

УДК 621.8

Калюжний О. В.  
Калюжний В. Л.  
Стеблюк В. І.  
Вихованець І. В.

## ВПЛИВ ВІДНОСНОЇ ТОВЩИНИ ЗАГОТОВКИ НА ФОРМОУТВОРЕННЯ ВИРОБІВ ПРИ ТРАДИЦІЙНОМУ ОБТИСКУ ТА ОБТИСКУ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМ ПРОТИТИСКОМ В КОНІЧНІЙ МАТРИЦІ

В теперішній час процесами обтиску виготовляють вироби з трубчатих і порожнистих заготовок з дном. Причому обтиснута частина може бути конічною, сферичною, криволінійною або іншої форми. Таким способом виготовляють балони, перехідники для трубопроводів, ємності для нагрівання води, гільзи та інші деталі.

Проектування технологічних процесів обтиску виконується в основному по даних, які встановлені на основі експериментальних робіт або виробничого досвіду. Розрахунки зводяться до визначення коефіцієнтів обтиску і силових режимів деформування [1, 2]. В джерелах [3, 4] приведені аналітичні залежності для визначення зусиль деформування, напружень, потовщення та практичні рекомендації по проектуванню традиційного обтиску без підпору стінок заготовки або з підпором стінки за допомогою жорстких оправок. Однак відсутність підпору на внутрішню стінку заготовки при обтиску, як відмічено в роботі [3], в залежності від відносної товщини заготовки  $S_0/D$  ( $S_0$  – товщина стінки заготовки,  $D$  – зовнішній її діаметр), приводить до виникнення дефектів у вигляді поперечних складок в місці переходу обтиснутої конічної частини в циліндричну, поздовжніх складок в обтиснутій частині та до виникнення пластичних деформацій в донній частині заготовки та викривлення дна.

В НТУУ «КПІ» розроблений спосіб обтиску з дією диференційованого протитиску за допомогою рідини на внутрішню поверхню заготовки [5]. Сутність способу полягає в створенні в штамповому оснащенні без додаткових пристроїв тиску в рідині, який діє при формоутворенні виробу на внутрішню поверхню стінки, донну частину та частину заготовки, що обтискується. Причому величина тиску залежить від зусилля обтиску і збільшується при його зростанні. Дія протитиску суттєво зменшує вірогідність втрати стійкості стінок і забезпечує виключення виникнення пластичних деформацій в донній частині заготовки. В роботах [6, 7] проведені дослідження, які продемонстрували переваги способу обтиску з дією протитиску, в порівнянні з традиційним обтиском. Також приведені дані по величинах зусиль, напружено-деформованого стану і розмірах потовщеної частини заготовки. Прикладання протитиску приводить до збільшення коефіцієнта обтиску  $k$  ( $k = D/d$  – відношення діаметра заготовки  $D$  до діаметра отвору  $d$  обтиснутої частини).

Найбільший вплив на формоутворення і кінцеві розміри виробу при обтиску має співвідношення  $S_0/D$ . В літературних джерелах практично відсутні дані по впливу вказаного фактора на розміри здеформованої частини заготовки (як відомо при традиційному обтиску відбувається потовщення стінки). Відсутні дані про обтиск з диференційованим протитиском трубчатих і порожнистих заготовок з дном заготовок з різним співвідношенням  $S_0/D$ . Також не має відомостей про визначення параметрів обтиску деталей з горловинами. Тому актуальними є питання визначення впливу відносної товщини на кінцеві розміри виробу при традиційному обтиску та на формозміну металу при обтиску з диференційованим протитиском.

Метою роботи є вивчення розрахунковим шляхом впливу відносної товщини заготовки на формоутворення виробів обтиском з дією диференційованого протитиску на внутрішню поверхню заготовки.

Схема обтиску, яка підлягала розрахунковому аналізу, зображена на рис. 1. Нерухомий контейнер 1 з опорою 2 зафіксований на плиті 3 болтами 13. В контейнер 1 встановлена рухома ступінчата матриця 4, рухома втулка 5 з пружиною 6. В опору 2 і плиту 3 встановлений на пружину 7 шток-виштовхувач 8, який має осьовий отвір для відводу повітря при встановленні вихідної заготовки. Зверху на контейнері 1 болтами 12 закріплене кільце 9. Порожнини діаметром  $d$  і  $D$  заповнюють робочою рідиною. Заготовку 10 розміщують в рухомій втулці 5, до якої пуансоном 11 прикладають зусилля деформування  $P$ .

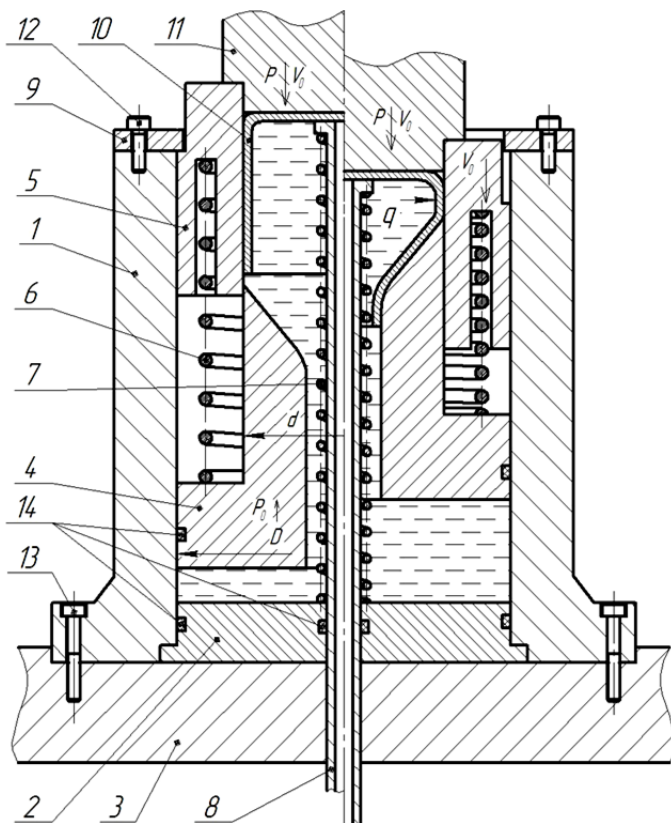


Рис. 1. Спосіб обтиску в умовах дії диференційованого протитиску на стінки заготовки

Розрахунковий аналіз виконували комп'ютерним моделюванням з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). Метал вважався пружно-пластичним зі зміцненням. В МСЕ використаний спосіб початкових напружень, який дозволяє врахувати розвантаження після пластичної деформації і отримати кінцеві розміри zdeформованих заготовок. При моделюванні враховані основні фактори, які впливають на формозміну металу при обтиску: складну геометричну форму заготовки і деформуючого інструменту, тертя на контактуючих поверхнях, прикладання протитиску, пружні властивості металу і зміцнення, вірогідність руйнування металу при формоутворенні. Дія протитиску моделювалась у вигляді розподіленого навантаження на бокові поверхні скінченних елементів, причому величина навантаження змінювалась при формозміні в залежності від величини зусилля обтиску.

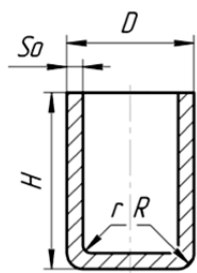


Рис. 2. Форма вихідної заготовки

Обтиску в конічній матриці з кутом конусу  $2\alpha = 20^\circ$  підлягали заготовки (рис. 2) з маловуглецевої сталі з розмірами: висота  $H = 132$  мм зовнішній діаметр  $D = 100$  мм, зовнішній радіус заокруглення донної частини  $R = 14$  мм, внутрішній –  $r = R - S_0$ , товщини  $S_0$  були взяті наступні: 1, 2, 3 і 4 мм (відносна товщина  $S_0/D$  відповідно дорівнює 0,01; 0,02; 0,03 і 0,04). Моделювання традиційного обтиску (протитиск  $q = 0$ ) закінчували в момент втрати стійкості стінок заготовки, а розрахунок обтиску з диференційованим протитиском – до виникнення потовщення стінок або отримання кінцевого виробу у вигляді балону.

Розміри половини заготовки і загальний її вигляд в розрізі наведені на рис. 3. В результаті моделювання традиційного обтиску встановлено, що для всіх розглянутих відносних товщин заготовки при заповненні конічної поверхні матриці на певній стадії обтиску в донній частині заготовки виникають пластичні деформації. Вказані деформації приводять до обмеження течії металу по конічній поверхні матриці і проходить викривлення дна заготовки, що є дефектом при обтиску. Для підтвердження цього на рис. 4 зображена половина zdeформованої

Під дією зусилля  $P$  заготовка 10 опускається разом з рухомою втулкою 5 до штока-виштовхувача 8 з одночасним витисненням повітря через отвір у ньому. Пружина 6 необхідна для повертання у вихідне положення рухомі матрицю 4 та втулку 5. Рухомі матриця 4 і опора 2 мають ущільнення 14. Вихідний стан перед обтиском показаний ліворуч від вісі симетрії. При опусканні пуансона 11 заготовка 10 перекриває канал в штоці-виштовхувачі 8 і в порожнинах діаметрами  $d$  і  $D$ . Під дією зусилля  $P$  створюється тиск  $q$ , що діє на внутрішню поверхню заготовки 10. Від тиску  $q$  за рахунок різниці площ порожнин матриця 4 починає рухатись вгору створюючи зусилля  $P_0$ . Таким чином на внутрішню поверхню заготовки 10 протитиск, величина якого залежить від зусилля  $P$ . В свою чергу, рухома втулка 5 опускається вниз одночасно з заготовкою 10, при цьому виключається тертя на зовнішній поверхні заготовки 10.

донної частини заготовки та загальний вигляд в розрізі, які отримані розрахунковим аналізом традиційного обтиску заготовки з товщиною стінки 3 мм. ( $S_0/D = 0,03$ ) В результаті з циліндричної заготовки з плоским дном обтиском отримується виріб із zdeформованим дном.

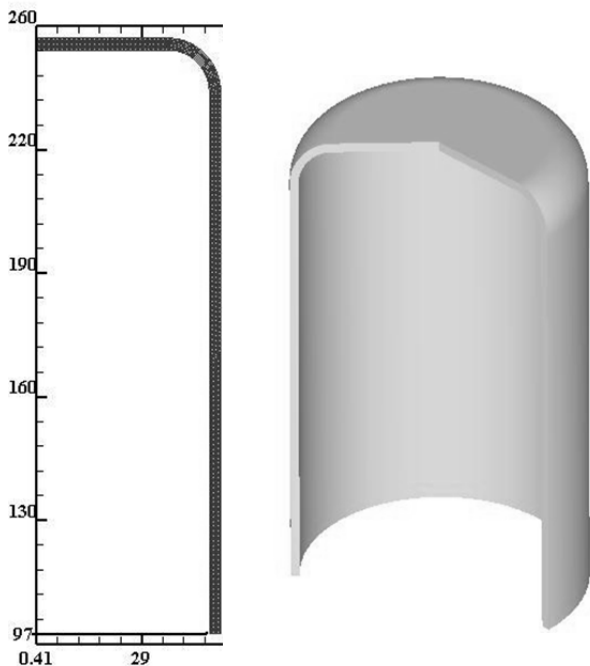


Рис. 3. Розміри половини вихідної заготовки (мм) та загальний вигляд в розрізі

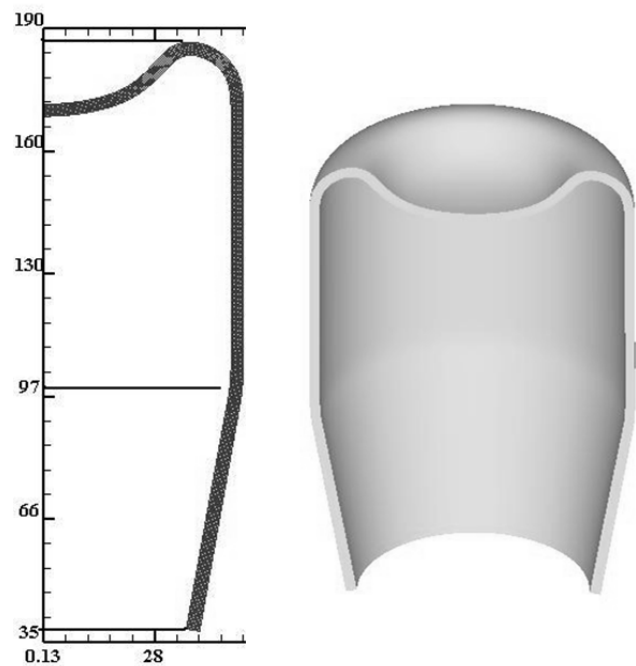


Рис. 4. Розміри (мм) половини zdeформованої заготовки та загальний вигляд в розрізі

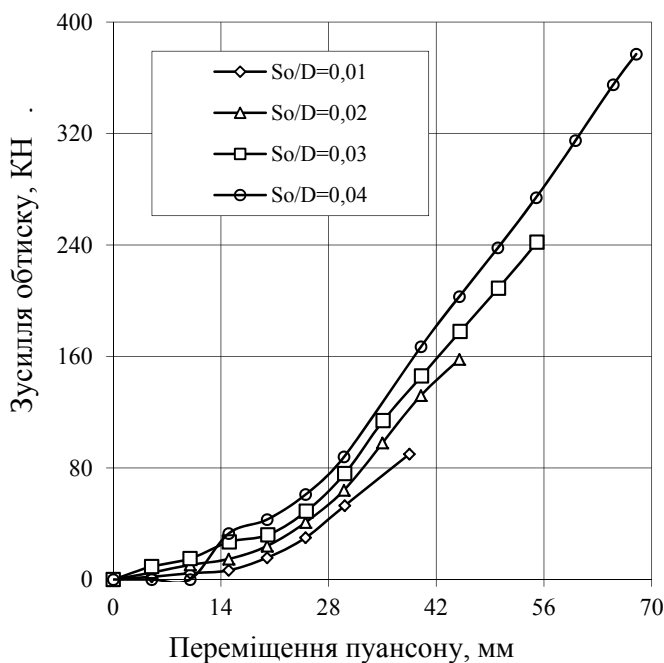


Рис. 5. Залежність зусилля обтиску від переміщення пуансону

Залежності зусилля обтиску в від переміщення пуансону при традиційному обтиску заготовок з різним співвідношенням  $S_0/D$  показані на рис. 5. Зусилля деформування постійно зростає і досягає максимального значення в кінці процесу формоутворення. Зі збільшенням відносної товщини зусилля обтиску зростає, що пов'язано з отриманням виробів з різним діаметром отворів  $d$  після обтиску. Так при обтиску заготовок з  $S_0/D = 0,01$  максимальна величина зусилля  $P_D$  складає 90 КН і діаметр отвору  $d = 87$  мм, а при  $S_0/D = 0,04$   $P_D = 377$  КН і  $d = 76$  мм. Теоретичні результати підтверджуються експериментальними даними по коефіцієнту обтиску  $k$ , які наведені в роботі [1]. При збільшенні відносної товщини коефіцієнт обтиску зростає. Для приведених діаметрів отвору при  $S_0/D = 0,01$   $k = 1,15$ , а при  $S_0/D = 0,04$   $k = 1,4$ . По даним цього

рисунок можна визначити роботу деформації для реалізації процесів обтиску на кривошипному ковальсько-пресовому обладнанні. Для співвідношень  $S_0/D = 0,02$  і  $S_0/D = 0,03$  величини коефіцієнтів обтиску отримані відповідно наступні: 0,125 і 1,3.

Важливим результатом розрахункового аналізу є встановлення можливості прогнозування якості виробів після обтиску. До показників якості відносяться: кінцеві форми і розміри виробу, зміцнення та ступінь використання ресурсу пластичності здеформованого металу. На рис. 6 приведені геометричні форми і розміри половин здеформованих заготовок (а) та їх загальний вигляд в розрізі, які можна отримати традиційним обтиском до моменту виникнення пластичних деформацій в донній частині і викривлення дна. Чим більше  $S_0/D$ , тим більшу висоту здеформованої частини заготовки в конічній матриці можна отримати.

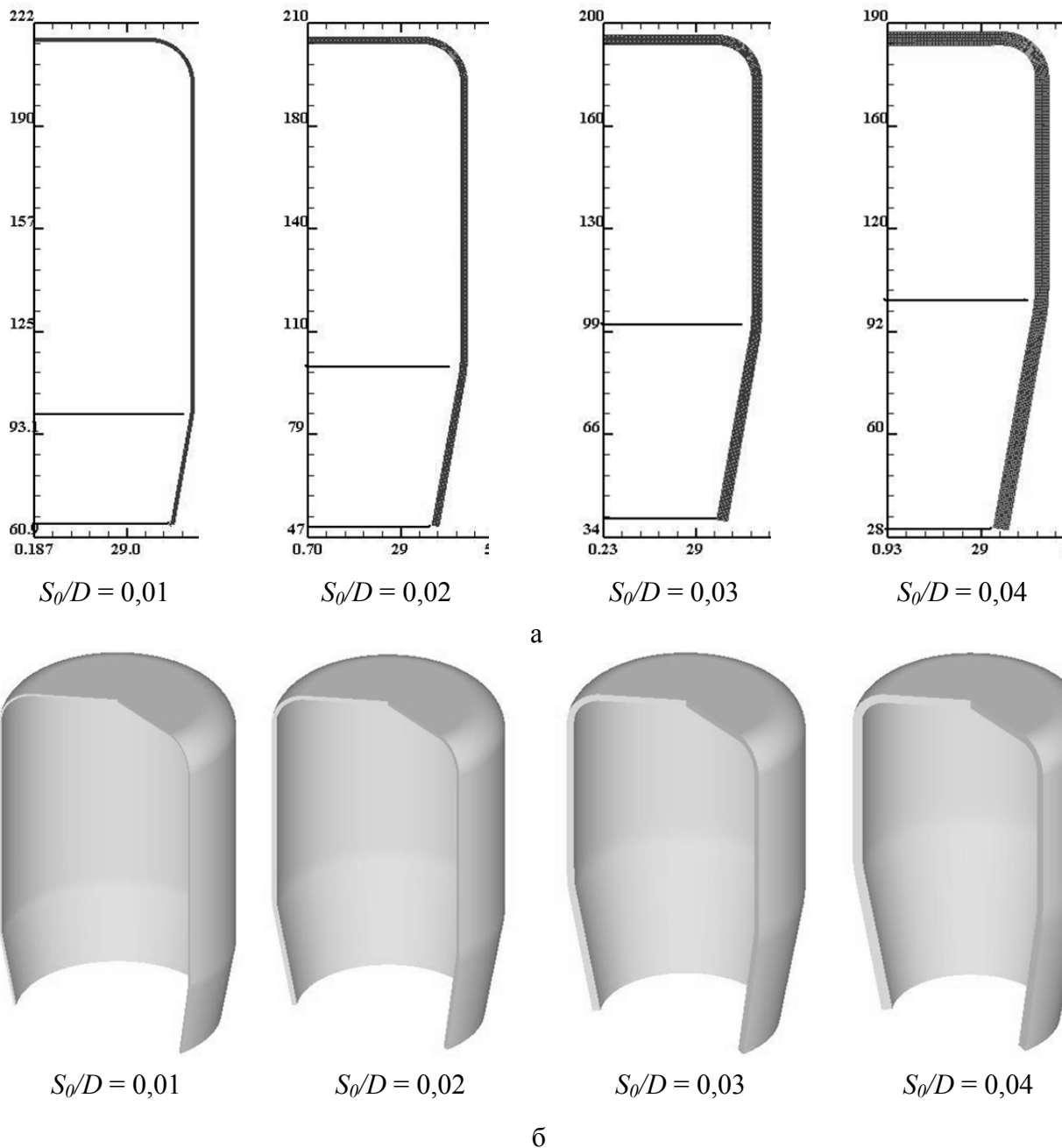


Рис. 6. Кінцеві форми і розміри (мм) виробів при традиційному обтиску (а) та загальний їх вигляд в розрізі (б)

Розміри здеформованих конічних частин заготовок, які розташовані в матриці, показані на рис. 7. При формоутворенні обтиском здеформовані частини потовщуються. Величини потовщення збільшуються із зростанням співвідношення  $S_0/D$ . Максимальне потовщення має місце на торці заготовки з поступовим зменшенням до місця переходу конічної частини в циліндричну. Так при  $S_0/D = 0,01$  максимальна величини товщини на торці 1,068 мм, по

середині товщина 1,05 мм, а в місці переходу – 1,02 мм. Інтенсивність потовщення, як відношення максимальної товщини  $S$  до вихідної товщини  $S_0$  ( $l = S/S_0$ ), зростає при збільшенні величини  $S_0/D$ . При  $S_0/D = 0,01$  товщина zdeформованої частини збільшується в 1,068 рази, а при  $S_0/D = 0,04$  – в 1,13 рази.

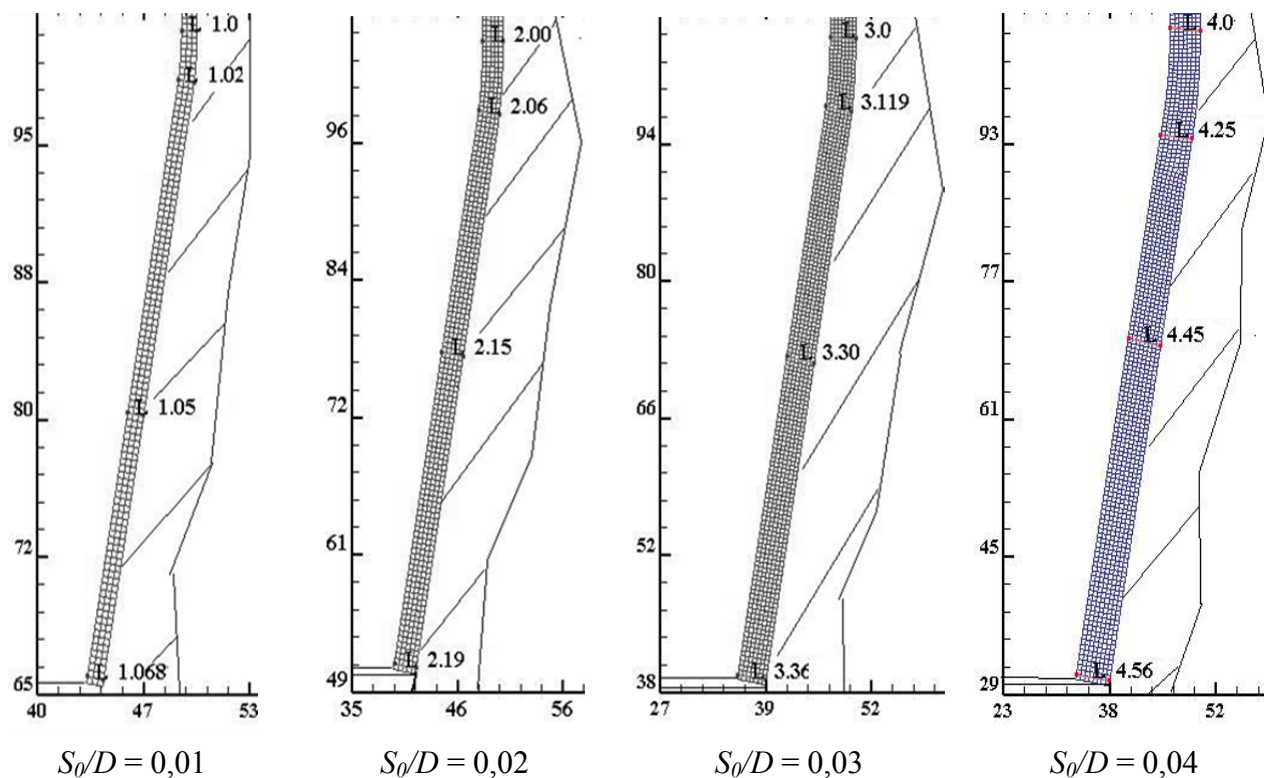


Рис. 7. Розміри zdeформованих частин заготовок ( $L$ ) (мм), величини по осях також в мм

Далі наведемо результати комп'ютерного моделювання процесів обтиску з диференційованим протитиском на внутрішню стінку заготовки. При розрахунках були використані вищеприведені вихідні заготовки співвідношення  $S_0/D$ . Величина протитиску змінювалася пропорційно зусиллю деформування (див. рис. 5). Максимальне значення протитиску на внутрішню поверхню заготовок в кінці обтиску для всіх розглянутих величин  $S_0/D$  складала 20 МПа.

На рис. 8 показані залежності зусилля обтиску від переміщення пуансону. Характер зміни зусилля для всіх відносних товщин однаковий: зусилля постійно зростає і досягає максимального значення в кінці обтиску. Збільшення величини  $S_0/D$  приводить до зростання максимального зусилля обтиску. Прикладання протитиску 20 МПа приводить до збільшення переміщення пуансону і зусилля деформування в порівнянні з традиційним обтиском. При цьому досягається більший ступінь деформації для отримання кінцевого виробу. Однак, при подальшому деформуванні в донній і циліндричній частині заготовки виникають пластичні деформації, які приводять до викривлення дна і потовщення стінки. Очевидно для збільшення ступеню деформації необхідне прикладання протитиску більшої величини.

Кінцеві розміри половин zdeформованих заготовок та загальні вигляди виробів в розрізі зображені на рис. 9. В порівнянні з традиційним обтиском (див. рис. 6), одержані більші розміри zdeформованих кінцевих частин та менші розміри отворів для кожного співвідношення  $S_0/D$ . Розміри отворів і величини коефіцієнтів обтиску наступні: при  $S_0/D = 0,01$  –  $d = 83$  мм і  $k = 1,2$ ; при  $S_0/D = 0,02$  –  $d = 74$  мм і  $k = 1,35$ ; при  $S_0/D = 0,03$  –  $d = 68$  мм і  $k = 1,47$ ; при  $S_0/D = 0,04$  –  $d = 64$  мм і  $k = 1,6$ . Таким чином, прикладання протитиску приводить до зростання коефіцієнта обтиску в порівнянні з традиційним обтиском. Чим більше співвідношення  $S_0/D$  тим інтенсивність росту підвищується.

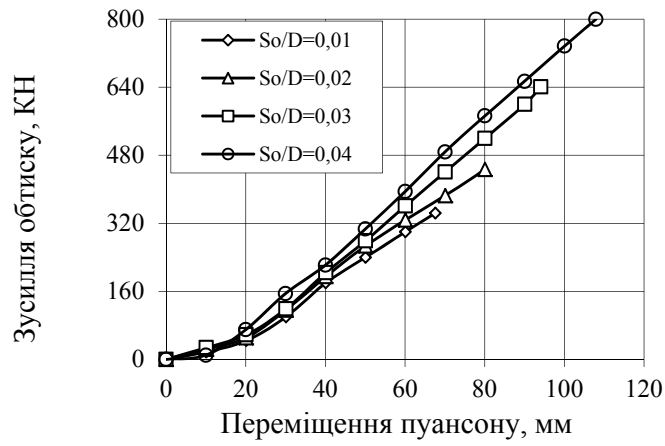


Рис. 8. Залежність зусилля від переміщення пуансону при обтиску з протитиском 20 МПа

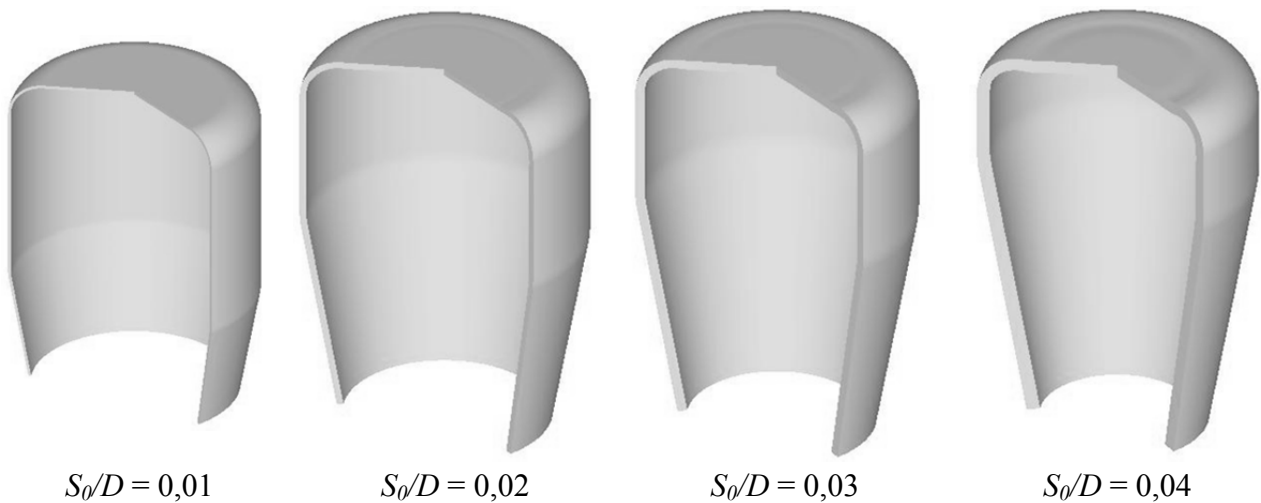
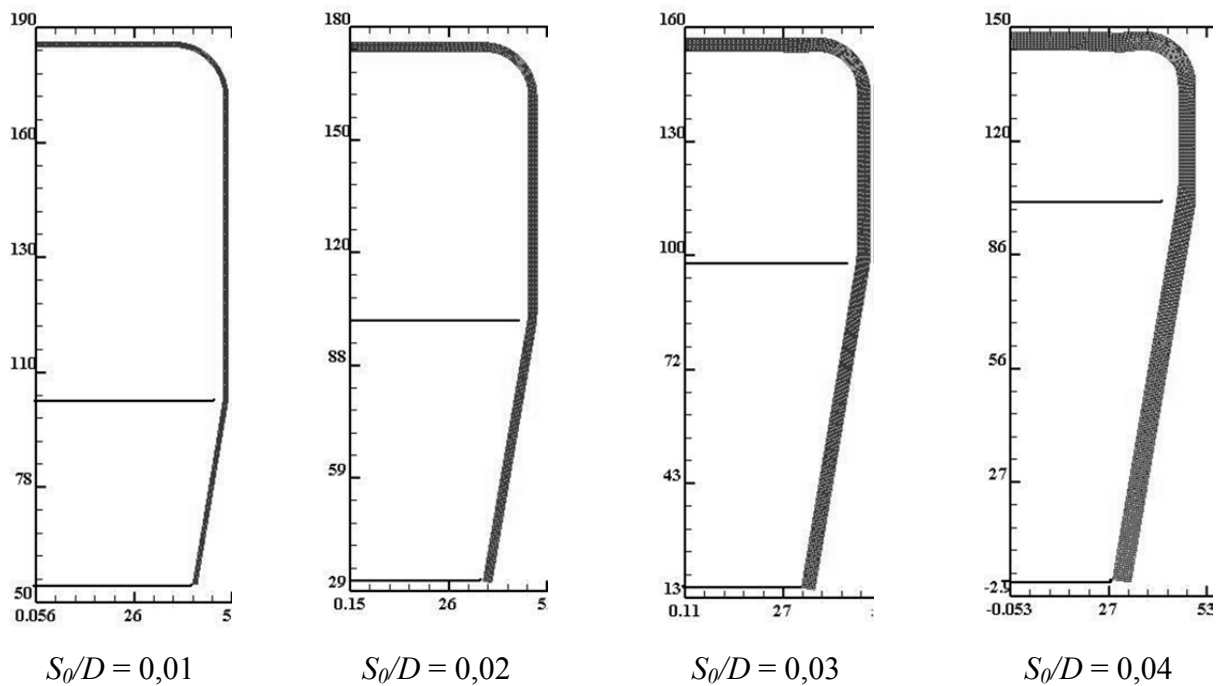


Рис. 9. Розміри (мм) половин здеформованих заготовок (а) та загальні вигляди виробів в розрізі (б), які отримані при обтиску з диференційованим протитиском

Розрахунковий аналіз показав, що при обтиску з протитиском формозміна металу суттєво відрізняється від традиційного обтиску. На рис. 10 зображені розміри здеформованих частин заготовок, які розташовані в кінчній матриці, що отримані обтиском з прикладанням протитиску максимальної величини 20 МПа. Як і при традиційному обтиску має місце потовщення стінки. Відносна товщина  $S_0/D$  значно впливає на кінцеві розміри здеформованої частини заготовки. При малих співвідношеннях  $S_0/D = 0,01$  і  $0,02$  характер потовщення наступний: на торці заготовки потовщення мінімальне (товщини стінок  $S = 1,08$  мм і  $2,27$  мм) з поступовим збільшенням до місця переходу кінчної частини в циліндричну ( $S = 1,2$  мм і  $2,33$  мм). Обтиск заготовок з  $S_0/D = 0,03$  і  $0,04$  приводить до отримання здеформованих стінок практично однакової товщини по всій довжині (відповідно  $S = 3,5$  мм і  $4,86$  мм). Вказана формозміна металу проходить завдяки осадженню стінок після того, як обмежується течія металу по кінчній поверхні матриці.

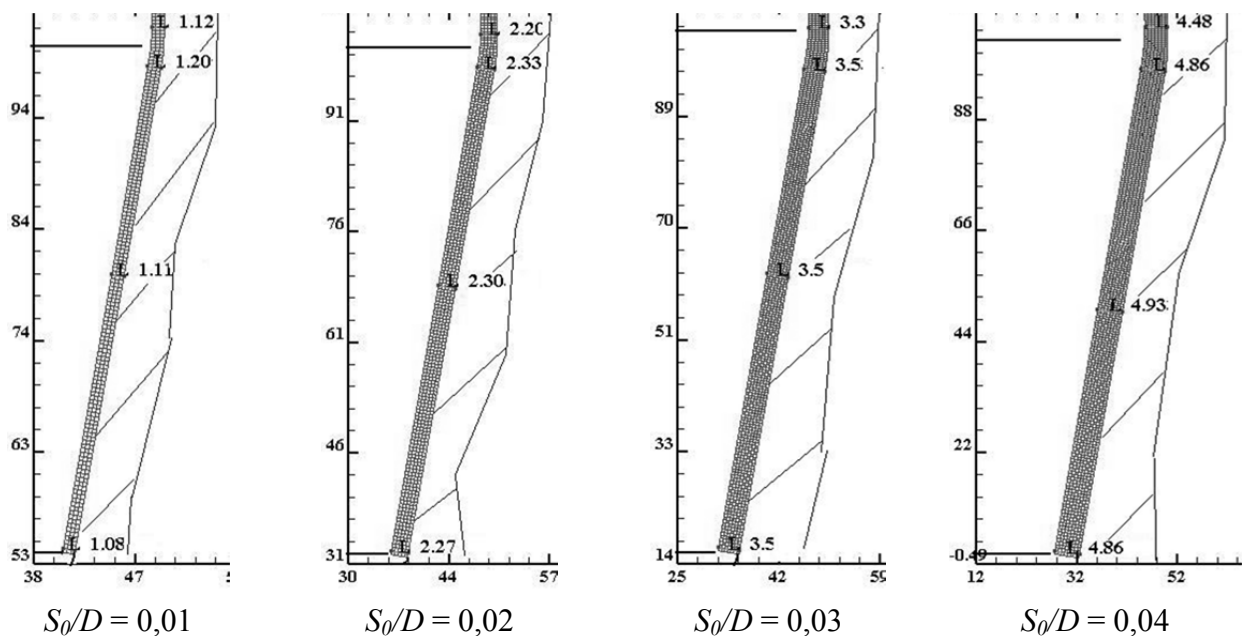


Рис. 10. Здеформовані частини заготовок, які отримані при обтиску з прикладанням максимального протитиску 20 МПа

Узагальнені результати моделювання традиційного обтиску і обтиску з диференційованим протитиском по коефіцієнту обтиску та дані експерименту зображені на рис. 11, а по максимальному відносному потовщенню стінок – на рис. 12.

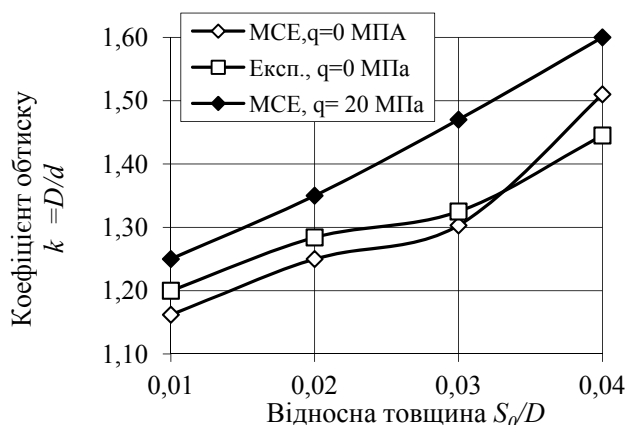


Рис. 11. Залежність коефіцієнта обтиску від відносної товщини заготовки

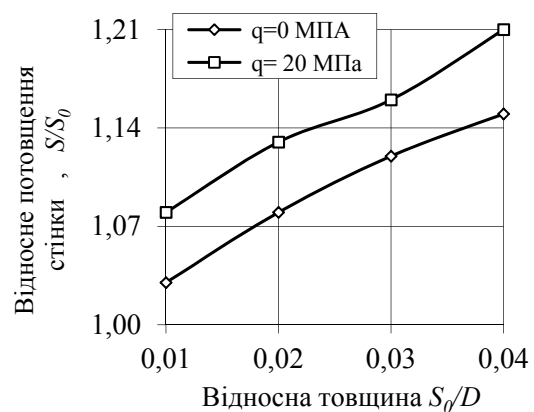


Рис. 12. Залежність максимального відносного потовщення стінки від відносної товщини заготовки

Моделюванням було встановлено вплив відносної товщини заготовки на можливість отримання обтиском з диференційованим протитиском порожнистих виробів з горловиною однакових розмірів. Були використані вихідні заготовки, розміри яких та відносні товщини наведені вище. Максимальна величина протитиску в кінці процесу обтиску також складала 20 МПа. Отримані залежності зусилля обтиску від переміщення пуансону. Зусилля постійно зростає і досягає максимального значення в кінці обтиску. При співвідношенні  $S_0/D = 0,01$  отримати виріб з горловиною не можливо, тому що відбувається значне потовщення стінок і метал не заповнює горловину матриці. При  $S_0/D = 0,02, 0,03$  і  $0,04$  формоутворення виробу виконується, при цьому максимальні величини зусилля обтиску відповідно склали: 490, 560 і 600 КН.

Послідовність формоутворення горловини в матриці, кінцеві розміри горловини та загальний вигляд виробу в розрізі зображені на рис. 13. На початку заповнення горловини має місце відставання металу від поверхні матриці. В подальшому торець заготовки прилягає до матриці, а сама горловина має викривлення з максимальним значенням  $L = 0,46$  мм. При формоутворенні горловини має місце потоншення стінки з  $L = 2,49$  мм до  $L = 2,28$  мм.

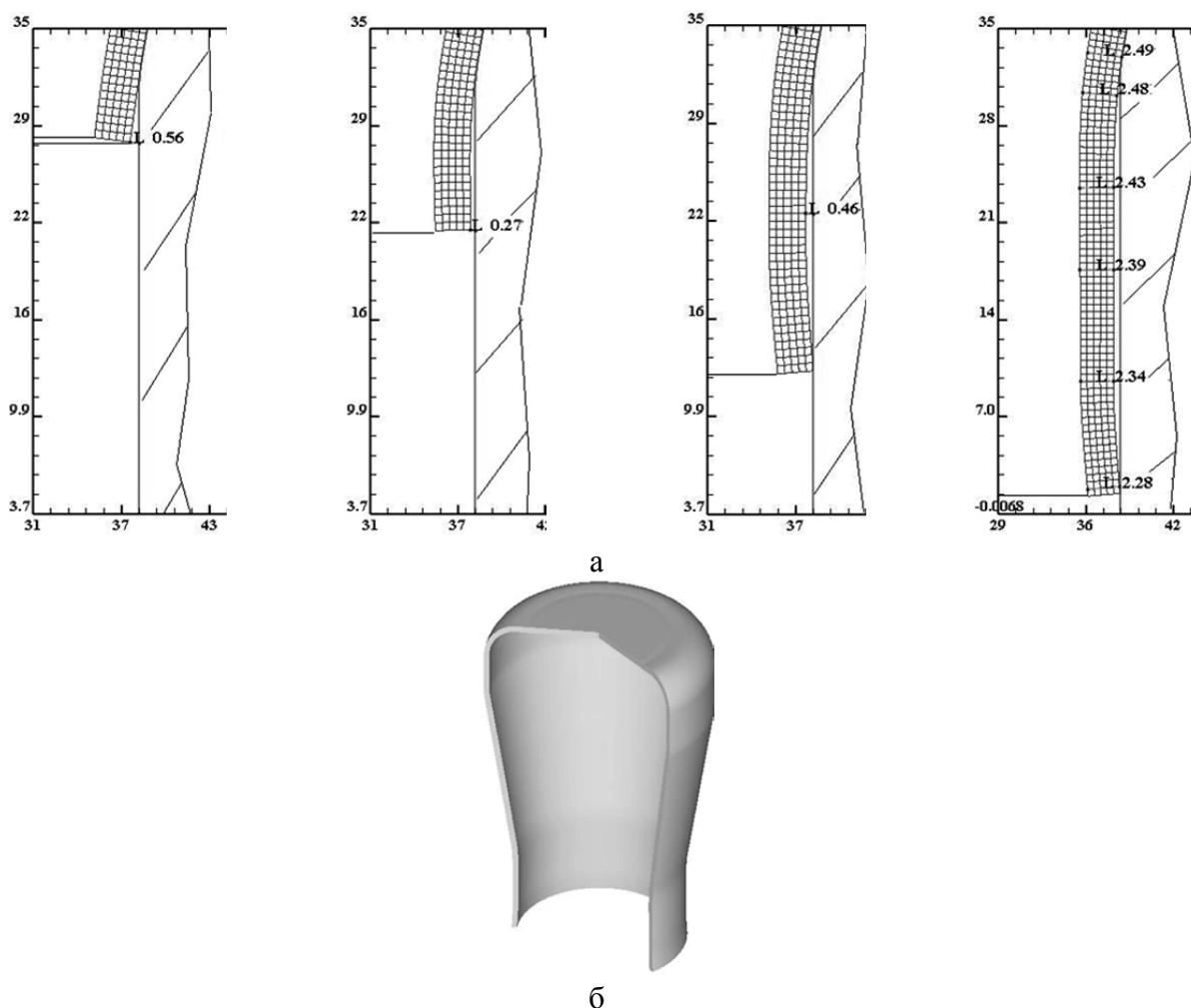


Рис. 13. Послідовність формоутворення горловини в матриці з розмірами ( $L$ ) (мм), розміри zdeформованої частини (а) та загальний вигляд виробу в розрізі (б) при обтиску заготовок з  $S_0/D = 0,02$

Розміри половини виробу з горловиною і розміри горловини та загальний вигляд виробу в розрізі при обтиску заготовок з  $S_0/D = 0,03$  показані на рис. 14. Викривлення стінки горловини збільшилося до значення  $L = 0,6$  мм. Аналогічні дані при обтиску заготовок з  $S_0/D = 0,03$  приведені на рис. 15. Таким чином прикладання диференційованого протитиску на внутрішню поверхню заготовки при обтиску забезпечує отримання виробів однакових розмірів з заготовок з різною товщиною стінки.



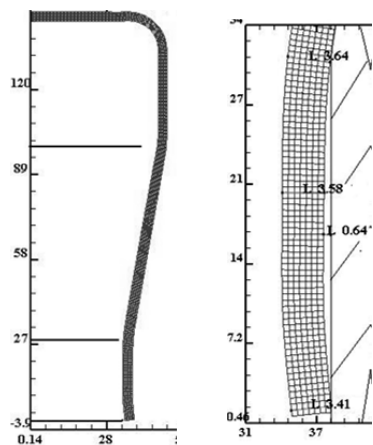


Рис. 14. Розміри половини виробу з горловиною і горловини (мм) та загальний вигляд виробу в розрізі при обтиску заготовок з  $S_0/D = 0,03$

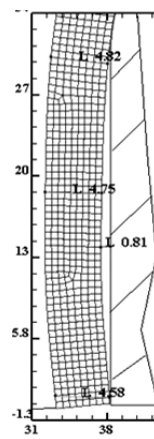


Рис. 15. Розміри горловини (мм) та загальний вигляд виробу в розрізі при обтиску заготовок з  $S_0/D = 0,04$



### ВИСНОВКИ

Методом скінчених елементів проведений розрахунковий аналіз традиційного обтиску та обтиску з диференційованим протитиском на внутрішню стінку заготовки в конічній матриці порожнистих заготовок з різною товщиною стінок. Виявлено вплив відносної товщини на енергосилові режими деформування, кінцеву форму і розміри виробів з обтиснутою конічною частиною та з горловиною.

Прикладання протитиску приводить до збільшення коефіцієнта обтиску, в порівнянні з традиційним обтиском, завдяки зменшенню вірогідності виникнення пластичних деформацій в донній частині заготовки, які приводять до викривлення дна.

Встановлена можливість отримання обтиском з протитиском однакових розмірів виробів з горловиною із заготовок з різною відносною товщиною стінки.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке* / В. П. Романовский. – 6-е изд., пераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1979. – 520 с.
2. *Ковка и штамповка : справочник в 4 т. Т. 4. Листовая штамповка* / под ред. А. Д. Матвеева; ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М. : Машиностроение, 1985–1987. – 544 с.
3. Аверкиев Ю. А. *Холодная штамповка* / Ю. А. Аверкиев. – Издательство Ростовского университета, 1984. – 288 с.
4. Попов Е. А. *Основы теории листовой штамповки: учебное пособие для вузов* / Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 278 с.
5. Пат. України № 59190. МПК B21B26/02. Спосіб обтиску горловини типу балон / Калюжний В. Л., Калюжний О. В., Піманов В. В., Паляничко С. М.; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». – № u201011607; заявл. 29.09.2010; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9.
6. Калюжний О. В. Порівняльний аналіз традиційного обтиску та обтиску з диференційованим протитиском / О. В. Калюжний // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»* : зб. наук. праць : тематичний випуск : нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 46. – С. 27–34.
7. Калюжний О. В. Аналіз силових режимів та якості виробів при обтиску трубчатих заготовок в конічній матриці / О. В. Калюжний // *Вісник НТУУ «КПІ»*. – 2011. – Вип. 62. – С. 63–67. – (Серія «Машинобудування»).

Калюжний О. В. – канд. техн. наук, ст. викл. НТУУ «КПІ»;

Калюжний В. Л. – д-р техн. наук, проф. НТУУ «КПІ»;

Стеблюк В. І. – д-р техн. наук, проф. НТУУ «КПІ»;

Вихованець І. В. – магістр НТУУ «КПІ».

НТУУ «КПІ» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ.

E-mail: av-k@ukr.net; k\_omd@ukr.net

Стаття надійшла до редакції 10.10.2012 р.