

УДК 621.777

DOI:10.30987/2223-4608-2020-6-16-20

**С.Н. Ларин**, д.т.н.,

**А.А. Пасынков**, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», 300012, г. Тула, проспект Ленина, 92)

**Г.А. Нуждин**, к.т.н.

(Орган по сертификации НИТУ «МИСИС», г. Москва, Ленинский проспект, 4)

E-mail: mpf-tula@rambler.ru

## **Обратное выдавливание прутковой заготовки с активным трением и вытяжкой утолщения на торце\***

*Рассмотрен комбинированный процесс формоизменения, заключающийся в сочетании обратного выдавливания прутковой заготовки и утонения утолщенной торцевой части детали посредством перемещения матрицы в направлении, противоположном движению пуансона. Исследования выполнены в комплексе DEFORM. В ходе исследований установлен характер течения металла, выявлены силовые характеристики процесса.*

**Ключевые слова:** обратное выдавливание; сила деформирования; вытяжка; комбинированные процессы штамповки.

**S.N. Larin**, Dr. Sc. Tech.,

**A.A. Pasyнков**, Can. Sc. Tech.,

(FSBEI HE "Tula State University", 92, Lenin Avenue, Tula, 300012)

**G.A. Nuzhдин**, Can. Sc. Tech.

(Department for Certification of NITU "MISIS", 4, Leninsky Avenue, Moscow)

## **Reverse extrusion of bar stock with active friction and end swell stretching**

*A combined process of shaping is considered which consists in the combination of reverse extrusion of bar stock and thinning an end swell in a part by means of matrix displacement in the direction opposite to the punch stamp motion. The investigations are carried out in the DEFORM complex. In the course of investigations there is defined a character of a metal flow, force characteristics of the process are defined.*

**Keywords:** reverse extrusion; deformation force; stretching; combined stamping processes.

В современном мире актуально применение новых наукоёмких технологий для изготовления различных изделий [1 – 4]. В кузнечно-штамповочном производстве актуально использование совмещения различных операций в один сложный комбинированный процесс [5 – 9]. Это позволяет добиться повышения эффективности производства, заключающегося в увеличении степеней деформаций за один рабочий ход инструмента и снижении силовых параметров.

\* Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 20-08-00401.

В работе рассмотрен процесс обратного выдавливания, отличающегося использованием перемещающейся матрицы в направлении, противоположном перемещению инструмента.

На рис. 1 представлена схема исследуемой операции. Принцип предлагаемого процесса заключается в том, что при перемещении пуансона вниз металл затекает в коническое пространство матрицы, образуется уширение. При дальнейшем перемещении пуансона реализуется обратное выдавливание. При этом происходит и перемещение матрицы в на-

правлении, противоположном пуансону. Скорость матрицы в несколько раз больше, чем скорость пуансона. Реализуется обратное выдавливание с активным трением, но в то же время происходит вытяжка с утонением полученного уширения на торце.

Для расчетов принимались следующие размеры: диаметр пуансона  $D_{\text{п}} = 60$  мм; диаметр матрицы  $D_{\text{м}} = 76,84$  мм; диаметр заготовки  $D_0 = 70$  мм; высота заготовки  $H = 50$  мм; углы конусности матрицы  $\alpha = 15, 45, 60^\circ$ . Заготовка позиционировалась таким образом, что ее нижний торец должен находиться на одном уровне с переходом цилиндрической стенки матрицы в конический участок. Скорость перемещения пуансона принималась равной 30 мм/с, матрицы – 120 мм/с. Моделирование процессов штамповки для получения перечисленных изделий и полуфабрикатов под них выполнено с использованием основных положений теории пластичности упругопластического, несжимаемого, упрочняющегося материала в программном комплексе Qform3Dv7, основанном на методе конечных элементов. Материал заготовки – сталь 45.

На рис. 2 представлены схемы, иллюстрирующие формирование геометрии изделия в процессе деформирования для  $D_{\text{м}} = 76$  мм и разных углов  $\alpha$ .

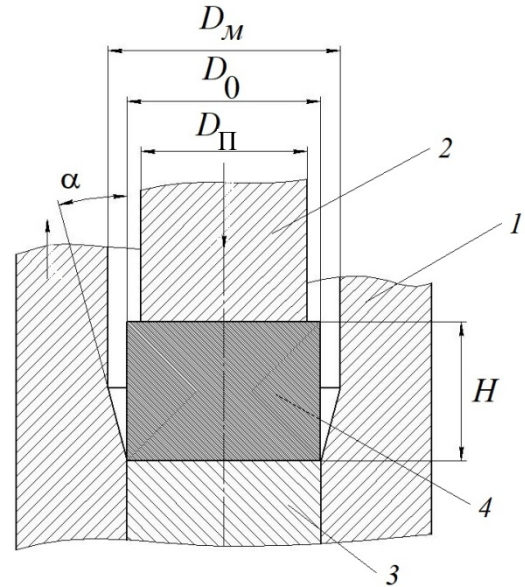


Рис. 1. Схема выдавливания:

1 – матрица; 2 – пуансон; 3 – опора; 4 – заготовка

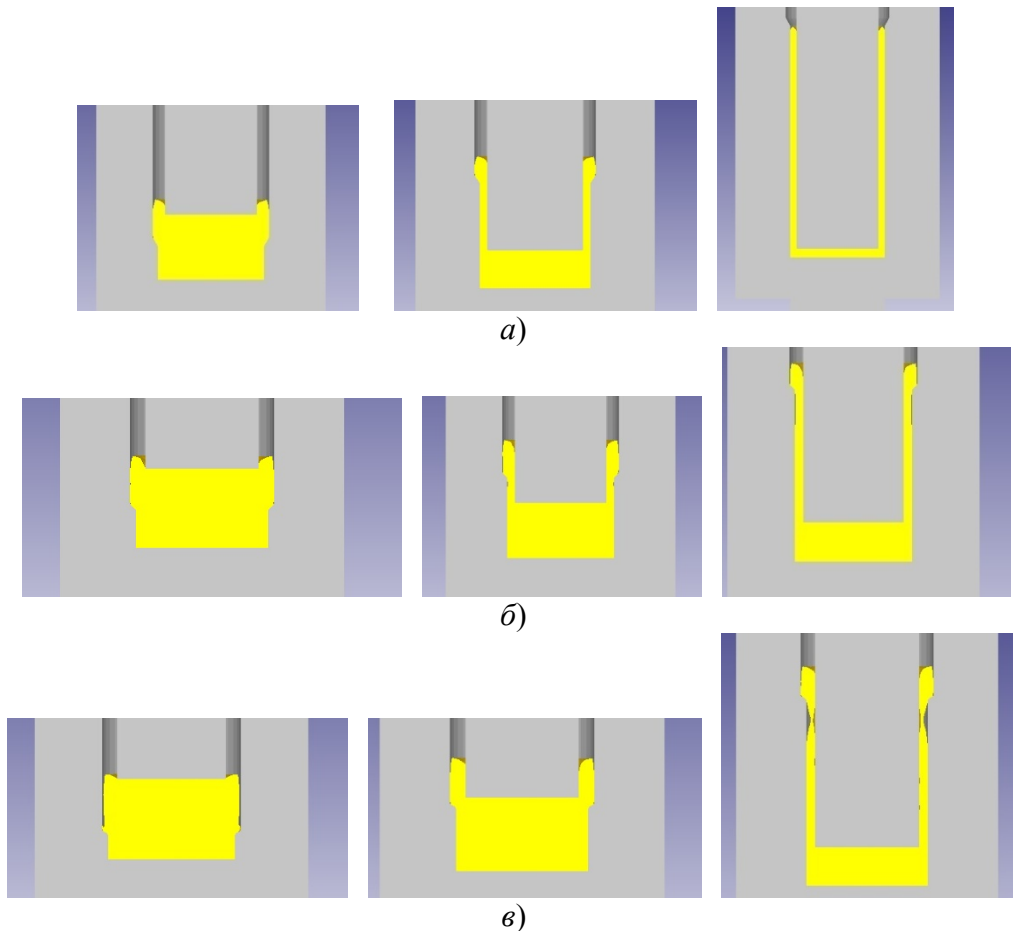


Рис. 2. Схемы процесса для  $D_{\text{м}} = 76$  мм и разных углов: а –  $\alpha = 30^\circ$ ; б –  $\alpha = 45^\circ$ ; в –  $\alpha = 60^\circ$

На рис. 3 представлены схемы, показывающие формоизменение изделия на разных этапах для  $D_M = 84$  мм и разных углов  $\alpha$ .

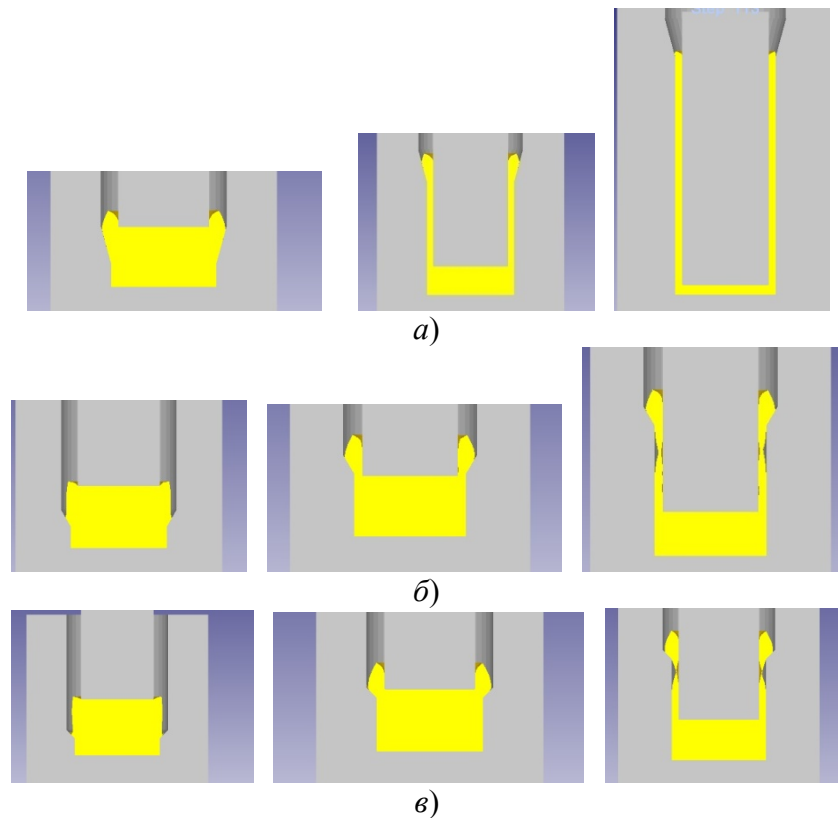


Рис. 3. Схемы процесса для  $D_M = 84$  мм и разных углов: а –  $\alpha = 15^\circ$ ; б –  $\alpha = 30^\circ$ ; в –  $\alpha = 45^\circ$

Как видно из представленных схем при диаметре конического участка матрицы равном 76 мм формоизменение без повреждения геометрии происходит до угла  $30^\circ$  для рассматриваемых случаев. При угле конусности  $\alpha = 45^\circ$  заметно утонение стенки ближе к торцевой части детали. При угле конусности  $\alpha = 60^\circ$  заметен разрыв стенки детали. При диаметре конического участка матрицы 84 мм и угле конусности  $\alpha = 15^\circ$  деталь формируется полностью без утонения стенки и ее разрушения. При углах  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$  и  $\alpha = 60^\circ$  происходит отрыв стенки детали ввиду значительных растягивающих напряжений, формирующихся подталкиванием матрицей утолщения на торце изделия.

Были рассмотрены различные варианты формоизменения, позволяющие реализовать предлагаемую схему, но с углами большими, чем  $\alpha = 15^\circ$ . На рис. 4 представлена схема формоизменения позволяющая добиться формирования детали с углом конусности  $\alpha = 45^\circ$ . Ее смысл заключается в том, что заготовка располагается не на одном уровне с переходом цилиндрической стенки матрицы в конический участок, а ниже этого участка на половину ее высоты.

Анализ полученных результатов показал, что в процессе формоизменения при такой схеме происходит формирование утолщения меньшего объема, и металлу из утолщения намного проще перетекать в тонкую стенку. Растягивающие напряжения становятся меньше и, соответственно, разрывов стенки не наблюдается.

Выполнена оценка сил формоизменения исследуемого процесса и сравнение с результатами исследований обратного выдавливания. На рис. 5 представлена зависимость «сила – путь», показывающая изменение силы во времени деформирования.

Анализ зависимости, представленной на рис. 5, показал, что применение активного трения с вытяжкой утолщения на торце дает снижение сил деформирования на пуансоне на 15 % относительно обратного выдавливания, и на 13 % относительно обратного выдавливания с активным трением.

Представим зависимость «сила – путь», показывающую изменение силы во времени деформирования для матрицы с диаметром 76 мм (рис. 6, а) и диаметром 84 мм (рис. 6, б) и различными углами конусности.

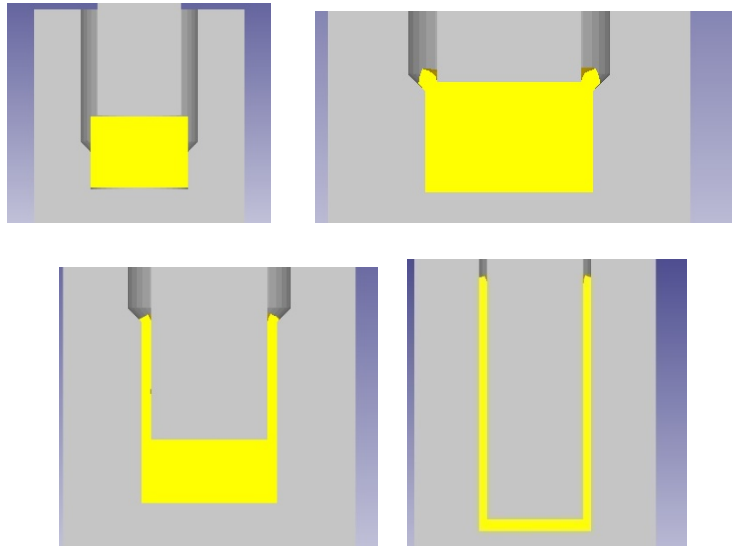


Рис. 4. Схема процесса ( $\alpha = 45^\circ$ ,  $D_M = 84$  мм)

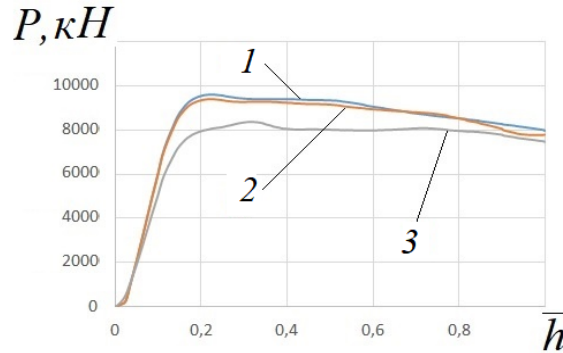


Рис. 5. Зависимость «сила – путь»:

1 – обратное выдавливание; 2 – обратное выдавливание с активным трением; 3 – предлагаемая схема ( $D_M = 76$  мм,  $\alpha = 15^\circ$ )

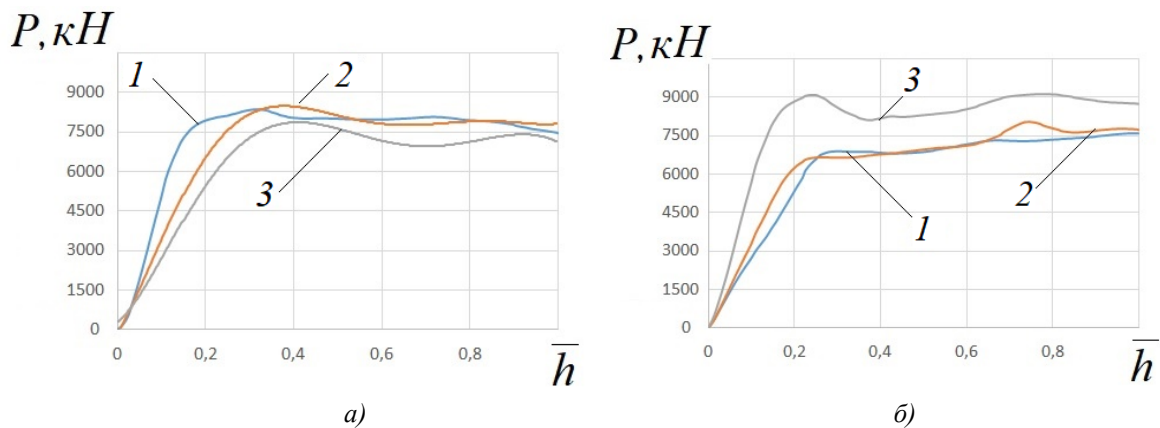


Рис. 6. Зависимость «сила – путь»  $D_M = 76$  мм (а),  $D_M = 84$  мм (б): 1 –  $\alpha = 15^\circ$ ; 2 –  $\alpha = 30^\circ$ ; 3 –  $\alpha = 45^\circ$

Углы конусности на рис. 6 соответствуют рассмотренным случаям без образования разрыва в стенке изделия. Анализ показал, что увеличение диаметра матрицы  $D_M$  при одинаковых углах конусности матрицы приводит к снижению сил выдавливания на 12 %. Увели-

чение угла конусности приводит к снижению сил при меньшем диаметре  $D_M$  и росту сил при большем диаметре  $D_M$ . Линия 3 на рис. 6, б соответствует схеме деформирования, представленной на рис. 4.

## Выводы

Установлено, что предлагаемый способ позволяет снизить силу штамповки на 20 %. Условием достижения эффекта снижения сил формоизменения служит формирование достаточного объема металла в утолщении на торце детали при формообразовании. Кроме того, варьирование и подбор углов конусности матрицы и диаметра матрицы позволяет обеспечить большее снижение силовых нагрузок. Полученный способ можно использовать при изготовлении корпусных цилиндрических изделий с тонкими стенками, высота которых значительно превосходит диаметральные размеры.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евдокимов А.К., Назаров А.В. Учет противодавления при обратном выдавливании с активным трением // Заготовительные производства в машиностроении. – 2007. – № 11. – С. 28-35.
2. Евдокимов А.К., Петров Б.В. Механизм образования утяжины в ступенчатой стенке выдавленного стакана // Известия ТулГУ. Серия. Механика деформированного твердого тела и обработка металлов давлением. – 2004. – Вып. 3. – С. 74 - 81.3.
3. Пасынков А.А., Борискин О.И., Ларин С.Н. Теоретические исследования операции изотермической раздачи труб из труднодеформируемых цветных сплавов в условиях кратковременной ползучести // Цветные металлы. – 2018. – №2. – С. 74-78.
4. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник. – М.: Металлургия, 1976. – 488 с.
5. Baghbani Barenji A., Eivani A.R., Hasheminasari M., Park N., Jafarian H.R. Application of hot forming cold die quenching for facilitating equal channel angular pressing of AA2024 aluminum alloy // Journal of Alloys and Compounds. 2019, vol 79130. p. 265-277
6. Maeno T., Mori K., Ichikawa Y., Sugawara M. Use of liquid lubricant for backward extrusion of cup with internal splines using pulsating motion // Journal of Materials Processing Technology. 2017, vol 244. p. 273-281
7. Larin S.N., Pasyнков A.A. Analysis of forming properties during the isothermal upsetting of cylindrical workpieces in the viscous-plasticity mode // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, vol 441.

8. Xiangkun Fan, Liang Chen, Gaojin Chen, Guoqun Zhao, Cunsheng Zhang 10 of 1060/6063 aluminum alloys based on porthole die extrusion process // Journal of Materials Processing Technology. 2017, vol 250. p. 65-72

9. Demin V.A., Chernyaev A.V., Platonov V.I., Korotkov V.A. Methodology for the experimental determination of the mechanical and plastic properties of a material under tension with elevated temperature // Non-ferrous metals. 2019, vol 5. p. 66-73

## REFERENCES

1. Yevdokimov A.K., Nazarov A.V. Back pressure account at reverse extrusion with active friction // *Pre-production in Mechanical Engineering*. 2007. No.11. pp. 28-35.
2. Yevdokimov A.K., Petrov B.V. Mechanism of tightening formation in stepped wall of extruded sleeve // *Proceedings of TulaSU. Series. Mechanics of Solid Deformed and Metal Forming*. 2004. Issue 3. pp. 74-81.3.
3. Pasyнков A.A., Borisкин O.I., Larin S.N. Theoretical investigations of isothermal distribution of hard-deformable non-ferrous alloy pipes under conditions of short-term creep // *Non-ferrous Metals*. 2018. No.2. pp. 74-78.
4. Polukhin P.I., Gun G.Ya., Galkin A.M. *Plastic Deformation Resistance of Metals and Alloys*. Reference Book. M.: Metallurgy, 1976. Pp. 488.
5. Baghbani Barenji A., Eivani A.R., Hasheminasari M., Park N., Jafarian H.R. Application of hot forming cold die quenching for facilitating equal channel angular pressing of AA2024 aluminum alloy // *Journal of Alloys and Compounds*. 2019, vol 79130. p. 265-277.
6. Maeno T., Mori K., Ichikawa Y., Sugawara M. Use of liquid lubricant for backward extrusion of cup with internal splines using pulsating motion // *Journal of Materials Processing Technology*. 2017, vol 244. p. 273-281.
7. Larin S.N., Pasyнков A.A. Analysis of forming properties during the isothermal upsetting of cylindrical workpieces in the viscous-plasticity mode // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018, vol 441.
8. Xiangkun Fan, Liang Chen, Gaojin Chen, Guoqun Zhao, Cunsheng Zhang 10 of 1060/6063 aluminum alloys based on porthole die extrusion process // *Journal of Materials Processing Technology*. 2017, vol 250. p. 65-72.
9. Demin V.A., Chernyaev A.V., Platonov V.I., Korotkov V.A. Methodology for the experimental determination of the mechanical and plastic properties of a material under tension with elevated temperature // *Non-ferrous metals*. 2019, vol 5. p. 66-73.

Рецензент д.т.н. В.А. Дёмин