

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ШАРОВОГО ШАРНИРА

*А.М. Овчинников*

Шарнирные узлы являются одними из наиболее нагруженных силовых элементов конструкций. В известных методах расчёта [1, 2] шарниров и шарнирных проушин распределение контактных давлений между деталями шарнира в расчётной схеме принимается обычно по результатам испытаний аналогичных конструкций.

В работе [5], на основе конечно-элементной расчётной модели шарового шарнира, показанного на рис. 1 выявлено, что на распределение напряжений в конструкции и их максимальные значения существенное влияние оказывает контактное взаимодействие деталей шарнира.

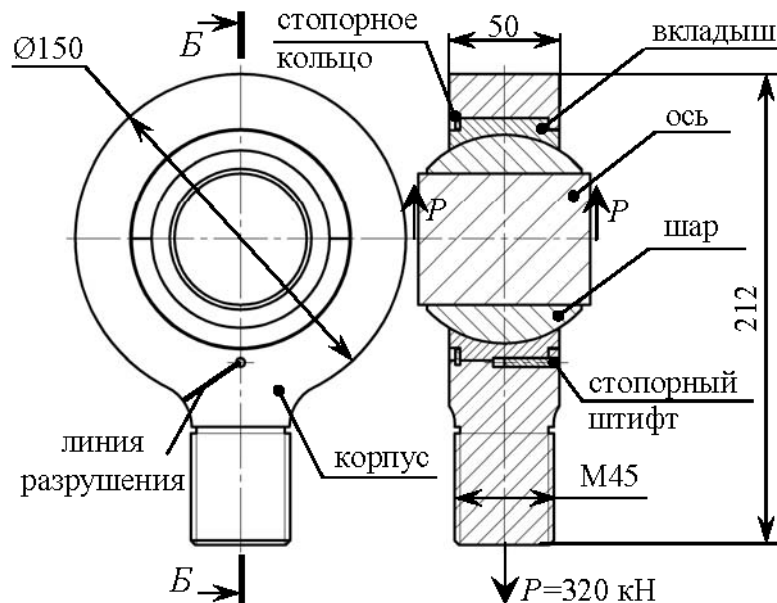


Рис. 1. Конструктивная схема шарового шарнира

Определены зоны корпуса шарнира, наиболее опасные с точки зрения разрушения [6]. На наружной поверхности корпуса такой зоной является середина скругления на переходе от кольцевой части корпуса к резьбовому хвостовику. Максимальное растягивающее напряжение в этой точке достигает  $\sigma_1 = 627$  МПа, а эквивалентное по Мизесу  $\sigma_{\text{экр}} = 580$  МПа ( $\sigma_{0,2} = 800$  МПа).

В области с максимальным растягивающим напряжением  $\sigma_1=627$  МПа смоделировано возможное развитие поверхностной трещины при постоянной нагрузке.

Начальное направление роста трещины выбрано по нормали к поверхности по критерию максимальных растягивающих напряжений [3]. Согласно этому критерию распространение трещины происходит в плоскости, для которой нормальное растягивающее напряжение имеет максимальное значение.

Будем считать, что при выполняющемся условии срагивания трещины

$$\frac{K_I}{K_{Ic}} + \frac{K_{II}}{K_{IIc}} \geq 1$$

она подрастает с шагом 0,1 мм в направлении прямой, которая образует с проведённой в вершине трещины касательной (рис. 2) угол [4]:

$$\theta = 2 \arctan \left( \frac{K_I - \sqrt{K_I^2 + 8K_{II}^2}}{4K_{II}} \right).$$

Здесь  $K_I$  и  $K_{II}$  – действующие коэффициенты интенсивности напряжений,  $K_{Ic}$  и  $K_{IIc}$  – критические коэффициенты интенсивности приняты равными  $K_I$  и  $K_{II}$  при длине трещины  $L=0,1$  мм, направленной по нормали к поверхности.

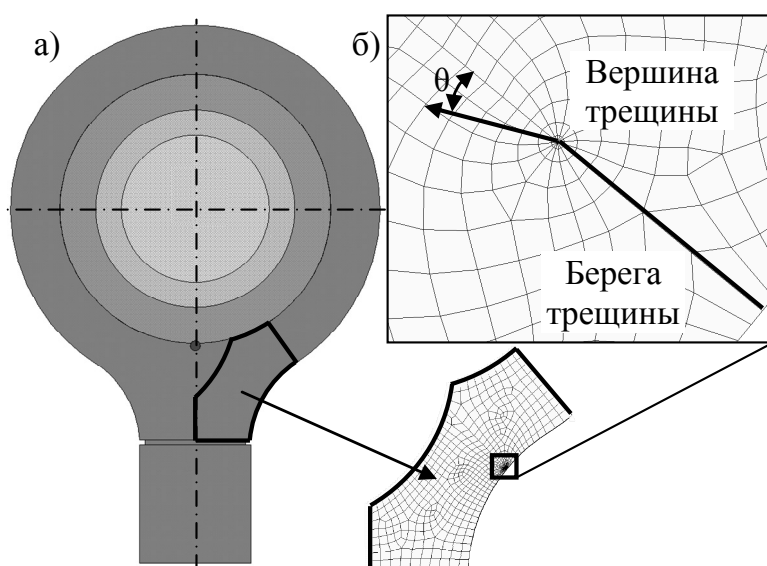


Рис. 2. Конечно-элементная расчётная модель:  
а – основная модель; б – модель подконструкции с дефектом

Для формирования конечно-элементной модели трещины, показанной на рис. 2, б, использован метод подконструкции, позволяющий преодолеть затруднения связанные с измельчением расчётной сетки в области вершины трещины.

Блок-схема алгоритма пошагового расчёта коэффициентов интенсивности напряжений и определения траектории движения трещины представлена на рис. 3. Программа расчёта реализована в среде Mechanical APDL (ANSYS).

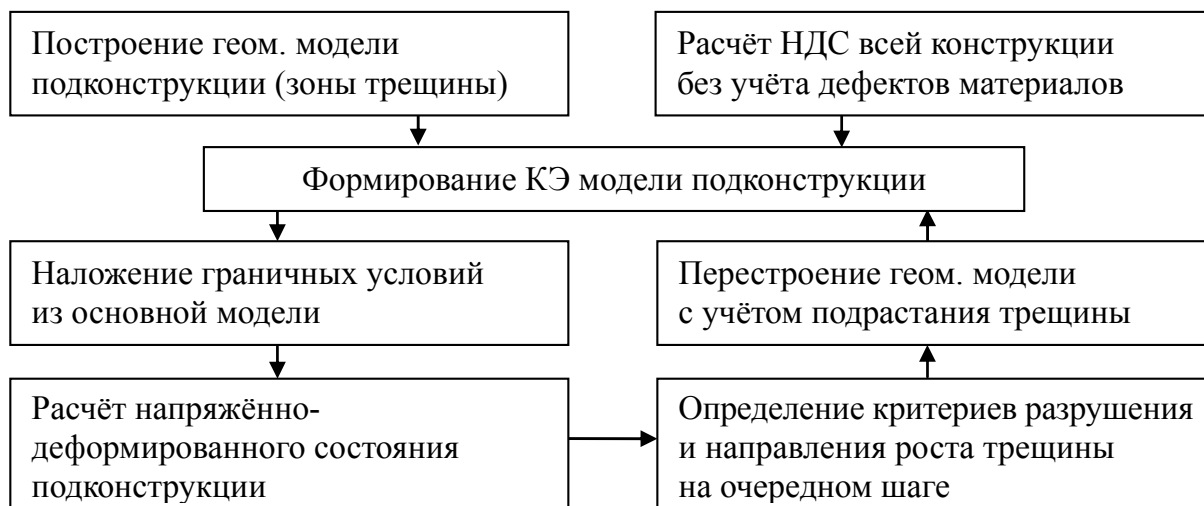


Рис. 3. Алгоритм программы-приложения для проведения расчёта коэффициентов интенсивности напряжений

На рис. 4 показано напряжённо-деформированное состояние корпуса шарового шарнира в области трещины. В вершине трещины формируется высокий градиент напряжений, который графически выглядит как два тёмных облака направленных в противоположные стороны. Такое распределение напряжений соответствует *критерию локальной симметрии* [3], согласно которому трещина распространяется в направлении оси симметрии напряжённого состояния и является косвенным подтверждением правильности определения направления роста трещины.

С ростом длины трещины коэффициент интенсивности  $K_I$  увеличиваются, а  $K_{II}$  изменяется незначительно, поэтому критериальная величина также  $\frac{K_I}{K_{Ic}} + \frac{K_{II}}{K_{IIc}}$  увеличивается. Таким образом, в рассматриваемом случае, при возникновении начального трещиноподобного дефекта более 0,1 мм, со временем он будет только расти.

По результатам расчётов, построен график зависимости коэффициента интенсивности  $K_I$  от длины трещины показанный на рис. 5.

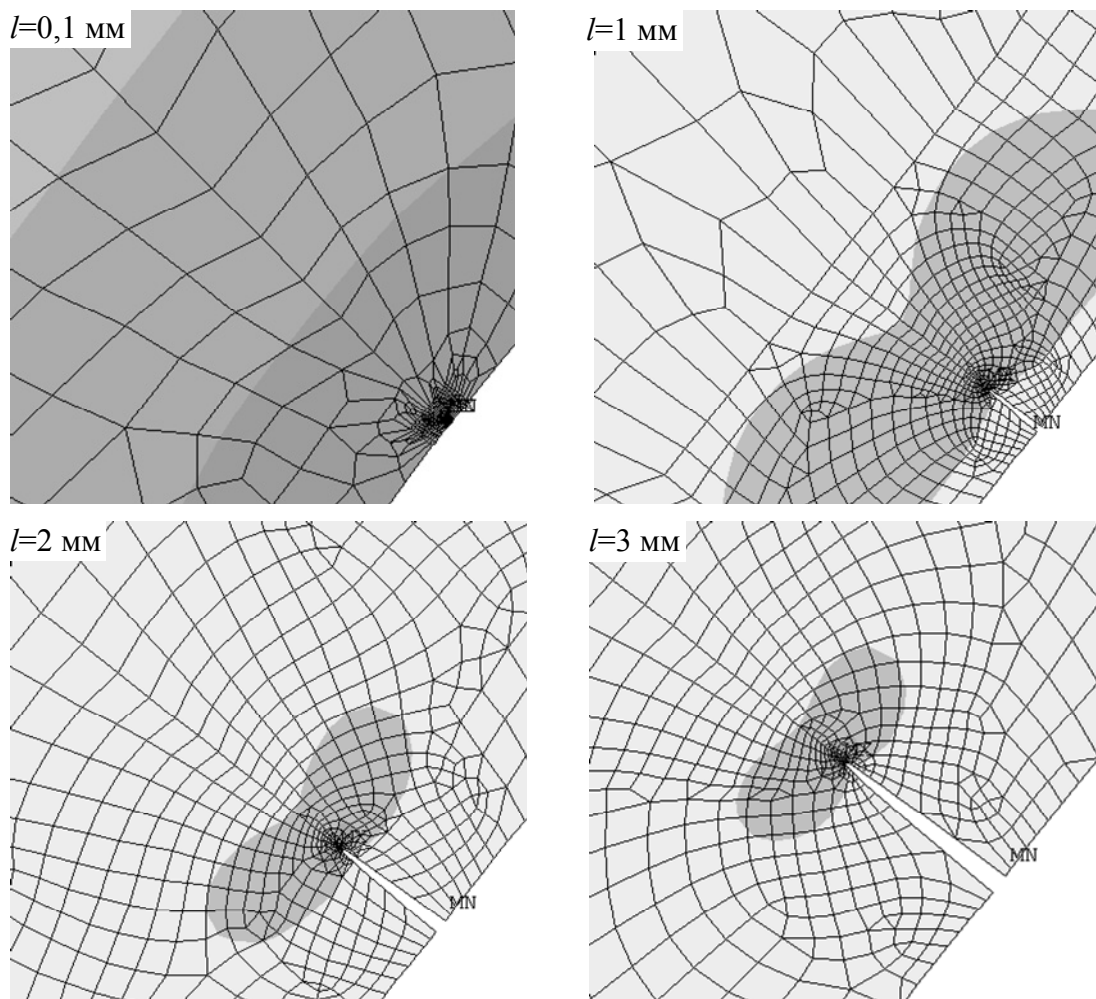


Рис. 4. Напряжённо-деформированное состояние корпуса в области трещины длиной 0,1; 1; 2 и 3 мм

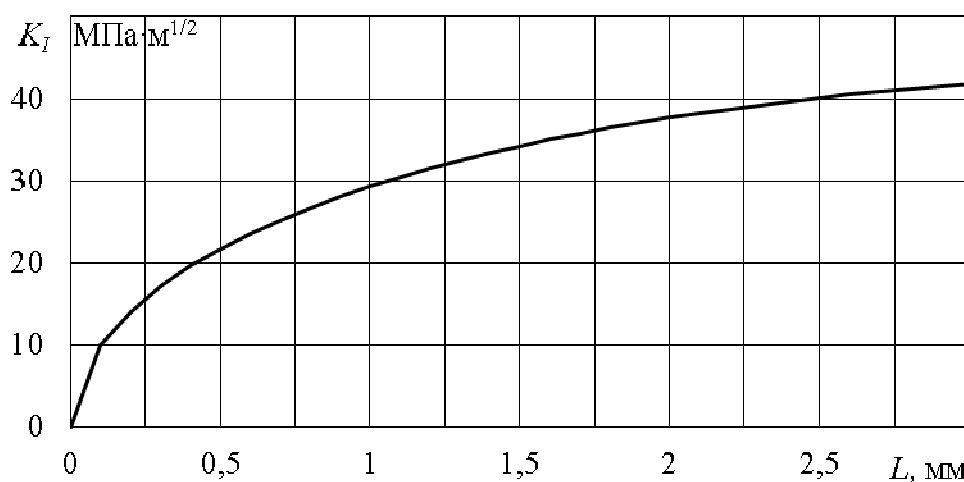


Рис. 5. Зависимость коэффициента интенсивности  $K_I$  от длины трещины  $L$

Таким образом, в работе сформирована расчётная модель шарового шарнира с учётом трещиноподобного дефекта.

Разработан алгоритм и программа для моделирования роста трещины в корпусе шарового шарнира в плоской постановке с определением текущих коэффициентов концентрации напряжений.

Смоделировано развитие поверхностного трещиноподобного дефекта в месте максимального растягивающего напряжения в области галтели.

#### Библиографический список

1. Лизин, В.Т. Проектирование тонкостенных конструкций / В.Т. Лизин, В.А. Пяткин. – М.: Машиностроение, 1994. – 384 с.
2. Сухарев, И.П. Прочность шарнирных узлов машин / И.П. Сухарев. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.
3. Партон, В.З. Механика упругопластического разрушения / В.З. Партон, Е.М. Морозов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 504 с.
4. Саврук, М.П. Двумерные задачи упругости для тел с трещинами / М.П. Саврук. – Киев: Наук. Думка, 1981. – 324 с.
5. Махнович, С.В. Исследование прочности шарового шарнира / С.В. Махнович, А.М. Овчинников // Динамика машин и рабочих процессов: сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – С. 107–110.
6. Овчинников, А.М. Оценка возможности разрушения шарового шарнира / А.М. Овчинников, П.Н. Усков // Научный поиск: материалы второй науч. конф. аспирантов и докторантов. Технические науки. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – Т. 1. –С. 107–110.