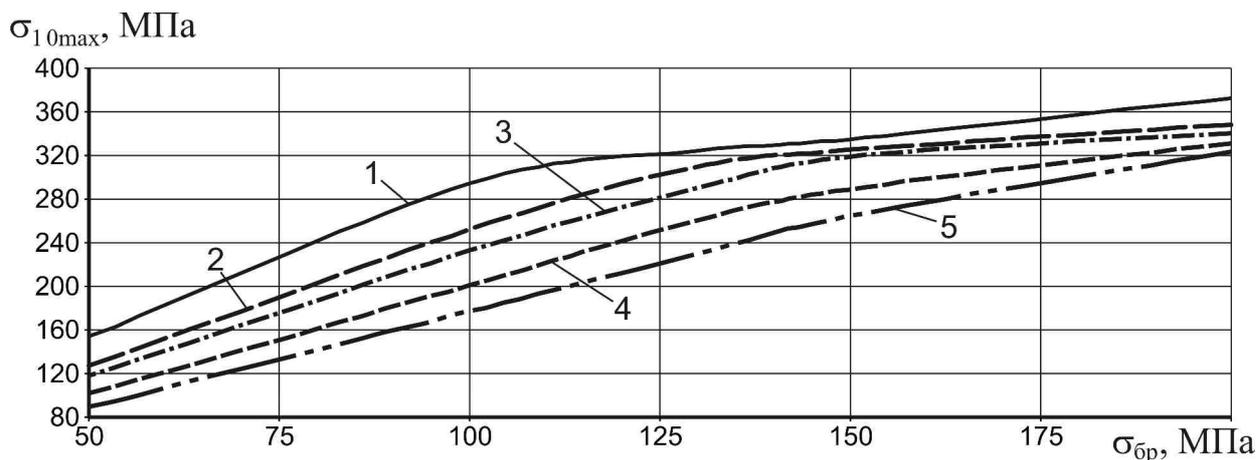


Рис. 8. Влияние уровня нагружения и величины утолщения на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: 1 – пластина с отверстием; 2 – утолщение 0,5 мм (двухстороннее); 3 – утолщение 0,75 мм (двухстороннее); 4 – утолщение 1,25 мм (двухстороннее); 5 – утолщение 1,75 мм (двухстороннее)

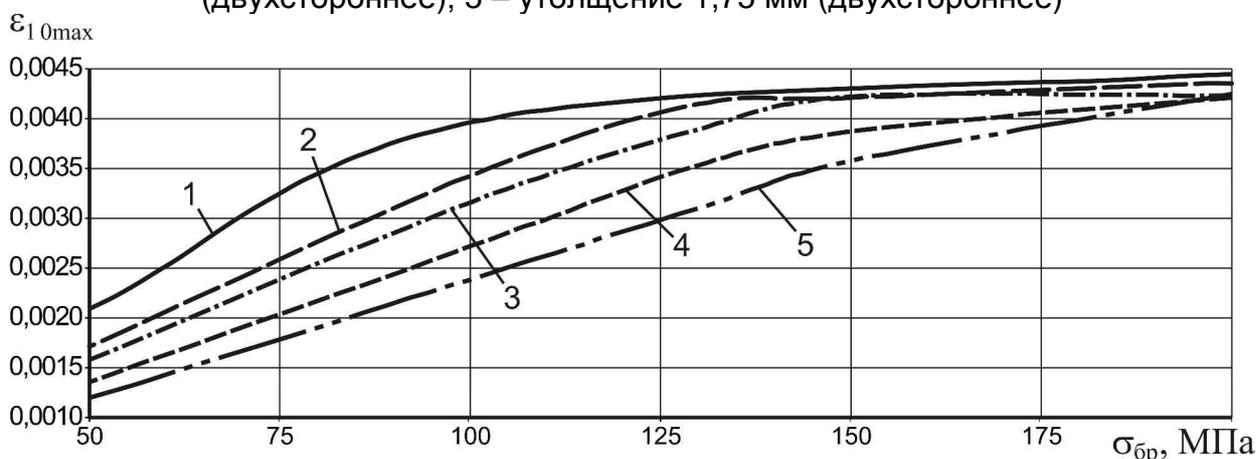


Рис. 9. Влияние уровня нагружения и величины утолщения на изменение максимальных главных растягивающих упругих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: 1 – пластина с отверстием; 2 – утолщение 0,5 мм (двухстороннее); 3 – утолщение 0,75 мм (двухстороннее); 4 – утолщение 1,25 мм (двухстороннее); 5 – утолщение 1,75 мм (двухстороннее)

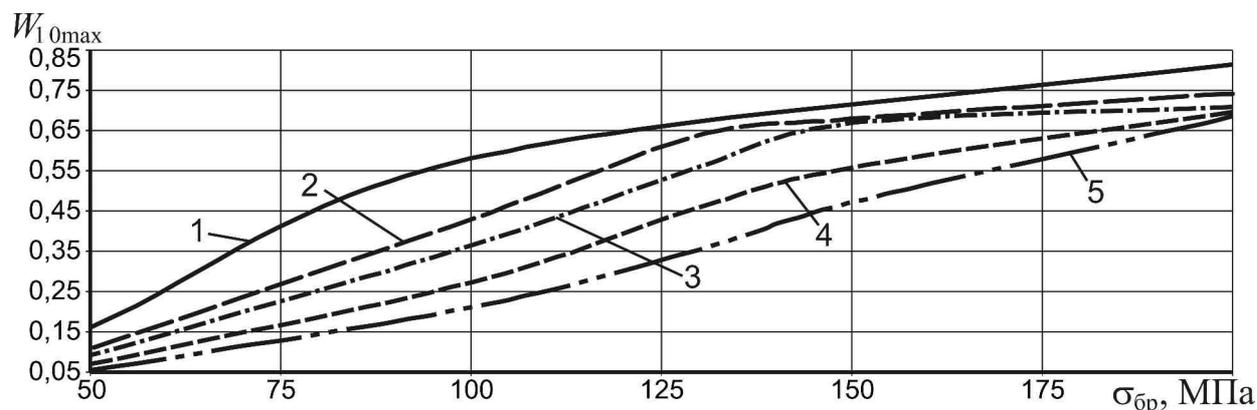


Рис. 10. Влияние уровня нагружения и величины утолщения на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: 1 – пластина с отверстием; 2 – утолщение 0,5 мм (двухстороннее); 3 – утолщение 0,75 мм (двухстороннее); 4 – утолщение 1,25 мм (двухстороннее); 5 – утолщение 1,75 мм (двухстороннее)

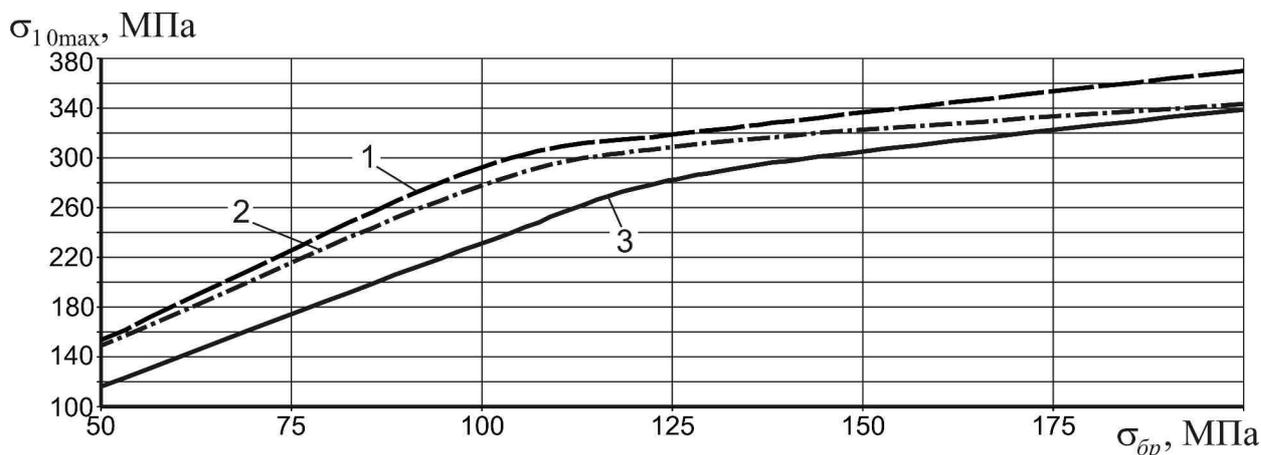


Рис. 11. Влияние уровня нагружения и величины утолщения на изменение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: 1 – пластина с отверстием; 2 – утолщение 1,5 мм (одностороннее); 3 – утолщение 0,75 мм (двухстороннее)

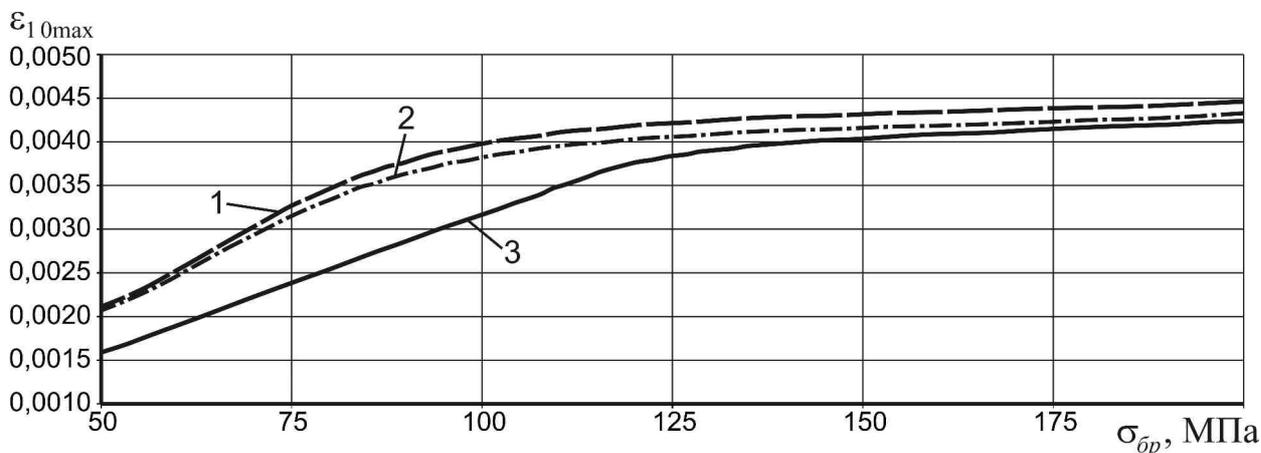


Рис. 12. Влияние уровня нагружения и величины утолщения на изменение максимальных главных растягивающих упругих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: 1 – пластина с отверстием; 2 – утолщение 1,5 мм (одностороннее); 3 – утолщение 0,75 мм (двухстороннее)

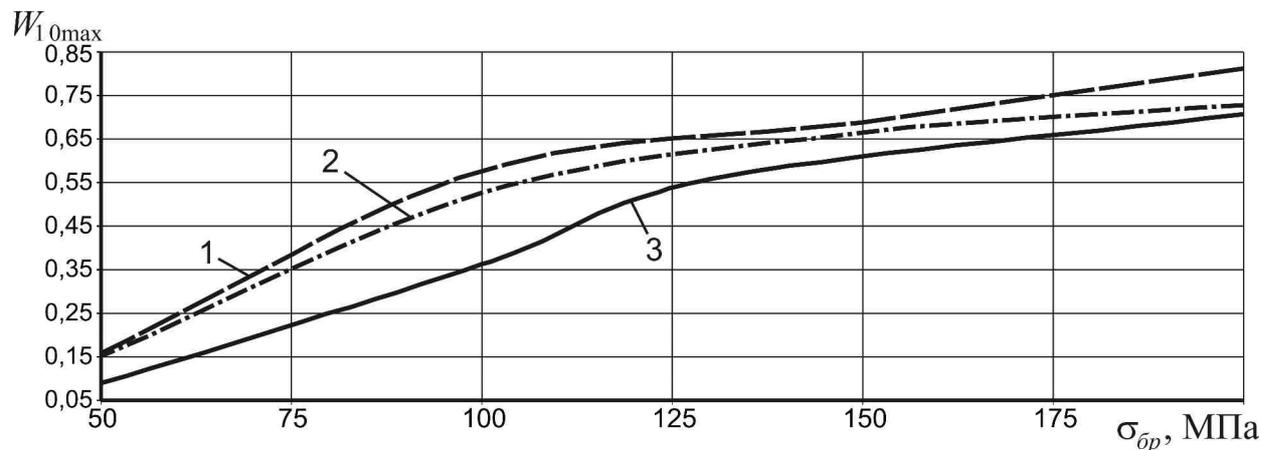


Рис. 13. Влияние уровня нагружения и величины утолщения на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием: 1 – пластина с отверстием; 2 – утолщение 1,5 мм (одностороннее); 3 – утолщение 0,75 мм (двухстороннее)

Кроме того, исследовано влияние вида и величины утолщения на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием при уровне растягивающих напряжений в сечении брутто $\sigma_{\text{бр}} = 130$ МПа (рис. 14).

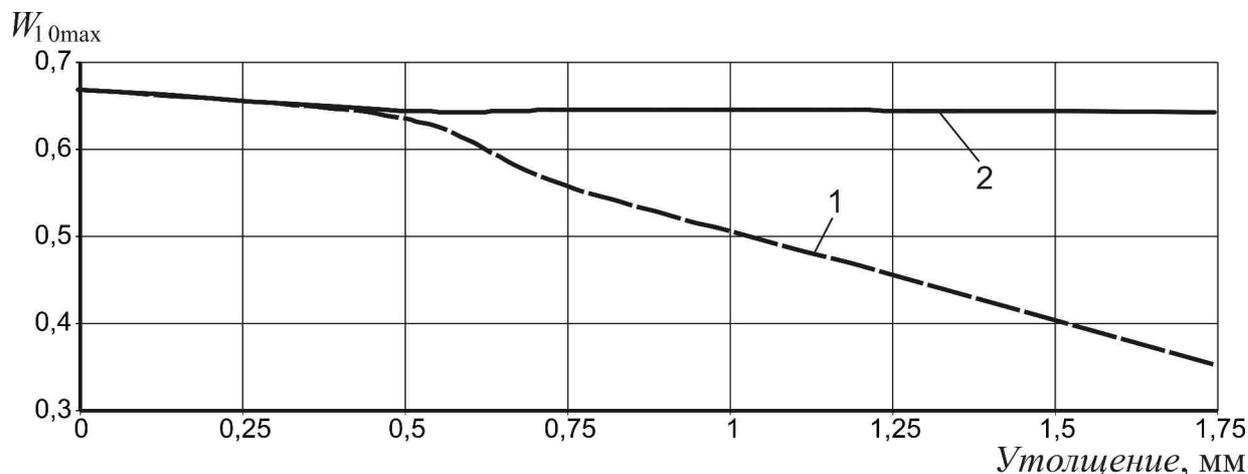


Рис. 14. Влияние вида и величины утолщения на изменение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в полосе с отверстием при уровне растягивающих напряжений $\sigma_{\text{бр}} = 130$ МПа:

1 – двустороннее утолщение, 2 – одностороннее утолщение

Выводы

1. Показано, что для полосы ($\delta = 5$ мм) с отверстием $\varnothing 8$ мм в диапазоне значений напряжений в сечении брутто от 100 до 200 МПа применение двустороннего утолщения в зоне отверстия в 1,2 – 1,7 раза способствует уменьшению максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в 1,1 – 1,7 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 1,02 – 1,67 раза и 1,2 – 2,8 раза соответственно.

2. Расчетным путем показана эффективность двустороннего утолщения по сравнению с односторонним. Начиная с величины 0,75 мм наблюдается существенное снижение величины максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в 1,2 – 1,9 раза.

Список литературы

1. Василевский, Е. Т. Влияние величины одностороннего утолщения в зоне отверстия на характеристики локального НДС полосы с отверстием при ее растяжении [Текст] / Е. Т. Василевский, В. Ф. Семенцов // Открытые информационные и компьютерные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 69. – Х., 2015. – С. 158 – 164.
2. Шалин, Р. Е. 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 09.11.2015

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

Показано, що для смуги ($\delta = 5$ мм) з отвором $\varnothing 8$ мм у діапазоні значень напружень у перерізі бруто від 100 до 200 МПа застосування двостороннього стовщення в зоні отвору в 1,2 – 1,7 раза сприяє зменшенню максимальних головних розтяжних напружень еквівалентного віднульового циклу в 1,1 - 1,7 раза порівняно з напруженням у смугі з отвором без підсилення. При цьому величини максимальних головних розтяжних деформацій і максимальної питомої енергії деформування еквівалентного віднульового циклу зменшуються в 1,02 - 1,67 раза і 1,2 – 2,8 раза відповідно.

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

Effect of Two-Sided Thickening in the Area of the Hole on Characteristics of Local Mode of Deformation of Plate with Hole under its Tension

It is shown that for a plate ($\delta=5$ mm) with a hole of 8 mm in diameter within the range of stresses in the gross section of 100 to 200 MPa application of two-sided thickening in the area of the hole reduces the maximum principal tensile stresses of equivalent zero-to-tension stress cycle by 1.1 ... 1.7 times compared with stress in a plate with a hole. Herewith the values of maximum principal strain and maximum specific energy of deformation of equivalent zero-to-tension stress cycle decrease by 1.02 to 1.67 and 1.2 to 2.8 times respectively.

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