

УДК 621.762

А.О. Михайлов¹, О.В. Михайлов², Е.В. Штефан¹
Национальный институт пищевых технологий¹,
Институт проблем материаловедения НАН Украины²

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВТУЛОК С ВНУТРЕННИМ ФЛАНЦЕМ МЕТОДОМ РАДИАЛЬНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК

Проведено моделювання процесу отримання втулок з внутрішнім фланцем методом радіального видавлювання пористих заготовок. Розглянуто вплив форми заготовки. Встановлено, що процес радіального видавлювання протікає в кілька етапів. На заключительному етапі відбувається вирівнювання щільності по об'єму изделия, при цьому розподіл величини накопленої пластичної деформації суттєво нерівномірний. Додаткова радіальна течія матеріалу на початковому етапі видавлювання дозволяє підвищити величину накопленої пластичної деформації і збільшити рівномірність її розподілу.

Ключевые слова: радіальне видавлювання, пориста заготовка, втулка, внутрішній фланець

А.О. Михайлов, О.В. Михайлов, Е.В. Штефан МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ВТУЛОК З ВНУТРІШНІМ ФЛАНЦЕМ МЕТОДОМ РАДІАЛЬНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК

Проведено моделювання процесу отримання втулок із внутрішнім фланцем методом радіального видавлювання пористих заготовок. Розглянуто вплив форми заготовки. Встановлено, що процес радіального видавлювання протікає в кілька етапів. На заключному етапі відбувається вирівнювання щільності за об'ємом виробу, при цьому розподіл величини накопленої пластичної деформації істотно нерівномірний. Додаткова радіальна течія матеріалу на початковому етапі видавлювання дозволяє підвищити величину накопленої пластичної деформації і збільшити рівномірність її розподілу.

Ключові слова: радіальне видавлювання, пориста заготовка, втулка, внутрішній фланець

А.О. Mikhailov, O.V. Mikhailov, E.V. Shtefan MODELING OF THE PROCESS OF OBTAINING SLEEVES WITH INTERNAL FLANGE BY THE METHOD OF RADIAL EXTRUSION OF POROUS BLANKS

The simulation of the process of obtaining sleeves with an internal flange was carried out by the method of radial extrusion of porous blanks. The influence of the shape of the workpiece on the flow of the material, as well as on the distribution of the relative density and the value of the accumulated plastic deformation was considered. It was established that the process of radial extrusion proceeds in several stages. Compaction of the workpiece is observed at the beginning, and then the extrusion process takes place. At the final stage, the excess material flows out into the compensator. Compaction of zones of hampered deformation occurs. Density distribution becomes uniform. At the same time, the distribution of the accumulated plastic strain is essentially uneven. The radial flow of the material at the first stage of extrusion, due to the change in the shape of the workpiece, allows to increase the amount of accumulated plastic deformation and increase the uniformity of its distribution.

Keywords: radial extrusion, porous workpiece, sleeve, inner flange

Постановка проблеми. Втулки з внутрішнім фланцем (рис.1) знайшли широке застосування в сучасній машинобудівній галузі. Одним із методів їх отримання є метод радіального видавлювання трубчатих заготовок [1, 2]. Ефективними методами отримання таких заготовок після подальшого видавлювання є методи порошкової металургії. В результаті досягається значительна економія матеріалу і стає можливим отримання деталей з високими експлуатаційними характеристиками.

Основною особливістю заготовок, отриманих методами порошкової металургії, є наявність пористості. Як правило, при подальшій обробці тиском, величину пористості намагаються зменшити і отримати, в результаті, практично щільне, компактне изделие.

Другим важливим параметром, що характеризує властивості виробів, є величина накопленої пластичної деформації. Від величини цього параметра залежать мікроструктура, пластичність і ударна в'язкість. Наявність сдвигових деформацій призводить до покращення експлуатаційних властивостей матеріалу. Це обумовлено мінімальною пористістю, сприятливою орієнтацією металічних зерен, неметалічних включень і пор, наявністю текстур.

Встановлення закономірностей зміни форми заготовки, розподілу відносної густоти і накопленої пластичної деформації по її об'єму при отриманні втулок з внутрішнім фланцем методом радіального видавлювання є актуальною проблемою.



Рис. 1. Втулка с внутренним фланцем [1, 2]

Анализ последних исследований и публикаций. Процессы получения изделий методами выдавливания пористых заготовок исследованы на настоящий момент достаточно полно. В основном, рассмотрены схемы прямого [3, 4] и обратного выдавливания [5]. Имеются также исследования, в которых изучено радиально - прямое выдавливание [6].

В то же время, процесс радиального выдавливания втулок с внутренним фланцем из порошковых пористых заготовок практически не исследован.

Цель работы - исследование методом компьютерного моделирования влияния начальной формы пористой заготовки на ее уплотнение и формоизменение, а также на распределение величины накопленной пластической деформации.

Рассматриваются две схемы деформирования: радиальное выдавливание без ограничения течения материала (схема 1) и выдавливание с ограничением течения материала фланца (схема 2).

Результаты моделирования. Моделирование выполнено методом конечных элементов. Материал пористой заготовки рассматривался как сплошная сжимаемая среда. Поведение пористого тела считали пластическим. Упругие деформации не учитывались. В связи с необходимостью автоматической регенерации сетки конечных элементов использовалась программа DEFORM.

Материал - основа пористой заготовки - алюминиевый сплав. Начальная относительная плотность равнялась 0.85 и ее распределение по объему считали равномерным. Коэффициент трения принимали равным 0.15.

Схема деформирования, при которой происходит свободное радиальное течение материала, приведена на рис.2. Внутренний диаметр матрицы равнялся 60 мм, диаметр оправки - 40 мм. Высота пространства, в которое выдавливался материал фланца - 15 мм.

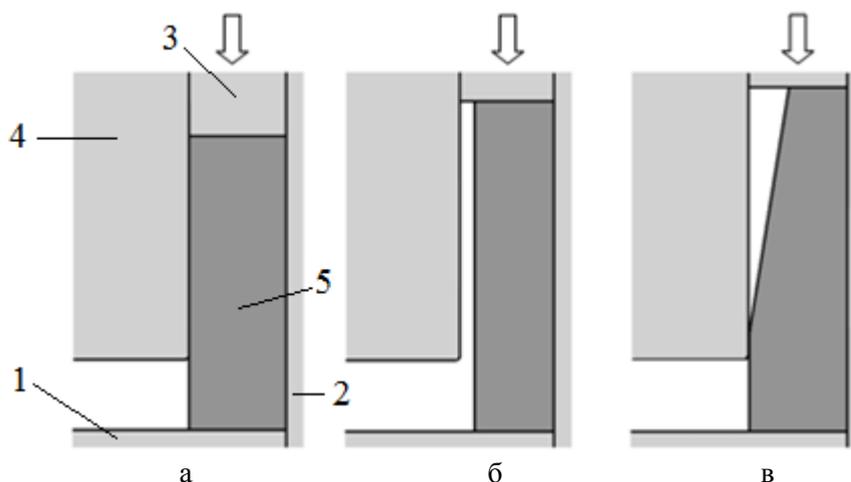


Рис. 2. Схема деформирования со свободным радиальным течением (схема 1):

1 - пуансон, 2 - матрица, 3 - контрпуансон, 4 - оправка, 5 - заготовка

Начальная форма заготовки была кольцевидной (рис.2): без зазора (а), с зазором (б) между внутренней поверхностью заготовки и оправкой, а также с внутренней конической поверхностью (в). Массы заготовок были одинаковы.

В связи с симметрией при моделировании рассматривали половину осевого сечения заготовки.

В начальный момент заготовка уплотняется в результате осевой деформации, а затем начинает преобладать течение материала в радиальном направлении.

Радиальное течение материала характеризуется наличием нескольких этапов и зависит от начальной формы заготовки.

Если зазор между внутренней поверхностью заготовки и оправкой отсутствует, то происходит радиальное течение материала в постоянное по высоте пространство между пуансоном и оправкой (рис.3, а).

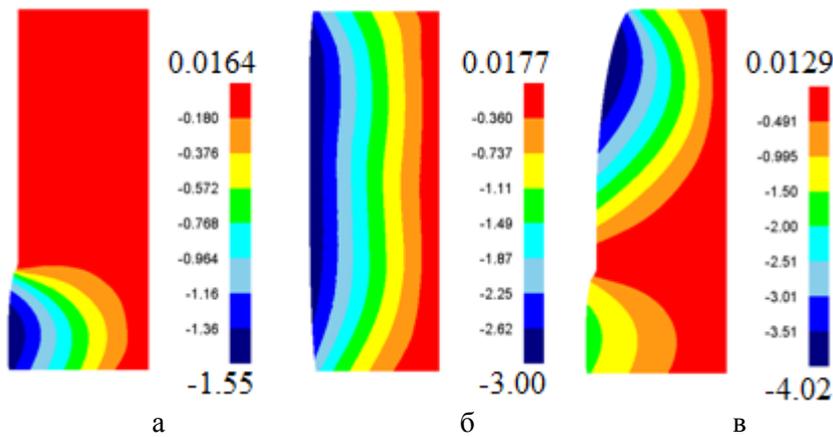


Рис. 3. Величина радиального перемещения материала на начальном этапе (схема 1), мм

При деформировании заготовки, имеющей зазор между внутренней ее поверхностью и оправкой, происходит осадка с радиальным течением к центру (рис.3, б). После того, как произойдет контакт заготовки с поверхностью оправки, начинается процесс радиального выдавливания фланца.

Деформирование заготовки с внутренней конической поверхностью характеризуется наличием двух зон радиального течения материала (рис.3, в). Вначале происходит радиальное течение к центру в верхней части заготовки. Затем начинается одновременное радиальное течение материала в нижней части заготовки. По мере увеличения степени деформации интенсивность течения в верхней части уменьшается (происходит контакт материала с поверхностью оправки), а течение в пространство между пуансоном и оправкой возрастает.

Распределение относительной плотности по объему заготовки - неравномерно (рис.4).

На рис.4 и на последующих рисунках подрисовочные обозначения (а, б, в) соответствуют тем же типам заготовок, что и на рис.3.

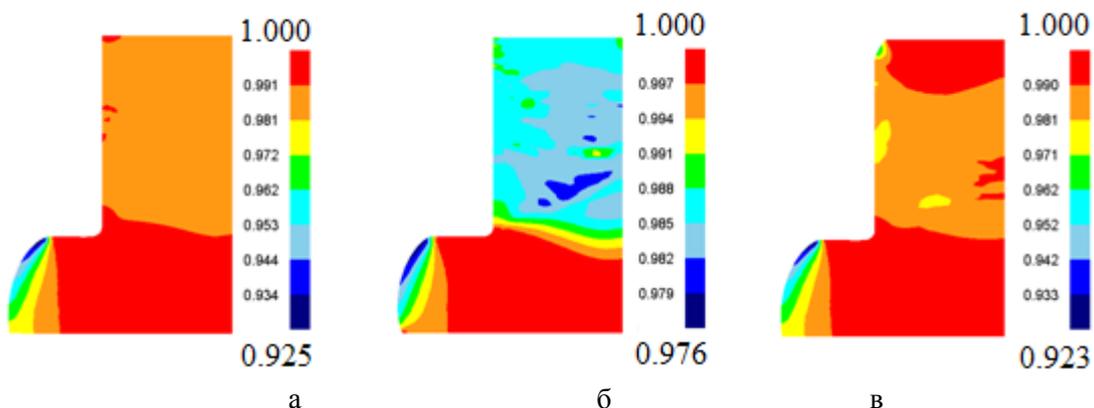


Рис. 4. Распределение относительной плотности (схема 1)

Максимальная плотность материала соответствует области фланца и нижней части втулки. В то же время, в области выпуклой свободной поверхности фланца величина относительной плотности минимальна. При этом увеличение пористости не происходит, что объясняется уменьшением внутреннего радиуса фланца и течением материала в сужающуюся область. Меньшая величина относительной плотности наблюдается также в верхней части втулки.

Уплотнение заготовки с внутренней конической поверхностью проходит в несколько этапов. Вначале происходит уплотнение в верхней части втулки. Затем, с увеличением степени деформации, начинается более интенсивное уплотнение материала, вытекающего во фланец. При этом, в верхней части втулки остается область ранее уплотненного материала (рис.4, в). В верхней части втулки, у ее внутренней поверхности, имеется также область менее плотного материала.

На рис. 5 приведено распределение величины накопленной пластической деформации для трех типов заготовок.

Распределение накопленной деформации при выдавливании заготовки без зазора с поверхностью оправки существенно неравномерно (рис.5, а). Наибольшие значения этот параметр принимает в области фланца и нижней части втулки. Минимальные значения - в верхней части втулки. Максимальная величина накопленной деформации - в нижней части втулки у ее наружной поверхности.

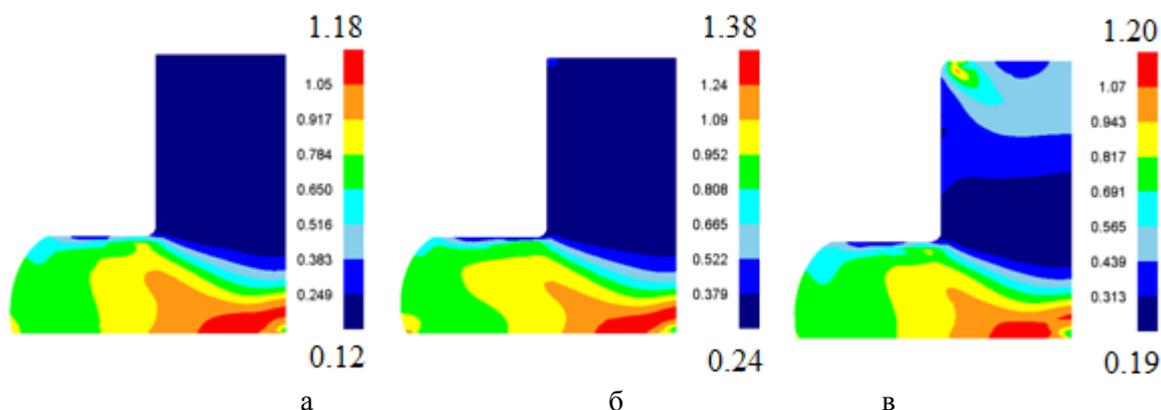


Рис. 5. Распределение величины накопленной пластической деформации (схема 1)

При выдавливании заготовки, имеющей начальный зазор с поверхностью оправки, характер распределения величины накопленной пластической деформации аналогичен (рис.5, б). В то же время, дополнительное радиальное течение материала в пространство зазора позволяет повысить общий уровень накопленной деформации.

Применение заготовки третьего типа, с внутренней конической поверхностью, позволяет повысить значения накопленной деформации в верхней части втулки за счет дополнительного радиального течения на начальном этапе процесса (рис.5, в).

На рис.6 приведена схема выдавливания с ограничением радиального течения материала фланца. При использовании этой схемы величина внутреннего радиуса фланца ограничена, а излишек материала на заключительном этапе вытекает в компенсатор, который представляет собой полость между пуансоном и оправкой.

До момента контакта деформируемого материала с поверхностью, ограничивающей течение материала фланца в радиальном направлении, характер изменения формы заготовки и распределение исследуемых параметров такой же, как было рассмотрено выше.

После контакта с ограничивающей поверхностью продолжается заполнение полости штампа и наступает заключительный этап, на котором излишек материала вытекает в компенсатор. Происходит доуплотнение зон затрудненной деформации и выравнивание плотности по объему изделия (рис. 7). При выдавливании заготовок всех трех типов конечная относительная плотность распределена практически равномерно. Величина остаточной пористости менее 1%.

В отличие от относительной плотности, величина накопленной пластической деформации на заключительном этапе распределена неравномерно (рис.8). В большей степени материал деформирован в области фланца и нижней части втулки, в меньшей степени - в области верхней части втулки. Применение заготовок, обеспечивающих дополнительное радиальное течение на начальном этапе выдавливания, позволяет повысить общий уровень накопленных деформаций (рис.8, б) и увеличить значения этого параметра в верхней части втулки (рис.8.в).

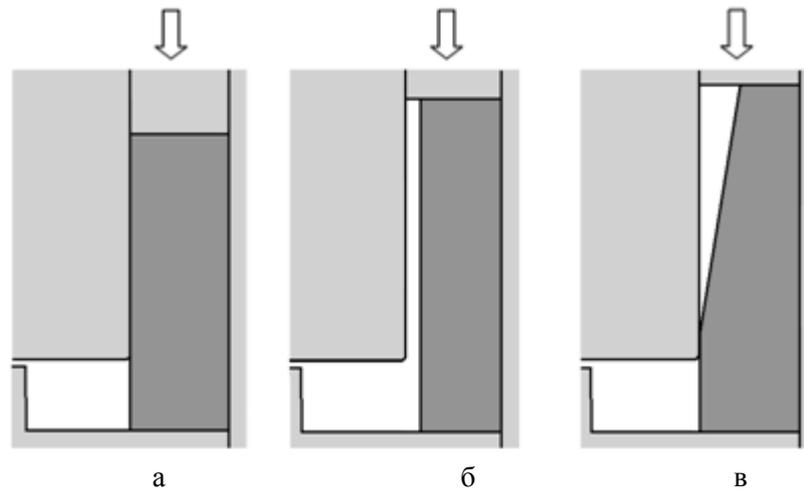


Рис. 6. Схема выдавливания с ограничением радиального течения материала фланца (схема 2)

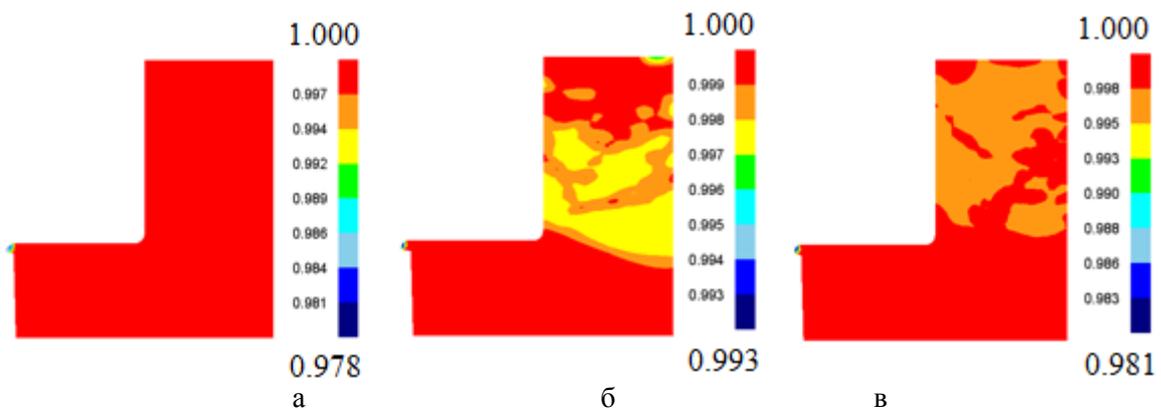


Рис. 7. Распределение относительной плотности (схема 2)

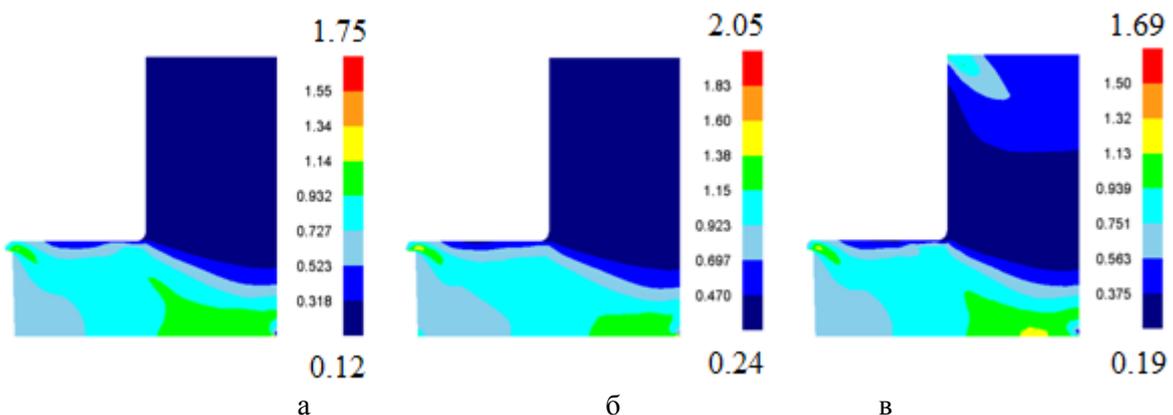


Рис. 8. Распределение величины накопленной пластической деформации (схема 2)

Выводы. Процесс получения втулок с фланцем методом радиального выдавливания пористых заготовок протекает в несколько этапов. В начальный момент происходит уплотнение заготовки, а затем начинается процесс выдавливания.

Распределение относительной плотности и величины накопленной пластической деформации по объему заготовки неравномерно. Наибольшие значения этих параметров в области фланца и нижней части втулки, наименьшие - в верхней части втулки. В области у выпуклой свободной поверхности фланца величина относительной плотности минимальна. Однако разуплотнение материала в этой области не происходит.

При применении схемы выдавливания с ограничением радиального течения фланца возникает дополнительный этап процесса: полное заполнение пространства штампа с вытеканием

излишка материала в компенсатор. Происходит доуплотнение зон затрудненной деформации и выравнивание плотности по объему. В то же время величина накопленной пластической деформации распределена неравномерно. В области фланца и нижней части втулки она выше, чем в верхней части втулки.

Применение заготовок, обеспечивающих дополнительное радиальное течение материала на начальном этапе выдавливания, позволяет повысить общий уровень накопленных пластических деформаций и увеличить величину этого параметра в верхней части втулки.

Список использованной литературы.

1. Алиева Л. И. Штампы для радиального выдавливания деталей с внутренним фланцем из трубчатой заготовки / Л. И. Алиева, С. В. Мартынов // Известия МГТУ «МАМИ» - 2013. - т. 2. - № 2(16) - С. 17-19
2. Алиева Л. И. Силовой режим радиального выдавливания внутреннего фланца / Л. И. Алиева, С. В. Мартынов, Я. Г. Жбанков, К. В. Гончарук // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. - 2013. - № 1. - С. 88-98
3. Петросян Г. Л. Пластическое деформирование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1988.- 152 с.
4. Рябичева Л. А. Моделирование оптимальной формы и определение размеров пористой заготовки при прямом выдавливании / Л. А. Рябичева, Д. А. Усатюк, К. В. Любич // Наукові нотатки. - 2011. - Вип. 32. - С. 357-362
5. 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.
6. Рябичева Л. А. Анализ напряженно-деформированного состояния при радиально - прямом выдавливании порошковых заготовок / Л. А. Рябичева, К. В. Любич // Сб. науч. тр. "Вестник НТУ "ХПИ": Новые решения в современных технологиях. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2010. – № 43. – С. 56-63

Стаття надійшла до редакції 04.05.2019