

УДК 621.7.043**РАЗРАБОТКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРЕДЕЛЬНОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИАГРАММЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПРОГРАММЕ QFORM**

Вячеслав Александрович Костылев

Студент 5 курса

кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А. М. Дюжев,

ассистент кафедры «Технологии обработки давлением»

Существует большое количество программ для моделирования процессов листовой штамповки. Наиболее распространенным подходом является применение оболочковых конечных элементов. Однако в некоторых случаях приходится прибегать к применению программ, моделирующих объемную штамповку, в частности, QForm. Для оценки результатов штамповки традиционно применяется FLD-диаграмма, которой нет в QForm. Подход к созданию пользовательской подпрограммы, решающей эту задачу, представлен ниже.

Диаграмма предельных деформаций (FLD) строится в осях главных деформаций в плоскости листа. Обычно в ней выделяется 6 зон, характеризующих поведение металла в точке с соответствующим НДС. Проблема построения этой диаграммы в QForm заключается в нахождении главных деформаций в плоскости листа. В данной работе рассмотрено 4 подхода решения этой проблемы:

1. Так как традиционно считается, что нормальная к поверхности листа составляющая тензора напряжений является главной и близкой по модулю к нулю по сравнению с остальными главными, была предпринята попытка принять направление пренебрежимо малого напряжения за направление нормали к поверхности. Однако направления деформации не соответствуют направлениям напряжений. Тогда можно либо для главных деформаций найти значения нормальных напряжений в соответствующих направлениях и отбросить деформацию, которой соответствует минимальное по модулю напряжение, либо отбросить одно из главных напряжений, принять напряжённое состояние плоским и найти главные деформации в плоскости листа. Этот подход не работает в отношении свободных поверхностей заготовки, для которых главные напряжения примерно равны.

2. Рассмотрен вариант нахождения нормали к плоскости листа геометрической обработкой полигональной поверхности заготовки. Этот метод трудоёмок и сложен в реализации применительно к QForm в связи с особенностями механизма выполнения пользовательских подпрограмм. В частности, одним из минусов метода является запаздывание на один шаг расчёта, что может оказаться критичным при решении некоторых задач.

3. В качестве решения проблемы запаздывания предыдущего метода была рассмотрена возможность использования локальных координат конечных элементов; подход состоит в задании начального направления нормали к поверхности для каждого узла заготовки и последующего поворота этих векторов вместе с локальными системами координат содержащих их элементов. Однако

было замечено, что в местах интенсивного утонения заготовки поворот трассируемого вектора осуществляется быстрее необходимого, и его направление перестаёт соответствовать нормальному к поверхности заготовки.

4. В качестве альтернативного способа нахождения нормальных векторов предложено использование стандартных полей, содержащих нормали к поверхностным узлам. Для внутренних узлов заготовки при этом направления нормалей берутся с ближайшего поверхностного узла.

При известном значении нормали n_n к поверхности листа для расчета главных деформаций применяется следующий алгоритм:

1. находятся два единичных вектора n_t и n_r , составляющих с исходным нормальным правую тройку. При этом их направление произвольно;
2. находятся значения деформаций ε_t , ε_r и γ_{rt} ;
3. осуществляется поворот векторов вокруг нормали для нахождения значений главных деформаций в плоскости листа:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_t + \varepsilon_r}{2} \pm \frac{\sqrt{(\varepsilon_t - \varepsilon_r)^2 + 4\gamma_{rt}^2}}{2}.$$

Описанный алгоритм реализован в виде постпроцессорной пользовательской подпрограммы QForm на языке Lua. Исходными данными для её работы являются кривая предельных деформаций, соответствующая материалу заготовки, а также набор параметров, управляющих качеством расчёта и выходными данными. В качестве выходных данных выступают следующие поля заготовки:

- главных деформаций в плоскости листа;
- отношения максимальной главной деформации ε_1 к предельной деформации при соответствующем значении минимальной главной деформации $\varepsilon_{1 \lim}(\varepsilon_2)$;
- принадлежности точек заготовки различным зонам диаграммы предельных деформаций.

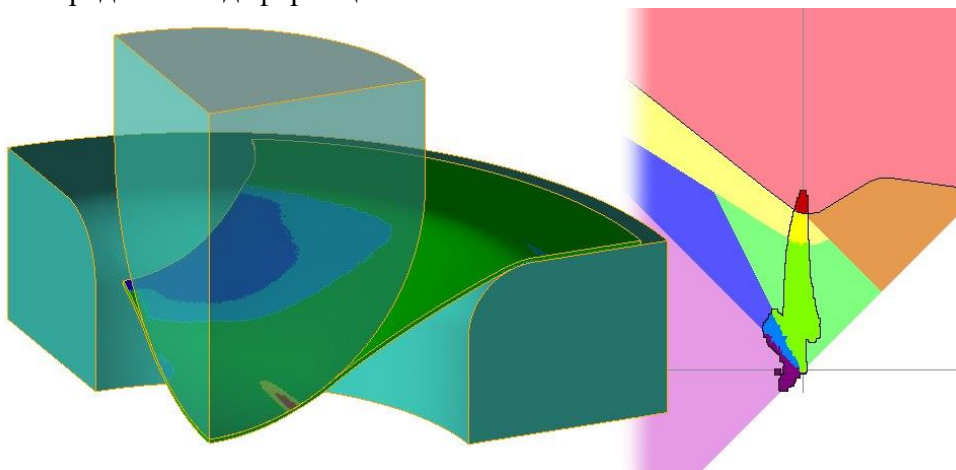


Рис. 1. Пример работы подпрограммы

Литература

1. Изосимова С. В. Исследование влияния формы заготовки на точность построения диаграммы предельных деформаций. [Электронный ресурс] // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Студенческая весна 2013: Машиностроительные технологии». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – № гос. регистрации 0321300796. – URL: studvesna.qform3d.ru?go=articles&id=810

2. *Marciniak, Z.; Duncan, J. L.; Hu, S. J.* (2002). Mechanics of sheet metal forming. Butterworth-Heinemann. p. 69-70. ISBN 0-7506-5300-0
3. *Hu P., Ma N., Liu L., Zhu Y.* Theories, Methods and Numerical Technology of Sheet Metal Cold and Hot Forming: Analysis, Simulation and Engineering. Springer-Verlag London, 2013. XIV, 210 p. 166 illus., 27 illus. in color. — ISBN 978-1-4471-4098-6 ISBN 978-1-4471-4099-3 (eBook), DOI 10.1007/978-1-4471-4099-3.
4. *Демин В.А.* Проектирование процессов толстолистовой штамповки на основе прогнозирования технологических отказов. М.: Машиностроение-1, 2002. -186 с., ил.