

УДК 621.762

Л.А.Рябичева, Д.А.Усатюк, К.В.Любич

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПОРИСТОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРЯМОМ ВЫДАВЛИВАНИИ

*Рассмотрено пластическое формообразование детали типа «стакан» из порошковой пористой заготовки с наличием облегчающей полости у нижнего, верхнего и обоих торцов заготовки. Показано, что наибольшая равномерность напряженно-деформированного состояния достигается при наличии нижней облегчающей полости, в остальных случаях в полости образуется складка, переходящая в трещину. Размеры облегчающей полости рекомендуется выбирать в зависимости от размеров зоны торможения при осадке пористой заготовки.*

Ключевые слова: порошковая пористая заготовка, интенсивность напряжений, интенсивность деформаций, облегчающая полость, размеры зоны торможения.

Эффективность технологических процессов порошковой металлургии определяется энергетическими и материальными затратами на изготовление деталей машиностроения, которые существенно зависят от правильности выбора формы исходной заготовки и ее размеров. При этом необходимо учитывать, что при деформировании порошковой заготовки одновременно осуществляется уплотнение и пластическое формоизменение, которое для уменьшения затрат должно происходить по кратчайшей траектории. Важность выбора формы заготовки привела к расчетному построению ее конструкции в условиях существования одной свободной поверхности, в направлении которой реализуется пластическое течение материала [1, 2]. Одним из методов приближения формы заготовки к форме детали является применение облегчающих полостей в заготовке, позволяющих интенсифицировать радиальное течение металла. Для конструирования формы заготовок осесимметричных деталей рекомендуется применять облегчающие полости, которые располагаются в торцах заготовки [3].

Максимальное приближение формы и размеров порошковых пористых заготовок к готовым изделиям ставит задачу дальнейшего развития методик разработки технологий с использованием конечно-элементного моделирования при помощи пакетов прикладных программ [4, 5]. Основные недостатки многих существующих методик заключаются в отсутствии зависимостей, связывающих оптимальную форму и размеры заготовок с параметрами напряженно-деформированного состояния (НДС) и качеством готовых изделий.

Применение порошковых заготовок с облегчающей полостью для прямого выдавливания является эффективным способом интенсификации радиального течения материала, а также уменьшения силы деформирования. При этом предупреждаются возможности формирования дефектов, уменьшается разнородность и повышается качество изделий [4, 5].

Целью работы является определение оптимальной формы и размеров порошковых пористых заготовок с облегчающей полостью на основе исследования напряженно-деформированного состояния при прямом выдавливании с противодавлением.

Решена задача прямого выдавливания детали «стакан» с противодавлением 120 МПа из медной порошковой заготовки исходной пористостью 15% на гидравлическом прессе ПД-476 силой 1600 кН методом конечных элементов. Исходная плотность заготовки  $\rho = 7,6 \text{ г/см}^3$ , пористость 15%, диаметр  $D = 28 \text{ мм}$ , высота  $H = 28 \text{ мм}$ , диаметр полости детали  $d = 14 \text{ мм}$ , ее высота  $h = 14,8 \text{ мм}$ , толщина стенки стакана  $b = 7 \text{ мм}$ , коэффициент трения  $\mu = 0,25$ . Диаметр отверстия матрицы 32 мм.

Схема прямого выдавливания детали типа «стакан» показана на рис. 1. Исходную заготовку 3 устанавливали в матрицу 1 на контрпуансон 6 и подвижный пуансон 5, который создавал противодавление. Верхним пуансоном 2 осуществляли выдавливание детали «стакан» 5. Процесс деформирования состоит из двух стадий: осадки заготовки до соприкосновения ее боковой поверхности со стенками матрицы и одновременного уплотнения, и дальнейшего прямого выдавливания металла в зазор, которое начинается на стадии завершения осадки.

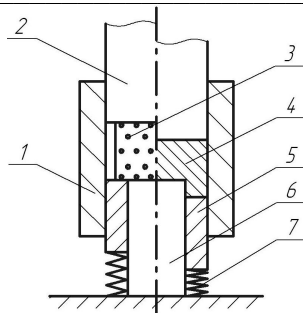


Рис. 1. Схема выдавливания: 1 матрица; 2 – верхний пуансон; 3 – прессовка; 4 – деталь; 5 – противодавление; 6 – контрпуансон

При моделировании прямого выдавливания использовали положения теории упругопластического пористого тела, разработанной в работах [6, 7]. Напряженно-деформированное состояние анализировали в осевом сечении заготовки на стадии осадки и начала выдавливания. Величину пористости порошкового материала принимали усредненной по объему заготовки. Распределение параметров НДС в заготовке без облегчающей полости в момент соприкосновения ее боковой поверхности со стенками матрицы показано на рис. 2.

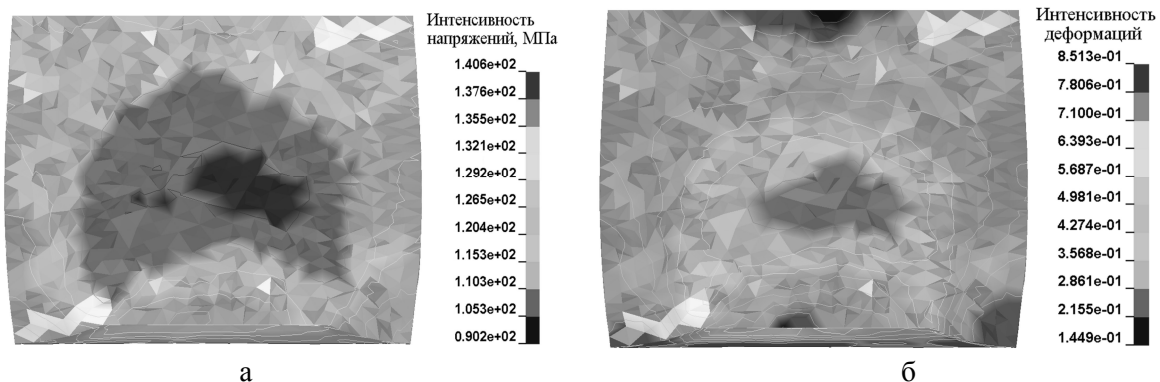


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние заготовки без облегчающей полости: а – интенсивности напряжений; б – интенсивности деформаций

Анализ НДС (рис. 2) показал, что до момента полного соприкосновения боковой поверхности заготовки с матрицей у верхнего и нижнего ее торцов образуются зоны торможения, затрудняющие радиальное течение металла из очага деформации. При этом высота нижней зоны торможения более чем вдвое превышает высоту верхней (рис. 2, а). Указанные зоны имеют форму усеченного конуса с криволинейной образующей. Размеры и форма зон торможения, в которых металл практически не деформируется, могут быть использованы при разработке заготовки с облегчающей полостью [9]. Однако, выполнение полости с криволинейной образующей не технологично и дорого, поэтому в работе применили полость с усеченным конусом в основании и частью сферы при вершине, которая будет охватывать зону торможения. Для дальнейших исследований использовали три типа заготовок: I – с нижней облегчающей полостью (рис. 3, а); II – с верхней облегчающей полостью (рис. 3, б); III – с двумя облегчающими полостями (рис. 3, в).

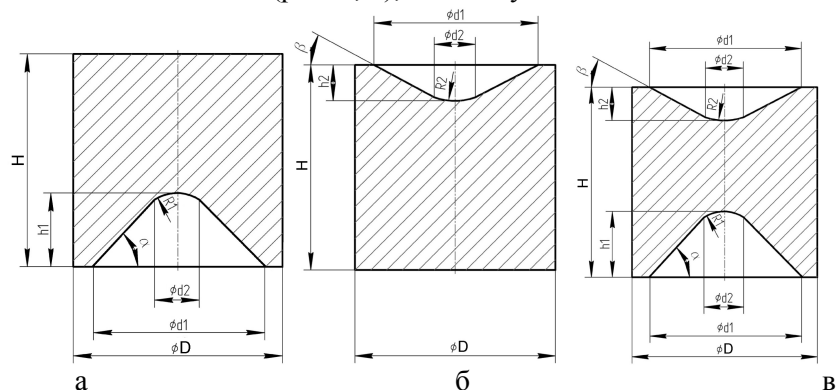


Рис. 3. Заготовки с облегчающими полостями: а – нижняя; б – верхняя; в – нижняя и верхняя

Размеры облегающих полостей, определенные исходя из размеров зон торможения, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Размеры облегающей полости								
Тип заготовки	$d_1$ , мм	$h_1$ , мм	$R_1$ , мм	$\alpha$ , °	$d_2$ , мм	$h_2$ , мм	$R_2$ , мм	$\beta$ , °
I	20,0	10,4	10,4	50	-	-	-	-
II	-	-	-	-	20,0	10,4	10,4	50
III	20,0	10,4	10,4	50	20,0	10,4	10,4	50
	20,0	10,4	10,4	50	20,0	5,2	20,8	25

Для исследования влияния облегающей полости на НДС выполнили моделирование прямого выдавливания пористых заготовок I типа. Распределение интенсивностей напряжений и деформаций в заготовке с облегающей полостью у нижнего торца показано на рис. 4.

При наличии нижней облегающей полости зона торможения не препятствует радиальному течению металла. В области облегающей полости интенсивность напряжений составляет 126,5 МПа, а интенсивность деформаций 0,50. Напряженно-деформированное состояние более равномерно. Заполнение облегающей полости за счет радиального течения металла продолжается до полного соприкосновения боковой поверхности заготовки с матрицей. После ее заполнения металл продолжает активное течение в радиальном направлении, за счет чего формообразование глухого отверстия детали происходит по кратчайшей траектории.

Распределение интенсивностей напряжений и деформаций при прямом выдавливании заготовок II типа с облегающей полостью у верхнего торца показано на рис. 5. Интенсивность напряжений у верхнего торца составляет 140,5 МПа, интенсивность деформаций 0,85. Высокие значения этих величин приводят к образованию складки, размеры которой увеличиваются по мере уменьшения высоты заготовки. Несмотря на некоторое уменьшение неравномерности НДС заготовки в целом, в слоях металла у верхнего торца она заметно увеличивается. Следовательно, применение заготовок с верхней облегающей полостью нецелесообразно вследствие высокой вероятности появления неисправимого брака.

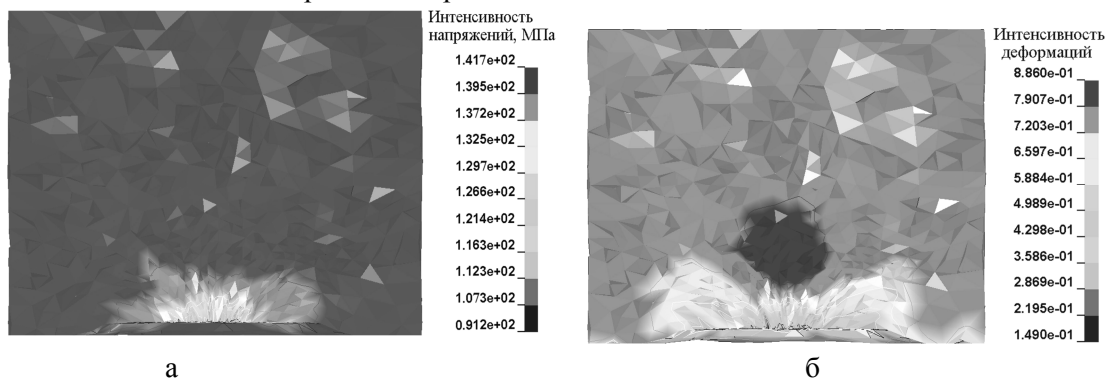


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние заготовки с облегающей полостью у нижнего торца: а – интенсивности напряжений; б – интенсивности деформаций

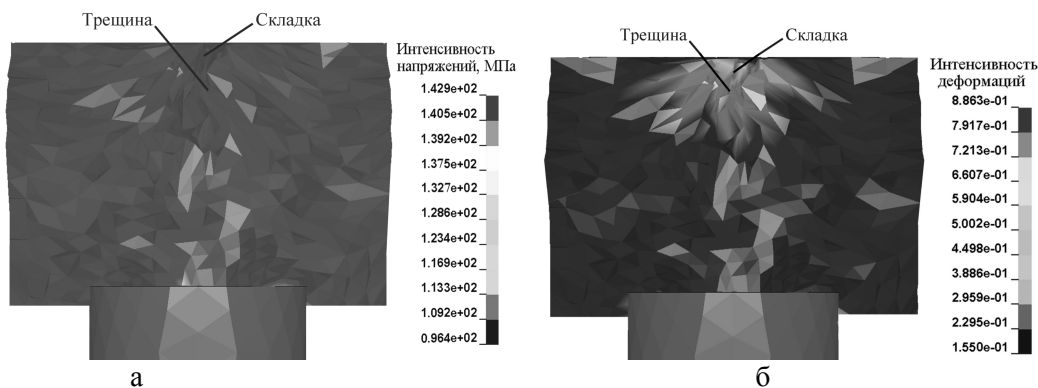


Рис. 5. Напряженно-деформированное состояние заготовки с облегчающей полостью у верхнего торца: а – интенсивности напряжений; б – интенсивности деформаций

Для предупреждения брака исследовали распределение параметров НДС при прямом выдавливании заготовок III типа с облегчающими полостями у верхнего и нижнего торцов (рис. 6). Интенсивность напряжений колеблется в пределах 132,1-140,6 МПа, интенсивность деформаций 0,15-0,57. При одинаковых размерах верхней и нижней полостей формируется складка, переходящая в трещину. Размеры трещины увеличиваются по мере увеличения глубины верхней полости и уменьшения высоты заготовки, поэтому с учетом отношения размеров зон торможения глубина верхней облегчающей полости уменьшена в 2 раза (табл. 1). В таком случае складка и трещина не образуются, однако на поверхности сохраняется утяжина глубиной 2-3 мм, что также является браком.

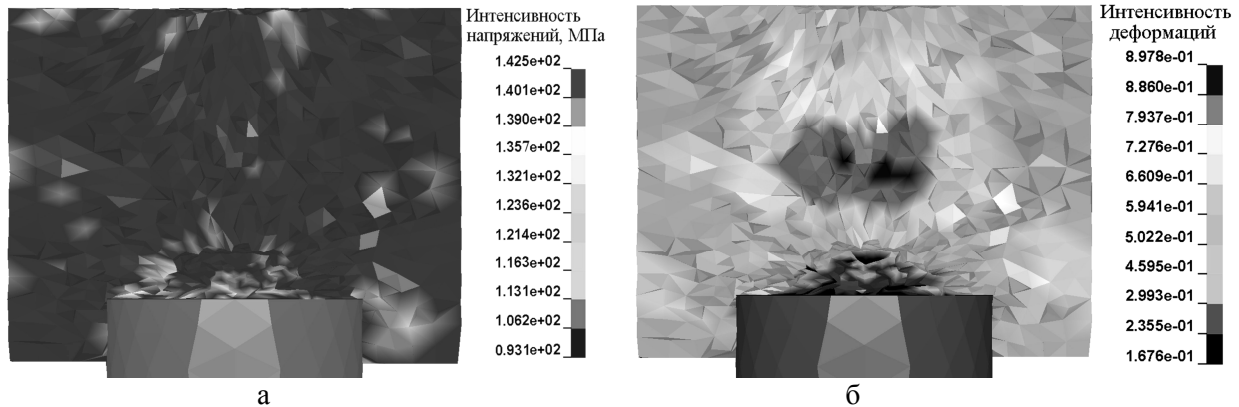


Рис. 6. Напряженно-деформированное состояние заготовки с верхней и нижней облегчающими полостями: а – интенсивности напряжений; б – интенсивности деформаций

Таким образом, для прямого выдавливания детали «стакан» из порошковых пористых заготовок с отношением размеров  $0,5d \leq h \leq d$  рекомендуется использовать заготовки I типа с нижней облегчающей полостью, размеры которой зависят от зоны торможения, образующейся при осадке, и представлены в табл. 1.

Количественный анализ деформированного состояния при прямом выдавливании пористых заготовок трех типов выполнен на основе соотношения радиальной деформации  $e_r$  к осевой  $e_z$  (рис. 7), а также распределения радиальной деформации  $e_r$  по высоте заготовки при величине осевой деформации, соответствующей моменту заполнения металлом нижней облегчающей полости при  $e_z = 0,35$  (рис. 8).

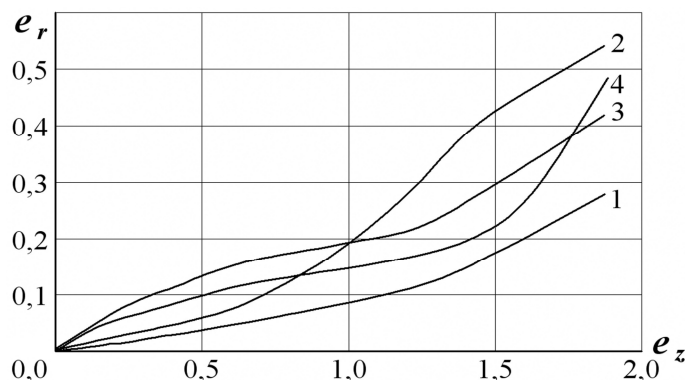


Рис. 7. Зависимость  $e_r = f(e_z)$  при прямом выдавливании заготовок: 1 – без облегчающей полости; 2 – с нижней полостью (I тип); 3 – с верхней полостью (II тип); 4 – с двумя облегчающими полостями (III тип)

При анализе зависимостей установлено, что при выдавливании без облегчающей полости наблюдается равномерное увеличение радиальной деформации (рис. 7, кривая 1). При этом наиболее интенсивное радиальное течение металла происходит в окрестностях кромки нижнего

пуансона с резким уменьшением по высоте заготовки, что способствует образованию утяжины и ограничивает глубину выдавливаемой полости (рис. 8, кривая 1).

Применение заготовок с верхней облегчающей полостью не только не устраняет дефект, но и способствует появлению складки у ее верхнего торца, которая переходит в трещину. Это обусловлено интенсивным разнонаправленным течением металла. Металл сначала устремляется к стенкам матрицы, а затем обратно в облегчающую полость, образуя вихри, что соответствует второму максимуму кривой 3 на рис. 8 и перегибу кривой 3 на рис. 7, когда поверхностные слои металла затягиваются с торца вглубь заготовки. В начале кривой 3 на рис. 8 также наблюдается максимум, соответствующий формированию утяжины при отсутствии противодействия, поскольку зона торможения у нижнего торца заготовки и силы трения препятствуют радиальному течению металла.

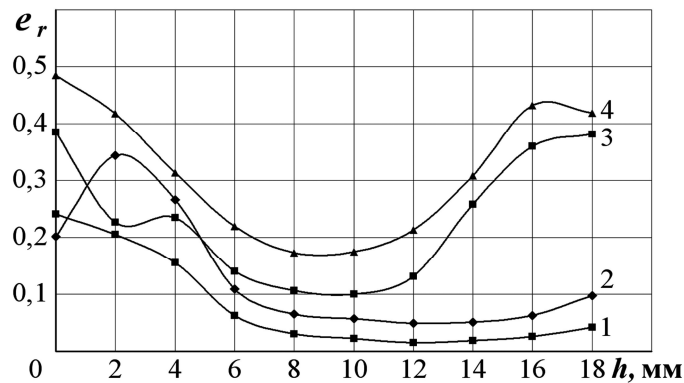


Рис. 8. Распределение радиальной деформации по высоте заготовки при прямом выдавливании: 1 – заготовка без облегчающей полости; 2 – заготовка с нижней полостью (I тип); 3 – заготовка с верхней полостью (II тип); 4 – заготовка с двумя облегчающими полостями (III тип)

В связи с этим проанализировано изменение деформаций при прямом выдавливании заготовок с нижней облегчающей полостью. В этом случае происходит достаточно равномерное увеличение радиальной деформации (рис. 7, кривая 2) с одним максимумом радиальной деформации в области формирования стенки (рис. 8, кривая 2), при этом складка у верхнего торца не образуется.

Использование для прямого выдавливания заготовок с двумя облегчающими полостями показало, что неравномерность деформированного состояния увеличивается, по сравнению с использованием заготовок II типа. При этом одновременно с интенсификацией радиального течения, необходимого для формирования стенки изделия (рис. 7, кривая 4), наблюдается разнонаправленное течение металла у верхнего торца (рис. 8, кривая 4), которое не компенсируется наличием нижней полости. Поэтому, несмотря на отсутствие складки, образуется утяжина глубиной 2-3 мм.

#### Выводы

На основании моделирования напряженно-деформированного состояния стадии осадки порошковой пористой заготовки в закрытой матрице и анализа деформированного состояния при прямом выдавливании определена оптимальная форма заготовки, имеющая облегчающую полость у нижнего торца. Показано, что при наличии верхней облегчающей полости НДС неравномерно, большие величины интенсивности напряжений и деформаций приводят к образованию складки и последующих трещин. Наличие облегчающей полости с обоих торцов заготовки также создает условия для образования брака. Размеры и форму облегчающей полости рекомендуется выбирать в зависимости от величины зоны торможения при осадке пористой заготовки.

1. Дорошкевич Е.А. О нахождении оптимальной формы пористой заготовки при горячей штамповке / Е.А. Дорошкевич, В.М. Горохов, И.Н. Рябов, Е.В. Звонарев // Порошковая металлургия. – 1988. - №4. – С. 11-15.
2. Горохов В.М. Объемная штамповка порошковых материалов / В.М. Горохов, Е.А. Дорошкевич, А.М. Ефимов, Е.В. Звонарев // Минск: «Навука і техника», 1993. – 272 с.

3. Хыбеяги А.И. Выдавливание точных заготовок деталей штампов и пресс-форм / А.И. Хыбеяги, П.С. Лернер. – М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.
4. Роман О.В. Исследование процесса холодной штамповки выдавливанием спеченных пористых заготовок / О.В. Роман, Е.А. Дорошкевич Е.А, Е.В. Звонарев [и др.] // Порошковая металлургия. – 1980. – №11. – С. 28-34.
5. Петров П.А. Совершенствование технологии объемной штамповки детали «Шарнир» с помощью трехмерного конечно-элементного анализа / П.А. Петров, Я. Синчак, А. Лукашек-Солек // Кузнечно-штамповочное производство. – 2004. – №2. – С. 30-35.
6. Головин В.А. Технология холодной штамповки выдавливанием / В.А. Головин, А.М. Митькин, А.Г. Резников // М.: Машиностроение, 1970. – 152 с.
7. Феноменологические теории прессования порошков / Штерн М.Б., Сердюк Г.Г., Максименко Л.А. [и др.] – Киев: Наук. думка, 1982. – 140 с.
8. Скороход В.В. Условие пластичности пористых тел / В.В. Скороход, Л.И. Тучинский // Порошковая металлургия, – 1978, – №11. – С. 83-87.
9. Арчаков А.Т. Определение силовых и кинематических параметров процесса осадки с трением цилиндрического образца / А.Т. Арчаков // Кузнечно-штамповочное производство. – 2003. – №4. – С. 8-11.