

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ СТУПИЦЫ ПРИ ОСАДКЕ ЗАГОТОВКИ В ПОДКЛАДНОМ КОЛЬЦЕ

© 2020 А.В. Гусева, В.Р. Каргин, Н.Д. Рузанов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Статья поступила в редакцию 11.06.2020

Проведено компьютерное моделирование процесса осадки цилиндрической заготовки на подкладном кольце в программном комплексе Deform 2D/3D. Установлено влияние степени деформации, относительных размеров заготовки, величины внешнего трения, относительных размеров отверстия в подкладном кольце, ковочного угла и радиуса закругления кромки на характер формообразования ступицы. С увеличением степени деформации установлен рост высоты ступицы по закону экспоненты. Чем ниже относительная высота заготовки  $H_0/D_0$ , тем выше высота ступицы. Внешнее трение способствует формообразованию более высокой ступицы, чем при осадке заготовки при отсутствии внешнего трения. При увеличении относительных размеров отверстия в подкладном кольце  $d_0/D_0$  наблюдается заметный рост высоты ступицы. При больших степенях деформации величина радиуса закругления кромки отверстия не оказывает влияния на формообразование ступицы. С увеличением ковочного угла с  $1^\circ$  до  $6^\circ$  высота ступицы возрастает в пределах (12 - 18) %.

**Ключевые слова:** свободная ковка, осадка в подкладном кольце, моделирование, сплав АД31, геометрия заготовки и инструмента, степень деформации, внешнее трение, высота ступицы.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-4-29-33

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из технологических операций процессаковки является операция осадки цилиндрической заготовки в подкладных кольцах. Данная операция позволяет получать поковки типа дисков с одно- или двухсторонними ступицами (отростками, бобышками, цапфами). Так отковывают некоторые типы прокатных валков, короткие кулачковые валы, поковки шестерён, фланцев и дисков со ступицами, когда размеры последних имеют небольшую величину в сравнении с габаритными размерами поковки [1 - 4].

Процесс осадки цилиндрических заготовок на нижнем подкладном кольце для поковки «диск с односторонней ступицей» рассмотрен в работах [5-10], в которых особое внимание уделено формообразованию заготовки, анализу потоков металла в радиальном и осевом направлениях, границе разделов потоков, расширению технологических возможностей осадки посредством изменения условий внешнего трения.

**Цель работы** – установление влияния соотношения начальных размеров заготовки, соотношения диаметра отверстия и диаметра заготовки в подкладном кольце, сил трения на контактных поверхностях верхнего бойка, подкладного кольца и заготовки, степени деформации, ковочного

угла и радиуса закругления отверстия на характер формообразования ступицы поковки.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Моделирование осадки цилиндрической заготовки из алюминиевого сплава АД31 на подкладном кольце (рис.1) реализовано средствами специализированного пакета программы Deform - 2D на базе метода конечных элементов [11].

При постановке задачи компьютерного моделирования ее рассматривали как осесимметричную.

Степень деформации заготовки определяли по формуле

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H_{ст}}{H_0} \cdot 100\%.$$

Высоту ступицы рассчитывали через разность высот по осевой линии  $H_0 = H_k - H_{ст}$ . Коэффициент трения  $\mu$  по контактным поверхностям принят по закону Кулона, количество конечных элементов в заготовке 1000.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 2 представлен график зависимости высоты ступицы  $H_{ст}$  от степени деформации  $\varepsilon$  заготовки при следующих исходных данных:  $D_0 = 40$  мм;  $H_0 = 40$  мм;  $d_0 = 22$  мм,  $\gamma = 3^\circ$ ,  $r = 3$  мм,  $\mu = 0,3$ .

Как видно из рис. 2, с увеличением степени деформации наблюдается заметный рост высоты ступицы по закону параболы.

В табл. 1 приведены результаты исследования по влиянию величины коэффициента

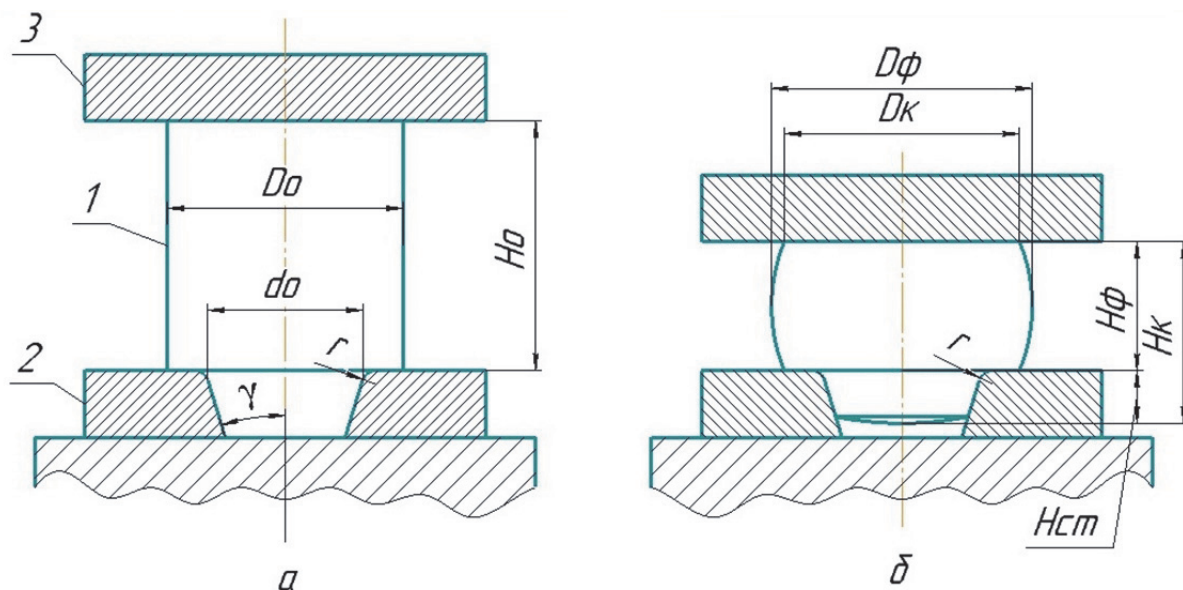
Гусева Анастасия Валерьевна, студентка.

E-mail: nastasya.gyseva.234@mail.ru

Каргин Владимир Родионович, кандидат технических наук, профессор.

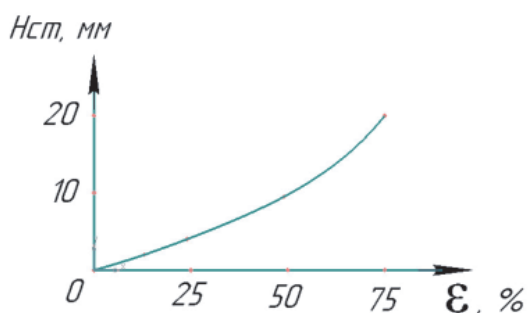
Рузанов Никита Дмитриевич, студент.

E-mail: ruzanow.n@yandex.ru



**Рис. 1.** Схема осадки цилиндрической заготовки 1 в подкладном кольце 2 плоскими бойком 3 в начале (а) и в конце (б) процесса:

$D_0$  – диаметр заготовки;  $H_0$  – высота заготовки;  $d_0$ , диаметр отверстия в подкладном кольце;  $\gamma$  – ковочный уклон;  $H_{ст}$  – высота ступицы;  $H_{\phi}$  – высота фланца;  $D_{\phi}$  – диаметр фланца;  $r$  – радиус кромки отверстия;  $H_k$  – высота поковки;  $D_k$  – диаметр контактной поверхности заготовки с верхним бойком



**Рис. 2.** График зависимости высоты ступицы от степени деформации

внешнего трения на контактных поверхностях заготовки и инструмента на высоту ступицы при различных степенях деформации при следующих условиях:  $D_0 = 40$  мм,  $H_0 = 40$  мм,  $d_0 = 40$  мм,  $\gamma = 3^\circ$ ,  $r = 3$  мм,  $\mu = 0; 0,15; 0,3; 0,5$ ;  $\epsilon = 25\%$ ;

50%; 75%.

Из рассмотрения результатов видно, что внешнее трение способствует формированию более высокой ступицы, чем при осадке заготовки без трения. При  $\mu = 0,15$  и степенях деформации  $\epsilon = 25\%, 50\%, 75\%$  получены наиболее высокие ступицы. Рост величины коэффициента трения приводит к уменьшению размеров ступиц в пределах 5 – 10%.

Основная причина роста высоты ступицы при осадке в подкладных кольцах с трением в сравнении без трения – это сдерживание течения металла силами трения в радиальном направлении от оси к периферии, что приводит к увеличению питающего объема металла, локализованного около отверстия кольца, для формирования ступицы.

В табл. 2 приведены результаты исследования влияния размеров исходной заготовки  $H_0$  /

**Таблица 1.** Результаты замеров высоты ступицы в мм в зависимости от значения коэффициента трения  $\mu$  и степени деформации  $\epsilon$

$\mu$	$\epsilon, \%$		
	25	50	75
0	3,2	8,4	18,7
0,15	3,7	9,5	20,4
0,30	3,3	8,6	18,9
0,50	2,8	8,4	18,5

$D_0$  на величину высоты ступицы при различных степенях деформации при следующих условиях:  $D_0 = 40$  мм;  $H_0/D_0 = 0,5, 1,0, 1,5, 2,0$ ;  $\mu = 0,3$ ;  $d_0 = 22$  мм;  $\gamma = 3^\circ$ ;  $\varepsilon = 25\%, 50\%, 75\%$ .

Из рассмотрения результатов видно, что чем ниже заготовка, тем больше высота ступицы. Наиболее целесообразно для осадки в подкладных кольцах использовать исходные заготовки с размерами  $H_0/D_0 = 0,5 \div 1,0$ , так как при осадке интенсивность возрастания высоты ступицы увеличивается с уменьшением отношения  $H_0/D_0$ . Такой характер изменения высоты ступицы свидетельствует и о сложном характере течения металла на разных этапах процесса осадки.

Ковочный уклон на подкладном кольце в пределах от  $1^\circ$  до  $7^\circ$  позволяет легко и быстро извлечь поковку из подкладного кольца.

Результаты моделирования по влиянию величины ковочного уклона на характер формирования размеров ступицы по высоте при  $\mu = 0,3$ ;  $D_0 = 40$  мм;  $H_0 = 40$  мм;  $\alpha = 1^\circ, 3^\circ, 6^\circ$ ;  $r = 3$  мм;  $\varepsilon = 25\%, 50\%, 75\%$  приведены в табл. 3.

Установлено, что с увеличением ковочного угла с  $1^\circ$  до  $6^\circ$  высота ступицы возрастает устойчиво, в пределах (12-18) %. Это связано с уменьшением сопротивления деформации металла при заполнении конической полости подкладного кольца.

Пересекающие поверхности ступицы и фланца сопрягаются по радиусу закругления  $r$ . При ковке этот выступ в полости конического отверстия обтекается металлом и считается

внутренним радиусом закругления. Его величина определяет качество поковки.

Результаты моделирования по влиянию величины радиуса закругления на характер изменения высоты ступицы при  $\mu = 0,3$ ;  $D_0 = 40$  мм;  $H_0 = 40$  мм;  $r = 1$  мм, 3 мм, 5 мм;  $\alpha = 3^\circ$ ;  $\varepsilon = 25\%, 50\%, 75\%$  приведены в табл. 4.

Установлено, что с изменением радиуса закругления высота ступицы изменялась в пределах 12% при  $\varepsilon = 25\%$ , 1% при  $\varepsilon = 50\%$  и  $\varepsilon = 75\%$ . Влияние  $r$  проявилось только при малых обжатиях. При больших обжатиях это влияние отсутствует.

Относительная величина отверстия в подкладном кольце определяется отношением диаметра отверстия  $d_0$  к первоначальному диаметру заготовки  $D_0$ , то есть  $d_0/D_0$ .

Результаты моделирования по влиянию геометрического параметра  $d_0/D_0$  на характер изменения высоты ступицы при  $\mu = 0,3$ ,  $D_0 = 40$  мм;  $d_0/D_0 = 0,4, 0,55, 0,70$ ;  $H_0 = 40$  мм;  $r = 3$  мм;  $\alpha = 3^\circ$  при степенях деформации  $\varepsilon = 25\%, 50\%, 75\%$  приведены в табл. 5.

Установлено, что с уменьшением  $d_0/D_0$  затекание металла в полость конического отверстия подкладного кольца затруднено. Это связано с повышением сопротивления деформации металла при заполнении полости. При увеличении отношения  $d_0/D_0$  заполнение полости кольца облегчается, что обеспечивает существенный рост высоты ступицы до 22,1 мм при степени деформации 75%.

**Таблица 2.** Результаты замеров высоты ступицы в мм в зависимости от степени деформации  $\varepsilon$  и размеров исходной заготовки  $H_0/D_0$

$\frac{H_0}{D_0}$	$\varepsilon, \%$		
	25	50	75
0,5	4,7	9,8	18,9
1,0	3,3	8,6	18,0
1,5	3,2	6,3	16,7
2,0	3,0	5,3	14,6

**Таблица 3.** Результаты замеров высоты ступицы в мм в зависимости от ковочного угла  $\gamma$  и степени деформации  $\varepsilon$

$\alpha^\circ$	$\varepsilon, \%$		
	25	50	75
$1^\circ$	3,3	8,4	18,3
$3^\circ$	3,4	8,9	19,2
$6^\circ$	3,9	9,6	20,5

**Таблица 4.** Результаты замеров высоты ступицы в мм в зависимости от радиуса закругления  $r$  и степени деформации  $\varepsilon$

$r$ , мм	$\varepsilon$ , %		
	25	50	75
1	3,1	8,9	19,6
3	3,4	8,9	19,2
5	3,8	9,0	19,2

**Таблица 5.** Результаты замеров высоты ступицы в мм в зависимости от отношения  $d_0/D_0$  и степени деформации  $\varepsilon$

$\frac{d_0}{D_0}$	$\varepsilon$ , %		
	25	50	75
0,40	2,4	6,2	15,8
0,55	3,4	8,9	19,2
0,70	4,8	11,1	22,1

### ВЫВОДЫ

1. Проведен численный анализ влияния относительных размеров цилиндрической заготовки, относительного диаметра, ковочного угла и радиуса закругления кромки конического отверстия подкладного кольца, степени деформации и внешнего трения на процесс формообразования односторонней ступицы поковки.

2. Повышение степени деформации при осадке на подкладном кольце играет положительную роль, интенсивно увеличивая высоту ступицы поковки по параболическому закону с ростом степени деформации.

3. При осадке низких заготовок  $H_0/D_0 < 1$  высота ступицы на поковке значительно больше на (12 – 22) %, чем при осадке высоких заготовок  $H_0/D_0 > 1$ .

4. Внешнее трение на контактных поверхностях плоского бойка и подкладного кольца способствует более благоприятному формообразованию ступицы поковки за счет увеличения питающего объема металла в области отверстия кольца.

5. Чем больше ковочный угол и входной диаметр полости подкладного кольца, тем меньше сопротивление металла при заполнении конической полости и соответственно выше ступица на поковке.

6. Величина радиуса закругления кромки входного отверстия в диапазоне 1 – 5 мм при степенях деформации  $\varepsilon > 50$  % не влияет на размер ступицы поковки.

7. Характер изменения высоты ступицы по-

ковки свидетельствует о сложном нестационарном течении металла в осевом и радиальном направлениях на разных этапах совмещенных процессов осадки и выдавливания цилиндрической заготовки.

8. Предлагаемые рекомендации по выбору параметров процесса осадки цилиндрической заготовки на подкладном кольце в п. 2 – 6 расширяют технологические возможности формообразования поковки типа «диск с односторонней ступицей».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семёнов Е.И. Ковка и горячая штамповка: Учебник. М.: МГИУ, 2011. 411 с.
2. Охрименко Я.М. Теория процессов ковки. Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1977. 295 с.
3. Кирсанова С.Б. Исследование течения металла при осадке в кольцах. Сборник трудов МВТУ им. Баумана «Машины и технологии обработки давлением», 1951.
4. Савонькин М.Б. Исследование течения металла при осадке цилиндрических заготовок бойками с осевым отверстием и разработка промышленного применения полученных результатов: диссертация, канд. техн. наук. М., 2018. 137 с.
5. Ребельский А.В. Основы проектирования процессов горячей объемной штамповки. М.: Машиностроение, 1965. 248 с.
6. Шофман Л.А. Основы расчета процессов штамповки и прессования. М.: Машгиз, 1961. 340 с.
7. Тарновский И.Я., Поздеев А.А., Ганаго О.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургиздат, 1963. 672 с.

8. Тарновский И.Я., Трубин В.Н., Златкин М.Г. Свободная ковка на прессах М.: Машиностроение, 1967. 328 с.
9. Lin, S. Y. Influences of the geometrical conditions of die and workpiece on the barreling formation during forging-extrusion process // Journal of Materials Processing Technology. 2003. № 140. P. 54–58.
10. Расширение технологических возможностей процесса осадки в подкладных кольцах посредством изменения условия контактного трения / А.В. Смирных, С.С. Стругов, В.А. Иванов, М.Д. Таркаленко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2018. Т. 18. № 2. С. 81–88.
11. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе DEFORM-2D: Учебное пособие / В.Р. Каргин, А.П. Быков, Б.В. Каргин, Я.А. Ерисов. М.: Изд-во МИР, 2011. 170 с.
4. Savonkin M.B. Investigation of the metal flow during the upsetting of cylindrical billets by strikers with an axial hole and the development of industrial application of the results: dissertation, candidate tech. sciences. M, 2018 137 p.
5. Rebelsky A.V. Basics of designing processes of hot forming. M.: Mechanical Engineering, 1965. 248 p.
6. Shoffman L.A. Basics of calculating the processes of stamping and pressing. M.: Mashgiz, 1961. 340s.
7. Tarnovsky I. Ya., Pozdeev A. A., Ganago O. A. Theory of metal forming. M.: Metallurgizdat, 1963. 672 p.
8. Tarnovsky I.Ya., Trubin V.N., Zlatkin M.G. Free forging on the press M.: Mechanical Engineering, 1967. 328 s.
9. Lin, S. Y. Influences of the geometrical conditions of die and workpiece on the barreling formation during forging-extrusion process // Journal of Materials Processing Technology. 2003. No. 140. P. 54–58.
10. The expansion of technological capabilities of the process of precipitation in the washer rings by changing the conditions of contact friction / A.V. Smirnykh, S.S. Strugov, V.A. Ivanov, M.D. Tarkalenko // Bulletin of SUSU. Series "Metallurgy". 2018. Vol. 18, No. 2. P. 81–88.
11. Modeling of metal forming processes in the program DEFORM-2D: Textbook / V.R. Kargin, A.P. Bykov, B.V. Kargin, Y.A. Erisov / M.: MIR Publishing House, 2011. 170 s.

### REFERENCES

1. Semenov E.I. Forging and Hot Stamping: A Textbook. M.: MGIU, 2011. 411 p.
2. Okhrimenko Ya.M. Theory of forging processes. Textbook for universities. M.: Higher school, 1977. 295 s.
3. Kirsanova S.B. Investigation of metal flow during upsetting in rings. Proceedings of the MVTU im. Bauman "Machines and technologies for pressure treatment, 1951.

### FORMING THE NAVE DURING THE SINKING STRAIN IN THE SPACER

© 2020 A.V. Gusev, V.R. Kargin, N.D. Ruzanov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov

Computer simulation of the process of sinking strain a cylindrical workpiece on a spacer was performed in the Deform 2D / 3D software package. The influence of the degree of deformation, the relative dimensions of the workpiece, the magnitude of external friction, the relative dimensions of the hole in the spacer, the forging angle and the radius of the curve of the edge on the nature of the shape of the nave is established. With an increase in the degree of deformation, an increase in the height of the nave is established according to the law of the exponent. The lower the relative height of the workpiece  $H_0/D_0$ , the higher the height of the nave. External friction promotes the formation of a higher nave than with the sinking strain of the workpiece in the absence of external friction. With an increase in the relative size of the hole in the washer  $d_0/D_0$ , a noticeable increase in the height of the nave is observed. At large degrees of deformation, the radius of curvature of the edge of the hole does not affect the shape of the nave. With an increase in the forging angle from  $1^\circ$  to  $6^\circ$ , the height of the nave increases within (12 - 18) %.

*Key words:* free forging, sinking strain in the spacer, modeling, alloy AD31, workpiece and tool geometry, degree of deformation, external friction, nave height.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-4-29-33

Anastasia Guseva, Student.

E-mail: nastasya.guseva.234@mail: ru

Vladimir Kargin, Candidate of Technical Sciences, Professor.

Nikita Ruzanov, Student. E-mail: ruzanow.n@yandex.ru