

**МАШИНОЗНАВСТВО.  
ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ**

УДК 621.7.621.9

**В.Л. Калюжний, к.т.н., доц.  
В.М. Горностай, аспір.**

*Національний технічний університет України "КПІ"*

**РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ  
ХОЛОДНОГО ПРЕСУВАННЯ ПРОФІЛІВ З РОЗДАЧЕЮ**

*В статті запропонована методика визначення конструктивних та технологічних параметрів процесу пресування з роздачею.*

Сучасна промисловість України потребує впровадження ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють отримувати вироби з розмірами, максимально наближеними до необхідних та з заданими фізико-механічними властивостями. Холодне об'ємне штампування (ХОШ) дозволяє успішно вирішувати ці питання. Одним з таких процесів ХОШ для виготовлення профілів є холодне пресування. Однак традиційні способи пресування характеризуються високими зусиллями і питомими зусиллями при деформуванні.

На кафедрі обробки металів тиском НТУУ "КПІ" розроблений спосіб видавлювання фасонних виробів [1], який дозволяє суттєво знизити зусилля деформування при прямому пресуванні за рахунок того, що в осередку деформації утворюється схема напружень стискання-розтягування на відміну від існуючої схеми всебічного стискання. Вона має суттєві переваги також за доцільністю її використання в дрібно- та середньосерійному виробництві різних профілів, що на сучасний час є найперспективним виробництвом в умовах ринкової економіки України.

Однак для цього нового методу відсутній науково обґрунтований розрахунковий апарат, за допомогою якого можна визначити технологічні та конструктивні параметри процесів отримання різних профілів зі сталей.

Тому ціль даної статті – розробити методику визначення розрахунковим шляхом конструктивних та технологічних параметрів процесу пресування з роздачею на основі математичного моделювання процесу пресування за схемою всебічного нерівномірного стискання.

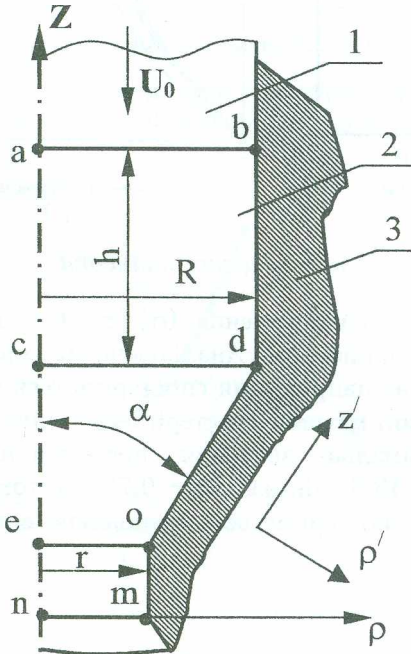


Рис. 1. Розрахункова схема

На базі методу скінчених елементів (МСЕ) з використанням способу початкових напружень [2] було складено математичну модель процесу холодного пресування з урахуванням основних конструктивних та технологічних факторів, що впливають на процес. Розрахункова схема процесу показана на рис. 1. В силу симетрії показана половина заготовки (1 – пуансон, 2 – заготовка, 3 – матриця). Суцільну заготовку розділяли на квадратичні кінцеві елементи. Врахування статичних та кінематичних умов проводили таким чином: на поверхнях –  $an$  – переміщення  $U_p = 0$ ,  $bd$ ,  $to$  –  $U_p = 0$ ,  $ab$  –  $U_z = U_0$ ;  $od$  –  $U_{p/} = 0$ ; для врахування тертя на поверхнях  $bd$ ,  $to$  дотичне напруження розраховувалось за формулою (1), на поверхні  $od$  – розраховувалось за формулою (2, 3) де  $\mu = 0,08$  – коефіцієнт тертя (дотичне напруження  $\tau$  прикладали в напрямку, протилежному переміщенню вузлової точки на контактуючій поверхні).

$$\tau = \mu \cdot \sigma_p \tag{1}$$

$$\tau = \mu \cdot \sigma_n \tag{2}$$

$$\sigma_n = \sigma_z \cdot \cos \alpha + \sigma_p \cdot \sin \alpha \tag{3}$$

Розміри заготовки 2 такі:  $R = 7, 8$  та  $9$  мм,  $h = 50$  мм. Кут матриці 3:  $2\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ . Параметри матеріалу (свинець), що деформується: межа течії  $\sigma_{0,2} = 18$  МПа, модуль Юнга  $E = 16,2 \times 10^3$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0.45$ , діаграму дійсних напружень апроксимували залежністю (4):

$$\sigma_s = 18 + 46.5 \cdot \varepsilon^{0.37} \quad (4)$$

У випадку моделювання процесу пресування по конусу проводили перевизначення граничних умов. У вихідному положенні заготовка 2 торкалась поверхні матриці радіусом  $cd$ . На кожному кроці навантаження поверхня  $ab$  переміщувалась на  $U_0 = 0.001$  мм. По мірі росту навантаження на пуансоні заготовка починає деформуватися і в контакт з поверхнею матриці будуть входити інші вузли. Тоді їй накладали кінематичні умови – переміщення  $U_p = 0$ . При досягненні вузлами точки  $o$  кінематична гранична умова  $U_p = 0$  знімалась, накладалась умова  $U_p = 0$ .

Залежності зусилля пресування  $P_d$  від переміщення пуансона для кута конуса  $20^\circ, 30^\circ$  та  $40^\circ$  наведено на рис. 2 (а, б та с відповідно). Максимальні зусилля на переході в усталену стадію 65,9 кН отримано для кута конуса матриці  $40^\circ$ .

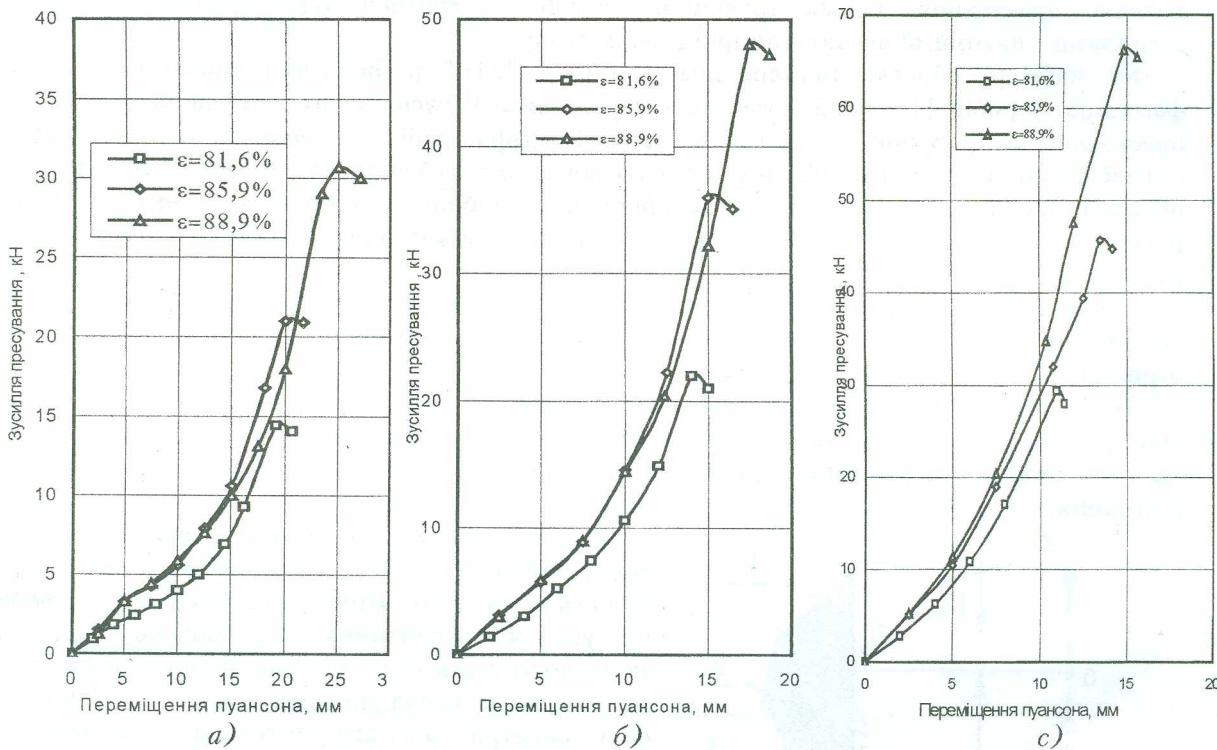


Рис. 2. Залежність зусилля пресування від переміщення пуансона

На рис. 3. показано розподіл відносного радіального напруження ( $\sigma_r/\sigma_{0,2}$ ) за висотою матриці  $h$  для кутів матриці  $20^\circ, 30^\circ$  та  $40^\circ$  (а, б та с відповідно). Аналізуючи ці залежності, необхідно зазначити, що максимальне відносне радіальне напруження спостерігається напроти зони пластичного деформування, на циліндричній частині матриці спостерігається рівномірний розподіл відносного радіального напруження. Максимальне значення спостерігається при деформуванні з кутом конуса матриці  $40^\circ$  та складає – 13,3, мінімальне – 9,75 з кутом конуса матриці  $20^\circ$ . При переході на калібруючий поясok спостерігається зменшення відносного радіального напруження.

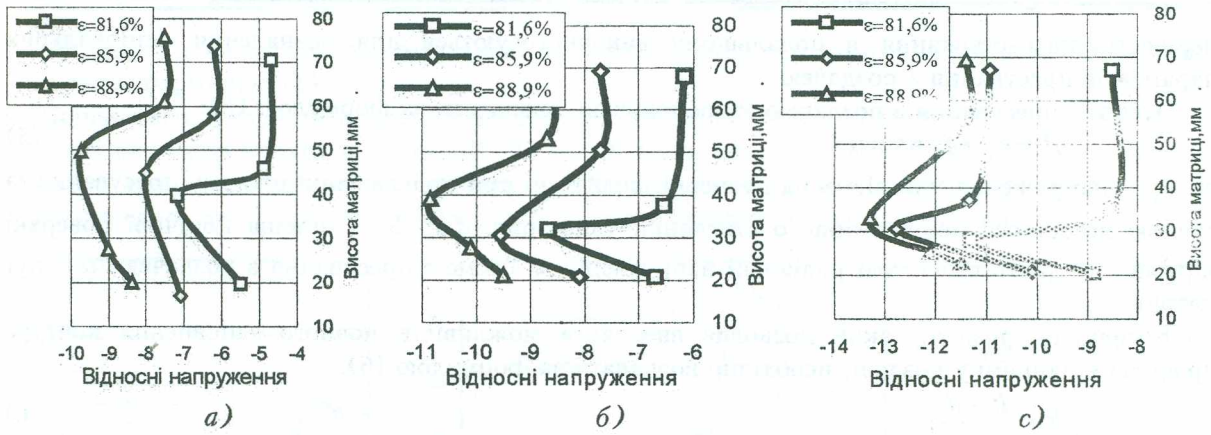


Рис. 3. Розподіл відносного радіального напруження ( $\sigma_r/\sigma_{0,2}$ ) за висотою матриці

Розподіл відносного осевого напруження  $\sigma_z/\sigma_{0,2}$  на пуансоні наведено на рис. 4 для кутів конуса матриці 20°, 30° та 40° (а, б та с відповідно). Порівняння цих залежностей показує, що із збільшенням кута конуса матриці зростає відносне осеве напруження на пуансоні. Розподіл рівномірний по всьому радіусі пуансона.

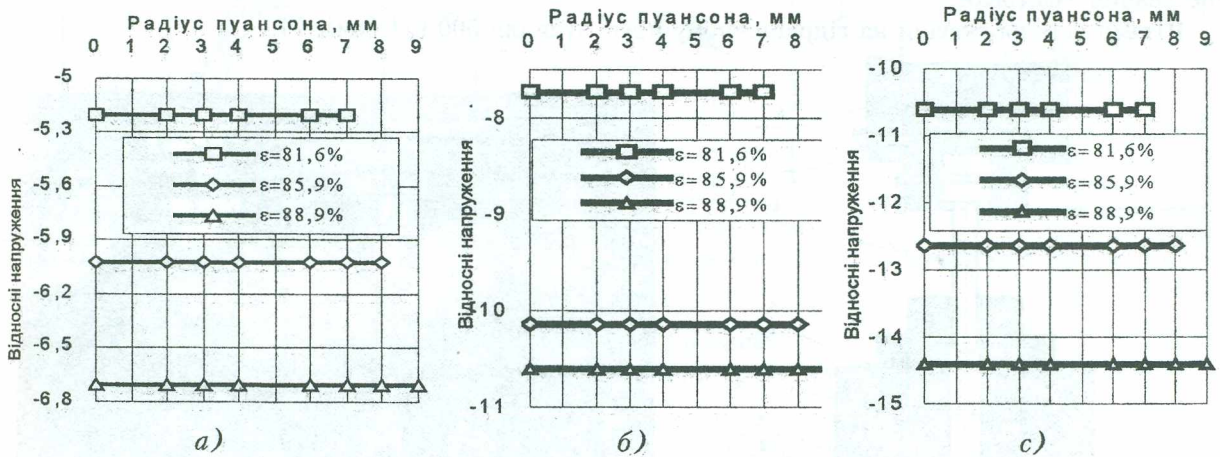


Рис. 4. Розподіл відносного осевого напруження  $\sigma_z/\sigma_{0,2}$  на пуансоні

На рис. 5. показано розподіл максимального відносного напруження  $\sigma_{II}/\sigma_{0,2}$  на конічній поверхні матриці в залежності від ступеня деформування.



Рис. 5. Розподіл максимального відносного  $\sigma_{II}/\sigma_{0,2}$  напруження на конічній поверхні матриці

Отримані розрахунковим шляхом результати по силових режимах, розподілу відносних нормальних напружень на пуансоні та матриці для пресування за схемою всебічного

нерівномірного стискання в подальшому використовуються для визначення раціональних параметрів пресування з роздачею.

Зусилля пресування з роздачею запропоновано визначати за формулою (5):

$$P = \sigma_z * S_b * \sin \alpha \tag{5}$$

де  $\sigma_z$  – напруження, що діють на пуансоні, визначені при моделюванні процесу пресування за схемою всебічного нерівномірного стискання (див. рис. 4.);  $S_b$  – площа конічної поверхні матриці, де діють стискаючі радіальні напруження за схемою пресування з роздачею;  $\alpha$  – кут матриці.

Коефіцієнт роздачі, який дозволяє визначати можливість повного заповнення контура профілю в напрямку роздачі, необхідно визначати за формулою (6):

$$k = \frac{B - d}{d}, \tag{6}$$

де  $B$  – максимальна ширина профілю в напрямку роздачі,  $d$  – діаметр вихідної заготовки.

Експериментальне дослідження пресування з роздачею проводили у штампі, схема якого показана на рис. 6. Штамп складається з двох частин. В перехіднику 7, який кріпиться у повзуні преса 8, встановлений штовхач 6. На плиті преса 10 кріпиться болтами 12 контейнер 1, в який встановлюють роз'ємну матрицю 2. Матриця притискається втулкою 3 за допомогою гайки 5. У втулку 3 встановлюється заготовка 4. При ході повзуна вниз здійснюється пресування заготовки.

Штамп встановлювали на гідравлічному пресі зусилля 500 кН (рис. 7).

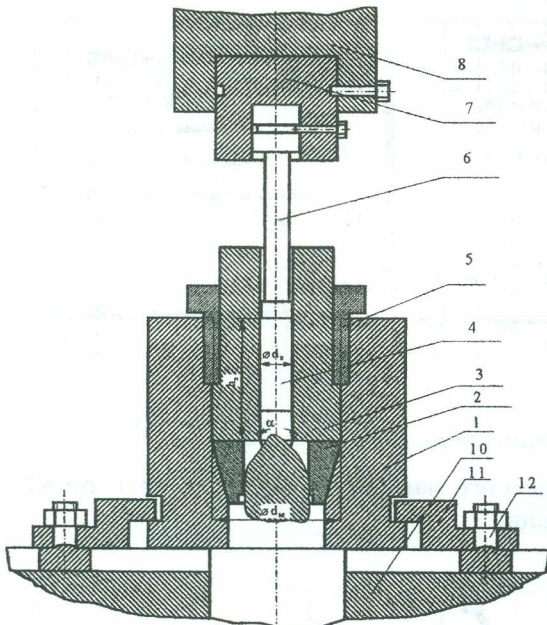


Рис. 6. Схема штамп

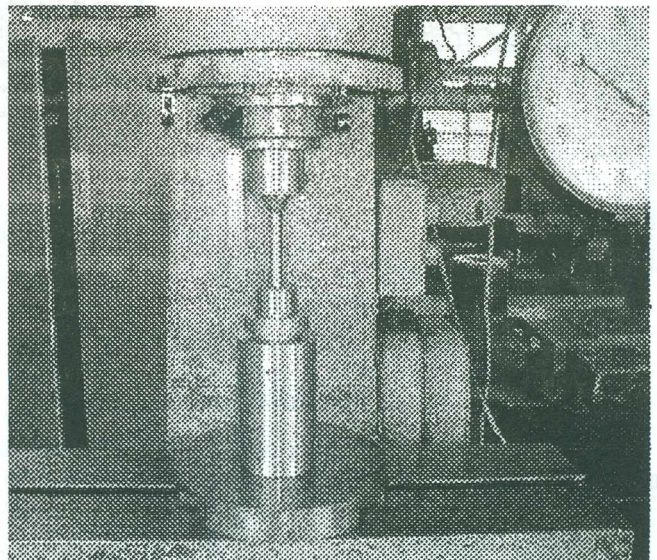


Рис. 7. Експериментальний штамп на пресі

Загальне зусилля видавлювання визначали за допомогою контрольного манометра. Заготовки розміщувались в контейнері і пресувались за схемою "заготовка за заготовкою". Відпресовані заготовки на проміжній стадії та кінцевій показані на рис. 8.

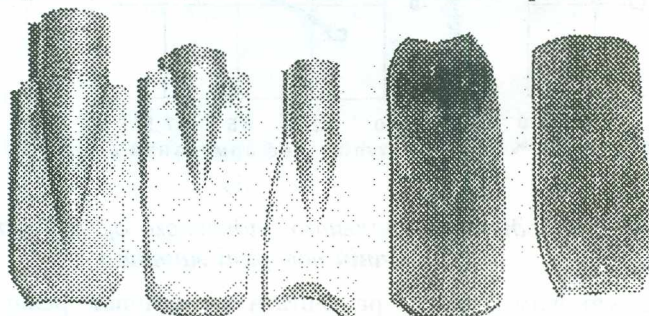


Рис. 8. Відпресовані заготовки

На рис. 9 наведені експериментальні значення зусиль пресування з роздачею, враховані зусилля за формулою (5).

Порівнюючи результати теоретичних розрахунків та результати, які були отримані на практиці для кутів конуса матриці 20°, 30° та 40° (див. рис. 9. а, б та с відповідно), необхідно відмітити незначну розбіжність (порядку 5 кН) цих значень, що свідчить про достовірність запропонованої методики визначення раціональних параметрів пресування з роздачею.

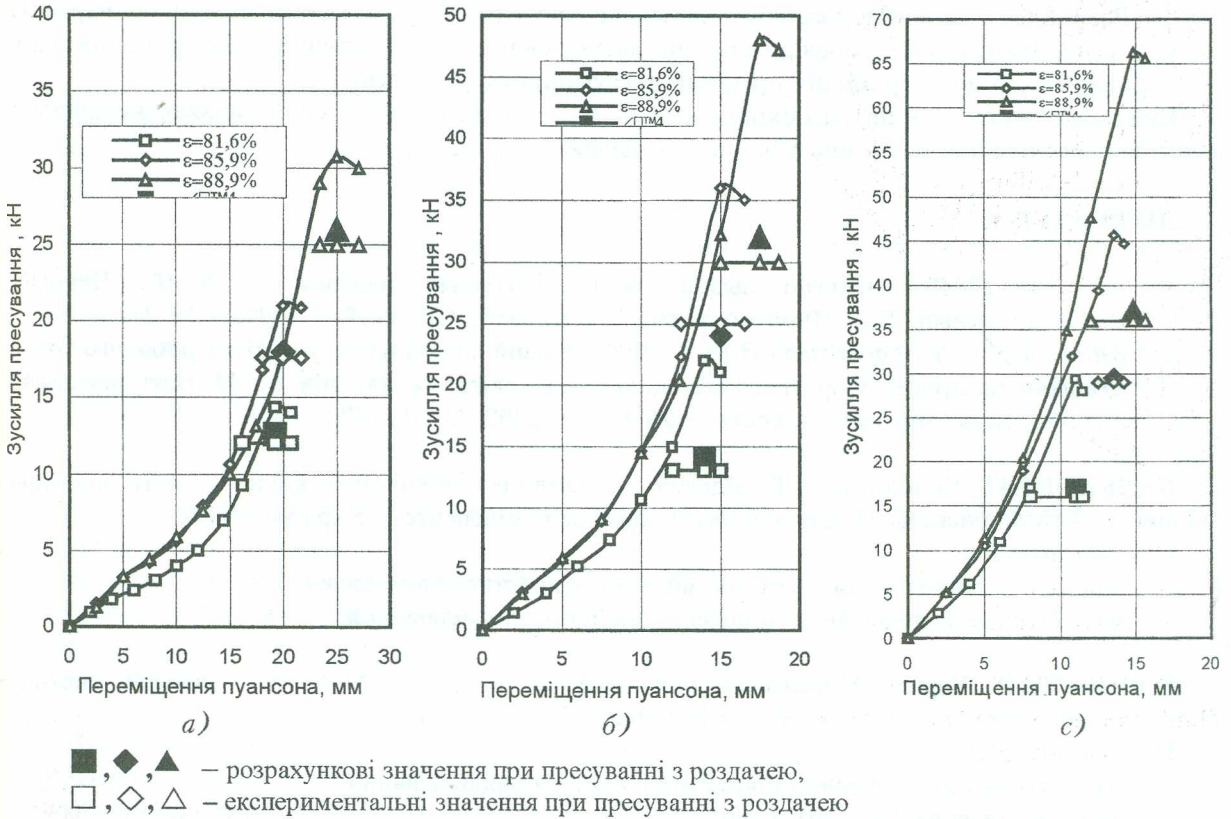


Рис. 9. Порівняння результатів теоретичного аналізу процесу пресування з роздачею з експериментальними даними

При проведенні експериментальних досліджень вивчався вплив конструктивних та технологічних параметрів на коефіцієнт роздачі. Залежність коефіцієнта роздачі від конструктивних та технологічних параметрів показано на рис. 10. Збільшення кута конуса матриці дозволяє отримати найбільш повне заповнення контура профілів при одночасному зростанні зусилля деформування. Аналогічний вплив на коефіцієнт роздачі має ступінь деформування.

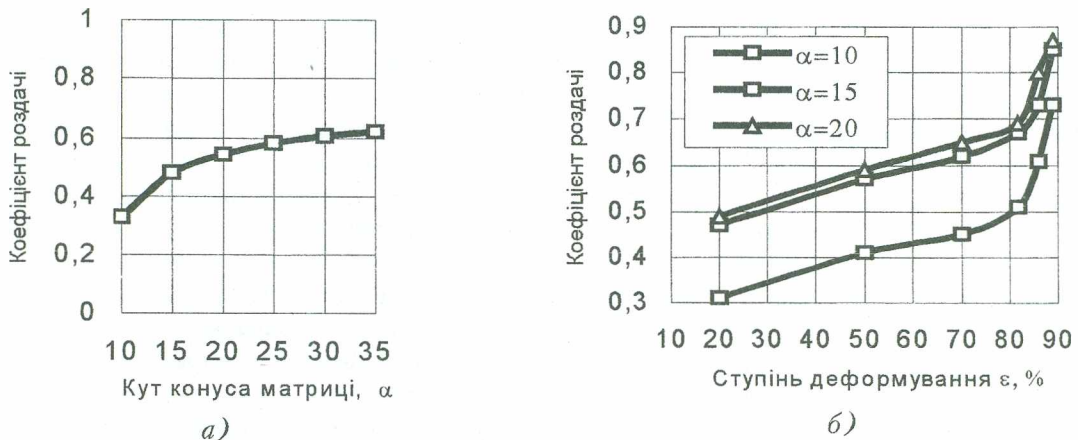


Рис. 10. Залежність коефіцієнта роздачі від кута конуса матриці (а) та ступеня деформування (б)

**Висновки.**

1. Проведено математичне моделювання МСЕ процесу пресування за схемою всебічного нерівномірного стискання, визначено силові режими, розподіл питомих напружень на пуансоні та матриці.
2. На базі отриманих результатів розроблена методика визначення раціональних конструктивних та технологічних параметрів процесу пресування з роздачею.
3. Розроблена методика дозволяє виключити проведення трудомістких з великою вартістю експериментальних досліджень по визначенню конструктивних та технологічних параметрів для отримання профілів пресуванням з роздачею.

Подальше дослідження необхідно вести в напрямку визначення фізико-механічних властивостей профілів після пресування з роздачею.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. А.с. № 1738409. Способ выдавливания фасонных изделий / Ю.Ф. Черный, В.Л. Калюжный, В.А. Фоменко и др. – № 4795365/27. Б.И. – 1991. – № 21.
2. Калюжный В.Л., Горноста́й В.М. Розрахунковий аналіз впливу радіуса робочого торця пуансона на процес зворотного холодного видавлювання стаканів // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – № 8–9. – 2002. С. 519–523.

КАЛЮЖНИЙ Володимир Леонідович – кандидат технічних наук, доцент кафедри “Обробка металів тиском” Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- холодне видавлювання в умовах високого гідростатичного тиску;
- математичне моделювання процесів холодного видавлювання.

ГОРНОСТА́Й Вадим Миколайович – аспірант кафедри “Обробка металів тиском” Національного технічного університету України “КПІ”.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання процесів холодного видавлювання;
- холодне пресування з роздачею.

Подано 18.05.2004