

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНИЧЕСКОЙ ВЫДАВКИ В СВИНЦЕ НА ТОЛЩИНУ В КУПОЛЬНОЙ ЧАСТИ ПОЛУСФЕРЫ ПРИ ШТАМПОВКЕ СВИНЦОМ

Д.А. Иванов

spaceivanoff@yandex.ru

SPIN-код: 1971-7116

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

---

### Аннотация

Проведены численные исследования характера изменения толщины тонкостенной детали, имеющей форму полусферы, вдоль меридиана при штамповке свинцом. Исследование выполнено с помощью метода конечных элементов в программном комплексе DEFORM-2D. В ходе моделирования применялись расчетные схемы с различными геометрическими параметрами свинцового блока. Установлена зависимость толщины детали в купольной части от размера конической выдавки в свинце и приведены рекомендации по штамповке пластичной средой. Обоснована целесообразность использования профилированного свинца в качестве деформирующей среды. Полученные результаты исследования имеют практическую важность с точки зрения повышения прочностных характеристик штампуемых деталей.

### Ключевые слова

Штамповка пластичным металлом, тонкостенная деталь, профилированный свинцовый блок, коническая выдавка, утонение купольной части, проектирование моделирование, программный комплекс DEFORM-2D, настройка параметров расчета

Поступила в редакцию 18.06.2021

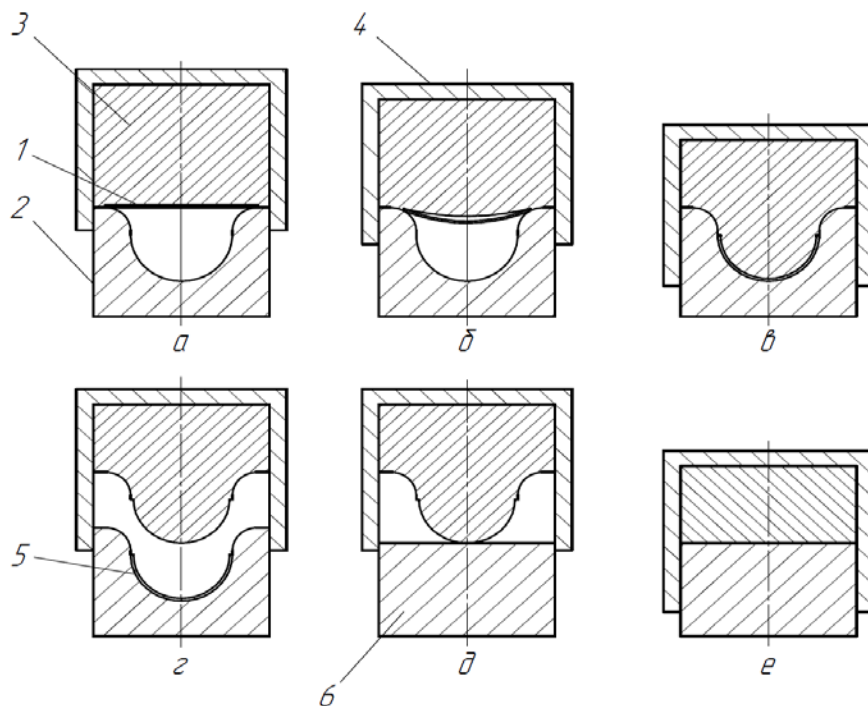
© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

---

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

Применение свинца в качестве деформирующей среды в процессе штамповки плоских листовых заготовок в детали двойной кривизны типа «полусфера» является перспективным направлением улучшения массовых и прочностных характеристик деталей летательных аппаратов и изделий специальной техники, таких как штампосварные топливные баки различной конфигурации, детали трубопроводов и др. Использование свинца в качестве деформирующей среды обеспечивает более равномерный характер распределения толщины стенки в детали по сравнению с аналогичными деталями, полученными штамповкой в инструментальном штампе [1, 2]. В процессе проектирования устройства для штамповки листовых деталей пластичным металлом помимо задачи выбора механизма перемещения формоизменяющих элементов (матрицы и разглаживателя) возникает задача выбора геометрии заходной части матрицы, рациональных условий контактного взаимодействия в системе «матрица — заготовка — пластичный металл (свинец)» и подбора оптимальной формы свинца [3]. Ряд тех-

нологических рекомендаций по выбору геометрии заходной части матрицы и условий контактных взаимодействий приведен в работе [4].



**Рис. 1.** Схема процесса формообразования деталей типа «полусфера» пластичной средой:  
*a* — исходное положение; *б, в* — промежуточная и завершающая стадии штамповки; *г* — размыкание штампа для извлечения заготовки; *д* — замена рабочей матрицы на разглаживатель;  
*е* — разглаживание свинца; 1 — заготовка; 2 — матрица; 3 — пластичная среда;  
 4 — пресс-контейнер; 5 — деталь; 6 — разглаживающий пуансон

Суть типового процесса формообразования оболочечных деталей свинцом заключается в следующем (рис. 1). Листовая заготовка 1 устанавливается на рабочую матрицу 2. При рабочем ходе пресс-контейнер 4 с пластичной средой 3 опускается вниз и заготовка 1 вместе с матрицей 2 вдавливается в пластичный металл, который вместе с заготовкой течет в рабочую полость матрицы 2. В результате происходит свертка заготовки в полое изделие 5. По окончании вытяжки пластичный металл, принявший форму внутренней полости жесткой металлической матрицы 2, обжимается плоской разглаживающей матрицей 6. После этого цикл штамповки может повторяться [5].

В работе [5] приведены результаты моделирования процесса штамповки в программном комплексе DEFORM. По результатам исследований были сделаны выводы о целесообразности применения свинца в качестве деформирующей среды. Для создания полезных сил трения при перемещении свинца по поверхности заготовки предложено выполнять выдавку в свинце (рис. 2).

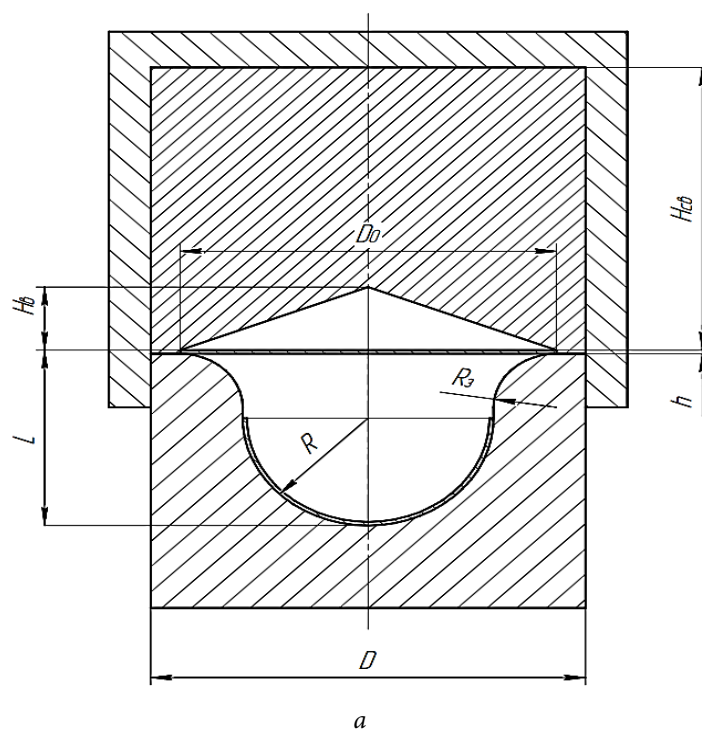
Наряду с созданием полезных сил трения наличие в свинцовом блоке конической полости дает возможность отодвинуть момент контакта свинца с заго-

товкой практически к самому концу процесса штамповки, что позволяет увеличить толщину купольной части детали [5].

Цель данной статьи — изучение влияния размеров конической выдавки в свинце на утонение в купольной части.

В ходе исследования было проведено численное моделирование процессов штамповки в программном комплексе DEFORM. Возможности данного комплекса позволяют задавать в качестве исходных данных геометрические параметры и материал заготовки, модели деформирования материалов, геометрические параметры штамповой оснастки, характеристики трения между соприкасающимися поверхностями, настраивать сетку конечных элементов, задавать закон движения инструмента и ряд дополнительных условий, при которых может протекать процесс штамповки [5].

**Моделирование.** На первом этапе моделирования была построена расчетная схема штамповки (рис. 2).



Обозначение	$R$	$R_3$	$D_0$	$D$	$h$	$H_{св}$	$l$
Числовое значение, мм	30	15	90	104	1	80	49

б

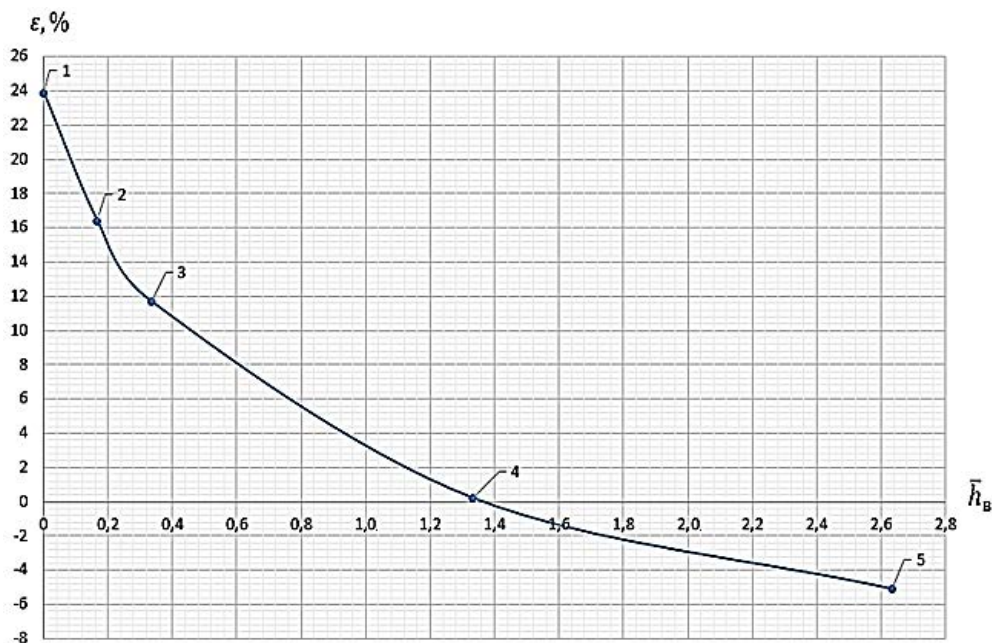
**Рис. 2.** Расчетная схема штамповки (а) и ее геометрические параметры (б)

Штамповка детали типа «полусфера» радиусом  $R = 30$  мм осуществлялась из листовой заготовки диаметром  $D_0 = 90$  мм и толщиной  $h = 1$  мм, выполненной из стали 08кп.

На втором этапе была произведена настройка препроцессора расчетного модуля программы DEFORM-2D согласно рекомендациям, приведенным в работе [4]. Основной задачей на данном этапе исследования являлась оценка влияния размера конической выдавки  $H_в$  (рис. 2) на толщину детали в купольной части. Выполнены расчеты со свинцовыми блоками, различающиеся значениями  $H_в$  в диапазоне 0...79 мм (0, 5, 10, 40, 79 мм), при этом размеры штампуемой детали и заготовки оставались неизменными.

По результатам численного моделирования была получена зависимость, изображенная на рис. 3. Здесь  $\bar{h}_в = H_в / R_{сф}$  — относительная глубина выдавки ( $H_в$  — глубина конической выдавки в свинцовом блоке;  $R_{сф}$  — радиус полусферы);  $\varepsilon = \frac{S_н - S_к}{S_н} \cdot 100$  — относительное утонение в куполе ( $S_н$  — толщина заготовки;  $S_к$  — толщина детали в купольной части). Размеры конических выдавок в свинце отмечены в пересчете на относительные координаты.

Анализ зависимости, представленной на рис. 3, показал, что при увеличении размера конической выдавки происходит утолщение детали в купольной части. Данный результат моделирования не противоречит выполненным ранее исследованиям и разработанным техническим решениям, в связи с чем является пригодным для анализа технологических процессов пластического деформирования и подбора соответствующей геометрии свинцового блока [3–11].



**Рис. 3.** Зависимость утонения в купольной части детали от размера конической выдавки:

1 —  $H_в = 0$  мм; 2 — 5 мм; 3 — 10 мм; 4 — 40 мм; 5 — 79 мм

**Выводы.** В результате обработки теоретических данных и результатов моделирования можно сделать следующие рекомендации:

1) для увеличения толщины детали типа «полусфера» в купольной части необходимо увеличивать размер конической выдавки в свинцовом блоке, тем самым увеличив время вхождения свинца в контакт с заготовкой в процессе штамповки;

2) при  $\bar{h}_b = 1,33$  дальнейшее увеличение размера конической выдавки приводит к утолщению купольной части по отношению к заготовке;

3) для обеспечения равенства толщины купола полусферы и толщины заготовки ( $\varepsilon = 1$ ) следует принимать значение показателя  $\bar{h}_b$  из диапазона 1,25... 1,40.

### Литература

- [1] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Герасимов Н.В. и др. Анализ формоизменения заготовок при вытяжке полусферических деталей с применением промежуточных деформируемых сред. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2014, № 7, с. 21–24.
- [2] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Зарубина О.В. и др. Способ штамповки-вытяжки оболочечных листовых деталей литейной пластичной средой. Патент РФ 2710616. Заявл. 13.06.2019, опубл. 30.12.2019.
- [3] Бабурин М.А., Сизов Е.С., Плихунов В.В. и др. Интенсификация вытяжного производства полых деталей из листового металла. Ч. 1. Пермь, РАЕН, 1995.
- [4] Иванов Д.А. Анализ влияния геометрии матрицы на утонение купольной части листовых деталей при штамповке свинцом. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 10. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-10-646>
- [5] Фонарев Д.А. Численный анализ разнотолщинности пологих листовых заготовок деталей летательных аппаратов при различных схемах ведения процесса штамповки. *Политехнический молодежный журнал*, 2019, № 9. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-9-518>
- [6] Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л., Машиностроение, 1979.
- [7] Сизов Е.С., Бабурин М.А. Штамповка листовых деталей сложной формы пластично-эластичными средами. *Кузнечно-штамповочное производство*, 1994, № 8, с. 9–11.
- [8] 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. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2015, № 2, с. 18–22.
- [9] 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>
- [10] 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. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2015, № 2, с. 18–22.
- [11] 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.

**Научные руководители:**

**Комков Михаил Андреевич** — доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

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

**Михаил Аронович Бабурин** — 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 конической выдавки в свинце на толщину в купольной части полусферы при штамповке свинцом. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 07(60). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-07-721>

## ANALYSIS OF THE CONICAL EXTRUSION EFFECT IN LEAD ON THE THICKNESS OF HEMISPHERE DOMED PART DURING LEAD STAMPING

D.A. Ivanov

spaceivanoff@yandex.ru

SPIN-code: 1971-7116

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

The article presents numerical investigations of the change in the thickness of a thin-walled hemispherical part along the meridian during lead stamping. The study was carried out using the finite element method in the DEFORM-2D software package. In the course of modeling, design schemes were used with various geometric parameters of the lead block. The dependence of the dome part thickness on the size of the conical extrusion in lead is established and recommendations for stamping with a plastic medium are given. The expediency of using profiled lead as a deforming medium has been substantiated. The obtained research results are of practical importance from the point of view of increasing the strength characteristics of stamped parts.

### Keywords

Stamping with plastic metal, thin-walled part, profiled lead block, conical extrusion, dome thinning, design modeling, DEFORM-2D software package, adjustment of calculation parameters

Received 18.06.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

---

### References

- [1] 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. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure], 2014, no. 7, pp. 21–24 (in Russ.).
- [2] Baburin M.A., Baskakov V.D., Zarubina O.V. et al. Sposob shtampovki-vytyazhki obolocheknykh listovykh detaley plastichnoy sredoy [Method of extrusion of shell sheet parts by plastic medium]. Patent RU 2710616. Appl. 13.06.2019, publ. 30.12.2019 (in Russ.).
- [3] Baburin M.A., Sizov E.S., Plikhunov V.V. et al. Intensifikatsiya vytyazhnogo proizvodstva polykh detaley iz listovogo metalla. Ch. 1 [Intensification of hollow part stretching production from sheet metal. P. 1]. Perm', RAEN Publ., 1995 (in Russ.).
- [4] 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-10-646> (in Russ.).
- [5] Fonarev D.A. Numerical analysis of the thickness variation of shallow parent sheets of aircraft parts for various patterns of the stamping process. *Politekhicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical Student Journal], 2019, no. 9. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2019-9-518> (in Russ.).
- [6] Romanovskiy V.P. *Spravochnik po kholodnoy shtampovke* [Handbook on cold forging]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1979 (in Russ.).

- 
- [7] Sizov E.S., Baburin M.A. Forging of complex-shaped sheet parts by elastic-plastic medium. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, 1994, no. 8, pp. 9–11 (in Russ.).
- [8] 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. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [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. A mathematical model for calculating the limiting drawing ratio of cylindrical parts drawn from sheet blanks of variable thickness. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2018, no. 4, pp. 10–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2018-4-10-18> (in Russ.).
- [10] 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. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure], 2015, no. 2, pp. 18–22 (in Russ.).
- [11] Baburin M.A., Baskakov V.D., Zarubina O.V. et al. Application of thickness-shaped billets to control wall thickness of shell parts die-stamped by lead. *Tekhnologiya metallov*, 2016, no. 11, pp. 2–8 (in Russ.).

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

**Scientific advisors:**

**Komkov M.A.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

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

**Mikhail A.B.** — 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 conical extrusion effect in lead on the thickness of hemisphere domed part during lead stamping. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 07(60). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-07-721.html> (in Russ.).