

## КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ВЫТЯЖКЕ С ЗОНАЛЬНЫМ НАГРУЖЕНИЕМ

*Андреанов И.К., Чепурнова Е.К.*

*Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре*

**Ключевые слова:** вытяжка, матрица, напряжения, метод конечных элементов, штамповка.

**Аннотация.** В исследовании представлена постановка задачи формоизменения листовой заготовки методом вытяжки с помощью жесткой матрицы и аппроксимации действия эластичного пуансона контактным давлением. Представлены результаты сравнения распределения интенсивностей напряжений по Мизесу при равномерном давлении и зональном нагружении листовой заготовки с помощью конечно-элементного моделирования процесса вытяжки.

## FINITE ELEMENT MODELING OF THE SHEET STRESS STATE DURING DRAWING WITH ZONAL LOADING

*Andrianov I.K., Chepurnova E.K.*

*Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-na-Amure*

**Keywords:** drawing, matrix, stresses, finite element method, stamping.

**Abstract.** The study presents the formulation of the problem of forming a sheet blank by drawing using a rigid matrix and an elastic punch, the action of which was replaced by contact pressure. The results of comparing the distribution of stress intensities by Mises at uniform pressure and zonal loading of a sheet blank with finite element modeling of the drawing process are presented.

Современное авиастроение неразрывно связано со штамповочным производством тонкостенных изделий. Одним из применяемых процессов является вытяжка заготовок. Особенности реализации процесса вытяжки отражены в трудах [1-4]. Достаточно часто при конечно-элементном моделировании задач формоизменения листовых заготовок действие эластичного пуансона заменяют давлением, которое распределяется по поверхности заготовки равномерно. В результате такого нагружения заготовка принимает требуемую форму с соответствие с наружной поверхностью жесткой матрицы. Такое моделирование контактной задачи, несмотря на упрощение постановки, позволяет существенно сократить временные ресурсы расчета. Однако следует отметить, что при действии эластичного пуансона на заготовку контактное давление распределяется неравномерно, максимальное усилие прикладывается в области фланца, в области «стакана» контактное давление меньше ввиду перемещения заготовки в направлении действия усилия. Таким образом, цель данного исследования заключалась в сравнительной оценке напряженного состояния заготовки в процессе вытяжки при неравномерном зональном нагружении и равномерном распределении нагрузки.

Примем, что в случае равномерного нагружения при  $t \in [0; T]$  давление  $p$  на всей поверхности заготовки не зависит от радиальной координаты  $\rho$ , а является

только функцией времени:  $p(\rho;t)|_{\rho \leq R_{cp}} = p^*(t)$ ,  $p^*(t) = p_{\max} t/T$ ,  $p_{\max}$  – максимальное давление при нагружении,  $T$  – время нагружения,  $R_{cp}$  – наружный радиус заготовки. В случае зонального нагружения в области фланца при  $R_{\phi l} \leq \rho \leq R_{cp}$  и в области «стакана» при  $\rho \leq R_{\phi l}$  давление распределяется неравномерно:  $p(\rho;t)|_{R_{\phi l} \leq \rho \leq R_{cp}} = p_{\max} = const$ ,  $p(\rho;t)|_{\rho \leq R_{cp}} = p^*(t)$ , где  $R_{\phi l}$  – радиус в области перехода фланца в «стакан». Поскольку фланец заготовки практически сразу входит в контакт с эластичным пуансоном, давление в этой области принимается постоянным и равным максимальному значению  $p_{\max}$ .

Численный расчет будем проводить в упругой постановке с помощью программы Ansys для заготовки толщиной 1 мм при  $R_{cp} = 50$  мм,  $R_{cp} = 40$  мм для материала с модулем упругости: 71000 МПа, коэффициентом Пуассона: 0,33. Параметры нагружения:  $p_{\max} = 80$  МПа,  $T = 1$  с. Максимальное давление было выбрано таким образом, чтобы заготовка в процессе формоизменения приняла требуемую форму наружной поверхности матрицы.

На рисунке 1 представлена геометрия матрицы и заготовки в симметричной постановке. Конечно-элементная сетка включала в себя 26285 элементов и 6346 узлов (рис. 2). Оценивать влияние способа нагружения будем на основании сравнения эквивалентного напряжения:  $\sigma_{\text{эКВ}} = \sqrt{3s_{ij}s_{ij}/2}$ ,  $i, j = \overline{1,3}$ , где  $s_{ij}$  – компоненты девиатора напряжений. Результаты распределения эквивалентных напряжений представлены на рисунках 3 и 4.

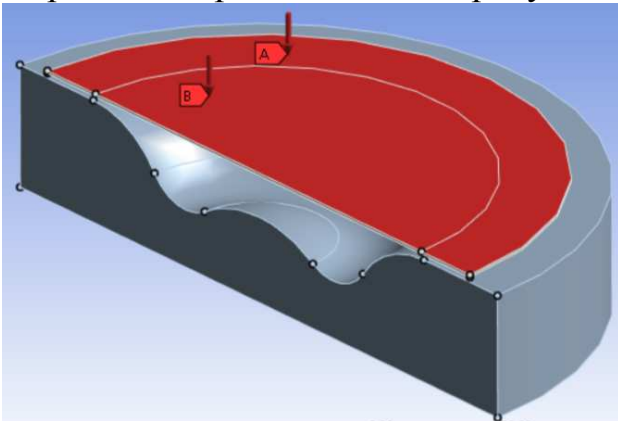


Рис. 1. Постановка задачи формоизменения

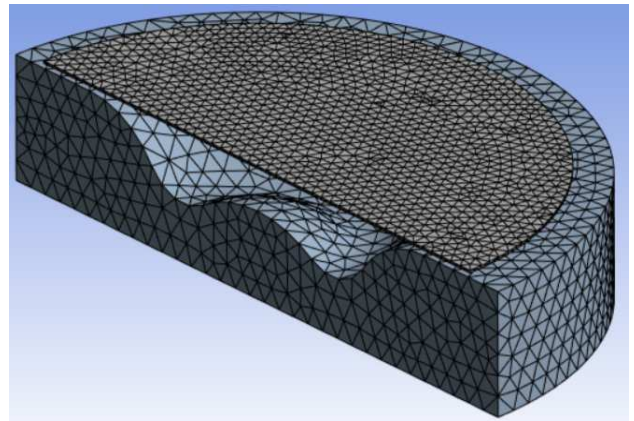


Рис. 2. Конечно-элементная сетка

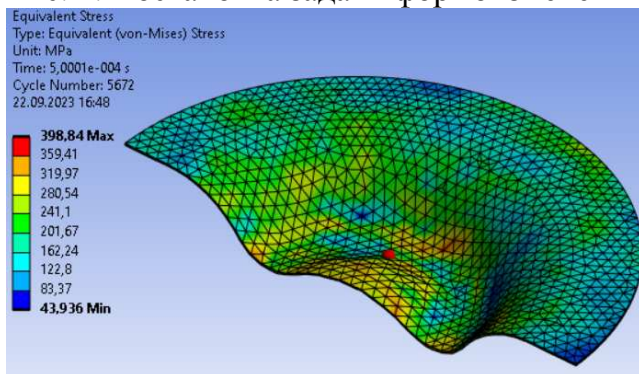


Рис. 3. Напряженное состояние при равномерном нагружении

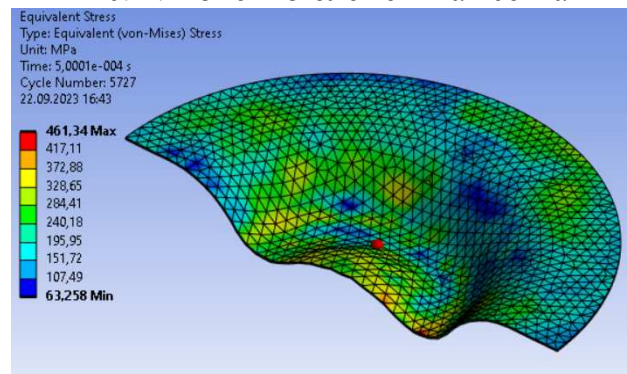


Рис. 4. Напряженное состояние при зональном нагружении

Сопоставляя результаты расчета напряженного состояния при равномерном и зональном нагружении, можно прийти к заключению, что максимальные напряжения отличаются на 14%, а минимальные напряжения – на 32%. При этом картина распределения напряжений преимущественно одинаковая в обоих случаях, отличаются только числовые значения напряжений.

Таким образом, замена действия эластичного пуансона контактным давлением при моделировании процесса формоизменения заготовок может существенно влиять на распределение напряжений, наиболее точным является представление давления как функции и координат, и времени.

**Финансирование.** Научное исследование выполнено при финансовой поддержке «Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных и по государственной поддержке ведущих научных школ РФ» в рамках стипендии по проекту СП-2200.2022.5 «Разработка моделей и алгоритмов расчёта пластического формообразования заготовок штамповочного производства».

#### **Список литературы**

1. Галкин В.И., Вейнгерова Е.Д. Изучение напряженного состояния заготовки из стали 12Х18Н10Т при вытяжке малогабаритных полусферических днищ в инструментальных штампах // Технология машиностроения. – 2006. – № 8. – С. 34-36.
2. Воронцов А.Л., Ступников В.П., Балахонцева Н.А. Напряженное состояние фланца заготовки при ограничении его радиального течения в процессе вытяжки по внутренней поверхности // Производство проката. – 2012. – № 12. – С. 30-38.
3. Прусаков М.А. Глубокая вытяжка тонкостенной полусферы // Вестник НПО Техномаш. – 2018. – № 2(6). – С. 46-50.
4. Кухарь В.Д., Проскураков Н.Е., Петрова А.В. Математическая модель формирования полуторовой детали при вытяжке плоской заготовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 4. – С. 39-46.

#### Сведения об авторах:

*Андреанов Иван Константинович* – к.т.н., доцент кафедры «Авиастроение»;

*Чепурнова Елена Константиновна* – студент.