

каналах /М.Ю. Мурашкін, Є.В. Бобрук, А.Р. Кільмаметов, Р.З. Валієв // Физика металлов и металловедение, 2008, том 108, №4, С. 439-447. **9** Варюхін В.Н. Влияние винтовой гидроэкструзии и прокатки на изменение субмикроструктуры меди /В.Н. Варюхін, Е.Г. Пашиная, С.В. Добаткін, С.Г. Синков, В.М. Ткаченко, А.В. Решетов // Физика и техника высоких давлений 2002, том 12, №4, с.53-59. **10**. Павленко Д.В. Применение винтовой экструзии для получения субмикроструктурной структуры и гомогенизации титанового сплава ВТ3-1. / Д.В. Павленко, А.В. Овчинников, А.Я. Качан, В.Г. Шевченко, Я.С.Бейгельзімер, Т.П. Заїка, А.В. Решетов, Р.Ю. Кулагін. // Вестник двигателестроения-2007, №2,-с.185-188. **11**. Шевелев А.И. Комбинированная деформационная обработка вторичных алюминиевых сплавов /А.И.Шевелев, В.Н. Варюхін, С.Г.Сынков, А.В.Решетов// Физика и техника высоких давлений -2005 – т.15, №1, с. 139-145.**12**. Шевелев А.И. Повышение пластичности литых вторичных алюминиевых сплавов интенсивной пластической деформацией методом винтовой экструзии. /А.И.Шевелев, А.В.Решетов, Я.Е. Бейгельзімер и др. // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні:Зб. наук. праць. –Луганськ. –-2004 – ч.1, с. 172-189. **13**. Добровлянський С.М. Установка для дослідження пресування в ізотермічних умовах./ С.М.Добровлянський, П.С. Вишневіський, С.Ф.Калантір, Н.К. Злочевська// Вестник НТУУ «КПІ». Серия «Машиностроение». – 2009. № 56. с. 189-192. **14**. ГОСТ 1583-93

Надійшла до редколегії 03.11.2013

УДК 621.438.002.2

**Закономірності формування структурних та механічних властивостей сплава системи Zr-Nb в умовах інтенсивних пластичних деформацій / Злочевська Н. К. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). – С.114-120. Бібліогр.:13 назв.**

Установлені закономірності формування структурних свойств путем деформування в ізотермічних умовах. На основі експериментального формоутворення методом винтової екструзії образців, численного моделювання і металлографічного дослідження встановлена взаємозв'язок між ступенем інтенсивності деформацій і морфологією структури матеріала, а також його механічними свойствами. Обосновано підвищення пластичності за рахунок измельчення структурних компонентів матеріала.

**Ключевые слова:** винтовая уширяющая экструзия, интенсивная пластическая деформация, структурные и механические свойства, изотермическое прессование

The regularities of formation of the structural properties were determined by deformation in isothermal conditions. The relationship between deformation intensity, structure of material and his mechanical properties was established on the base of experimental forming by the method of helical forging of workpieces, on the base of finite element modeling and metallographic investigation. It was grounded that the plasticity increases at the cost of the refinement of structure components of material.

**Keywords:** helical extending extrusion, severe plastic deformation, structural and mechanical properties, isothermal pressing

УДК 621. 683

**В. Л. КАЛЮЖНИЙ**, докт. тех. наук, проф., НТУ У «КПІ», Київ;

**В. В. ПІМАНОВ**, асистент, НТУ У «КПІ», Київ;

**Я. С. ОЛЕКСАНДРЕНКО**, студ.; НТУУ «КПІ», Київ.

## **ВПЛИВ КУТА КОНУСУ ПУАНСОНУ НА СИЛОВІ РЕЖИМИ І ЯКІСТЬ ВИРОБІВ ПРИ РОЗДАЧІ ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВОК ІЗ СТАЛІ 12Х18Н10Т**

Методом скінченних елементів проведено математичне моделювання роздачі в холодному стані трубчастої заготовки із сталі 12Х18Н10Т конусним пуансоном. Встановлено вплив кута конусу пуансону на зусилля роздачі, напружено-деформований стан і ресурс пластичності здеформованого металу до моменту втрати стійкості геометричної форми заготовки. Визначені кінцеві форма і

розміри здеформованої частини заготовки, величини коефіцієнтів роздачі та зміцнення металу від кута пуансону.

**Ключові слова:** роздача, трубчаста заготовка, фланець, математичне моделювання, метод скінченних елементів.

**Вступ:** В трубопроводах продукції машинобудування, авіабудування та іншого призначення широко використовуються з'єднувальні елементи у вигляді перехідників. Перехідники можуть бути циліндричні, конічні, криволінійні без фланців та з фланцями, які розташовані як перпендикулярно до вісі заготовки так і під певним кутом. Найбільш ефективною технологією виготовлення перехідників є використання операції роздачі трубчастої заготовки. Такі заготовки можуть бути отримані витягуванням порожнистого виробу з подальшим пробиванням дна, або відрізанням з труби. Заготовки, які отримані витягуванням, мають збільшену товщину стінки, причому максимальна величина потовщення має місце на торці стінки. Це може забезпечити отримання при роздачі здеформовану частину постійної товщини, завдяки потоншенню, яке присутнє при формоутворенні перехідника. Використання вихідної заготовки, що відрізана від труби приводить до економії металу і отримання перехідників з різною товщиною стінки по довжині здеформованої частини. Тому використання вихідних заготовок, які отримані різними способами за лежить від вимог, які пред'являються до перехідників по точності розмірів чи механічних характеристиках.

Технологія роздачі трубчастої заготовки проектується з використанням даних джерел [1-4], які отримані на основі виробничого досвіду і експериментальних даних. Розрахунки в основному полягають в визначенні коефіцієнта роздачі  $K_p$  (відношення найбільшого діаметра здеформованої частини  $D_{зд}$  до діаметра заготовки  $D$ ) та розрахунку зусилля роздачі. Практично відсутні дані по величинах потоншення стінки заготовки та зміцненню металу при роздачі. Для приблизної оцінки потоншення, зміцнення, зусилля роздачі раніше і в теперішній час використовують аналітичні залежності, які отримані методом вирішення диференційних рівнянь рівноваги з умовою пластичності для плоскої задачі [5, 6]. Однак визначені параметри потребують доопрацювання експериментальними роботами. Використання методу скінченних елементів (МСЕ) для створення математичних моделей процесу роздачі і проведення розрахункового аналізу [7] дозволяє визначити енерго-силові режими деформування, кінцеві форму і розміри виробу та зміцнення здеформованого металу для прогнозування механічних властивостей.

**Мета роботи . Постановка задачі.** Метою даної роботи є визначення МСЕ впливу кута конусу пуансону на енерго-силові режими та формозміну металу при холодній роздачі трубчастих заготовок із сталі 12X18H10T.

Дослідження було проведено шляхом моделювання в програмному комплексі DEFORM, що був наданий на правах тимчасової ліцензії компанією «ТЕСИС». Схема операції відкритої роздачі трубчастої заготовки зображена на рис. 1. На ньому показані розміри заготовки і деформуючого інструменту. Заготовка 1 встановлена на плиті 4 в оправці 3. Зусилля деформування  $P$

прикладається за допомогою пуансону 2. Величина кута конусу пуансону  $\alpha$  була наступна:  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$  і  $30^\circ$ . Враховані наступні фактори, які впливають на процес роздачі: геометрична форма інструменту, що вважався абсолютно жорстким; те, що не весь об'єм заготовки знаходиться в пластичному стані, швидкість деформування; тертя на контактуючих поверхнях; зміцнення металу по діаграмі істинних напружень; вірогідність руйнування металу з використанням діаграми пластичності. Процес формоутворення при роздачі розподілявся на певну кількість кроків навантаження для встановлення моменту втрати стійкості геометричної форми заготовки або руйнування металу.

Розрахункова схема в програмному комплексі DEFORM зображена на рис. 2. Для скорочення часу розрахунків розглядалася частина заготовки 1, яка встановлена обоймі 3, і деформується за допомогою пуансону 2. Переміщення пуансону на кроці навантаження складало 0,02 мм.

Якість здеформованих заготовок після роздачі, які отримані моделюванням МСЕ, можна оцінити по кінцевим формі і розмірах виробів, величинах ступеню використання ресурсу пластичності та зміцнення здеформованого металу.

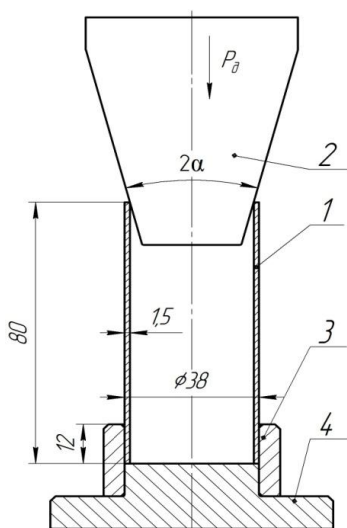


Рис. 1 – Схема процесу відкритої роздачі трубчастої заготовки конічним пуансоном

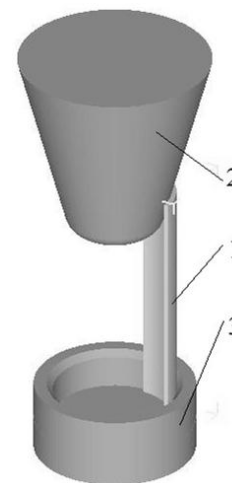


Рис. 2 – Розрахункова схема процесу роздачі в програмному комплексі DEFORM.

**Результати досліджень.** Результати розрахунків показали, що при роздачі трубчастої заготовки із сталі 12X18H10T має місце втрата стійкості стінки заготовки. В подальшому моделювання закінчували при виникненні по всій стінці заготовки нижче здеформованої частини величини інтенсивності напружень  $\sigma_i$ , яка дорівнює умовній межі текучості  $\sigma_{0,2}$  вказаної сталі. На рис. 3 зображена деталь після втрати стійкості стінки при роздачі пуансоном з  $\alpha=15^\circ$ . Спостерігається подвійне бочкоутворення в циліндричній частині деталі.

Розрахункові залежності зусилля роздачі від переміщення пуансону при формоутворенні виробів пуансонами з різним кутом  $\alpha$  показані на рис. 4. Зі збільшенням кута  $\alpha$  збільшуються зусилля роздачі. Максимальне значення зусилля роздачі в кінці робочого ходу склало 78,2 кН для кута пуансону  $\alpha=30^\circ$ .

Моделюванням було визначено кінцеві геометрична форма і розміри здеформованої заготовки, напружено-деформований стан та ступінь використання ресурсу пластичності  $\psi$  здеформованого металу, який дає можливість прогнозувати ймовірність роздачі фланця без руйнування, до моменту втрати стійкості.

Геометричну форму і розміри деталі в розрізі, яка отримана при роздачі пуансоном з  $\alpha=15^\circ$ , показані на рис. 5. Спостерігається місцеве потовщення металу в зоні радіусу переходу циліндричної частини деталі в конічну, а також потоншення по всій довжині конічної частини. Величина потоншення збільшується з наближенням до торця деталі, причому зона потоншення більша за зону потовщення. Товщина з вихідного значення 1,5 мм зменшується до 1,32 мм.

Розподіл ступеню використання ресурсу пластичності  $\psi$  по об'єму четвертої частини здеформованих заготовок, які отримані роздачею різними пуансонами, показані на рис. 6. Для всіх розглянутих пуансонів до моменту втрати стійкості стінки ресурс пластичності вичерпується тільки наполовину.

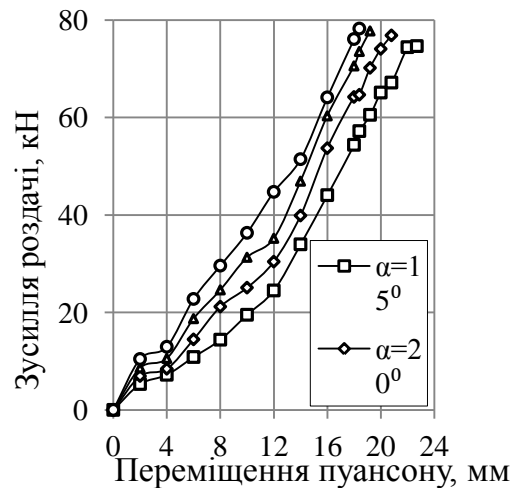


Рис. 3 – Деталь після втрати стійкості при роздачі конусним пуансоном з кутом нахилу  $\alpha=15^\circ$

Рис. 4 – Залежність зусилля видавлювання від переміщення пуансону.

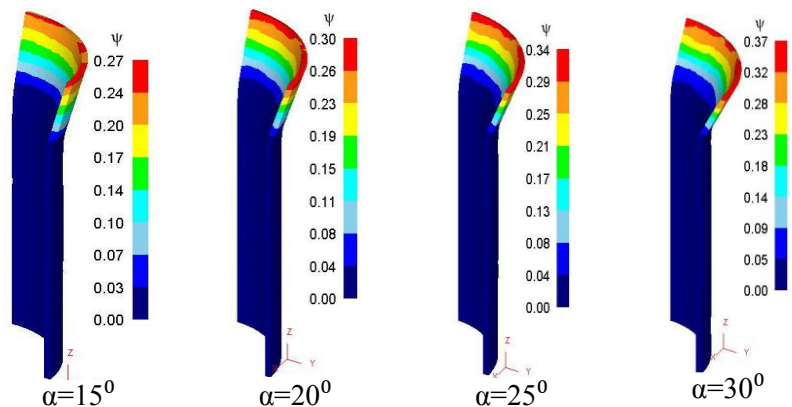
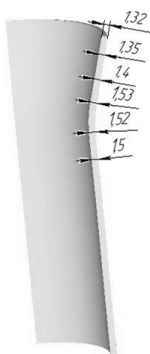


Рис. 5 – Форма і розміри деталі при роздачі пуансоном з  $\alpha=15^\circ$

Рис. 6 – Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності  $\psi$

На рис. 7 показано розподіл інтенсивності деформації  $\epsilon_i$  по об'єму zdeформованого металу. По розподілу  $\epsilon_i$  можна оцінити пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією. Пропрацювання починається в місці переходу циліндричної частини в конічну і інтенсивність збільшується до краю конічної частини. розповсюджується по всій висоті зони роздачі. Тим самим створюється відповідна макроструктура в zdeформованій частині заготовки для підвищення надійності при експлуатації виробу.

Розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$ , який визначає розповсюдження осередку деформації та величину зміцнення металу в zdeформованій заготовці, показаний на рис. 8. Осередок деформації локалізується в місці переходу циліндричної частини заготовки в конічну і в конічній частині. Максимальні значення інтенсивності напружень досягають  $\sigma_i = 990$  МПа в осередку деформацій при роздачі конусним пуансоном з  $\alpha=30^\circ$ . Величину зміцнення металу можна характеризувати коефіцієнтом зміцнення Кзм, який визначається відношенням інтенсивності напружень  $\sigma_i$  до умовної межі текучості  $\sigma_{0,2}$  металу заготовки.

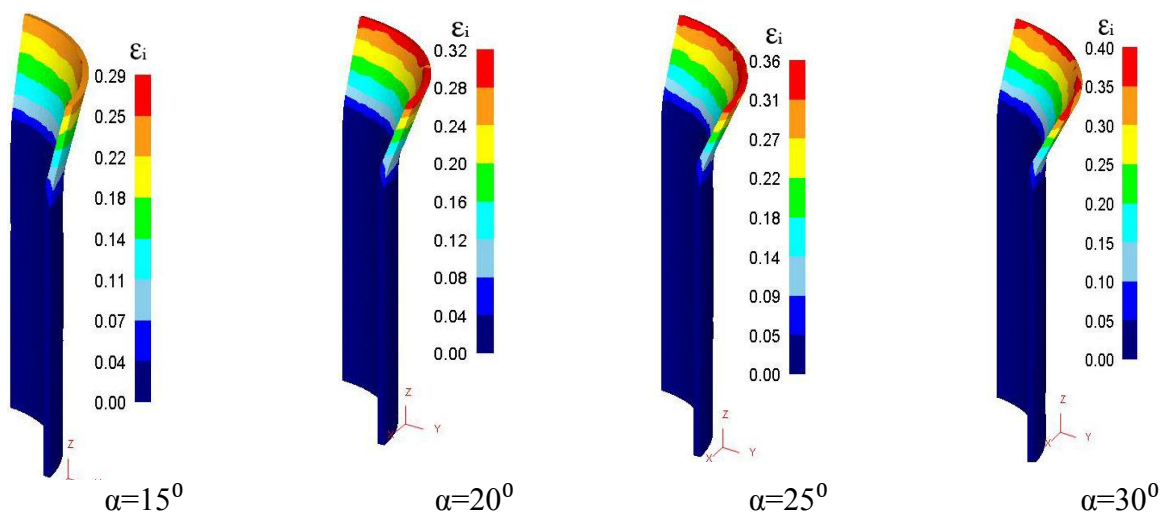


Рис. 7 – Розподіл інтенсивності деформації  $\epsilon_i$  в zdeформованій заготовці

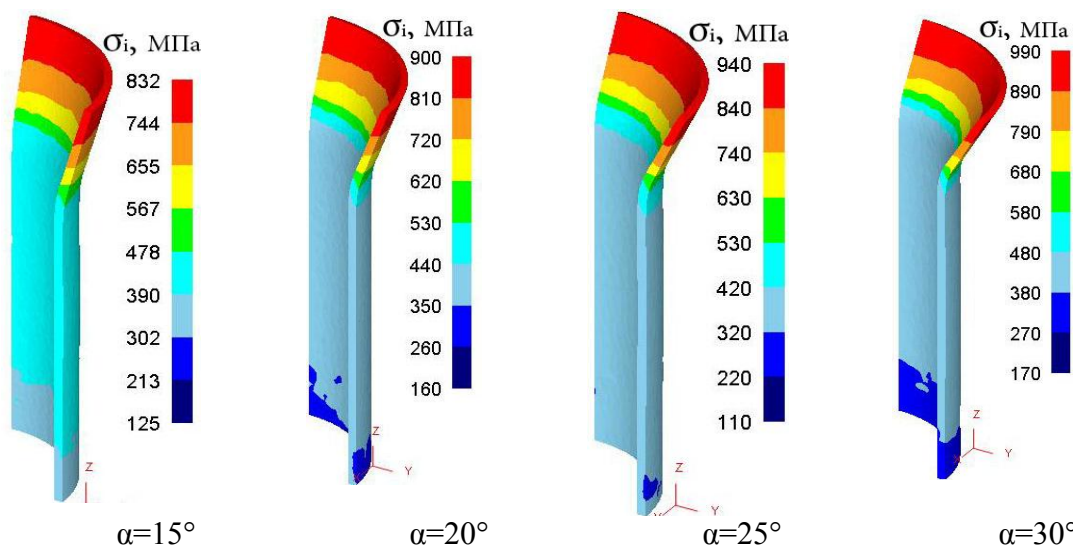


Рис. 8 – Розподіл інтенсивності напружень  $\sigma_i$  по об'єму zdeформованої заготовки

Узагальнені результати по впливу кута пуансону  $\alpha$  на коефіцієнти роздачі і зміцнення наведені на рис. 9. Зі збільшенням кута  $\alpha$  коефіцієнт роздачі збільшується і прикуті пуансону  $\alpha=30^\circ$  складає 1,41 (рис. 9, а).

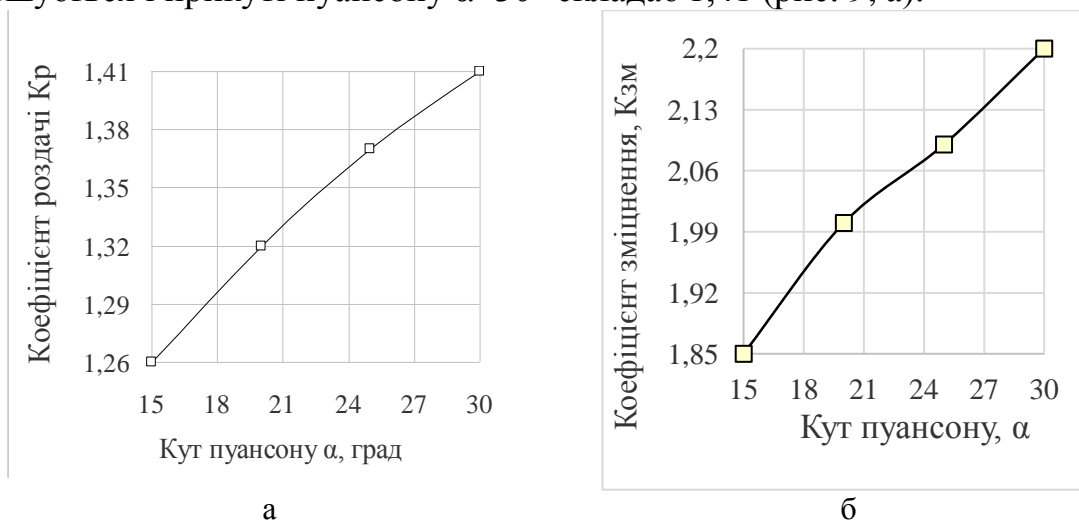


Рис. 9 – Залежність: а – коефіцієнту роздачі  $K_p$  та б – коефіцієнту зміцнення  $K_{зм}$  від кута пуансону  $\alpha$

Характер має залежність максимального коефіцієнта зміцнення (відношення максимального значення інтенсивності напружень до величини  $\sigma_{0,2}$ ) від кута пуансону  $\alpha$ .

**Висновки.** Методом скінченних елементів проведено моделювання відкритої роздачі в холодному стані трубчатої заготовки із сталі 12Х18Н10Т конусним пуансоном з різним кутом конусу. Встановлені силові режими роздачі, кінцеві форма і розміри zdeформованих заготовок та величини ступеню використання ресурсу пластичності та зміцнення в них. Отримані узагальнені дані по впливу кута пуансону на коефіцієнт роздачі та коефіцієнт зміцнення.

**Список літератури:** 1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. / В. П. Романовский . — Ленингр. отд-ние: 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. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки / Ю. А. Аверкиев., А. Ю. Аверкиев. — М: Машиностроение, 1989. — 304 с. 5. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. — М.: Машиностроение, 1977. — 278 с. 6. Сосенушкин Е. Н. Анализ процесса раздачи трубных заготовок при штамповке изделий с коническими поверхностями / Е. Н. Сосенушкин, Е. А. Яновская, Д.В. Хачатрян и др. // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. — Краматорск : ДГМА, 2013. — № 2 (35). — С. 135–141. 7. Калюжний О.В. Холодне штампування виробу з двома фланцями із листової заготовки шляхом використання операцій витягування, роздачі і осаджування / О.В. Калюжний // Галузеве машинобудування, будівництво : зб. наук. праць. — Полтава: НТУ, 2013, вип.. 2(37). — С. 105-111.

Надійшла до редколегії 28.10.2013

УДК 621. 683

**Вплив кута конусу пуансону на силові режими і якість виробів при роздачі трубчастих заготовок із сталі 12Х18Н10Т / Калюжний В. Л., Піманов В. В., Олександренко Я. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. — Харків: НТУ «ХПІ». — 2013. — № 43 (1016). — С. 120–126. Бібліогр.7 назв.**

Методом конечных элементов проведено математическое моделирование раздачи в холодном состоянии трубной заготовки из стали 12Х18Н10Т конусным пуансоном. Установлено влияние угла

конуса ну усилие раздачи, напряженно-деформированное состояние и ресурс пластичности металла до момента потери устойчивости геометрической формы заготовки. Определены конечные форма и размеры сдеформированной части заготовки, величины коэффициентов раздачи и упрочнения металла от угла пуансона.

**Ключевые слова:** раздача, трубчатая заготовка, фланец, математическое моделирование, метод конечных элементов.

The mathematical modeling of expanding process of tubular piece made of 12X18H10T in cold condition by conical punch was carried out by finite element method. The influence of cone's angle of punch at the load of expanding, the stress-strain state and the resource usage of metal plasticity of deformed metal before loss of stability of geometric form were determined. The final form and dimensions of deformed workpiece's part, coefficients of expanding and metal strengthening were determined.

**Keywords:** expanding, tubular workpiece, flange, mathematical modeling, finite element method.

УДК 621.7

**О. В. КАЛЮЖНИЙ**, канд. техн. наук, доц., НТУ У «ХПИ», Київ

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОЇ РОЗДАЧІ ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВОК КОНІЧНИМ ПУАНСОНОМ

В роботі розглянутий один із способів зниження впливу тертя між пуансоном і заготовкою при роздачі трубчастих заготовок конічним пуансоном. Пуансон виконаний із послідовно розташованих під кутом поверхонь у вигляді тору, що зменшує площу контакту з заготовкою. На прикладі роздачі заготовки з нержавіючої сталі розрахунковим шляхом з використанням методу скінченних елементів показано, що використання пуансону з профільною поверхнею приводить до збільшення коефіцієнта роздачі.

**Ключові слова:** роздача, пуансон, зусилля роздачі, коефіцієнт роздачі, кінцеві розміри виробів.

**Вступ.** Сучасне виробництво ставить задачі зниження собівартості виготовлення виробів, що робить продукцію конкурентоспроможною. В трубопровідній арматурі, яка використовується в машинобудуванні, авіабудуванні, широко використовують з'єднувальні перехідники. Одним із методів виготовлення перехідників є роздача конусним пуансоном трубчастих заготовок в холодному або гарячому стані. На рис. 1 зображена схема відкритої роздачі [1-3]. Трубчаста заготовка 1 діаметром  $D_0$ , висотою  $H_0$  і товщиною  $S_0$  встановлена на опорі 2 і деформується зусиллям  $R_d$  за допомогою пуансону 3 з кутом  $\alpha$ . Основним показником при роздачі є коефіцієнт роздачі  $K_r = D_1/D_0$  [4], на який впливають товщина заготовки  $S_0$ , кут пуансону  $\alpha$  і тертя між пуансоном і заготовкою. Від коефіцієнту  $K_r$  залежить собівартість виробів, що отримуються роздачею. Для підвищення коефіцієнту  $K_r$  використовують закриту роздачу [1-3]. При такій роздачі заготовку 1 встановлюють в обоймі 2 на опорі 3. При деформуванні пуансоном 4, який має переміщення  $U_0$ , обойма зміщується вниз також з переміщенням  $U_0$ , що зменшує вірогідність втрати стійкості стінки заготовки. На коефіцієнт  $K_r$  при закритій роздачі також суттєвий вплив має тертя між пуансоном і частиною заготовки, що деформується. Тому актуальними є дослідження, які направлені на зниження впливу тертя і збільшення коефіцієнту роздачі

**Мета роботи. Постановка задачі.** Метою роботи є зниження впливу тертя на формоутворення виробів при холодній роздачі та підвищення