

УДК 621.777.4

## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СИЛОВОЙ РЕЖИМ И ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ТОЧНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ**

**Алиев И. С., Абхари П. Б.**

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

***Аннотация.** Рассмотрен процесс закрытого радиального выдавливания фланца с односторонней и двухсторонней подачей металла на оправке и в матрице с различными значениями угла наклона торца. Для исследования выбраны образцы из алюминиевого сплава АМцМ, с одинаковыми диаметрами и длиной. Исследовано влияние геометрии матриц с различными углами наклона торцов и наличия оправки при выдавливании трубчатых деталей с фланцем. Методом конечных элементов при помощи программного продукта QFort 2D получены сведения о напряженно-деформированном состоянии заготовки и силовом режиме процесса штамповки. Для анализа дефектообразования проведено конечно-элементное моделирование процесса радиального выдавливания трубчатых заготовок на оправке. получены результаты по закономерностям изменения силового режима, формоизменения заготовки и предложены рекомендации по устранению дефектов деталей за счет регулирования кинематики движения инструмента и течения металла.*

***Ключевые слова:** объемная штамповка, метод конечных элементов, дефектообразование, давление выдавливания, раскрытие матрицы.*

Для обеспечения конкурентоспособности продукции машиностроения необходимо совершенствование заготовительного производства, что неразрывно связано с разработкой и использованием новых наукоемких технологических процессов, основное преимущество которых – получение высококачественных сложнопрофилированных деталей при минимуме затрат энергии, трудовых и материальных ресурсов.

Номенклатура современного машиностроения включает детали с буртами, фланцами, отрезками, расположенными под различными углами к оси изделий. Для изготовления таких деталей в настоящее время применяются многопереходные технологические процессы, включающие, как правило, простые процессы выдавливания такие как: прямое и обратное выдавливание, высадка и т.д. Штамповка сложных элементов при этом выполняется последовательно, часто на различном оборудовании с применением промежуточных операций, а сложность формы получаемых изделий ограничена возможностями извлечения поковки из полости цельной матрицы.

Повышение эффективности при производстве заготовок для сложнопрофилированных деталей достигается применением процессов точной объемной штамповки выдавливанием в разъемных матрицах, обеспечивающих извлечение из матриц штамповок более сложной пространственной формы, за счет наличия дополнительных плоскостей разъема полуматриц. При рассмотрении вопроса об эффективности применения штамповки целесообразно изучить усилие раскрытия полуматрицы и дефектообразование [1, 2].

Целью исследований является анализ силового режима деформирования процесса закрытого радиального выдавливания фланца с разными параметрами угла наклона инструмента полуматрицы с односторонней подачей и определение численных параметров появления такого дефекта, как утяжина и рекомендаций по устранению дефектообразования.

Процессы закрытого радиального выдавливания имеют большое количество кинематических схем их осуществления и отличаются разнообразием деталей. Характерной особенностью процессов закрытого радиального выдавливания является сложный режим силового воздействия, как на заготовку, так и на элементы штамповой оснастки. Поэтому задачей теоретического анализа процессов выдавливания сводится как к определению силового режима деформирования, так и к определению сил раскрытия полуматрицы. Уровень сил раскрытия определяет надежность работы штампов с разъемными матрицами. Чем выше технологические усилия раскрытия, тем жестче должны быть зажимные узлы штампов и тем выше вероятность их заклинивания, вызванная высокими нагрузками, действующими на зажимные механизмы.

Получение фланцев на конце стержня в закрытых матрицах сопровождается большими нагрузками на рабочий инструмент и незаполнением углов приемной полости. Проведенное конечно-элементное моделирование с различной геометрией полуматрицы, учитывающий определенные комбинации типоразмеров получаемых деталей (рис. 1), удалось снизить силы раскрытия разъемных матриц и улучшить течения металла в радиальном направлении.

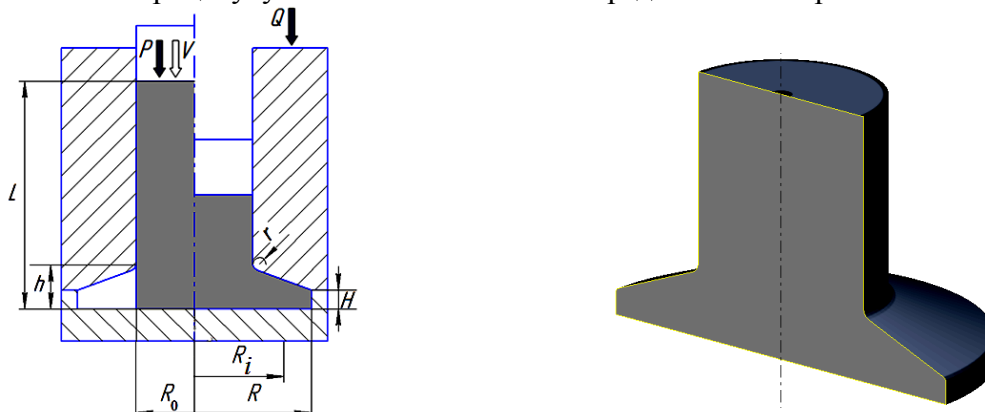


Рис. 1. Схема процесса радиального выдавливания фланца на конце стержня (а), с разными параметрами угла наклона инструмента полуматрицы с односторонней подачей и полученным полуфабрикатом (б)

При анализе влияния на силовой режим относительных величин  $R_i/R_0$  и  $H/R_0$  установлено, что приведенное давление с увеличением относительной величины  $R_i/R_0$  увеличивается. Это связано с тем, что увеличение относительного параметра  $R_i/R_0$  приводит к увеличению количества металла, который заполняет полость фланца (рис. 2). Такой характер распределения значений наблюдается за счет изменения напряженного состояния при радиальном выдавливании. Также увеличивается контактная поверхность терния с верхней полуматрицей [3].

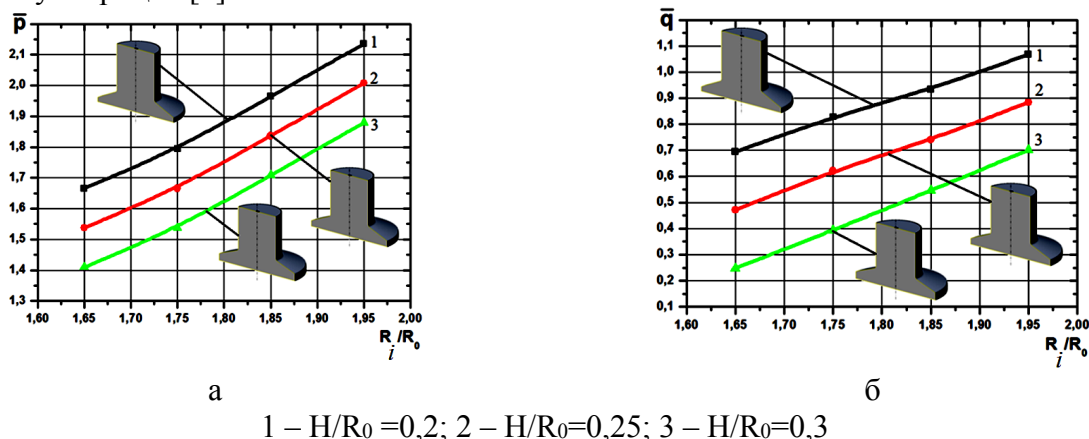


Рис. 2 – График зависимости приведенных давлений выдавливания (а) и раскрытия матрицы (б) от относительного радиуса фланца  $R_i/R_0$  при  $h/R_0 = 0,65$

Проблемой при получении полых сложнопрофилированных изделий является дефектообразование в виде утяжины на внутренней поверхности полой заготовки при значениях высоты приемной полости, превышающей толщину стенки трубчатой заготовки. Утяжины возникают в месте накопления максимальной интенсивности деформаций. По результатам исследований построены диаграммы для определения геометрических размеров процессов выдавливания, при которых не будет происходить образование утяжины (рис. 3, а, б). Для получения бездефектных деталей рекомендуется применение технологических буртов и способ регулирования подачи металла за счет подъема полуматриц. (рис. 3, в, г).

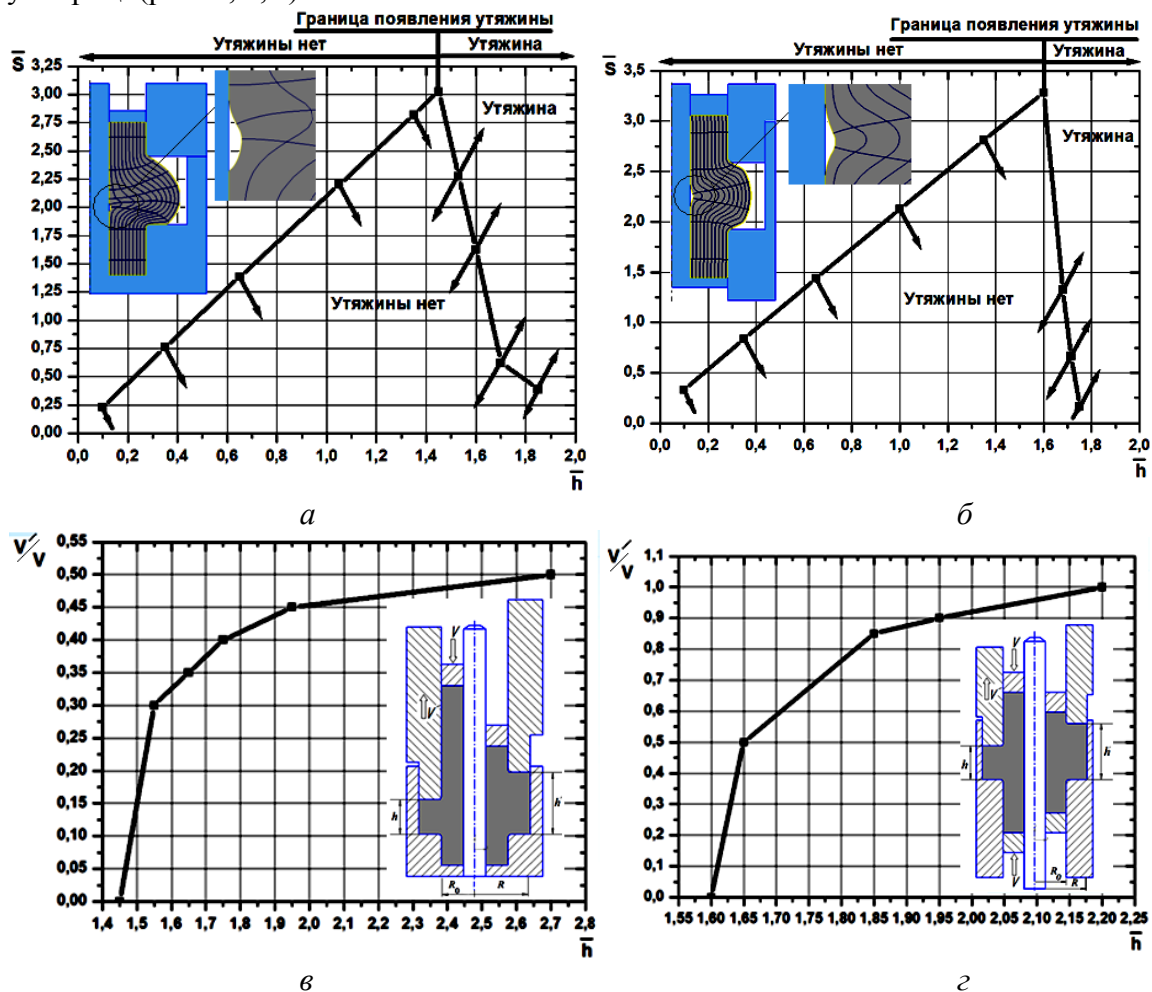


Рис. 3 – Зависимости появления утяжины от относительных хода пуансона и толщины фланца: а – с односторонней подачей, в – с двусторонней подачей, и рекомендации по скорости подъема полуматрицы для устранения дефектообразования (в, г)

**Список литературы:**

1. Алиева Л. И. Прогнозирование дефектообразования в процессе радиального выдавливания / Л. И. Алиева, И. С. Алиев, П. Б. Абхари // Вісник національного технічного університету України «ХПІ». Збірник наукових праць. № 47. – Харків, 2011. – С.140-145.
2. Алиев И. С. Моделирование процесса штамповки в закрытых штампах методом конечных элементов / И. С. Алиев, П. Б. Абхари, А. А. Еремина // Пластическая деформация металлов. Научное издание. г. Днепропетровск. – Том 1, 2014. – С. 192–196.
3. Investigation of defect in combined precision extrusion process with multiple ram / I. Aliiev, L. Aliieva, P. Abhari, K. Goncharuk // XVI International scientific conference New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. – Series : Monographs. – Czestochowa, 2015. – №48. – P. 90–93.

УДК 621.7

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОРНУВАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ПРОФІЛЮ В ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСАХ DEFORM I QFORM

Орлюк М.В, Лаврінєнков А.Д., Дубиніна Н.М.

НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

*Анотація.* В роботі за результатами комп'ютерного моделювання проведена оцінка ефективності застосування програмних комплексів Deform та Qform для прогнозування можливості виготовлення профілю на внутрішній поверхні трубчастої заготовки дорнуванням. Встановлено, що завдяки кращому модулю побудови сітки скінченних елементів точність результатів, отримана за результатами моделювання в Deform виявилась вищою.

*Ключові слова:* комп'ютерне моделювання, Deform, Qform.

В наш час існує багато способів отримання профілю на внутрішній поверхні трубчастих заготовок. Одним з них є процес дорнування. Дорнування – це вид обробки заготовок без зняття стружки, він дозволяє знизити витрати металу та кількість технологічних операцій. Сутність процесу дорнування полягає в переміщенні жорсткого робочого інструмента - дорна в отворі заготовки з натягом. В процесі обробки за рахунок натягу забезпечується зміцнення металу в поверхневому шарі, згладжування вихідної шорсткості, зміна форм і розмірів поперечного перерізу отвору і заготовки. Дорнуванням можна частково усунути овальність і конусність отвору. Цей метод проводиться без застосування поліруючих и доводочних матеріалів, а значить в zdeформовану поверхню не вдавлюються абразивні зерна [1]. Проте розробка технологічних процесів виготовлення внутрішніх профілів дорнуванням зазвичай потребує експериментального доопрацювання.

У той же час для дослідження складних процесів обробки металів тиском широко використовується комп'ютерне моделювання. Воно дозволяє скоротити час і витрати на відпрацювання технології виготовлення виробів та підготовку виробництва. Для моделювання процесів холодного об'ємного штампування зазвичай використовується програмний комплекс Deform 3D [2]. Крім того останнім часом все ширшого використання набуває комп'ютерне моделювання в середовищі Qform.

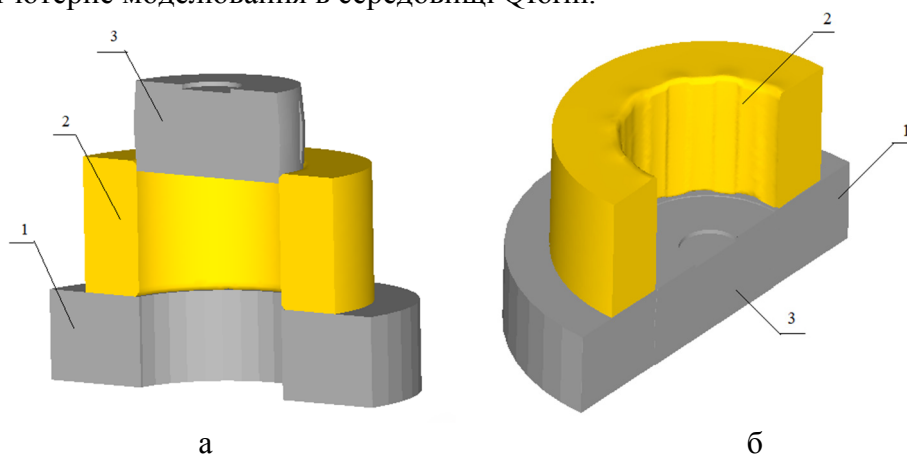


Рис. 1 - Схема дорнування внутрішнього профілю: а – початкове положення; б - кінцеве положення  
1 – опора; 2 – заготовка; 3 – дорн.

Для порівняння ефективності даних програмних комплексів в роботі було проведено моделювання процесу формоутворення нарізів дорнуванням на внутрішній поверхні трубчастої заготовки.

При чисельному експерименті були задані такі параметри:

- матеріал: сталь 40X, аналогом цієї сталі в Deform є AISI-5135H;
- тип матеріалу заготовки: пластичний;
- коефіцієнт тертя:  $\mu=0,1$  (за Кулоном);

- величина швидкості переміщення головного інструменту:  $V_0 = 2$  мм/сек

На рис. 1 показана схема дорнування внутрішнього профілю (в розрізі).

При моделюванні для оцінки якості заповнення профілю необхідно ущільнювати сітку у місці деформування. Як видно з рис. 2, Deform має кращий модуль управління побудовою сітки і дозволяє, на відміну від Qform, ущільнювати сітку локально, а не по усій поверхні деформування. Це дозволяє при незначному збільшенні часу моделювання отримати більш якісну картину утворення профілю.

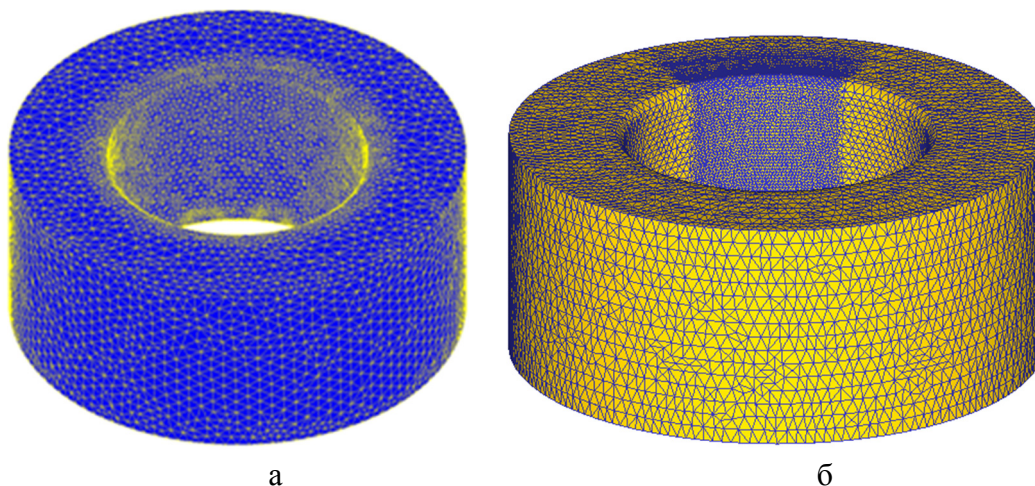


Рис. 2 - Будова сітки скінченних елементів у програмах: а – Qform, б – Deform.

В процесі моделювання в середовищі Qform сітка постійно перебудовувалась (програмно ущільнювалась у місці деформування), в Deform такого не спостерігалось. При цьому максимальне технологічне зусилля за результатами моделювання в Qform (10 т.с) виявилось практично у два рази меншим, ніж за результатами Deform (19,4 т.с), хоча характер зміни технологічного зусилля практично однаковий. Графіки зусиль представлені на рис.3

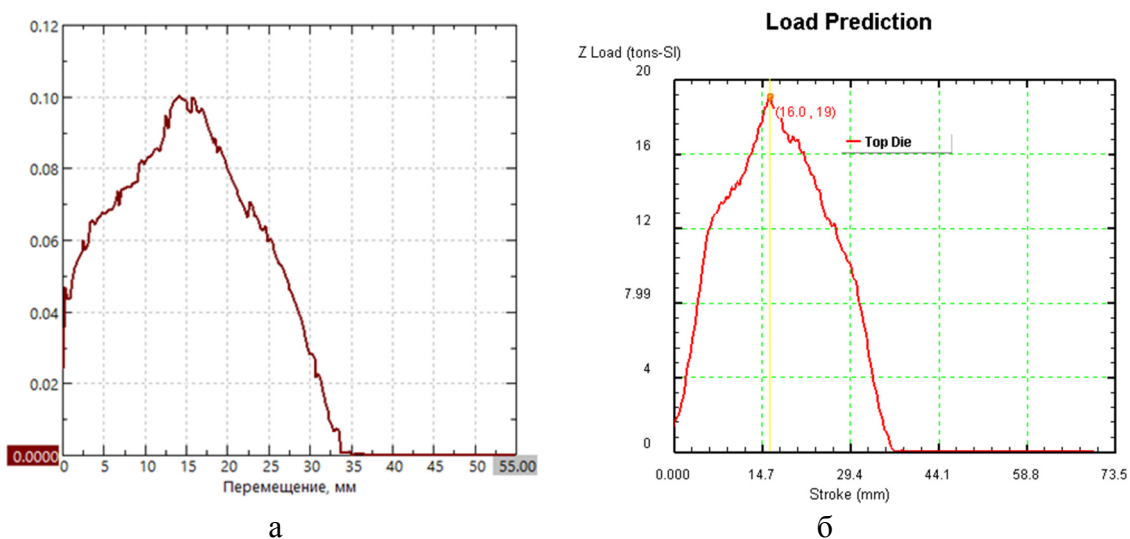


Рис. 3 - Графіки залежності зусилля від переміщення робочого інструмента: а – Qform, б – Deform.

З урахуванням того, що технологічні зусилля, отримані за результатами моделювання в Deform, мало відрізняються від зусиль у реальних процесах [3], менші значення розрахованого технологічного зусилля у Qform можна пояснити постійною перебудовою сітки, що негативно впливає на точність результатів.

На рис. 4 представлені результати щодо утворення профілю (в розрізі) в процесі дорнування.

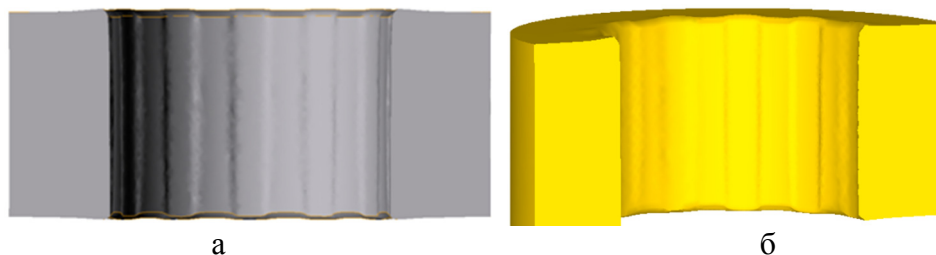


Рис. 4 - Результати утворення профілю: а – Qform, б – Deform

На рис. 5 можна помітити те, що в 2-х програмних комплексах матеріал не повністю заповнює робочий простір. Цю проблему можна вирішити збільшенням зовнішнього діаметра заготовки та певним зменшенням внутрішнього, або зміною схеми дорнування. Як можна помітити по середині виступу незаповненість в Qform становить близько 0,1 мм (рис.5а), в Deform - приблизно 0,13 мм (рис.5б) - тобто результати схожі, але в даному випадку про точність результатів моделювання можна буде судити тільки після порівняння з реальним виробом.

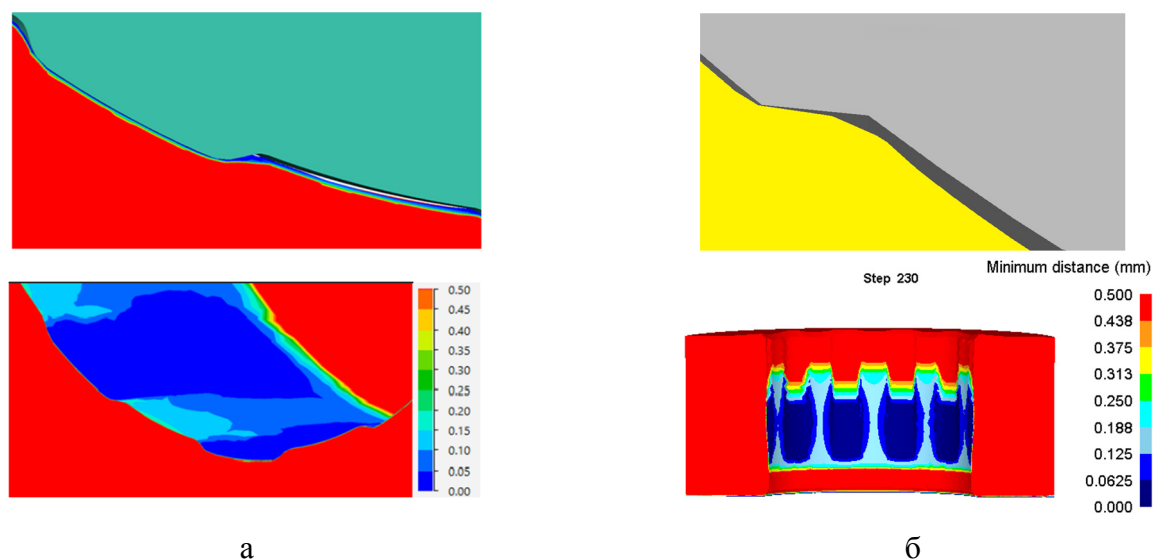


Рис. 5 – Заповнення профілю: а – Qform; б – Deform

#### За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- під час моделювання програмний комплекс Qform при моделюванні процесу дорнування часто перебудовує сітку, що знижує точність отриманих результатів;
- програми Qform та Deform дозволяють прогнозувати отримання потрібної геометрії і вносити необхідні корективи в технологічні параметри процесу, що дозволяє зменшити витрати на відпрацювання технологічного процесу дорнування.

#### Список літератури:

1. Ю.Г.Проскураков Дорнование отверстий : Урало - Сибирское отделение МАШГИЗА – С.3
2. Deform-3D – мощная система моделирования технологических процессов [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://www.thesis.com.ru/software/deform>.
3. Орлюк М.В. Определение предельных степеней деформаций при компьютерном моделировании процесса вытяжки / Стеблюк В.И., Орлюк М.В., Холявик О.В., Сопруненко В.Р. // Scientific proceedings III international scientific congress “Innovations”. - Varna, Bulgaria. - 2017. - № 1. - S. 233-236.