

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО И НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРОЦЕССА ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ТОНКОСТЕННОЙ ЗАГОТОВКИ

*Андреанов И.К., Чепурнова Е.К.*

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

**Ключевые слова:** формоизменение, листовая штамповка, тонкостенная заготовка, напряженное состояние, деформированное состояние.

**Аннотация.** Исследование посвящено сравнению результатов натурального эксперимента процесса реверсивной вытяжки с результатами численного эксперимента. При заданном изменении внешней нагрузки получено деформированное состояние заготовки на разных этапах нагружения, а также распределение интенсивностей напряжений в заготовке. Конфигурация заготовки по результатам натурального эксперимента совпадает с результатом численного моделирования процесса формоизменения.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF NUMERICAL AND FULL-SCALE EXPERIMENTS ON THE PROCESS OF FORMING A THIN-WALLED BILLET

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

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

**Keywords:** shaping, sheet stamping, thin-walled blank, stressed state, strain state.

**Abstract.** The study is devoted to comparing the results of a full-scale experiment of the reverse extraction process with the results of a numerical experiment. With a given change in the external load, the deformed state of the workpiece at different stages of loading is obtained, as well as the distribution of stress intensities in the workpiece. The configuration of the workpiece according to the results of the field experiment coincides with the result of numerical modeling of the shaping.

Современное развитие авиастроительной области связано с изготовлением тонкостенных деталей оболочечного типа методами листовой штамповки. В связи с чем, актуальным представляется вопрос оценки напряженно-деформированного состояния оболочечных заготовок в процессах формоизменения с целью исключить появление дефектов, среди которых можно выделить следующие: недопустимые утонения, разрывы, гофрообразование. Поскольку задачи формоизменения, прежде всего, связаны с пластическим деформированием, важным является учет нелинейного закона упрочнения. Данные вопросы были исследованы в работе [1] при разработке модели расчета напряженно-деформированного состояния методом переменных параметров упругости И.А. Биргера. Оценка предельного состояния тонкостенных заготовок в задачах формоизменения с применением FLD-диаграмм были исследованы в трудах [2-3]. Благодаря внедрению метода конечных элементов в решение прикладных задач, широкое распространение получили различные САЕ-системы, некоторые из которых применительно к расчету деталей авиационного назначения отражены в исследовании [4].

В рамках исследования было проведено конечно-элементное моделирование процесса реверсивной вытяжки в программном комплексе ANSYS. В качестве материала заготовки толщиной 1 мм использовался алюминиевый сплав: модуль Юнга 71000МПа, коэффициент Пуассона 0,33, предел текучести 280 МПа. Задача рассматривалась в симметричной постановке относительно оси  $Oy$  (рис. 1). Конечно-элементная сетка включала в себя 68708 узлов и 53125 элементов (рис. 2). Действие эластичного пуансона было заменено внешним давлением, изменяющимся равномерно от 0 до 40 МПа. Распределение интенсивностей напряжений при различных уровнях нагрузки представлено на рисунках 3-6. Конфигурация заготовки после снятия нагрузки в результате пластического формоизменения при проведении натурального эксперимента представлена на рисунке 7.

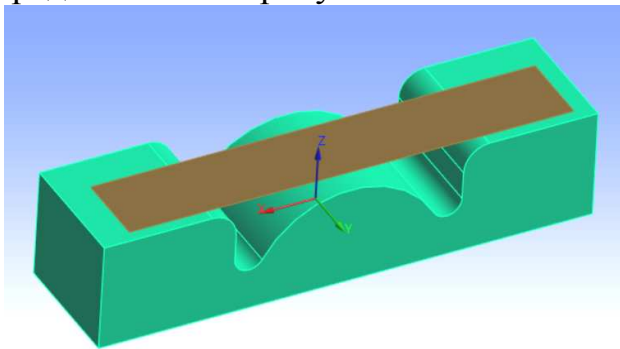


Рис. 1. Positioning of the blank and the matrix

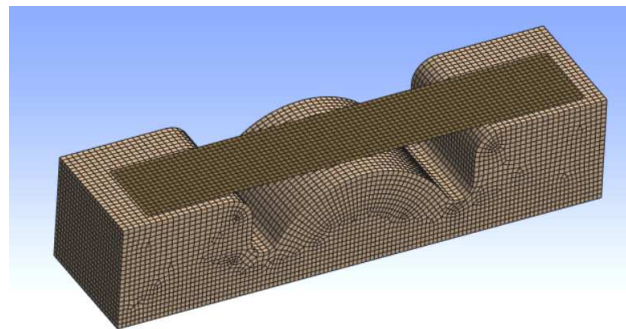


Рис. 2. Finite element mesh of the blank and the matrix

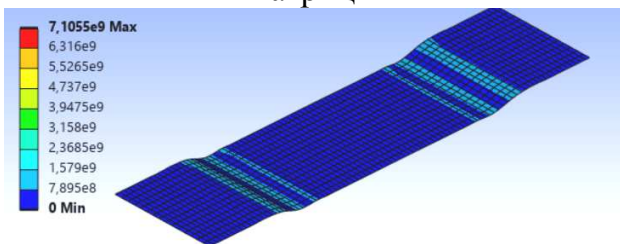


Рис. 3. Stressed state (Pa) of the blank at  $p = 0,25p_{max}$

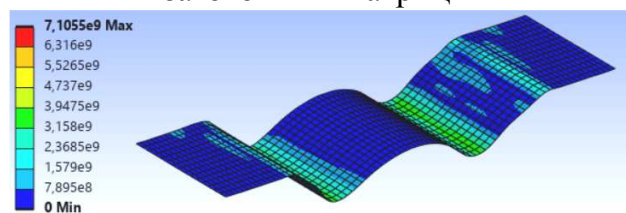


Рис. 4. Stressed state (Pa) of the blank at  $p = 0,5p_{max}$

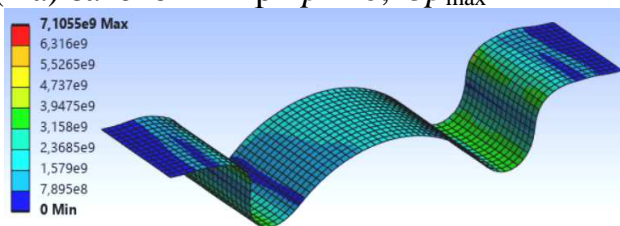


Рис. 5. Stressed state (Pa) of the blank at  $p = 0,75p_{max}$

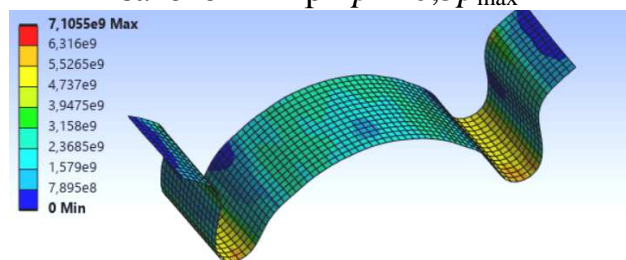


Рис. 6. Stressed state (Pa) of the blank at  $p = p_{max}$

Таким образом, согласно результатам численного моделирования и экспериментального исследования процесса вытяжки конфигурации заготовки после деформирования совпадают при одинаковом деформирующем усилии. Дефекты в процессе формоизменения не возникают, что подтверждает адекватность построенной расчетной модели.



Рис. 7. Деформированная заготовка по результатам натурального эксперимента

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

#### Список литературы

1. Андрианов И.К., Феоктистов С.И., Марьин С.Б. Напряжённно-деформированное состояние тонкостенных трубных заготовок при обжиге в криволинейной осесимметричной матрице // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2024. – № 1. – С. 21-30. – DOI: 10.15593/perm.mech/2024.1.03.
2. Feoktistov S.I., Andrianov I.K. Method for calculating the forming limit of a pipe blank under expansion taking into account nonlinear plasticity // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2023, vol. 64, no. 4, pp. 721-727.
3. Феоктистов С.И., Андрианов И.К. Оценка верхнего и нижнего уровней допустимых деформаций при изготовлении листовых и тонкостенных деталей на основе диаграммы предельных деформаций // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2023. – № 86. – С. 136-148. – DOI: 10.17223/19988621/86/10.
4. Станкевич А.В., Андрианов И.К. Сравнительный анализ моделирования процессов формообразования с помощью программных пакетов LS-DYNA И PAM-STAMP 2G // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2017. – Т. 73, № 3. – С. 26-32.

#### Сведения об авторах:

*Андрианов Иван Константинович* – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Авиастроение»;  
*Чепурнова Елена Константиновна* – аспирант.