Научная статья

УДК 669.721

# Сила деформирования в процессе холодного обратного выдавливания тонкостенного стакана из магния

## Юлия Валентиновна Замараева

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия

zamaraevajulia@yandex.ru

Аннотация. Выполнено моделирование обратного выдавливания пуансоном, без калибрующего пояска и при его наличии, магниевой заготовки в холодном состоянии с применением метода конечных элементов. Выявлено, что пуансон с калибрующим пояском позволяет провести процесс обратного выдавливания с меньшей силой деформирования в отличие от процесса выдавливания пуансоном без калибрующего пояска.

**Ключевые слова:** магний, обратное выдавливание, метод конечных элементов, сила выдавливания

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90051; авторы выражают благодарность научному руководителю — доктору технических наук, профессору Ю. Н. Логинову.

Original article

## The Force of Deformation in the Process of Cold Backward Extrusion of a Thin-Walled Magnesium Cup

## Yuliya V. Zamaraeva

<sup>©</sup> Замараева Ю.В., 2022

### Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia M. N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

zamaraevajulia@yandex.ru

**Abstract**. Modeling of back extrusion with a punch without a parallel land and in the presence of a magnesium blank in a cold state using the finite element method is performed. It is revealed that a punch with a parallel land allows for the process of back extrusion with a lower deformation force, in contrast to the process of extrusion with a punch without a parallel land.

Keywords: magnesium, backward extrusion, finite element method, extrusion force

Acknowledgments. The research was carried out with the financial support of the RFBR in the framework of scientific project No. 20-38-90051; the authors express their gratitude to the scientific supervisor — doctor of sciences in engineering, professor Yu. N. Loginov.

В последние годы появилось несколько работ, посвященных деформации магния методом интенсивной пластической деформации — обратным выдавливанием (OB) [1; 2], схема которого основана на воздействии на торец цилиндрической заготовки, помещенной в контейнер, пуансоном меньшим диаметром, чем диаметр заготовки. Замыкание очага деформации обеспечивает шайба. Металл вытекает навстречу перемещению пуансона, образуя цилиндрическую оболочку. Схема обратного выдавливания цилиндрических заготовок часто используется для получения изделий типа стаканов [3; 4]. При удалении дна у стакана полученный продукт приобретает форму оболочки [5], что расширяет сферу применения метода.

В процессе холодного обратного выдавливания важным является отслеживание силовых режимов, а именно силы деформирования и давления на пуансоне. Для повышения стойкости деформирующего инструмента и увеличения надежности работы штампов есть стремление к понижению этих величин.

Для оптимизации силового режима процесса обратного выдавливания тонкостенного магниевого стакана изучено влияние калибрующего пояска на пуансоне на величину усилия и давления. Для решения задачи обратного выдавливания применен программный комплекс DEFORM-2D. Материал заготовки — магний марки Мг90 по стандарту ГОСТ 804—93. Магниевый образец представлен в виде цилиндра диаметром D = 6 мм и высотой  $H_0 = 4$  мм. Диаметр пуансона — 5,6 мм. Скорость перемещения пуансона — 0,5 мм/с. Радиус скругления кромки пуансона — 0,35 мм при угле конусности 2°. Показатель трения в соответствии с законом трения Зибеля в процессе равен 0,2.

При такой постановке задачи получен стакан внешним диаметром d = 6 мм, толщиной стенки s = 200 мкм и высотой h = 8 мм.

Принято решение провести сравнительный анализ силы деформирования в процессе обратного выдавливания пуансоном без калибрующего пояска и при его наличии. В качестве эксперимента выбран пуансон с аналогичным коническим торцом с калибрующим пояском длиной  $l_{\kappa.\pi} = 0,6$  мм. На рис. 1 показано распределение силы штамповки для варианта обратного выдавливания пунсоном без калибрующего пояска и при его наличии при перемещении пуансона по оси z (1 мм).



Рис. 1. Распределение силы штамповки при деформации пуансоном: *a* — без калибрующего пояска; *б* — с калибрующим пояском

На рисунке видно, что сила штамповки при деформации пуансоном без калибрующего пояска (рис. 1, a) непрерывно растет, что можно объяснить постоянным увеличением поверхности трения, и достигает значения 1370 кН. При деформации пуансоном с калибрующим пояском сила достигла значения 920 кН (рис. 1,  $\delta$ ), что на 33% меньше силы в варианте обратного выдавливания пуансоном без калибрующего пояска.

В качестве эксперимента получено решение, в котором перемещение пуансона по оси *z* назначено 1,2 мм.

На рис. 2 показано распределение силы штамповки для варианта обратного выдавливания пунсоном без калибрующего пояска и при его наличии при перемещении пуансона по оси z (1,2 мм).





*а* — без калибрующего пояска; *б* — с калибрующим пояском

Сила штамповки при деформации пуансоном без калибрующего пояска (рис. 2, *a*) в этом случае достигает значения 1650 кН. Таким образом, можно сказать, что при увеличении пути перемещения пуансона без калибрующего пояска на 20% сила деформации увеличивается также на 20%. При деформации пуансоном с калибрующим пояском сила достигает значения 1000 кН (рис. 2,  $\delta$ ), что на 40% меньше силы в варианте обратного выдавливания пуансоном без калибрующего пояска. Здесь можно сказать, что при увеличении пути перемещения пуансона с калибрующим пояском на 20% сила деформации увеличивания пуансона с калибрующим пояском на 20% сила деформации увеличивается на 8%.

Из графиков видно, что при деформации пуансоном с калибрующим пояском усилие, после выхода металла из очага деформации, возрастает менее резко в сравнении с вариантом применения пуансона без калибрующего пояска, а значит величина давления на пуансоне при деформации пуансоном с калибрующим пояском дольше не превысит значение допускаемого напряжения, что обеспечит работу такого инструмента без разрушения, следовательно, появится возможность получить стакан с большей высотой стенки. Таким образом, калибрующий поясок на пуансоне позволит оптимизировать силовой режим процесса обратного выдавливания, а именно повысить стойкость деформирующего инструмента и надежность работы пуансона.

#### Список источников

- 1. Fatemi-Varzaneh S. M., Zarei-Hanzaki A., Paul H. Characterization of ultrafine and nanograined magnesium alloy processed by severe plastic deformation // Materials Characterization. 2014. Vol. 87. P. 27–35.
- 2. Логинов Ю. Н., Замараева Ю. В. Обратное выдавливание цилиндра с применением противодавления // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2020. № 12. С. 30–35.
- 3. Лавриненко В. Ю., Говоров В. А. Исследование процесса обратного выдавливания поковок типа «стакан» с уменьшенной разностенностью // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. № 9 (204). С. 26–28.
- 4. Моделирование процесса обратного выдавливания тонкостенных полых изделий с активизацией контактных скольжений металла / М. И. Поксеваткин [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2017. № 12. С. 3–7.
- 5. Сосёнушкин Е. Н., Яновская Е. А., Сосёнушкин А. Е. Аналитические и физические модели технологии обратного выдавливания // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2019. № 9. С. 23–32.

#### References

- Fatemi-Varzaneh S. M., Zarei-Hanzaki A., Paul H. Characterization of ultrafine and nanograined magnesium alloy processed by severe plastic deformation // Materials Characterization. 2014. Vol. 87. P. 27–35.
- Loginov Yu. N., Zamaraeva Yu. V. Reverse extrusion of the cylinder with the use of back pressure // Forging and stamping production. Pressure processing of materials. 2020. No. 12. P. 30–35.

- Lavrinenko V. Yu., Govorov V.A. Investigation of the process of back extrusion of forging of the "cup" type with a reduced difference // Proceedings of the Volgograd State Technical University. 2017. No. 9 (204). P. 26–28.
- Modeling of the process of reverse extrusion of thin-walled hollow products with activation of contact slip of metal / M. I. Poksevatkin [et al.] // Forging and stamping production. Pressure processing of materials. 2017. No. 12. P. 3–7.
- Sosenushkin E. N., Yanovskaya E. A., Sosenushkin A. E. Analytical and physical models of reverse extrusion technology // Forging and stamping production. Pressure processing of materials. 2019. No. 9. P. 23–32.