

УДК 621.777.001.57

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРЯЧЕГО ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА QFORM 2D

Геворк Славикович Софоян <sup>(1)</sup>, Борис Степанович Мороз <sup>(2)</sup>

*Магистрант 1 года обучения<sup>(1)</sup>*

*кафедра «Технологии формообразования и художественная обработка давлением»  
Донской государственной технической университет*

*Научный руководитель: Б.С. Мороз<sup>(2)</sup>,*

*доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии формообразования и художественная обработка давлением» Донского государственного технического университета*

В условиях рыночной экономики сокращение времени на технологическую подготовку производства новых изделий является одной из актуальных задач. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением позволяет существенно сократить эту процедуру, минимизировать временные и финансовые затраты на разработку технологии, практически исключает необходимость доводки соответствующей оснастки после её изготовления, что обеспечивает снижение себестоимости получаемых полуфабрикатов и изделий.

Обратное выдавливание полых изделий достаточно широко применяется в обработке металлов давлением различных металлов и сплавов с середины прошлого столетия. Наиболее широкое распространение получило изготовление таких изделий без нагрева заготовки. Что касается трудно деформируемых цветных металлов и сплавов, то рекомендации по проектированию технологических процессов полугорячего и горячего обратного выдавливания для них практически отсутствуют. В справочной и специальной литературе приводятся только приближенные зависимости для расчета силы деформирования и выбора инструмента при деформировании заготовок из сталей [1-3]. Как правило, при проектировании процесса обратного выдавливания цветных металлов и сплавов используются эти рекомендации и общие рекомендации, приведенные в некоторых источниках, но они не позволяют назначить оптимальную геометрию инструмента, рассчитать необходимую величину силы деформирования по ходу процесса и определить конечную геометрию изделия, получаемого обратным выдавливанием [4-5].

В настоящей работе приведены результаты математического моделирования процесса обратного выдавливания стакана с наружным отростком в донной его части из алюминиевого сплава АК6, полученные с помощью программы QForm 2D [6]. Расчеты выполнены с целью анализа особенностей течения металла заготовки, её напряженного состояния и формоизменения в процессе деформирования во взаимосвязи с изменением силовых параметров процесса.

Исходя из чертежа изделия, были назначены напуски, припуски и допуски на горячую штамповку, разработан её чертеж, рассчитан объем заготовки и с учетом конфигурации внутренней полости изделия назначена геометрия рабочей части пуансона. Размеры заготовки приняты следующими:  $D_3 \times H_3 = 80 \times 100$  мм. Ниже приведены условия моделирования процесса.

Диаметр рабочей втулки матрицы принят равным 82мм, диаметр рабочего пояска пуансона – 50мм. Рабочая часть пуансона принята следующей геометрии: диаметр торцевой части - 25мм, угол наклона конусной части к оси инструмента - 85°, высота рабочего пояска - 7мм и радиус скругления пояска с его конусной частью - 5 мм. Степень деформации при выдавливании стакана принятых размеров составляет  $\varepsilon = d^2/D^2 = 0,372$ , где  $d$  – диаметр рабочего пояска пуансона, а  $D$  – диаметр втулки матрицы.

В соответствии с рекомендациями работы [4] приняты следующие температурно-скоростные и граничные условия деформирования: температура заготовки - 450°С; температура инструмента - 340°С; выдавливание со смазкой инструмента (матрицы, пуансона и торцевой части противополопуансона); скорость перемещения пуансона (выдавливание)- 10 мм/с.

Современное программное обеспечение для математического моделирования процессов обработки металлов давлением позволяет получить данные не только о величине и характере изменения силовых параметров исследуемых процессов во время деформирования заготовки, но и сведения об особенностях её формоизменения по ходу деформирующего инструмента и о напряженно-деформированном состоянии заготовки.

В опубликованных источниках об обратном выдавливании обычно приводятся диаграммы сил воспринимаемых при выдавливании пуансоном, что не позволяет судить о величине и характере изменения сил трения между деформируемой заготовкой и поверхностью матрицы даже при выдавливании цилиндрического стакана без отростков.

Информация о составляющих полной силы деформирования особенно необходима для анализа течения материала при осесимметричном выдавливании изделий более сложной конфигурации. Её можно получить осциллографированием процесса, если каждый элемент оснастки (пуансон, матрица и противополопуансон – дно матрицы) оснащены соответствующими месдозами для измерения действующих на них сил [7].

В связи с этим для моделирования процесса инструмент принят состоящим из трех элементов (рис. 1 и 2): пуансона (инструмент I) и составной матрицы, включающей в себя собственно матрицу (инструмент II) и её донную часть с полостью для отростка стакана (инструмент III).

На рис. 1 приведена расчетная диаграмма сил, полученная при моделировании процесса в принятых условиях деформирования.

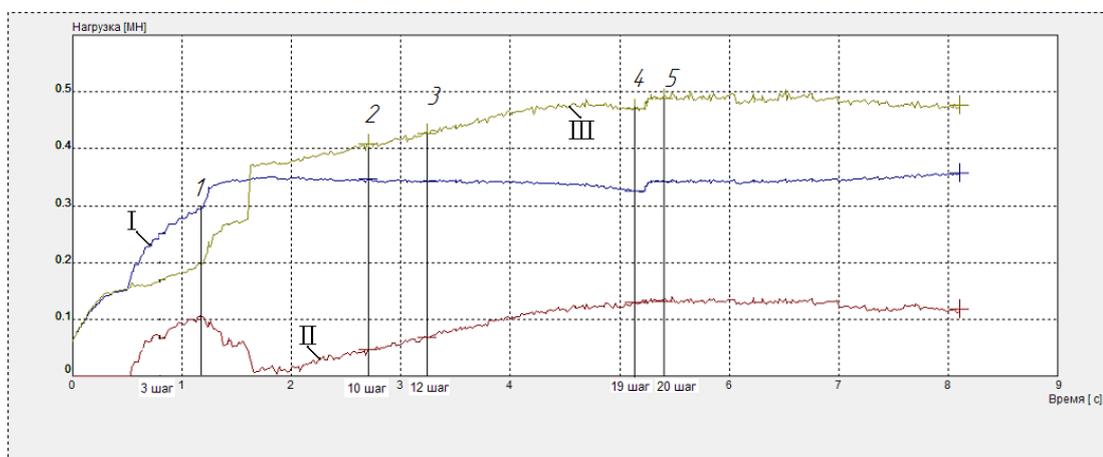


Рис. 1. – Расчетная диаграмма полной силы деформирования и её составляющих:

- I - сила, воспринимаемая пуансоном; II – сила трения между заготовкой и матрицей;
- III – сила, воспринимаемая противополоуансоном (донной частью матрицы);
- 1 -5 – характерные этапы деформирования

На диаграмме полная сила выдавливания, воспринимаемая противополоуансоном равна сумме силы деформирования и силы трения между заготовкой, стенкой выдавливаемой цилиндрической части корпуса стакана и матрицей. Максимальная величина расчетной силы выдавливания равна 0,49 МН, а силы трения около 0,13 МН.

По характерным изменениям полной силы выдавливания (рис 1) и ее составляющих процесс можно разделить на несколько этапов, которым соответствуют изменения характера течения металла выдавливаемой заготовки.

В начале процесса при осадке заготовке до касания ею стенки матрицы сила трения между заготовкой и матрицей отсутствует (0,5 сек. процесса), а силы, приложенные к пуансону (активная сила) и противополоуансону (реактивная сила), равны и растут до касания заготовкой стенки матрицы. При ходе пуансона равном 6мм и соответствующем 0,6 сек (0,15 МН) происходит осадка заготовки до касания ее стенок матрицы (рис. 2.1).

При ходе пуансона 12мм соответствующем 1,2 сек деформирования наблюдается максимум силы трения ( $P_{Tr} = 0,1$  МН) что соответствует полной распрессовке (осадке) заготовки в матрице, и началу заполнения металлом зазора между рабочим пояском пуансона и матрицей при силе выдавливания  $P_{II}$  равной 0,3 МН.

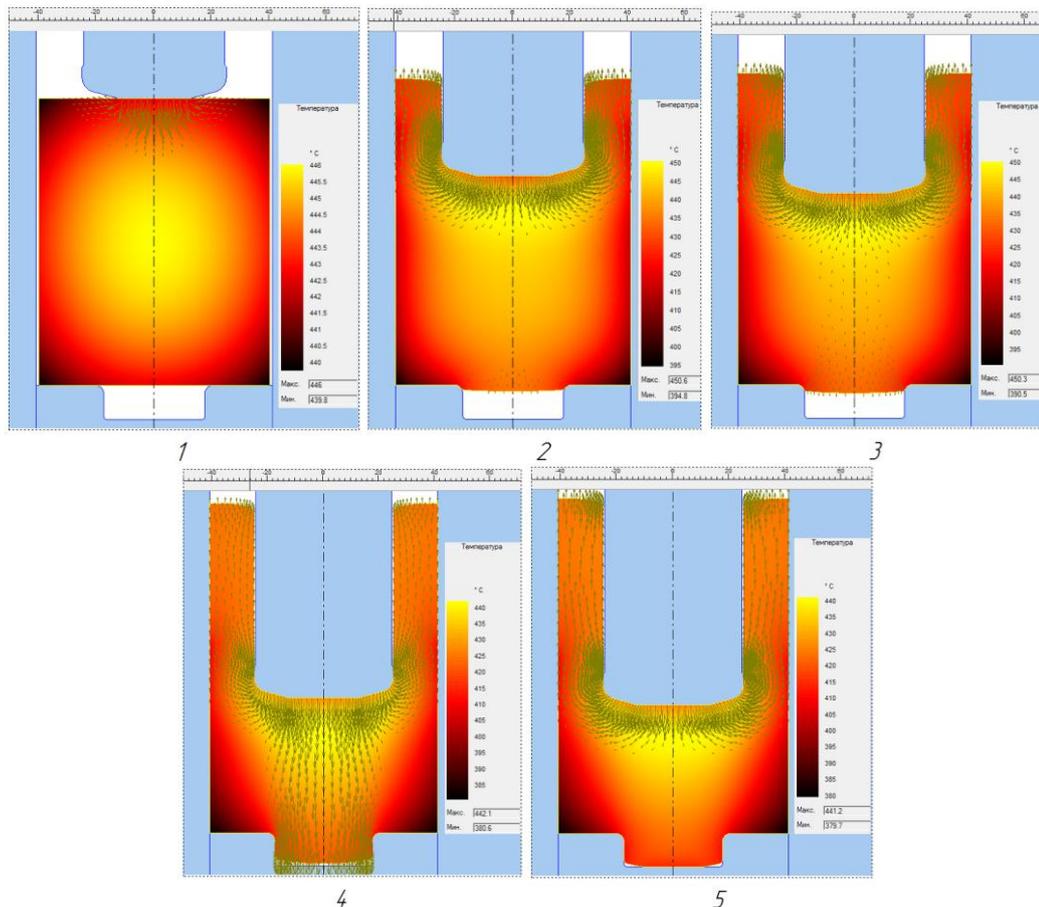


Рис. 2. Векторы скоростей течения металла на характерных стадиях выдавливания заготовки (см. рис. 1)

При дальнейшем перемещении пуансона результирующая сила трения между заготовкой и матрицей сначала уменьшается до нуля, а затем начинает монотонно возрастать примерно до 0,12 МН. Это уменьшение сил трения можно объяснить тем, что по поверхности контакта заготовки матрицей трение носит разный характер. В области вне очага деформации полностью распрессованной заготовки действует трение покоя, а в области очага пластической деформации - трение сопротивления металла, истекающего в зазор между пуансоном и матрицей.

При ходе пуансона (более 15мм) происходит повышение полной силы выдавливания за счет преодоления сил трения между заготовкой и матрицей при установившейся силе деформирования равной примерно 0,35 МН (рис.2.2).

При ходе пуансона примерно в 25мм начинается течение металла в полость донной части матрицы, при этом увеличивается суммарная поверхность трения между заготовкой и матрицей и полостью в донной части матрицы, следовательно, возрастает и величина силы сопротивляющегося трения (рис.2.2-2.4). Это приводит к плавному росту полной силы выдавливания примерно с 0,37 МН до 4,8 МН и некоторому снижению силы приложенной к пуансону (см. рис.1). Снижение силы  $P_{II}$  на этом этапе деформирования происходит вследствие частичного течения металла в отросток - в донную часть матрицы.

При ходе пуансона равном 52мм, на графике сил наблюдается незначительное скачкообразное повышение полной силы  $P_{\Sigma}$  выдавливания и силы деформирования  $P_{II}$  при максимальном значении силы трения  $T_K$ , что соответствует касанию металлом заготовки донной части полости матрицы (рис.2.5).

При дальнейшем ходе процесса наблюдается незначительное увеличение силы  $P_{II}$ , течение процесса при почти неизменных, несколько снижающихся значениях сил  $T_M$  и  $P_{\Sigma}$ , и незначительно повышающейся силе  $P_{II}$ , что должно соответствовать заполнению металлом углов полости донной части матрицы на стационарной заключительной стадии выдавливания, уменьшению поверхности трения между заготовкой и матрицей вследствие начала выдавливания металла очага пластической деформации в стенку изделия (рис. 2.5).

По результатам расчетов распределение напряжений в объеме деформируемой заготовки неравномерно. Максимальное их значение имеет место в очаге пластической деформации.

Величина среднего напряжения  $\sigma_{cp}$  в очаге пластической деформации по оси заготовки изменяется в пределах от 160 МПа в жесткой зоне, прилегающей к торцу пуансона, до 140 МПа на границе с недеформированной частью заготовки.

Максимальная величина сжимающего осевого напряжения  $\sigma_z$  (204 МПа) имеет место в осевой части заготовки в очаге пластической деформации и уменьшается в направлении нижнего торца. В периферийной части заготовки величина этих напряжений остается постоянной около 90 МПа от дна матрицы до очага пластической деформации, а затем снижается до нуля на выходе металла из области заготовки между пояском пуансона и стенкой матрицы.

Величина растягивающих осевых напряжений  $\sigma_z$  имеет место только в области стенки изделия, примыкающей к цилиндрической части калибрующего пояaska пуансона в небольшой зоне глубиной не более 2-х мм, несущественно изменяется в этой области по ходу процесса и не превышает 40 МПа.

Величина максимальных радиальных сжимающих напряжений  $\sigma_r$  в очаге пластической деформации по оси заготовки изменяется в пределах от 145 МПа в начале процесса до 168 МПа в конце процесса. Значения  $\sigma_r$  в радиальном направлении снижается от 140 - 165 МПа в очаге пластической деформации дона оси заготовки до

80 МПа у матрицы, а в донной части заготовки растёт от 30 МПа на оси до 80 МПа у стенки матрицы.

Анализ искажения расчетной координатной сетки в осевом сечении заготовки и распределения величины напряжения течения металла и средних напряжений в деформируемой заготовке позволяют определить высоту очага пластической деформации у пуансона, которая составляет 0,32 диаметра пуансона  $d$ , что согласуется с данными источников литературы.

Величина температуры заготовки в очаге пластической деформации по ходу процесса изменяется несущественно и составляет от 450 до 437°C.

Программа QForm позволяет оценить степень заполнения металлом рельефа деформирующего инструмента и рассчитать форму получаемого изделия (рис. 3).

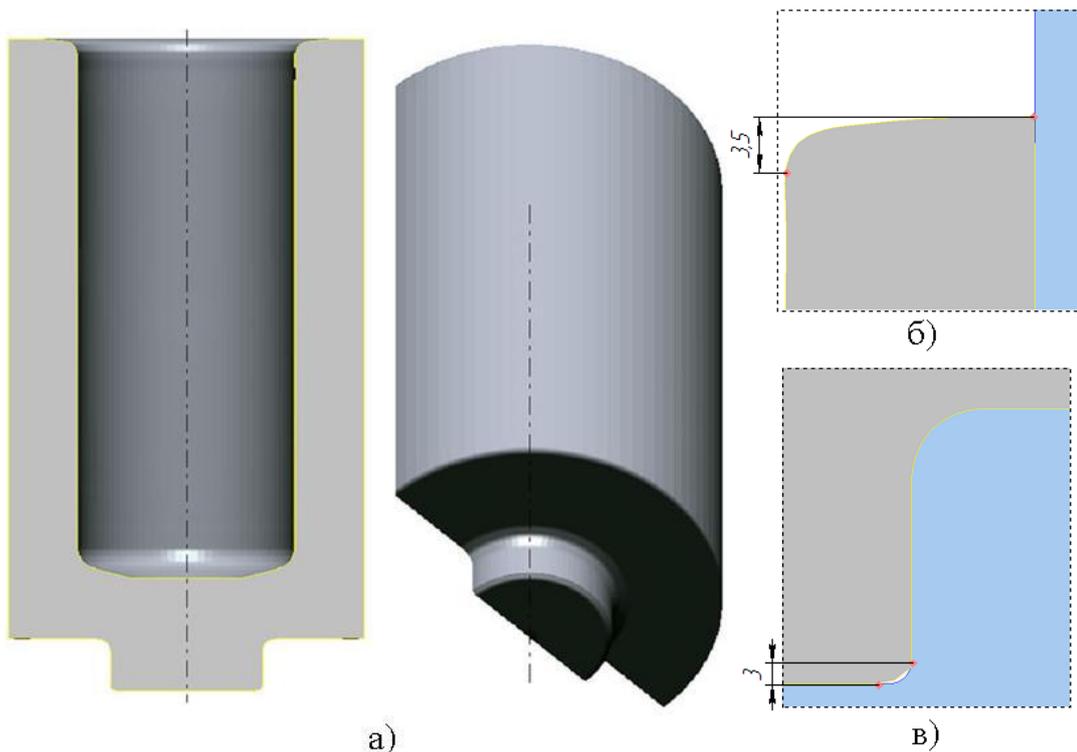


Рис.3. Внешний вид стакана с отрогском (а), форма торцевой части стенки стакана (б) и степень заполнения металлом донной части матрицы (в)

На рис. 3,а представлен внешний вид полученного стакана. Верхняя кромка полученного стакана (рис. 3,в) непрямолинейна. Высота кривизны этой части стакана составляет 3,5мм. Поэтому припуск на высоту горячей поковки должен быть увеличен на эту величину, что несколько увеличит необходимый объем заготовки для получения штамповки с размерами заданными чертежом.

Можно видеть, что при заданном радиусе скругления  $r=1\text{мм}$  донной части матрицы с вертикальной её стенкой имеет место незначительное незаполнение угла полости (рис. 3,б). Следовательно, для создания более благоприятных условий течения металла в этой области матрицы необходимо увеличить радиус или стенку полости матрицы выполнить с небольшой конусностью.

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

Программный комплекс QForm позволяет получать полную информацию о величине и характере изменения силовых параметров по ходу рассматриваемого процесса формоизменения во взаимосвязи с течением металла заготовки во время её

виртуального деформирования и его напряженном состоянии уже на этапе проектирования технологического процесса комбинированного выдавливания. Полученная информация дает возможность детально анализировать эти параметры и корректировать их и соответствующую штамповую оснастку на этапе разработки технологии, что позволит сократить время на запуск в производство новых изделий.

### **Литература**

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х. - М.: Машиностроение, 1987 – т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.Н. Навроцкого, 1987. – 387 с.
2. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х. т. - М.: Машиностроение, 1986 – т. 2. Горячая штамповка / Под ред. Е.И. Семенова. 1986. – 593 с.
3. Оптимизация технологических процессов и конструкции штампов для холодного и полугорячего выдавливания. Методические рекомендации / НПО ВИСП, ХПИ им. В.И. Ленина. - М.: ВНИИТЭМР, 1989. – 192 с.
4. Ковка и штамповка цветных металлов. Справочник. Коллектив авторов. - М.: Машиностроение, 1971. – 232 с.
5. *Сторожев М.В.* Технологияковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов / М.В. Сторожев, П.И. Середин, С.Б. Кирсанова. - М.: Высшая школа, 1967. – 351 с.
6. *Стебунов С.А.* QForm – программа, созданная для технологов / С.А. Стебунов, Н.В. Биба // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. - 2004. - №9. - С. 38-41.
7. *Мороз Б.С.* Сопоставление разновидностей выдавливания полых изделий с полезным использованием сил трения / Б.С. Мороз, Ю.П. Рязанцев // Обработка металлов давлением. Сб. статей. Вып. 3. РИСХМ. - Ростов н/Д. 1975. – С. 71-78.