

УДК 621.777.4

В.М. Горностай, А.М. Потятиник, М.О. Єфремов, Є.Ю. В'язовський, В.В. Шаповалов
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ДЕФОРМАЦІЇ НА ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО ЗВОРОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З РОЗДАЧОЮ

Досліджено вплив ступеня деформації на процес отримання порожнистих виробів зворотним видавлюванням з роздачою. Визначено геометрію кінцевого виробу, напружено-деформований стан та силові параметри процесу холодного видавлювання порожнистих виробів з роздачою. Сформульовано подальші етапи досліджень за допомогою чисельних експериментів для визначення впливу наступних параметрів (кут конуса матриці, коефіцієнт роздачі, швидкість деформування та швидкість переміщення матриці) процесу зворотного видавлювання з роздачою для розробки раціональних технологічних процесів отримання виробів.

Ключові слова: : порожнистий виріб, холодне зворотне видавлювання з роздачою, метод скінченних елементів, зусилля видавлювання, питомі зусилля, напруження, деформації, форма і розміри виробів.

В.Н. Горностай, А.М. Потятиник, М.О. Єфремов, Е.Ю. Вязовский, В.В. Шаповалов **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С РАЗДАЧЕЙ**

Исследовано влияние степени деформации на процесс обратного выдавливания с раздачей. Определены форма полученного изделия, напряженно-деформированное состояние заготовки и силовые параметры процесса формообразования изделия с необходимыми размерами и качеством конечного изделия в зависимости от начального положения заготовки. Сформулированы дальнейшие этапы исследований с помощью численных экспериментов для определения влияния параметров (угол конуса матрицы, коэффициент раздачи, скорость деформирования и скорость перемещения матрицы) процесса обратного выдавливания для разработки рациональных технологических процессов получения изделий. Определена степень использования ресурса пластичности, спрогнозирована степень упрочнения деформированного изделия. Определено необходимость использования дополнительных приспособлений для извлечения заготовки из полости штампа.

Ключевые слова: полое изделие, холодное обратное выдавливание с раздачей, метод конечных элементов, усилия выдавливания, удельные усилия, напряжения, деформации, форма и размеры изделий.

V. Hornostay, A. Potjatynyk, M. Yefremov, E. Vyazovsky, V. Shapovalov **DETERMINATION OF THE EFFECT OF THE DEGREE OF DEFORMATION ON THE PARAMETERS OF THE COLD RETURN EXTRUSION PROCESS WITH HANDLE**

The influence of the degree of deformation on the process of reverse extrusion with the distribution of hollow products. Schemes of reception of hollow products are analysed. Perspective directions of technological processes of cold expression of hollow products are defined. Influence of initial position of preparation concerning a matrix on process of return expression with distribution is investigated. Are defined: the form of the received product, the is intense-deformed condition of preparation and power parameters of process of cold return expression with distribution of a product with the necessary sizes and quality of a final product depending on initial position of preparation. Graphic dependences of the maximum effort on initial position of preparation are resulted. The further research problems by means of numerical experiments for definition of influence of parameters (a corner of a cone of a matrix, distribution factor, speed of deformation and speed of moving of a matrix) process of return expression for working out of rational technological processes of reception of products cold expression with distribution are formulated. Degree of use of a resource of plasticity is defined, the probability of destruction or formation of defects in a final product is accordingly estimated, degree of hardening of the deformed product is predicted. Necessity of use of extras for extraction of preparation from a stamp cavity is defined.

Key words: hollow product, cold reverse extrusion with distribution, finite element method, extrusion force, specific forces, stress, deformation, shape and size of products.

Процеси отримання виробів холодним об'ємним штампуванням використовуються в багатьох галузях промисловості, але його широке розповсюдження гальмується наявністю великих питомих напружень на інструменті. Це суттєво зменшує стійкість робочого інструменту. Особливої уваги заслуговує військовий промисловий комплекс, а саме виготовлення боеприпасів [1]. Таке виробництво потребує високопродуктивних та маловитратних технологій, які дозволяють отримати високоточні вироби або напівфабрикати з підвищеними експлуатаційними властивостями [2,3]. Для високопродуктивного виготовлення точних порожнистих виробів із сталей і кольорових металів широко використовують холодне видавлювання. Порівняльний аналіз різних способів виконано в роботі [4], як найбільш перспективний спосіб отримання виробів холодним видавлюванням є холодне зворотне видавлювання з роздачою. Переваги використання

цього методу представлені в роботі [5]. В роботі [6] було визначено вплив розташування заготовки відносно конічної частини матриці.

Метою даної роботи є визначити вплив ступеня деформації на процес зворотного видавлювання порожнистих виробів з роздачою при рекомендованих авторами в роботі [6] початкового розташування заготовки.

Застосування метода скінчених елементів (МСЕ) для теоретичного аналізу процесів холодного видавлювання дозволяє визначити дані для проектування технології і штампного оснащення, які не потребують доопрацювання експериментальними роботами [7,8]. В роботі використана скінченно-елементна програма DEFORM. Метал заготовок вважався пружно-пластичним зі зміцненням, деформуючий інструмент – абсолютно жорстким. Використання такої моделі металу дозволяє визначити кінцеві форму і розміри виробів, а також виконати моделювання процесів виймання пуансона із здеформованої заготовки та виштовхування її із матриці після видавлювання.

Постановка задачі. На рис.1 показано розрахункову схему процесу (де: 1- матриця, 2 – пуансон, 3 – виштовхувач, 4- заготовка). Вихідна заготовка із сталі 20 діаметром 40 мм та висотою 50 мм з наступними властивостями: умовна межа текучості $\sigma_{0,2} = 380 \text{ МПа}$, модуль Юнга $2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ [3] та коефіцієнт Пуассона 0,3, яка отримується різанням в штампах з прутка. Враховано вплив тертя по Кулону з коефіцієнтом тертя $\mu = 0,08$. Швидкість деформування складала $V_0 = 2 \text{ мм/сек}$. Висота на яку вступає заготовка з матриці h . Пуансон починає рухатися зі швидкістю V_0 (вихідне положення рис.1а). Після занурення пуансона в заготовку матриця починає рухатися з такою ж швидкістю що й пуансон, що дозволяє реалізувати схему зворотного видавлювання порожнистого виробу з роздачою.

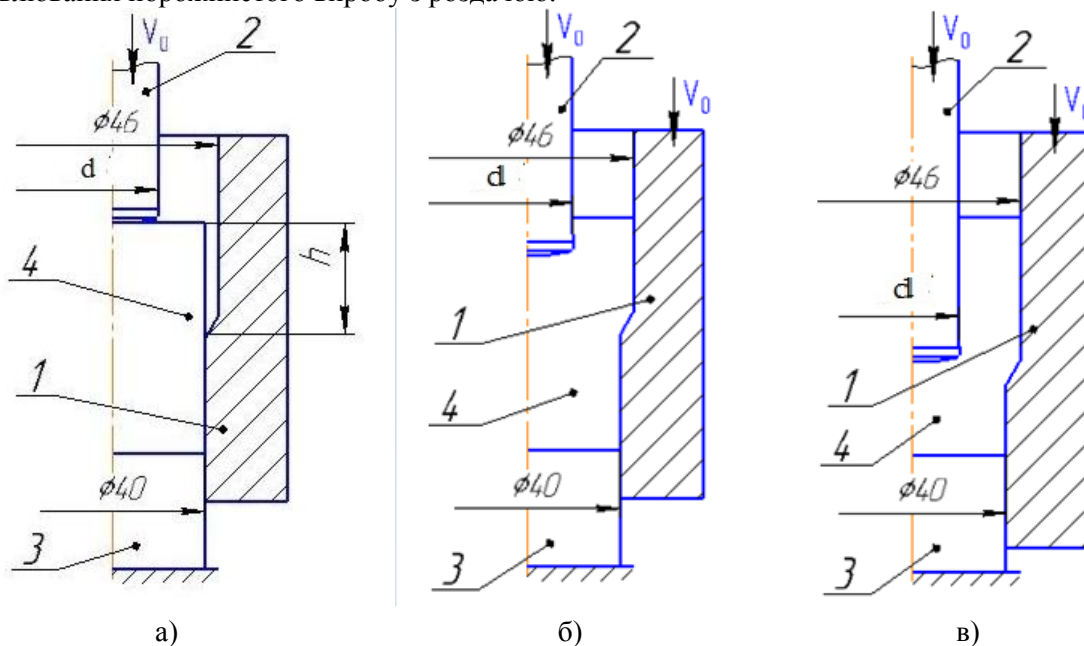


Рис. 1 Розрахункова схема зворотного видавлювання з роздачою

Шляхом чисельного експерименту в програмному комплексі DEFORM-3D було проведено чисельний експеримент зворотного видавлювання порожнини змінним діаметром d (15, 20, 25 та 38 мм) з роздачою.

Моделювання виконували в пружно-пластичній постановці. На рис. 2а зображена схема на початку зворотного видавлювання з роздачою. Заготовка 1 встановлена в матриці 2 на виштовхувачі 3. При переміщенні пуансона 4 виконується формоутворення виробу 5 (рис. 2б).

Моделюванням для кожної схеми видавлювання з різним розташуванням заготовки відносно матриці встановлена послідовність видалення готових виробів із матриць після видавлювання. Наявність пристрою в штампі для знімання виробу із пуансона визначаємо моделювання процесу виймання пуансону з заготовки. На рис. 2в наведено положення виймання пуансону з виробу. Після зворотного видавлювання з роздачою, при русі пуансона 1 вгору, виріб 2 спочатку залишається в матриці до тих пір поки калібруючий поясок торця пуансона торкнеться торця

виробу (рис. 2в). При подальшому переміщенні пуансона 1 виріб 2 залишається на пуансоні і повністю виходить із матриці (рис. 2г). Готовий виріб наведено на рис. 2д.

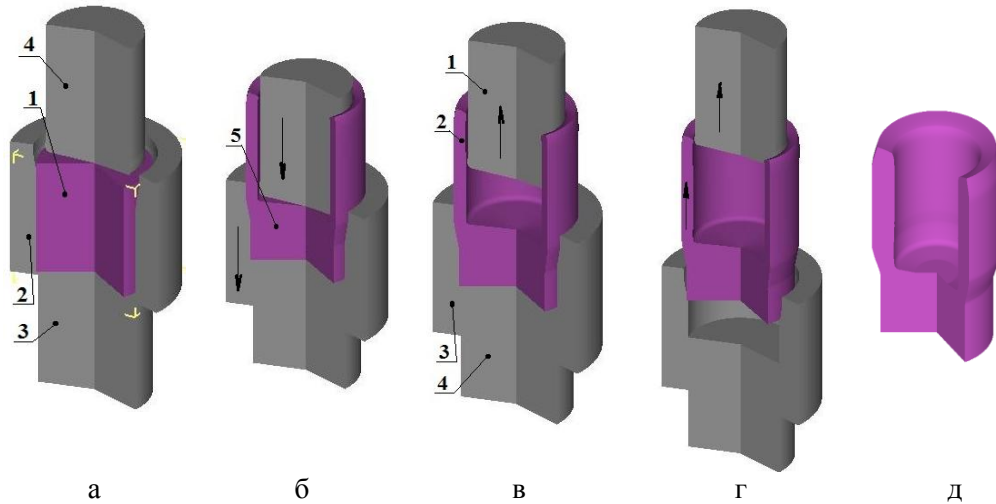


Рис. 2. Етапи формоутворення порожнистого виробу холодним видавлюванням з роздачою

Результати досліджень. На рис.3 та 4 показано залежність геометрії кінцевого виробу від ступеня деформації. Утворення стінки необхідної товщини спостерігається при максимальних необхідних ступенях деформації для отримання необхідних геометричних розмірів. Але за рахунок інтенсивної течії матеріалу в стінку та уникнення контакту з поверхнею рухомої матриці зовнішні шари витікають більш інтенсивніше ніж внутрішні, які пригальмовуються на калібруючому пояску пуансона.

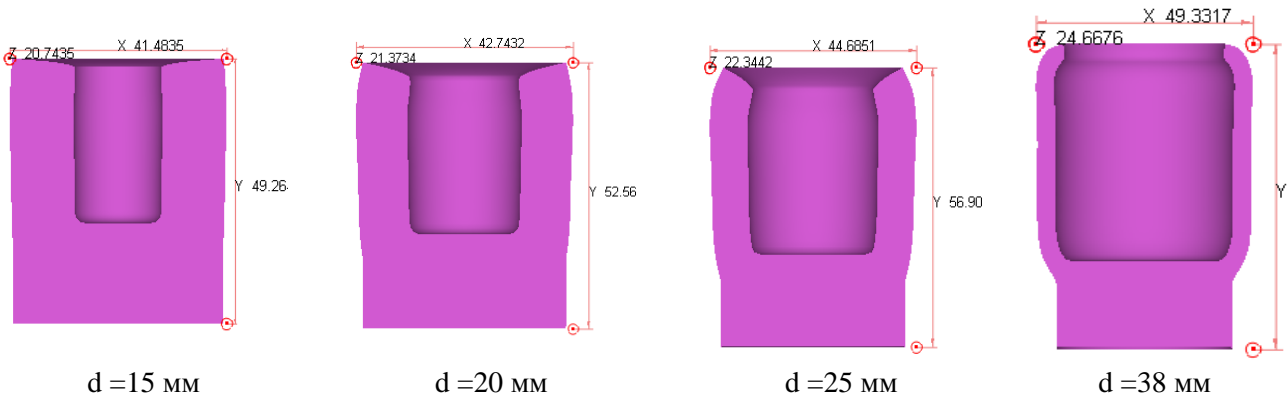


Рис. 3 Кінцева форма виробу з розмірами, що були отримані (початкова висота розташування заготовки $h=5$ мм (див. рис. 1а))

Тому при такому формоутворенні необхідно вибрати такі умови, що б спостерігалася рівномірна течія зовнішніх та внутрішніх шарів стінки для утворення якісного кінцевого виробу.

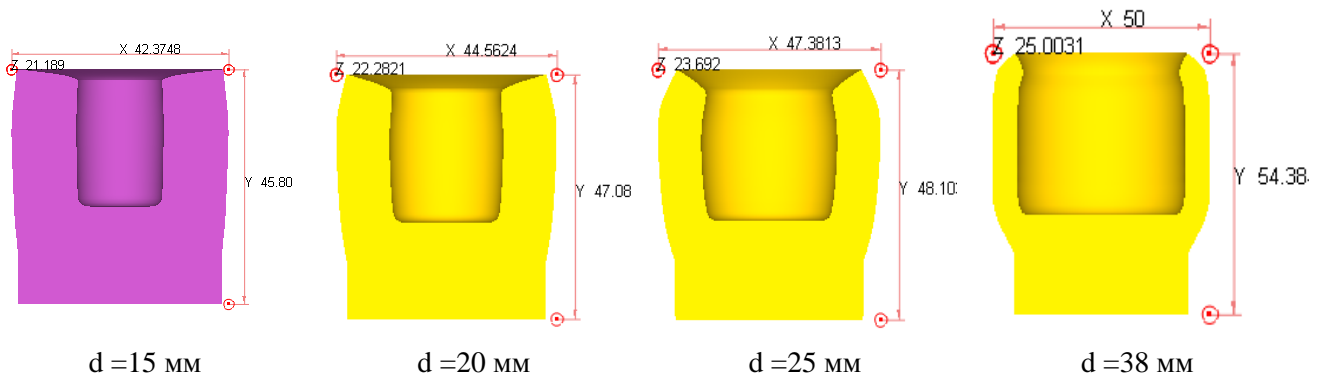


Рис. 4 Кінцева форма виробу з розмірами, що були отримані (початкова висота розташування заготовки $h=8$ мм (див. рис. 1а))

Початкове розташування вихідної заготовки на висоті $h=8$ мм дозволяє в кінцевому виробі отримати більш якісну стінку ніж при висоті 5мм. За рахунок утворення утяжини на внутрішній стінці необхідно передбачити операцію торцювання.

На рис. 5 представлено розрахункові залежності зусилля зворотного видавлювання порожнини з роздачою від переміщення деформуючого інструмента для початкової висоти розташування $h=8$ мм. З яких видно що максимального значення 1830кН зусилля деформування досягає при отримання порожнини діаметром 38 мм.

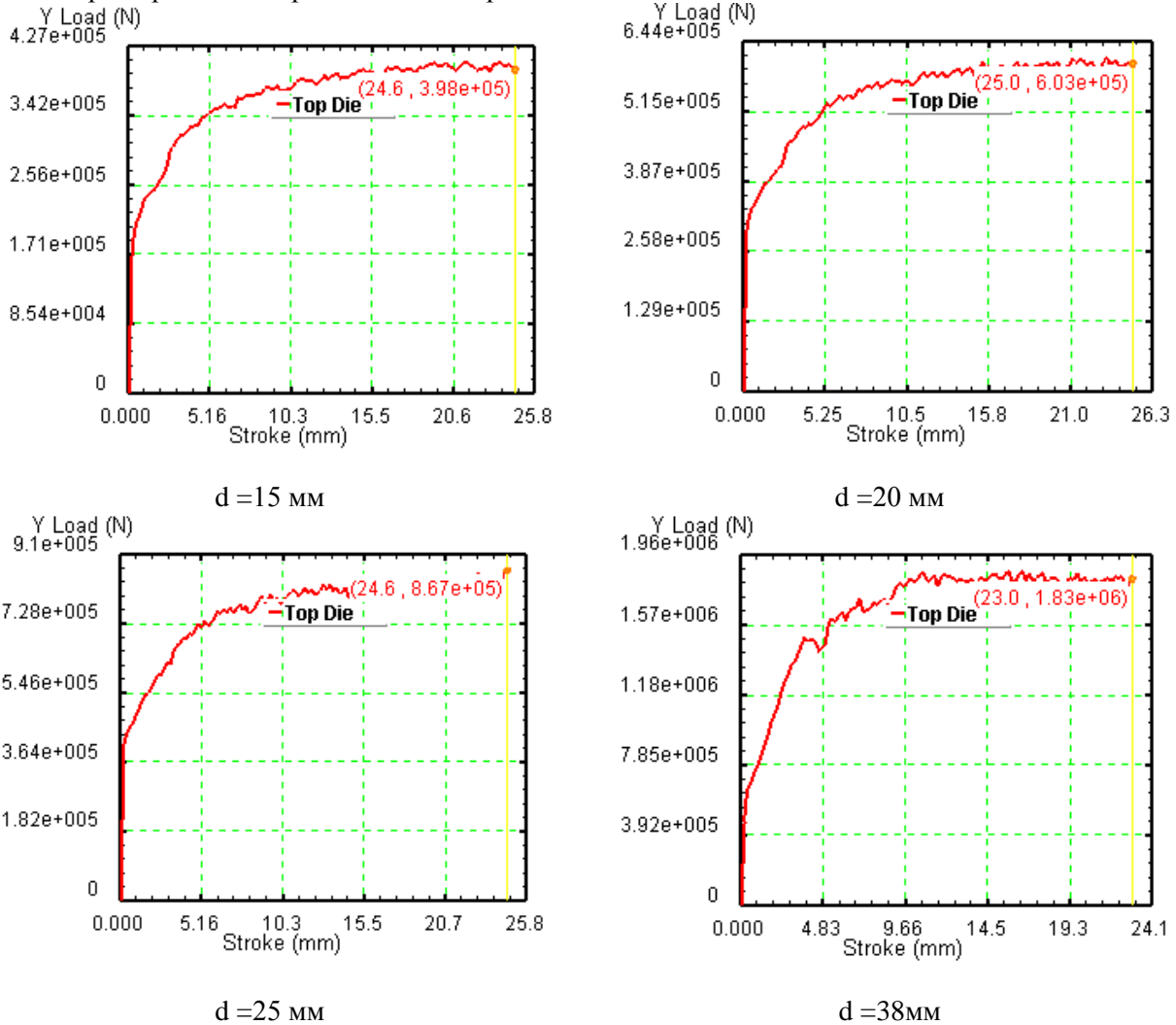


Рис. 5. Залежності зусилля деформування від переміщення для різних діаметрів порожнини d (початкове положення заготовки $h=8$ мм)

На рис. 6 показані залежності максимального зусилля деформування в залежності від ступеня деформування для різних початкових висот.

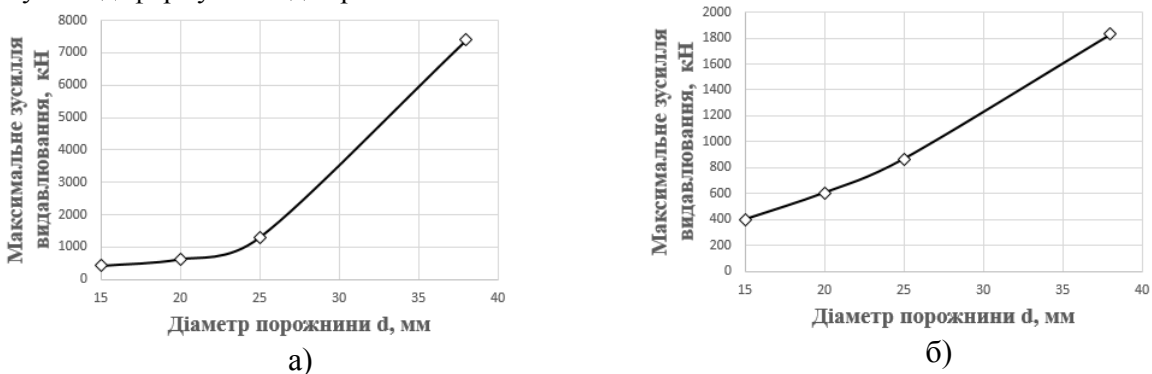


Рис. 6. Залежності максимального зусилля деформування від діаметра порожнини для різного початкового розташування заготовки відносно матриці (а- $h=5$ мм б - $h=8$ мм).

Найбільшого значення зусилля (7400кН) досягає при початковій висоті розташування заготовки $h=5$ мм, Це пов'язано з збільшенням впливу сил тертя за рахунок контакту бічної поверхні заготовки з матрицею. При висоті $h=8$ мм максимальне зусилля видавлювання складає 1840кН. На рис. 7 представлено розподіл інтенсивності напружень в об'ємі заготовки в навантаженому стані при максимальному зусиллі процесу зворотного видавлювання порожнини з роздачою. Аналізуючи цей розподіл ми можемо оцінити зміцнення матеріалу якого він набуває в результаті холодного пластичного деформування, та визначити в якому об'ємі заготовки спостерігається найбільше зміцнення та протікає воно по всьому об'єму чи ні. Як видно з представлених розподілів найкраще (рівномірне) зміцнення протікає при деформуванні пуансоном діаметром $d = 25$ мм. Спостерігаються зміцнення матеріалу майже в 3 рази.

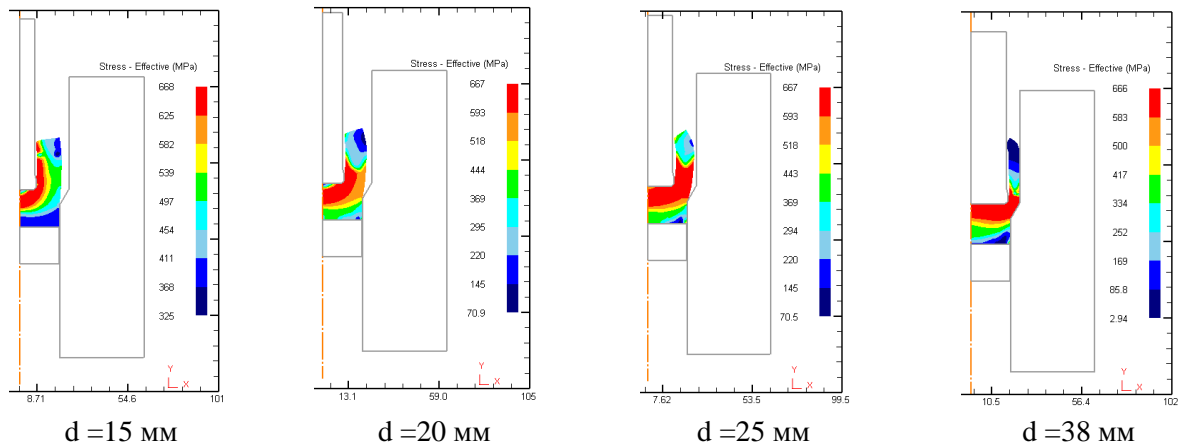


Рис. 7. Розподіл інтенсивності напружень σ_i по об'єму кінцевого виробу при максимальному зусиллі деформування

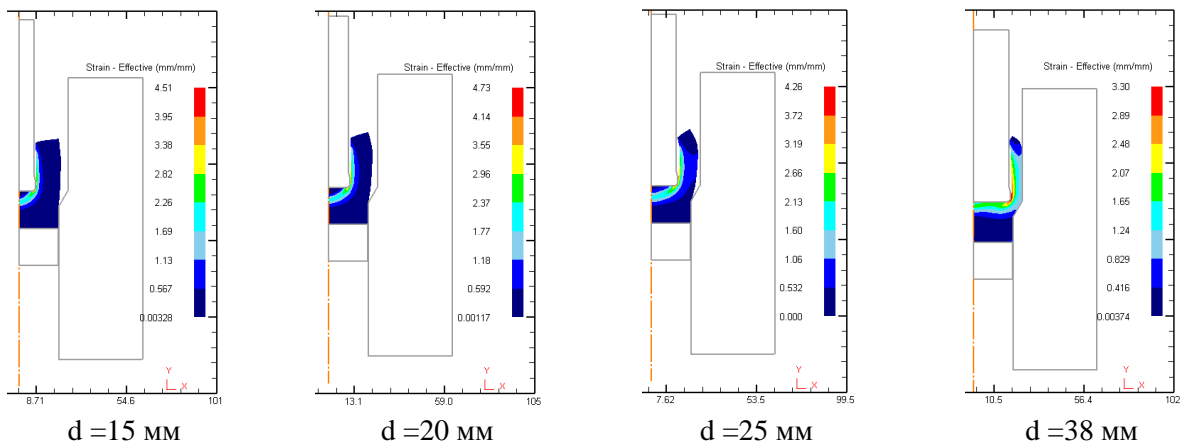


Рис. 8. Розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i по об'єму в кінцевому виробі

Закономірності течії металу при різних діаметрах порожнини можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій в об'ємі заготовки який представлено на рис. 8. При малих діаметрах порожнини течія металу носить локальний характер. Інтенсивна течія спостерігається безпосередньо з під пуансона. Збільшення діаметра порожнини $d > 25$ мм призводить до течії всього об'єму металу заготовки в стінку із осередку деформації.

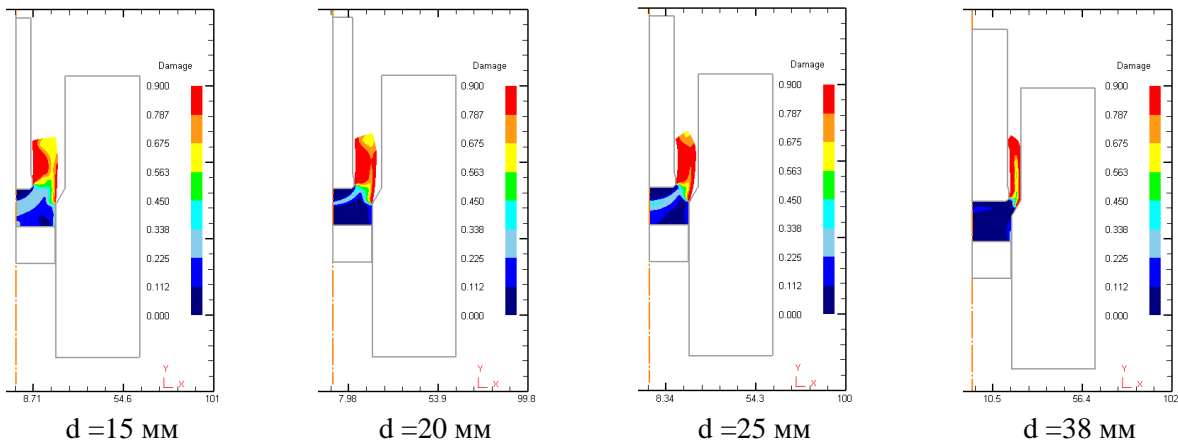


Рис. 9. Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ по об'єму кінцевого виробу

Для оцінки можливості отримання виробу необхідної конфігурації розглянемо ступінь використання ресурсу пластичності по об'єму заготовки який представлено на рис. 9. Розглядаючи отримані розподіли треба сказати що при малих діаметрах порожнини можливе виникнення незначних дефектів на внутрішній стінці порожнини тоді як при великих $d > 25$ мм та при початковій висоті розташування заготовки $h = 8$ мм якість стінки буде краще ніж при $h = 5$ мм.

На основі проведених чисельних експериментів, визначивши силові режими та напружено-деформований стан була розроблено технологічне оснащення для отримання порожнистих виробів зворотним холодним видавлюванням з роздачою. Схема штампу наведена на рис. 10.

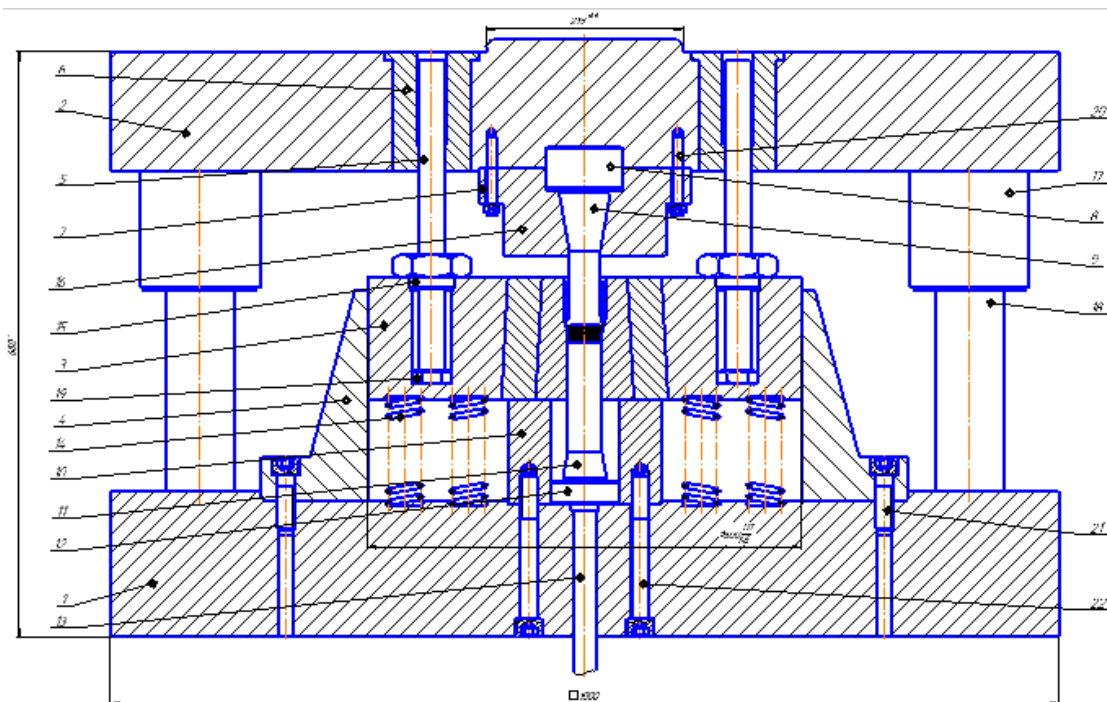


Рис.10 Схема штампу для холодного зворотного видавлювання порожнистих виробів з роздачою.

Штамп складається з двох частин. В нижній частині штампу розташовується рухомий пакет штампу 1 який складається з бандажованої матриці. Бандажована матриця направляється по направляючому кільцю 5, яке кріпиться до нижньої плити штампу 4 за допомогою гвинтів 21. Закрита висота визначається висотою опорного кільця 8, що закріплене на нижній плиті гвинтами 22. В свою чергу в ньому розташований виштовхувач 11 який спирається на підкладну плити 12.

В верхній частині штампа за допомогою гвинтів 20 до верхньої плити 2 кріпиться пуансонотримач 7, в ньому розташований пуансон 9, що спирається на опорну плити 8. Враховуючи отримані данні з чисельних експериментів по зусиллю виймання пуансону з виробу

знімач не будемо використовувати в даній конструкції. Рух бандажованої матриці будемо здійснювати за допомогою тяг 5.

Штамп працює наступним чином: при верхньому положенні верхньої плити бандажована матриця 1 знаходиться в своєму верхньому положенні. Завантажуємо заготовку з нанесеним попередньо змащенням в робочу зону матриці та спирається на виштовхувач 11.

При здійсненні робочого ходу верхня плита 2 з закріпленими в ній елементами рухається вниз доки не відбудеться контакт пуансона з заготовкою. Тяги 5 налаштовані таким чином, щоб контакт їхньої опорної частини з рухомим бандажом відбувся одночасно з контактом пуансона з заготовкою. При подальшому русі вниз відбувається процес зворотного холодного видавлювання порожнини з роздачою. Матриця та пуансон рухаються з однаковою швидкістю. Робочий хід визначається необхідною глибиною порожнини яку можна регулювати змінюючи виштовхувач, опорну втулку та пуансон. Гальмування бандажованої матриці здійснюється за допомогою пружин 13.

Після завершення процесу видавлювання виконується хід верхньої плити штампа вверх. Здійснюється виймання пуансона з готового виробу та розкривання штампу. Після чого тяги 5 повертають матрицю в початкове положення. Виймання заготовки з матриці здійснюється за допомогою виштовхувача 11, який приводиться в рух виштовхувачем пресу.

Виходячи з отриманих результатів силових режимів та габаритних розмірів штампу він може встановлюватися на прес ДБ2436 номінальним зусиллям 4000 кН.

Висновки

Досліджено вплив ступеня деформації для двох початкових розташувань заготовки на можливість отримання порожнистих виробів зворотним видавлюванням з роздачою. Визначено силові режими напружено-деформований стан, прогнозовано кінцеву форму виробу. Запропонована схема штампу для реалізації процесу зворотного видавлювання порожнини з роздачою.

Список літератури.

1. Холодная объемная штамповка. Справочник. / Под ред. Г.А. Навроцкого. - М.: Машиностроение, 1973, - 496 с.
2. Ковка и штамповка. Справочник. В 4-х т.; т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого. - М.: Машиностроение, 1987. -384 с.
3. Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин // 2-е изд.- М.: Металлургия, 1973-224.
4. Калюжный В.Л. Аналіз схем холодного видавлювання вісесиметричних порожнистих виробів / Калюжный В.Л., Потятиник А.М. // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. Луцьк 2017. Випуск №59. С. 137-143.
5. 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
6. А.М. Потятиник Визначення впливу початкового положення заготовки на параметри процесу холодного зворотного видавлювання порожнистих виробів з роздачою / А.М. Потятиник, В.М. Горностай, С.Ф. Сабол, О.С. Головка, М.О. Єфремов, А.О. Брензей // Вісник НТУ «ХП». ». 2018. № 41 (1259). - С.166-170
7. Потятиник А.М. Аналіз впливу параметрів процесу холодного зворотного видавлювання порожнистих виробів з роздачою / Потятиник А.М., Горностай В.М., Сабол С.Ф. // Вісник НТУ «ХП». 2017. № 37 (1259). - С.66-70.
8. Калюжный В.Л. Определение усилий извлечения пуансона из сформированной 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.
9. *Deform-3D* – мощная система моделирования технологических процессов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tesis.com.ru/software/deform>.

Рецензент:

Калюжный В.Л., д.т.н., професор, професор кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Стаття надійшла до редакції 01.05.2019