

Анализ влияния формы потайного гнезда на характеристики локального НДС в пластине с цилиндроконическим отверстием, заполненным потайным болтом

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Расчетным путем доказана эффективность разработанного приоритетного способа выполнения болтового соединения, в котором потайной болт, имеющий двухконусную головку, устанавливается в отверстие с цилиндроконической зенковкой с радиальным натягом по цилиндрическому отверстию и цилиндрической части зенковки.

Ключевые слова: пластина с отверстием, потайное гнездо, характеристики НДС, удельная энергия деформирования.

Для прогнозирования усталостной долговечности конструктивных элементов необходим расчет их характеристик локального НДС, позволяющий определить величины максимальных действующих напряжений, деформаций и величину удельной энергии деформирования в локальной зоне вероятного разрушения при нагружении.

Целью исследования является анализ влияния формы потайного гнезда на характеристики локального НДС в пластине с цилиндроконическим отверстием, заполненным болтом.

Объект исследования – пластина с цилиндроконическим отверстием, заполненным болтом (рис. 1). Рассмотрены два варианта постановки болта – без радиального натяга и с натягом $1\% d_6$ без осевой затяжки. Рассмотрены две формы гнезда – стандартное цилиндроконическое отверстие с углом зенковки 90° и цилиндроконическое отверстие с цилиндрическим пояском по зенковке.

В качестве метода исследования выбран метод конечных элементов, реализованный в системе инженерного анализа ANSYS, хорошо зарекомендовавшей себя для решения задач механики твердого деформируемого тела.

Одним из ключевых этапов исследования, в конечном счете определяющим достоверность получаемых результатов, является выбор расчетной схемы.

Разработка расчетной схемы включает выбор типа конечного элемента, моделирующего геометрию рассчитываемого объекта, задание граничных условий и способ приложения внешней нагрузки (рис. 2).

Учитывая геометрическую и силовую симметрию образца, а также изотропность свойств материала, из которого он изготовлен, моделируем $1/4$ образца. При этом действие отброшенных частей компенсируем заданием соответствующих граничных условий симметрии.

Для моделирования образца пластины с цилиндроконическим отверстием, накладки и крепежного элемента применяли 8-узловые 3D элементы твердого деформируемого тела SOLID45, представленные в системе ANSYS [1]. Контактное взаимодействие моделировалось с помощью специальных элементов TARGE170 и CONTA173. В модели контактного взаимодействия учтено трение. Расчет проведен при уровнях растягивающих напряжений в сечении брутто 50,

100, 130 и 150 МПа, что соответствует эксплуатационным напряжениям в тонкостенных элементах конструкции из алюминиевых сплавов.

При выборе модели поведения материала учитывали величины расчетных нагрузок, действующих на образец. Поскольку при данных уровнях напряжений в локальных зонах образца возникают пластические деформации, то для описания законов поведения материала выбрана полилинейная упругопластическая модель материала с кинематическим законом упрочнения.

Пластина и накладка изготовлены из алюминиевого сплава Д16Тл8 и Д16Тл5 соответственно, а крепежный элемент $\varnothing 8$ мм – из стали 16ХСН [2].

В ходе исследования интерес представляет локальная зона, расположенная в окрестности отверстия. В данной зоне имеет место неравномерное изменение характеристик локального НДС. Поэтому для их выявления в данной зоне необходимо создать мелкую сетку. Размер конечного элемента в зоне отверстия составляет 0,4 мм.

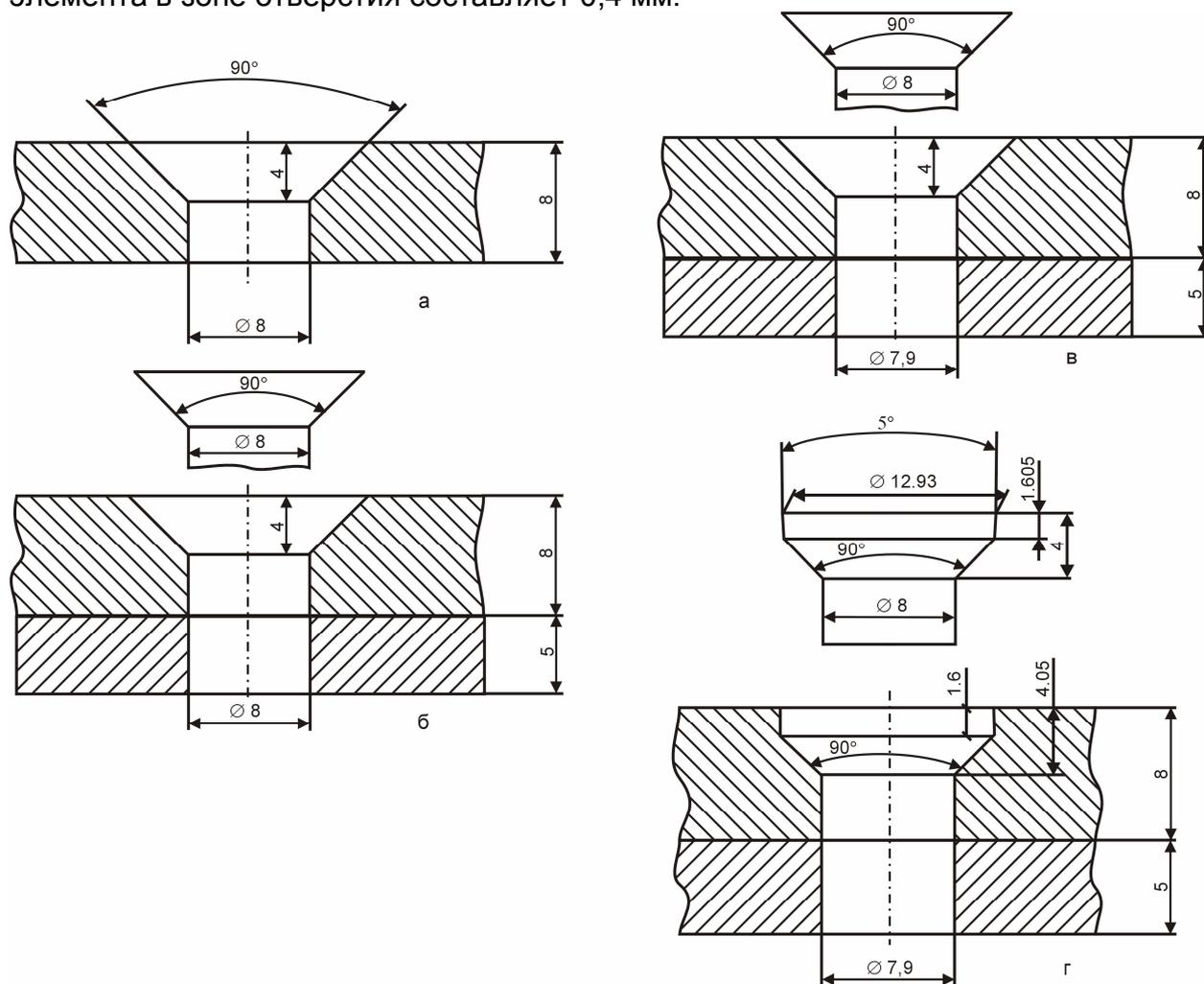


Рис. 1. Образец пластины с цилиндроконическим отверстием и накладки, соединенной крепежным элементом

На рис. 3 показана конечно-элементная модель образца пластины с цилиндроконическим отверстием, накладки и болта.

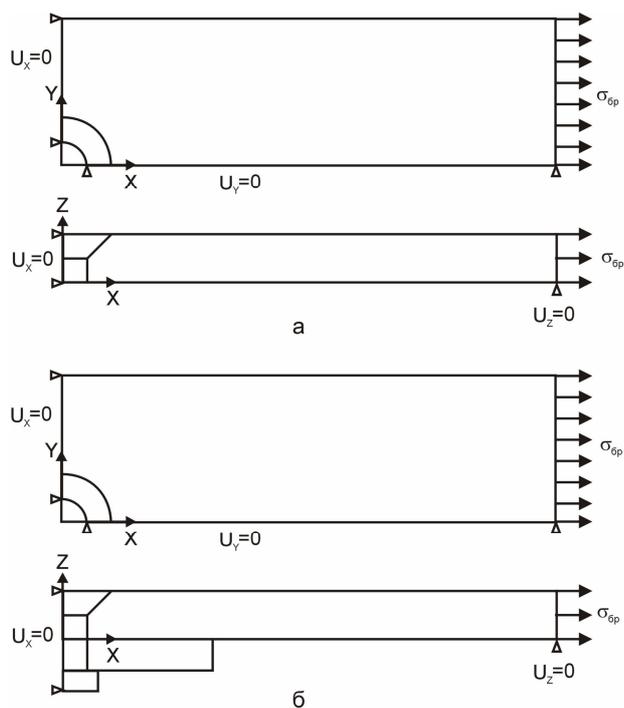


Рис. 2. Расчетная схема пластины с цилиндрическим отверстием (а) и образца пластины с цилиндрическим отверстием, заполненным болтом (б)

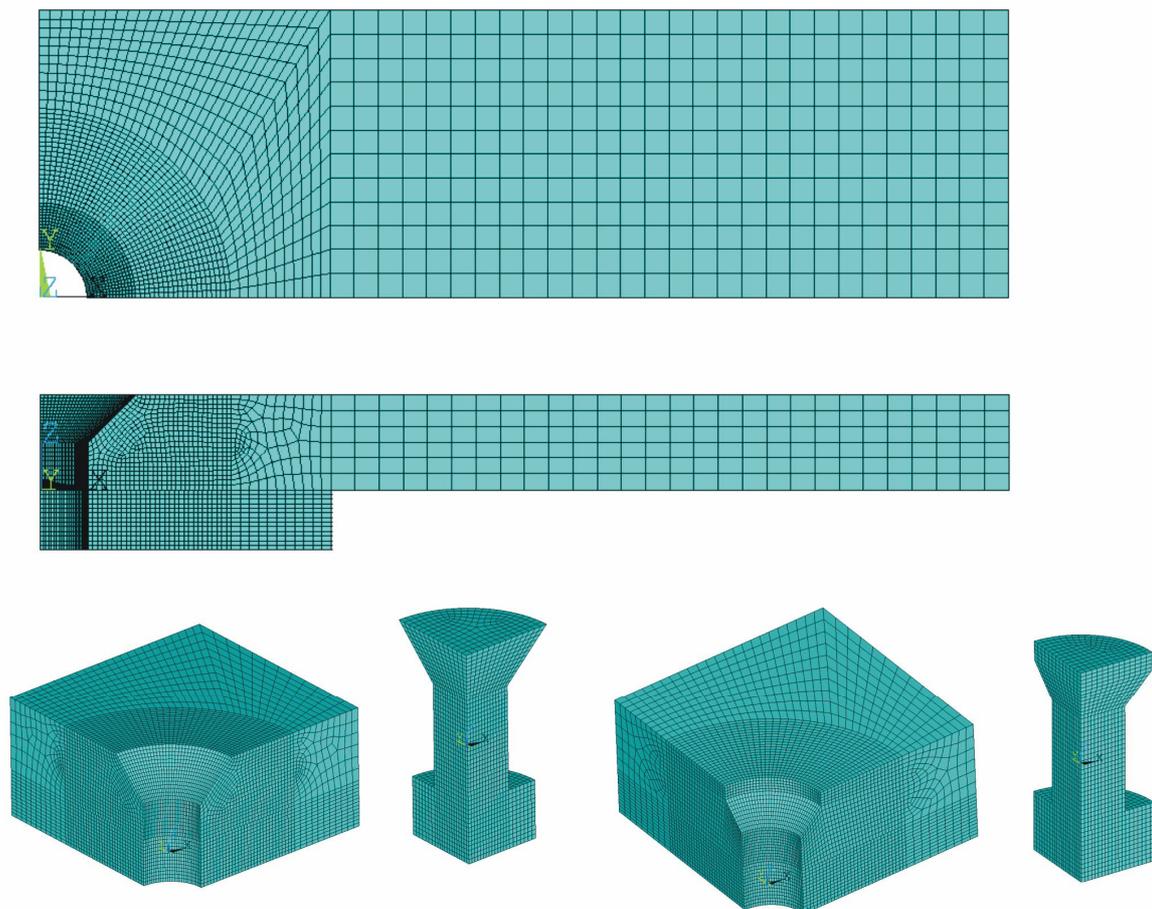


Рис. 3. Конечно-элементные модели пластины, накладки и крепежного элемента

Как показывают результаты усталостных испытаний образцов пластины с цилиндрическим отверстием, можно выделить две зоны концентрации напряжений: 1) зона, расположенная на пересечении конической поверхности фаски с внешней поверхностью пластины; 2) зона, расположенная на пересечении цилиндрической поверхности отверстия и конической поверхности зенковки. В случае отсутствия упрочнения данных зон они являются зонами вероятного усталостного разрушения из-за наличия геометрического концентратора напряжений в виде отверстия. В данных зонах главные растягивающие напряжения и деформации достигают своего максимального значения, что подтверждают результаты расчета.

В качестве параметров, характеризующих локальное НДС, в указанных зонах определены:

- 1) главные растягивающие напряжения σ_1 ;
- 2) главные растягивающие деформации ε_1 (упругая составляющая);
- 3) удельная энергия деформирования w_1 .

На рис. 4 – 9 показан характер распределения эквивалентных, главных растягивающих напряжений в рассматриваемых образцах, характеризующих локальное НДС в указанных зонах.

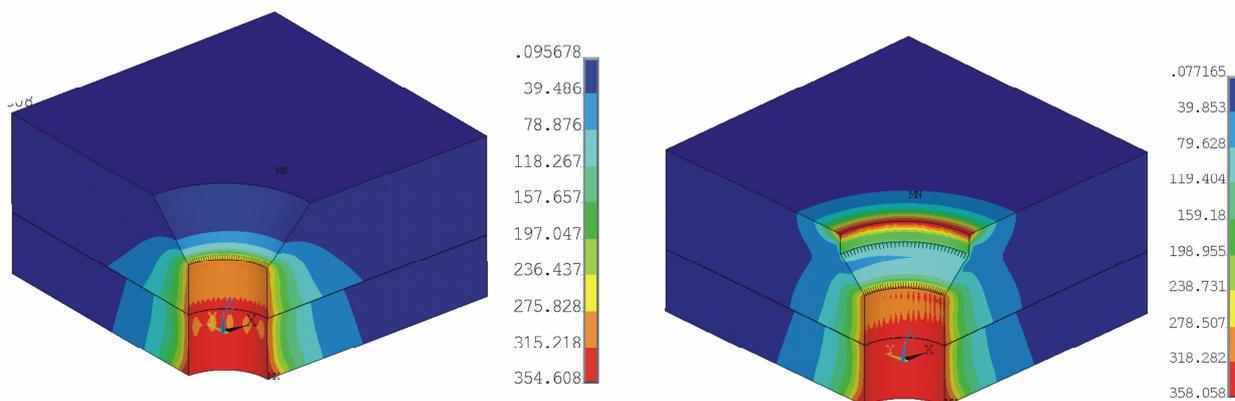


Рис. 4. Характер распределения эквивалентных напряжений Мизеса в пластине с цилиндрическим отверстием от натяга $1\% d_6$

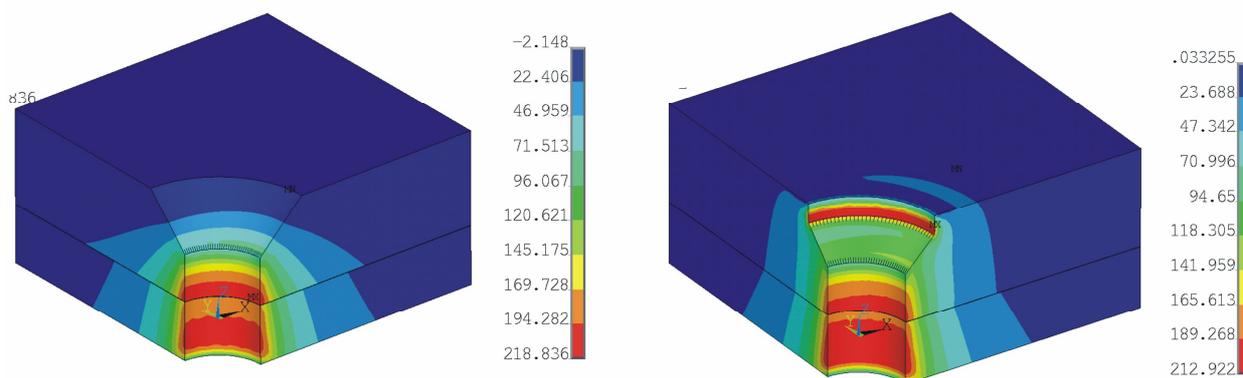


Рис. 5. Характер распределения главных растягивающих напряжений в пластине с цилиндрическим отверстием от натяга $1\% d_6$

Натяг, реализованный по цилиндрическому пояску зенковки отверстия, приводит к изменению характера распределения главных растягивающих и эквивалентных напряжений. Это, в свою очередь приводит к смещению

максимума главных растягивающих напряжений от действия внешней нагрузки в зону пересечения цилиндрического пояска с зенковкой.

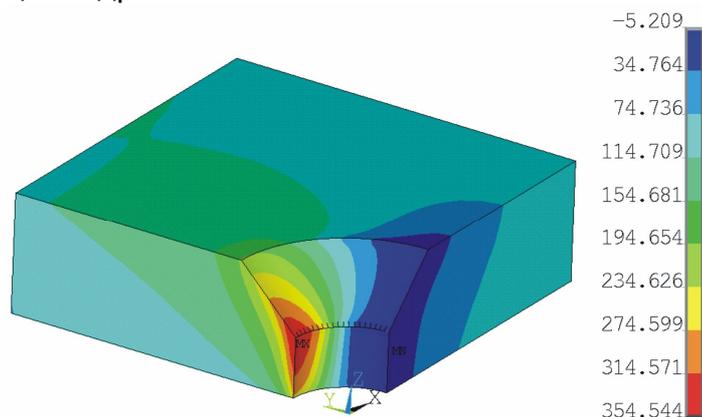


Рис. 6. Характер распределения главных растягивающих напряжений в пластине с зенкованным отверстием при $\sigma_{бр}=100$ МПа

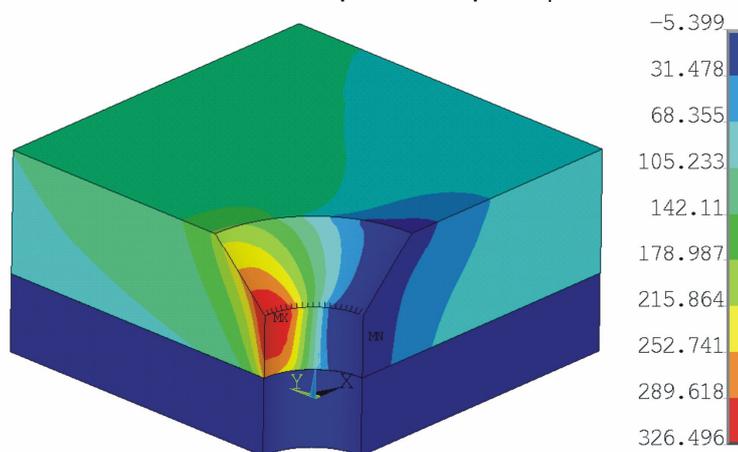


Рис. 7. Характер распределения главных растягивающих напряжений в пластине с зенкованным отверстием, заполненным крепежным элементом, установленным без натяга при $\sigma_{бр}=100$ МПа

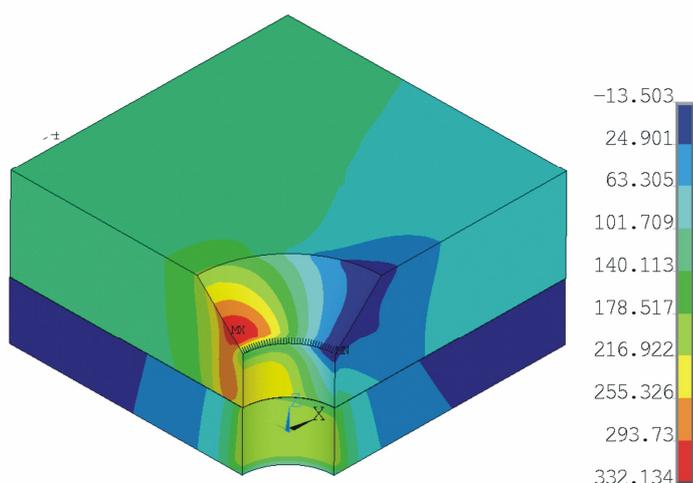


Рис. 8. Характер распределения главных растягивающих напряжений в пластине с зенкованным отверстием, заполненным крепежным элементом, установленным с натягом 1% при $\sigma_{бр}=100$ МПа

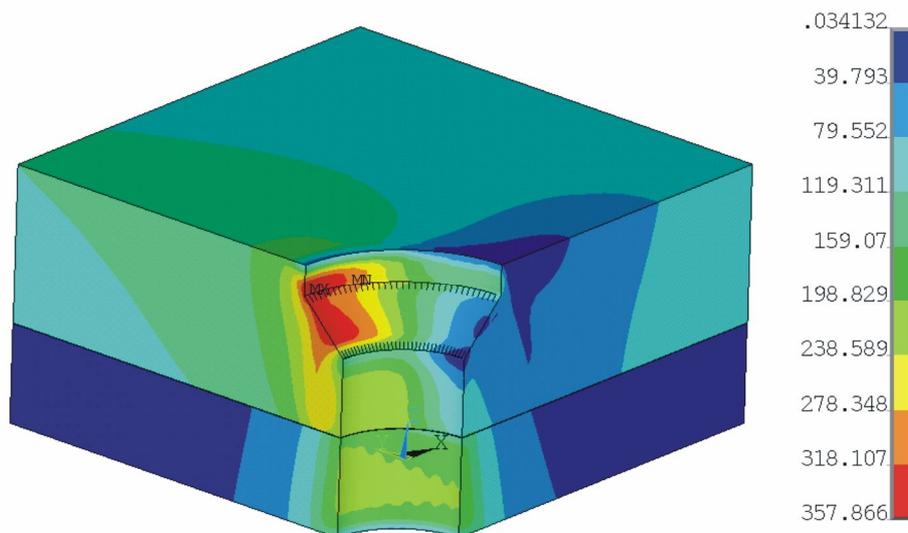


Рис. 9. Характер распределения главных растягивающих напряжений в пластине с зенкованным отверстием, заполненным крепежным элементом, установленным с натягом 1% при $\sigma_{бр}=100$ МПа

Проанализировано изменение главных растягивающих напряжений в сечении по оси отверстия вдоль пути L (рис. 10, 11) и изменение амплитуды главных растягивающих напряжений в сечении по оси отверстия по высоте (рис. 12).

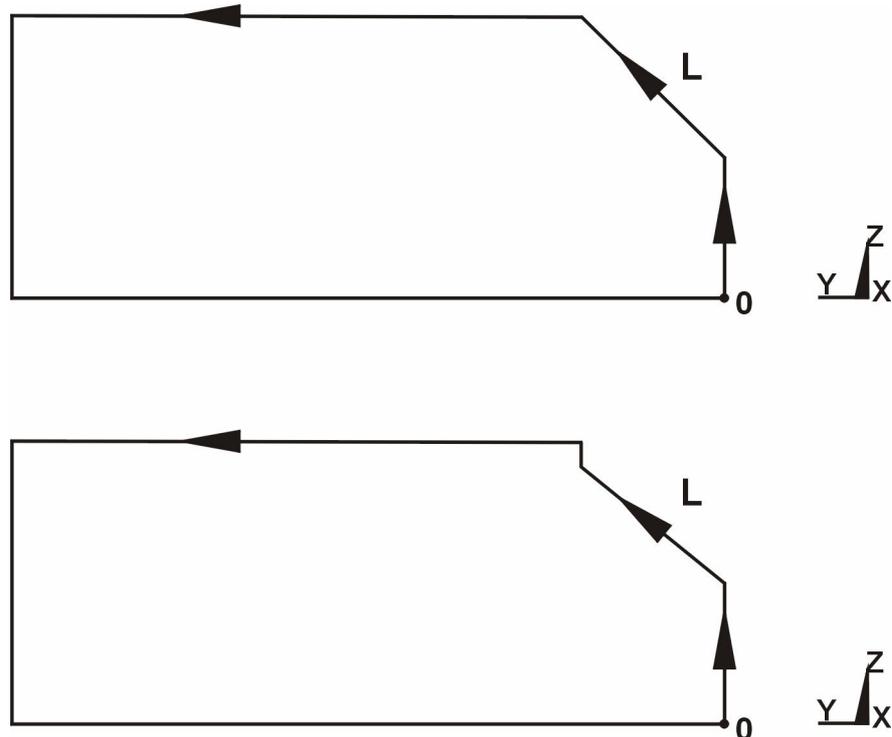


Рис. 10. Индикация пути L

На рис. 11 – 15 приняты следующие обозначения: 1 – в пластине с цилиндроконическим отверстием; 2 – в пластине с цилиндроконическим отверстием, заполненным крепежным элементом без натяга; 3 – в пластине с цилиндроконическим отверстием, заполненным крепежным элементом с натягом

1%; 4 – пластина с цилиндрическим отверстием, заполненным болтом с двухконусной потайной головкой с натягом 1% d_b .

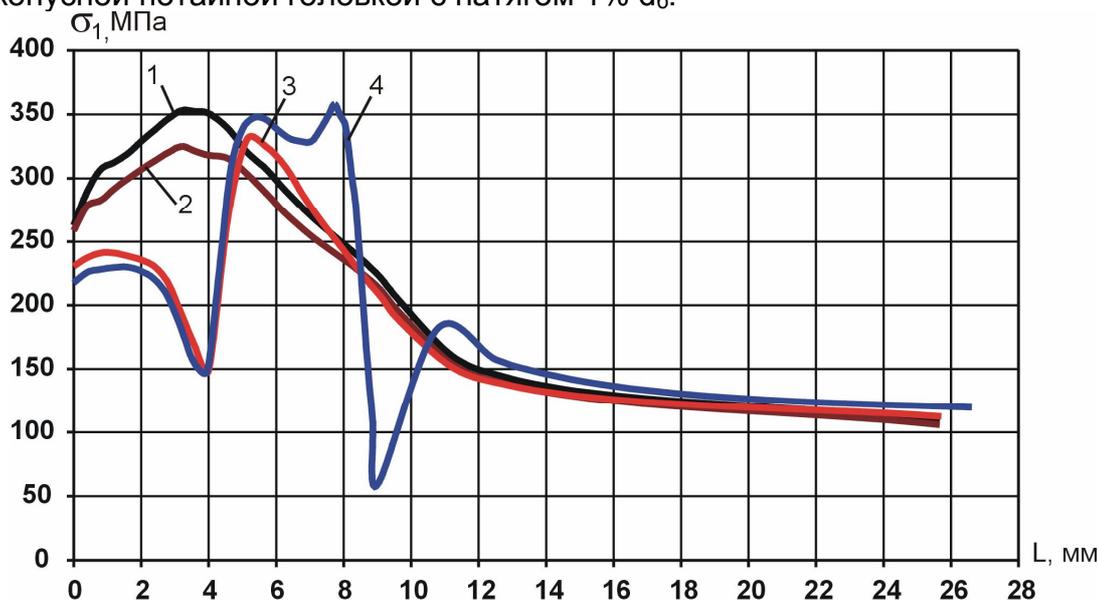


Рис. 11. Характер распределения главных растягивающих напряжений в сечении по оси отверстия вдоль пути L при уровне нагружения $\sigma_{бр} = 100$ МПа

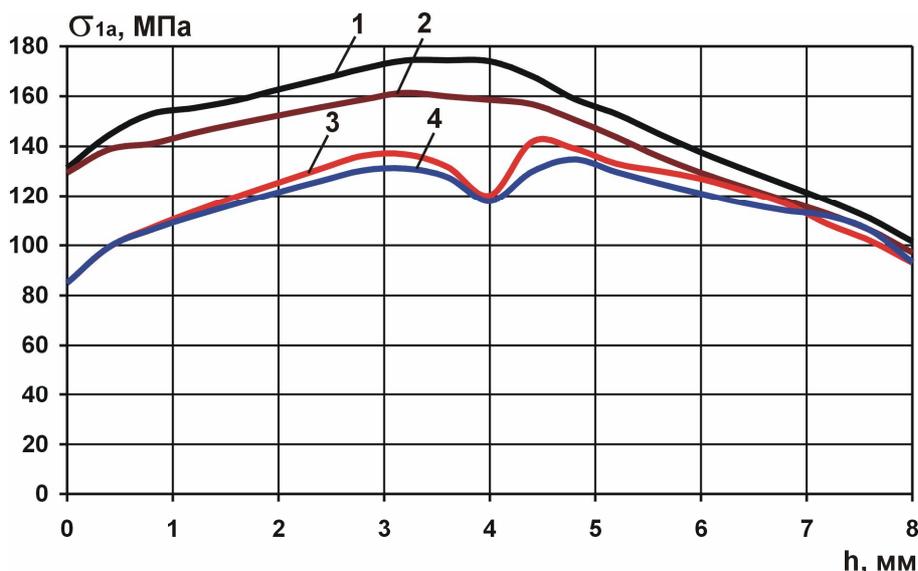


Рис. 12. Характер распределения амплитуды главных растягивающих напряжений в сечении по оси отверстия по высоте при уровне нагружения $\sigma_{бр} = 100$ МПа

Вычисленные параметры локального НДС в сечениях по оси отверстия приведены к отнулевому циклу нагружения с помощью формулы Одингга для вычисления максимальных значений отнулевого цикла.

Проанализировано влияние уровня нагружения на изменение максимальных главных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла (рис. 12 – 14).

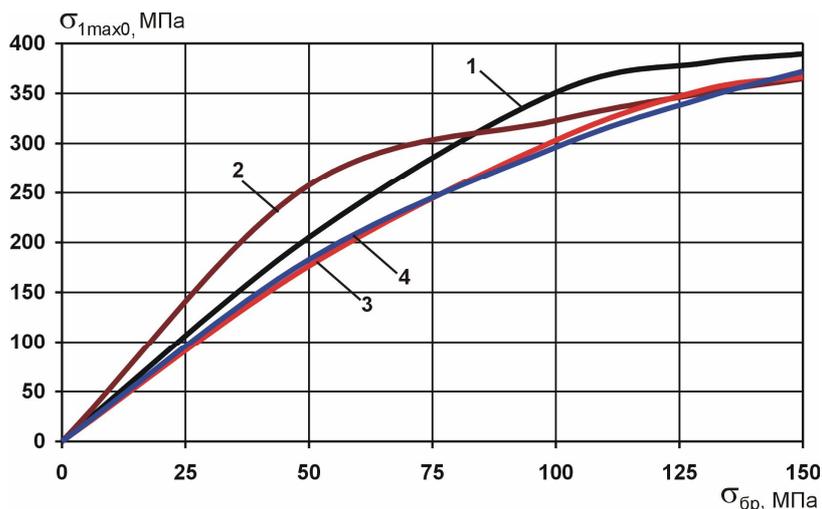


Рис. 13. Влияние уровня нагружения на распределение максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в пластине с цилиндроконическим отверстием

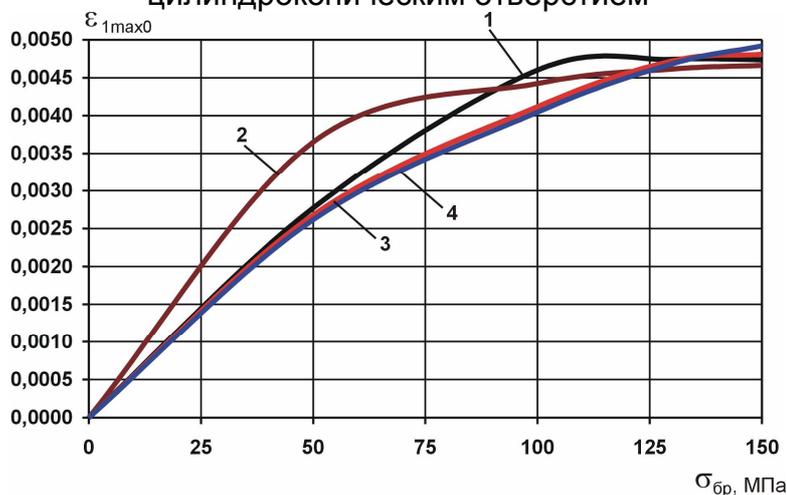


Рис. 14. Влияние уровня нагружения на распределение максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в пластине с цилиндроконическим отверстием

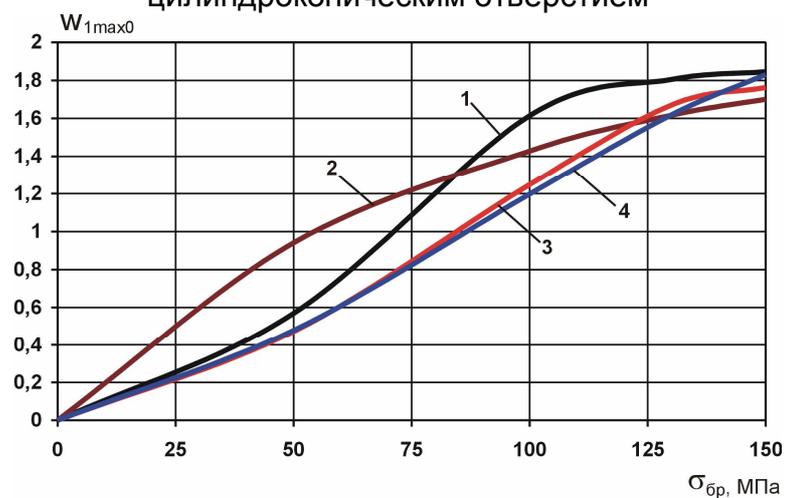


Рис. 15. Влияние уровня нагружения на распределение максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в пластине с цилиндроконическим отверстием

Анализ полученных результатов показал, что в зонах вероятного усталостного разрушения наблюдается концентрация напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования. Причем в зоне, расположенной на пересечении цилиндрической поверхности отверстия и конической поверхности зенковки, данные значения достигают своего максимума.

Расчеты показали, что радиальный натяг вызывает изменение характеристик локального НДС в зоне отверстия, что приводит к снижению максимальных главных растягивающих напряжений, деформаций и удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла.

Выводы

1. Проанализировано влияние формы потайного гнезда на характеристики локального НДС в пластине с цилиндроконическим отверстием, не заполненным крепежным элементом и заполненным крепежным элементом, установленным без натяга и с натягом $1\% d_6$.

2. Установка двухконусного болта с натягом по цилиндрической части отверстия и цилиндрической части гнезда вызывает изменение характера распределения главных растягивающих напряжений по толщине пластины в зоне отверстия, что приводит к смещению зоны максимальных главных растягивающих напряжений от концентратора.

3. Выявлено, что установка болта с двухконусной потайной головкой с натягом по цилиндрической части отверстия и цилиндрической части гнезда приводит к снижению величины максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в пластине с цилиндроконическим отверстием в 1,05–1,19 раза по сравнению с соответствующей величиной в пластине с цилиндроконическим отверстием, не заполненным крепежным элементом в диапазоне растягивающих напряжений в сечении брутто 50...150 МПа.

4. В диапазоне растягивающих напряжений в сечении брутто 50...150 МПа величина максимальных главных растягивающих деформаций эквивалентного отнулевого цикла в пластине с цилиндроконическим отверстием, заполненным двухконусным болтом, установленным с натягом 1% в сечении по оси отверстия, в 1,03-1,07 раза меньше соответствующей величины в пластине с цилиндроконическим отверстием, не заполненным крепежным элементом.

5. В диапазоне растягивающих напряжений в сечении брутто 50...150 МПа величина максимальной удельной энергии деформирования эквивалентного отнулевого цикла в пластине с цилиндроконическим отверстием, заполненным двухконусным болтом, установленным с натягом 1% в сечении по оси отверстия, в 1,1–1,35 раза меньше соответствующей величины в пластине с зенкованным отверстием, не заполненным крепежным элементом.

6. Снижение величины максимальных главных растягивающих напряжений эквивалентного отнулевого цикла в пластине с цилиндроконическим отверстием, заполненным двухконусным болтом, установленным с натягом $1\% d_6$, составляет 1,02 раза по сравнению с соответствующей величиной в пластине с цилиндроконическим отверстием, не заполненным крепежным элементом. Для максимальных главных растягивающих деформаций и удельной энергии деформирования данное снижение составляет 1,01-1,02 раза и 1,03-1,04 раза соответственно.

Список литературы

1. ANSYS Analysis Guide. Element Reference. Element Library. 001087. 4th Edition. SAS IP[®].
2. Авиационные материалы: в 8 т. / под общ. ред. д-ра техн. наук Р.Е. Шалина. – М.: ОНТИ, 1982. – Т.4: Алюминиевые и бериллиевые сплавы. – 627 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Буланов,
Национальный автодорожный университет, Харьков.

Поступила в редакцию 19.05.09

Аналіз впливу форми потайного гнізда на характеристики локального НДС в пластині з циліндроконічним отвором, заповненим потайним болтом

Розрахунковим шляхом доведено ефективність розробленого пріоритетного способу виконання болтового з'єднання, в якому потайний болт з двоконусною головкою встановлено у отвір з циліндроконічною зенківкою з радіальним натягом по циліндричному отвору та циліндричній частині зенківки.

Ключові слова: пластина з отвором, потайне гніздо, характеристика НДС, питома енергія деформування.

Impact analysis of countersunk slot shape on the local deflected mode characteristics in the plate with cylinder-conic countersink filled with countersunk bolt

Using numerical method there has been proved efficiency of developed advanced method of performing of bolted joint in which the countersunk bolt with double conical head is installed into the hole with cylinder-conic countersink with interference along cylindrical hole and cylindrical part of the countersink.

Keywords: plate with hole, countersunk slot, deflected mode characteristics, specific deformation energy.