

## ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 621.96/98 (075)

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.135-155>

**В. М. Боков**, проф., канд. техн. наук, **О. Ф. Сіса**, доц., канд. техн. наук, **В. Я. Мірзак**, доц., канд. техн. наук, **В.В. Свяцький**, доц., канд. техн. наук, **В.М. Шмельов**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: Viktor.alia.kntu@gmail.com*

## Фізичні особливості процесу багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки

Вивчено фізичні обмеження, що обумовлюють граничний коефіцієнт багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки. Виявлено явище пружності дротів сітки, в наслідок чого бічна стінка деталі набуває викривлену, близьку до конічної форму. Показано фізичну подібність процесу деформування окремого дроту металевої сітки при багатоопераційному витягуванні та процесу гнуття плоскої заготовки, що дозволяє визначити технологічне зусилля кожної операції витягування з застосуванням формул для розрахунку зусилля гнуття.

Виявлено дві форми неусталеності процесу багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком та запропоновано новий спосіб витягування, який створює такі умови штампування, при яких асиметрична деформація деталі (непоправний брак) не спостерігається, а окремі додаткові засоби для обрізування краю відштампованої деталі не використовуються.

**багатоопераційне витягування циліндричних деталей, металева сітка, квадратна заготовка, граничний коефіцієнт витягування, спосіб витягування**

**Постановка проблеми.** В сучасному машинобудуванні для виготовлення циліндричних порожнистих деталей із дном використовуються різноманітні способи. Найбільш поширеним із них є спосіб витягування, який здійснюється із листової заготовки [1-5]. В залежності від відносної висоти, даним способом циліндричні деталі можуть бути отримані за одну технологічну операцію витягування (одноопераційне витягування: відносна висота  $H/d \leq 1$ ) та за декілька послідовних технологічних операцій витягування (багатоопераційне витягування: відносна висота  $H/d > 1$ ). Недоліком даного способу є те, що отримані їм порожнисті деталі не можуть використовуватися як кожуха для огороження характерних місць виробів (наприклад, механізмів, що обертаються, або робочих частин мікрофонів) із за відсутності отворів в бічних стінках та дні ковпачка, які потрібні для повітряного зв'язку внутрішньої частини виробу із зовнішньою. Відомий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком, який, зокрема, знайшов застосування для виготовлення кожухів мікрофонів [6]. Завдяки використанню металевої сітки, отримані даним способом деталі забезпечують надійний повітряний зв'язок внутрішньої частини виробу із зовнішньою. Одноопераційне витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком даним способом було об'єктом дослідження робіт [7, 8], де

показана доцільність використання плоскої квадратної заготовки. Подальше удосконалення технології витягування деталей із металевої сітки в напрямку підвищення відносної висоти відштампованої деталі пов'язано з використанням багатоопераційного способу витягування. Вивчення даного процесу дозволить значно зменшити граничний коефіцієнт витягування і тим самим значно підвищити відносну висоту деталі. Спосіб багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком не був об'єктом дослідження. Тому робота, що спрямована на удосконалення технології виготовлення деталей із металевої сітки за рахунок використання багатоопераційного способу витягування, є актуальним науково-практичним завданням.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є удосконалення технології виготовлення циліндричних деталей із металевої сітки за рахунок використання багатоопераційного способу витягування.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- розробити методику експериментального дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування;
- вивчити фізичні обмеження, що обумовлюють граничний коефіцієнт багатоопераційного витягування;
- виконати експериментальне дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування;
- запропонувати новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком.

**Методика експериментального дослідження.** Методика експериментального дослідження передбачала визначення критичного коефіцієнта багатоопераційного витягування  $m_z$  шляхом послідовного штампування.

Загально відомо, що можливість витягування циліндричної деталі за одну технологічну операцію визначається граничним коефіцієнтом витягування  $m_z$ , який є кількісним показником даного процесу. За Романовським В. П. [2] його експериментально встановлюють за формулою (1)

$$m_z = \frac{d}{D_3} . \quad (1)$$

Якщо в попередній роботі [7] коефіцієнт витягування у виразі (1) для одноопераційного (першого) витягування змінювався за рахунок знаменника, тобто за рахунок зміни розміру вихідної заготовки  $D_3$ , то в даній роботі коефіцієнт витягування для багатоопераційного витягування змінювався за рахунок зміни чисельника цього ж виразу, тобто за рахунок зміни діаметру  $d$  відштампованого ковпачка.

Витягування здійснювалося із квадратної вихідної заготовки в наступній технологічній послідовності:

- перше витягування в умовах мінімального значення граничного коефіцієнта витягування, наближеного до граничного коефіцієнта для першого витягування. Це виключало можливість підвищення відносної висоти відштампованої деталі за рахунок подальшого зменшення коефіцієнта витягування шляхом підвищення розміру вихідної заготовки;
- друге витягування за умов зменшення діаметра ковпачка після першого витягування на 4 мм;
- третє витягування за умов зменшення діаметра ковпачка після другого витягування на 4 мм;

- четверте витягування за умов зменшення діаметра ковпачка після третього витягування на 4 мм;
- п'яте витягування за умов зменшення діаметра ковпачка після четвертого витягування на 4 мм і т. п.

При послідовному витягуванні деталей із металевої сітки з невеликим кроком  $t$  зменшення діаметру ковпачка (у даному разі  $t = 4$  мм), поступово зменшується загальний коефіцієнт витягування  $m_i$  (див. формулу 1), а висота деталі зростає.

Так:

- при першому витягуванні  $m_1 = \frac{d_1}{D_3} = \frac{29}{114} = 0,244$ ;

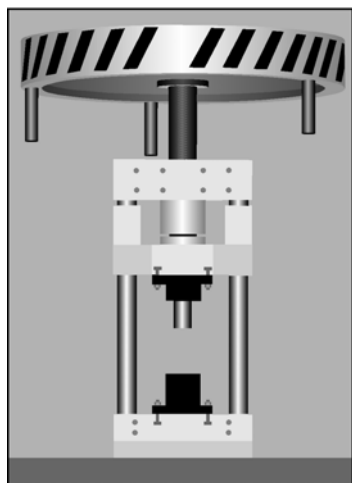
- при другому витягуванні  $m_2 = \frac{d_2}{D_3} = \frac{25}{114} = 0,219$ ;

- при третьому витягуванні  $m_3 = \frac{d_3}{D_3} = \frac{21}{114} = 0,184$ ;

- при четвертому витягуванні  $m_4 = \frac{d_4}{D_3} = \frac{17}{114} = 0,149$ ;

- при п'ятому витягуванні  $m_5 = \frac{d_5}{D_3} = \frac{13}{114} = 0,114$ .

Кількість можливих операцій витягування буде визначатися досяганням граничного значення коефіцієнта витягування  $m_g$ .



Багатоопераційне витягування заготовок здійснювали з використанням малогабаритного інерційного гвинтового пресу зусиллям 100 кН с ручним приводом маховика (рис. 1).

Рисунок 1 – Загальний вид малогабаритного інерційного гвинтового пресу з ручним приводом

Джерело: розроблено автором [9]

Принципова схема пресу, що складається із станини та головного виконавчого механізму, приведена на рис. 2. Станина рамного типу утворена верхньою 6 і нижньою 13 траверсами, які з'єднані двома циліндричними стійками 1 і 12. В верхній траверсі 6 закріплена робоча гайка 9 гвинтової пари.

Головний виконавчий механізм пресу включає повзун 4, гвинт 5 і маховик 7. Повзун 4 з подовженими напрямними має напрямок за циліндричними стійками 1 і 12. До повзуну з можливістю обертання приєднаний гвинт 5, на якому нарізана чотиризахідна права трапеціодального профілю з кутом нахилу  $13^\circ$  різьба, що не самогальмується. Нижня опора гвинта, кінематично зв'язаного з гайкою 9, виконана у вигляді сферичного підп'ятника 11, вставленого в центральне поглиблення повзуна 4. Фланець гвинта 5 притиснутий зверху кришкою 10 із сферичною поверхнею контакту. На верхній частині гвинта закріплений маховик 7, на ободі якого встановлені три поворотні рукоятки 8 з кутом  $120^\circ$  між ними для зручності ручного привода.

Інерційний гвинтовий прес працює таким чином. В штамповий простір преса поміщують пуансон 2 разом з пуансонотримачем 3, матрицю 14 і закріплюють їх. Інструмент, що встановлюється, повинен відповідати операції, яка виконується на пресі. Перед початком роботи повзун 4 пресу знаходиться в крайньому верхньому положенні, яке фіксують за допомогою підставки (на рис. 1, 2 не показана). Після установки заготовки виймають підставку і поворотом маховика за рукоятку 8 на кут  $120^\circ - 150^\circ$  приводять до обертання маховик 7, який разом з гвинтом 5 здійснює гвинтовий рух далі за інерцією. Повзун 4 опускається вниз і за рахунок накопиченої кінетичної енергії рухомих частин виконує технологічну операцію. Якщо енергії одного ходу вниз недостатньо для кінцевої формозміни заготовки, то деформацію виконують за декілька ходів повзуна. Величина кінетичної енергії, що накопичується рухомими частинами, а відповідно і зусилля пресу, легко регулюється шляхом зміни висоти підйому повзуна, зусилля, що прикладається до рукоятці привода, та кута повороту маховика, на якому прикладають зусилля.

В якості інструмента використовувався експериментальний штамп (рис. 3) для другого та подальшого витягування.

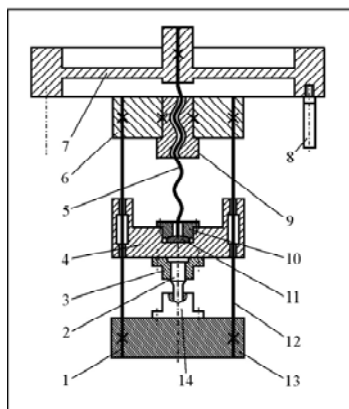
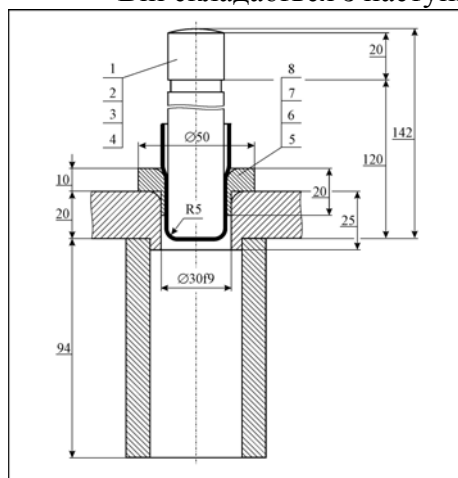


Рисунок 2 – Принципіальна схема інерційного гвинтового пресу  
Джерело: розроблено автором [9]



Рисунок 3 – Експериментальний штамп, що встановлений на універсальний інерційний гвинтовий прес: 1 – штамп; 2 – прес; 3 – заготовка, що витягується  
Джерело: розроблено авторами

Він складається з наступних основних деталей (рис. 4, 5):

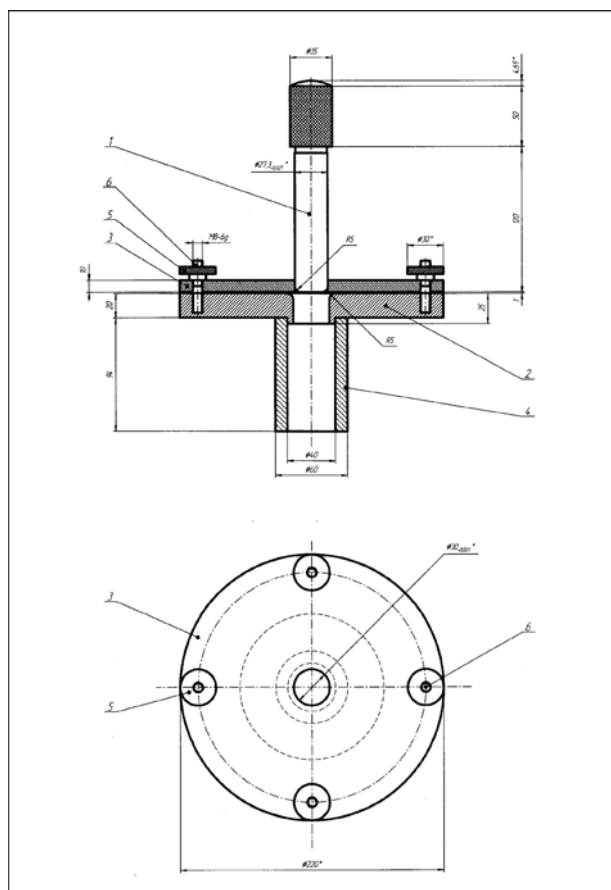


- 1 – пуансон  $\varnothing 23,7$  мм для другого витягування;
- 2 – пуансон  $\varnothing 19,7$  мм для третього витягування;
- 3 – пуансон  $\varnothing 15,7$  мм для четвертого витягування;
- 4 – пуансон  $\varnothing 11,7$  мм для п'ятого витягування;
- 5 – матриця  $\varnothing 26$  мм для другого витягування;
- 6 – матриця  $\varnothing 22$  мм для третього витягування;
- 7 – матриця  $\varnothing 18$  мм для четвертого витягування;
- 8 – матриця  $\varnothing 14$  мм для п'ятого витягування.

Рисунок 4 – Креслення експериментального штампа для другого та подальшого витягування  
Джерело: розроблено авторами



Рисунок 5 – Комплект змінних пуансонів та матриць  
Джерело: розроблено авторами



Даний експериментальний штамп є модернізацією штампа (рис. 6), який призначений для першого витягування [5].

1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – притискне кільце;  
4 – підставка; 5 – спеціальна гайка; 6 – шпилька

Рисунок 6 – Експериментальний штамп для першого витягування  
Джерело: розроблено авторами

Штамп працює таким чином. Заготовка після першого витягування одягається на пуансон 1 та фіксується її центральне положення гвинтом М3 (на кресленні не показано). Остання дія пов'язана з тим, що експериментальний штамп не має напрямних вузлів, які позиціонують його верхню (рухому) частину відносно нижньої (нерухомої). Далі пуансон 1 разом із заготовкою встановлюється зверху в матрицю 5 та притискується повзуном інерційного пресу при обертанні маховика. При

вертикальному переміщенні вниз пуансона разом з заготовкою, остання зменшує свій середній діаметр  $d_c$  з 29 мм на 25 мм. Інші операції витягування здійснюються аналогічно.

Для експериментального дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування циліндричної деталі використовувалася сітка напівтомпакова 2,0 ГОСТ 6613-73 [10, с. 218], товщина 1 мм. Матеріал сітки: латунь Л80.

В якості вихідної заготовки застосовувалися зразки квадратної форми в плані. Схема розташування зразка відносно дротів сітки показана на рис. 7.. Кожен зразок вписувався в круг діаметром 115 мм.

**Фізичні обмеження, що обумовлюють граничний коефіцієнт багатоопераційного витягування.** На підставі теоретичних досліджень можна стверджувати, що фізичні обмеження досягання граничних значень коефіцієнтів одноопераційного та багато-операційного витягування різні.

Так, при одноопераційному витягуванні воно пов'язано з рівновагою зусилля, потрібного на відрив дна та зусилля, потрібного для витягування притиснутого фланця вихідної заготовки в зазор між пуансоном та матрицею. Така рівновага спостерігається, за рівнем інших умов, при певному розмірі  $D_3$  вихідної заготовки.

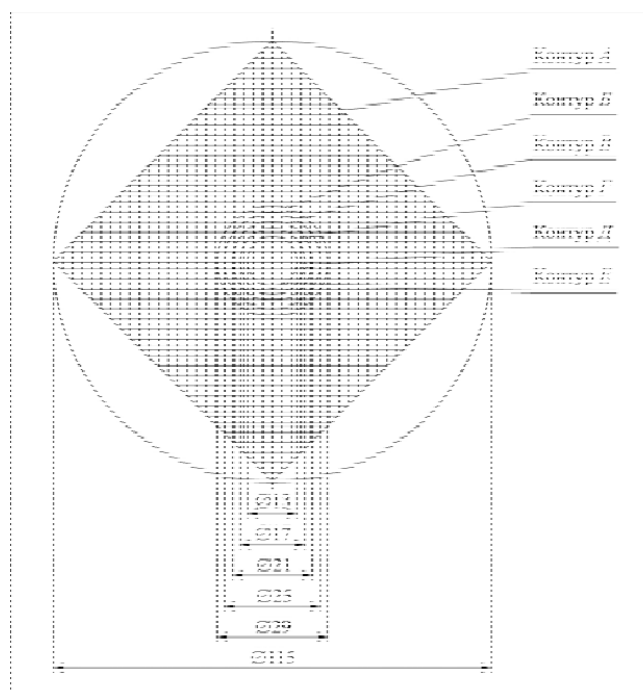
При багатоопераційному витягуванні одночасно спостерігаються два процеси:

- з одного боку, послідовне зменшення діаметра відштампованого ковпачка приводить до послідовного зменшення зусилля витягування, що пов'язано зі зменшенням площі сітки, яка деформується;

- з другого боку, послідовне зменшення діаметра відштампованого ковпачка приводить до підвищення коефіцієнта заповнення зазору між пуансоном та матрицею дротами сітки. При певному (критичному) коефіцієнті заповнення зазору, який відповідає граничному коефіцієнту витягування, тертя дротів в зазорі різко зростає, що викликає стрімке зростання зусилля витягування до рівня, коли дроти сітки, які його сприймають, не витримують та рвуться.

Перевірка фізичних обмежень досягання граничних значень коефіцієнтів одноопераційного та багатоопераційного витягування включала в себе:

- визначення кількості дротів  $n_i$  на контурах  $A-E$  вихідної заготовки та переходах штампування (рис. 7). Результати підрахунку наведено в таблицю 1;



Контур  $A$  – вихідна заготовка,  $D_3 = 115$  мм; контур  $B$  – перше витягування,  $\varnothing 29$  мм; контур  $B$  – друге витягування,  $\varnothing 25$  мм; контур  $\Gamma$  – третє витягування,  $\varnothing 21$  мм; контур  $D$  – четверте витягування,  $\varnothing 17$  мм; контур  $E$  – п'яте витягування,  $\varnothing 13$  мм

Рисунок 7 – Схема до визначення кількості перетинання осей дротів сітки з контурами  $A-E$ :  
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1 – Результати підрахунку кількості дротів сітки на контурах А-Е

| Вид контуру                  | Кількість дротів на контурі, шт. |
|------------------------------|----------------------------------|
| Контур А (вихідна заготовка) | $n_A = 180$                      |
| Контур В (Ø29 мм)            | $n_B = 44$                       |
| Контур В (Ø25 мм)            | $n_B = 40$                       |
| Контур Г (Ø21 мм)            | $n_G = 36$                       |
| Контур Д (Ø17 мм)            | $n_D = 28$                       |
| Контур Е (Ø13 мм)            | $n_E = 20$                       |

- розрахунок площі дротів сітки на контурах А-Е, що сприймають навантаження при витягуванні. Результати розрахунку наведено в таблицю 2.;

Таблиця 2 – Результати розрахунку площі дротів сітки на контурах А-Е

| Вид контуру                  | Площа дротів на контурі, мм <sup>2</sup> *      |
|------------------------------|-------------------------------------------------|
| Контур А (вихідна заготовка) | $F_A = F_{(1)} \cdot n_A = 0,25 \cdot 180 = 45$ |
| Контур В (Ø29 мм)            | $F_B = F_{(1)} \cdot n_B = 0,25 \cdot 44 = 11$  |
| Контур В (Ø25 мм)            | $F_B = F_{(1)} \cdot n_B = 0,25 \cdot 40 = 10$  |
| Контур Г (Ø21 мм)            | $F_G = F_{(1)} \cdot n_G = 0,25 \cdot 36 = 9$   |
| Контур Д (Ø17 мм)            | $F_D = F_{(1)} \cdot n_D = 0,25 \cdot 28 = 7$   |
| Контур Е (Ø13 мм)            | $F_E = F_{(1)} \cdot n_E = 0,25 \cdot 20 = 5$   |

\*  $F_{(1)}$  – площа квадрата, що описаний навколо круглого дроту сітки Ø 0,5 мм.  $F_{(1)} = 0,5^2 = 0,25$  мм<sup>2</sup>

- розрахунок площі перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають контурам В-Е. Результати розрахунку наведено в таблицю 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунку площі перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають контурам В-Е

| Номер операції витягування      | Площа перерізів $F_i$ , мм <sup>2</sup>   |
|---------------------------------|-------------------------------------------|
| Перше витягування (контур В)    | $F_{30} = 0,785 (30^2 - 27,7^2) = 104,18$ |
| Друге витягування (контур В)    | $F_{26} = 0,785 (26^2 - 23,7^2) = 89,73$  |
| Третє витягування (контур Г)    | $F_{22} = 0,785 (22^2 - 27,7^2) = 75,29$  |
| Четверте витягування (контур Д) | $F_{18} = 0,785 (18^2 - 15,7^2) = 60,84$  |
| П'яте витягування (контур Е)    | $F_{14} = 0,785 (14^2 - 11,7^2) = 46,40$  |

- результати розрахунку коефіцієнта заповнення дротами сітки перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають контурам В-Е. Результати розрахунку наведено в таблицю 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунку коефіцієнта  $k_i$  заповнення дротами сітки перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають контурам В-Е

| Номер операції витягування      | Коефіцієнт $k_i = F_A \cdot 100 / F_i$ , % |
|---------------------------------|--------------------------------------------|
| Перше витягування (контур В)    | $k_B = 45 \cdot 100 / 104,18 = 43,19$      |
| Друге витягування (контур В)    | $k_B = 45 \cdot 100 / 89,73 = 50,15$       |
| Третє витягування (контур Г)    | $k_G = 45 \cdot 100 / 75,29 = 59,77$       |
| Четверте витягування (контур Д) | $k_D = 45 \cdot 100 / 60,84 = 73,96$       |
| П'яте витягування (контур Е)    | $k_E = 45 \cdot 100 / 46,40 = 96,98$       |

- розрахунок (оцінка) зусиль за операціями витягування:

• **друге витягування.** Зусилля другого витягування визначаємо за формулою Рудмана Л. І. для вільного гнуття (2) [3, с. 211, ф-ла 35], беручи до уваги, що кожен дріт сітки деформується окремо, а кількість кутів гнуття на кожному дроті дорівнює двом:

$$P_{\text{в}(2)} = B_z \cdot s \cdot \kappa_z \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot c \quad (2)$$

де  $B_z$  – сума довжин лінії гнуття

$$B_z = d_{\text{д}} \cdot n_B = 0,5 \cdot 44 = 22 \text{ мм};$$

$s$  – діаметр дроту сітки.  $s = 0,5$  мм;

$\kappa_z$  – коефіцієнт [3, с. 212, табл. 22]. При  $r/s = 5,5/0,5 = 11$ ,  $\kappa_z = 0,08$ ;

$\sigma_{\text{в}}$  – межа міцності матеріалу сітки. Для латуні Л80  $\sigma_{\text{в}} = 370$  МПа [3, с. 370];

$c$  – кількість кутів гнуття кожного дроту.  $c = 2$ .

Тоді:

$$P_{\text{в}(2)} = 22 \cdot 0,5 \cdot 0,08 \cdot 370 \cdot 2 = 651 \text{ Н} = 65,1 \text{ кг};$$

• **третє витягування.** Зусилля третього витягування визначаємо за аналогічною методикою

$$P_{\text{в}(3)} = 36 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,08 \cdot 370 \cdot 2 = 533 \text{ Н} = 53,3 \text{ кг};$$

• **четверте витягування.** Зусилля четвертого витягування визначаємо за аналогічною методикою

$$P_{\text{в}(4)} = 28 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,08 \cdot 370 \cdot 2 = 414 \text{ Н} = 41,4 \text{ кг};$$

• **п'яте витягування.** Зусилля п'ятого витягування визначаємо за аналогічною методикою

$$P_{\text{в}(5)} = 20 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,08 \cdot 370 \cdot 2 = 296 \text{ Н} = 29,6 \text{ кг};$$

- визначення відстані  $l_{\text{д}}$ , що відповідає щільному дворядному упакуванню дротів в зазорі між пуансоном та матрицею за формулою

$$l_{\text{д}} = \frac{n_A}{2} \cdot d_{\text{д}} = \frac{180}{2} \cdot 0,5 = 45 \text{ мм};$$

- визначення довжини розгортки  $l_E$  зазору між пуансоном та матрицею за середнім діаметром  $d_c$ , що визначається за формулою

$$l_E = \pi \cdot d_c = 3,14 \cdot 13 = 40,82 \text{ мм}.$$

Оскільки  $l_{\text{д}} > l_E$ , 180 дротів сітки не можуть увійти в зазор вільно, а лише з деформацією поперечного перерізу. В таких умовах спостерігається інтенсивне зростання зусилля витягування, яке сприймають дроти П-подібної форми (стінка – дно – стінка). Їх міцність визначає можливий граничний коефіцієнт витягування  $m_z$ ;



- розрахунок міцності дротів в контурах заготовки *Б-Е*, які сприймають навантаження при витягуванні:

- зусилля  $P_B$ , що витримують дроти в контурі *Б* визначаємо за формулою

$$P_B = F_{\partial} \cdot n_B \cdot \sigma_{\partial},$$

де  $F_{\partial}$  – площа перерізу одного дроту

$$F_{\partial} = \frac{\pi \cdot d_{\partial}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,196 \text{ мм}^2;$$

$n_B$  – кількість дротів, що сприймають навантаження.  $n_B = 44$  шт. (див. табл. 1);

$\sigma_{\partial}$  – межа міцності матеріалу сітки. Для латуні Л80  $\sigma_{\partial} = 370$  МПа [3, с. 370].

Тоді

$$P_B = 0,196 \cdot 44 \cdot 370 = 3191 \text{ Н} = 319,1 \text{ кг};$$

- зусилля  $P_B$ , що витримують дроти в контурі *В* визначаємо за аналогічною методикою

$$P_B = 0,196 \cdot 40 \cdot 370 = 2901 \text{ Н} = 290,1 \text{ кг};$$

- зусилля  $P_G$ , що витримують дроти в контурі *Г* визначаємо за аналогічною методикою

$$P_G = 0,196 \cdot 36 \cdot 370 = 2610 \text{ Н} = 261 \text{ кг};$$

- зусилля  $P_D$ , що витримують дроти в контурі *Д* визначаємо за аналогічною методикою

$$P_D = 0,196 \cdot 28 \cdot 370 = 2030 \text{ Н} = 203 \text{ кг};$$

- зусилля  $P_E$ , що витримують дроти в контурі *Е* визначаємо за аналогічною методикою

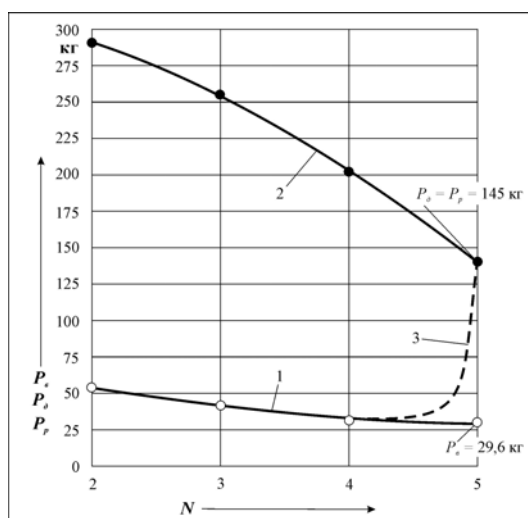
$$P_E = 0,196 \cdot 20 \cdot 370 = 1450 \text{ Н} = 145 \text{ кг};$$

- розробка графічної залежності зусилля витягування  $P_{\partial}$ , зусилля міцності дротів в критичному перерізі  $P_{\partial}$  та реального зусилля витягування  $P_p$ , що урахує скупчення дротів в зазорі між матрицею та пуансоном (крива 3), від порядкового номеру витягування  $N$  (рис. 8).

Залежність  $P_{\partial} = f(N)$  (крива 1 рис. 8) показує, що із підвищенням порядкового номеру витягування зусилля витягування зменшується і є мінімальним ( $P_{\partial} = 29,6$  кг) при п'ятому витягуванні.

Із залежності  $P_{\partial} = f(N)$  (крива 2 рис.8) виходить, що із підвищенням порядкового номеру витягування зусилля міцності дротів зменшується і в критичному перерізі, якій відповідає п'ятому витягуванню, воно мінімальне та дорівнює 145 кг.

Залежність  $P_p = f(N)$  (крива 3 рис.8) демонструє картину, що відбувається при



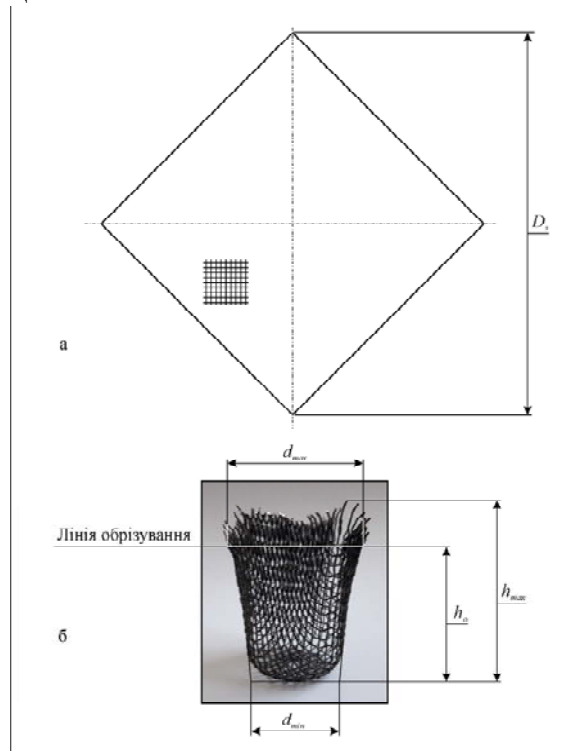
критичному скупченні дротів в зазорі: зростає тертя дротів в зазорі, а отже опір проштовхування ковпачка крізь матрицю; реальне зусилля миттєво зростає, досягає значення, що відповідає межі міцності дротів ( $P_p = P_o = 145$  кг) і дроти обриваються.

Рисунок 8 – Залежності зусилля витягування  $P_c$  (крива 1), зусилля міцності дротів в критичному перерізі  $P_o$  (крива 2) та реального зусилля витягування  $P_p$ , що ураховує скупчення дротів в зазорі між матрицею та пуансоном (крива 3), від порядкового номеру витягування  $N$   
Джерело: розроблено авторами

Як бачимо, критичний коефіцієнт багатоопераційного витягування деталей із металевої сітки з квадратним вічком  $m_z$  визначається процесом підвищення коефіцієнта  $k_i$  заповнення зазору між пуансоном та матрицею дротами сітки до критичної межі (табл. 4).

#### Експериментальне дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування.

• **Перше витягування.** Результати щодо першого витягування циліндричної деталі із металевої сітки, яке здійснювалося із квадратної вихідної заготовки, наведено на рисунку 9 та в таблиці 5.



а – вихідна заготовка; б – деталь після витягування

Рисунок 9 – Перше витягування циліндричної деталі із металевої сітки:

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 5 – Параметри першого витягування\*

| $D_3$ ,<br>мм | $h_{max}$ ,<br>мм | $h_o$ ,<br>мм | $d_{min}$ ,<br>мм | $d_{max}$ ,<br>мм | $d_c$ ,<br>мм | $\frac{h_o}{d_c}$ | $m = \frac{d_c}{D_3}$ |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| 115           | 47,5              | 34            | 30                | 37                | 29            | 1,17              | 0,252                 |

\*  $D_3$  – розмір вихідної заготовки;  
 $h_{max}$  – найбільша висота деталі;  
 $h_o$  – висота деталі після обрізування;  
 $\frac{h_o}{d_c}$  – відносна висота деталі;  
 $m$  – загальний коефіцієнт витягування

• **Друге витягування.** Результати щодо другого витягування циліндричної деталі із металевої сітки наведено на рисунку 10 та в таблиці 6.

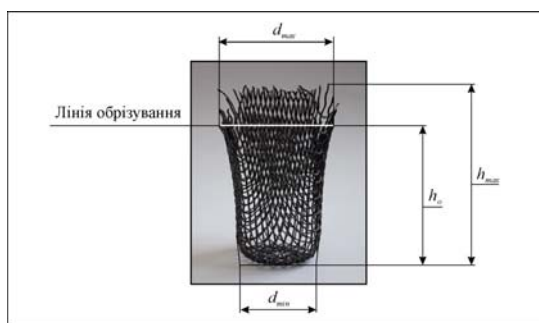


Рисунок 10 – Друге витягування циліндричної деталі із металевої сітки  
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 6 – Параметри другого витягування\*

| $D_3$ ,<br>мм | $h_{max}$ ,<br>мм | $h_o$ ,<br>мм | $d_{min}$ ,<br>мм | $d_{max}$ ,<br>мм | $d_c$ ,<br>мм | $\frac{h_o}{d_c}$ | $m = \frac{d_c}{D_3}$ |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| 115           | 47,5              | 38            | 26                | 32                | 25            | 1,52              | 0,217                 |

\*  $D_3$  – розмір вихідної заготовки для першого витягування;  
 $h_{max}$  – найбільша висота деталі;  
 $h_o$  – висота деталі після обрізування;  
 $\frac{h_o}{d_c}$  – відносна висота деталі;  
 $m$  – загальний коефіцієнт витягування

• **Третє витягування.** Результати щодо третього витягування циліндричної деталі із металевої сітки наведено на рисунку 11 та в таблиці 7.

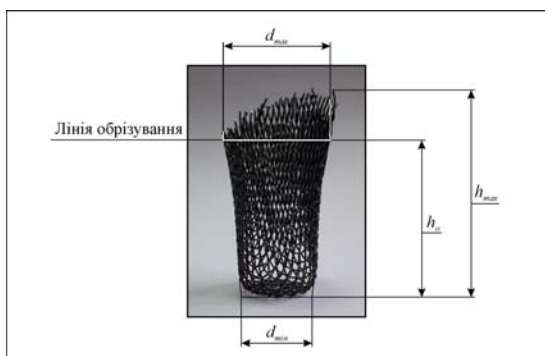


Рисунок 11 – Третє витягування циліндричної деталі із металевої сітки  
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 7 – Параметри третього витягування\*

| $D_3$ ,<br>мм | $h_{max}$ ,<br>мм | $h_o$ ,<br>мм | $d_{min}$ ,<br>мм | $d_{max}$ ,<br>мм | $d_c$ ,<br>мм | $\frac{h_o}{d_c}$ | $m = \frac{d_c}{D_3}$ |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| 115           | 51,5              | 42            | 22                | 27                | 21            | 2,00              | 0,183                 |

\*  $D_3$  – розмір вихідної заготовки для першого витягування;  
 $h_{max}$  – найбільша висота деталі;  
 $h_o$  – висота деталі після обрізування;  
 $\frac{h_o}{d_c}$  – відносна висота деталі;  
 $m$  – загальний коефіцієнт витягування

• **Четверте витягування.** Результати щодо четвертого витягування циліндричної деталі із металевої сітки наведено на рисунку 12 та в таблиці 8.

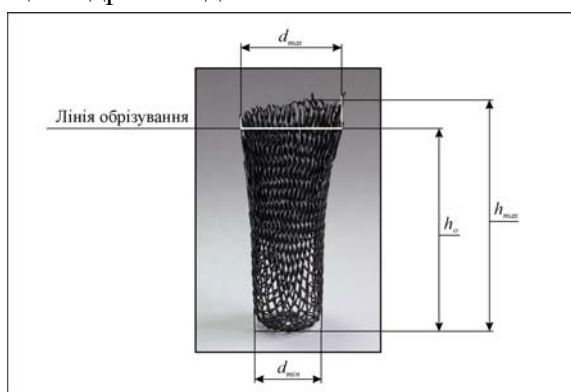


Рисунок 12 – Четверте витягування циліндричної деталі із металевої сітки  
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 8 – Параметри четвертого витягування\*

| $D_3$ ,<br>мм | $h_{max}$ ,<br>мм | $h_o$ ,<br>мм | $d_{min}$ ,<br>мм | $d_{max}$ ,<br>мм | $d_c$ ,<br>мм | $\frac{h_o}{d_c}$ | $m = \frac{d_c}{D_3}$ |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| 115           | 55,5              | 45            | 18                | 23                | 17            | 2,65              | 0,147                 |

\*  $D_3$  – розмір вихідної заготовки для першого витягування;  
 $h_{max}$  – найбільша висота деталі;  
 $h_o$  – висота деталі після обрізування;  
 $\frac{h_o}{d_c}$  – відносна висота деталі;  
 $m$  – загальний коефіцієнт витягування

• **П'яте витягування.** Результати п'ятого витягування циліндричної деталі із металевої сітки наведено на рис. 13 та в таблиці 9.



а – момент заклинення дротів в зазорі; б – деталь після витягування; 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка в процесі витягування

Рисунок 13 – П'яте витягування циліндричної деталі із металевої сітки

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 9 – Параметри п'ятого витягування\*

| $D_3$ ,<br>мм | $h_{max}$ ,<br>мм | $h_o$ ,<br>мм | $d_{min}$ ,<br>мм | $d_{max}$ ,<br>мм | $d_c$ ,<br>мм | $\frac{h_o}{d_c}$ | $m = \frac{d_c}{D_3}$ |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| 115           | 62                | -             | 14                | 16,5              | 13            | -                 | 0,113                 |

\*  $D_3$  – розмір вихідної заготовки для першого витягування;  
 $h_{max}$  – найбільша висота деталі;  
 $h_o$  – висота деталі після обрізування;  
 $\frac{h_o}{d_c}$  – відносна висота деталі;  
 $m$  – загальний коефіцієнт витягування

Аналіз отриманих результатів дослідження, наведених в таблицях 5 – 9, показує:

- із підвищенням порядкового номеру витягування  $N$ , коефіцієнт витягування  $m_i$  циліндричної деталі із металевої сітки безперервно зменшується (рис. 14) з 0,252 (перше витягування) до 0,147 (четверте витягування). При  $m_i = 0,113$  (п'яте витягування) спостерігався відрив дна. Тому граничний коефіцієнт витягування  $m_c$  лежить в межах між четвертим та п'ятим витягуванням, тобто є справедливим вираз  $0,147 > m_c > 0,113$ ;

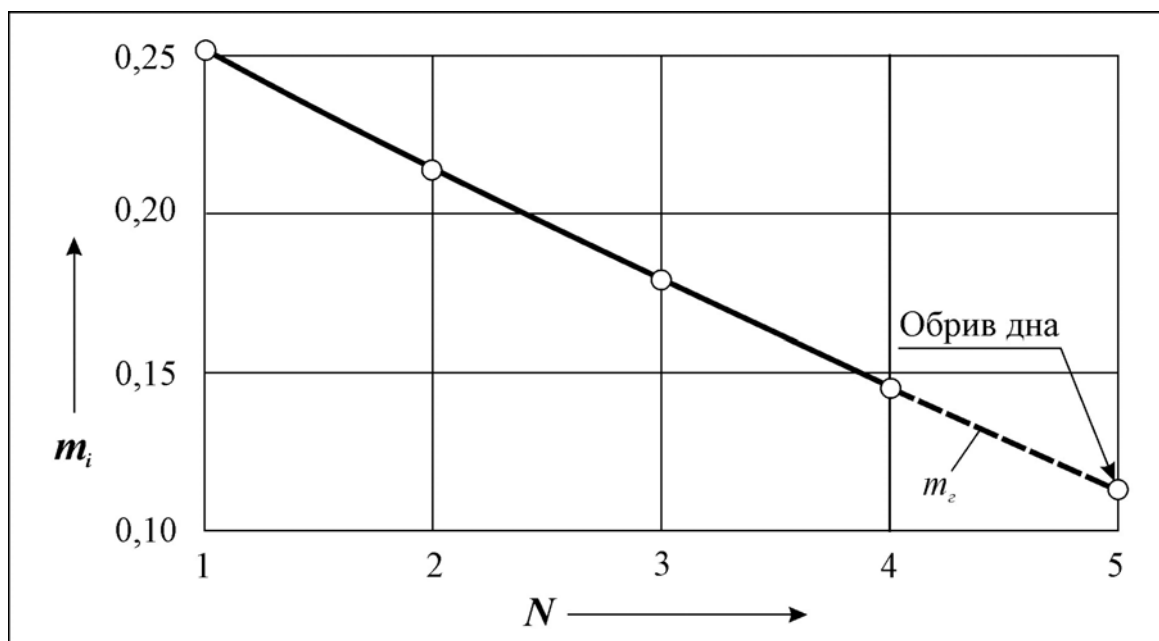


Рисунок 14 – Залежність коефіцієнта витягування  $m_i$  циліндричної деталі із металевої сітки від порядкового номеру витягування  $N$

Джерело: розроблено авторами

- із підвищенням порядкового номеру витягування  $N$ , відносна висота деталі  $h_o/d_c$  збільшується (рис. 15) з 1,17 (перше витягування) до 2,65 (четверте витягування), тобто в 2,3 рази;

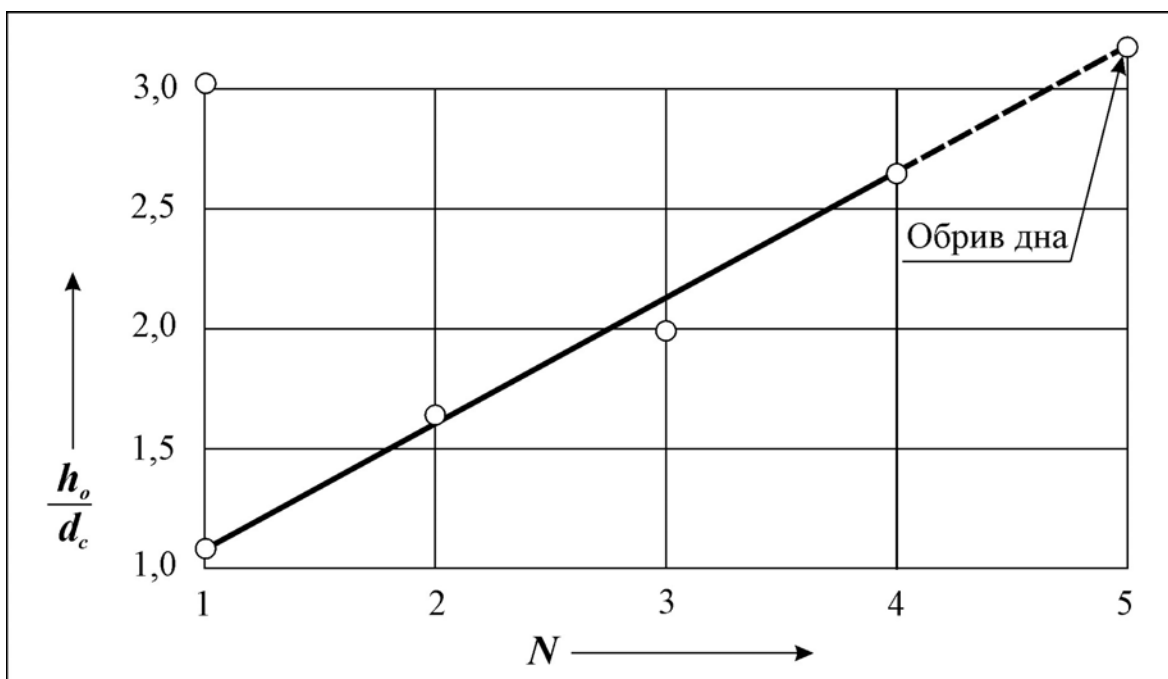


Рисунок 15 – Залежність відносної висоти циліндричної деталі із металевої сітки  $h_o/d_c$  від порядкового номеру витягування  $N$

Джерело: розроблено авторами

- при багатоопераційному витягуванні виявлено явище пружності дротів сітки, в наслідок чого бічна стінка деталі набуває викривлену, близьку до конічної форму. Ступень нахилу стінки оцінювали за кутом пружності  $\Delta\alpha$  (див. формулу 3 на рис. 16). В таблиці 10 наводяться результати розрахунку кута пружності  $\Delta\alpha$  за порядковим номером витягування  $N$ .

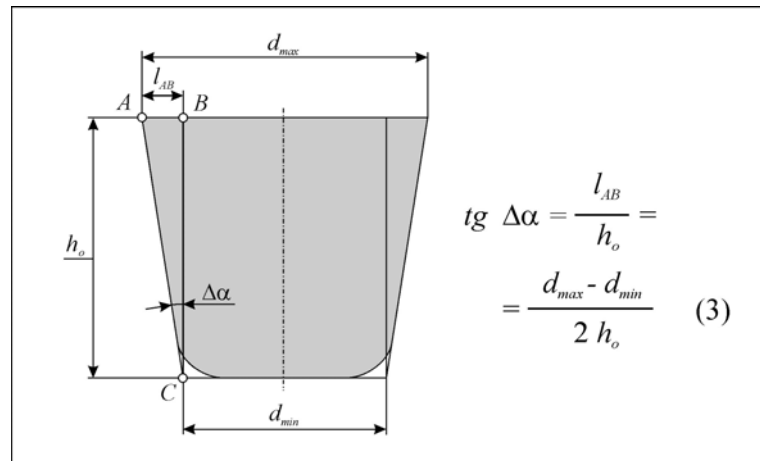


Рисунок 16 – До розрахунку кутів пружності  $\Delta\alpha$  за порядковим номером витягування  $N$   
Джерело: розроблено авторами

Таблиця 16 – Результати розрахунку кутів пружності  $\Delta\alpha$  за порядковим номером витягування  $N$

| Кут пружності $\Delta\alpha$ |                   |                   |                      |
|------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Перше витягування            | Друге витягування | Третє витягування | Четверте витягування |
| 5°43'                        | 4°32'             | 3°24'             | 2°51'                |

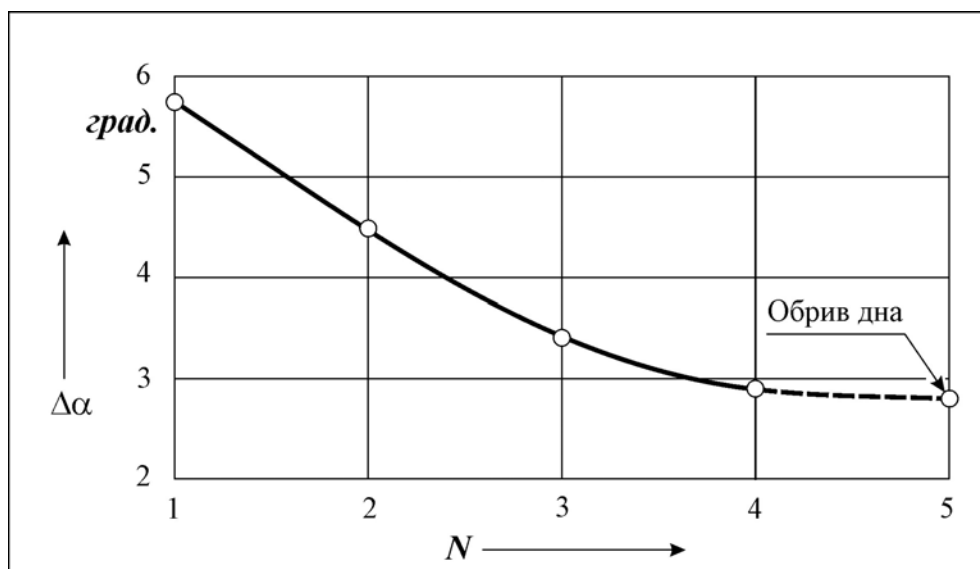


Рисунок 17 – Залежність кута пружності  $\Delta\alpha$  від порядкового номеру витягування  $N$   
Джерело: розроблено авторами

Як бачимо (рис. 17), із підвищенням порядкового номеру витягування  $N$ , кут пружності  $\Delta\alpha$  зменшується. Останнє пояснюється тим, що із підвищенням порядкового номеру витягування  $N$  ступень пластичної деформації деталі збільшується. В умовах експерименту кут пружності  $\Delta\alpha$  змінювався у межах від  $5^{\circ}43'$  до  $2^{\circ}51'$ .

Слід відмітити, що при витягуванні деталей із суцільного матеріалу кут пружності бічної стінки не спостерігається, але при гнутті – має місце.

Витягування циліндричних деталей із металевої сітки за своєю фізичною природою дуже схоже із гнуттям суцільної заготовки. Вся різниця в тому, що при витягуванні деталей із металевої сітки гнеться окремо кожен дріт сітки, а при гнутті суцільної заготовки – вся заготовки за шириною. Тому в першому випадку пружинить кожний дріт, а в другому – вся деталь.

Такі фізичні особливості витягування циліндричних деталей із металевої сітки припускають, що методи боротьби з кутом пружності аналогічні з відомими методами, які використовуються при гнутті суцільної заготовки.

**Новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком.** При експериментальному дослідженні багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком було виявлено дві форми неусталеності процесу.

Перша форма неусталеності процесу пов'язана з утворенням різних за висотою протилежних стінок деталі (рис. 18). Така нерівномірність викликана нерівномірним тертям заготовки об матрицю в протилежних частинах зазору між пуансоном та матрицею. Дана форма неусталеності кількісно характеризується кутом нахилу відкритого краю деталі  $\beta$  по відношенню до поверхні дна [див. формулу (4) на рис. 18]. В реальних умовах експерименту кут  $\beta$  змінювався в межах від  $0^{\circ}$  до  $25^{\circ}$ .

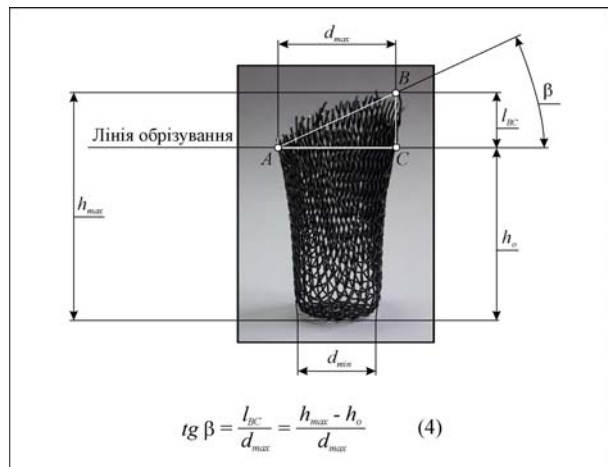


Рисунок 18 – До визначення кута нахилу відкритого краю деталі  $\beta$  по відношенню до поверхні дна

Джерело: розроблено авторами

Слід відмітити, що кут нахилу відкритого краю деталі  $\beta$  можна суттєво зменшити наступними прийомами:

- при витягуванні обов'язково змащувати мастилом матрицю. Мастило зменшує зусилля тертя заготовки об матрицю і тим самим сприяє зменшенню кута нахилу  $\beta$ ;
- застосовувати штампи з напрямними елементами, які забезпечують постійний зазор між матрицею та пуансоном. Останнє також зменшує зусилля тертя заготовки об матрицю і тим самим сприяє зменшенню кута нахилу  $\beta$ .

Друга форма неусталеності процесу виявлена у відомому способі витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком при другому та подальшому витягуванні. Вона проявляється в тому, що після витягування *періодично* (з періодичністю приблизно 50-60 випадків із 100) спостерігається асиметрична



деформація деталі, яка приводить до непоправного браку (рис. 19), а собівартість виготовлення придатної деталі витягуванням підвищується.

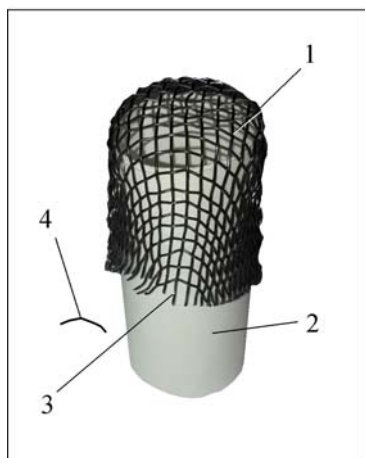
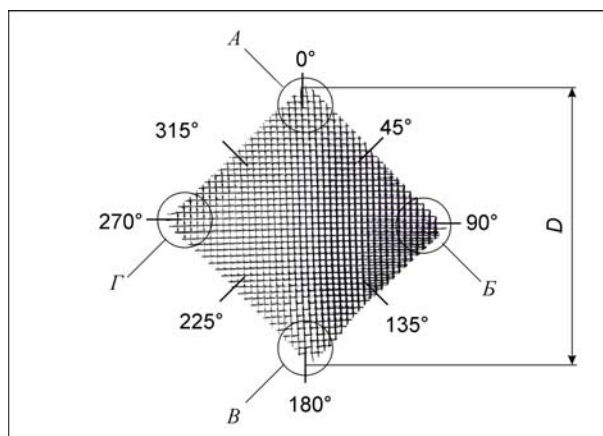


Рисунок 19 – Приклад асиметричної деформації деталі при витягуванні із металевої сітки  
Джерело: розроблено авторами

*A, B, B, Г* – зони з короткими дротами

Рисунок 20 – Фото квадратної вихідної заготовки із металевої сітки з квадратним вічком для багатоопераційного витягування циліндричних деталей

Джерело: розроблено авторами



1 – ковпачок із квадратної сітчастої вихідної заготовки;  
2 – оправлення із паперу; 3 – місце, з якого випав короткий дріт;  
4 – короткий дріт, що випав

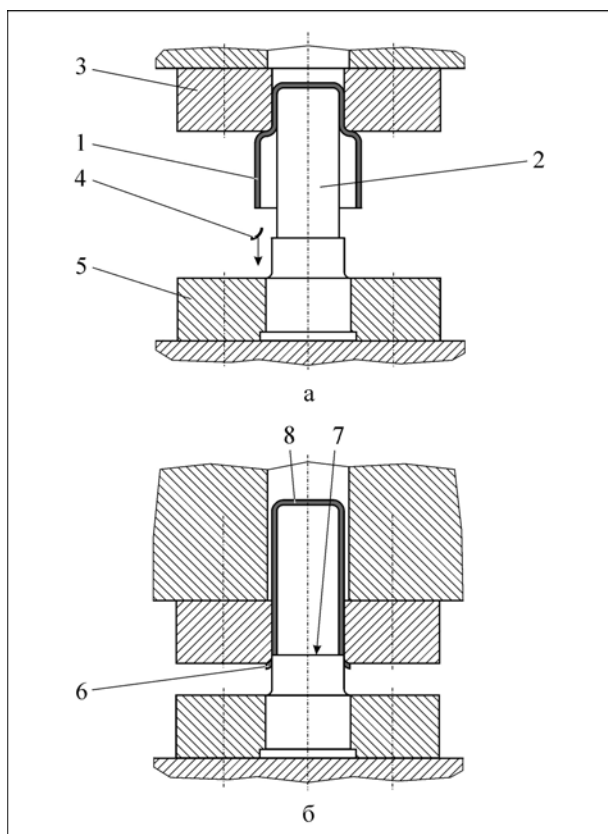
Рисунок 21 – Ковпачок з дротом, що випав  
Джерело: розроблено авторами

Крім того, у відомому способі для обрізування краю заготовки після витягування застосовують окремі додаткові засоби (пристрої або штампи), що також підвищують собівартість виготовлення деталей із металевої сітки з квадратним вічком.

**Новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком.** Задачею даного способу є зменшення собівартості виготовлення витягнутої деталі за рахунок створення таких умов штампування, при яких асиметрична деформація деталі (непоправний брак) не спостерігається, а окремі додаткові засоби при обрізуванні краю заготовки не використовуються.

Дана задача вирішується за рахунок того, що друге та подальше витягування здійснюють пуансоном, який закріплений в нижній нерухомій частині штампа, та матрицею, яка закріплена в верхній рухомій частині штампа, а обрізування краю заготовки – гострою ступінчастою частиною цього ж пуансона.

Для реалізації даного способу (рис. 22, а) заготовку 1 після першого витягування надягають на пуансон 2, який закріплений на нижній нерухомій частині штампа, і штампують. При ході повзуна преса вниз матриця 3 переміщується, витягує заготовку, тобто зменшує її діаметр та підвищує її висоту. При цьому, звичайно, короткий крайовий вигнутий дріт 4 від сітки, що погано тримається на периферійній частині заготовки 1, якщо відокремлюється від неї, то під дією гравітаційної сили падає вниз на пуансонотримач 5.



Такий спосіб штампування виключає можливість попадання дроту 4 в зазор між внутрішньою циліндричною поверхнею заготовки 1 та циліндричною (бічною) поверхнею пуансона 2.

При досяганні крайнього нижнього положення (рис. 22, б) матриця 3 обрізує залишкову частину 6 заготовки 1 завдяки наявності на пуансоні 2 гострої ступінчастої частини 7. Таким чином, спосіб реалізує і витягування (деталь 8), і обрізування (залишкова частина 6) за один хід інструмента.

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, зменшує собівартість виготовлення витягнутої деталі.

а – проміжна фаза штампування; б – кінцева фаза штампування

Рисунок 22 – Схема штампа для другого витягування циліндричної деталі із металевої сітки з квадратним вічком

Джерело: розроблено авторами

**Висновки.** На підставі теоретичних досліджень показано фізичні особливості досягання граничних значень коефіцієнтів багатоопераційного витягування. При певному (критичному) коефіцієнті заповнення дротами зазору, який відповідає граничному коефіцієнту витягування, тертя дротів в зазорі різко зростає, що викликає стрімке зростання зусилля витягування до рівня, коли дроти сітки, які його сприймають, не витримують та рвуться.

Встановлено, що із підвищенням порядкового номеру витягування  $N$ , коефіцієнт витягування  $m_i$  циліндричної деталі із металевої сітки безперервно зменшується з 0,252 (перше витягування) до 0,147 (четверте витягування). При  $m_i = 0,113$  (п'яте витягування) спостерігався відрив дна. Тому граничний коефіцієнт витягування  $m_c$  лежить в межах між четвертим та п'ятим витягуванням, тобто є справедливим вираз  $0,147 > m_c > 0,113$ . Показано, що із підвищенням порядкового номеру витягування  $N$ , відносна висота деталі  $h_o/d_c$  збільшується з 1,17 (перше витягування) до 2,65 (четверте витягування), тобто в 2,3 рази. При багатоопераційному витягуванні виявлено явище пружності дротів сітки, в наслідок чого бічна стінка деталі набуває викривлену, близьку до конічної форму. Показано, що із підвищенням порядкового номеру витягування  $N$ , кут пружності  $\Delta\alpha$  зменшується. Останнє пояснюється тим, що із підвищенням порядкового номеру витягування  $N$  ступень пластичної деформації деталі збільшується. В умовах експерименту кут пружності  $\Delta\alpha$  змінювався у межах від  $5^\circ 43'$  (перше витягування) до  $2^\circ 51'$  (четверте витягування). Виявлено, що витягування циліндричних деталей із металевої сітки за своєю фізичною природою схоже із гнуттям суцільної заготовки. Вся різниця в тому, що при витягуванні деталей із металевої сітки гнеться окремо кожен дріт сітки, а при гнутті суцільної заготовки – вся заготовки за шириною. Тому в першому випадку пружинить кожний дріт, а в другому – вся деталь. Такі фізичні особливості витягування циліндричних деталей із металевої сітки припускають, що методи боротьби з кутом пружності аналогічні з відомими методами, які використовуються при гнутті суцільної заготовки.

При експериментальному дослідженні багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком виявлено дві форми неусталеності процесу. Встановлено, що перша форма пов'язана з утворенням різних за висотою протилежних стінок деталі. Дана форма кількісно характеризується кутом нахилу відкритого краю деталі  $\beta$  по відношенню до поверхні дна. Запропоновано прийоми суттєвого зменшення кута  $\beta$ . Показано, що друга форма спостерігається при другому та подальшому витягуванні. Вона проявляється в тому, що після витягування періодично (з періодичністю приблизно 50-60 випадків із 100) відбувається асиметрична деформація деталі, яка приводить до непоправному браку, а собівартість виготовлення придатної деталі витягуванням підвищується. Встановлено, що причиною браку є попадання короткого дроту від заготовки в зазор між пуансоном та матрицею в момент витягування. Запропоновано новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком, який виключає можливість попадання дроту в зазор між внутрішньою циліндричною поверхнею заготовки та циліндричною (бічною) поверхнею пуансона. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, зменшує собівартість виготовлення витягнутої деталі за рахунок створення таких умов штампування, при яких асиметрична деформація деталі (непоправний брак) не спостерігається, а окремі додаткові засоби для обрізування краю заготовки не використовуються.

## Список літератури

1. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: учебник. 3-е изд. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. 432 с.
2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 60-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. 520 с.
3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. М.: Машиностроение, 1988. 496 с.

4. Орлюк М.В., Вишневецький П.С. Технологія холодного штампування та конструювання штампів: навч. посіб. Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 80 с
5. Боков В. М. Технологія холодного штампування: підручник . Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2021. 213 с.
6. Сетка для микрофона DPA microphones DUA0710N. URL: <https://muzline.ua/dpa-microphones-dua0710n/>
7. Боков В.М., Сіса О.Ф. Витягування циліндричних деталей із не суцільного матеріалу . *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник* . Вип. 51. 2021. С. 163-185.
8. Спосіб витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком: пат. 143027 Україна: МПК В26F 1/40, В21D 22/00 . № u201912214; заявл. 24.12.2019; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.
9. Запорожченко В. С., Боков В. М. Исследование работоспособности инерционного винтового пресса с ручным приводом . *Вісник СумДУ*. 2004. № 13 (72). С. 153-159.
10. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1980. 728 с.

## References

1. Zubcov, M.E. (1980). *Sheet stamping* . (3d ed.). Leningrad: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie [in Russian].
2. Romanovskij, V.P. (1979). *Cold Forging Handbook*. (60-d ed.). Leningrad: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie [in Russian].
3. Rudmana, L.I. (Eds.). (1988). *Die Builder's Handbook: Sheet Metal Stamping*. Moskow: Mashinostroenie [in Russian].
4. Orliuk, M.V., Vyshnevs'kyj, P.S. (2022). *Tekhnolohiia kholodnoho shtampuvannia ta konstruiuvannia shtampiv [Technology of cold stamping and design of stamps]*. Kyiv KPI im. Ihoria Sikors'koho [in Ukrainian].
5. Bokov, V.M. (2021). *Tekhnolohiia kholodnoho shtampuvannia [Cold stamping technology]*. Kropyvnyts'kyj: PP «Ekskliuzyv-System» [in Ukrainian].
6. Setka dlja mikroфона DPA microphones DUA0710N. *muzline.ua*. Retrieved from <https://muzline.ua/dpa-microphones-dua0710n/> [in Russian].
7. Bokov, V.M. & Sisa, O.F. (2021). Vytiahuvannia tsylindrychnykh detalej iz ne sutsil'noho materialu [Extrusion of cylindrical parts from non-solid material]. *Konstruiuvannja, vyrobnytctvo ta ekspluatacija sil'skohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 51*, 163-185 [in Ukrainian].
8. Pat. 143027 Ukraїna: MPK V26F 1/40, V21D 22/00 .Sposib vytiahuvannia tsylindrychnykh detalej iz ploskoї metalevoi sitky z kvadratnym vichkom [The method of extracting cylindrical parts from a flat metal grid with a square mesh]. No. u2019 12214; stated. December 24, 2019; has been published July 10, 2020, Bul. No. 13 [in Ukrainian].
9. Zaporozhchenko, V.S. & Bokov, V.M. (2004). Issledovanie rabotosposobnosti inercionnogo vintovogo pressa s ruchnym privodom . *Visnik SumDU – Bulletin of Sumy State University*, 13 (72), 153-159 [in Ukrainian].
10. Anur'ev, V.I. (1980). *Handbook of the mechanical engineering designer*. (Vols. 1-3; Vol.1). (5d ed.). Moskov: Mashinostroenie [in Russian].

**Victor Bokov**, Prof., PhD tech. sci., **Oleh Sisa**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Mirzak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Sviatskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vitaliy Shmelyov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukraine National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

## Physical Features of The Process of Multi-operation Extraction of Cylindrical Parts From a Metal Mesh

In modern mechanical engineering, a method of single-operation extraction of cylindrical parts from a metal grid with a square mesh is known, which, in particular, has found application for the manufacture of microphone casings. Further improvement of the technology of extracting parts from a metal mesh in the direction of increasing the relative height of the stamped part is associated with the use of a multi-operation method of extraction. The study of this process will allow to significantly reduce the limit coefficient of extraction and thereby significantly increase the relative height of the part. Therefore, the work aimed at

improving the technology of manufacturing parts from a metal mesh due to the use of a multi-operation method of extraction is an urgent scientific and practical task.

The purpose of the study is to improve the technology of manufacturing cylindrical parts from a metal mesh by using a multi-operation method of drawing.

The result of the work is the study of physical limitations that determine the limiting coefficient of multi-operational extraction of cylindrical parts from a metal mesh. The phenomenon of elasticity of the mesh wires was revealed, as a result of which the side wall of the part acquires a curved, close to conical shape. The physical similarity between the process of deformation of a single wire of a metal mesh during multi-operation drawing and the process of bending a flat workpiece is shown, which allows determining the technological effort of each drawing operation using formulas for calculating the bending force.

In addition, two forms of instability of the process of multi-operational drawing of cylindrical parts from a metal grid with a square mesh were revealed, and a new method of drawing was proposed, which creates such stamping conditions, in which asymmetric deformation of the part (irreparable defect) is not observed, and separate additional means for cutting the edge of the stamped parts are not used.

**multi-operation drawing of cylindrical parts, metal grid, square workpiece, drawing limit coefficient, drawing method**

*Одержано (Received) 25.08.2022*

*Прорецензовано (Reviewed) 14.09.2022*

*Прийнято до друку (Approved) 26.12.2022*