

УДК.621.777

Калужный А. В.
Алиева Л. И.
Таган Л. В.

СИЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПУАНСОНОВ ИЗ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ХОЛОДНОГО ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ И ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С РАЗДАЧЕЙ

Себестоимость полых изделий, изготавливаемых холодным выдавливанием, в значительной мере определяется стойкостью деформирующего инструмента. При холодном выдавливании таких изделий основной проблемой является повышение стойкости пуансонов. Стойкость повышается при снижении усилий и удельных усилий при холодном формоизменении. Для этого используют выдавливание с активными силами трения, при котором бандажированную матрицу принудительно перемещают в сторону течения металла, что обеспечивает уменьшение усилия деформирования до 10–15%. Использование дифференцированного выдавливания, когда выталкиватель перемещают одновременно с пуансоном в одном направлении, а также выдавливания с приложением тянущего усилия к стенке изделия с буртом позволяют изменить схему напряженного состояния в очаге деформации и существенно разгрузить пуансон при деформировании. Однако, указанные схемы выдавливания не нашли широкого распространения в промышленности из-за сложности реализации. Применение прямого выдавливания с раздачей, когда диаметр исходной заготовки приблизительно равен диаметру полости, приводит к снижению усилия деформирования до 20–25 %. В последней схеме формообразования возникают трудности при извлечении изделия из матрицы. В настоящее время для изготовления полых изделий от мелкосерийного до массового производства используют в основном обратное выдавливание, а формобразование с раздачей используют в серийном производстве [1–5]. В работе [6] для обратного выдавливания полых изделий с разной степенью деформации показано, что для извлечения пуансона из сдеформированной заготовки при обратном ходе необходимо приложить значительные усилия, которые приводят к возникновению растягивающих напряжений в месте перехода калибрующего пояса в цилиндрическую часть пуансона и снижению их стойкости при многочисленном нагружении.

Другим вариантом извлечения пуансона из сдеформированной заготовки после обратного выдавливания может быть совместное выталкивание пуансона с заготовкой из матрицы с последующим извлечением пуансона из заготовки.

Для прямого выдавливания с раздачей полых изделий практически отсутствуют данные по усилиям извлечения пуансона с заготовки и выталкивания ее из матрицы.

Целью работы является сравнительный расчетный анализ силовых режимов различных вариантов извлечения пуансонов из сдеформированных заготовок при обратном выдавливании и определение такого усилия после прямого выдавливания с раздачей при формообразовании изделий конкретных размеров.

Применение метода конечных элементов (МКЭ) позволяет создавать математические модели, которые достаточно точно описывают течение металла при обратном выдавливании полых изделий [6–11]. С помощью МКЭ установлено влияние формы торца пуансона, степени деформации, коэффициентов трения, высоты исходной заготовки на усилия выдавливания, распределение удельных усилий на матрице и пуансоне, напряженно-деформированное состояние заготовки и степень использования ресурса пластичности сдеформированного металла. Использование упругопластической модели металла позволило выявить конечные формы и размеры сдеформированных заготовок, усилия извлечения пуансонов после выдавливания и выталкивания заготовок из матрицы. Такую модель для металла осесимметричной заготовки в среде DEFORM применяли в данной работе.

Схемы обратного и прямого выдавливания полых изделий приведены на рис. 1. При обратном выдавливании (рис. 1, а) исходную заготовку 1 устанавливают в матрице 2 на

выталкиватель 3. Матрицу 2 и выталкиватель 3 размещают на плите 4. Выдавливание осуществляют пуансоном 5. При прямом выдавливании (рис. 1, б) заготовку 1 устанавливают в матрицу 2 на пуансон 3. Матрицу 2 и пуансон 3 размещают на плите 4. Выдавливание осуществляют толкателем 5. Для выдавливания использовали исходные заготовки из низкоуглеродистой стали с условным пределом текучести $\sigma_{0,2}=220$ МПа с размерами $D_o=40$ мм и $H_o=50$ мм для обратного выдавливания, а для прямого выдавливания – $D_o=30$ мм и $H_o=70$ мм. При обратном выдавливании использовали деформирующий инструмент следующих размеров: $D_p=30$ мм, $z=0,15$ мм, $l=r=2$ мм, $\alpha=7^\circ$, $\beta=5^\circ$, $h_1=6$ мм, $D_m=40$ мм. Глубина вдавливания пуансона в заготовку при обратном выдавливании составляла 30 мм. Формообразование при прямом выдавливании выполняли деформирующим инструментом с размерами: $D_p=30$ мм, $z=0,15$ мм, $l=r=2$ мм, $\alpha=7^\circ$, $\beta=5^\circ$, $\lambda=10^\circ$, $D_m=40$ мм. Высота дна на оси заготовки после выдавливания составляла 24 мм. Толщина стенок полых изделий для двух вариантов выдавливания была 5 мм. Моделирование формоизменения выполняли с коэффициентом трения $\mu=0,08$.

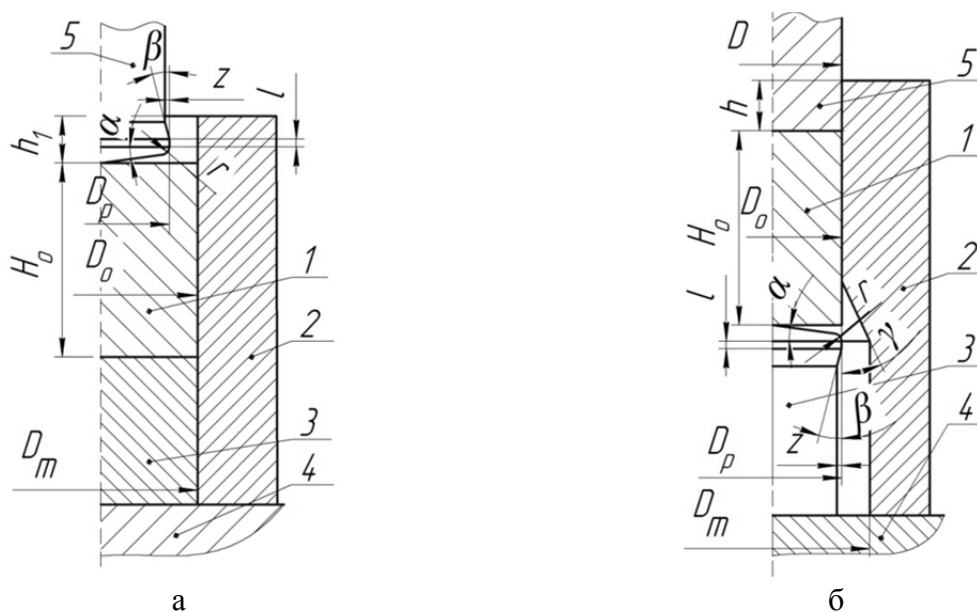


Рис. 1. Схемы обратного и прямого выдавливания полых изделий:
а – схема обратного выдавливания, б – схема прямого выдавливания с раздачей

Результаты анализа обратного выдавливания. Расчетные значения усилий и удельных усилий приведены на рис. 2. Зависимость усилия выдавливания от перемещения пуансона показана на рис. 2, а. Максимальное значение усилия составляет 152 кН. Удельные усилия на пуансоне и выталкивателе можно оценить по распределению осевых напряжений σ_z , а на матрице – по распределению радиальных напряжений σ_ρ , которые получены в деформированной заготовке при максимальном значении усилия выдавливания. Распределения осевых напряжений в местах контакта заготовки с торцами пуансона и выталкивателя приведены на рис. 2, б. На оси торца пуансона получено $\sigma_z=-2200$ МПа, в месте перехода конусной поверхности в радиус скругления – $\sigma_z=-1090$ МПа, на самом радиусе скругления – $\sigma_z=-1260$ МПа. Распределение радиальных напряжений σ_ρ по высоте матрицы приведено на рис. 2, в. В месте контакта нижнего торца заготовки с матрицей получено $\sigma_\rho=-1190$ МПа, напротив очага деформации – $\sigma_\rho=-1460$ МПа.

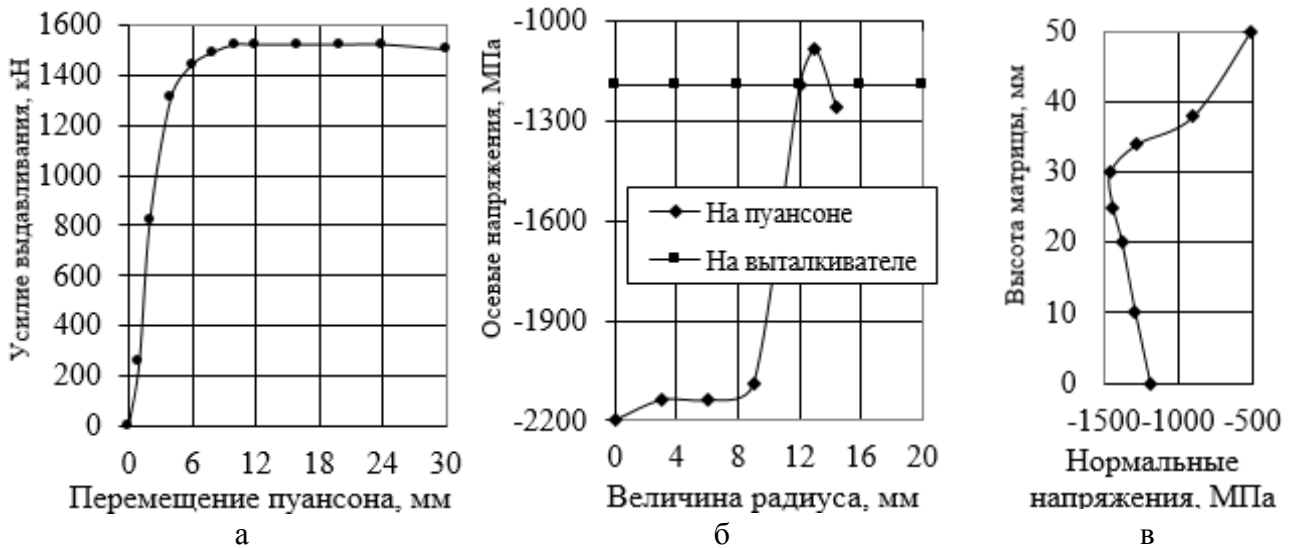


Рис. 2. Усилие и удельные усилия при обратном выдавливании:

а – зависимость усилия выдавливания от перемещения пуансона; б – распределения осевых напряжений σ_z на пуансоне и выталкивателе при максимальном значении усилия, в – распределение радиальных напряжений σ_p на матрице при максимальном значении усилия

Напряжения, температура и деформации в сформированной заготовке приведены на рис. 3. Распределение интенсивности напряжений σ_i показано на рис. 3, а. Очаг деформации на оси донной части распространяется на глубину, равную половине диаметра пуансона D_p . В конце выдавливания температура сформированного металла заготовки достигает 210°C (рис. 3, б).

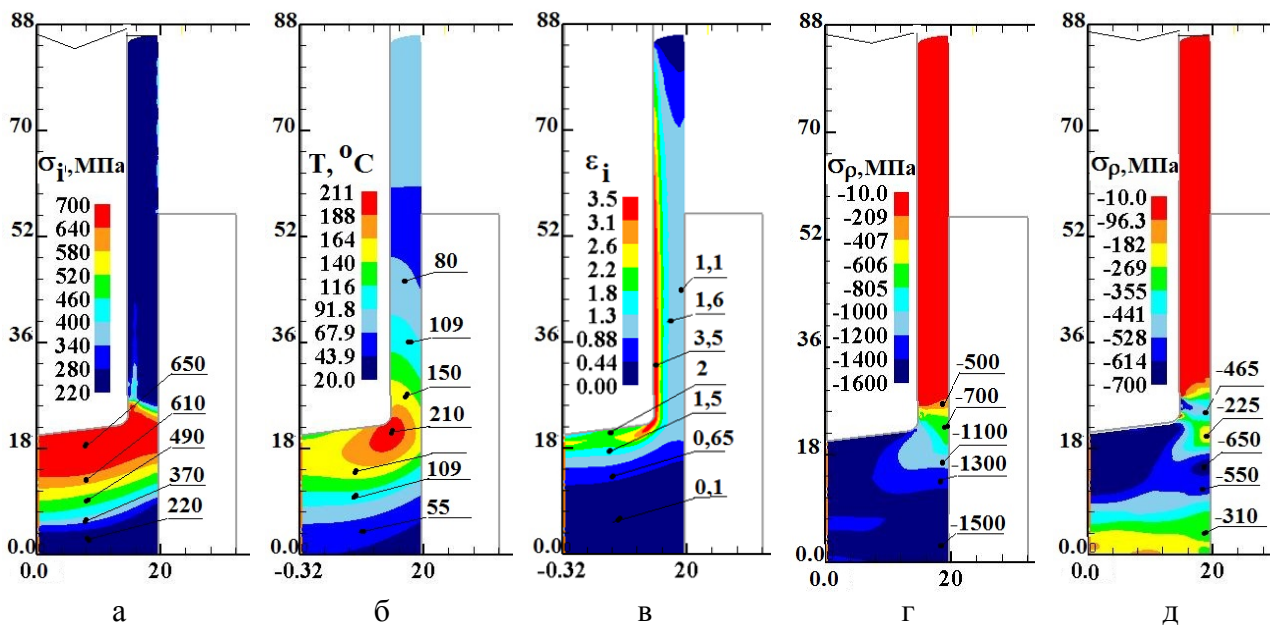


Рис. 3. Напряжения, температура и деформации в сформированной заготовке при обратном выдавливании:

а – распределение интенсивности напряжений σ_i , б – распределение температуры, в – распределение интенсивности деформаций ϵ_i , г – распределение радиальных напряжений σ_p , д – распределение радиальных напряжений σ_p после снятия действия усилия на пуансоне. Размеры по осям в миллиметрах

Распределение интенсивности деформаций ε_i после выдавливания приведено на рис. 3, в. Проработка структуры металла холодной пластической деформации происходит по всей толщине стенки. Причем внутренние слои металла стенки деформируются в 3 раза интенсивнее, чем внешние. На рис. 3, г приведено распределение радиальных напряжений σ_ρ в конце выдавливания, а на рис. 3, д – распределение этих напряжений после снятия действия усилия на пуансоне. После снятия действия усилия происходит разгрузка сдеформированной заготовки и существенное уменьшение по абсолютной величине напряжений σ_ρ . На поверхности контакта заготовки с матрицей в донной части в первом случае получено $\sigma_\rho = -1500$ МПа, а во втором – $\sigma_\rho = -650$ МПа.

При обратном выдавливании традиционно сначала идет извлечение пуансона из сформированной заготовки, а затем выталкивание ее из матрицы. Результаты расчетов по извлечению пуансона и выталкиванию заготовки приведены на рис. 4. Схема после извлечения пуансона показана на рис. 4, а. На рис. 4, б приведена зависимость усилия извлечения пуансона от перемещения пуансона. Наибольшее значение усилия (236 кН) возникает вначале извлечения пуансона. Наличие такого усилия обусловлено деформацией слоев металла со стороны полости заготовки по пуансону и действием сил трения от остаточных напряжений после разгрузки заготовки. Действие усилия при извлечении приводит к возникновению растягивающих напряжений в пуансоне, что может быть причиной уменьшения его стойкости при многократном нагружении. Схема после выталкивания заготовки из матрицы показана на рис. 4, в. На рис. 4, г приведена зависимость усилия выталкивания от перемещения выталкивателя. После разгрузки заготовки максимальное значение усилия выталкивания достигает 30 кН. Наличие такого усилия обусловлено действием сил трения между матрицей и поверхностью сформированной заготовки от остаточных напряжений, которые имеют место после разгрузки заготовки.

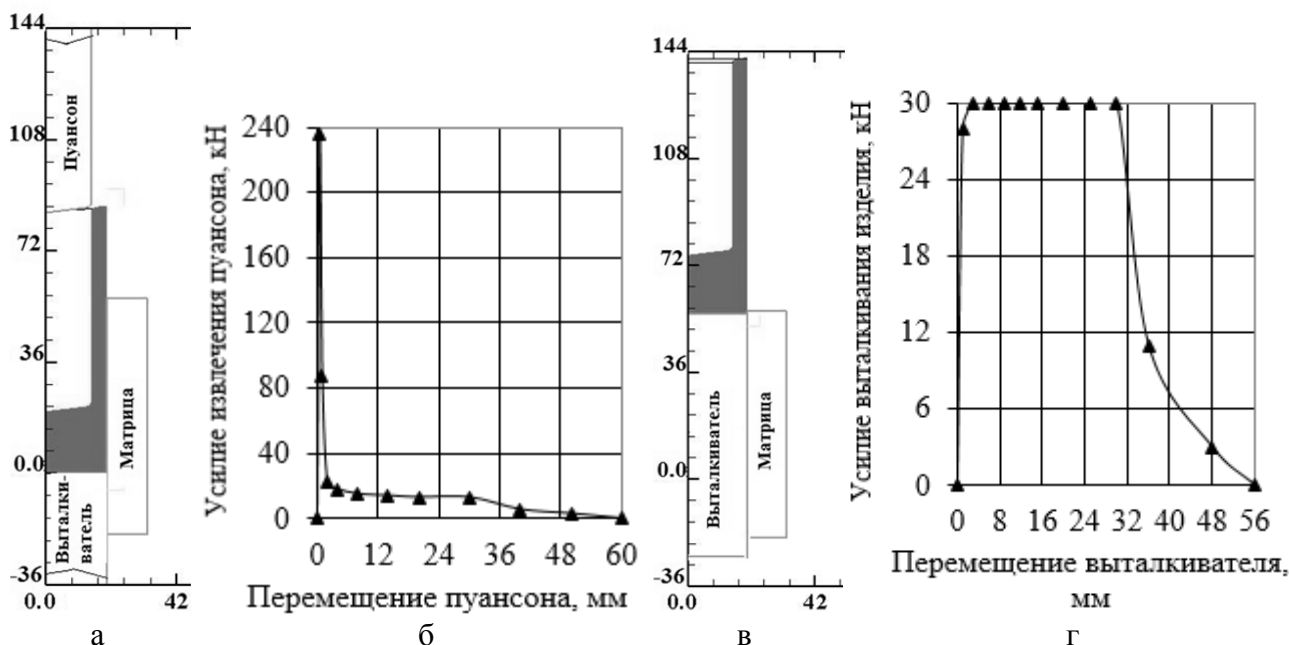


Рис. 4. Результаты расчетов по извлечению пуансона и выталкиванию заготовки:

а – схема после извлечения пуансона, б – зависимость усилия извлечения пуансона от перемещения пуансона, в – схема после выталкивания изделия из матрицы, г – зависимость усилия выталкивания от перемещения выталкивателя. Размеры на схемах приведены в миллиметрах

Было проведено компьютерное моделирование совместного выталкивания пуансона и сформированной заготовки из матрицы при помощи выталкивателя после обратного выдавливания. Результаты расчетов показаны на рис. 5. Схема после выталкивания заготовки с пуансоном приведена на рис. 5, а. Зависимость усилия выталкивания от перемещения пуансона приведена на рис. 5, б. При таком варианте выталкивания сначала происходит разгрузка заготовки вследствие снятия действия усилия на пуансоне и усилие выталкивания возникает вследствие действия сил трения между поверхностью заготовки и матрицей от остаточных напряжений, которые имеют место после разгрузки заготовки. Схема после извлечения пуансона из заготовки приведена на рис. 5, в. При этом перемещение заготовки ограничивают упором. На рис. 5, г показана зависимость усилия извлечения пуансона от его перемещения. При таком варианте извлечения в пуансоне действуют незначительные растягивающие напряжения по сравнению с предыдущим вариантом (см. рис. 4).

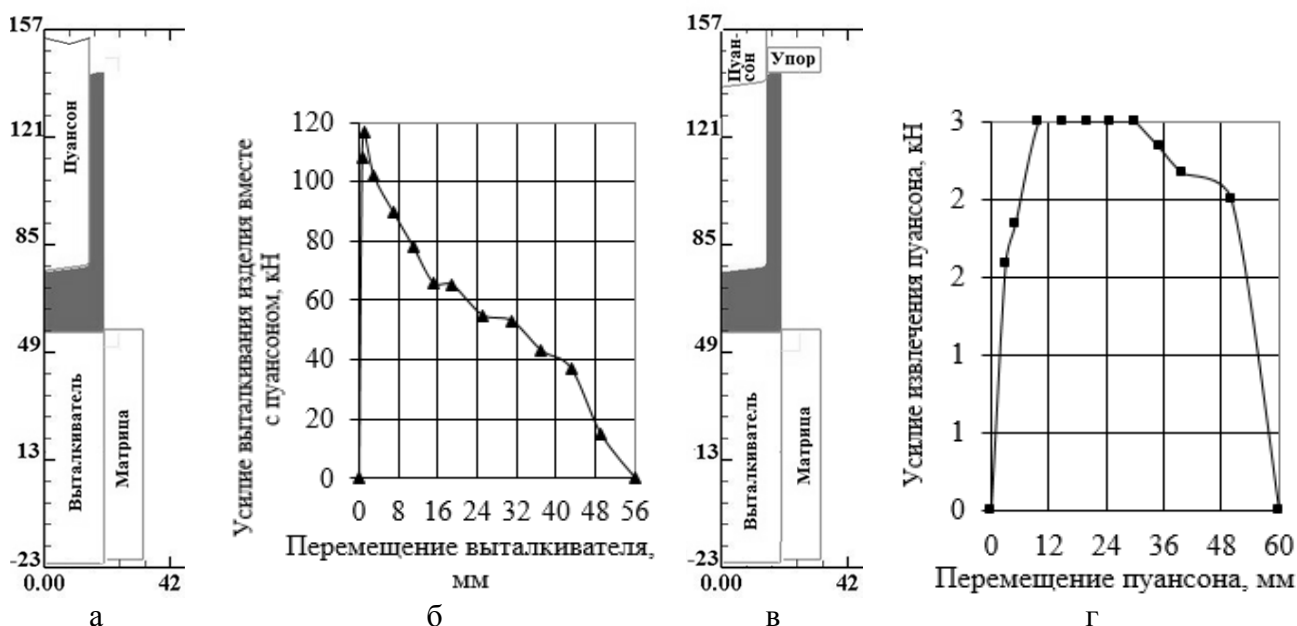


Рис. 5. Выталкивание изделия из матрицы вместе с пуансоном для последующего извлечения пуансона:

а – схема после выталкивания изделия вместе с пуансоном из матрицы, б – зависимость усилия выталкивания от перемещения выталкивателя, в – схема после извлечения пуансона из изделия, г – зависимость усилия извлечения пуансона от его перемещения. Размеры на схемах приведены в миллиметрах

Результаты анализа прямого выдавливания с раздачей полых изделий. Расчетные характерные положения заготовки и деформирующего инструмента на разных стадиях выдавливания и извлечения изделия приведены на рис. 6. Усилие выдавливания достигает максимума при прохождении стенки сформированной заготовки калибрующего пояска пуансона (рис. 6, а). На этом рисунке приведен увеличенный фрагмент пуансона и торца стенки заготовки. Торцевая стенка заворачивается и заполняет зазор $z=0,15$ мм пуансона (см. рис. 1, б). Положение в конце выдавливания приведено на рис. 6, б. После выдавливания для извлечения изделия матрицу поднимают совместно с верхней плитой вверх (рис. 6, в). При этом матрица смещается вместе с заготовкой до момента, когда торцевая стенка упрется в место перехода цилиндрической части пуансона в калибрующий поясок (см. рис. 6, а). В дальнейшем заготовка остается на пуансоне, а матрица продолжает движение вверх до тех пор, пока заготовка полностью выйдет из матрицы (рис. 6, г). Для снятия заготовки с пуансона до него подводят упор, как показано на рис. 6, д. При помощи упора и выталкивателя пресса заготовку полностью снимают с пуансона.

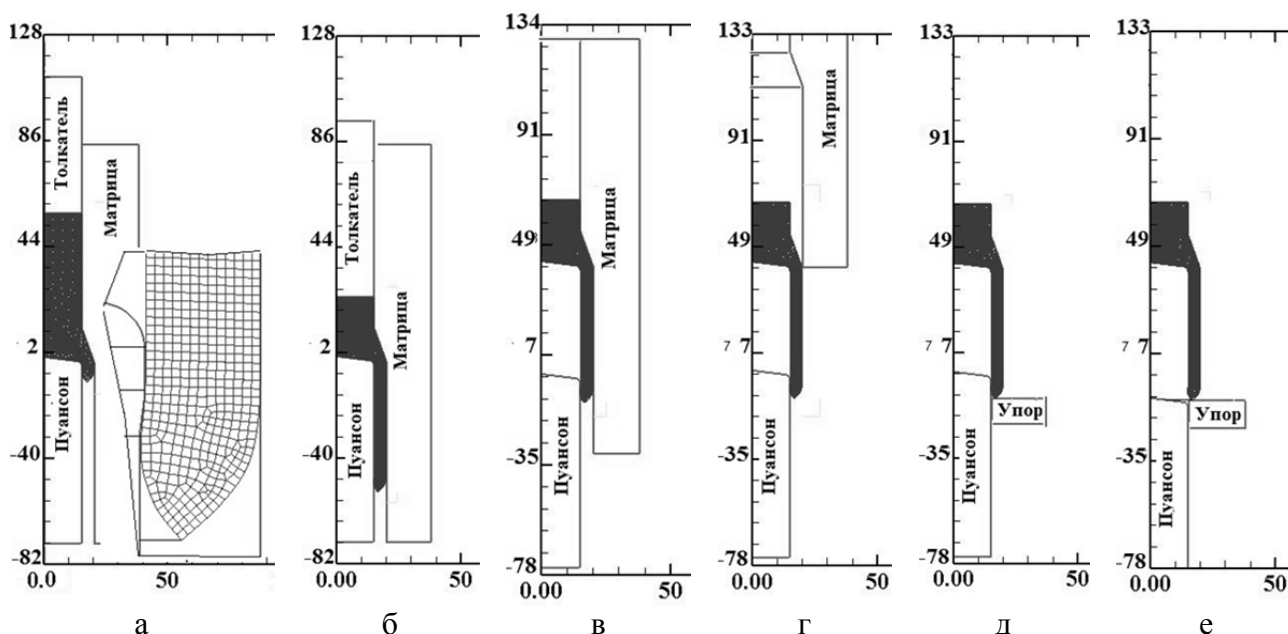


Рис. 6. Расчетные характерные положения заготовки и деформирующего инструмента при прямом выдавливании с раздачей полых изделий:

а – при максимальном значении усилия выдавливания, б – в конце выдавливания, в – при перемещении матрицы с верхней плитой вверх, г – при извлечении заготовки матрицы, д – начало снятия заготовки с пуансона, е – в конце снятия заготовки с пуансона. Размеры по осям приведены в миллиметрах

Усилия и удельные усилия при прямом выдавливании с раздачей приведены на рис. 7. Зависимости усилия выдавливания, которое прикладывают к толкателю и воспринимает пуансон, от перемещения толкателя приведены на рис. 7, а. Усилие на толкателе больше, чем на пуансоне. Это связано с затратами на преодоление сил трения между заготовкой и матрицей. Максимальное значение усилия на толкателе достигает 1560 кН, на пуансоне – 1270 кН.

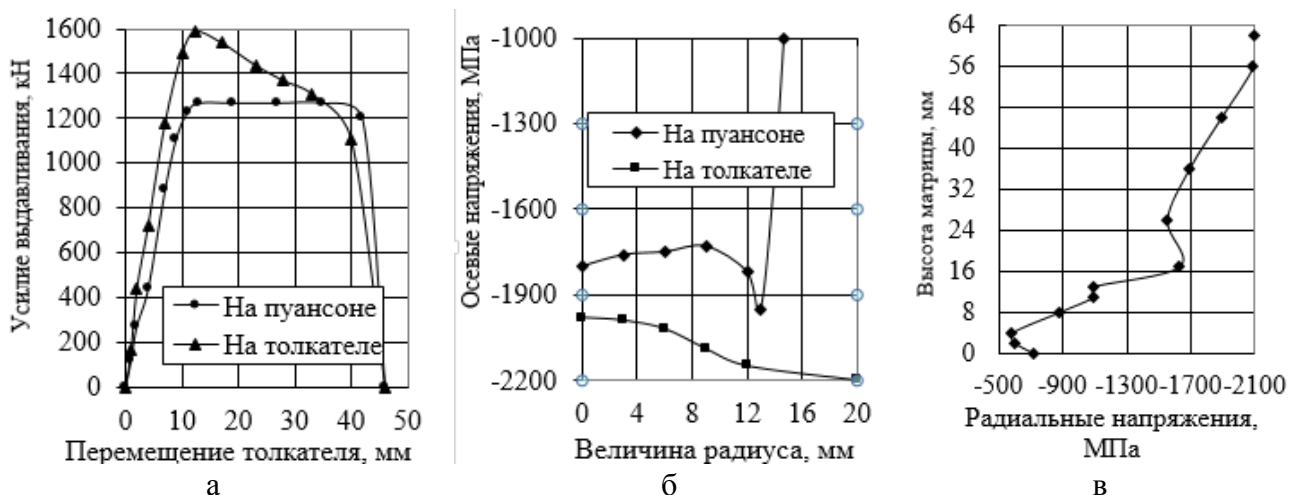


Рис. 7. Усилия и удельные усилия при прямом выдавливании с раздачей:

а – зависимость усилия выдавливания от перемещения пуансона; б – распределения осевых напряжений σ_z на пуансоне и выталкивателе при максимальном значении усилия, в – распределение радиальных напряжений σ_ρ на матрице при максимальном значении усилия

По сравнению с обратным выдавливанием усилие снижается на 16% при одинаковых внешних диаметрах и толщинах стенки сформированных заготовок. Для оценки удельных усилий на рис. 7, б показаны распределения осевых напряжений σ_z в местах контакта заготовки с торцами пуансона и толкателя при максимальном значении усилия выдавливания. На оси пуансона получено $\sigma_z = -1800$ кН с дальнейшим снижением по радиусу до места перехода конусной поверхности в радиус скругления. На самом переходе это напряжение достигает значения $\sigma_z = -1950$ кН. Удельные усилия на пуансоне также меньше по сравнению с обратным выдавливанием. На оси толкателя получено $\sigma_z = -1980$ кН, а в месте перехода торца в цилиндрическую часть - $\sigma_z = -2200$ кН. Распределение радиальных напряжений на поверхности заготовки, которая контактирует с матрицей, показано на рис. 7, в. График получен для положения заготовки в матрице также при максимальном значении усилия (см. рис. 6, а). На поверхности заготовки в очаге деформации получено $\sigma_\rho = -1670$ кН, а на верхнем торце заготовки - $\sigma_\rho = -2100$ кН.

Напряжения, температура и деформации в сформированной заготовке при прямом выдавливании с раздачей приведены на рис. 8. Распределений интенсивности напряжений σ_i в конце выдавливания при действии усилия на толкателе показано на рис. 8, а.

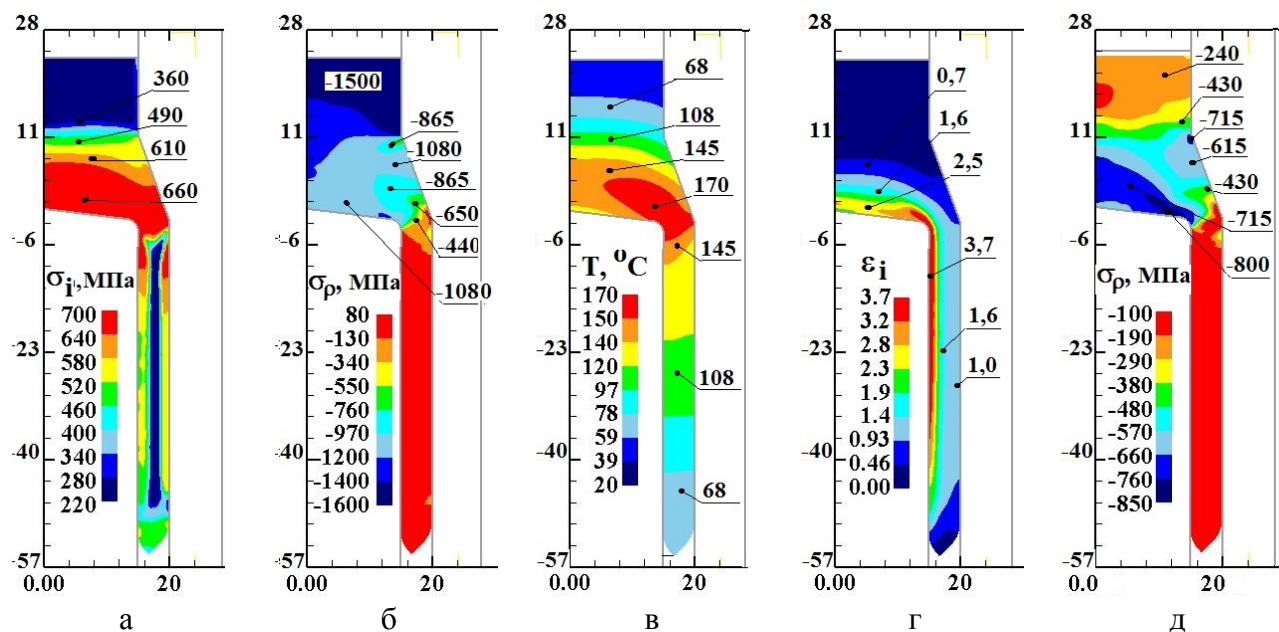


Рис. 8. Напряжения, температура и деформации в сформированной заготовке при прямом выдавливании с раздачей:

а – распределение интенсивности напряжений σ_i , б – распределение радиальных напряжений σ_ρ в конце выдавливания, в – распределение температуры, г – распределение интенсивности деформаций ϵ_i , д – распределение радиальных напряжений σ_ρ после снятия действия усилия на толкателе. Размеры по осям в миллиметрах

Очаг деформации в заготовке, в отличие от обратного выдавливания (см. рис. 3, а), распространяется на одинаковую высоту в заготовке. При этом наибольшие по абсолютной величине радиальные напряжения σ_ρ , распределение которых приведено на рис. 8, б, возникают в недеформированной части заготовки. В указанном месте получено $\sigma_\rho = -1500$ МПа. В конусной части заготовки эти напряжения изменяются от $\sigma_\rho = -1080$ МПа до

$\sigma_{\rho} = -440$ МПа. В конце выдавливания температура сформированного металла в очаге деформации достигает 68°C на границе с недеформированной частью заготовки с увеличением до 170°C в месте перехода конусной части в стенку заготовки (рис. 8, в). Это на 40°C меньше по сравнению с обратным выдавливанием (см. рис. 3, б). На рис. 8, г приведено распределение интенсивности деформаций ε_i . Как и при обратном выдавливании, в данном случае наибольшую проработку структуры металла пластической деформацией получают внутренние слои металла стенки изделия, наименьшую – внешние слои. Распределение остаточных радиальных напряжений σ_{ρ} в сформированной заготовке после снятия действия усилия на толкателе приведено на рис. 8, д. Происходит разгрузка заготовки и значительное уменьшение по абсолютной величине этих напряжений по сравнению с положением, когда усилие действует (см. рис. 8, б). В недеформированной части заготовки сжимающие напряжения σ_{ρ} изменяются с $\sigma_{\rho} = -1500$ МПа при действии усилия до $\sigma_{\rho} = -240$ МПа при отсутствии усилия. Соответствующее изменение в конусной части составляет с $\sigma_{\rho} = -1080$ МПа до $\sigma_{\rho} = -715$ МПа.

Установленные величины остаточных напряжений в сформированной заготовке после снятия действия усилия на толкателе позволили определить усилия поднятия матрицы после выдавливания и усилие дальнейшего снятия заготовки с пуансона. Результаты расчетов по подъему матрицы и снятию заготовки приведены на рис. 9. Зависимость усилия поднятия матрицы от ее перемещения приведена на рис. 9, а. Выше было показано, что после выдавливания матрицу поднимают вверх и она смещается совместно с заготовкой (см. рис. 6, б). При этом наибольшее усилие (117 кН) возникает вначале подъема. Такую величину усилия воспринимает пуансон, что приблизительно в два раза меньше усилия извлечения пуансона из сформированной заготовки при обратном выдавливании (см. рис. 4, б). До перемещения матрицы 43 мм усилие практически отсутствует до момента касания торцом заготовки места перехода цилиндрической части пуансона в калибрующий пояс. Заготовка останавливается (см. рис. 6, в), а матрица продолжает движение самостоятельно. Максимальное усилие извлечения заготовки из матрицы составляет 19 кН. После этого происходит снятие заготовки из пуансона при помощи упора (см. рис. 6, д и 6, е). Зависимость усилия снятия от перемещения упора показана на рис. 9, б. Максимальная величина усилия снятия составляет 25 кН.

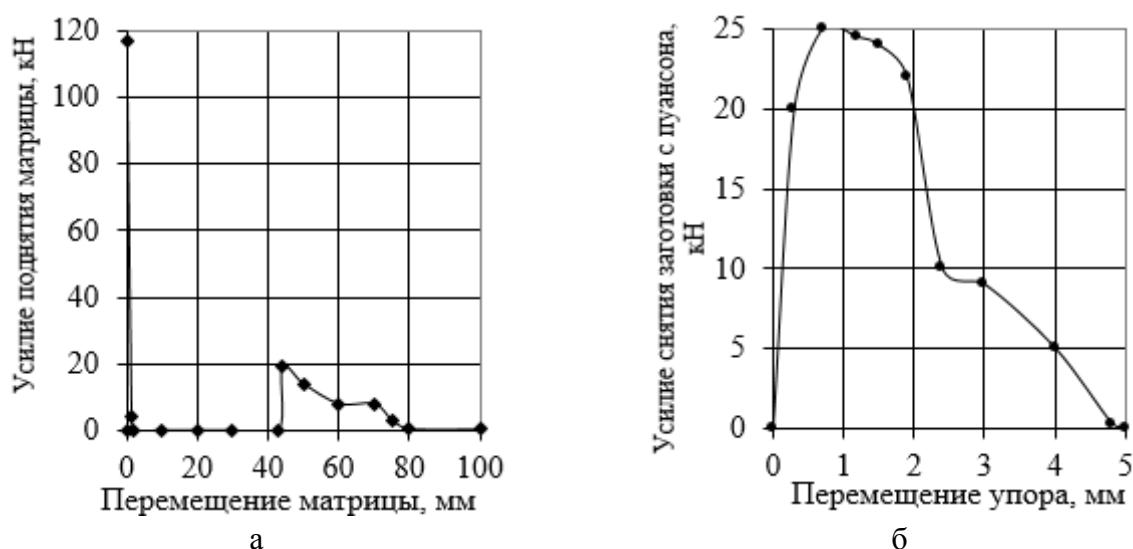


Рис. 9. Результаты расчетов и снятия заготовки:

а – зависимость усилия поднятия матрицы от перемещения матрицы, б – зависимость усилия снятия заготовки из пуансона от перемещения упора

ВЫВОДЫ

В работе выполнен анализ методом конечных элементов холодного обратного выдавливания и прямого выдавливания с раздачей коническим пуансоном полых изделий из низкоуглеродистой стали. Использована упруго-пластическая с упрочнением модель металла. Определены конечные формы и размеры изделий, зависимости усилий выдавливания от перемещений пуансона и толкателя, распределения напряжений на деформирующем инструменте при максимальном усилии выдавливания. Установлены величины усилия извлечения пуансонов и усилий выталкивания сдеформированных заготовок из матрицы. Расчетным путем определен разогрев металла при холодном формообразовании полых изделий. Для обратного выдавливания установлено, что совместное выталкивание пуансона с сдеформированной заготовкой практически исключает возникновение растягивающих напряжений в пуансоне. Для прямого выдавливания с раздачей выявлены усилия поднятия матрицы и снятия сдеформированной заготовки с пуансона. Полученные результаты дополняют необходимые данные для разработки технологических процессов холодного выдавливания полых изделий разными способами, проектирования штамповой оснастки и выбора прессового оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Холодная объемная штамповка. Справочник под ред. Г.А. Навроцкого.* – М.: Машиностроение, 1972. – 495с.
2. *Ковка и объемная штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. . – Т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого.* – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.
3. *Овчинников А.Г. Основы теории холодного выдавливания на прессах / А.Г. Овчинников.* – М.: Машиностроение, 1987. – 205 с.
4. *Евстратов В.А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В.А. Евстратов.* – Харьков. : Вища школа, 1987. – 142 с.
5. *Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки / В.Ф. Гречников, А.М. Дмитриев, В.Д. Кухарь [и др.]; Под общ. Ред. А.Г. Овчинникова.* – М.: Машиностроение. 1985. – 184 с.
6. *Калюжный В.Л. Определение усилий извлечения пуансона из сдеформированной заготовки и выталкивания заготовки из матрицы при холодном выдавливании полых изделий с разной степенью деформации / В.Л. Калюжный, Л.И. Алиева, В.Н. Горностай // Усовершенствование процессов и оборудования для обработки давлением в металлургии и машиностроении: сб. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2016. – №1(42). – С. 90–100.*
7. *Калюжный В.Л. Влияние геометрии рабочего торца плоско-конусного пуансона на силовые режимы и качество изделий при холодном выдавливании стаканов / В.Л. Калюжный, А.В. Шапочка // Усовершенствование процессов и оборудования для обработки давлением в металлургии и машиностроении: сб. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2001. – С. 214–216.*
8. *Калюжный В.Л. Влияние контактного трения на процесс обратного выдавливания стаканов / В.Л. Калюжный, В.Н. Горностай // Вестник Житомирского инженерно-технологического института. – Житомир: ИТИ, 2001. – №19. – С. 36–39.*
9. *Калюжный В.Л. Расчетный анализ влияния рабочего торца пуансона на процесс обратного выдавливания стаканов / В.Л. Калюжный, В.Н. Горностай // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2002. – №8–9. – С. 519–523.*
10. *Калюжный В.Л. Расчетный анализ обратного выдавливания стаканов из заготовок разной высоты / В.Л. Калюжный, В.Н. Горностай // Технологические системы. – Киев, 2002. – №3(14). – С. 73–77.*
11. *Калюжный В.Л. Сравнительный анализ процессов обратного выдавливания и прямого выдавливания с раздачей изделий с полостью постоянного диаметра / В.Л. Калюжный, Л.И. Алиева, И.П. Куликов // Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2013. – №4(37). – С. 87–92.*

REFERENCES

1. *Holodnaja obemnaja shtampovka. Spravochnik pod red. G.A. Navrockogo.* – M.: Mashinostroenie, 1972. – 495 s.
2. *Kovka i obemnaja shtampovka: Spravochnik. V 4-ht. / Red. sovet: E.I. Semenov (pred.) i dr. . – T. 3. Holodnaja obemnaja shtampovka / Pod red. G.A. Navrockogo.* – M.: Mashinostroenie, 1987. – 384 s.
3. *Ovchinnikov A.G. Osnovy teorii holodnogo vydavlivaniya na pressah / A.G. Ovchinnikov.* – M.: Mashinostroenie, 1987. – 205 s.
4. *Evstratov V.A. Osnovy tehnologii vydavlivaniya i konstruirovaniya shtampov / V.A. Evstratov.* – Har'kov. : Vishha shkola, 1987. – 142 s.
5. *Progressivnye tehnologicheskie processy holodnoj shtampovki / V.F. Grechnikov, A.M. Dmitriev, V.D. Kuhar' [i dr.]; Pod obshh. Red. A.G. Ovchinnikova.* – M.: Mashinostroenie. 1985. – 184 s.
6. *Kaljuzhnyj V.L. Opredelenie usilij izvlecheniya puansona iz sdeformirovannoj zagotovki i vytalkivaniya zagotovki iz matricy pri holodnom vydavlivanii polyh izdelij s raznoj stepen'ju deformacii / V.L. Kaljuzhnyj, L.I. Alieva, V.N. Gornostaj // Uovershenstvovanie processov i oborudovaniya dlja obrabotki davleniem v metallurgii i mashinostroenii: sb. nauch. trudov.* – Kramatorsk: DGMA, 2016. – №1(42). – S. 90–100.
7. *Kaljuzhnyj V.L. Vlijanie geometrii rabocheho torca ploskokonusnogo puansona na silovye rezhimy i kachestvo izdelij pri holodnom vydavlivanii stakanov / V.L. Kaljuzhnyj, A.V. Shapochka // Uovershenstvovanie processov i oborudovaniya dlja obrabotki davleniem v metallurgii i mashinostroenii: sb. nauch. trudov.* – Kramatorsk: DGMA, 2001. – S. 214–216.
8. *Kaljuzhnyj V.L. Vlijanie kontaktnogo treniya na process obratnogo vydavlivaniya stakanov / V.L. Kaljuzhnyj, V.N. Gornostaj // Vestnik Zhitomirskogo inzhenerno-tehnologicheskogo instituta.* – Zhitomir: ITI, 2001. – №19. – S. 36–39.
9. *Kaljuzhnyj V.L. Raschetnyj analiz vlijaniya rabocheho torca puansona na process obratnogo vydavlivaniya stakanov / V.L. Kaljuzhnyj, V.N. Gornostaj // Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'.* – Dnepropetrovsk, 2002. – №8–9. – S. 519–523.
10. *Kaljuzhnyj V.L. Raschetnyj analiz obratnogo vydavlivaniya stakanov iz zagotovok raznoj vysoty / V.L. Kaljuzhnyj, V.N. Gornostaj // Tehnologicheskie sistemy.* – Kiev, 2002. – №3(14). – S. 73–77.
11. *Kaljuzhnyj V.L. Sravnitel'nyj analiz processov obratnogo vydavlivaniya i prjamogo vydavlivaniya s razdachej izdelij s polost'ju postojannogo diametra / V.L. Kaljuzhnyj, L.I. Alieva, I.P. Kulikov // Obrabotka materialov davleniem: sb. nauch. trudov.* – Kramatorsk: DGMA, 2013. – №4(37). – S. 87–92.

Калюжный А. В. – канд. техн. наук, доц. каф. ДММ и СМ НТУУ «КПИ»

Алиева Л. И. – канд. техн. наук, докторант ДГМА

Таган Л. В. – канд. техн. наук, асист. каф. ОМД ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua, av-k@ukr.net