

**Кирпичёв В.А., Костичев В.Э., Шляпников П.А., Спиридонов А.Д.**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ  
С КОНЦЕНТРАТОРАМИ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ РАСТЯЖЕНИИ-СЖАТИИ  
В УСЛОВИЯХ АСИММЕТРИИ ЦИКЛА**

При проектировании машин в настоящее время широко применяются программные комплексы компьютерного инженерного анализа (САЕ), основанные на методе конечных элементов (МКЭ). Примерами комплексов САЕ являются пакеты программ ANSYS, MSC.NASTRAN, MSC.MARC, COSMOS, ABAQUS и др. Они позволяют численно решать самые разнообразные задачи в различных областях, в том числе и в области механики твёрдого деформируемого тела.

Применение МКЭ позволяет моделировать напряжённо-деформированное состояние (НДС) деталей с концентраторами напряжений после различных упрочняющих обработок, а также при различных видах деформации, в частности, при центральном растяжении-сжатии в условиях сжимающих средних напряжений.

В данной работе для моделирования динамических процессов с целью определения НДС деталей с концентраторами напряжений применяется программный комплекс ANSYS [1-3].

Расчёт цилиндрических образцов на прочность при помощи МКЭ включает следующие этапы: построение геометрической модели и её разбиение на конечные элементы с определением действующих нагрузок и граничных условий; расчёт для каждого конечного элемента матрицы жёсткости и вектора приведённой к узлам внешней нагрузки, формирование разрешающей системы линейных уравнений; решение полученной системы, определение перемещений, деформаций, напряжений и оценку прочности конструкции.

Результаты моделирования напряжённо-деформированного состояния неупрочнённых цилиндрических образцов, а также образцов с надрезами полукруглого профиля с радиусом  $R = 0,3$  мм, после опережающего поверхностного пластического деформирования (ОПД) при центральном растяжении-сжатии с сжимающими средними напряжениями цикла  $\sigma_m$  представлены на рис. 1-6.

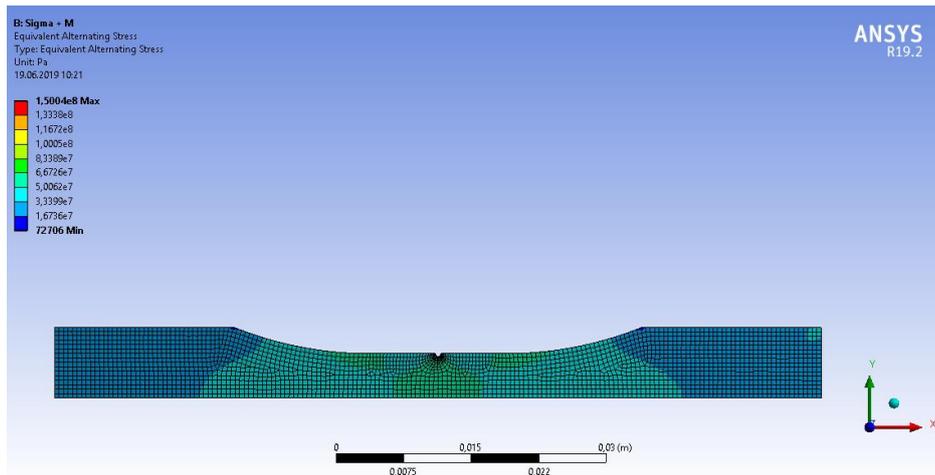


Рис. 1. НДС цилиндрического неупрочнённого образца с надрезом  $R=0,3$  мм, ( $\sigma_m = 0$  МПа)

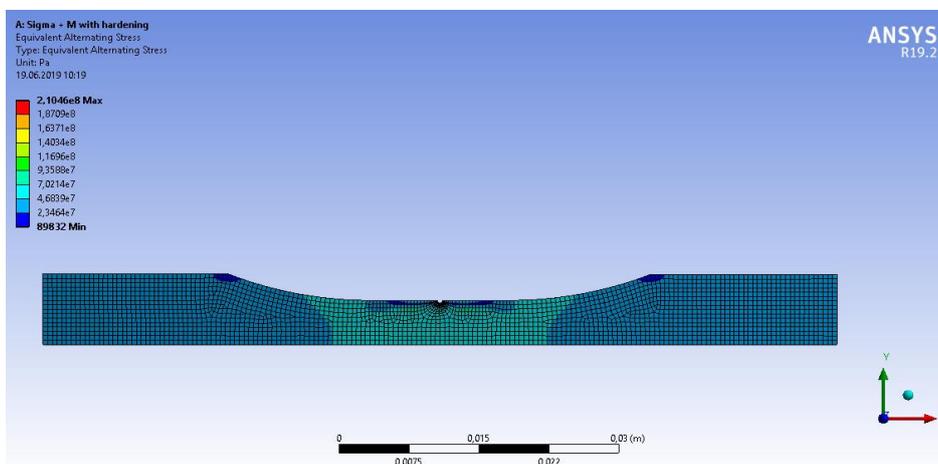


Рис. 2. НДС цилиндрического упрочнённого образца с надрезом  $R=0,3$  мм, ( $\sigma_m = 0$  МПа)

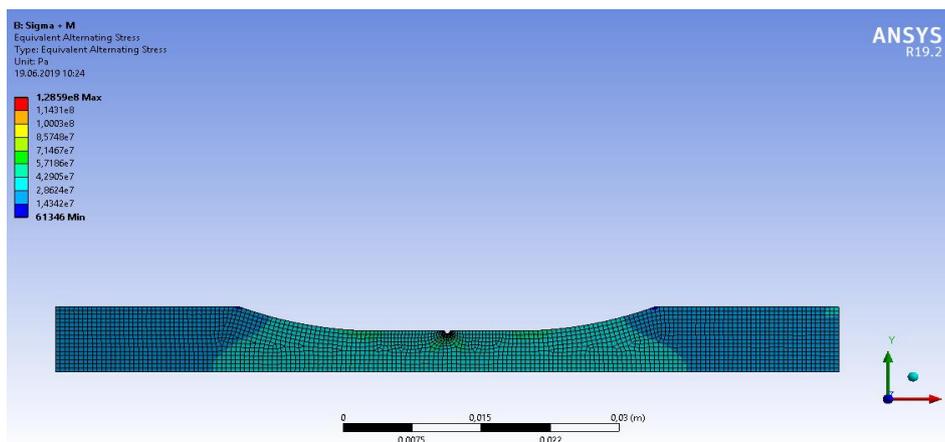


Рис. 3. НДС цилиндрического неупрочнённого образца с надрезом  $R=0,3$  мм, ( $\sigma_m = 500$  МПа)

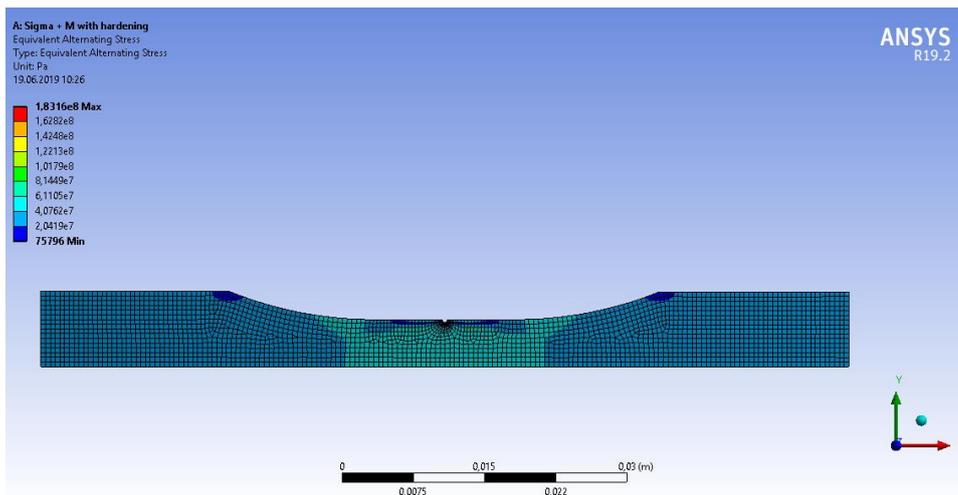


Рис. 4. НДС цилиндрического неупрочнённого образца с надрезом  $R=0,3$  мм, ( $\sigma_m = 500$  МПа)

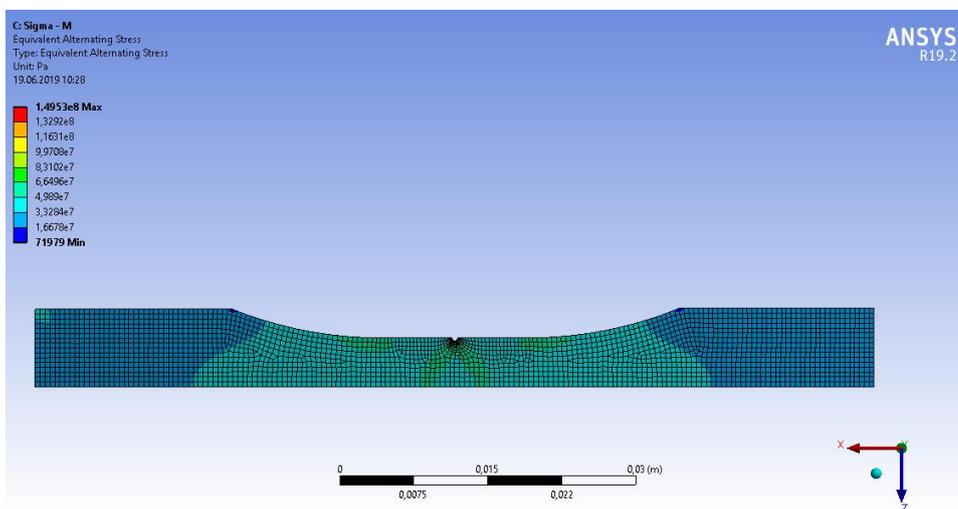


Рис. 5. НДС цилиндрического неупрочнённого образца с надрезом  $R=0,3$  мм, ( $\sigma_m = -500$  МПа)

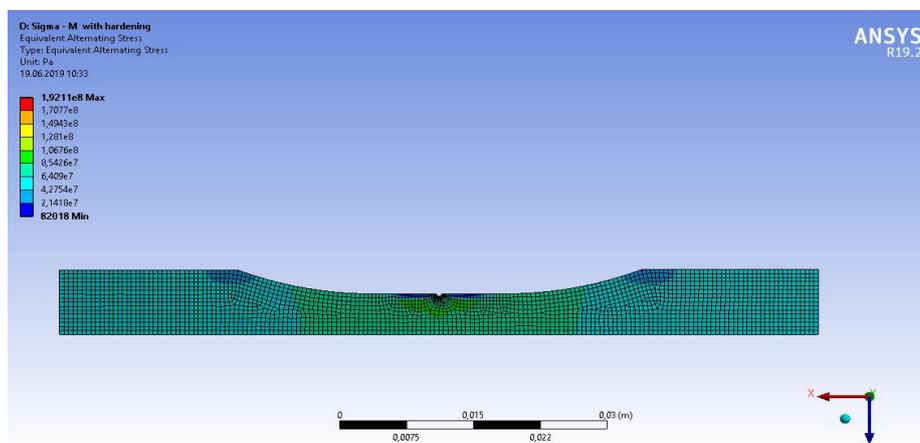


Рис. 6. НДС цилиндрического неупрочнённого образца с надрезом  $R=0,3$  мм, ( $\sigma_m = -500$  МПа)

По результатам компьютерного моделирования определена предельная амплитуда  $\sigma_{R_a}$  неупрочнённых и упрочнённых образцов.

Диаграмма предельных амплитуд цикла неупрочнённых и упрочнённых деталей с концентраторами напряжений при асимметричном цикле со сжимающими средними напряжениями цикла аналогична диаграмме предельных амплитуд цикла с растягивающими средними напряжениями [3].

#### **Библиографический список**

1. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов [Текст] / К. Бате, Е. Вилсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.

2. Иванов, Д.В. Введение в Ansys Workbench: Учеб.-метод. пособие для студентов естественно-научных дисциплин [Текст] / Д.В. Иванов, А.В. Доль. – Саратов: Амирит, 2016 – 56 с.: ил. 171.

3. Кирпичев, В.А. Оценка влияния асимметрии цикла на предельную амплитуду поверхностно упрочнённых деталей [Текст] / В.А. Кирпичев, А.П. Филатов, С.А. Михалкина, П.А. Шляпников // Десятая Всероссийская научная конференция с международным участием «Математическое моделирование и краевые задачи». СамГТУ. – 2016. – С. 113-115.