

УДК 621.983

В. Л. Калюжний, Я. С. Олександренко*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»***ВЛИЯНИЕ КУТА МАТРИЦЫ НА ФОРМОУТВОРЕНИЕ ВИРОБІВ ПРИ ХОЛОДНІЙ РОЗДАЧІ ТРУБЧАТИХ ЗАГОТОВОК З ДІЄЮ ТИСКУ РІДИНИ НА ВНУТРІШНЮ ПОВЕРХНЮ ЗАГОТОВКИ**

З використанням методу скінченних елементів досліджено вплив кута конуса матриці на енергосилові затрати процесу роздачі, форму і розміри виробів при закритій роздачі трубчатих заготовок з нержавіючої сталі з дією тиску рідини на внутрішню поверхню заготовки. Для трьох різних значень кута визначені залежності зусилля роздачі від переміщення пуансонів, встановлений напружено-деформований стан та ступінь використання ресурсу пластичності в zdeформованому металі. Визначений розподіл нормальних напружень на контактуючих поверхнях між заготовкою та деформуючим інструментом, кінцеві форма та розміри отриманих виробів. Аналізом встановлено зростання коефіцієнту роздачі, максимального значення зусилля та переміщення пуансонів в кінці процесу, а також зменшення товщини стінки zdeформованої заготовки в зоні роздачі зі збільшенням кута конуса матриці.

Ключові слова: роздача, трубчатая заготовка, метод скінченних елементів, коефіцієнт роздачі, тиск рідини, напружено-деформований стан.

*Рис. 6. Літ. 7.***В. Л. Калюжний, Я. С. Олександренко****ВЛИЯНИЕ УГЛА МАТРИЦЫ НА ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ХОЛОДНОЙ РАЗДАЧЕ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК С ДЕЙСТВИЕМ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ ЗАГОТОВКИ**

С использованием метода конечных элементов исследовано влияние угла конуса матрицы на энергосиловые затраты процесса раздачи, форму и размеры изделий при закрытой раздаче трубчатых заготовок из нержавеющей стали с действием давления жидкости на внутреннюю поверхность заготовки. Для трех различных значений угла определены зависимости усилия раздачи от перемещения пуансонов, установлено напряженно-деформированное состояние и степень использования ресурса пластичности в zdeформированном металле. Определено распределение нормальных напряжений на контактных поверхностях между заготовкой и деформирующим инструментом, конечные форма и размеры полученных изделий. Анализом установлено увеличение коэффициента раздачи, максимального значения усилия и перемещения пуансонов в конце процесса, а также уменьшение толщины стенки zdeформированной заготовки в зоне раздачи с увеличением угла конуса матрицы.

Ключевые слова: раздача, трубчатая заготовка, метод конечных элементов, коэффициент раздачи, давление жидкости, напряженно-деформированное состояние.

V. L. Kaluzhny, Ya. S. Oleksandrenko**INFLUENCE OF MATRIX ANGLE FOR FORMING OF THE PRODUCT BY BULGING TUBULAR WORKPIECES IN COLD WITH THE ACTION OF FLUID PRESSURE ON THE INNER SURFACE OF THE WORKPIECE**

There are investigated influence of the matrix cone angle on the energy-force costs of bulging, shape and size of the products at the closed bulging of tubular workpieces of stainless steel with the action of the fluid pressure on the inner surface of the workpiece by the finite element method. There're identified dependence of the bulging's forces of moving the punches, established the stress-strain state and the degree of using of the resource of plasticity in deformed metal for three different values of the matrix angle. Identified the allocation of normal stress on the contact surfaces between the workpiece and deforming tool, the final shape and size of the products. Established the increase of bulging's coefficient, the maximum force and displacement of the punches at the end of process, and the decrease of the deformed workpiece's wall thickness in the bulging's zone with increase of matrix cone angle by analysis of the theoretical results.

Keywords: bulging, tubular workpiece, finite element method, the bulging's coefficient, fluid pressure, the stress-strain state.

У машинобудуванні, атомній енергетиці, нафтовидобувній промисловості та будівельній індустрії використовуються штамповані деталі трубопровідної арматури. Серед таких деталей широко поширені перехідники. Перехідники можуть бути конічні, криволінійні, увігнуті і опуклі. Для виготовлення перехідників використовується холодна роздача трубчатих заготовок. Роздачу трубчастих заготовок також використовують як попередню операцію для виготовлення з'єднувальних елементів з фланцями різної конфігурації. Основним показником при холодній формозміні роздачею є коефіцієнт роздачі $k_p = D/D_o$ [1-4]. Тут D - найбільший діаметр

здеформованої частини трубчатої заготовки, D_o - зовнішній діаметр заготовки. Величина коефіцієнта роздачі k_p обмежена з одного боку втратою стійкості стінки циліндричної частини заготовки при роздачі, а з іншого - руйнуванням торця zdeформованої частини заготовки у зв'язку з потоншенням стінки. У зазначених джерелах наведені рекомендації з проектування процесів відкритої і закритої роздачі, а також штампового оснащення. Одним з напрямків інтенсифікації процесів роздачі, яке направлене на підвищення коефіцієнта роздачі k_p , є використання пуансона спеціального профілю [5, 6]. Використання вказаного пуансона дозволяє зменшити вплив сил тертя на контактуючій поверхні та знизити зусилля деформування. Ще одним з напрямків інтенсифікації процесів роздачі є спосіб закритої роздачі з дією тиску рідини на внутрішню поверхню трубчатої заготовки [7]. В зазначеному джерелі була запропонована схема роздачі, яка забезпечує двосторонній рух пуансонів з створенням тиску рідини на внутрішню поверхню заготовки, без застосування спеціального пресового обладнання подвійної дії та спеціалізованого насосного обладнання для подачі рідини і створення тиску. Тиск рідини на внутрішню поверхню заготовки пропорційний зусиллю осевого стискання і збільшується зі зростанням ступеню деформації заготовки.

Також встановлено більш висока ефективність способу закритої роздачі з дією тиску рідини на внутрішню поверхню заготовки в порівнянні з способом відкритої роздачі традиційним конусним пуансоном, при цьому коефіцієнт роздачі підвищився в 1,4 рази.

Розрахункова схема процесу закритої роздачі з дією тиску рідини на внутрішню поверхню заготовки представлена на рис. 1. Заготовка 1 встановлена в порожнині, яка утворена конусними напівматрицями 2 та 3. Зусилля деформування P_A передається на заготовку 1 за допомогою верхнього та нижнього пуансонів 4 і 5 відповідно. Пуансони 4 та 5 переміщуються з однаковою швидкістю $V_0=2$ мм/с. На внутрішню поверхню заготовки 1 діє тиск рідини q , що запобігає передчасній втраті стійкості стінки заготовки і призводить до збільшення коефіцієнта роздачі. Тиск рідини q змінюється пропорційний зусиллю P_A і збільшується зі зростанням ступеню деформації.

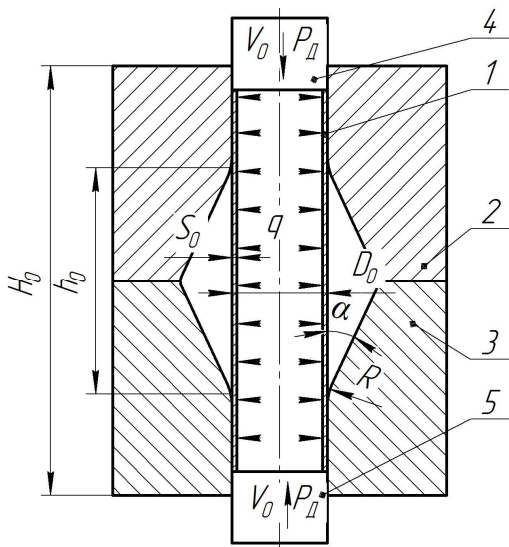


Рис. 1. Розрахункова схема процесу закритої роздачі з дією тиску рідини q на внутрішню поверхню заготовки

Холодній роздачі підлягали трубчаті заготовки з нержавіючої сталі 12X18Н10Т, висотою $H_0 = 160$ міліметрів (мм), діаметром $D_0 = 40$ мм і товщиною стінки $S_0 = 2$ мм. Розміри напівматриць: $R = 20$ мм, $h_0 = 95$ мм, кут напівматриць α брали: $\alpha = 20^\circ, 25^\circ$ і 30° . Задачу формозміни заготовки вирішували в пружно-пластичній постановці зі зміцненням.

Зусилля деформування, розподіл нормальних напружень на конусній поверхні напівматриці та загальний вигляд виробу в розрізі зображені на рис. 2. Залежності зусилля роздачі від переміщення пуансонів з різними кутами напівматриць наведено на рис. 2а. Зі збільшенням кута матриці α зростають максимальні значення зусилля роздачі та переміщення пуансонів в кінці процесу. Зусилля досягають максимальних значень для $\alpha = 20^\circ - P_A = 288$ кН при переміщенні пуансонів 11 мм; для $\alpha = 25^\circ - P_A = 347$ кН при переміщенні пуансонів 14,4

мм; для $\alpha = 30^\circ - P_A = 378$ кН при переміщенні пуансонів 16,9 мм.

На рис. 2б зображено розподіли нормальних напружень на конусній поверхні напівматриці при максимальному значенні зусилля роздачі для різних значень кута матриці α . Найбільші значення нормальних напружень виникають в зоні контакту з заготовкою з найбільшим коефіцієнтом роздачі, і досягають значення 1490 МПа при $\alpha = 20^\circ$; 1650 МПа при $\alpha = 25^\circ$; 1680 при $\alpha = 30^\circ$.

Загальний вигляд в розрізі отриманого виробу на прикладі роздачі з кутом матриці $\alpha = 25^\circ$ наведено на рис. 2в.

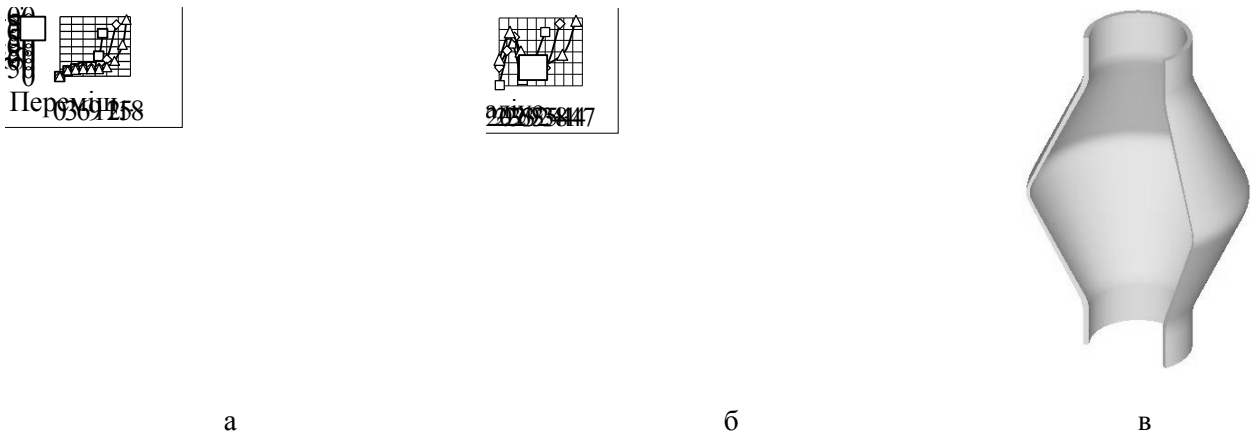


Рис. 2. Залежності зусилля роздачі з дією тиску рідини від переміщення пуансонів (а), розподіл нормальних напружень на конусній поверхні напівматриці (б) та загальний вид виробу в розрізі (в)

Розрахунковим аналізом для розглянутих варіантів роздачі виявлені кінцеві форма і розміри здеформованих заготовок, які наведені на рис. 3. При роздачі з дією тиску рідини найбільший діаметр здеформованих заготовок досягає значень: $D=72,8$ мм при $\alpha=20^\circ$ (рис. 3а), при цьому коефіцієнт роздачі склав $k_p=1,82$; $D=82,6$ мм при $\alpha=25^\circ$ (рис. 3б), коефіцієнт роздачі склав $k_p=2,07$; $D=92,8$ мм при $\alpha=30^\circ$ (рис. 3в), коефіцієнт роздачі склав $k_p=2,32$. При роздачі з дією тиску рідини має місце незначне потовщення стінки в місці переходу циліндричної частини заготовки в здеформовану частину, а також потоншення стінки по довжині здеформованої частини заготовки. Товщина стінки заготовки при роздачі з дією тиску рідини найбільше зменшується в місці максимального діаметра здеформованої заготовки з вихідного значення 2 мм до 1,36 мм при $\alpha = 20^\circ$; до 1,26 мм при $\alpha = 25^\circ$; до 1,05 мм при $\alpha = 30^\circ$.

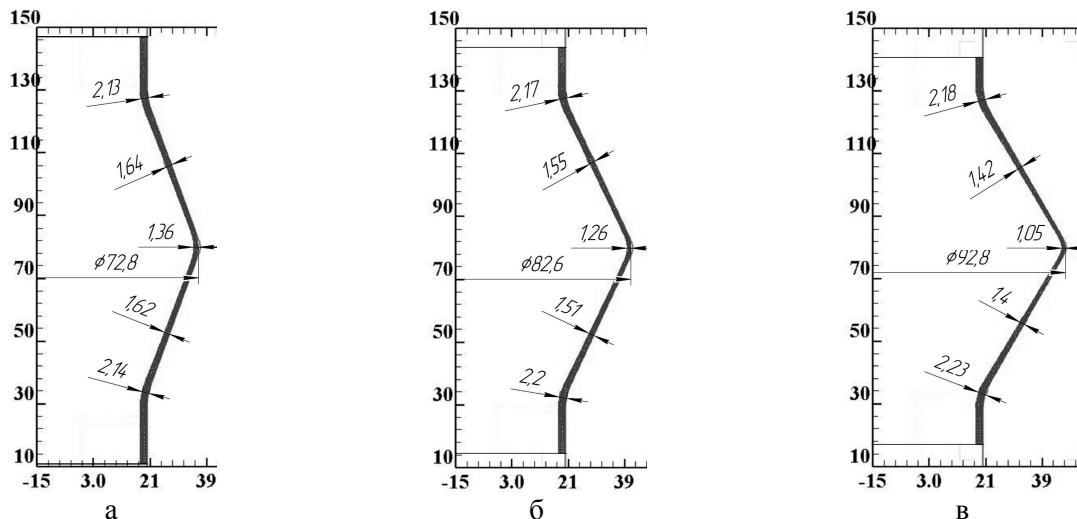


Рис. 3. Форма та розміри в міліметрах здеформованих заготовок при роздачі в матриці з різним кутом α : а - $\alpha = 20^\circ$, б - $\alpha = 25^\circ$, в - $\alpha = 30^\circ$

Моделюванням МСЕ встановлено напружено-деформований стан в здеформованих заготовках, що дозволило визначити ступінь використання ресурсу пластичності ψ здеформованого металу. Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією і зміцнення здеформованого металу можна оцінити відповідно за розподілом інтенсивності деформацій ε_i та інтенсивності напружень σ_i . На рис. 4 наведено розподіл інтенсивності

деформацій ε_i . Досягнуті величини ε_i напряму залежать від коефіцієнта роздачі k_p . Найбільші значення величини ε_i зосереджено в зоні найбільшої роздачі з поступовим зменшенням до місця переходу zdeформованої конічної частини заготовки в циліндричну. Найбільші значення величини ε_i склали: $\varepsilon_i=0,65$ при $\alpha = 20^\circ$ (рис. 4а); $\varepsilon_i=0,78$ при $\alpha = 25^\circ$ (рис. 4б); $\varepsilon_i=0,92$ при $\alpha = 30^\circ$ (рис. 4в).

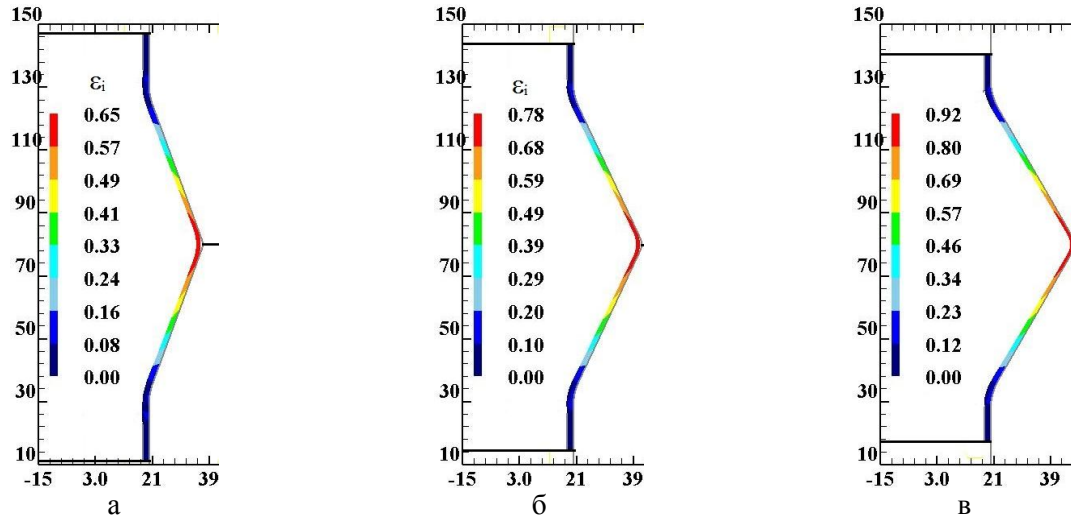


Рис. 4. Розподіл інтенсивності деформацій ε_i в zdeформованих заготовках при роздачі в матрицях з різним кутом α : а - $\alpha = 20^\circ$, б - $\alpha = 25^\circ$, в - $\alpha = 30^\circ$

Розподіл інтенсивності напружень σ_i наведено на рис. 5. Розподіл σ_i для всіх значень кута матриці аналогічний розподілу ε_i . Найбільшого значення величина інтенсивності напружень досягає 1150 МПа.

По напружено-деформованому стану був визначений ступінь використання ресурсу пластичності ψ в об'ємі zdeформованих заготовок після закритої роздачі з дією тиску рідини (рис. 6). Максимального значення ступінь використання ресурсу пластичності ψ досягає: $\psi = 0,65$ при $\alpha = 20^\circ$ (рис. 6а); $\psi = 0,82$ при $\alpha = 25^\circ$ (рис. 6б); $\psi = 1,0$ при $\alpha = 30^\circ$ (рис. 6в).

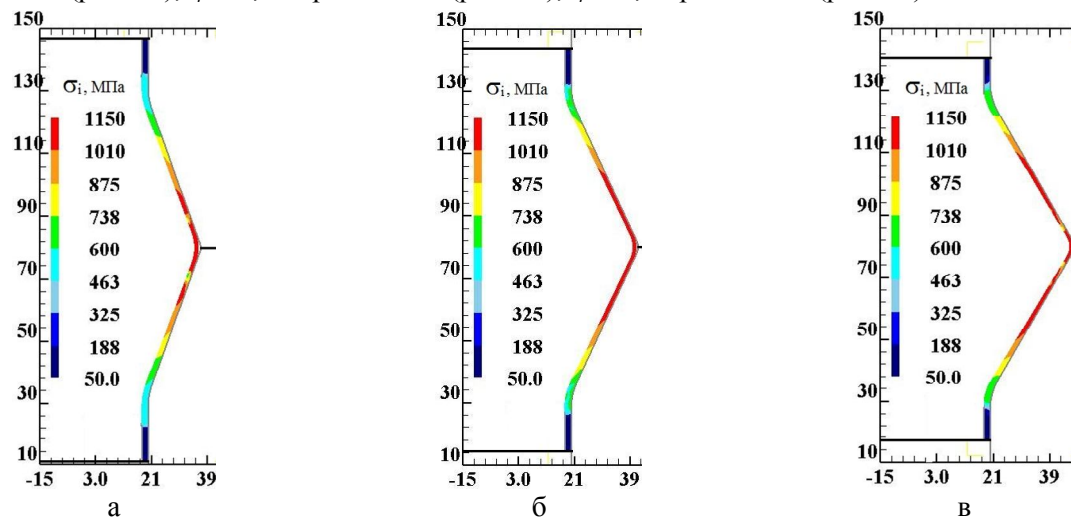


Рис. 5. Розподіл інтенсивності напружень σ_i , МПа в zdeформованих заготовках при роздачі в матрицях з різним кутом α : а - $\alpha = 20^\circ$, б - $\alpha = 25^\circ$, в - $\alpha = 30^\circ$

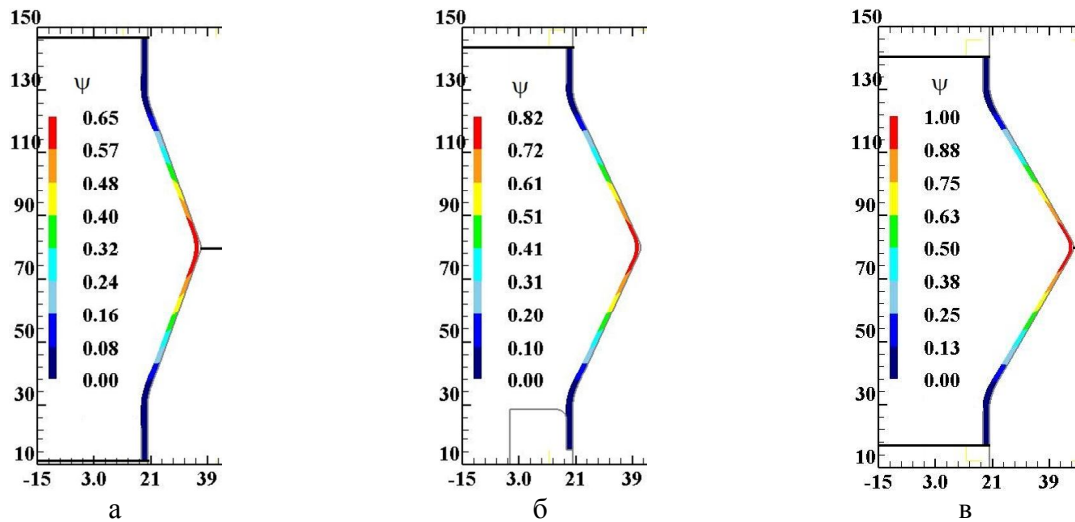


Рис. 6. Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності ψ в здеформованих заготовках при роздачі в матрицях з різним кутом α : а - $\alpha = 20^\circ$, б - $\alpha = 25^\circ$, в - $\alpha = 30^\circ$

Висновки

1. Методом скінченних елементів розроблена математична модель та проведений розрахунковий аналіз впливу кута матриці при закритій роздачі з дією тиску рідини на внутрішню поверхню трубчатої заготовки з нержавіючої сталі 12X18H10T.
2. Розрахунком визначено енергосилові затрати процесу закритої роздачі з дією тиску рідини на внутрішню поверхню трубчатої заготовки, кінцеві форма та розміри отриманих виробів, а також напружено-деформований стан і ступінь використання ресурсу пластичності в них.
3. В проведеному порівняльному аналізі визначено, що зі збільшенням кута матриці збільшується максимальне значення зусилля роздачі та переміщення пуансонів в кінці процесу, а також підвищення коефіцієнту роздачі. Встановлено значне потоншення стінки по довжині здеформованої частини заготовки. Товщина стінки заготовки при роздачі з дією тиску рідини найбільше зменшується в місці найбільшого діаметра здеформованої заготовки. Зі збільшенням кута матриці найменша величина товщини стінки зменшується.

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд. перераб. и доп. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. – С. 520.
2. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка. Формоизменяющие операции / Ю. А. Аверкиев. – Изд.-во Ростовского ун-та, 1984. – С. 288.
3. Ковка и штамповка: Справочник. В 4 т. Т4. Листовая штамповка / Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет Е.И. Семенов и др. – М.: Машиностроение, 1985-1987. – С. 544.
4. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка. / Ю.А. Аверкиев, А.Ю. Аверкиев. – М: Машиностроение, 1989. – С. 304.
5. Калюжний О. В. Інтенсифікація процесу роздачі осесиметричних заготовок / О. В. Калюжний, В. В. Піманов, Я. С. Олександренко та ін. // Обробка матеріалів тиском. Збірник наукових праць. – ДГМА. – Краматорськ, 2014 р. – №1 (38). – С. 103–109.
6. Олександренко Я. С. Вплив кута конусу зпрофільованого пуансона на силові режими та якість виробів при роздачі трубчатих заготовок із сталі 12X18H10T / Я. С. Олександренко, І. П. Куліков // Збірник наукових праць (серія галузеве машинобудування та будівництва). – НТУ. – Полтава, 2014 р. – №2 (41) – С. 259–265.
7. Калюжний В. Л. Увеличение коэффициента раздачи при холодном формоизменении трубчатых заготовок / В. Л. Калюжний, С. Ф. Сабоп, Я. С. Олександренко // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. – ДГМА. – Краматорск, 2015 г. – №40. – С. 46–51.

Стаття прийнята до друку 10.04.2015.