

Влияние формы потайного гнезда в пластине с отверстием на характеристики её локального НДС при растяжении

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

Разработан метод определения влияния формы потайного гнезда в пластине с отверстием на характеристики локального НДС при растяжении с учётом пластичности и разгрузки. При изменении формы потайного гнезда в пластине с отверстием коэффициент концентрации максимальных напряжений отнулевого цикла изменяется в диапазоне от 2,47 до 4,1.

Ключевые слова: пластина, отверстие, локальное НДС, напряжение, деформация.

Решение задач, связанных с расчетом долговечности элементов конструкции на основе локального НДС, требует детального изучения характера НДС в зоне концентрации напряжений [1]. Новые возможности исследования влияния конструктивных параметров отверстия в пластине на характеристики локального НДС предоставляет система инженерного анализа ANSYS. Она позволяет применить такую последовательность определения влияния формы потайного гнезда на характеристики локального НДС при растяжении пластины с отверстием:

- 1) создание трёхмерной модели образца пластины с отверстием;
- 2) разработка расчетной схемы пластины с отверстием;
- 3) выбор модели материала пластины;
- 4) создание конечно-элементной модели пластины с отверстием;
- 5) задание граничных условий;
- 6) приложение внешних растягивающих напряжений;
- 7) решение задачи;
- 8) моделирование процесса разгрузки удалением внешних растягивающих напряжений;
- 9) решение задачи;
- 10) анализ характеристик локального НДС в пластине с отверстием.

Целью данной статьи является определение влияния формы потайного гнезда на характеристики локального НДС при растяжении пластины с отверстием. Рассмотрены шесть вариантов форм потайного гнезда в пластине: 1 – цилиндрическое отверстие; 2 – отверстие с зенковкой; 3 – отверстие с зенковкой и цековкой; 4 – отверстие с зенковкой и цековкой при уменьшенной высоте зенковки; 5 – отверстие со сферическим гнездом; 6 – ступенчатое отверстие. Для всех вариантов выполнения пластин их длина составляет 320 мм, ширина – 48 мм и толщина – 8 мм. Геометрические параметры для всех вариантов пластин с отверстием показаны на рис. 1.

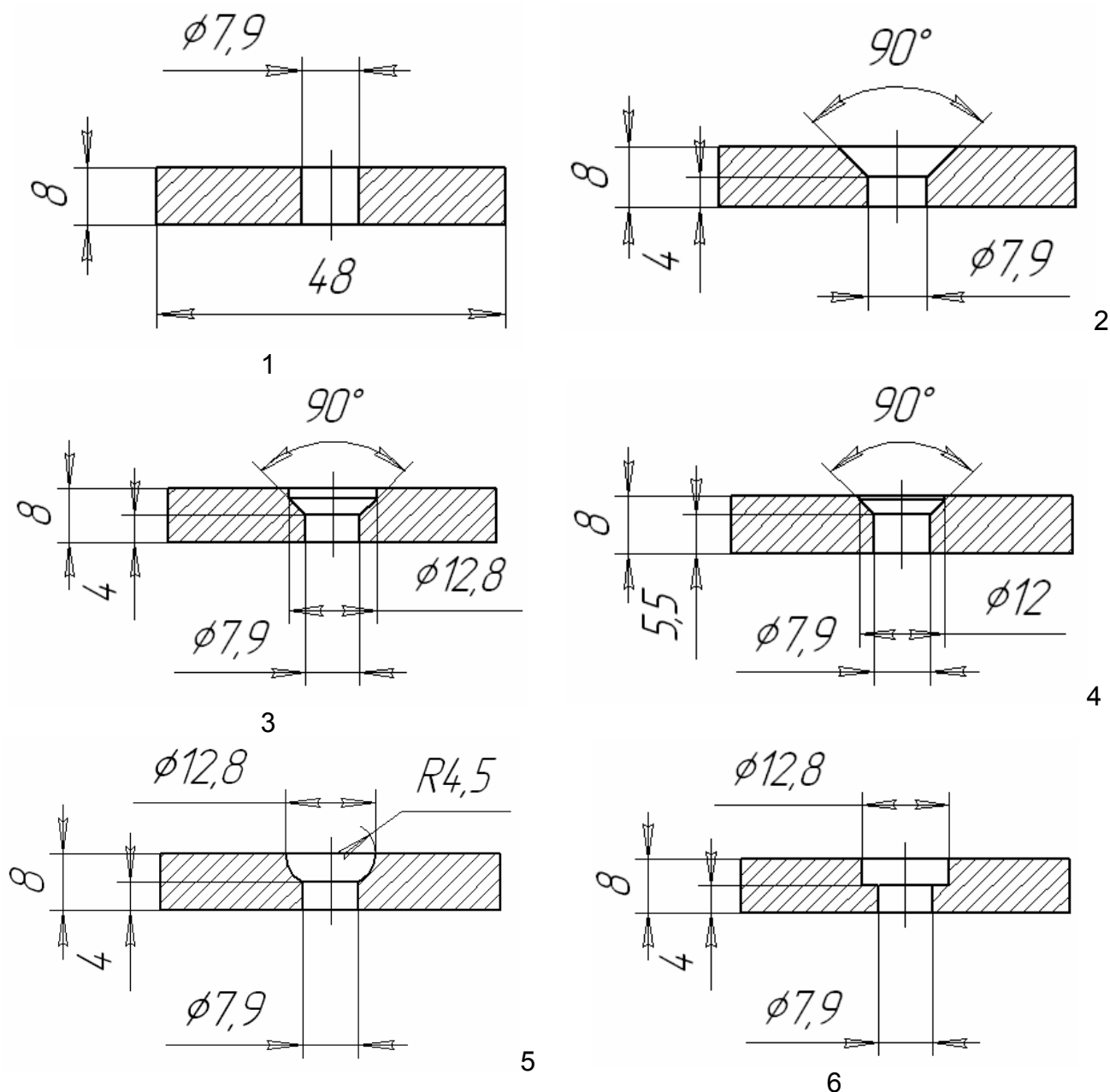


Рис. 1. Варианты выполнения отверстий в пластине

При решении поставленной задачи сначала для каждого варианта расчёта с помощью системы Unigraphics NX разрабатывали трёхмерную модель пластины с отверстием. Затем эту модель импортировали в систему ANSYS. Компьютерная модель пластины с отверстием, зенковкой и цековкой изображена на рис. 2.

Далее была разработана расчётная схема пластины с отверстием (рис. 3). Ввиду геометрической симметрии пластины относительно двух плоскостей расчёт проводили для четверти пластины, а действие отброшенных частей заменяли наложением соответствующих граничных условий.

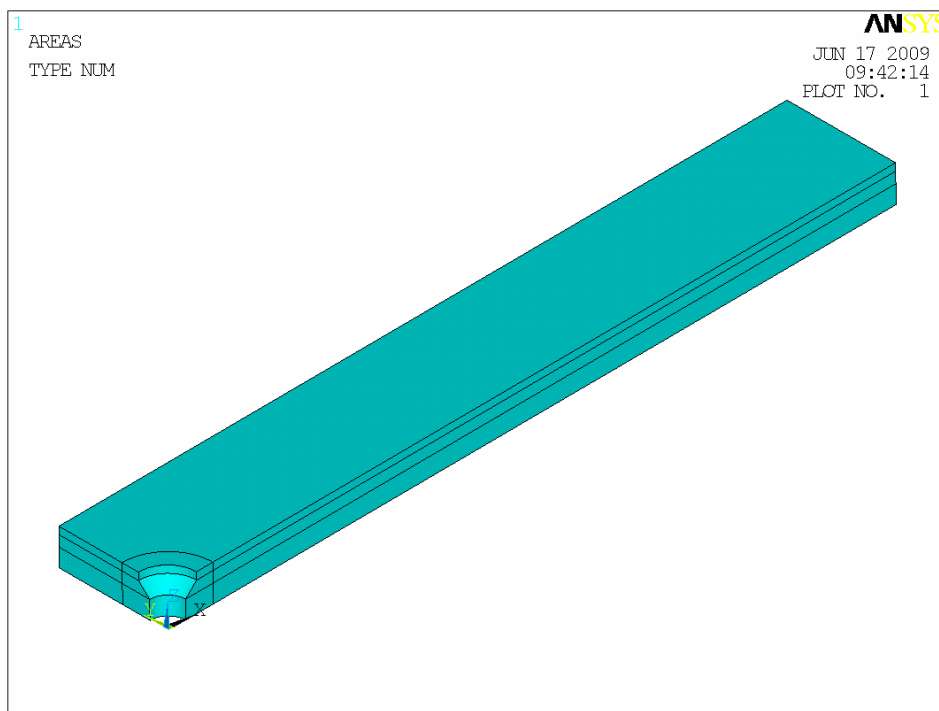


Рис. 2. Компьютерная модель пластины с отверстием, зенковкой и цековкой

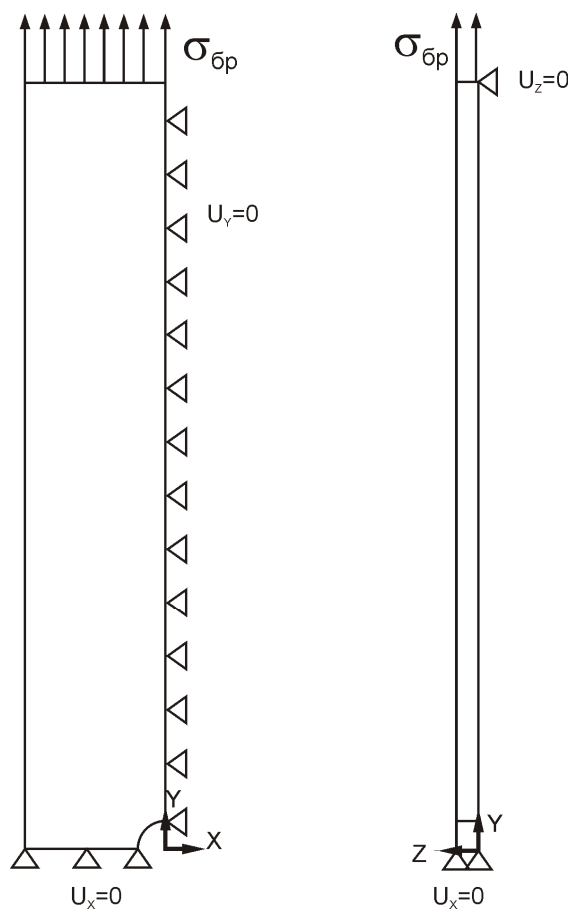


Рис. 3. Расчётная схема пластины с отверстием

Пластина выполнена из материала Д16Т, поэтому при расчёте принимали модуль упругости $E = 72000$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$ [2]. Для задания диаграммы деформирования в программу ANSYS вводили координаты точек на этой диаграмме, описывающие её вид.

При создании конечно-элементной модели учитывали тот факт, что при циклических нагрузках пластина разрушалась в зоне отверстия, поэтому в ней уменьшали размер конечных элементов до 0,2 мм. Конечно-элементную модель создавали с помощью элементов SOLID45 [3]. На рис. 4 показана конечно-элементная модель пластины с отверстием, зенковкой и цековкой.

В соответствии с принятой расчётной схемой на полученную конечно-элементную модель накладывали соответствующие граничные условия.

После этого задавали семь вариантов нагружения: $\sigma_{\text{бр}} = 50$ МПа, $\sigma_{\text{бр}} = 100$ МПа, $\sigma_{\text{бр}} = 0$ МПа, $\sigma_{\text{бр}} = 130$ МПа, $\sigma_{\text{бр}} = 0$ МПа, $\sigma_{\text{бр}} = 150$ МПа, $\sigma_{\text{бр}} = 0$ МПа. Нагружая пластину напряжениями $\sigma_{\text{бр}} = 0$ МПа моделировали процесс разгрузки после растяжения. Так как при нагружении $\sigma_{\text{бр}} = 50$ МПа пластические деформации не возникали, процесс разгрузки не проводили.

Затем задачу решали и анализировали полученные результаты.

При анализе локального НДС пластин с отверстиями строили зависимость главных растягивающих напряжений вдоль пути L для каждого варианта выполнения пластины и каждого варианта нагружения. Путь L представляет собой проекцию на вертикальную ось линии пересечения плоскости, перпендикулярной линии действия растягивающих усилий и поверхности отверстия (рис. 5).

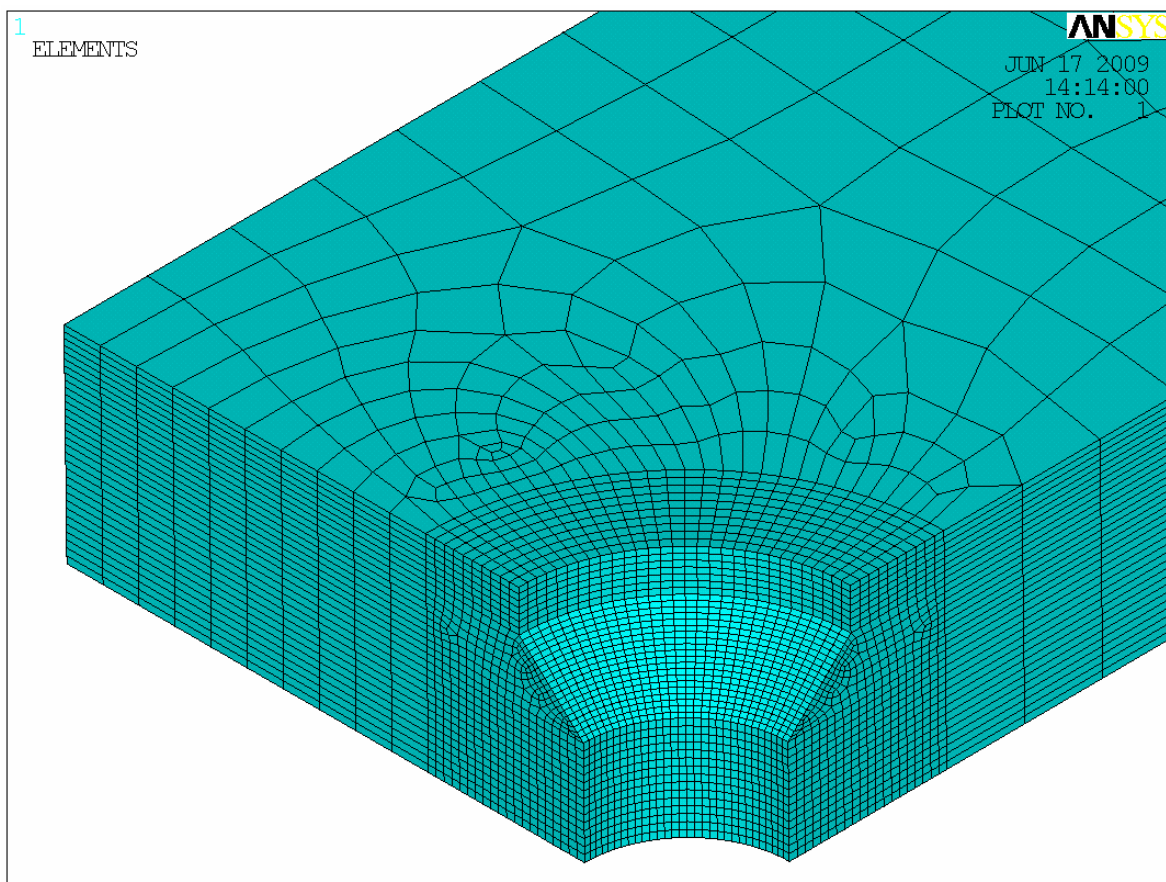


Рис. 4. Конечно-элементная модель пластины с отверстием, зенковкой и цековкой

Линия пересечения плоскости, перпендикулярной линии действия растягивающих усилий и поверхности отверстия

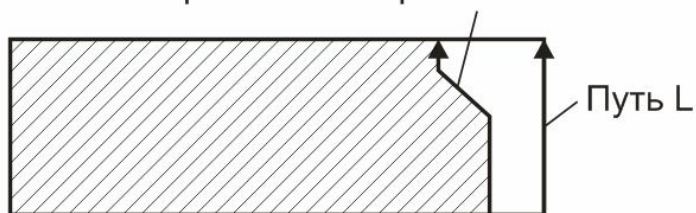


Рис. 5. Схема индикация пути L

На основе анализа характеристик полученного локального НДС было выявлено, что опасным сечением является сечение, перпендикулярное линии действия растягивающих усилий и проходящее через центр отверстия.

Характер распределения главных растягивающих напряжений в сечении по оси отверстия вдоль пути L показан на рис. 6-9.

Было определено также влияние уровня циклического нагружения на распределение максимальных главных напряжений отнулевого цикла, максимальных главных деформаций отнулевого цикла и максимальной удельной энергии деформирования (рис. 10-12).

Цифрами на рис.6-12 обозначены приведенные выше варианты пластин с отверстиями и потайными гнёздами.

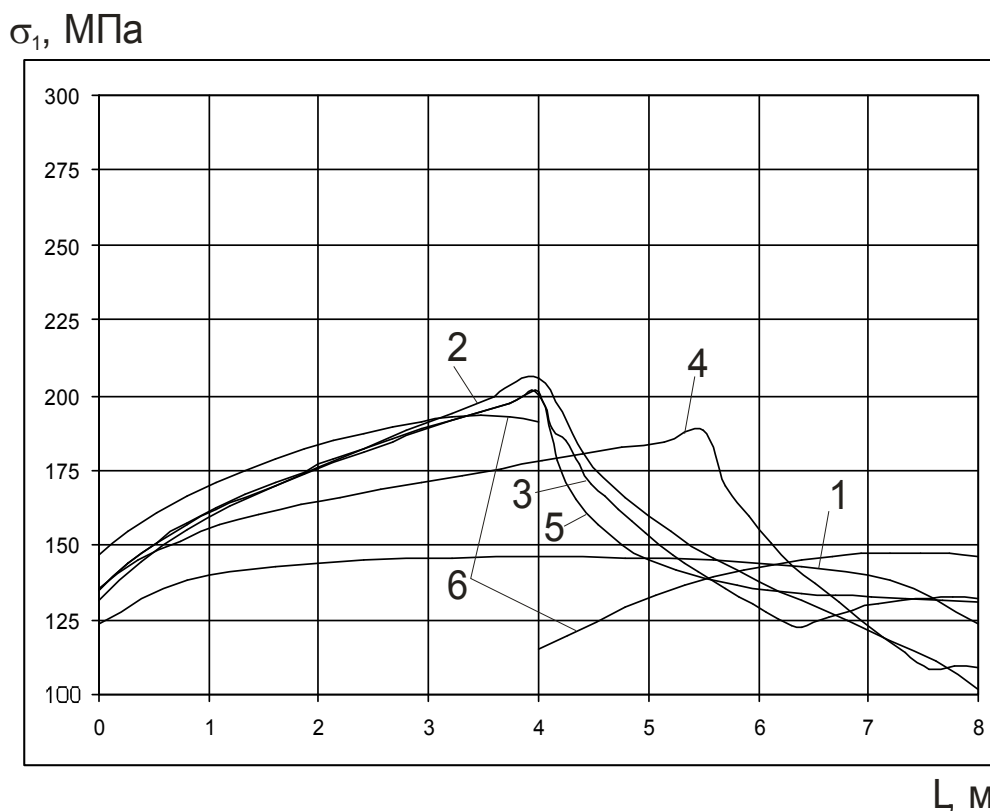


Рис. 6. Характер распределения главных растягивающих напряжений в сечении по оси отверстия вдоль пути L при уровне нагружения $\sigma_{\text{ср}} = 50$ МПа

σ_1 , МПа

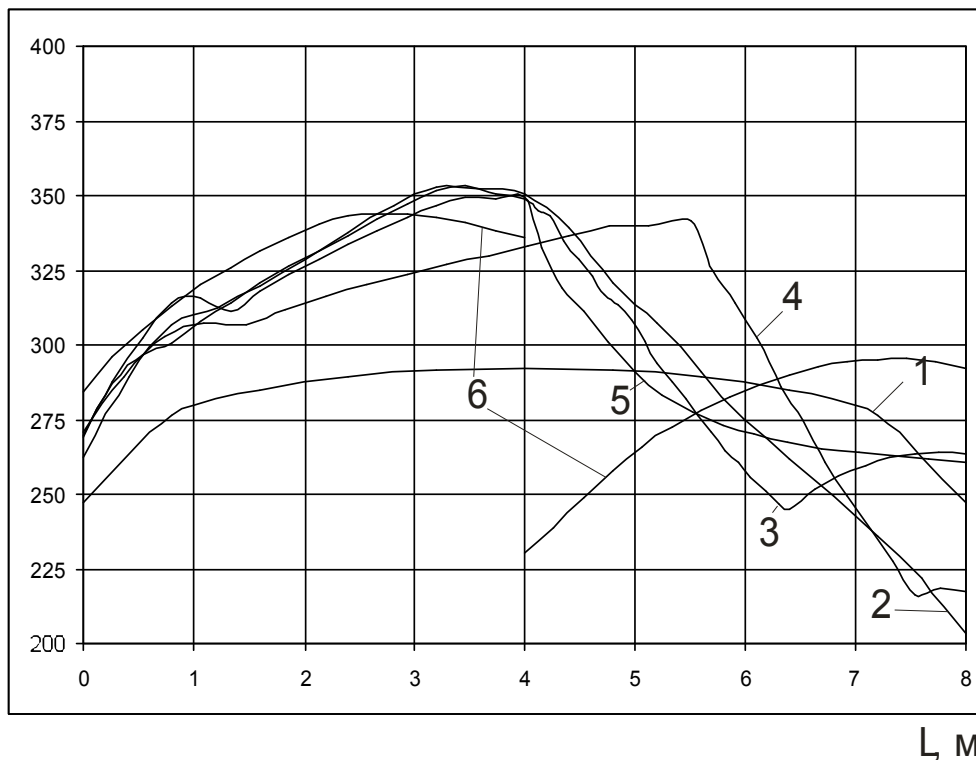


Рис. 7. Характер распределения главных растягивающих напряжений в сечении по оси отверстия вдоль пути L при уровне нагружения $\sigma_{бр} = 100$ МПа

σ_1 , МПа

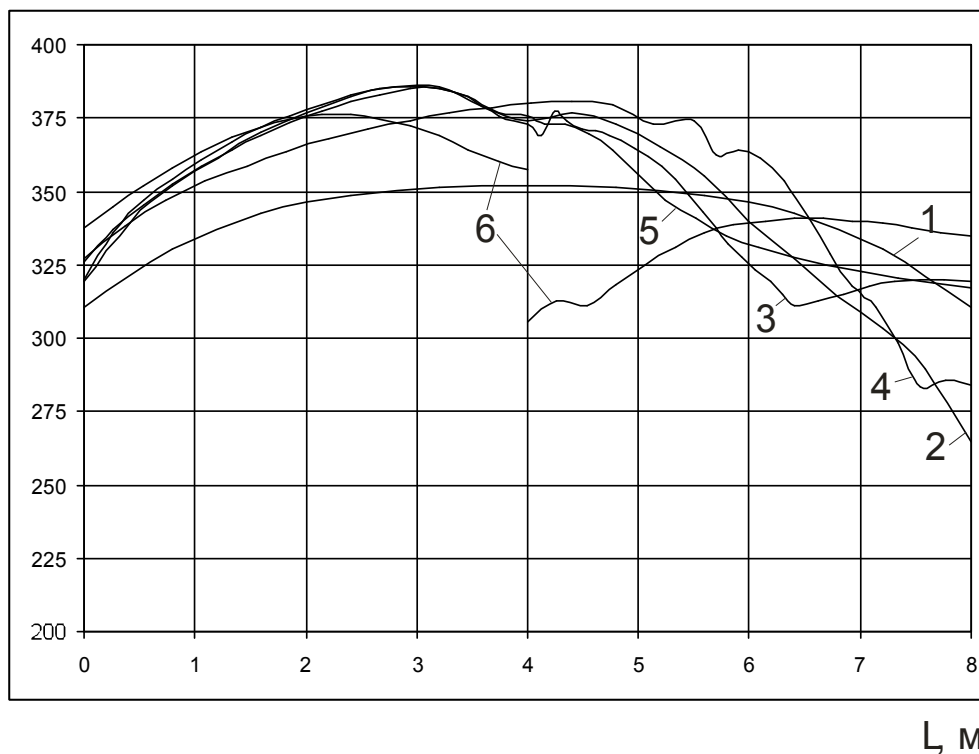


Рис. 8. Характер распределения главных растягивающих напряжений в сечении по оси отверстия вдоль пути L при уровне нагружения $\sigma_{бр} = 130$ МПа

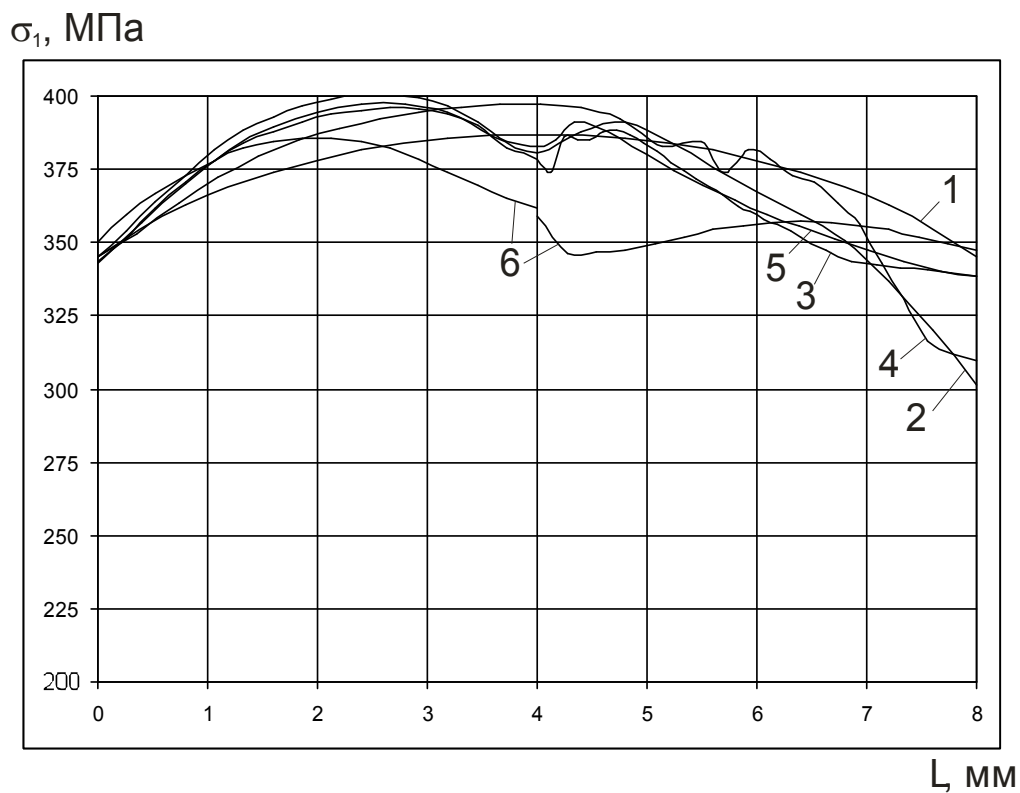


Рис. 9. Характер распределения главных растягивающих напряжений в сечении по оси отверстия вдоль пути L при уровне нагружения $\sigma_{бр} = 150$ МПа

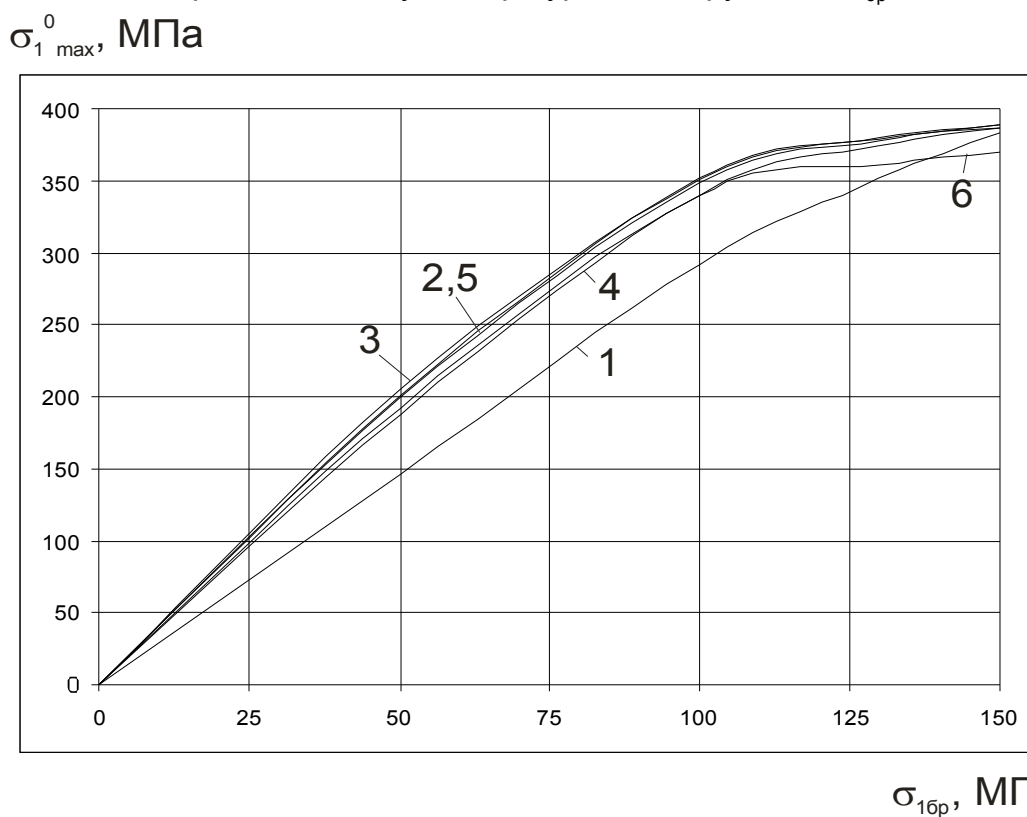
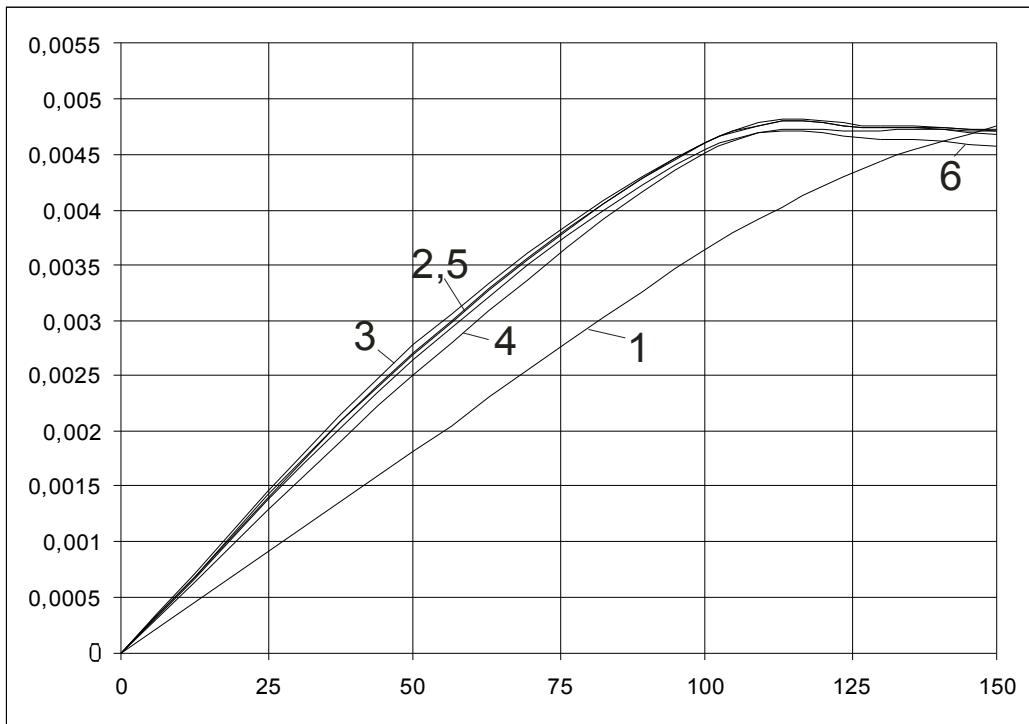


Рис. 10. Влияние уровня нагружения на распределение максимальных главных отнулевых напряжений в пластине с отверстием

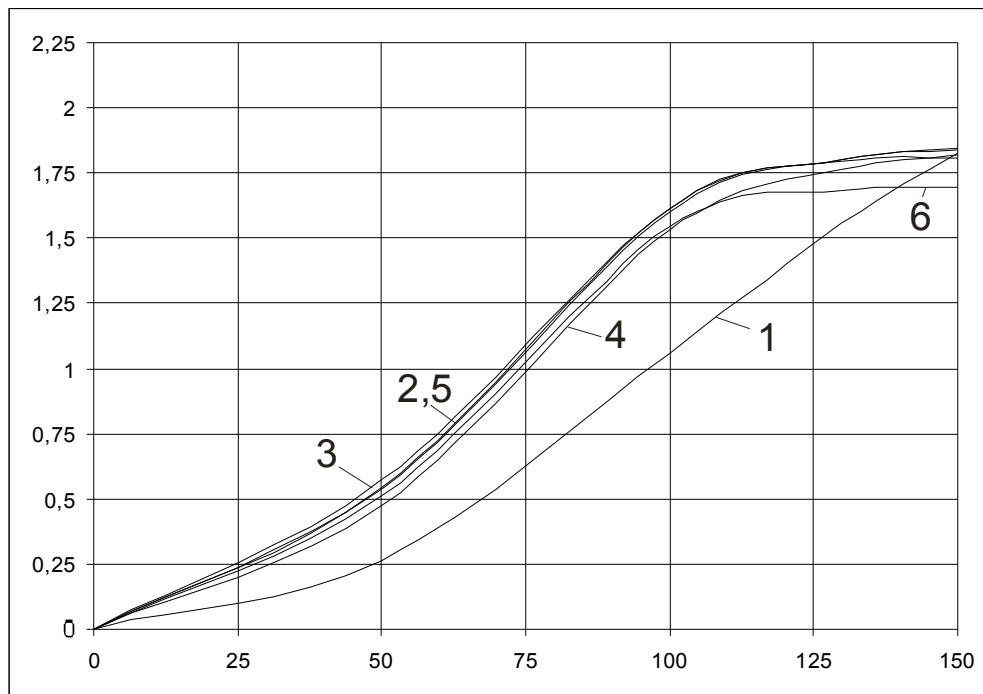
$\varepsilon_{1 \max}^0$, МПа



σ_{16p} , МПа

Рис. 11. Влияние уровня нагружения на распределение максимальных главных отнулевых деформаций в пластине с отверстием

$W_{1 \max}^0$, МПа



σ_{16p} , МПа

Рис. 12. Влияние уровня нагружения на распределение максимальной удельной энергии деформирования в пластине с отверстием

Выводы

1. Разработан метод определения влияния формы потайного гнезда в пластине с отверстием на характеристики локального НДС при растяжении с учётом пластичности и разгрузки.

2. В пластине с отверстием зоной наибольших напряжений и деформаций оказалась зона перехода потайного гнезда в цилиндрическую часть.

3. При нагружении пластины с зенкованным отверстием она изгибается выпуклостью вверх, достигая величины деформаций до 0,15 мм в сечении по оси отверстия при нагрузке 150 МПа, что свидетельствует о наличии изгибных напряжений, вызванных локальным эксцентриситетом нейтральной оси в пластине с зенкованным отверстием.

4. При изменении уровня нагружения от 50 до 150 МПа коэффициент концентрации максимальных напряжений отнулевого цикла уменьшается:

- с 2,93 до 2,56 в пластине с цилиндрическим отверстием;
- с 4,1 до 2,6 в пластине с отверстием и зенковкой;
- с 4,04 до 2,6 в пластине с отверстием, зенковкой и цековкой;
- с 3,77 до 2,58 в пластине с отверстием, зенковкой и цековкой при уменьшенной высоте зенковки;
- с 4 до 2,6 в пластине с отверстием и сферическим углублением;
- с 3,86 до 2,47 в пластине со ступенчатым отверстием.

5. При изменении уровня нагружения от 50 до 150 МПа коэффициент концентрации максимальных деформаций отнулевого цикла уменьшается:

- с 2,62 до 2,29 в пластине с цилиндрическим отверстием;
- с 3,99 до 2,25 в пластине с отверстием и зенковкой;
- с 3,91 до 2,24 в пластине с отверстием, зенковкой и цековкой;
- с 3,61 до 2,24 в пластине с отверстием, зенковкой и цековкой при уменьшенной высоте зенковки;
- с 3,88 до 2,27 в пластине с отверстием и сферическим углублением;
- с 3,81 до 2,2 в пластине со ступенчатым отверстием.

6. При увеличении уровня нагружения от 50 до 150 МПа зона наибольших напряжений смещается вниз от зоны перехода цилиндрической части отверстия в потайное гнездо. Это смещение для разных вариантов выполнения отверстий лежит в диапазоне 0...2,8 мм.

7. Результаты данной работы могут применяться для дальнейших исследований по уменьшению концентрации напряжений в зоне перехода потайного гнезда в цилиндрическую часть.

Список литературы

1. Гребеников А.Г. Исследование концентрации напряжений в пластине с цилиндрическим отверстием методом конечных элементов в системе ANSYS 5.3. / А.Г. Гребеников, П.А. Дыбский, О.Г. Даниленко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – Вып.1. – Х., 1998. – С. 48-60.

2. Авиационные материалы / под общ. ред. д-ра техн. наук Р.Е. Шалина. – М.: ОНТИ, 1982. – Т.4: Алюминиевые и бериллиевые сплавы. – 627 с.

3. ANSYS Analysis Guide. Element Reference. Element Library. 001087. 4th Edition. SAS IP©.

Рецензент: кандидат технических наук, доцент Е.Т. Василевский
АНТК им. О.К. Антонова, Киев

Поступила в редакцию 15.06.09

Вплив форми потайного гнізда у пластині з отвором на характеристики її локального НДС при розтягуванні

Розроблено метод визначення впливу форми потайного гнізда в пластині з отвором на характеристики локального НДС при розтягуванні з урахуванням пластичності й розвантаження. При зміні форми потайного гнізда в пластині з отвором коефіцієнт концентрації максимального напруження отнульового циклу змінюється в діапазоні від 2,47 до 4,1.

Ключові слова: пластина, отвір, локальний НДС, напруження, деформація.

Influence of form of secret nest in a plate with opening on descriptions of its local deflected mode at tension

The method of determination of influence of form of secret nest is developed in a plate with opening on descriptions of local VAT at tension taking into account plasticity and unloading. At the change of form of secret nest in a plate with opening the coefficient of concentration of maximal tensions of otnulevogo cycle changes in a range from 2,47 to 4,1.

Keywords: plate, opening, local deflected mode, stress, deformation.