

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И УСТРОЙСТВ

УДК 621.7.044.7

DOI: 10.17212/2307-6879-2020-3-30-38

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ КОЛЬЦЕВОГО ЛИСТОВОГО ОБРАЗЦА ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА\*

К.Н. БОБИН<sup>1</sup>, П.Н. БОБИН<sup>2</sup>, В.В. ТОЛМАЧЁВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры самолето- и вертолетостроения. E-mail: bobin@corp.nstu.ru

<sup>2</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант кафедры самолето- и вертолетостроения. E-mail: bobinpn@mail.ru

<sup>3</sup> 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, лаборант кафедры самолето- и вертолетостроения. E-mail: tolmachyov.2016@stud.nstu.ru

В работе моделировалось формообразование в контейнере эластичной средой кольцевого образца с отбортовками по внешнему и внутреннему контуру из алюминиевого сплава Д16АМ. Численное моделирование проводилось с использованием программного комплекса ANSYS в модуле explicit dynamics. Приведено описание особенностей моделирования квазистатической задачи формообразования эластичной средой листовой детали. Выполнено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными в предыдущих исследованиях авторов. Подтверждена возможность использования модуля explicit dynamics программного комплекса ANSYS для моделирования формообразования эластичной средой листовых деталей. Расчеты потребного усилия прессы для штамповки эластичной средой кольцевого листового образца из сплава Д16АМ показали хорошую сходимость с экспериментальными данными.

**Ключевые слова:** штамповка эластичной средой, метод конечных элементов, гибкая формовка, алюминиевые сплавы

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время метод штамповки эластичной средой нашел широкое применение в авиастроении. Таким методом изготавливается большая часть листовых деталей планера летательных аппаратов. Несмотря на наличие нор-

---

\* Статья получена 04 августа 2020 г.

мативно-технической документации по выбору технологических режимов и достаточно большой производственный опыт по применению данной технологии, не всегда можно получить качественную деталь [1, 2]. Из-за этого случается брак деталей, а также увеличиваются затраты на материалы, трудозатраты и т. д.

Одним из решением обозначенной проблемы для новых, нестандартных деталей видится использование готовых программных пакетов инженерного анализа, позволяющих проводить моделирование формообразования для уточнения технологических режимов еще до изготовления реальных деталей [3]. Одним из таких пакетов является программа ANSYS.

## 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Для оценки потребного усилия прессы с использованием программного комплекса ANSYS с модулем explicit dynamics проводилось моделирование формообразования эластичной средой кольцевого листового образца из сплава Д16АМ. На рис. 1 представлены геометрические размеры заготовки и получаемых деталей.

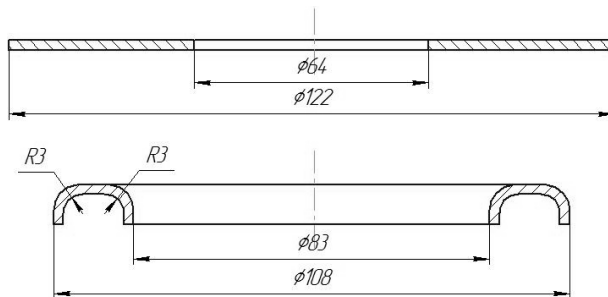


Рис. 1. Геометрические размеры заготовки и кольцевого образца

Расчетная область состояла из трех частей: заготовки, форм-блока и эластичной среды. Толщина заготовки составляла 1,5 мм, а высота штампуемого борта – 8 мм. В процессе моделирования использовалась 1/4 часть объемной модели с целью сокращения времени расчетов и лучшей визуализации результатов. Схема нагружения и схема расчетных областей показаны на рис. 2 и 3.

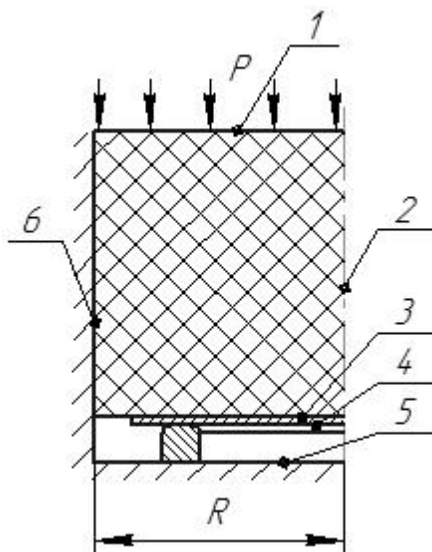


Рис. 2. Схема нагружения заготовки с форм-блоком в контейнере с эластичной средой: 1–6 – границы

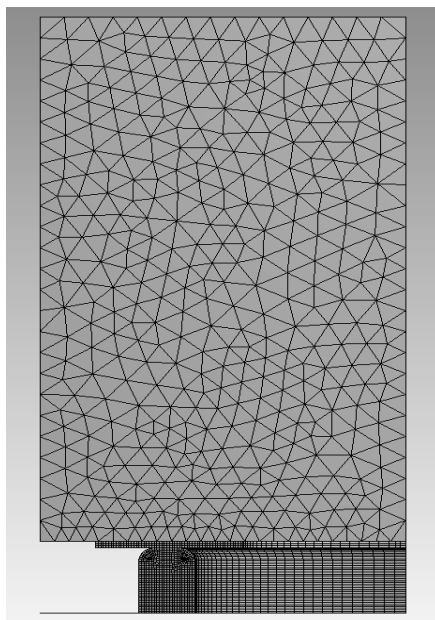


Рис. 3. Схема расчетных областей

Давление пресса в ходе моделирования задавалось через слой эластичной среды, что соответствует реальному формообразованию эластичной средой в замкнутом контейнере. Граница 2 служила осью симметрии. На границе эластичной среды и заготовки задавался контакт скольжения с трением с коэффициентом трения, равным 0,1. Форм-блок задавался как абсолютно жесткое тело. На границе заготовки и форм-блока задавался контакт скольжения с трением с коэффициентом трения, равным 0,05. Нижняя граница предназначалась для предотвращения проникновения материалов за расчетную область моделирования. Граница 6 выполняла функцию боковой стенки контейнера для эластичной среды. Расчетная область эластичной среды разбивалась автоматически на тетраэдральные ячейки. В зоне контакта эластичной среды и заготовки плотность ячеек задавалась вручную в два раза выше, чем в остальных местах. Расчетная область заготовки и форм-блока разбивалась также автоматически на ячейки в виде прямоугольных параллелепипедов, что увеличивает точность моделирования формообразования листовых деталей. Раз-

мер ячеек в радиальном сечении составлял  $0,5 \times 0,5$  мм. Ячейки заготовки и форм-блока для предотвращения взаимного проникновения задавались одинакового размера. Общее количество конечных элементов модели составляло 71 442 единицы. Давление, создаваемое прессом в процессе моделирования, менялось от 15 МПа до 50 МПа.

Программный модуль explicit dynamics в основном предназначен для моделирования быстропротекающих процессов, поэтому для уменьшения времени счета формообразования эластичной средой применялся параметр mass scaling (массовое масштабирование) [4, 5].

Механические свойства материала заготовки соответствовали алюминиевому сплаву Д16АМ [6]. В качестве модели материала использовалась билинейно-упрочняемая модель.

Для описания поведения эластичной среды, изготовленной из полиуретана SKU-7Л, использовалась модель Муни–Ривлина. Свойства полиуретана SKU-7Л были взяты из работ [7, 8].

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Результаты моделирования формообразования эластичной средой кольцевого образца из сплава Д16АМ показаны на рис. 5 и 6.

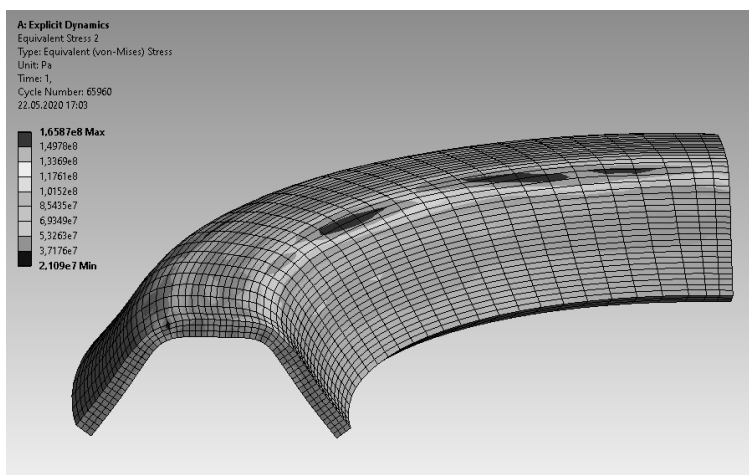


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние Д16АМ при давлении 15 МПа

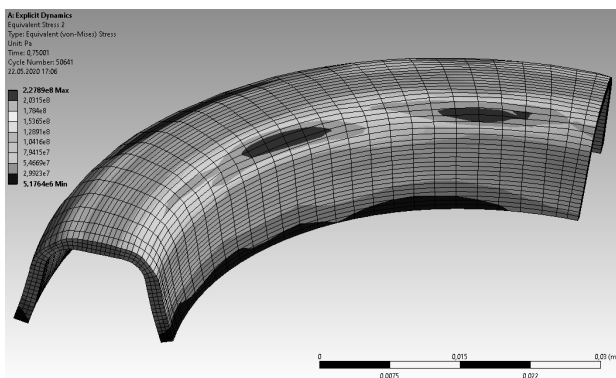


Рис. 5. Напряженно-деформированное состояние из сплава Д16АМ при давлении 25 МПа

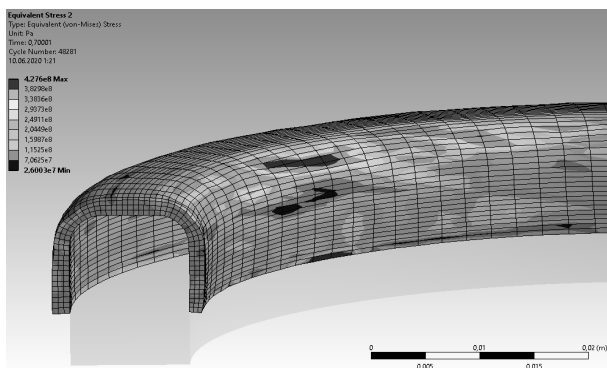


Рис. 6. Напряженно-деформированное состояние из сплава Д16АМ при давлении 32 МПа

С увеличением давления эластичной среды наблюдается предсказуемое увеличение углагиба заготовки. Полученные результаты моделирования формообразования эластичной средой кольцевых образцов были сравнены с экспериментальными данными, полученными в предыдущих исследованиях авторов [9]. Оптимальное давление для формообразования заготовки из Д16АМ при моделировании составило 32 МПа, а давление, полученное в реальном эксперименте, составляло 35 МПа. Полученная погрешность результатов моделирования и эксперимента составила ~8 %, что свидетельствует о хорошей сходимости результатов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для моделирования формообразования эластичной средой возможно использовать модуль explicit dynamics программного комплекса ANSYS. Расчеты потребного усилия прессы для штамповки эластичной средой кольцевого листового образца из сплава Д16АМ показали хорошую сходимость с экспериментальными данными.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мироненко В.В.* Исследование процессов формообразования эластичной средой элемента типа «подсечка» на листовых заготовках подвижными элементами оснастки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Комсомольск-на-Амуре, 2020. – 23 с.
2. *Перцукова У.А., Воронков В.И.* Моделирование штамповки деталей из листового материала эластичной средой // Инженерные системы – 2016: труды Международного форума. – М.: МАКС Пресс, 2016. – С. 131–141.
3. *Мамутов В.С., Мамутов А.В.* Компьютерное моделирование процессов листовой штамповки: учебное пособие / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – СПб., 2016. – 192 с.
4. *Тыняный А.* Использование ANSYS Explicit STR в задачах обработки металлов давлением. – URL: <https://sapr.ru/article/23197> (дата обращения: 11.03.2021).
5. Что такое массовое масштабирование, и когда его уместно применять для динамических расчетов в явной постановке? – URL: <https://www.ansys.soften.com.ua/about-ansys/blog/321-chto-takoe-massovoe-masshtabirovanie-i-kogda-ego-umestno-primenyat-dlya-dinamicheskikh-raschjotov-v-yavnoj-postanovke.html> (дата обращения: 11.03.2021).
6. *Авиационные материалы: методические указания и рекомендации к выполнению курсовых работ и дипломных проектов для ФЛА всех специальностей / сост.: В.С. Белоусов, А.К. Карпец.* – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. – 31 с.
7. *Даева Н.Н.* Теоретические и экспериментальные исследования процессов разделения листового металла эластичными средами // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – № 6. – С. 34–43.
8. *Семенов И.Е., Даева Н.Н.* Исследования процессов разделения тонколистового металла эластичными средами // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 2. – URL: <http://engineering-science.ru/doc/307360.html> (дата обращения: 11.03.2021).

9. Бобин К.Н. Уменьшение дефектов сплошности тонколистовых деталей летательных аппаратов магнитно-импульсной обработкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2011. – 17 с.

**Бобин Константин Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры самолето- и вертолестроения Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – импульсные методы обработки материалов. Имеет 12 публикаций. E-mail: bobin@corp.nstu.ru

**Бобин Павел Николаевич**, аспирант кафедры самолето- и вертолестроения Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – импульсные методы обработки материалов. Имеет 4 публикации. E-mail: bobinpn@mail.ru

**Толмачёв Виталий Владимирович**, лаборант кафедры самолето- и вертолестроения Новосибирского государственного технического университета. E-mail: tolmachyov.2016@stud.nstu.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2020-3-30-38

### **Modeling of formation ring sheet sample from aluminum alloy by elastic medium stamping\***

**K.N. Bobin<sup>1</sup>, P.N. Bobin<sup>2</sup>, V.V. Tolmachev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, doctor of Technical Sciences, associate professor of the Aircraft and helicopter construction department. E-mail: bobin@corp.nstu.ru

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, postgraduate student of the Aircraft and helicopter construction department. E-mail: bobinpn@mail.ru

<sup>3</sup> Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marks Avenue, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, laboratory assistant of the Aircraft and helicopter construction department. E-mail: tolmachyov.2016@stud.nstu.ru

The forming process in tank with elastic structure of ring sheet sample from aluminum alloy D16AM with flanges on internal and external sides was modulated. The numerical modulation by using the module “explicit dynamics” of the “ANSYS” software package was performed. The features of modeling the quasi static problem of forming a sheet part by using the elastic medium was described. The simulation results are compared with experimental data obtained

---

\* Received 04 August 2020.

in previous studies of the authors. The possibility of using the “explicit dynamics” module of the “ANSYS” software package for modeling the forming of sheet parts by an elastic medium has been confirmed. Calculations of the required press force for stamping ring sheet samples made of D16AM alloy with an elastic medium showed good convergence with experimental data.

**Keywords:** elastic medium stamping, finite element method, bending, aluminum alloys

## REFERENCES

1. Mironenko V.V. *Issledovanie protsessov formoobrazovaniya elastichnoi sredoi elementa tipa "podsechka" na listovykh zagotovkakh podvizhnymi elementami osnastki*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Investigation of the processes of forming an elastic medium of the "slash" type element on sheet blanks by movable tooling elements. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. Komsomolsk-on-Amur, 2020. 23 p.
2. Pertsukova U.A., Voronkov V.I. [Modeling of stamping parts made of sheet material with an elastic medium]. *Inzhenernye sistemy – 2016: trudy Mezhdunarodnogo foruma* [Engineering Systems – 2016: Proceedings of the International Forum]. Moscow, MAKSS Press, 2016, pp. 131–141. (In Russian).
3. Mamutov V.S., Mamutov A.V. *Komp'yuternoe modelirovanie protsessov listovoi shtampovki* [Computer modeling of sheet stamping processes]. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2016. 192 p.
4. Tynyanyi A. *Ispol'zovanie ANSYS Explicit STR v zadachakh obrabotki metallov davleniem* [Using ANSYS Explicit STR in metal forming tasks]. Available at: <https://sapr.ru/article/23197> (accessed 11.03.2021).
5. Chto takoe massovoe masshtabirovanie, i kogda ego umestno primenyat' dlya dinamicheskikh raschetov v yavnoi postanovke? [What is mass scaling, and when is it appropriate to use it for dynamic calculations in an explicit statement?]. Available at: <https://www.ansys.soften.com.ua/about-ansys/blog/321-chto-takoe-massovoe-masshtabirovanie-i-kogda-ego-umestno-primenyat-dlya-dinamicheskikh-raschjotov-v-yavnoj-postanovke.html> (accessed 11.03.2021).
6. Belousov V.S., Karpets A.K., comp. *Aviatsionnye materialy* [Aviation materials]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2001. 31 p.
7. Daeva N.N. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya protsessov razdeleniya listovogo metalla elastichnymi sredami [Theoretical and experimental investigations of metal sheet cutting processes by elastic tools]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2011, no. 6, pp. 34–43.
8. Semenov I.E. Daeva N.N. Issledovaniya protsessov razdeleniya tonkolistovogo metalla elastichnymi sredami [Studies of the processes of separation of



sheet metal by elastic media]. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman* = *Science and Education of the Bauman MSTU*, 2012, no. 2. Available at: <http://engineering-science.ru/doc/307360.html> (accessed 11.03.2021).

9. Bobin K.N. *Umen'shenie defektov sploshnosti tonkolistovykh detalei letatel'nykh apparatov magnitno-impul'snoi obrabotkoi*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Reduction of defects in the continuity of thin-sheet parts of aircraft by magnetic pulse processing. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. Krasnoyarsk, 2011. 17 p.

Для цитирования:

Бобин К.Н., Бобин П.Н., Толмачёв В.В. Моделирование формообразования эластичной средой кольцевого листового образца из алюминиевого сплава // Сборник научных трудов НГТУ. – 2020. – № 3 (98). – С. 30–38. – DOI: 10.17212/2307-6879-2020-3-30-38.

For citation:

Bobin K.N., Bobin P.N., Tolmachev V.V. Modelirovanie formoobrazovaniya elastichnoi sredoi kol'tseвого листового образца iz alyuminievogo splava [Modeling of formation ring sheet sample from aluminum alloy by elastic medium stamping]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2020, no. 3 (98), pp. 30–38. DOI: 10.17212/2307-6879-2020-3-30-38.