

УДК 539.4, 519.6

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ У ВЕРШИНЫ ТРЕЩИНЫ В РАСЧЕТНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMULIA ABAQUS

© Чаплий Д.В., Белова О.Н., Степанова Л.В.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: Chapliy.dv@ssau.ru

В работе выполнено компьютерное имитационное моделирование процессов накопления повреждений у вершины закругленной трещины в условиях установившейся ползучести с помощью инкорпорирования скалярной меры поврежденности в расчетную схему метода конечных элементов. Вычисления выполнены для классического степенного закона теории установившейся ползучести и степенного эволюционного уравнения Качанова – Работнова с помощью разработанной пользовательской программы UMAT [1–3]. Результаты конечно-элементного моделирования приведены на рис. 1–3.

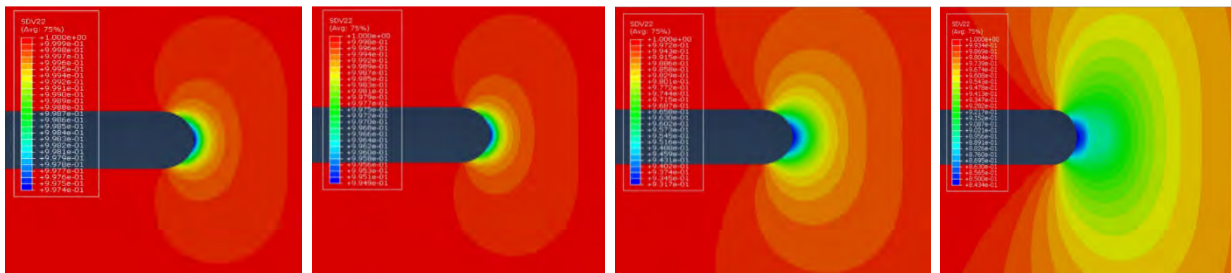


Рисунок 1 – Распределение сплошности у вершины трещины для временных шагов, равных 2 часам, 10 часам, 163 часа, 1370 часов

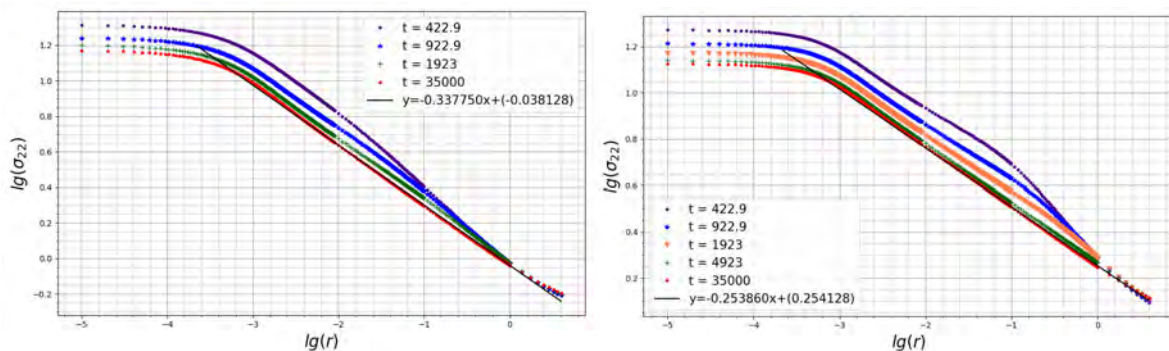


Рисунок 2 – Изображения радиальных распределений компоненты тензора напряжений σ_{22} вблизи вершины закругленной трещины в условиях ползучести с течением времени

Реализовано компьютерное моделирование всестороннего и одноосного растяжения металлической пластины с круговым центральным отверстием в условиях ползучести, принимая во внимание аккрецию поврежденности с течением времени. В ходе проведенного вычислительного эксперимента получены характеристические величины (напряжения, деформации). Проверена достоверность описания поведения

материала с помощью модифицированного закона ползучести на программном языке Fortran 90 в подпрограмме UMAT.

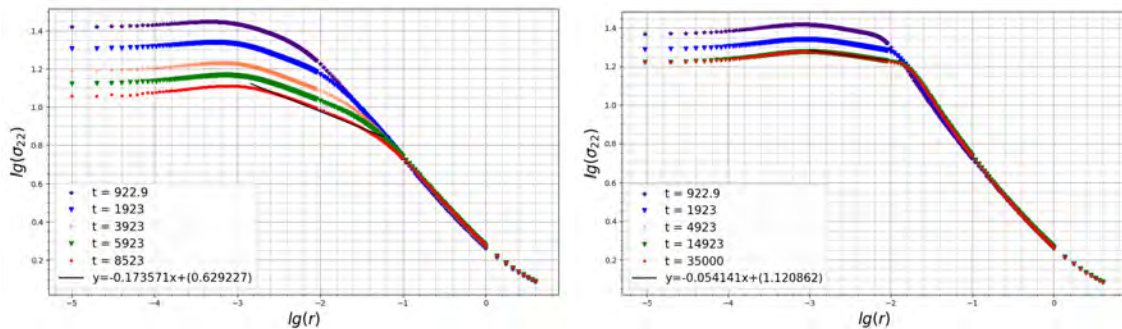


Рисунок 3 – Изображения радиальных распределений компоненты тензора напряжений σ_{22} в окрестности вершины закругленной трещины в условиях ползучести с учетом аккреции поврежденности с течением времени

Выполнено моделирование металлической пластины с центральной трещиной с целью выявления областей активного развития и эволюции поврежденности вблизи кончика трещины для степенного закона ползучести Бейли – Нортон и кинетического уравнения Качанова – Работнова с использованием пользовательской подпрограммы UMAT в условиях плоского деформированного состояния. Показано, что ползучесть с учетом поврежденности приводит к меньшим значениям интенсивности напряжений и компонент тензора напряжений по сравнению с соответствующими величинами без учета поврежденности.

При сравнении распределений напряжений и деформаций, построенных в результате моделирования ползучести без учета поврежденности и с ее учетом, было получено, что наличие поврежденности приводит к большим значениям деформации ползучести. Проведен анализ распределения напряжений, деформаций и сплошности вдоль круговых траекторий с центром в вершине горизонтальной и наклонных трещин. Выполнено сравнение полученных зависимостей компонент тензора напряжений и деформаций от полярного угла при моделировании с учетом накопления повреждений и без учета поврежденности. Выполнено двумерное моделирование одноосного растяжения пластины с центральной трещиной, с закругленной вершиной и острой, в виде математического надреза. В результате моделирования получены радиальные распределения напряжений, деформаций и сплошности в условиях ползучести с учетом накопления поврежденности с течением времени. Построены распределения напряжений в логарифмических координатах для острой и закругленной трещины. Выполнено сравнение результатов численного моделирования и аналитического решения ХРР. Исследования показали, что наличие поврежденности существенным образом меняет асимптотику поля напряжений вблизи вершины трещины. В целом результаты метода конечного моделирования и аналитического решения Хатчинсона Райса Розенгрена хорошо согласуются. Можно сделать вывод, что имитационное моделирование поведения материала с помощью модифицированного закона ползучести в подпрограмме UMAT является универсальным и может использоваться в континуальной механике.

Авторы благодарят Российский научный фонд (проект №21-11-00346).

Библиографический список

1. Stepanova L.V., Belova O.N. Coefficients of the Williams power expansion of the near crack stress field in continuum linear elastic fracture mechanics at the nanoscale // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2022, Vol. 119. P. 103298.
2. Белова О.Н., Чаплий Д.В., Степанова Л.В. Применение пользовательской подпрограммы UMAT для решения задач континуальной механики (обзор) // *Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия*. 2021. Т. 27, № 3. С. 46–73.
3. Белова О.Н., Степанова Л.В., Чаплий Д.В. Компьютерное моделирование роста трещин. Метод молекулярной динамики // *Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия*. 2020. Т. 26, № 4. С. 44–55.