

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ МАТРИЦЫ НА УТОНЕНИЕ КУПОЛЬНОЙ ЧАСТИ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ШТАМПОВКЕ СВИНЦОМ

Д.А. Иванов

hammers-of-fate@bk.ru

SPIN-код: 1971-7116

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Проведены экспериментальные и численные исследования характера изменения толщины тонкостенной детали, имеющей форму мениска, вдоль меридиана при штамповке свинцом. Предложены рациональные значения условий контактного взаимодействия в системе матрица — заготовка — пластичный металл, обеспечивающие наилучшее совпадение результатов численных расчетов с экспериментами. Полученные результаты применены для численного анализа влияния радиуса заходной части матрицы на толщину менисковой детали в купольной части. Установлено наличие рационального значения радиуса заходной части, обеспечивающее наименьшее снижение толщины детали в куполе при штамповке свинцом.

### Ключевые слова

Штамповка пластичным металлом, тонкостенная деталь, заходная часть матрицы, утонение купольной части, проектирование моделирование, программный комплекс DEFORM-2D, настройка параметров расчета

Поступила в редакцию 02.10.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

---

**Введение.** Штамповка пластичным металлом (свинцом) является прогрессивной технологией формообразования деталей в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства, характерного для предприятий ракетно-космической отрасли.

В процессе проектирования устройства для штамповки листовых деталей пластичным металлом помимо выбора механизма перемещения формоизменяющих элементов (матрицы и разглаживателя) возникает задача выбора геометрии заходной части матрицы и рациональных условий контактного взаимодействия в системе матрица — заготовка — пластичный металл (свинец) [1]. Известные рекомендации по назначению данных параметров относятся в основном к штамповке в инструментальном штампе (см., например, [2]) и их распространение на штамповку пластичным металлом без проведения предварительных исследований представляется некорректным.

Цель данной статьи — определить рациональные условия контактного взаимодействия заготовки с элементами штамповой оснастки, а также изучить влияние радиуса заходной части жесткой матрицы на утонение деталей в купольной части.

На первом этапе проведены натурные эксперименты и численные исследования в программном комплексе DEFORM-2D для установления влияния условий трения между свинцом и заготовкой, а также между заготовкой и матрицей

на толщину штампуемых деталей менисковой формы. Далее с учетом полученных результатов выполнены численные расчеты по определению рациональной формы заходной части матрицы, обеспечивающей минимальное утонение штампуемой детали в куполе. Найденная рациональная форма отличается от известных рекомендаций для традиционной технологии штамповки оболочечных деталей в инструментальном штампе [2]. Экспериментальные и численные исследования проводились на кафедре СМ12 «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**Эксперименты и расчеты по определению условий контактного взаимодействия.** При проведении экспериментов использовался технически чистый свинец марки С0 ГОСТ 3778–56 (с обычными примесями сурьмы и олова). Экспериментальный штамп включал контейнер с залитым в него свинцом и стальную матрицу (рис. 1). Высоту заливки свинца в контейнер выбирали с учетом условия невыхода свинца после штамповки за плоскость контейнера. Матрицу и разглаживатель попеременно вручную устанавливали в полость контейнера.



Рис. 1. Контейнер со свинцом после штамповки детали и матрица



Рис. 2. Отштампованная деталь

Штамповка детали — сферического сегмента осуществлялась из листовой заготовки диаметром 70 мм и толщиной  $2,22 \pm 0,1$  мм, выполненной из стали 08кп. Отштампованная деталь в виде сферического сегмента высотой 9,3 мм показана на рис. 2.

Для измерения толщины отштампованной детали применялся резьбовой микрометр ГОСТ 6507–90 с установленными коническими губками.

Данный эксперимент был промоделирован в конечно элементном комплексе DEFORM-2D в следующем порядке.

1. Составление расчетной модели (рис. 3, 4).

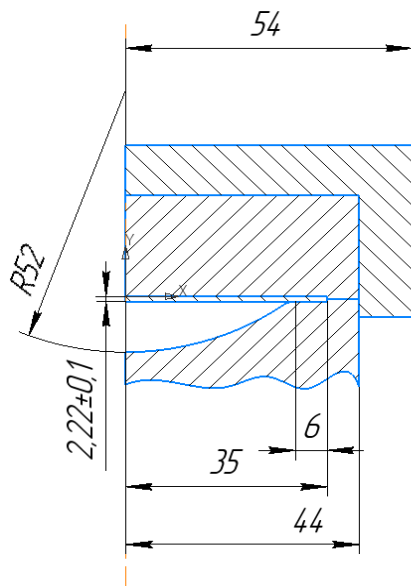


Рис. 3. Геометрические размеры оснастки и заготовки

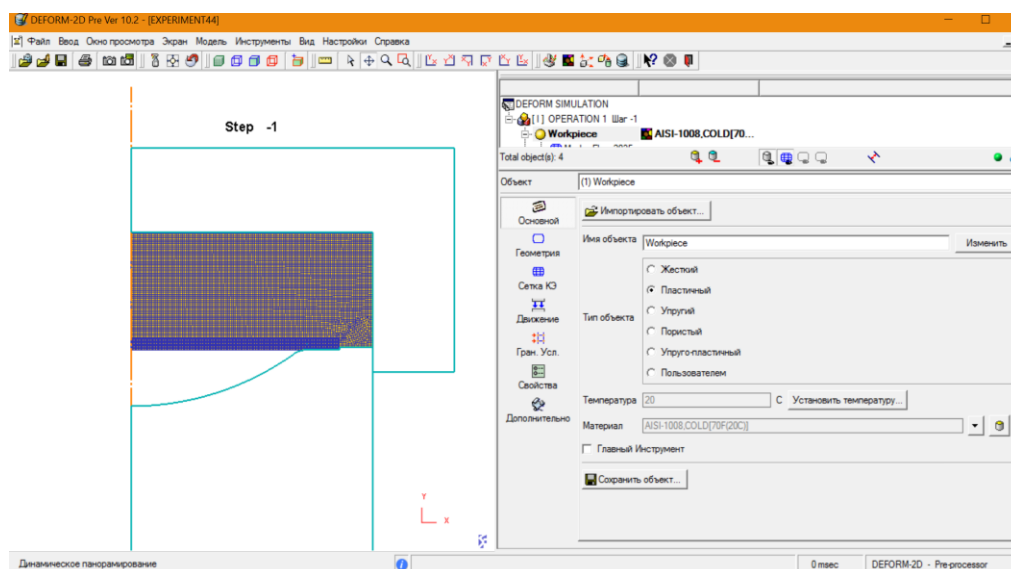


Рис. 4. Создание схемы в препроцессоре

2. Создание сетки разбиения тел свинца и заготовки (рис. 5). Для повышения точности расчета выбрано 11 ячеек по толщине заготовки.

3. Установление контактных зависимостей (рис. 6). Трение между заготовкой и свинцом, а также между заготовкой и матрицей назначено в соответствии с законом Кулона.

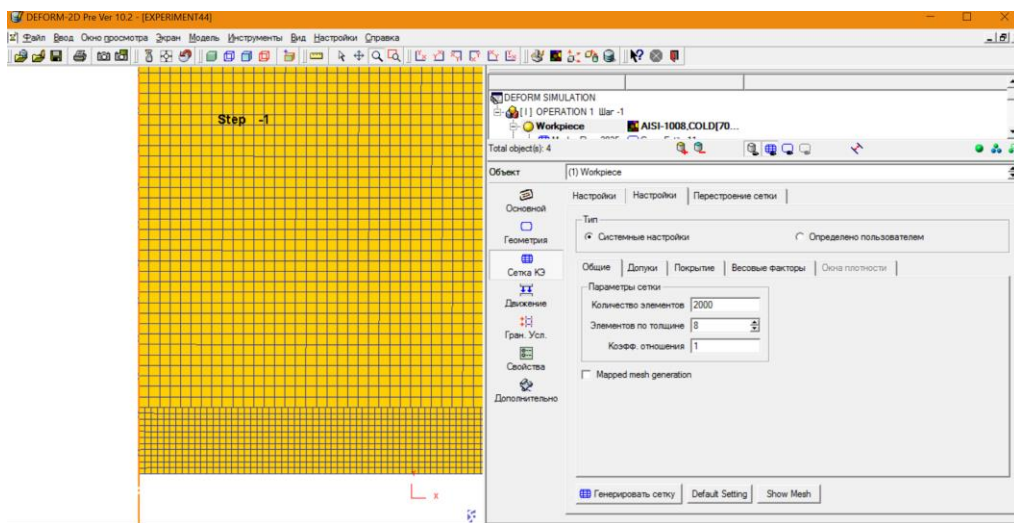


Рис. 5. Построение расчетной сетки

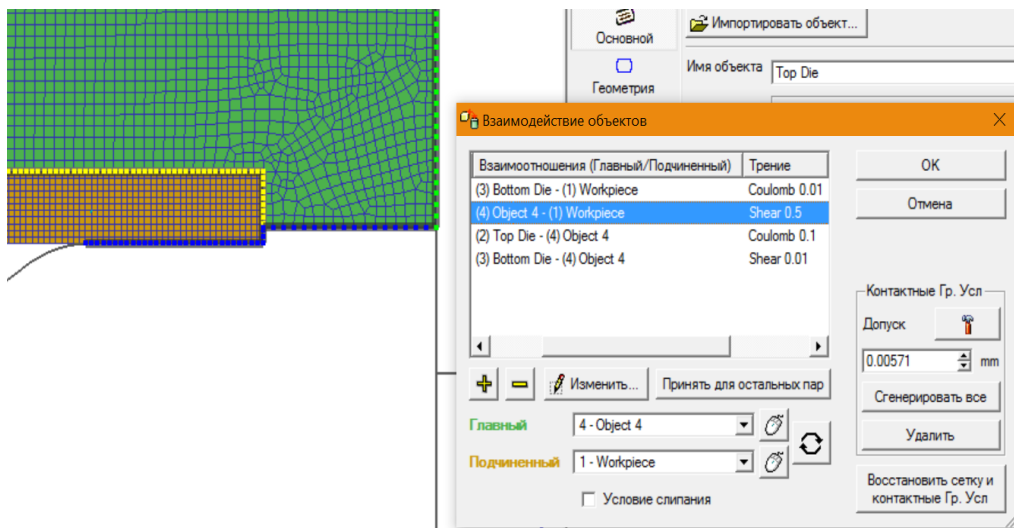


Рис. 6. Назначение параметров трения между взаимодействующими поверхностями

4. *Настройка параметров расчета.* На заключительной стадии назначается шаг решения, а также устанавливаются граничные условия (рис. 7).

По итогам решения данной задачи были подобраны контактные зависимости (свинец — заготовка — матрица) для совпадения результатов эксперимента и моделирования (рис. 8). Основным критерием сходства расчетной модели и эксперимента являлась толщина отштампованной детали. График построен в относительных координатах по оси ординат относительная толщина  $\bar{S}$ , определяемая как отношение толщины детали к исходной толщине заготовки. По оси абсцисс  $\bar{r}$  — отношение расстояния от оси заготовки к радиусу заготовки.

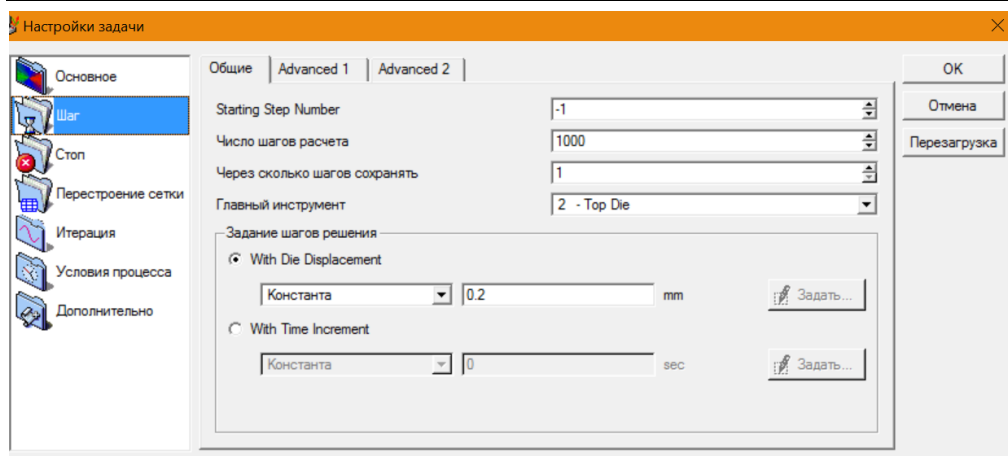


Рис. 7. Настройка задачи

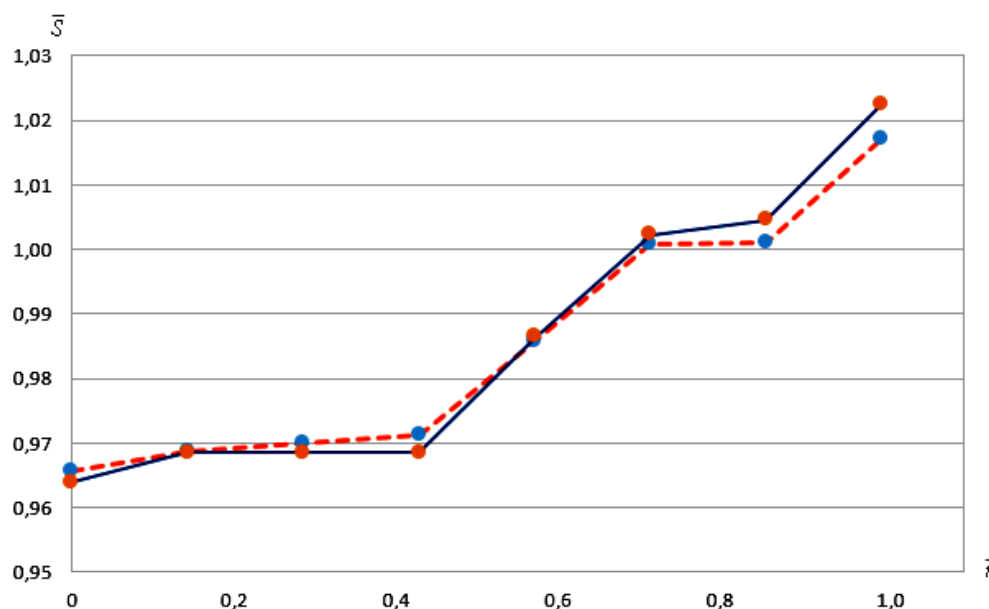


Рис. 8. Результаты исследования по предварительной задаче определения условий контактных взаимодействий:

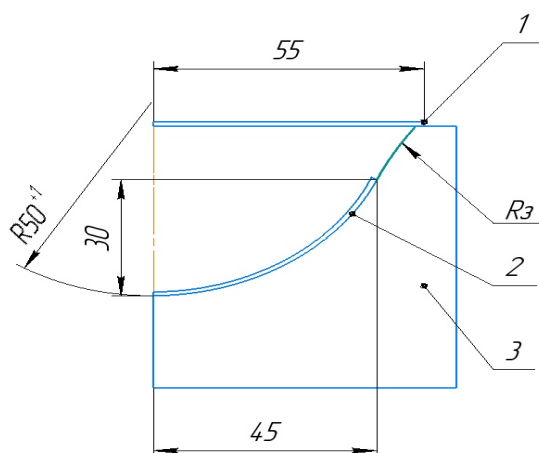
— ■ — результаты исследований; — ◆ — экспериментальные результаты

Анализ расчетных и экспериментальных значений распределения толщины детали по радиальной координате показывает, что на отштампованной детали имеется область увеличения толщины, прилегающая к краю детали, и область уменьшения, располагающаяся в купольной части (см. рис. 8). Из графиков видно, что погрешность несовпадения расчетов с экспериментами не превышает 5%. Эти данные совпадение были получены при следующих параметрах расчета:

- коэффициент трения между свинцом и заготовкой 0,5;
- коэффициент трения между заготовкой и матрицей 0,01;
- скорость штамповки принимается 0,1 мм/с;
- количество элементарных ячеек разбиения  $n_e$  задано с учетом ограничения  $n_e \leq S/h$ , где  $S$  — толщина заготовки;  $h$  — перемещение пуансона при однократной итерации.

**Расчеты по определению рационального радиуса заходной части матрицы.** На основе полученных условий контактного взаимодействия был выполнен ряд расчетов в программе DEFORM-2D. Основной задачей на данном этапе исследования являлось оценка влияния радиуса заходной части матрицы на толщину детали в купольной части.

Геометрия расчетной модели представлена на рис. 9. Выполнены расчеты с матрицами, отличающимися значениями радиусов заходной части  $R_3$  в диапазоне 25...100 мм с шагом 25 мм, а также матрица с радиусом  $R_3 = \infty$  (вписанный конус), при этом размеры штампуемой детали оставались неизменными: сферический сегмент высотой 30 мм и диаметром 90 мм.



**Рис. 9.** Геометрические параметры матрицы, заготовки и детали:

1 — дисковая заготовка; 2 — отштампованная деталь; 3 — матрица

По итогам моделирования был получен график, изображенный на рис. 10. Здесь  $S$  — толщина заготовки,  $H$  — толщина детали в купольной части,  $R_p$  — радиус рабочей части матрицы,  $R_3$  — радиус заходной части матрицы. Размеры заходных частей матриц отмечены в пересчете на относительные координаты. Такой график пригоден для анализа некоторых технологических процессов пластического деформирования и подбора соответствующего радиуса заходной части матрицы. Диаграмма имеет четкий экстремум, что не противоречит выполненным ранее исследованиям и разработанным техническим решениям [3–10].

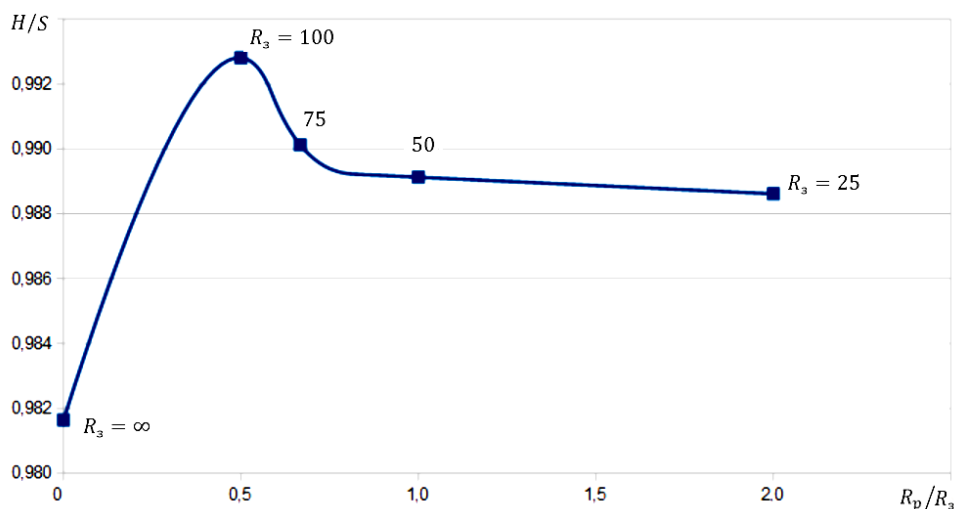


Рис. 10. Зависимость толщины детали в купольной части от радиуса заходной части матрицы:

**Выводы.** В результате обработки данных эксперимента, теоретических данных и результатов многочисленных моделирований были выявлены следующие закономерности:

- для увеличения толщины детали в купольной части необходимо увеличивать радиус заходной части матрицы;
- наилучший показатель по толщине купольной части детали наблюдается при  $R_p/R_3 = 0,5$ .

### Литература

- [1] Бабурин М.А., Сизов Е.С., Плихунов В.В. и др. Интенсификация вытяжного производства полых деталей из листового металла. Ч. 1. Пермь, Изд-во РАЕН, 1995.
- [2] Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке Л., Машиностроение, 1979.
- [3] Сизов Е.С., Бабурин М.А. Штамповка листовых деталей сложной формы пластично-эластичными средами. *Кузнечно-штамповочное производство*, 1994, № 8, с. 9–11.
- [4] Бабурин М.А., Бараев А.В., Боярская Р.Н. и др. Перспективы применения штамповки свинцом для снижения массы металлического лейнера баллонов высокого давления комбинированной конструкции с композитной оболочкой. *КШПОМД*, 2015, № 2, с. 18–22.
- [5] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Герасимов Н.В. и др. Анализ формоизменения заготовок при вытяжке полусферических деталей с применением промежуточных деформируемых сред. *КШПОМД*, 2014, № 7, с. 21–24.
- [6] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Герасимов Н.В. и др. Математическая модель расчета предельного коэффициента вытяжки цилиндрических деталей из листовых заготовок переменной толщины. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2018, № 4, с. 10–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2018-4-10-18>
- [7] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Зарубина О.В. и др. Способ штамповки-вытяжки оболочечных листовых деталей пластичной средой. Патент РФ 2710616. Заявл. 13.06.2019, опубл. 30.12.2019.

- [8] Бабурин М.А., Бараев А.В., Боярская Р.В. и др. Перспективы применения штамповки свинцом для снижения массы металлического лейнера баллонов высокого давления комбинированной конструкции с композитной оболочкой. *КШПОМД*, 2015, № 2, с. 18–22.
- [9] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Герасимов Н.В. и др. Анализ формоизменения заготовок при вытяжке полусферических деталей с применением промежуточных деформируемых сред. *КШПОМД*, 2014, № 7, с. 21–24.
- [10] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Зарубина О.В. и др. Применение профилированных по толщине заготовок для управления толщиной стенки штампуемых свинцом оболочковых деталей. *Технология металлов*, 2016, № 11, с. 2–8.

**Иванов Дмитрий Александрович** — студент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Баскаков Владимир Дмитриевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Бабурин Михаил Аронович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Иванов Д.А. Анализ влияния геометрии матрицы на утонение купольной части листовых деталей при штамповке свинцом. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 10(51). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-10-646>



## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE MATRIX GEOMETRY ON THE THINNING OF THE DOMED PART OF SHEET METAL PARTS DURING LEAD STAMPING

D.A. Ivanov

hammers-of-fate@bk.ru

SPIN-code: 1971-7116

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

*This paper is devoted to experimental and numerical studies of the change in the thickness of a thin-walled meniscus-shaped part along the meridian during stamping with lead. Rational values are proposed for the conditions of contact interaction in the matrix — workpiece — ductile metal system, which ensure the best coincidence of the numerical calculations results with experiments. The results obtained are applied to numerically analyze the influence of the radius of the lead-in part of the matrix on the thickness of the meniscus part in the dome part. The presence of a rational value of the radius of the lead-in part is established, which provides the smallest decrease in the thickness of the part in the dome when stamping with lead.*

### Keywords

*Stamping with plastic metal, thin-walled part, lead-in part of the matrix, thinning of the dome part, design modeling, DEFORM-2D software package, setting the calculation parameters*

Received 02.10.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

---

### References

- [1] Baburin M.A., Sizov E.S., Plikhunov V.V., et al. Intensifikatsiya vytyazhnogo proizvodstva polykh detaley iz listovogo metalla. Ch. 1 [Intensification of hollow parts drawing from a metal sheet. P. 1]. Perm', Izd-vo RAEN Publ., 1995 (in Russ.).
- [2] Romanovskiy V.P. Spravochnik po kholodnoy shtampovke [Handbook on cold forging]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1979 (in Russ.).
- [3] Sizov E.S., Baburin M.A. Forging sheet parts of complex shape by plastic-elastic medium. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, 1994, no. 8, pp. 9–11 (in Russ.).
- [4] Baburin M.A., Baraev A.V., Boyarskaya R.N., et al. Development of lead stamping for weight reduction of the metal liner of high-pressure cylinders with combined composite shell. *KShPOMD* [Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure], 2015, no. 2, pp. 18–22 (in Russ.).
- [5] Baburin M.A., Baskakov V.D., Gerasimov N.V., et al. Analysis of workpieces form changing at the drawing of hemispherical parts with the application of intermediate deformed media. *KShPOMD* [Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure], 2014, no. 7, pp. 21–24 (in Russ.).
- [6] Baburin M.A., Baskakov V.D., Gerasimov N.V., et al. A mathematical model for calculating the limiting drawing ratio of cylindrical parts drawn from sheet blanks of variable thickness. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building], 2018, no. 4, pp. 10–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2018-4-10-18> (in Russ.).

- 
- [7] Baburin M.A., Baskakov V.D., Zarubina O.V., et al. Sposob shtampovki-vytyazhki obolochecnykh listovykh detaley plastichnoy sredoy [Forging method for shell sheet parts by plastic medium]. Patent RU 2710616. Appl. 13.06.2019, publ. 30.12.2019 (in Russ.).
- [8] Baburin M.A., Baraev A.V., Boyarskaya R.V., et al. Development of lead stamping for weight reduction of the metal liner of high-pressure cylinders with combined composite shell. *KShPOMD* [Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure], 2015, no. 2, pp. 18–22 (in Russ.).
- [9] Baburin M.A., Baskakov V.D., Gerasimov N.V., et al. Analysis of workpieces form changing at the drawing of hemispherical parts with the application of intermediate deformed media. *KShPOMD* [Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure], 2014, no. 7, pp. 21–24 (in Russ.).
- [10] Baburin M.A., Baskakov V.D., Zarubina O.V., et al. Application of thickness-shaped workpieces to control the wall thickness of lead-formed shell parts. *Tekhnologiya metallov*, 2016, no. 11, pp. 2–8 (in Russ.). (Eng. version: *Russ. Metall.* 2017, vol. 2017, no. 13, pp. 1136–1140 (2017). <https://doi.org/10.1134/S0036029517130031>)

**Ivanov D.A.** — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Baskakov V.D., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Baburin M.A., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Ivanov D.A. Analysis of the influence of the matrix geometry on the thinning of the domed part of sheet metal parts during lead stamping. *Politekhicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 10(51). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-10-646.html> (in Russ.).