

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри ММР

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Удосконалення технології витягування деталей
із металевої сітки»
«Improvement of the technology of extracting parts from a
metal grid»

Виконав здобувач вищої освіти

II курсу, групи ОТ-21 М 1,4

спеціальності 131

«Прикладна механіка»,

_____ Родін Д. О.

1 грудня 2022 р.

Керівник проекту

канд. техн. наук, доцент

_____ Олег СІСА

1 грудня 2022 р.

Рецензент

канд. техн. наук, доцент

_____ Віктор ПУКАЛОВ

30 листопада 2022 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
 Факультет: Механіко-технологічний
 Кафедра: «Машинобудування, мехатроніка і робототехніка»
 Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
 Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
 Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»
 Освітньо-професійна програма: «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Зав. кафедри ММР
 канд. техн. наук, доцент
 _____ Андрій Гречка
 26 серпня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
 ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
 Родіну Дмитру Олександровичу**

1. Тема роботи: «Удосконалення технології витягування деталей із металевої сітки».
2. Керівник роботи: Сіса Олег Федорович, к. т. н., доцент.
3. Строк подання роботи до захисту: 1 грудня 2022 р.
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.
 Мета: удосконалення технології виготовлення деталей із металевої сітки за рахунок використання багатоопераційного способу витягування.
 Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; виконати експериментальні дослідження та провести аналіз отриманих результатів; виконати розрахунки з економічної частини.
5. Консультант по роботі, із зазначенням розділу роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 5 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., к. т. н., ст. викл.	3.09.2022 р.	24.11.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2022 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	3.10.2022 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	15.11.2022 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	1.12.2022 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	12.12.2022 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	14.12.2022 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	23.12.2022 р.	

Дата видачі завдання
29 серпня 2022 р.

Підпис керівника
_____ Сіса О. Ф.

Завдання прийнято до виконання
29 серпня 2022 р.

Підпис здобувача
_____ Родін Д. О.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1. Аналіз способів витягування деталей із суцільної заготовки	11
1.2. Особливості витягування деталей із металевої сітки	16
1.3. Узагальнення результатів огляду сучасних способів витягування деталей та обґрунтування напрямку досліджень	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	22
2.1. Вивчення фізичного механізму витягування високої циліндричної деталі із металевої сітки	22
2.2. Методика експериментального дослідження	31
2.3. Експериментальне обладнання та оснащення	32
2.4. Матеріали, зразки та вимірювальний інструмент..	38
2.5. Техніка безпеки при експериментальному дослідженні	38
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАНИЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО ВИТЯГУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ДЕТАЛІ ІЗ МЕТАЛЕВОЇ СІТКИ ...	40
3.1. Результати дослідження	40
3.2. Обговорення результатів дослідження	45
3.3. Висновки	49
РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИТЯГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ МЕТАЛЕВОЇ СІТКИ	51
4.1. Сутність проблеми витягування та обрізування деталі	51
4.2. Новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком	55
4.3. Висновки	57
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	59
5.1. Економічна ефективність запропонованої технології витягування деталей із металевої сітки	59

ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТКИ	69
Д1. ДОС12923.00. Експериментальний штамп (специфікація)	70
Д2. ДОС12923.00 СК. Експериментальний штамп (загальний вид)	71
Д3. ДОС12923.01. Пуансон	72
Д4. ДОС12923.02. Матриця	73
Д5. Довідка про участь у науково-технічній конференції	75
Д6. Опис до патенту на корисну модель	76

АНОТАЦІЯ

Родін Д. О. «Удосконалення технології витягування деталей із металевої сітки», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Прикладна механіка», Центрально-український національний технічний університет, Кропивницький, 2022 рік.

Метою дослідження є удосконалення технології виготовлення деталей із металевої сітки за рахунок використанням багатоопераційного способу витягування.

Удосконалено спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком. Показано, що друге та подальше витягування доцільно здійснювати 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. Це створює такі умови штампування, при яких не спостерігається асиметрична деформація деталі, а окремі додаткові засоби для обрізування краю заготовки не використовуються.

Запропоновано новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком (патент на корисну модель UA 152151), який порівняно з відомим, зменшує її собівартість штампування в 1,5-2 рази. При якому 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. Такий спосіб штампування виключає можливість попадання дроту в зазор між внутрішньою циліндричною поверхнею заготовки та циліндричною (бічною) поверхнею пуансона.

витягування, кругла заготовка, квадратна заготовка, металева сітка з квадратним вічком, перфорована заготовка, коефіцієнт витягування, зусилля витягування

ANNOTATION

Rodin D. O. "Improvement of the technology of extracting parts from a metal grid", speciality 131 "Applied Mechanics", EP - "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2022.

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

The method of extracting cylindrical parts from a metal grid with a square mesh has been improved. It is shown that the second and subsequent drawing is expedient to be carried out with a punch fixed in the lower stationary part of the stamp and a matrix fixed in the upper movable part of the stamp, and the cutting of the edge of the workpiece is done with the sharp stepped part of the same punch. This creates such stamping conditions, under which asymmetric deformation of the part is not observed, and separate additional means for trimming the edge of the workpiece are not used.

A new method of extracting cylindrical parts from a metal mesh with a square mesh (patent UA 152151) is proposed, which, compared to the known method, reduces its stamping cost by 1.5-2 times. In which the second and subsequent drawing is carried out with a punch that is fixed in the lower stationary part of the stamp and a matrix that is fixed in the upper movable part of the stamp, and the cutting of the edge of the workpiece is done with the sharp stepped part of the same punch. This method of stamping eliminates the possibility of the wire getting into the gap between the inner cylindrical surface of the workpiece and the cylindrical (side) surface of the punch.

drawing, round workpiece, square workpiece, metal grid with square mesh, punched workpiece, drawing index, drawing force

ВСТУП

Актуальність теми

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. 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 [2]. 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 роботи [3], 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 та задачі дослідження

Мета дослідження – удосконалення технології виготовлення деталей із металевої сітки за рахунок використання багатоопераційного способу витягування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз, узагальнити результати огляду сучасних способів витягування циліндричних деталей із дном та обґрунтувати напрямок досліджень;
- вивчити фізичний механізм витягування високої циліндричної деталі із металевої сітки;
- розробити методику експериментального дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування циліндричної деталі із металевої сітки;
- виконати експериментальне дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування циліндричної деталі із металевої сітки;
- запропонувати новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є спосіб витягування циліндричних деталей. Предмет дослідження – спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком.

Наукова новизна одержаних результатів

Удосконалено спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком. Показано, що друге та подальше витягування доцільно здійснювати 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. Це створює такі умови штампування, при яких не спостерігається асиметрична деформація деталі (непоправний брак), а окремі додаткові засоби для обрізування краю заготовки не використовуються.

Практичне значення отриманих результатів

Запропоновано новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком, який порівняно з відомим, зменшує її собівартість штампування в 1,5-2 рази.

Апробація результатів роботи

Основні положення та результати магістерської роботи повідомлені і обговорені на LVІ науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти приуроченій Дню науки – 2022 р. в ЦНТУ.

Публікації

За результатами роботи був отриманий патент на корисну модель «Спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком»: пат. 152151 Україна: МПК В21F 27/12, В26F 1/40, В21D 22/00 / Боков В. М., Родін Д. О., Сіса О.Ф., Мірзак В.Я.; власник Центральноукраїнський національний технічний університет. – u202201300; заявл. 19.04.2022; опубл. 02.11.2022, Бюл. № 44.

Розділ 1

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ
ДОСЛІДЖЕННЯ****1.1. Аналіз способів витягування деталей із суцільної заготовки**

В сучасному машинобудуванні для виготовлення циліндричних порожнистих деталей із дном використовуються різноманітні способи. Найбільш поширеним із них є спосіб витягування [1-5], який здійснюється із листової заготовки.

Під витягуванням розуміють утворення порожнистої заготовки (виробу) із плоскої (перше витягування) або порожнистої (друге та подальше витягування) вихідної листової заготовки. Вказане перетворення відбувається головним чином за рахунок пластичної деформації частини заготовки – фланцю (рис. 1, а), що знаходиться у зіткненні з плоским торцем матриці 1 та на її округленої кромці з радіусом r_m . Інша частина заготовки переважно деформується пружно або отримує невеликі пластичні деформації. Під дією пуансона 3 середня частина заготовки вдавлюється в отвір матриці. Поступово із плоскої заготовки діаметром D_3 утворюється циліндрична деталь із дном з середнім діаметром d_1 . У фланці з'являються напруження σ_r , що розтягають та діють у радіальних напрямках, та напруження σ_θ , що стискають та діють в тангенціальних напрямках (рис. 1, б). Найбільша напруга $\sigma_{r \max}$, яку може сприйняти матеріал заготовки без руйнування, визначає межу можливість витягування.

Фланець заготовки під дією напружень σ_θ , що стискають, може втратити усталеність. Тому при певних співвідношеннях D_3 та d_1 застосовують притиск заготовки притискачем 2 зусиллям $P_{пр}$, яке

виключає можливість втрати усталеності фланцю, але внаслідок додаткового тертя, збільшує фактичне значення σ_p .

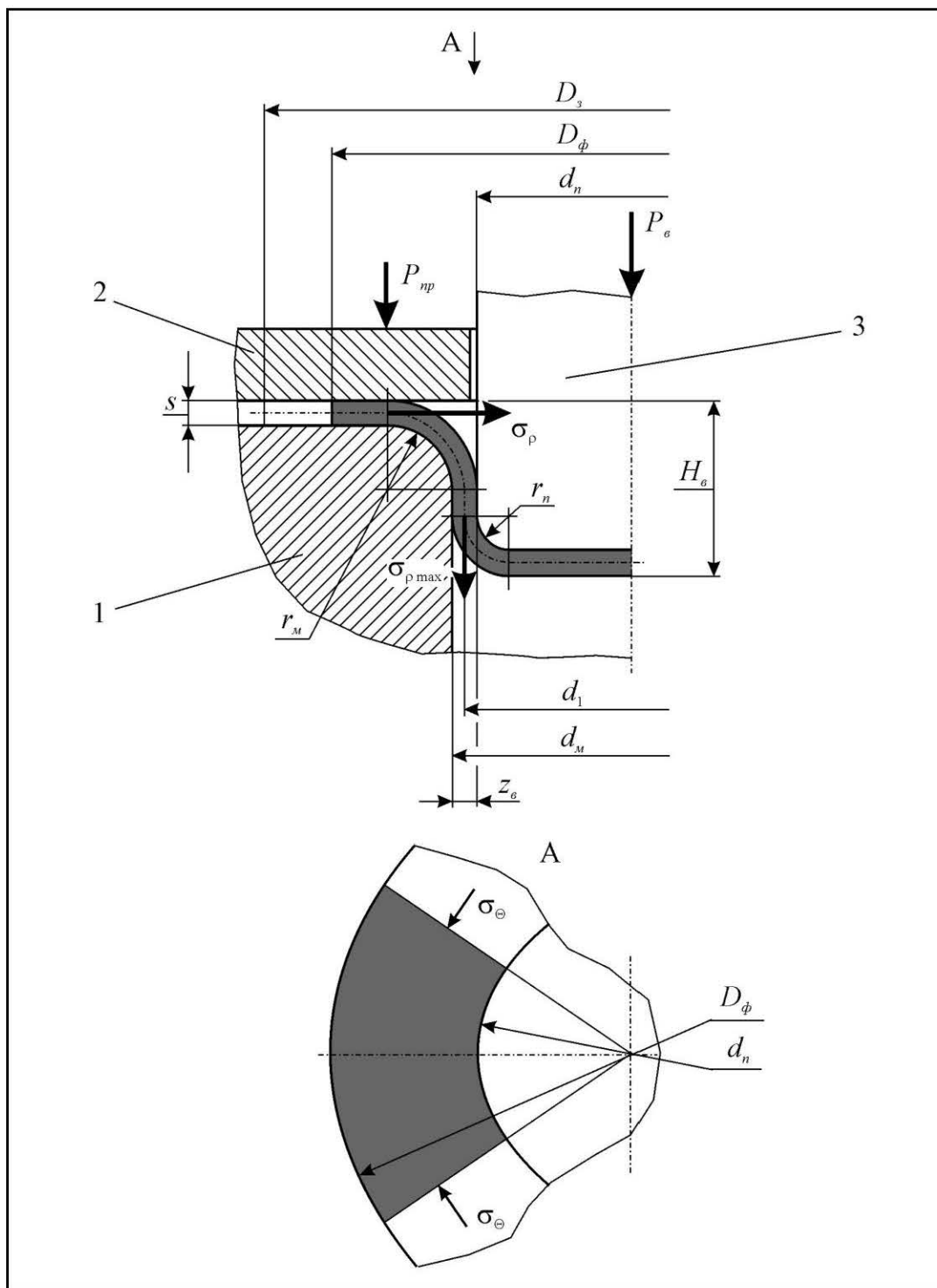


Рис. 1.1. Схема витягування циліндричної порожнистої деталі із плоскої заготовки (перше витягування): 1 – матриця; 2 – притискач; 3 – пуансон

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 $H/d > 1$).

Можливість витягування за одну технологічну операція за Романовським В. П. [2] визначається граничним коефіцієнтом витягування m_c , який є кількісним показником даного процесу. Його експериментально встановлюють за формулою:

$$m_c = \frac{d_c}{D}, \quad (1.1)$$

де d_c – середній діаметр витягнутого ковпачка, мм (див. рис. 1.2);

D – діаметр вихідної заготовки, мм. Оскільки чисельник формули (1.1) завжди менше знаменника, граничний коефіцієнт витягування m_c менше одиниці, але більше нуля (рис. 1.3).



Рис. 1.2. До визначення коефіцієнта витягування

Граничний коефіцієнт витягування m_c ділить відстань між нулем та одиницею на дві зони. В зоні 1 розрахункове значення коефіцієнта витягування m_1 більше або дорівнює граничному значенню m_c ($m_1 \geq m_c$), а

процес витягування відбувається при відносно невеликому зусиллі та напруженню розтягання в критичному перерізі виробу (на межі між донною та бічною поверхнями). Тому в зоні 1 витягування можливе. В зоні 2 розрахункове значення коефіцієнта витягування m_2 менше граничного значення m_c ($m_2 < m_c$), а процес витягування відбувається при відносно невеликому зусиллі та напруженню розтягання в критичному перерізі виробу. Тому в зоні 2 витягування не можливе: спостерігається відрив дна.

За даними робіт [2, 3], одноопераційний спосіб витягування з притиском фланця дозволяє знизити граничний коефіцієнт витягування m_c до 0,48, а за деякими джерелами тільки до 0,6 і тим самим підвищити висоту ковпачка H до одного діаметра d , тобто коли його відносна висота $H/d \leq 1$.

Подальше підвищення висоти ковпачка пов'язано з використанням **багатоопераційного способу витягування**.

При багатоопераційному способі витягуванні процес штампування здійснюється дискретно та послідовно в напрямку підвищення висоти ковпачка. Якщо відомі критичні коефіцієнти витягування для першої та подальших операцій, діаметри напівфабрикатів за переходами витягування легко визначаються за залежностями (рис. 1.3):

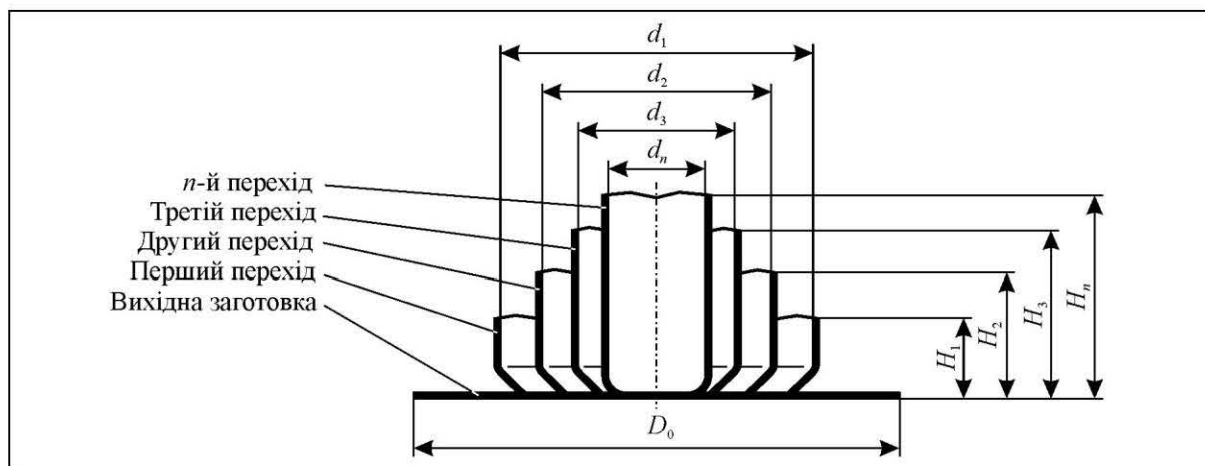


Рис. 1.3. До визначення числа переходів (операцій) витягування

$$d_1 = \frac{D_0}{K_1} ; \quad d_2 = \frac{d_1}{K_2} ; \quad d_3 = \frac{d_2}{K_3} = \frac{D_0}{K_1 K_2 K_3} \quad (3.15)$$

Ураховуючи, що при витягуванні без між операційних відпалів $K_2 \approx K_3 \approx \dots \approx K'$,

$$d_2 = \frac{D_0}{K_1 K'} ; \quad d_3 = \frac{D_0}{K_1 (K')^2} ; \quad d_N = \frac{D_0}{K_1 (K')^{N-1}} , \quad (3.16)$$

де N – число операцій (переходів) витягування.

Більш точно K' визначають як середнє значення коефіцієнтів:

$$K' = \frac{K_2 + K_3 + \dots + K_N}{N-1} .$$

Після логарифмування рівняння (3.16), маємо наступну формулу для розрахунку числа операцій:

$$N = 1 + \frac{\lg d_N - \lg \left(\frac{D_0}{K_1} \right)}{\lg \left(\frac{1}{K'} \right)} . \quad (3.17)$$

Радіус округлення матриці приймають 6... 10 товщин.

При багатоопераційному витягуванні кожна операція реалізується на окремому штампі, а кількість операцій може бути більше п'яти. Більш того, заготовка в процесі багатоопераційного витягування загартовується і для поновлення своїх пластичних властивостей потребує від одного до декілька відпалів. Саме тому даний спосіб є багатокоштовний.

Висота циліндричної порожнистої деталі, отриманої даним способом, як правило, не перевершує трьох діаметрів, тобто його відносна висота $H/d \leq 3$.

1.2. Особливості витягування деталей із металевої сітки

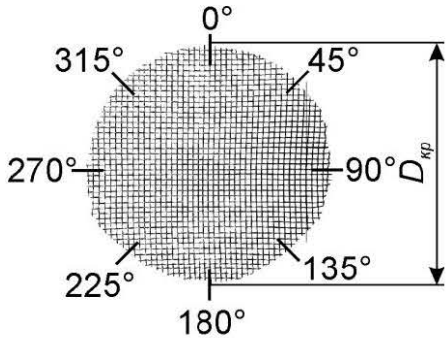
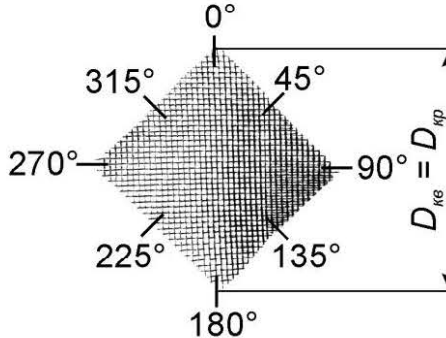
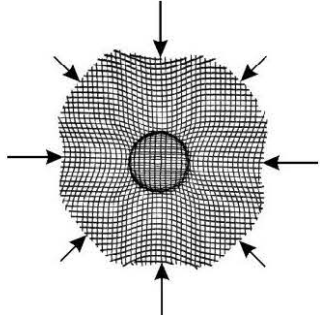
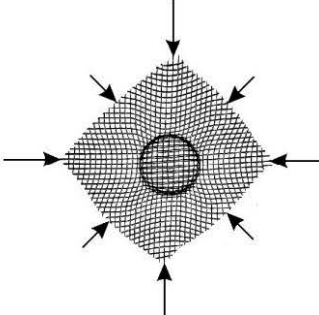
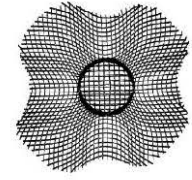
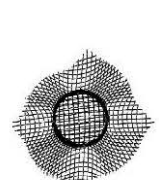
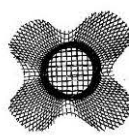
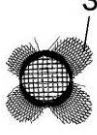
Недоліком способу витягування із листової заготовки є те, що отримані їм циліндричні порожнисті деталі не можуть використовуватися як кожуха для огороження характерних місць виробів (наприклад, механізмів, що обертаються, або робочих частин мікрофонів) із за відсутності отворів в бічних стінках та дні ковпачка, які потрібні для повітряного зв'язку внутрішньої частини виробу із зовнішньою.

В цьому зв'язку певний науковий та практичний інтерес представляє можливість використання для витягування в якості матеріалу вихідної заготовки металевої сітки. Відомо, що даний спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком 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 роботи [7], де показана доцільність використання плоскої квадратної заготовки [8]. Останнє підтверджується таблицею 1.1, де наводяться результати порівнювального аналізу зміни форми фланцю в процесі витягування ковпачка із круглої та квадратної сітчастих вихідних заготовок.

Таблиця 1.1

Морфологія зміни форми фланцю в процесі витягування ковпачків із круглої та квадратної сітчастих вихідних заготовок

Висота ковпачка h , мм	Фото форми фланцю	
	Кругла заготовка	Квадратна заготовка
0 (вихідна заготовка)	1.1 	2.1 
10	1.2 	2.2 
20	1.3 	2.3 
30	1.4 	2.4 
40	1.5 	2.5 

Як бачимо, в процесі витягування циліндричного ковпачка із круглої заготовки (фрагмент 1.1) спостерігається інтенсивне симетричне осьове

втягування у матрицю сітки у напрямках, що співпадають з напрямками дротів в сітці (кути 0° , 90° , 180° , 270°). В той же час у напрямках, що відповідають кутам 45° , 135° , 225° , 315° , сітка одночасно втягується в матрицю та деформується (кожне вічко сітки в напрямку втягування в матрицю подовжується). Тому інтенсивність втягування периферії заготовки в матрицю зменшується (фрагменти 1.2 – 1.4). В наслідок даного явища круглий початковий контур вихідної заготовки поступово викривляється і на фланці утворюється «залишок» (фрагмент 1.5), який не використовується і підлягає обрізуванню. В процесі витягування циліндричного ковпачка із квадратної заготовки (фрагмент 2.1) також спостерігається інтенсивне симетричне осьове втягування у матрицю сітки у напрямках, що співпадають з напрямками дротів в сітці (кути 0° , 90° , 180° , 270°). В той же час у напрямках, що відповідають кутам 45° , 135° , 225° , 315° , сітка також одночасно втягується в матрицю та деформується (кожне вічко сітки в напрямку втягування в матрицю подовжується). Тому інтенсивність втягування периферії заготовки в матрицю зменшується (фрагменти 2.2 – 2.4). В наслідок даного явища квадратний початковий контур вихідної заготовки поступово перетворюється у круглий, а «залишок» на фланці практично не утворюється (фрагмент 2.5).

Таким чином, витягування із квадратної сітчастої вихідної заготовки дозволяє на 35-40 % зменшити собівартість штампування деталей за рахунок зменшення площі вихідної заготовки.

Крім того, в роботі [7] показано, що із підвищенням діаметру (розміру) вихідної заготовки D мінімальна висота ковпачка h_{min} зростає, але до певної межі (таблиця 1.2). Дана межа визначається граничним значенням коефіцієнта витягування, який найменший для квадратної заготовки із сітки (таблиця 1.3, значення $m_c = 0,242$).

Таблиця 1.2

Результати експериментально-аналітичного визначення граничних коефіцієнтів витягування циліндричних ковпачків діаметром $d_c = 29$ мм із сітчастої заготовки

Діаметр (розмір) вихідної заготовки D , мм	Коефіцієнт витягування $m = d_c / D$	Висота витягнутого ковпачка h_{min} , мм		
		Кругла вихідна заготовка із листової сталі 08	Кругла вихідна заготовка із металевої сітки	Квадратна вихідна заготовка із металевої сітки
50	0,580	15	12	6
55	0,527	17	14	9
60	0,483	20	16	13
65	0,446	Обрив дна	18	15
70	0,414	-	21	20
75	0,387	-	23	22
80	0,362	-	27	24
85	0,341	-	31	27
90	0,322	-	33	29
95	0,305	-	34	33
100	0,290	-	35	35
105	0,276	-	36	37
110	0,264	-	38	40
115	0,252	-	40	43
120	0,242	-	Обрив дна	45
125	0,232	-	-	Обрив дна

Таблиця 1.3

Порівнювальний аналіз процесу та граничних коефіцієнтів витягування циліндричних ковпачків із різних вихідних заготовок

Вихідна заготовка		Граничний коефіцієнт витягування m_c		Площа вихідної заготовки при $h_{min} = 20$ мм, F , мм ²
		Реальний	Відносний	
Матеріал	Форма			
Листова сталь 08	Кругла	0,483	1	При $D = 60$ мм: 2826
Металева сітка	Кругла	0,252	0,52	При $D = 67$ мм: 3524
Металева сітка	Квадратна	0,242	0,50	При $D = 73$ мм: 2664

1.3. Узагальнення результатів огляду сучасних способів витягування деталей та обґрунтування напрямку досліджень

Із викладеного вище виходить, що технічним обмеженням використання способу одноопераційного витягування деталей із металевої сітки в напрямку підвищення відносної висоти відштампованої деталі є граничний коефіцієнт витягування. При коефіцієнті витягування менше граничного спостерігається відрив дна.

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 дослідження – удосконалення технології виготовлення деталей із металевої сітки за рахунок використання багатоопераційного способу витягування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз, узагальнити результати огляду сучасних способів витягування циліндричних деталей із дном та обґрунтувати напрямки досліджень;

- обґрунтувати технологічну послідовність витягування високої циліндричної деталі із металевої сітки;
- розробити методику експериментального дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування циліндричної деталі із металевої сітки;
- виконати експериментальне дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування циліндричної деталі із металевої сітки;
- запропонувати новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком.

Розділ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ**2.1. Вивчення фізичного механізму витягування високої
циліндричної деталі із металевої сітки**

Для подальшого удосконалення технології витягування деталей із металевої сітки, в напрямку підвищення відносної висоти відштампованої деталі, у рамках даної роботи вивчався спосіб багатоопераційного витягування.

На підставі теоретичних досліджень можна стверджувати, що фізичні механізми досягання граничних значень коефіцієнтів одноопераційного та багатоопераційного витягування різні.

Так, при **одноопераційному витягуванні** він пов'язаний 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 механізмів 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. 2.1). Результати підрахунку наведені в таблиці 2.1;

Таблиця 2.1

Результати підрахунку кількості дротів сітки на контурах $A-E$

Вид контуру	Кількість дротів на контурі, шт.
Контур A (вихідна заготовка)	$n_A = 180$
Контур B ($\varnothing 29$ мм)	$n_B = 44$
Контур B ($\varnothing 25$ мм)	$n_B = 40$
Контур Γ ($\varnothing 21$ мм)	$n_\Gamma = 36$
Контур D ($\varnothing 17$ мм)	$n_D = 28$
Контур E ($\varnothing 13$ мм)	$n_E = 20$

- розрахунок площі дротів сітки на контурах $A-E$, що сприймають навантаження при витягуванні. Результати розрахунку наведені в таблиці 2.2;

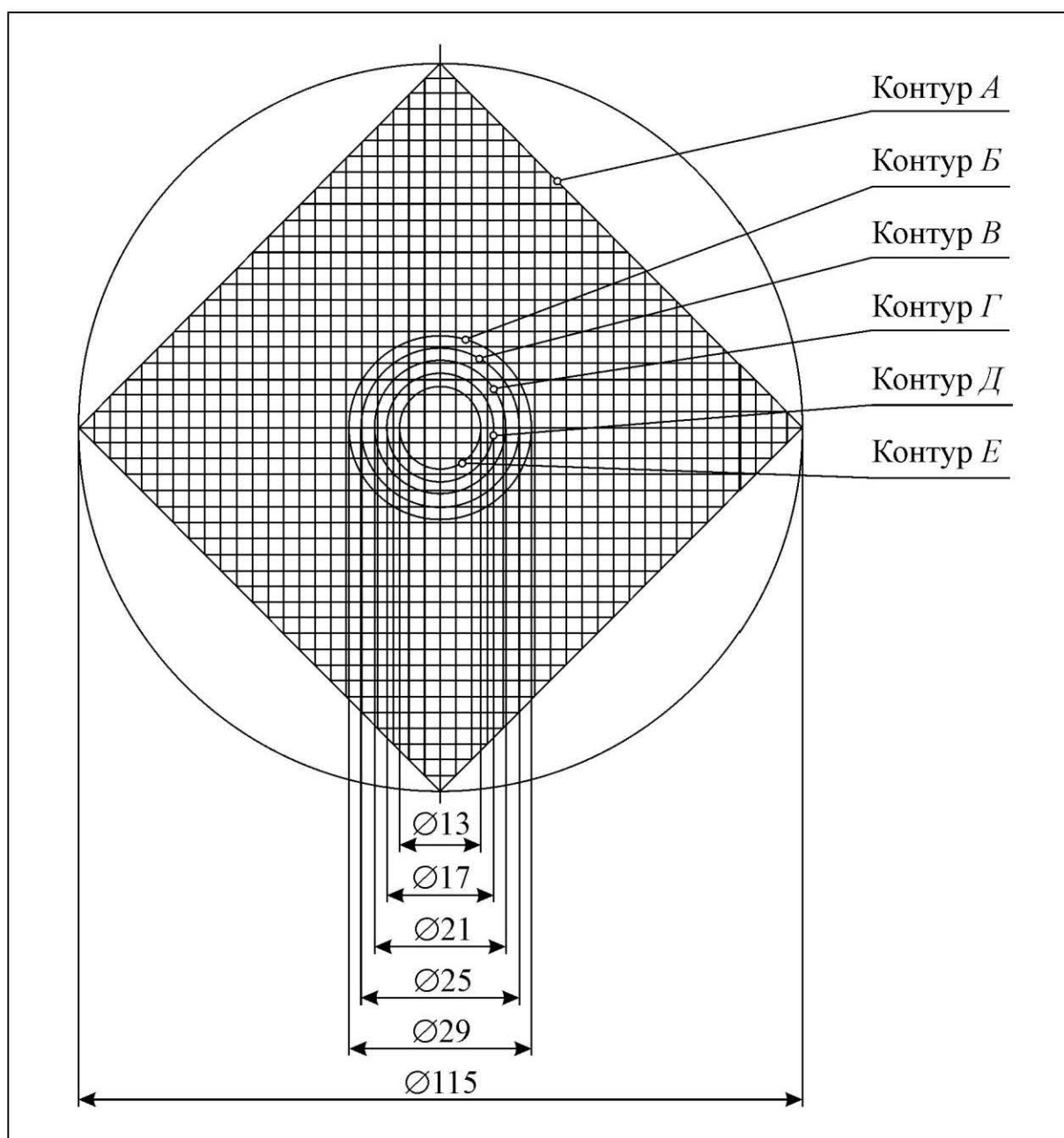


Рис. 2.1. Схема до визначення кількості перетинання осей дротів сітки з контурами А-Е:

- контур А – вихідна заготовка, $D_3 = 115$ мм;
- контур Б – перше витягування, $\varnothing 29$ мм;
- контур В – друге витягування, $\varnothing 25$ мм;
- контур Г – третє витягування, $\varnothing 21$ мм;
- контур Д – четверте витягування, $\varnothing 17$ мм;
- контур Е – п'яте витягування, $\varnothing 13$ мм

Таблиця 2.2

Результати розрахунку площі дротів сітки на контурах А-Е

Вид контуру	Площа дротів на контурі, мм ² *
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 ²	

- розрахунок площі перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають контурам В-Е. Результати розрахунку наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

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

Номер операції витягування	Площа перерізів F_i , мм ²
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 наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

**Результати розрахунку коефіцієнта k_i заповнення дротами сітки
перерізів зазорів між пуансоном та матрицею, що відповідають
контурам $B-E$**

Номер операції витягування	Коефіцієнт $k_i = F_A \cdot 100 / F_i, \%$
Перше витягування (контур B)	$k_B = 45 \cdot 100 / 104,18 = 43,19$
Друге витягування (контур B)	$k_B = 45 \cdot 100 / 89,73 = 50,15$
Третє витягування (контур Γ)	$k_\Gamma = 45 \cdot 100 / 75,29 = 59,77$
Четверте витягування (контур D)	$k_D = 45 \cdot 100 / 60,84 = 73,96$
П'яте витягування (контур E)	$k_E = 45 \cdot 100 / 46,40 = 96,98$

- розрахунок (оцінка) зусиль за операціями витягування:

друге витягування. Зусилля другого витягування визначаємо за формулою Рудмана Л. І. для вільного гнуття (2.1) [3, с. 211, ф-ла 35], беручи до уваги, що кожен дріт сітки деформується окремо, а кількість кутів гнуття на кожному дроті дорівнює двом:

$$P_{\sigma(2)} = B_z \cdot s \cdot \kappa_z \cdot \sigma_\sigma \cdot c, \quad (2.1)$$

де B_z – сума довжин лінії гнуття

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

s – діаметр дроту сітки. $s = 0,5 \text{ мм}$;

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

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

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

Тоді:

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

третє витягування. Зусилля третього витягування визначаємо за аналогічною методикою

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

четверте витягування. Зусилля четвертого витягування визначаємо за аналогічною методикою

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

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

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

- визначення відстані l_{∂} , що відповідає щільному дворядному упакованні дротів в зазорі між пуансоном та матрицею за формулою

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

- 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 $l_\partial > l_E$, 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_ε ;

- розрахунок міцності дротів в контурах заготовки $B-E$, які сприймають навантаження при витягуванні:

зусилля P_B , що витримують дроти в контурі B визначаємо за формулою

$$P_B = F_\partial \cdot n_B \cdot \sigma_\varepsilon,$$

де F_∂ – 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. 2.1);

σ_ε – межа міцності матеріалу сітки. Для латуні Л80 $\sigma_\varepsilon = 370$ 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 B 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 G 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 D визначаємо за аналогічною методикою

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

зусилля P_E , що витримують дроти в контурі E визначаємо за аналогічною методикою

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

- розробка графічної залежності зусилля витягування P_e , зусилля міцності дротів в критичному перерізі P_∂ та реального зусилля витягування P_p , що ураховує скупчення дротів в зазорі між матрицею та пуансоном (крива 3), від порядкового номеру витягування N (рис. 2.2).

Залежність $P_e = f(N)$ (див. криву 1) показує, що із підвищенням порядкового номеру витягування зусилля витягування зменшується і є мінімальним ($P_e = 29,6 \text{ кг}$) при п'ятому витягуванні.

Із залежності $P_\partial = f(N)$ (див. криву 2) 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 $P_p = f(N)$ (див. криву 3) демонструє картину, що відбувається при критичному скупченні дротів в зазорі: зростає тертя дротів в зазорі, а отже опір проптовхування ковпачка крізь матрицю; реальне зусилля миттєво зростає, досягає значення, що відповідає межі міцності дротів ($P_p = P_\delta = 145$ кг) і дроти обриваються.

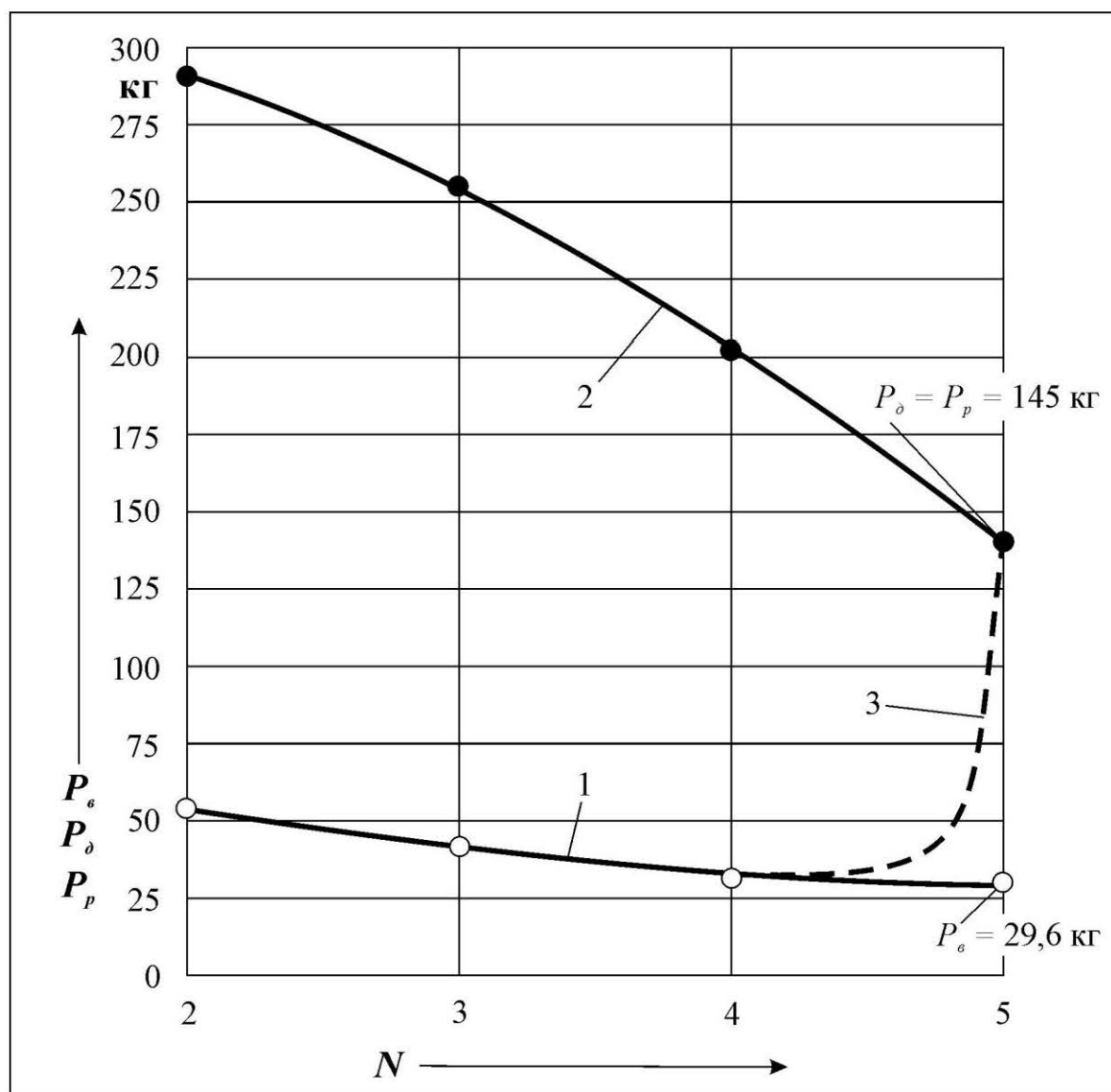


Рис. 2.2. Залежності зусилля витягування P_e (крива 1), зусилля міцності дротів в критичному перерізі P_δ (крива 2) та реального зусилля витягування P_p , що ураховує скупчення дротів в зазорі між матрицею та пуансоном (крива 3), від порядкового номеру витягування N

Як бачимо, критичний коефіцієнт багатоопераційного витягування деталей із металевої сітки з квадратним вічком m_c визначається процесом підвищення коефіцієнта k_i заповнення зазору між пуансоном та матрицею дротами сітки до критичної межі (див. таблицю 2.4).

2.2. Методика експериментального дослідження

Методика експериментального дослідження передбачала визначення критичного коефіцієнта багатоопераційного витягування m_c шляхом послідовного штампування.

Якщо в попередній роботі [7] коефіцієнт витягування у виразі (1.1) 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_i 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 1.1), а висота деталі зростає.

Так:

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

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

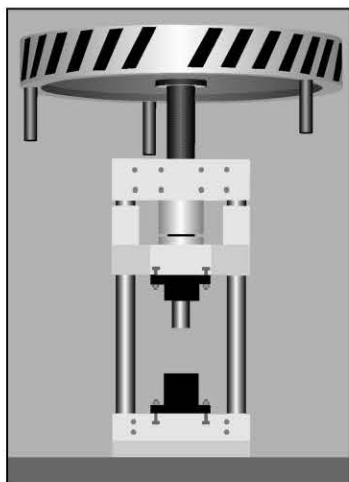
- при третьому витягуванні $m_3 = \frac{d_3}{D_3} = \frac{21}{114} = 0,184;$

- 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_2 .

2.3. Експериментальне обладнання та оснащення



Багатоопераційне витягування заготовок здійснювали з використанням малогабаритного інерційного гвинтового пресу зусиллям 100 кН с ручним приводом маховика (рис. 2.3) [9].

Рис. 2.3. Загальний вид малогабаритного інерційного гвинтового пресу з ручним приводом

Принципова схема пресу, що складається із станини та головного виконавчого механізму, приведена на рис. 2.4. Станина рамного типу утворена верхній 6 и нижній 13 траверсами, які з'єднані двома циліндричними стійками 1 и 12. В верхній траверсі 6 закріплена робоча гайка 9 гвинтової пари.

Головний виконавчий механізм пресу включає повзун 4, гвинт 5 и маховик 7. Повзун 4 з подовженими напрямними має напрямок за циліндричними стійками 1 и 12. До повзуну з можливістю обертання приєднаний гвинт 5, на якому нарізана чотиризахідна права трапеціодального профілю з кутом нахилу 13° різьба, що несамогальмується. Нижня опора гвинта, кінематично зв'язаного з гайкою 9, виконана у вигляді сферичного під'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 с кутом 120° між ними для зручності ручного привода.

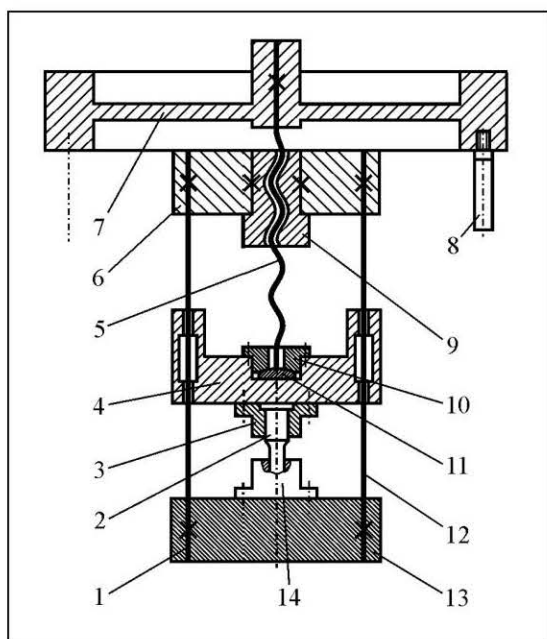


Рис. 2.4. Принципіальна схема інерційного гвинтового пресу

Інерційний гвинтовий прес працює таким чином. В штамповий простір преса поміщають пуансон 2 разом з пуансонотримачем 3, матрицю 14 и 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° – 150° 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.

ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕСУ

Номінальне зусилля, кН	100
Максимальне зусилля, що допускається, кН	160
Ефективна номінальна енергія, Дж	65
Хід повзуна, мм	150
Відстань між напрямними у світлі, мм	200
Розміри робочих поверхонь стола та повзуна, мм:	
- довжина	180
- ширина	140
Найбільша відстань між столом та повзуном, мм	295
Параметри маховика:	
- зовнішній діаметр, мм	680
- момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	6,4
- маса, кг	90
Габаритні розміри пресу, мм:	
- довжина	680
- ширина	680
- висота	875
Маса пресу, кг	182

В якості інструмента використовувався експериментальний штамп (рис. 2.5) для другого та подальшого витягування.

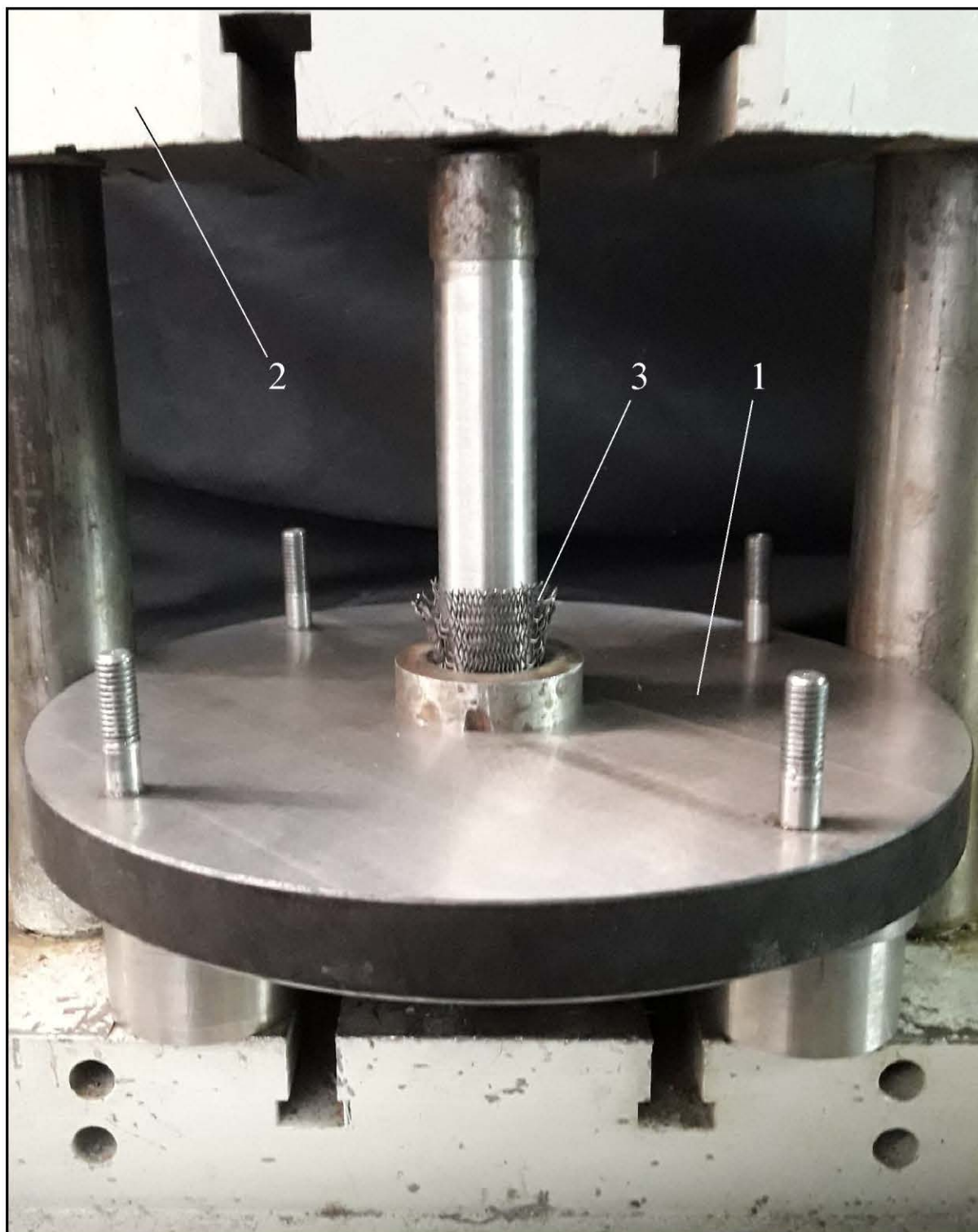


Рис. 2.5. Експериментальний штамп, що встановлений на універсальний інерційний гвинтовий прес: 1 – штамп; 2 – прес; 3 – заготовка, що витягується

Він складається з наступних основних деталей (рис. 2.6, 2.7):

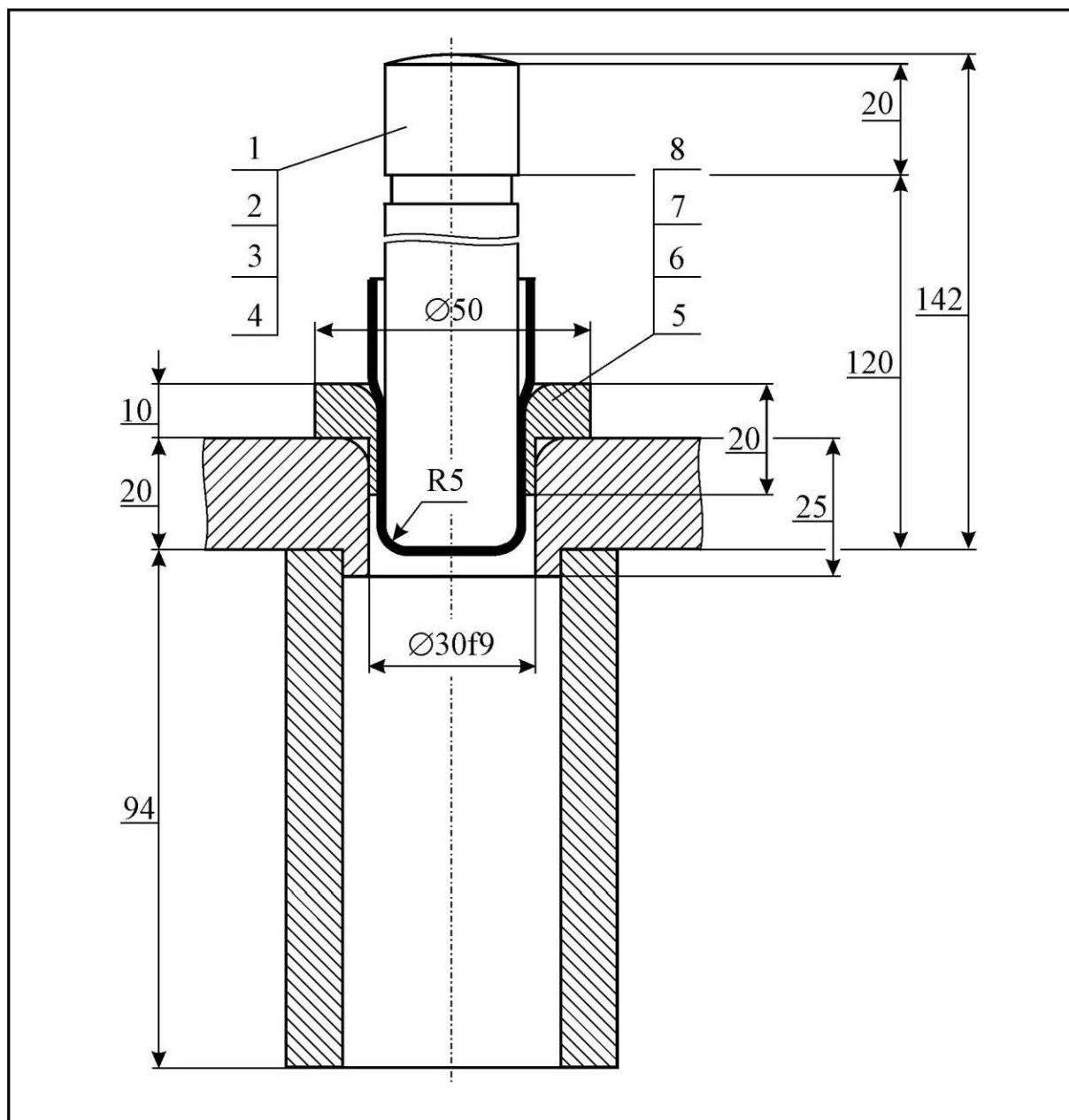


Рис. 2.6. Креслення експериментального штампа для другого та подальшого витягування

- 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;

Штамп (див. рис. 2.6) 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.

2.4. Матеріали, зразки та вимірювальний інструмент

Для експериментального дослідження граничного коефіцієнта багатоопераційного витягування циліндричної деталі використовувалася сітка напівтомпакова 2,0 ГОСТ 6613-73 [11, 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. 2.1. Кожен зразок вписувався в круг діаметром 115 мм.

Для вимірювання лінійних розмірів зразків до витягування та після витягування застосовували:

- штангенциркуль типу ШЦ1 з ціною поділки 0,1 мм;
- мікрометр типу МК з ціною поділки 0,01 мм.

2.5. Техніка безпеки при експериментальному дослідженні

Зразки виготовлялися із металевої сітки, краї якої є гострі, а тому небезпечні. Для запобігання можливого поранення, усі роботи з металевою

сіткою треба здійснювати у рукавицях.

Розкрій металевої сітки здійснювався з використанням звичайних ручних ножиців. При виконанні операції відрізування маленькі крайові шматочки сітки в умовах дії сил різання можуть миттєво відокремлюватися від сітки. З метою запобігання попадання їх в очі магістранта необхідно розкрій сітки виконувати в захисних окулярах.

Витягування заготовок здійснювалося на інерційному пресі номінальним зусиллям 10 тонн. Доступ для роботи на цьому пресі надає магістранту керівник наукової роботи. Для цього він проводить з ним інструктаж по техніки безпеки безпосередньо на робочому місці.

Оскільки інерційний прес постачається гвинтом, на якому нарізана різьба, що несамогальмується, повзун може в будь-який момент спонтанно переміститися вниз та пошкодити руки магістранту. Тому для забезпечення безпечних умов експлуатації пресу, у перервах між операціями витягування нерухоме положення повзуна треба зафіксувати спеціальною підставкою.

Розділ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАНИЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА БАГАТООПЕРАЦІЙНОГО ВИТЯГУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ДЕТАЛІ ІЗ МЕТАЛЕВОЇ СІТКИ

3.1. Результати дослідження

Перше витягування. Результати щодо першого витягування циліндричної деталі із металевої сітки, яке здійснювалося із квадратної вихідної заготовки, наведено на рисунку 3.1 та в таблиці 3.1.

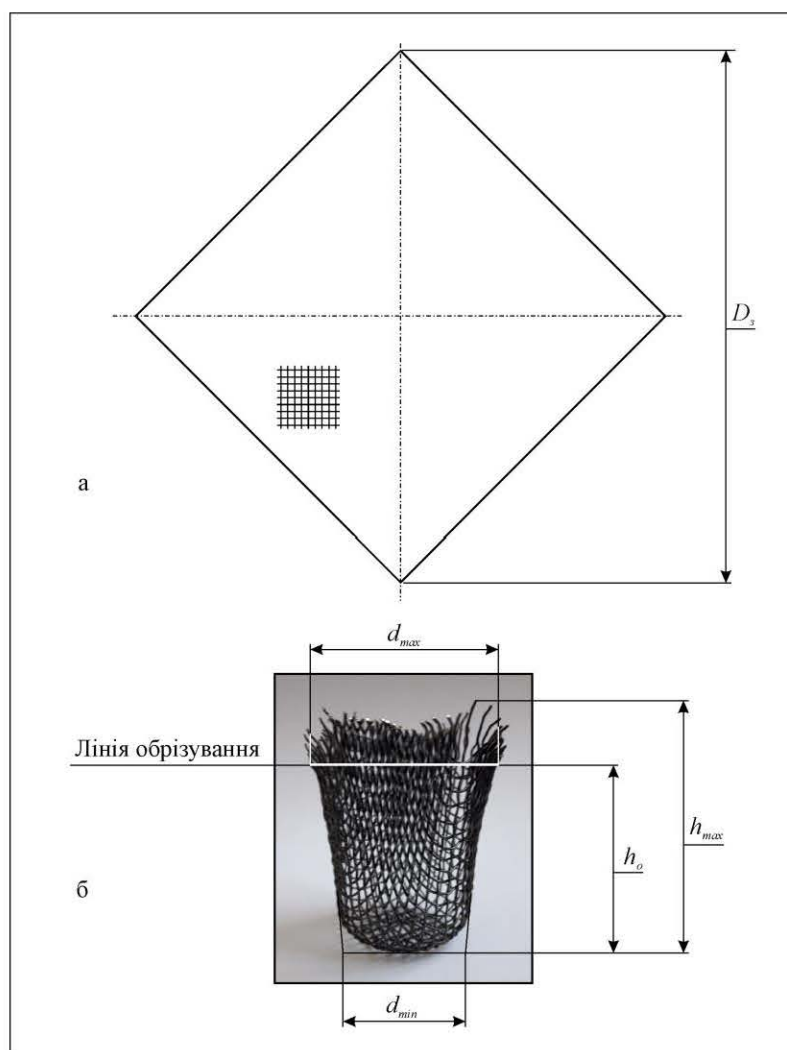


**Рис. 3.1. Перше витягування циліндричної деталі із металевої сітки:
а – вихідна заготовка; б – деталь після витягування**

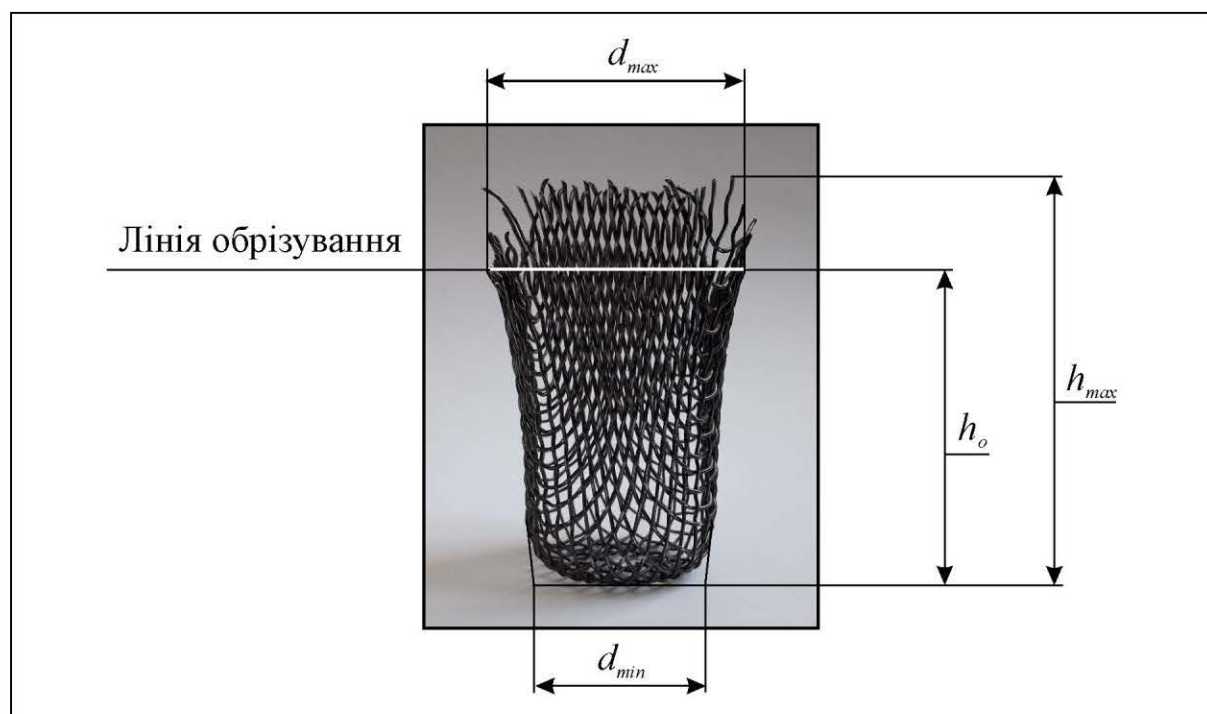
Таблиця 3.1

Параметри першого витягування (див. рис. 3.1)*

D_3 , мм	h_{max} , мм	h_o , мм	d_{min} , мм	d_{max} , мм	d_c , 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 3.2 та в таблиці 3.2.

**Рис. 3.2. Друге витягування циліндричної деталі із металевої сітки**

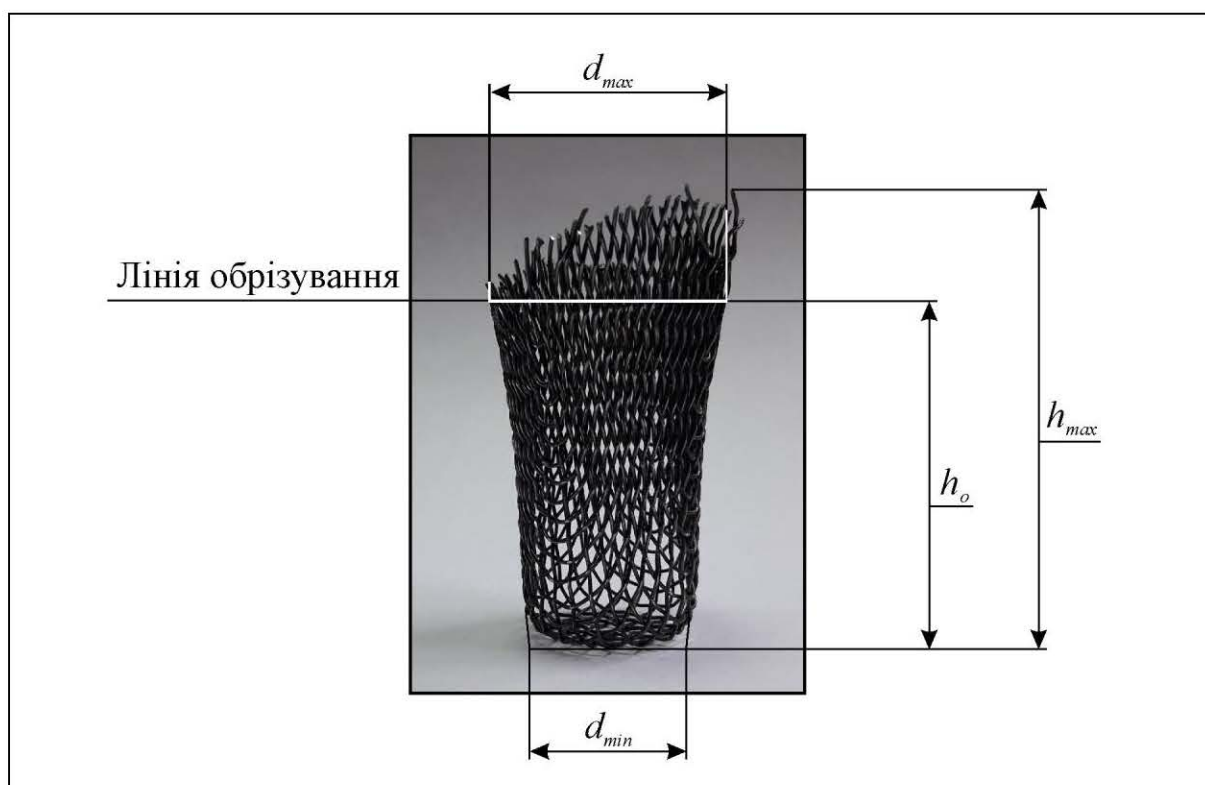
Таблиця 3.2

Параметри другого витягування (див. рис. 3.2)*

D_3 , мм	h_{max} , мм	h_o , мм	d_{min} , мм	d_{max} , мм	d_c , 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 3.3 та в таблиці 3.3.

**Рис. 3.3. Третє витягування циліндричної деталі із металевої сітки**

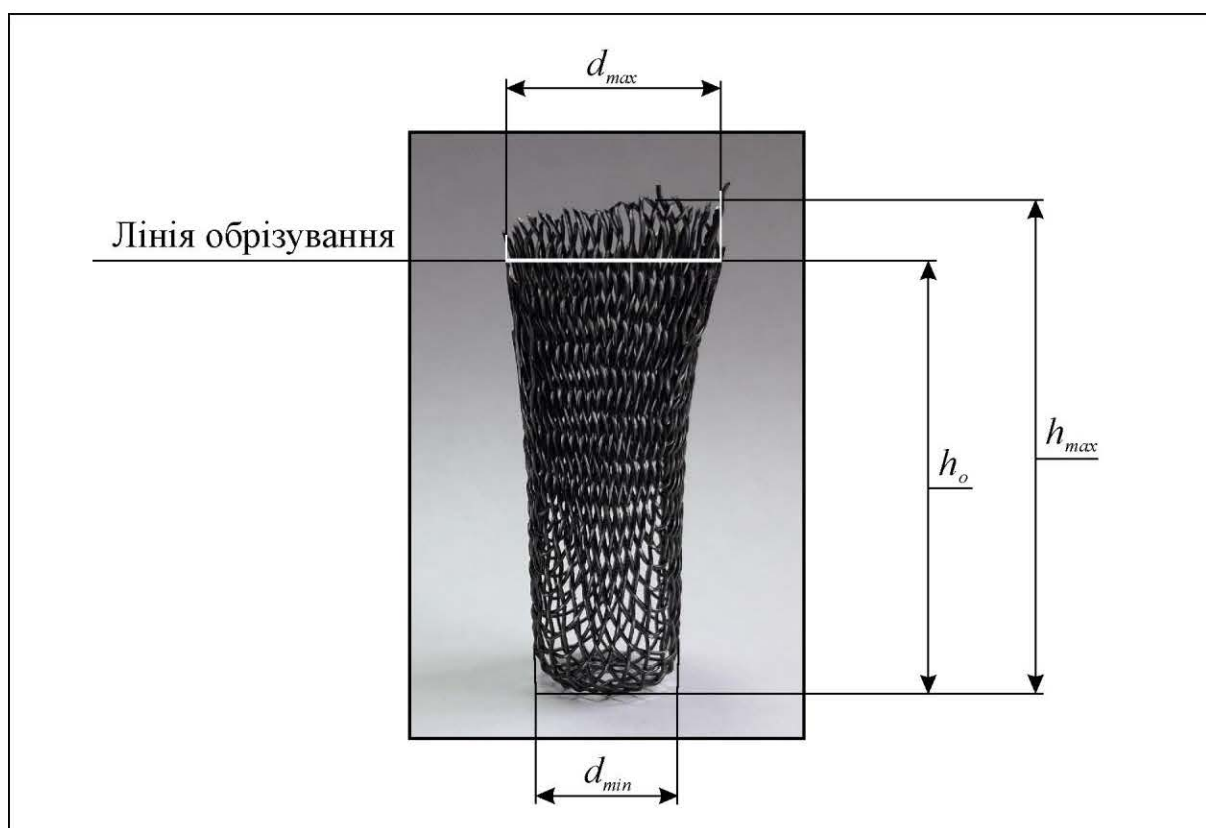
Таблиця 3.3

Параметри третього витягування (див. рис. 3.3)*

D_3 , мм	h_{max} , мм	h_o , мм	d_{min} , мм	d_{max} , мм	d_c , 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 рис. 3.4 та в табл. 3.4.

**Рис. 3.4. Четверте витягування циліндричної деталі із металевої сітки**

Таблиця 3.4

Параметри четвертого витягування (див. рис. 3.4)*

D_3 , мм	h_{max} , мм	h_o , мм	d_{min} , мм	d_{max} , мм	d_c , 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. 3.5 та в таблиці 3.5.



Рис. 3.5. П'яте витягування циліндричної деталі із металевої сітки: а – момент заклинення дротів в зазорі; б – деталь після витягування; 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка в процесі витягування

Таблиця 3.5

Параметри п'ятого витягування (див. рис. 3.5, б)*

D_3 , мм	h_{max} , мм	h_o , мм	d_{min} , мм	d_{max} , мм	d_c , 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							

3.2. Обговорення результатів дослідження

Аналіз отриманих результатів дослідження, наведених в таблицях 3.1 – 3.5, показує:

- із підвищенням порядкового номеру витягування N , коефіцієнт витягування m_i циліндричної деталі із металевої сітки безперервно зменшується (рис. 3.6) 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_e лежить в межах між четвертим та п'ятим витягуванням, тобто є справедливим вираз $0,147 > m_e > 0,113$;
- 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. Ступень нахилу стінки оцінювали за кутом

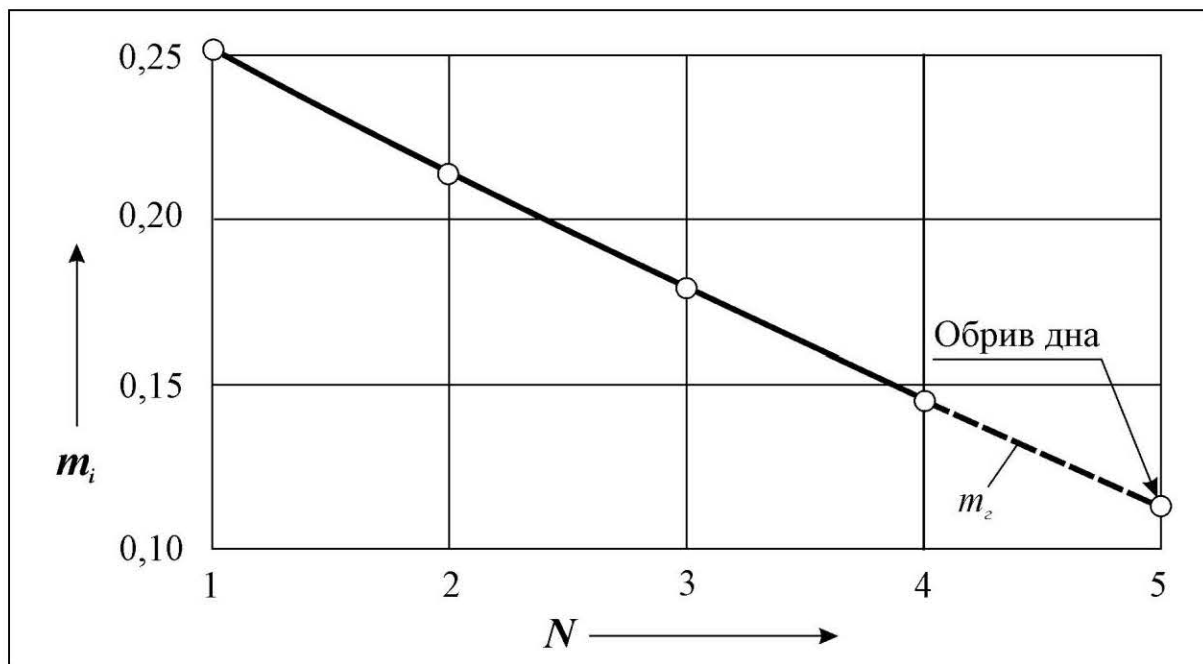


Рис. 3.6. Залежність коефіцієнта витягування m_i циліндричної деталі із металевої сітки від порядкового номеру витягування N

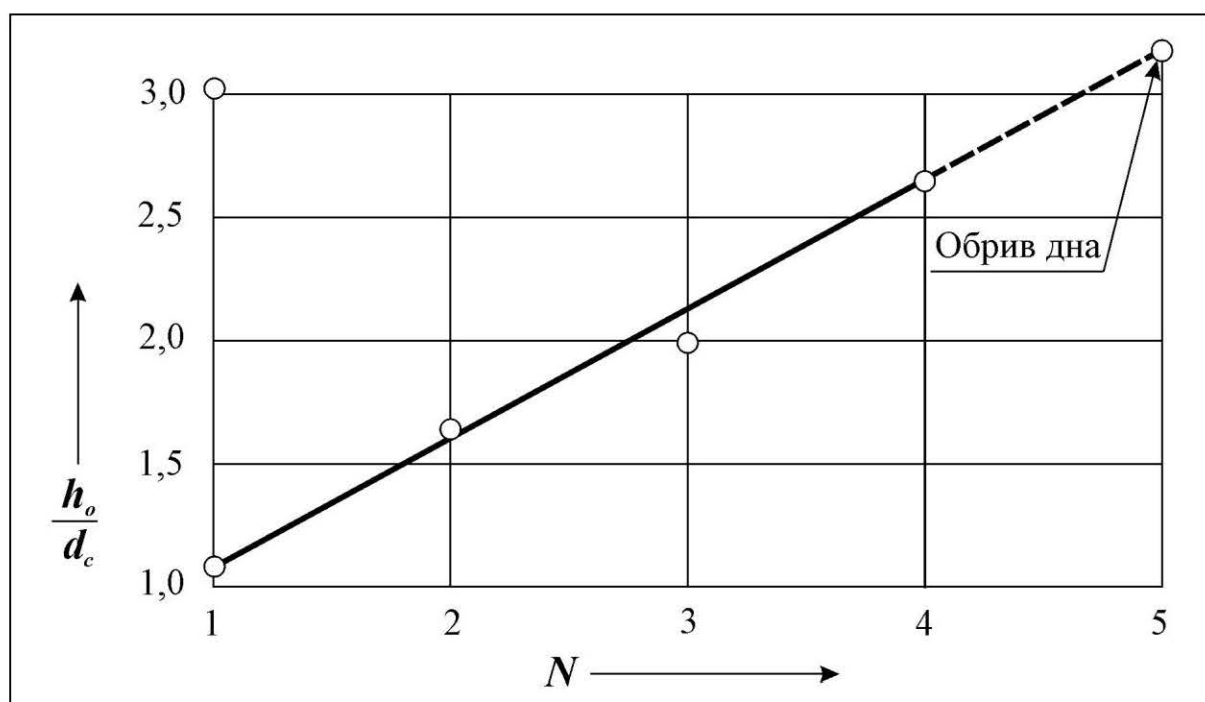


Рис. 3.7. Залежність відносної висоти циліндричної деталі із металевої сітки h_o/d_c від порядкового номеру витягування N

пружності $\Delta\alpha$ (див. формулу 3.1 на рис. 3.8). В таблиці 3.6 наводяться результати розрахунку кута пружності $\Delta\alpha$ за порядковим номером витягування N .

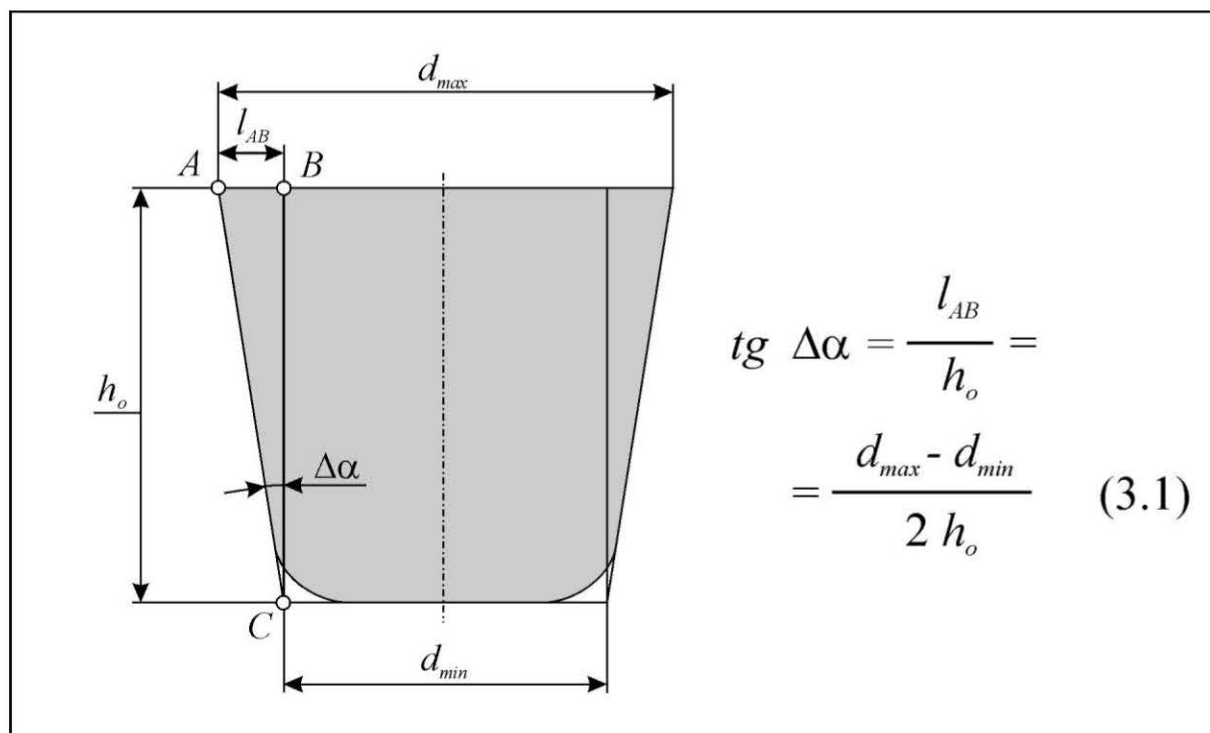


Рис. 3.8. До розрахунку кутів пружності $\Delta\alpha$ за порядковим номером витягування N

Таблиця 3.6

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'

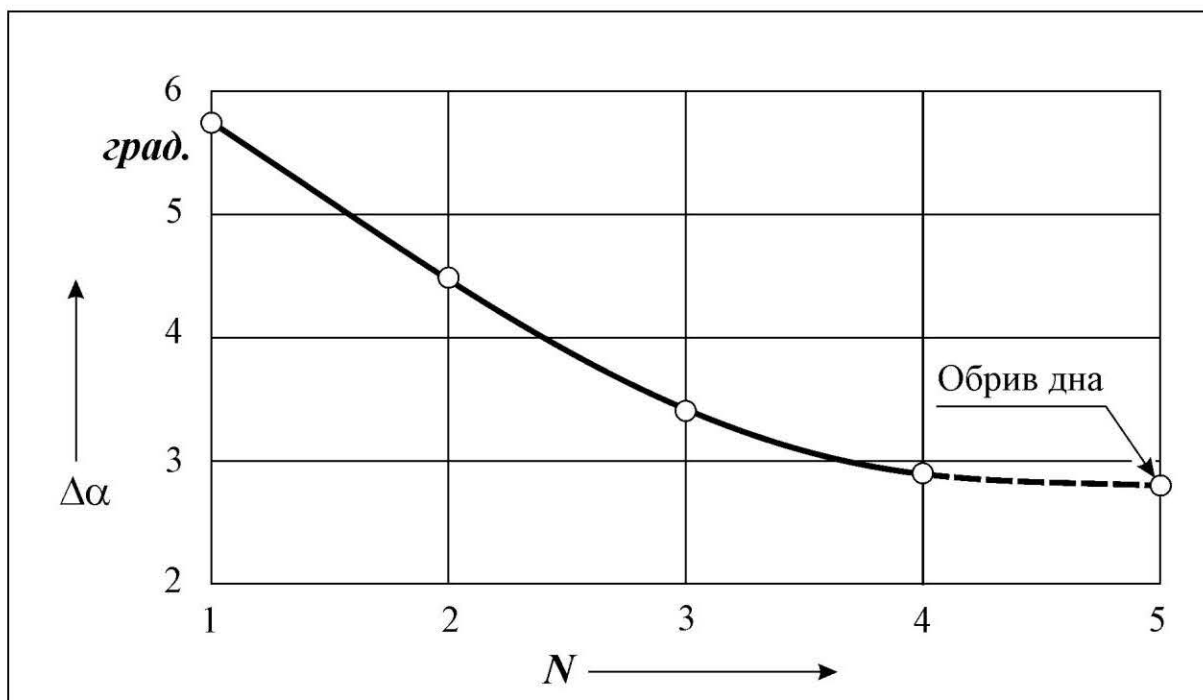


Рис. 3.9. Залежність кута пружності $\Delta\alpha$ від порядкового номеру витягування N

Як бачимо (рис. 3.9), 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.

3.3. Висновки

1. 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_e лежить в межах між четвертим та п'ятим витягуванням, тобто є справедливим вираз $0,147 > m_e > 0,113$.

2. Показано, що із підвищенням порядкового номеру витягування N , відносна висота деталі h/d_c збільшується з 1,17 (перше витягування) до 2,65 (четверте витягування), тобто в 2,3 рази;

3. 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).

4. Виявлено, що 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.

Розділ 4

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИТЯГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ
ІЗ МЕТАЛЕВОЇ СІТКИ****4.1. Сутність проблеми витягування та обрізування деталі**

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. 4.1). 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 β по відношенню до поверхні дна [див. формулу (4.1) на рис. 4.1]. В реальних умовах експерименту кут β змінювався в межах від 0° до 25° .

Слід відмітити, що кут нахилу відкритого краю деталі β 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 β ;

- 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 β .

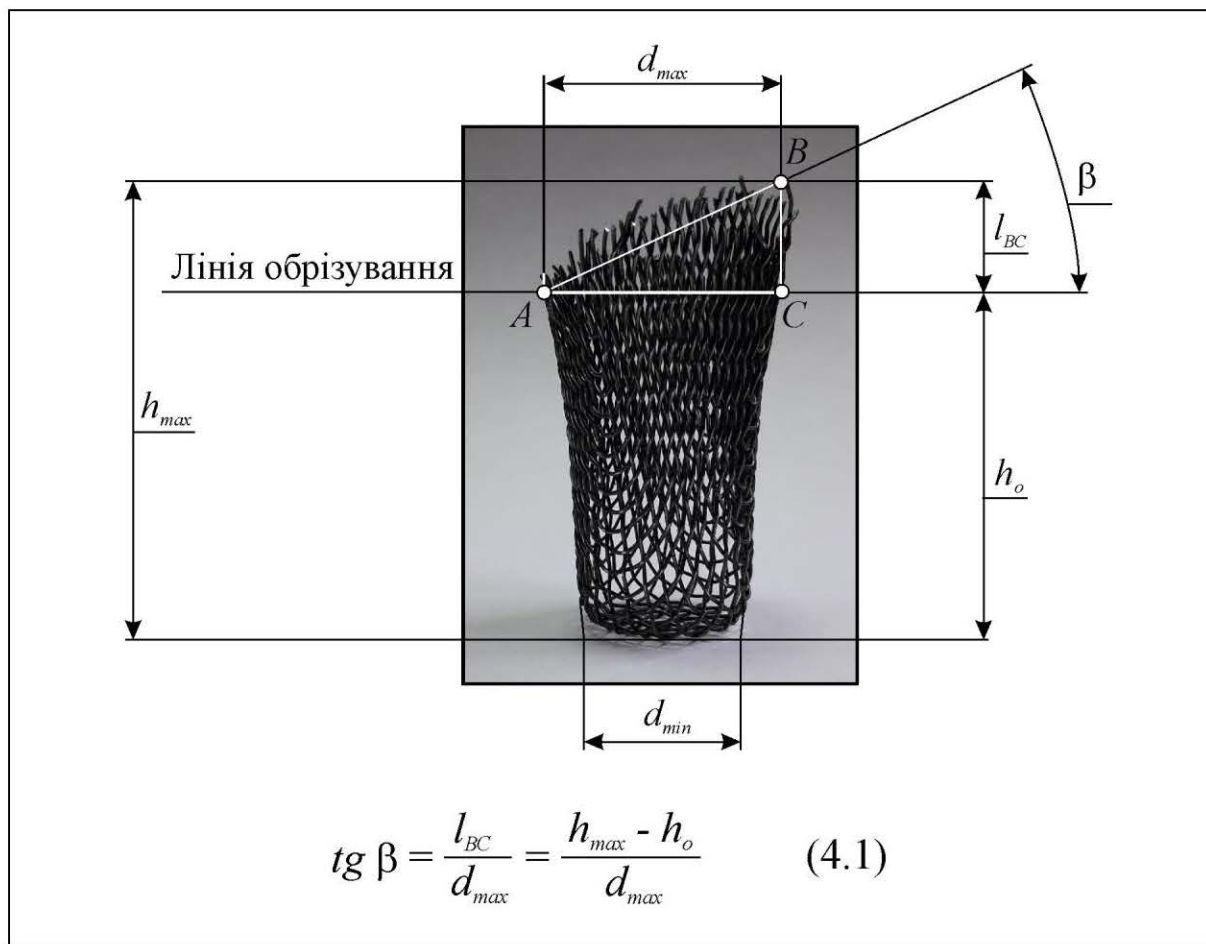


Рис. 4.1. До визначення кута нахилу відкритого краю деталі β по відношенню до поверхні дна

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 непоправному браку (рис. 4.2), а собівартість виготовлення придатної деталі витягуванням підвищується.

Причиною асиметричної деформації є наступне. Багатоопераційне витягування деталі здійснюється із квадратної заготовки (рис. 4.3). В кутових зонах *A, B, B, Г* даної заготовки є короткі дроти. В процесі

витягування дані дроти викривляються і можуть випасти із сітки (рис. 4.2, 4.4). Якщо такий дрот під дією гравітаційної сили попадає в зазор між пуансоном та матрицею, він штучно підвищує товщину заготовки та створює умови для асиметричного підвищеного тертя заготовки в зазорі. Таке явище сприяє гальмуванню заготовки в зазорі за рахунок сили тертя P_m з одного боку, та інтенсивному русі її з протилежного боку зусиллям витягування P_v , що передається заготовці через витяжний пуансон.

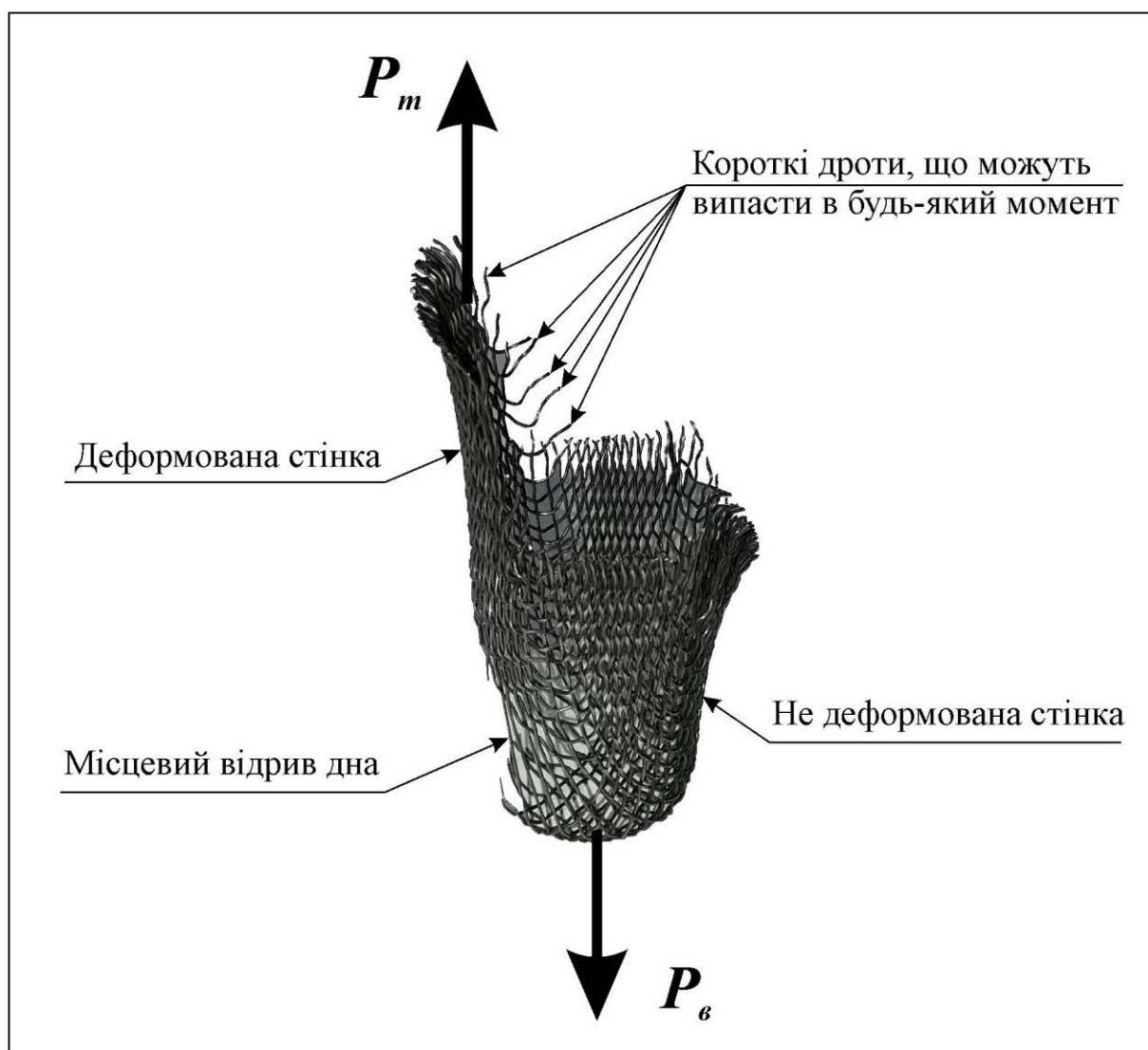


Рис. 4.2. Приклад асиметричної деформації деталі при витягуванні із металевої сітки

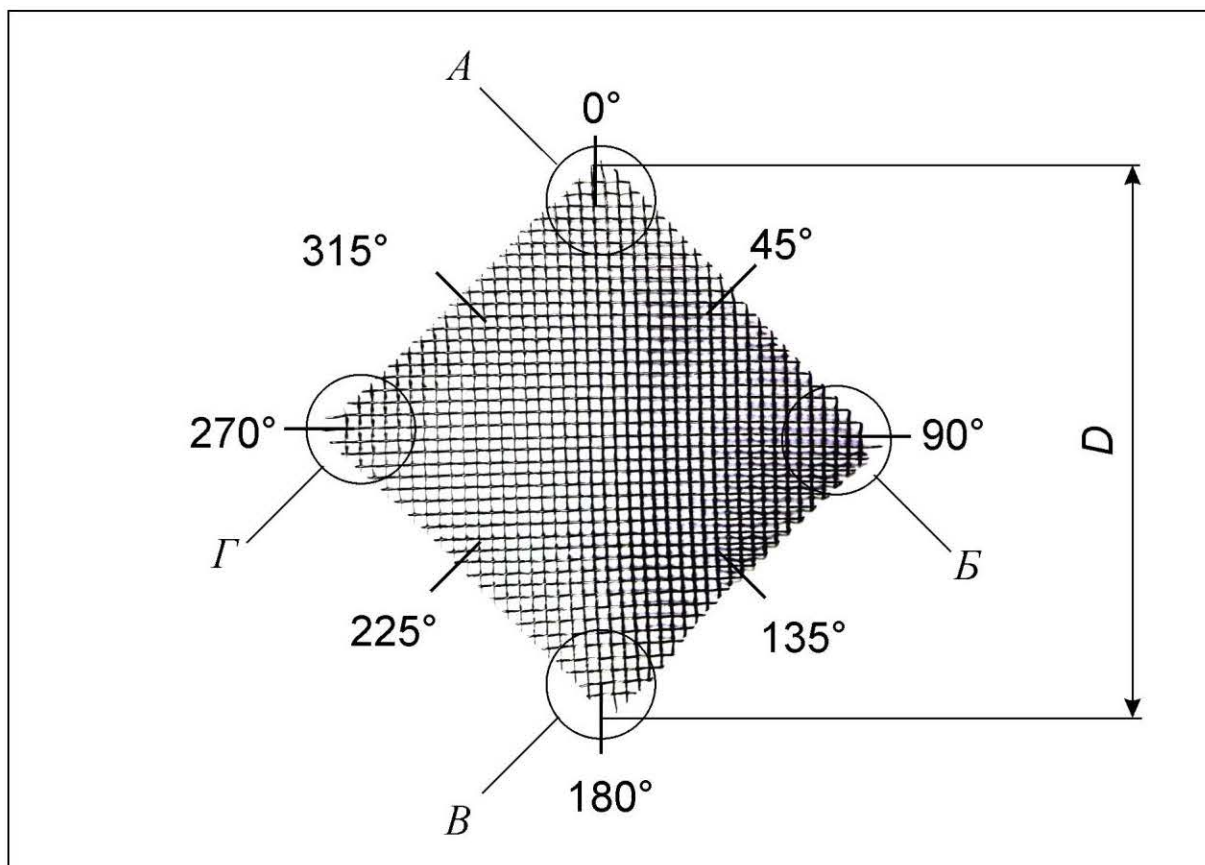


Рис. 4.3. Фото квадратної вихідної заготовки із металевої сітки з квадратним вічком для багатоопераційного витягування циліндричних деталей: *A, Б, В, Г* – зони з короткими дротами

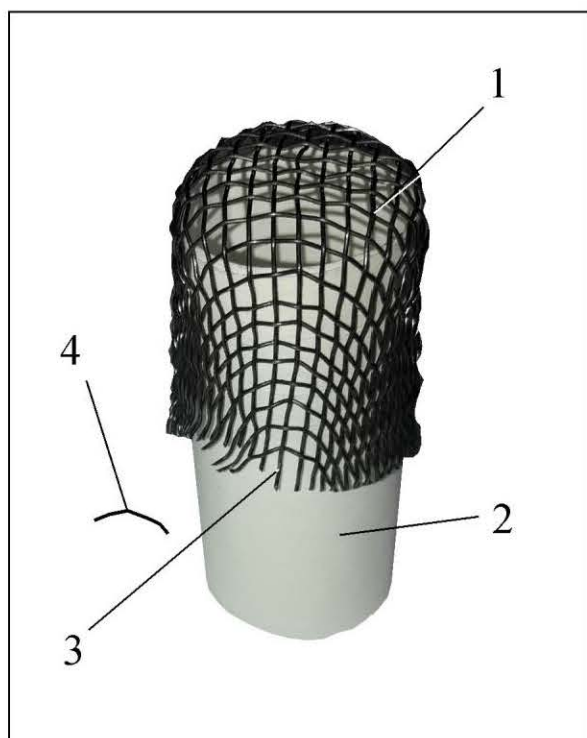


Рис. 4.4. Ковпачок з дротом, що випав: 1 – ковпачок із квадратної сітчастої вихідної заготовки; 2 – оправлення із паперу; 3 – місце, з якого випав короткий дріт; 4 – короткий дріт, що випав

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.

4.2. Новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком

Задачею даного винаходу 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 у відомому способі витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком 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.

На рисунку 4.5 наведена схема штампа для другого витягування циліндричної деталі із металевої сітки з квадратним вічком.

Для реалізації даного способу (рис. 4.5, 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. 4.5, 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 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.

4.3. Висновки

1. При експериментальному дослідженні багатоопераційного витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком виявлено дві форми неусталеності процесу.

2. Встановлено, що перша форма пов'язана з утворенням різних за висотою протилежних стінок деталі. Дана форма кількісно характеризується кутом нахилу відкритого краю деталі β по відношенню до поверхні дна. Запропоновано прийоми суттєвого зменшення кута β .

3. 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 непоправного 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.

4. Запропоновано новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком, при якому 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. Такий спосіб штампування 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 обрізуванні краю заготовки не використовуються.

Розділ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА**5.1. Економічна ефективність запропонованої технології
витягування деталей із металевої сітки**

Економічну ефективність нового способу витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком оцінювали шляхом порівняння розрахунку заробітної плати програмного витягування та обрізування $n = 100\,000$ захисних кожухів ($d_{min} = 26$ мм, $d_{max} = 47,5$ мм, $d_c = 25$ мм, $h_o = 38$ мм, $h_o/d_c = 1,52$, $m = d_c/D_3 = 0,217$) за базовим варіантом технологічного процесу з варіантом, що пропонується.

За **базовий варіант** взятий наступний технологічний процес витягування та обрізування захисного кожуха:

1. Перше витягування із квадратної сітчастої заготовки. Обладнання: кривошипний прес. Оснащення: штамп для першого витягування. Час витягування: 0,17 хвилини.

2. Друге витягування. Обладнання: кривошипний прес. Оснащення: штамп для другого витягування. Час витягування: 0,17 хвилини.

3. Обрізування. Обладнання: кривошипний прес. Оснащення: штамп для обрізування. Час обрізування: 0,17 хвилини.

Таким чином, загальний час витягування та обрізування захисного кожуха за базовим варіантом складає $t_6 = 0,51$ хвилини.

Проектний варіант витягування та обрізування захисного кожуха передбачає:

1. Перше витягування із квадратної сітчастої заготовки. Обладнання: кривошипний прес. Оснащення: штамп для першого витягування. Час витягування: 0,17 хвилини.

2. Одночасне друге витягування та обрізування. Обладнання: кривошипний прес. Оснащення: штамп суміщеної дії для другого витягування та обрізування. Час другого витягування та обрізування: 0,17 хвилини.

Таким чином, загальний час витягування та обрізування за проектним варіантом складає $t_n = 0,34$ хвилини, що на 33,33 % менше, порівняно з базовим варіантом.

Час T для виготовлення 100 000 захисних кожухів складає:

- за базовим варіантом

$$T_6 = n \cdot t_6 = 100\,000 \cdot 0,51 = 51\,000 \text{ хв.} = 850 \text{ год,}$$

$$\text{або } T_6/\Phi_0 = 850/2008 = 0,423 \text{ року,}$$

де Φ_0 – дійсний річний фонд роботи обладнання, год.;

- за проектним варіантом

$$T_n = n \cdot t_n = 100\,000 \cdot 0,34 = 34\,000 \text{ хв.} = 567 \text{ год,}$$

$$\text{або } T_n/\Phi_0 = 567/2008 = 0,282 \text{ року.}$$

Якщо робітник за одну годину заробляє 55 гривень, то за витягування та обрізування всієї програми захисних кожухів зарплата складає:

- за базовим варіантом

$$Ц_6 = T_6 \cdot 55 = 850 \cdot 55 = 46750 \text{ грн.},$$

- за проектним варіантом

$$Ц_n = T_n \cdot 55 = 567 \cdot 55 = 31185 \text{ грн.}$$

Таким чином, при витягуванні та обрізуванні за проектним варіантом 100 000 захисних кожухів за 0,282 року економиться наступна сума $\Delta Ц$ заробітної плати:

$$\Delta Ц = Ц_6 - Ц_n = 46750 - 31185 = 15565 \text{ грн.}$$

Тоді, очікуваний річний економічний ефект від впровадження у виробництво нового способу витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком становить:

$$E = \frac{\Delta Ц}{T_n} = \frac{15565}{0,282} = 55195 \text{ грн.}$$

Слід відмітити, що даний економічний ефект є оціночним, а тому враховує лише економію заробітної плати. Він не враховує економію від скасування одного додаткового кривошипного пресу та додаткового штампа для обрізування.

ВИСНОВКИ

Основні результати магістерської роботи полягають в наступному:

1. 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. 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 [2]. 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 роботи [3], 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.

2. На підставі теоретичних досліджень показано, що фізичні механізми досягання граничних значень коефіцієнтів одноопераційного та багатоопераційного витягування різні. Так, при одноопераційному витягуванні він пов'язаний 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_z 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.

3. 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_e лежить в межах між четвертим та п'ятим витягуванням, тобто є справедливим вираз $0,147 > m_e > 0,113$.

Показано, що із підвищенням порядкового номеру витягування N , відносна висота деталі h_0/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 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.

4. 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 β по відношенню до поверхні дна. Запропоновано прийоми суттєвого зменшення кута β . 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.

5. Запропоновано новий спосіб витягування циліндричних деталей із металевої сітки з квадратним вічком, при якому 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. Такий спосіб штампування 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.

6. Апробація роботи здійснювалася шляхом доповіді на науково-технічній конференції студентів ЦНТУ у 2022 році (див. додаток Д5).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: учебник / М. Е. Зубцов. – 3-е изд. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 432 с., ил.
2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – 60-е изд., пере раб. 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. Аверкиев Ю. А., Аверкиев А. Ю. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.: ил.
5. Боков В. М. Технологія холодно́го штампування: підручник / В. М. Боков. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2021. – 213 с.
6. Сетка для микрофона DPA microphones DUA0710N / Режим доступу: <https://muzline.ua/dpa-microphones-dua0710n/>
7. Боков В. М. Витягування циліндричних деталей із не суцільного матеріалу / В. М. Боков, О. Ф. Сіса // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник / Вип. 51. – Кропивницький: ЦНТУ, 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 / Боков В. М., Шийко О. О.; власник Центральноукраїнський національний технічний університет. – u2019 12214; 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, № 13 (72), 2004. – С. 153-159.

10. Боков В. М. Витягування циліндричних деталей із не суцільного матеріалу / В. М. Боков, О. Ф. Сіса // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник / Вип.. 51. – Кропивницький: ЦНТУ, 2021. – С. 163-185.

11. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.1. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 728 с.

12. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штамів. Проектування штамів: формозмінних, складної дії, для складання та автоматичного штампування: навчальний посібник / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2010. – 322 с.

13. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: учебник / М. Е. Зубцов. – Л.: Машиностроение, 1967. – 504 с.

14. Шофман Л. А. Теория и расчёты процессов холодной штамповки / Л. А. Шофман. – М.: Машиностроение, 1964. – 374 с.

15. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.

16. Романовский В. П. Процесс образования и расчёт прочности опасного сечения при глубокой вытяжке / В. П. Романовский // Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 9.

17. Романовский В. П. Технологические расчёты при вытяжке деталей с широким фланцем / В. П. Романовский // Вестник машиностроения, 1954, № 9.

18. Романовский В. П. Анализ напряженно-деформационного состояния в начальной стадии процесса глубокой вытяжки / В. П. Романовский // Кузнечно-штамповочное производство, 1967, № 2.

19. Боков В. М. Магістерська робота: підручник / В. М. Боков. – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2018. – 208 с.

20. Ковка и штамповка: справочник в 4-х т. Т. 4. Листовая штамповка / Под ред. А. Д. Матвеева; ред. совет: Е. И. Семёнов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985 – 1987. – 544 с.

ДОДАТКИ