

УДК 621.762, 620.10

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ШЕЙКИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ КРУГЛОГО ОБРАЗЦА

Г.Л. Петросян, М.А. Маргарян, А.К. Карапетян

Национальный политехнический университет Армении

Одним из важнейших методов определения механических свойств материала является испытание на растяжение пластического деформируемого образца круглого поперечного сечения. При малых пластических деформациях напряженное состояние образца является одноосным. С увеличением пластических деформаций в образце образуется шейка, в которой происходит довольно сложная концентрация напряжений (объемное неоднородное напряженное состояние). Исходя из вышеизложенного, начальная микропористость в материале возрастает, вокруг неметаллических включений различного происхождения образуются дополнительные поры, которые, соединяясь друг с другом, образуют трещины, и образец разрушается.

В исследовании были использованы известные в литературе теоретические и экспериментальные данные, которые учитывают пористость материала и изменение напряженного состояния в шейке (из одноосного к трехосному), определены величины постепенного изменения пористости материала до и после образования шейки образца и в различных точках его наименьшего поперечного сечения. При решении этих задач были приняты допущения, точность которых можно оценить с использованием численных методов.

Проведено моделирование процесса растяжения металлического образца в программной среде ABAQUS. Решение задачи осуществлялось при разных величинах перемещения с обоих концов образца. Получены данные напряженно-деформированного состояния и произведен анализ этих данных.

С использованием четырехгранных CAX4R и трехгранных CAX3 элементов получена конечно-элементная сетка образца. Выбраны характеристики упругости (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность материала) и пластичности при разных степенях деформирования (данные графика деформирования) материала.

Ключевые слова: пластическая деформация, растяжение, шейка, пористость, напряженное состояние, степень деформирования, напряжение Мизеса.

Введение. В [1] на основе теории пластического течения пористых материалов [2] определены величины постепенного изменения пористости материала до и после образования шейки круглого образца в различных точках наименьшего поперечного сечения. Используются известные в литературе

теоретические и экспериментальные данные [3-5], которые учитывают изменение напряженного состояния в шейке - из одноосного к трехосному.

При решении этой задачи относительно наименьшего поперечного сечения шейки круглого образца были приняты следующие допущения [2-5]:

1) равенство окружных (σ_θ) и радиальных (σ_r) напряжений; 2) при степени деформирования постоянство интенсивности деформаций (ε_i) и напряжения (σ_i).

Целью работы является разработка метода компьютерного моделирования в автоматизированной программной среде (АПС) ABAQUS процесса образования шейки растянутого круглого образца при различных величинах перемещения его торцов, а также сопоставление полученных результатов с теоретическими данными и их анализ.

Исходные данные задачи. Моделирование осуществлялось в программной среде SIMULIA (ABAQUS) при следующих исходных данных: общая длина образца – 140 мм; радиус образца на краях – 20 мм, в центре – 10 мм; разделение сетки конечных элементов: количество узлов – 585, тип четырехгранных элементов – CAX4R, количество – 498; тип трехгранных элементов – CAX3, количество – 6; общее число элементов – 504.

Данные материала: плотность – 7800 кг/м³, модуль Юнга – 210 ГПа, коэффициент Пуассона – 0.3. Данные графика деформирования материала при разных степенях деформирования:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i = 0 &\rightarrow \sigma_i = 375, & \varepsilon_i = 0.025 &\rightarrow \sigma_i = 425, \\ \varepsilon_i = 0.05 &\rightarrow \sigma_i = 470, & \varepsilon_i = 0.075 &\rightarrow \sigma_i = 490, \\ \varepsilon_i = 0.1 &\rightarrow \sigma_i = 495 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (1)$$

Определение компонентов напряженно-деформированного состояния при моделировании процесса образования шейки в АПС. При решении задачи рассматривались следующие величины перемещений концов круглого образца: 3 мм, 6 мм и 9 мм. На рис. 1 приведена схема моделирования половины осесимметричного образца.

В результате решения задачи в АПС ABAQUS были получены все компоненты напряженно-деформированного состояния образца, а их обработка выполнялась в программной среде MS EXCEL.

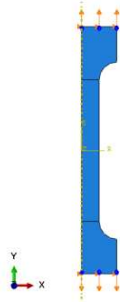


Рис. 1. Схема растяжения половины круглого образца

На рис. 2-7 показаны данные интенсивностей деформации (ε_i) и напряжения (σ_i), а также компоненты напряжений (осевого - σ_z , касательного - τ_{rz} , радиального - σ_r и окружного - σ_θ) для следующих случаев перемещения концов образца: 3 мм (а), 6 мм (б) и 9 мм (в).

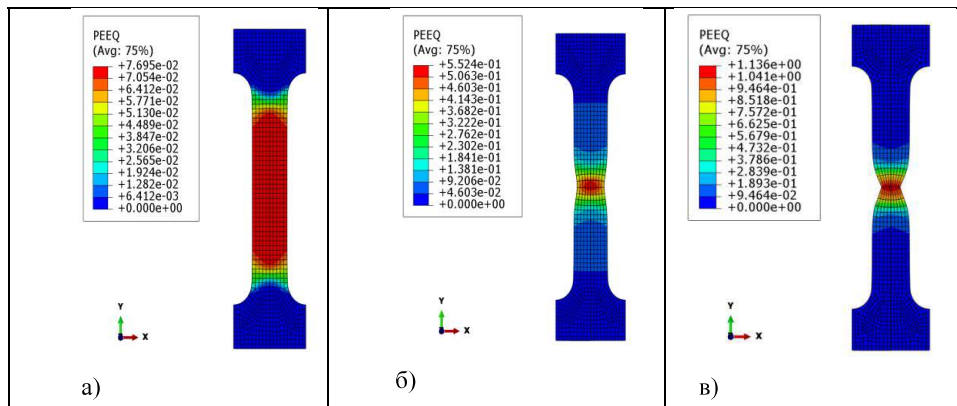


Рис.2. Данные распределения интенсивности деформации ε_i в диаметральных сечениях образцов с различными степенями деформирования

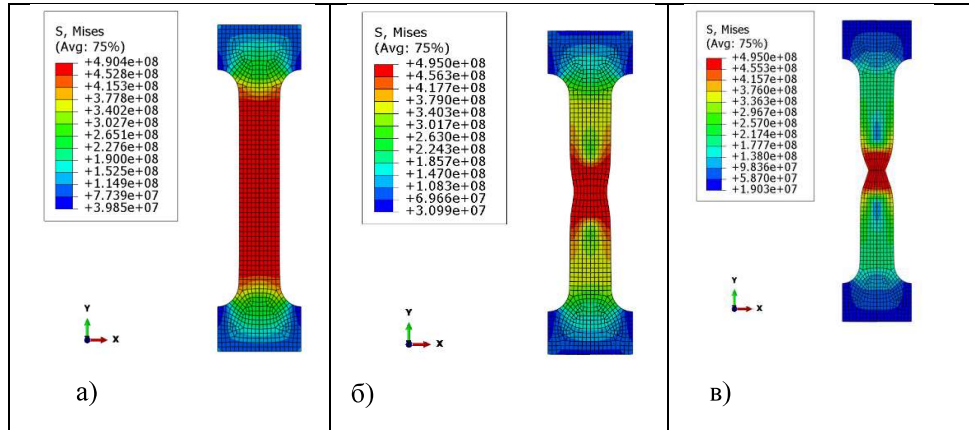


Рис. 3. Данные распределения интенсивности напряжения σ_i в диаметральных сечениях образцов с различными степенями деформирования

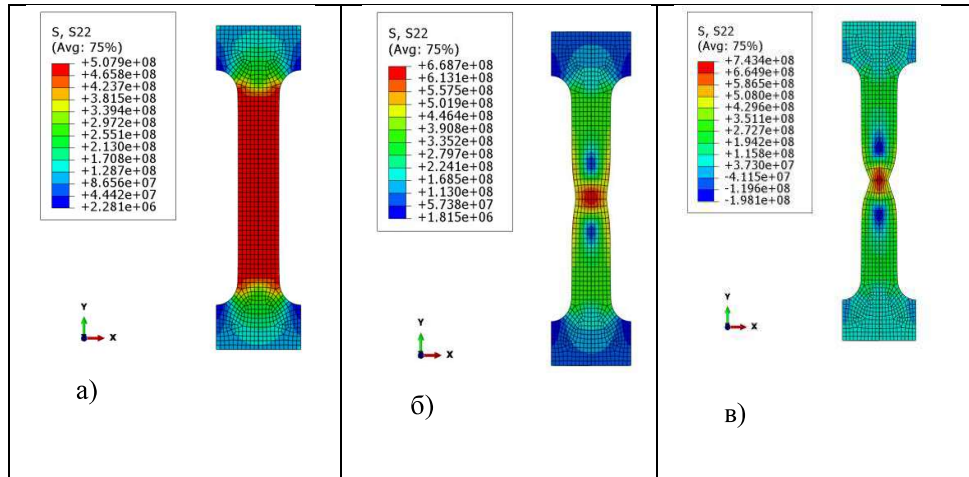


Рис.4. Данные распределения осевого напряжения σ_z в диаметральных сечениях образцов с различными степенями деформирования

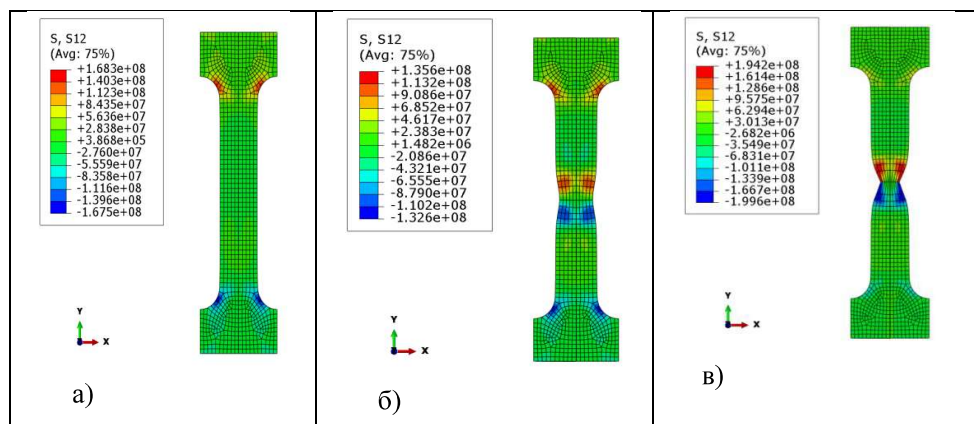


Рис.5. Данные распределения касательного напряжения τ_{rz} в диаметральных сечениях образцов с различными степенями деформирования

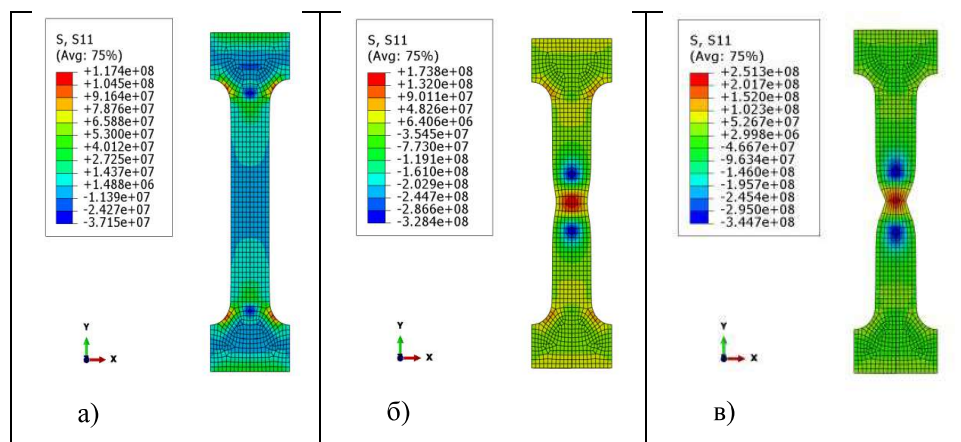


Рис.6. Данные распределения радиального напряжения σ_r в диаметральных сечениях образцов с различными степенями деформирования

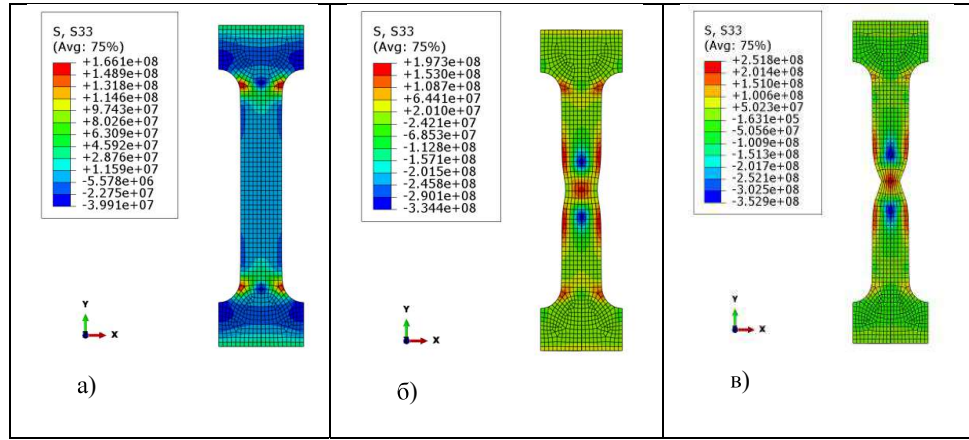


Рис.7. Данные распределения окружного напряжения σ_{θ} в диаметральных сечениях образцов с различными степенями деформирования

Сопоставление полученных данных ε_i (рис. 2) и σ_i (рис. 3) при различных степенях деформации образцов: $(\varepsilon_i)^{\max} = 0,077; 0,552; 1,136$, показывает, что: 1) в случае (а) при $(\varepsilon_i)^{\max} = 0,077$ образец деформируется однородно (на образце отсутствует шейка), и имеем одноосное напряженное состояние; 2) в случаях (б) и (в) видны шейки на образцах и постепенное концентрирование зоны шеек, при этом напряженное состояние становится трехосным; 3) при данной степени деформирования постоянство интенсивности деформации (ε_i) и напряжения (σ_i), т.е. подтверждается первое допущение, принятое при решении задачи аналитическим методом [2-5].

Результаты полученных величин напряженного состояния (рис. 4-7) показывают: 1) наибольшими напряжениями являются осевые - σ_z (рис.4): они в несколько раз больше по сравнению с остальными; 2) касательные напряжения - τ_{rz} (рис. 5) в наименьшем поперечном сечении шейки меняют знак (в этих точках отсутствуют τ_{rz}); 3) величины окружных - σ_{θ} (рис.б) и радиальных - σ_r (рис.7) напряжений мало отличаются друг от друга, т.е. подтверждается второе допущение, принятое при решении задачи аналитическим методом [2-5]: $\sigma_r \approx \sigma_{\theta}$.

Практически большое значение имеет учет о распределении нормальных напряжений в наименьшем поперечном сечении шейки. С этой целью по данным рис. 4 для случаев (б) и (в) были найдены величины осевых напряжений и построены графики $\sigma_z - r$ (рис. 8 и 9). Что касается графиков $\sigma_r \approx \sigma_{\theta}$, то они подобны $\sigma_z - r$.



Рис. 8. График $\sigma_z - r$ в случае перемещения концов образца 6 мм (радиус в наименьшем поперечном сечении шейки образца равен ≈ 8 мм)

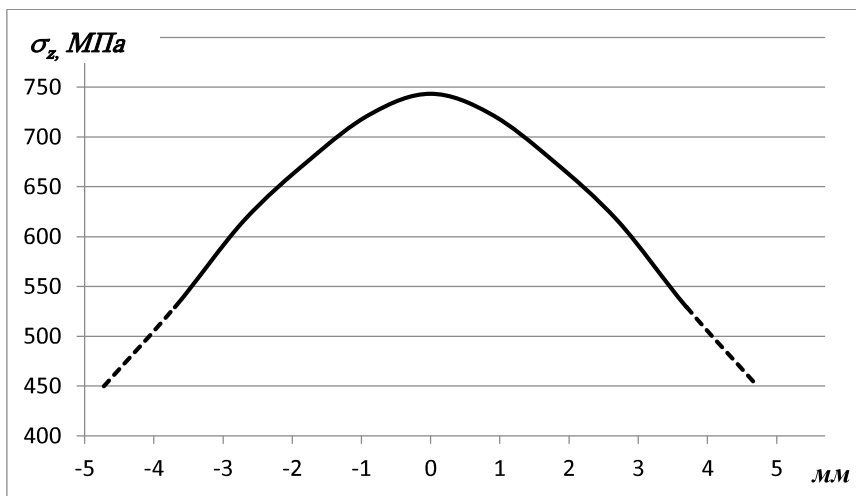


Рис. 9. График $\sigma_z - r$ в случае перемещения концов образца 9 мм (радиус в наименьшем поперечном сечении шейки образца равен ≈ 5 мм)

Заключение. Разработан метод моделирования процесса образования шейки при растяжении круглого образца в АПС ABAQUS. Рассмотрены три степени деформирования круглого образца (0,077 – однородное деформирование: отсутствует шейка; 0,552 и 1,136 – неоднородное

деформирование: имеется шейка). Для каждой степени деформации получены данные всех компонентов напряженно-деформированного состояния образца.

Построен график распределения компонентов напряженного состояния. Показано, что наибольшими напряжениями являются осевые - σ_z (рис.4): они в несколько раз больше по сравнению с остальными. По данным рис. 4, для случаев перемещения концов образца на 6 мм и 9 мм найдены величины осевых напряжений и построены графики $\sigma_z - r$, из которых следует, что наибольшее напряжение имеем в центре поперечного сечения шейки.

Полученные данные подтверждают допущения относительно наименьшего поперечного сечения шейки, принятые в [2-5] при решении задачи аналитическими методами, а именно: $\sigma_r = \sigma_\theta$.

Литература

1. **Петросян Г.Л., Карапетян А.К.** Особенности учета начальной малой пористости в шейке растянутого круглого образца // Межвуз. сборник "НАУКОВИ НОТАТКИ". - Луцк, 2016.- Вып. N54. - С. 241-245.
2. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1988. - 153 с.
3. **Малинин Н.Н., Петросян Ж.Л.** Напряжения в наименьшем сечении шейки растянутого круглого образца // Известия вузов. Сер. Машиностроение. – 1967. - № 6. - С. 34-39.
4. **Бриджмен П.** Исследование больших пластических деформаций и разрыва: Пер. с англ. - М.: Иностр. лит., 1955.- 444 с.
5. **Давиденков Н.Н., Спиридова Н.И.** Анализ напряженного состояния в шейке растянутого образца // Заводская лаборатория. - 1945. - № 6.

*Поступила в редакцию 03.12.2018.
Принята к опубликованию 18.12.2018.*

**ԿԼՈՐ ՆՄՈՒՇԻ ԶԳՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՎՋԻԿԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ
ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ**

Գ.Լ. Պետրոսյան, Մ.Ա. Մարգարյան, Ա.Կ. Կարապետյան

Կլոր հատույթով պլաստիկ դեֆորմացվող նմուշների առանցքային ձգման դեպքում փորձարկումը նյութի մեխանիկական հատկությունների որոշման կարևորագույն մեթոդն է: Փոքր պլաստիկ դեֆորմացումների դեպքում նմուշի լարվածային վիճակը միառանցք է: Պլաստիկ դեֆորմացումների մեծացման հետ մեկտեղ նմուշում առաջանում է վզիկ, որտեղ տեղի է ունենում լարումների բավականին բարդ կենտրոնացում (ծավալային ոչ համասեռ լարվածային վիճակ): Դրա հետևանքով նյութի միկրոձակոտկենությունը մեծանում է, տարբեր ծագումներով ոչ մետաղական ներառումների շուրջն առաջանում են լրացուցիչ ծակոտիներ, որոնք միանալով իրար՝ առաջացնում են ճաքեր, և նմուշը քայքայվում է:

Գրակալականության մեջ հայտնի են տեսական և փորձարարական տվյալներ: Հաշվի են առնվել նյութի ծակոտկենությունը և վզիկում լարվածային վիճակի փոփոխությունը (միառանցքայինից եռառանցքայինի) ամենափոքր լայնական հատույթում վիզկի առաջացման պահից առաջ և հետո, ինչպես նաև դրա ամենափոքր լայնական հատույթի տարբեր կետերում որոշվել են նյութի ծակոտկենության աստիճանաբար փոփոխության մեծությունները: Այս խնդիրների լուծման ժամանակ ընդունվել են ենթադրություններ, որոնց ճշտությունը կարելի է գնահատել՝ օգտագործելով թվային մեթոդները:

Մետաղական նմուշի ձգման գործընթացը մոդելավորվել է ABAQUS ծրագրային միջավայրում: Խնդիրը լուծվել է նմուշի երկու կողմից տեղափոխությունների տարբեր արժեքների դեպքում: Ստացվել են լարվածադեֆորմացիոն վիճակի տվյալները, և կատարվել է այդ տվյալների վերլուծություն:

Նմուշի վերջավոր տարրերի ցանցը ստացվել է քառանկյուն CAX4R և եռանկյուն CAX3 տիպի տարրերի օգտագործմամբ: Ընտրվել են առաձգականության (Յունգի մոդուլ, Պուասոնի գործակից, նյութի խտություն) և նյութի դեֆորմացման տարբեր աստիճաններում պլաստիկության (նյութի դեֆորմացման գրաֆիկի տվյալները) բնութագրերը:

Առանցքային բառեր. պլաստիկ դեֆորմացում, ձգում, վզիկ, ծակոտկենություն, լարվածային վիճակ, դեֆորմացման աստիճան, Միզեսի լարում:

COMPUTER MODELING OF THE PROCESS OF NECK FORMATION AT TENSION OF A ROUND SAMPLE

G.L. Petrosyan, M.A. Margaryan, A.K. Karapetyan

The tensile test of a plastic deformed circular cross section sample is one of the most important method for determining the mechanical properties of a material. At small plastic deformations, the stress state of the sample is uniaxial. With an increase of plastic deformations, a neck is formed in the sample, where there is quite complex concentration of stresses (three dimensional unhomogenous stress state), due to which the initial microporosity in the material increases, additional pores are formed around nonmetallic inclusions of different origin, which, being connected with each other, make cracks, and the sample is destroyed.

Theoretical and experimental data known in literature have been used in the study, taking into account the porosity of the material and the change in the stress state in the neck (from uniaxial to triaxial), the values of the gradual change of the porosity of the material before and after the formation of the neck and at various points of its smallest cross section have been determined. While solving these problems, assumptions were admitted the accuracy of which can be estimated by using numerical methods.

The tension test of a metal sample was modeled in the ABAQUS software environment. The problem was solved for different values of displacement from both ends of the sample. Data on the stress-strain state were obtained, and the analysis of these data was carried out.

The finite element mesh of the sample in ABAQUS was obtained, using the tetrahedral CAX4R and trihedral CAX3 elements. The characteristics of elasticity (Young's modulus, Poisson's ratio, material density) and plasticity at different degrees of deformation (data of the deformation graph) of the material were chosen.

Keywords: plastic deformation, tension, neck, porosity, stress-state, deformation degree, von Mises stress.