

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет механіко-технологічний
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри ММР

к.т.н., доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2024 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістрським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Дослідження способу витягування деталей з
притиском фланця плоскої заготовки»**

**«Study of the method of pulling parts with flange clamping
of a flat workpiece»**

Виконав здобувач II курсу групи ПМ-23М-2

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Єдуард ПРОЦЕНКО

« ____ » _____ 2024 р.

Керівник проекту

доцент, канд.техн.наук

_____ Олег СІСА

« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент

_____ Юрій НЕВДАХА

« ____ » _____ 2024 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
 30 серпня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
 ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
 Проценку Єдуарду Сергійовичу**

1. Тема роботи: «Дослідження способу витягування деталей з притиском фланця плоскої заготовки».
2. Керівник роботи: Сіса Олег Федорович, к. т. н., доцент.
3. Строк подання роботи до захисту: 27 грудня 2024 р.
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.
 Мета: підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію шляхом використання для заготовки не суцільного матеріалу (металевої сітки або перфорації заготовки).
 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., доц.	2.09.2024 р.	27.12.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	16.09.2024 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	2.10.2024 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	25.11.2024 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	16.12.2024 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	27.12.2024 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	27.12.2024 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	30.12.2024 р.	

Дата видачі завдання
02 вересня 2024 р.

Підпис керівника

_____ О. Сіса

Завдання прийнято до виконання
02 вересня 2024 р.

Підпис здобувача

_____ Є. Проценко

Анотація

на випускну кваліфікаційну роботу студента групи ПМ-23М-2 Проценко Єдуарда Сергійовича зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» на тему: «Дослідження способу витягування деталей з притиском фланця плоскої заготовки».

Випускна кваліфікаційна робота присвячена проблемі виготовлення порожнистих деталей із плоскої листової заготовки способом витягування з притиском фланця. Більш прогресивним є спосіб витягування з притиском фланця, де граничний коефіцієнт витягування $m_2 = 0,5 \dots 0,6$. Однак, при спробі реалізації процесу при менших значеннях коефіцієнта витягування спостерігається відрив дна, який обумовлений перевищенням напружень розтягання в критичному перерізі заготовки. В роботі звертається увага що дані напруження можна значно зменшити за рахунок заміни заготовки із суцільного матеріалу на заготовку із не суцільного матеріалу, зокрема на металеву сітку або перфоровану заготовку.

В роботі, на підставі експериментальних досліджень, отримано математичні моделі технологічних характеристик процесу витягування заготовки із не суцільного матеріалу та удосконалено технологію виготовлення. Розроблено теоретичні основи формоутворення поверхні деталі способом витягування із не суцільного матеріалу. Показано, що перехід матеріалу заготовки із області плоского фланця в бічну циліндричну поверхню деталі відбувається не за рахунок пластичного перерозподілу матеріалу заготовки, а переважно за рахунок зміни форми елементарних вічок сітки. Це дозволяє зменшити граничний коефіцієнт витягування значно нижче рівня 0,5 і тим самим підвищити глибину деталі, що витягнута за одну технологічну операцію.

Ключові слова: витягування, сітка, технологія, технологічні характеристики, обладнання.

Summary

for the final qualification work of the student of the group PM-23M-2 Protsenko Yeduarda Serhiyovycha from the specialty 131 "Applied Mechanics" on the topic: "Research on the method of drawing parts with a flange clamp of a flat workpiece".

The final qualification work is devoted to the problem of manufacturing hollow parts from a flat sheet workpiece by the method of drawing with a flange clamp. The method of drawing with a flange clamp is more progressive, where the limiting drawing coefficient $m_z = 0.5...0.6$. However, when trying to implement the process at lower values of the drawing coefficient, bottom separation is observed, which is due to the excess of tensile stresses in the critical section of the workpiece. The work draws attention to the fact that these stresses can be significantly reduced by replacing the workpiece from a solid material with a workpiece from a non-solid material, in particular, a metal mesh or a perforated workpiece.

In the work, based on experimental studies, mathematical models of the technological characteristics of the process of drawing a workpiece from a non-continuous material were obtained and the manufacturing technology was improved. Theoretical foundations of forming the surface of the part by drawing from a non-continuous material were developed. It was shown that the transition of the workpiece material from the area of the flat flange to the lateral cylindrical surface of the part occurs not due to plastic redistribution of the workpiece material, but mainly due to a change in the shape of the elementary mesh cells. This allows you to reduce the limiting drawing coefficient significantly below the level of 0.5 and thereby increase the depth of the part drawn in one technological operation.

Keywords: drawing, mesh, technology, technological characteristics, equipment.

ЗМІСТ

ВСТУП		6
РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ		11
1.1 Аналіз сучасних способів витягування деталей із плоскої заготовки		11
1.2 Витягування деталей з притиском фланця із плоскої заготовки як спосіб прогресивного штампування		15
1.3 Узагальнення результатів огляду сучасних способів витягування деталей та обґрунтування напрямку досліджень		28
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ		30
2.1 Обґрунтування технологічної схеми формоутворення поверхні тіла при витягуванні деталей з притиском фланця із плоскої сітчастої заготовки		30
2.2 Методика експериментального дослідження		34
2.3 Експериментальне обладнання та оснащення		35
2.4 Матеріали, зразки та вимірювальний інструмент..		37
2.5 Вимоги безпеки під час виконання технологічного процесу.....		
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ВИТЯГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ПРИТИСКОМ ФЛАНЦЯ ІЗ ПЛОСКОЇ СІТЧАСТОЇ ВИХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ		40
3.1 Морфологія зміни форми фланця в процесі витягуванні із круглої та квадратної сітчастої заготовки		40
3.2 Визначення граничного коефіцієнта витягування для круглої та квадратної сітчастої заготовки		42
3.3 Зусилля витягування циліндричних стаканчиків із сітчастої вихідної заготовки		46
3.4 Аналіз якості витягування деталей із сітчастої заготовки		50
3.5 Інтенсифікація способу витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком		53
3.6 Висновки		56

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ВИТЯГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ПРИТИСКОМ ФЛАНЦЯ ІЗ ПЛОСКОЇ ПЕРФОРОВАНОЇ ВИХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ	60
4.1 Фізична сутність нового способу витягування	60
4.2 Експериментальне випробування нового способу витягування	65
4.3 Висновки	72
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	85
5.1 Економічна ефективність способу витягування деталей з притиском фланцю із плоскої перфорованої заготовки	85
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	93

ВСТУП

Актуальність теми

В сучасному машинобудуванні для виготовлення порожнистих деталей із плоскої листової заготовки широко використовуються різноманітні способи витягування. Найбільш простішими з них є способи витягування без притиску фланця. Для їх реалізації штамп повинен мати лише пуансон та матрицю. Однак, дані способи дозволяють витягувати деталі лише на незначну глибину, тобто коли граничний коефіцієнт витягування m_z не зменшується нижче 0,75...0,85. Більш прогресивними, а тому поширеними способами витягування, є такі, при яких штампування плоскої заготовки здійснюється з притиском фланця. Вони дозволяють знизити граничний коефіцієнт витягування m_z до 0,5...0,6 і тим самим суттєво підвищити глибину витягування. Однак, при спробі реалізації процесу при менших значеннях коефіцієнта витягування спостерігається відрив дна, який обумовлений перевищенням напружень розтягання в критичному перерізі заготовки (між донною та бічною поверхнями) межі міцності заготовки σ_g . В роботі звертається увага на те, що дані напруження можна значно зменшити за рахунок заміни заготовки із суцільного матеріалу на заготовку із не суцільного матеріалу, зокрема на металеву сітку або перфоровану заготовку. Крім того, в рамках даної роботи запропоновано новий спосіб витягування деталей з притиском фланця із плоскої листової заготовки, де показано принцип організації такої перфорації поверхні заготовки, при якій значно зменшується зусилля штампування, а отже напруження в її критичному перерізі, що дозволяє суттєво зменшити граничний коефіцієнт витягування та підвищити глибину штампування. Даний спосіб, за думкою автора, не був об'єктом дослідження.

Тому робота, що спрямована на підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію, є актуальним науково-практичним завданням.

Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію шляхом використання для заготовки не суцільного матеріалу (металевої сітки або перфорації заготовки).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз та узагальнення результатів огляду сучасних способів витягування деталей із плоскої заготовки та обґрунтувати напрямок досліджень;

- обґрунтувати технологічну схему формоутворення поверхні тіла при витягуванні деталей з притиском фланця із плоскої сітчастої заготовки;

- розробити методику експериментального дослідження процесу витягування деталей з притиском фланця із плоскої сітчастої заготовки;

- виконати експериментальне дослідження способу витягування деталей з притиском фланця із плоскої сітчастої заготовки;

- виконати експериментальне дослідження способу витягування деталей з притиском фланця із плоскої перфорованої заготовки. Запропонувати новий спосіб витягування.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є спосіб витягування деталей із плоскої заготовки. Предмет дослідження – спосіб витягування деталей із плоскої

заготовки з використанням не суцільного матеріалу (металевої сітки або перфорації заготовки).

Наукова новизна одержаних результатів

1. Уперше розроблено теоретичні основи формоутворення поверхні деталі способом витягування із плоскої заготовки з використанням не суцільного матеріалу. Показано, що при витягуванні деталі із металевої сітки перехід матеріалу заготовки із області плоского фланця в бічну циліндричну поверхню деталі відбувається не за рахунок пластичного перерозподілу матеріалу заготовки, а переважно за рахунок зміни форми елементарних вічок сітки. Це суттєво зменшує зусилля витягування, а отже напруження розтягання в критичному перерізі заготовки (між донною та бічною поверхнями). Останнє дозволяє зменшити граничний коефіцієнт витягування значно нижче рівня 0,5 і тим самим підвищити глибину деталі, що витягнута за одну технологічну операцію.

2. Уперше запропоновано принцип організації такої перфорації плоскої поверхні листової заготовки, при якому значно зменшується зусилля витягування, а отже напруження в її критичному перерізі: перфорацію заготовки виконують тільки в області фланця, внутрішній діаметр якого дорівнює середньому діаметру d_c отриманої циліндричної деталі; перфорацію виконують так, щоб сума Σ усіх перемичок за шириною a_i на кожному концентричному колі розташування отворів перфорації дорівнювала довжині кола за середнім діаметром d_c отриманої деталі, тобто є справедливим вираз: $\Sigma a_i = \pi \cdot d_c$. Це дозволяє суттєво зменшити граничний коефіцієнт витягування та підвищити глибину витягування при штампуванні деталі із листового прокату.

Практичне значення отриманих результатів

Запропоновано та досліджено новий спосіб витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком, який дозволяє на 35 – 40 % знизити собівартість їх виготовлення.

Запропоновано та досліджено новий спосіб витягування деталей з притиском фланцю плоскої листової заготовки, який, порівняно з відомим, створює такі умови витягування, при яких граничний коефіцієнт витягування значно зменшується ($[m_k] \ll 0,46$), що дозволяє реалізувати більш глибоке витягування деталей за одну технологічну операцію.

Апробація результатів роботи

Основні положення та результати випускної кваліфікаційної роботи повідомлені і обговорені на LVIII науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти приуроченій «Дню науки – 2024» в ЦНТУ.

Структура й обсяг роботи

Випускна кваліфікаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, перелік джерел посилання. Загальний обсяг роботи 86 сторінок, в тому числі 31 рисуноків і 7 таблиць, список використаних джерел з 16 найменувань.

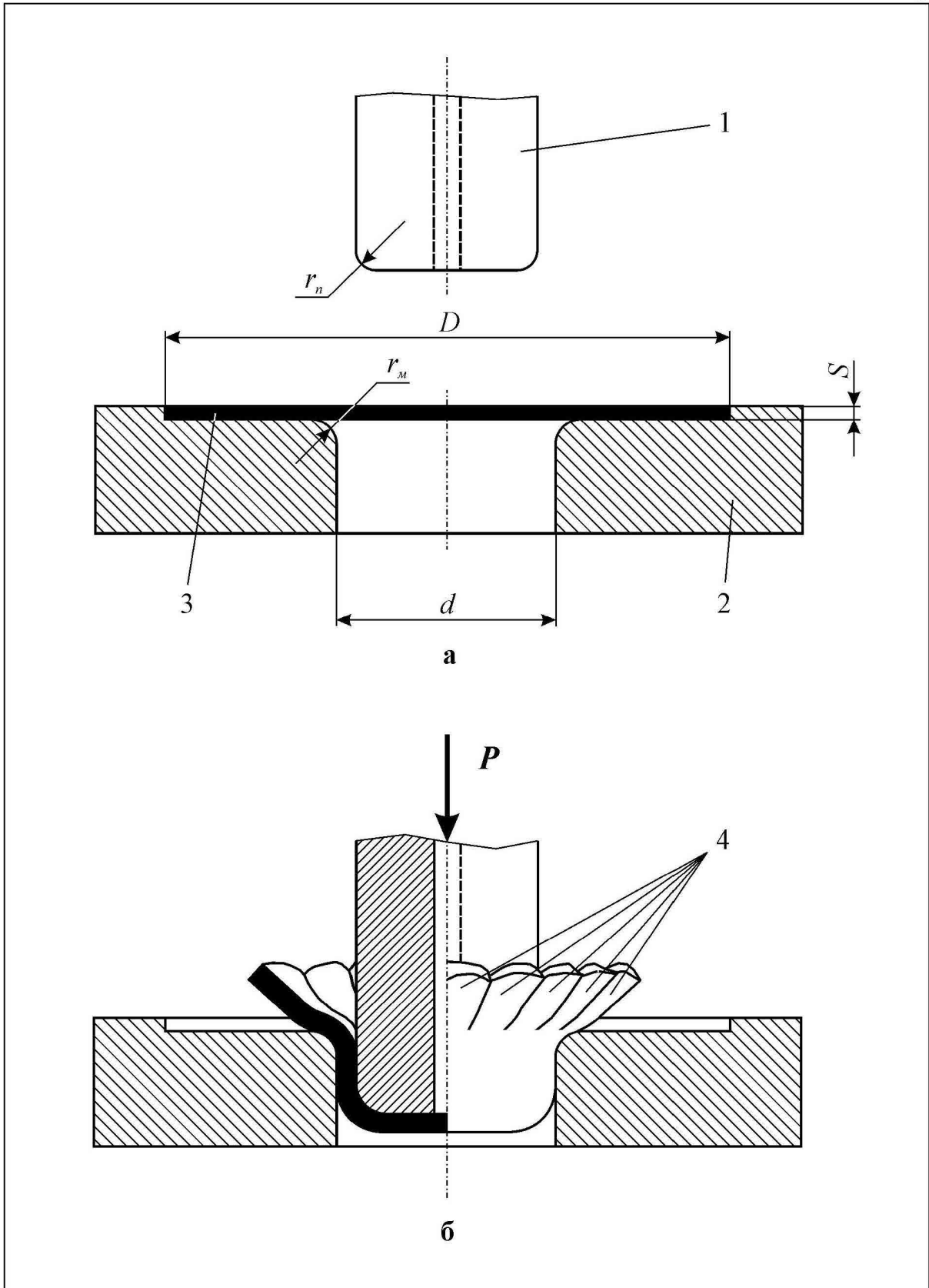
Розділ 1

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ
ДОСЛІДЖЕННЯ****1.1 Аналіз сучасних способів витягування деталей із плоскої
заготовки**

Витягування – це процес перетворення плоскої заготовки у відкритий зверху порожній виріб [1]. Воно здійснюється за допомогою витяжних штампів без заздалегідь обумовленої зміни (тобто зменшення) товщини матеріалу стінки виробу. В роботі витягування із порожнистої заготовки (так зване друге та подальше витягування) не розглядається.

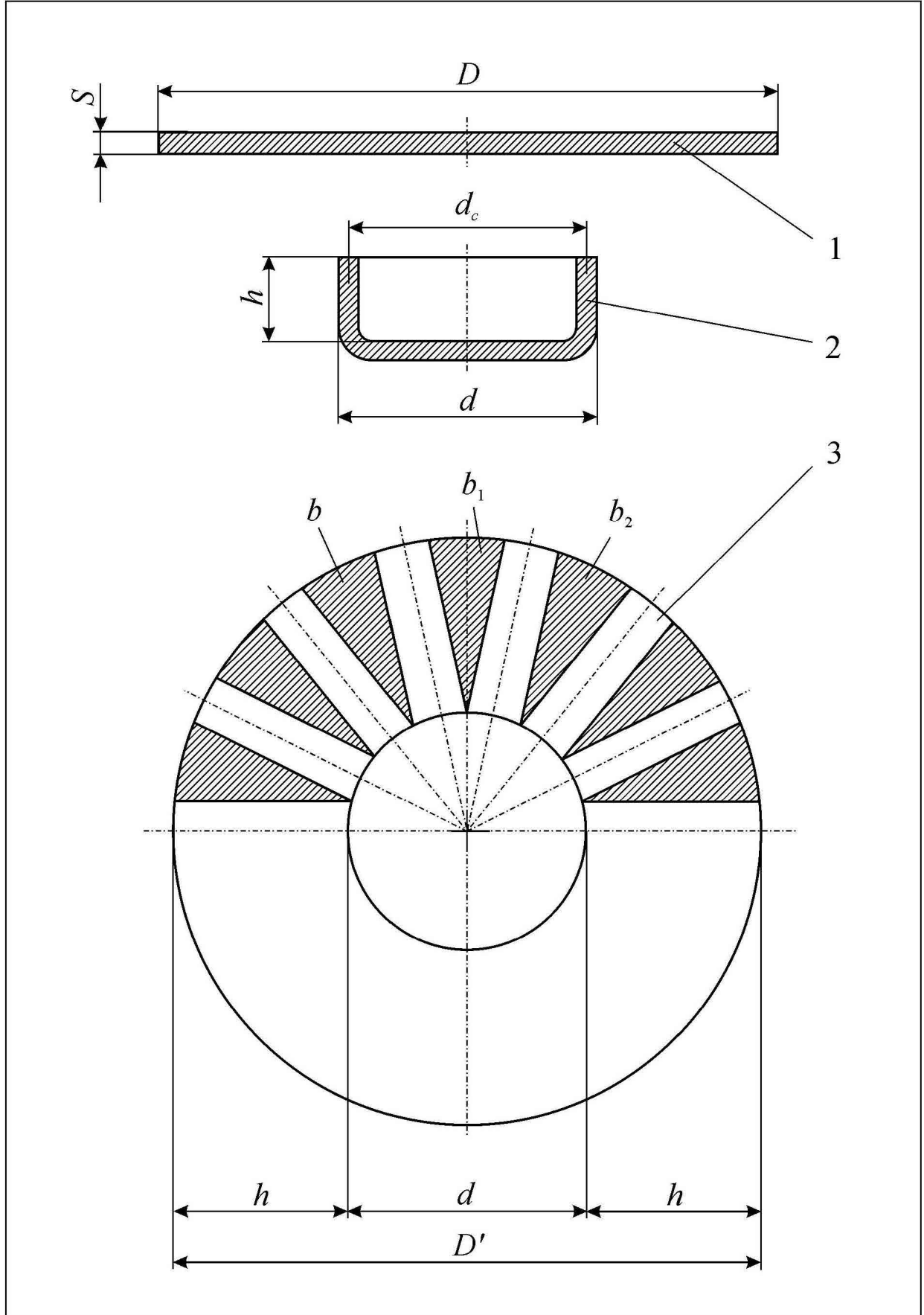
В сучасному машинобудуванні для виготовлення порожнистих деталей із плоскої листової заготовки широко використовуються різноманітні способи витягування [2]. Нижче розглянемо більш детально основні із даних способів.

Найбільш простішими з них є способи **витягування без притиску фланця** (на рисунку 1.1). Для їх реалізації штамп повинен мати лише пуансон 1 та матрицю 2. Так як при витягуванні відбувається витягування матеріалу заготовки 3 пуансоном 1 з закругленням радіусом r_n більшого діаметру D в матрицю 2 із закругленням радіусом r_m , яка має менший діаметр d , то природно, що по краю витягнутого ковпачка утворюються гофри 4 за рахунок надлишкового матеріалу або так званих характеристичних трикутників b, b_1, b_2, \dots, b_n (на рисунку 1.2), так як для утворення порожнистого ковпачка діаметром d і висотою h достатньо мати заготовку діаметром D' без заштрихованих ділянок. За думкою Зубцова М. Ю. [1], наявність надлишкових трикутників приведе до необхідності витискування та переміщення металу вгору.



1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4 – гофри на виробі

Рисунок 1.1 – Схема процесу витягування без притиску фланця



1 – реальна вихідна заготовка; 2 – виріб; 3 – модель уявленої вихідної заготовки

Рисунок 1.2 – До пояснення процесу витягування

Можливість витягування за одну технологічну операція за Романовським В. П. [3] визначається **граничним коефіцієнтом витягування** m_2 , який є кількісним показником даного процесу. Його експериментально встановлюють за формулою:

$$m_2 = \frac{d_c}{D}, \quad (1.1)$$

де d_c – середній діаметр витягнутого ковпачка, мм (на рисунку 1.2);

D – діаметр вихідної заготовки, мм.

Оскільки чисельник формули (1.1) завжди менше знаменника, граничний коефіцієнт витягування m_2 менше одиниці, але більше нуля (на рисунку 1.3). Він ділить відстань між нулем та одиницею на дві зони. В зоні 1 розрахункове значення коефіцієнта витягування m_1 більше або дорівнює граничному значенню m_2 ($m_1 \geq m_2$), 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_2 ($m_2 < m_2$), 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.



Рисунок 1.3 – До визначення граничного коефіцієнта витягування

Однак способи витягування без притиску фланця дозволяють витягувати деталі лише на незначну глибину, тобто коли граничний коефіцієнт витягування m_2 не зменшується нижче 0,75...0,85 [4].

1.2 Витягування деталей з притиском фланця із плоскої заготовки як спосіб прогресивного штампування

Більш прогресивними, а тому поширеними способами витягування, є такі, при яких штампування плоскої заготовки здійснюється **з притиском фланця**. При витягування в таких умовах плоска заготовка діаметром D переміщується, змінює свої розміри та займає ряд проміжних положень. При цьому матеріал деформованої заготовки в різних її частинах знаходиться в різних умовах. У випадку витягування з притиском без потоншення матеріалу та з зазором між пуансоном і матрицею більшим товщини заготовки можна прийняти наступну **схему напружено-деформованого стану** (на рисунку 1.4):

- дно частково утвореного порожнистого ковпачка (елемент *a*) знаходиться у плоско-напруженому та об'ємно-деформованому стані. Так як деформація метала – двобічне рівномірне розтягання в площині дна та осьове стиснення складають на першій операції усього 1-3 %, то практично ними можна нехтувати;

- циліндричну частину порожнистого тілу, що знаходиться у зазорі між матрицею та пуансоном (елемент *b*), можна вважати такою, що знаходиться у лінійно-напруженому та об'ємно-деформованому стані. Безпосередньо біля донного закруглення виробу (елемент *c*) в металі виникають напруження у вигляді двовісного розтягу та одновісного стиснення, які приводять до значного розтягу та потоншенню стінок у тому місці. В наслідок цього поперечний переріз тіла тут є найменш міцним та найбільш небезпечним з точки зору відриву дна від стінок

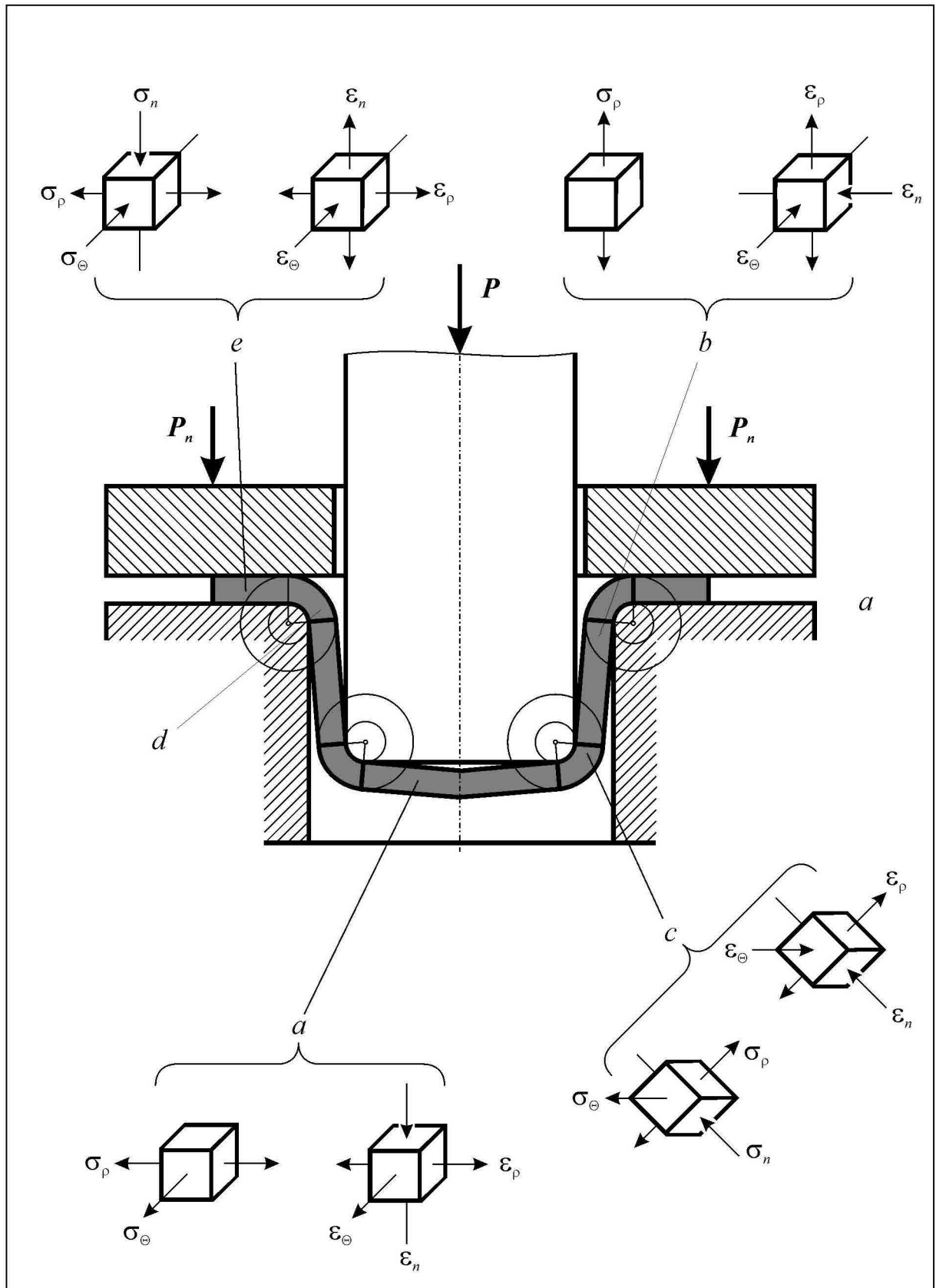


Рисунок 1.4 – Схема напружено-деформованого стану заготовки при витягуванні з притиском фланця

виробу. Саме цей небезпечний переріз обмежує можливість максимального використання пластичних властивостей металу, що штампується;

- частина, що знаходиться на закруглені робочих кромek матриці (елемент d), випробує складну деформацію, що викликана одночасним вигином та розпрямленням заготовки, найбільшим радіальним (меридіональним) розтяганням та незначним тангенціальним (окружним) стисненням;

- частина заготовки під притискачем (елемент e) знаходиться у об'ємно-напруженому та об'ємно-деформованому стані. Однак, при достатньо сильному притиску можна вважати $\varepsilon_n (\varepsilon_z) = 0$. У площинах фланця заготовки виникають радіальні (меридіональні) напруження σ_r , що розтягують та тангенціальні (окружні) напруження σ_θ , що стискають, а у перпендикулярному до неї напрямку – осьові напруження $\sigma_n (\sigma_z)$, причому у зв'язку з невеликою величиною σ_n , на практиці ним часто нехтують (при утворенні явного клинового перерізу у фланці $\sigma_n = 0$).

Меридіональні напруження σ_r , що розтягують, які викликані тиском пуансона у краю заготовки, дорівнюють нулю; у міру віддалення від краю заготовки до центру матриці вони зростають та досягають найбільшої величини на робочій кромці матриці. Тангенціальні напруження σ_θ , що стискають, навпаки, у зовнішнього краю мають найбільшу величину, а у міру віддалення від краю заготовки значення їх зменшуються. За роботою Зубцова М. Ю. [1] у той момент, коли край заготовки переміститься на величину, що складає 39 % від радіуса заготовки ($0,39 R$), напруження σ_θ стає рівним напруженню σ_r . Під дією напружень тангенціального стиснення σ_θ фланець заготовки товщає (утворюючи інколи як би клиновий переріз) та міцніє; при недостатньому притиску та тонкому

матеріалі $[(s/D \cdot 100 < 2)]$, це приводить до втрати усталеності, до утворення складок.

На рисунку 1.5 наведена крива, яка показує, що найбільше потоншення (10-18 %) при витягуванні з притиском фланцю заготовки спостерігається у місці переходу вертикальної стінки у дно стакану. У деяких випадках (при відриву дна) це потоншення досягає 30 % та більше. За мірою наближення до верхньої кромки товщина матеріалу безперервно зростає та досягає максимальної величини на краях виробу. Це потовщення звичайно складає 15-20 % від вихідної товщини матеріалу, що доходить іноді до 30 % та більше (на рисунку 1.5 на осі абсцис показані точки з бічної поверхні виробу від 0 до K у розгорненому вигляді, а на осі ординат – відхилення від початкової товщини матеріалу Δs у відсотках).

Максимальне значення товщини краю заготовки $s_{кр}$ приблизно визначають із наступних залежностей:

- для деталей без фланця

$$s_{кр} = s \cdot \sqrt{D/d}; \quad (1.2)$$

- для деталей з фланцем діаметром $D_{фл}$

$$s_{кр.фл} = s \cdot \sqrt{D/D_{фл}}. \quad (1.3)$$

Встановлено [1], що при витягуванні з притиском фланця у заготовці, що деформується, виникають наступні напруження (на рисунку 1.6):

- напруження розтягу σ_p у радіальному та стиснення σ_{\ominus} у тангенціальному напрямках, що безпосередньо зв'язані з опором деформації металу;

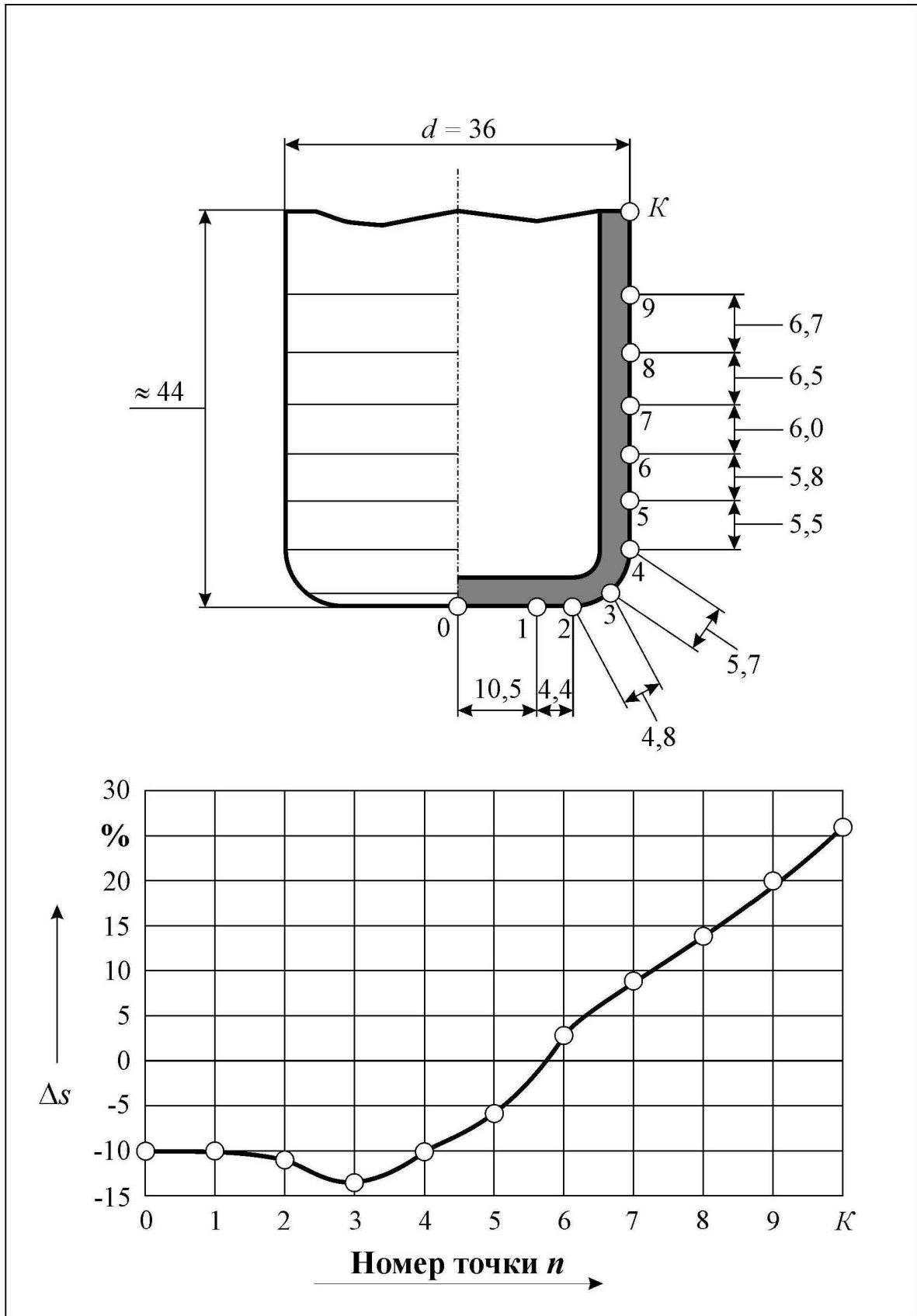


Рисунок 1.5 – Залежність відносної товщини стінки Δs стакана від номеру точки n при витягуванні з притиском фланця

- напруження σ_{mp} , що викликані тертям між заготовкою, притискачем та матрицею на плоскій її частині;
- напруження σ'_{mp} , що викликані тертям заготовки об кромку матриці;
- напруження від гнуття заготовки при вході на закруглену кромку матриці та випрямлення при сходженні з неї.

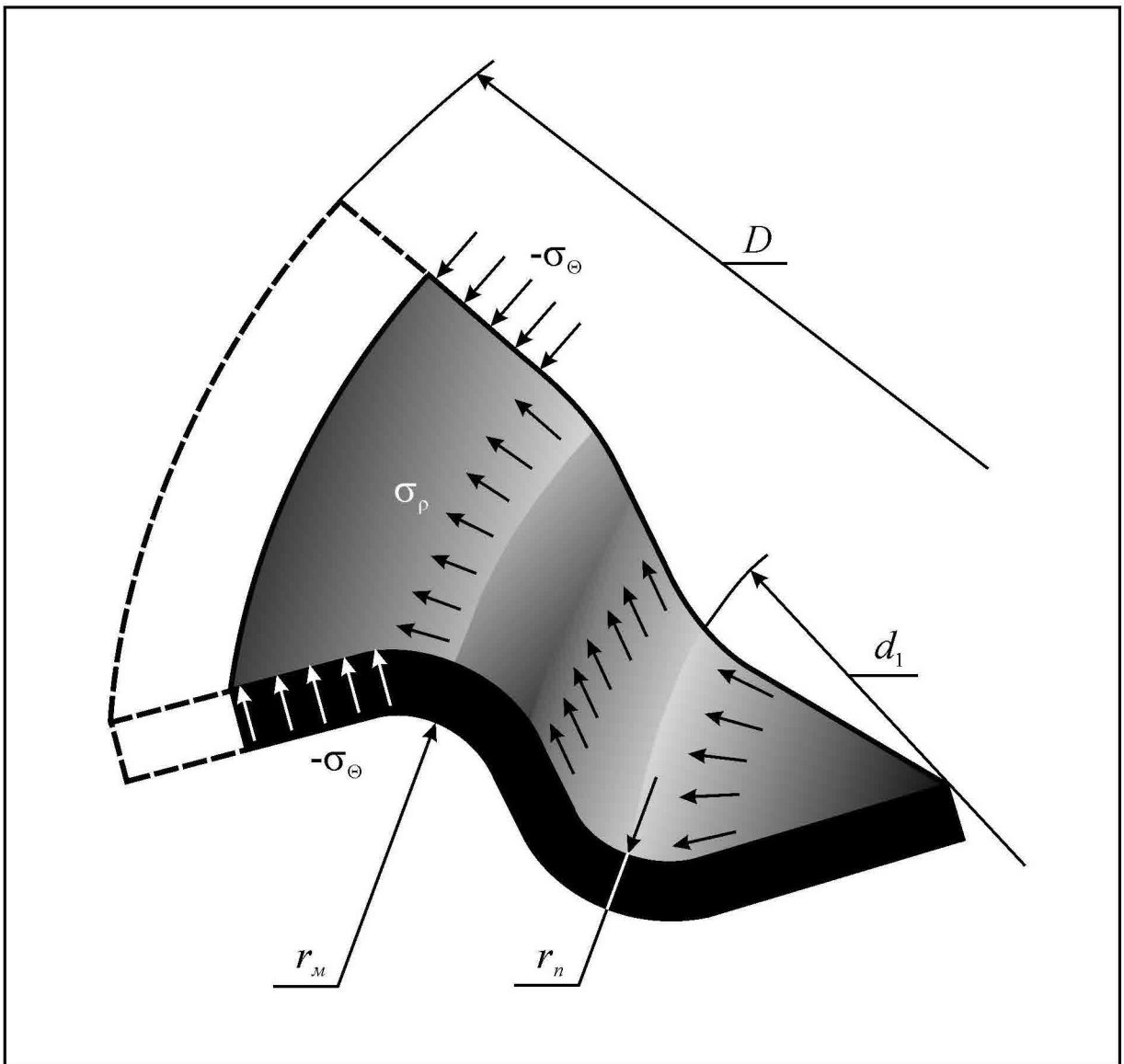


Рисунок 1.6 – Напруження, що виникають в різних частинах заготовки при витягуванні з притиском фланцю

Суму усіх цих напружень називають загальним опором (напруженням) втягування заготовки в отвір матриці при втягуванні σ_{em} або найбільшим напруженням $\sigma_{p \max}$, що розтягає. Воно рівнозначне тиску течії p_1 , який отримується в наслідок поділу зусилля втягування P_1 на площу вихідного поперечного перерізу порожнистого циліндра

$$F = \pi \cdot d_{1 \text{ сеп}} \cdot s, \quad (1.4)$$

де $d_{1 \text{ сеп}}$ – середній діаметр циліндра (виробу)

$$d_{1 \text{ сеп}} = d_1 + s, \quad (1.5)$$

d_1 – внутрішній діаметр ковпачка;

s – товщина матеріалу ковпачка.

В роботі [1] наводиться наступна формула для розрахунку найбільшого напруження, що розтягає у вихідному перетині виробу:

$$\begin{aligned} \sigma_{p \max} &= \left(\sigma_{s \text{ сеп}} \ln \frac{R_H}{r_{1 \text{ сеп}}} + \frac{\mu Q}{\pi R_H s} + \frac{s}{2r_{1 \text{ м}} + s} \sigma_s \right) \times (1 + 1,6\mu) = \\ &= \left[\frac{\sigma_s}{1 - \psi_s} \left[\left(1 - 0,5 \frac{R_H}{R} - 0,5 \frac{r_{1 \text{ сеп}}}{\sqrt{r_{\text{сеп}}^2 + R^2 - R_n^2}} \right) \times \frac{1}{\psi_s} \right]^{1 - \psi_s} \times \ln \frac{R_H}{r_{1 \text{ сеп}}} + \frac{\mu Q}{\pi R_H s} + \frac{s}{2r_{1 \text{ м}} + s} \sigma_s \right] \times (1 + 1,6\mu). \end{aligned} \quad (1.6)$$

Із аналізу формули (1.6) виходить, що втягування можливо лише в тому випадку, коли $\sigma_{p \max} \leq \sigma_p = 1,15\sigma_s$. Це співвідношення забезпечується за інших рівних умов доцільним вибором ступеня втягування $K_{1 \varepsilon}$ або коефіцієнта втягування $m = 1/K_{1 \varepsilon} = d_1/D$.

Якщо прийняти $\sigma_{p \max} = \sigma_s$, то за формулою (1.6) можна знайти

граничну ступінь витягування, при якій заготовка буде знаходитися на межі можливого руйнування. Для цього запишемо рівняння (1.6) відносно коефіцієнта K_{1B} :

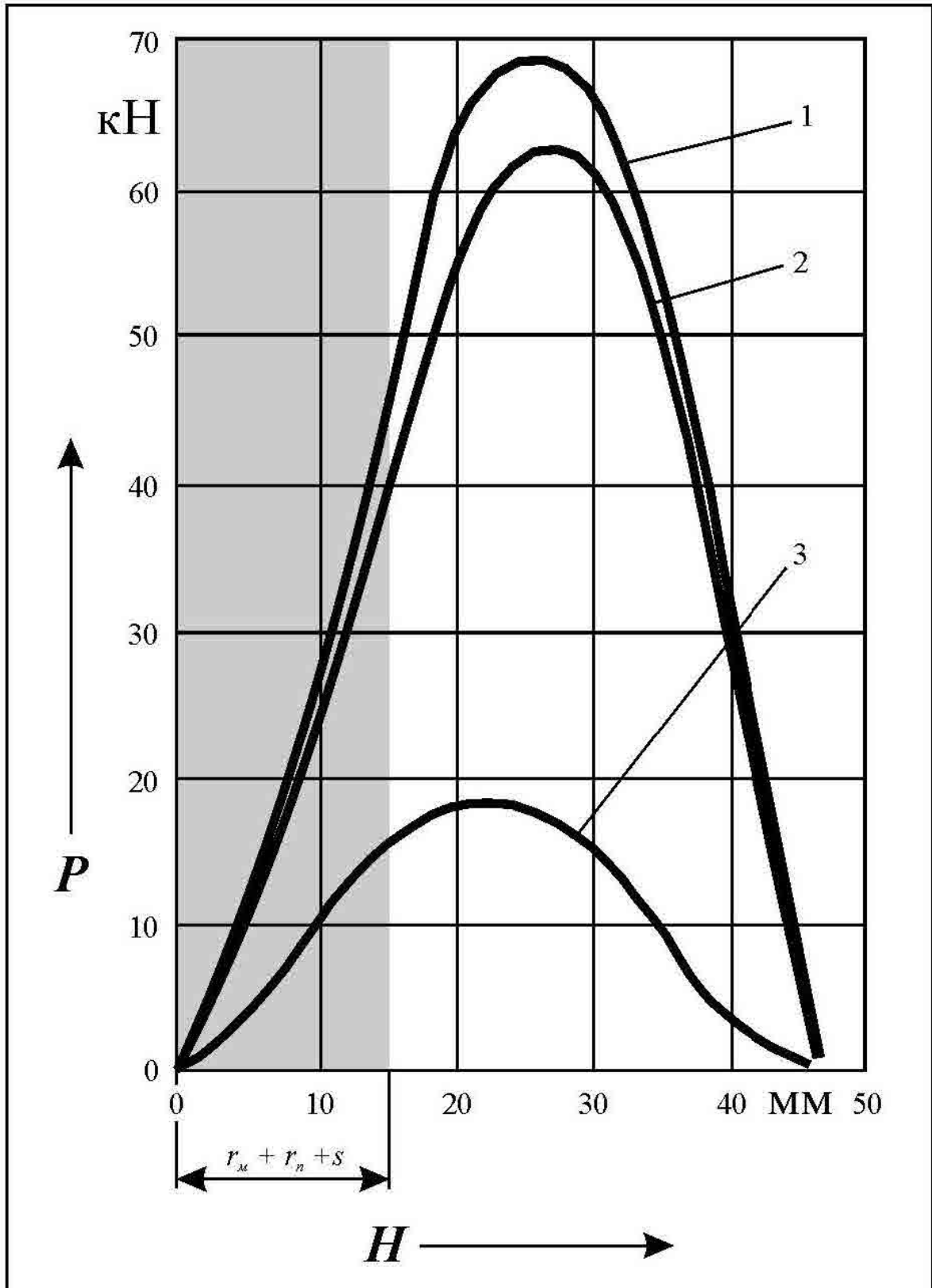
$$K_{1\epsilon} = \frac{1}{m_1} = e^{\frac{\sigma_\epsilon}{\sigma_{s\text{sep}} \left(\frac{1}{1+1,6\mu} - \frac{2\mu Q}{\pi D s \sigma_\epsilon} - \frac{s}{2r_{1M} + s} \right)}} \quad (1.7)$$

Теоретичним та експериментальним дослідженням процесу витягування присвячені ряд робіт авторів А. А. Шофмана [7], Е. А. Попова [8] та В. П. Романовського [3, 9, 10, 11].

За даними роботи [3], зусилля витягування змінюється протягом робочого ходу пуансона, досягаючи максимуму при глибині $h = (0,4 \dots 0,6) \cdot H$, де H – повна глибина витягування.

В роботі [9] приведені три експериментальні криві зусилля витягування (на рисунку 1.7) для різних матеріалів, що отримані за однакових умов штампування (розмірах заготовки та коефіцієнта витягування). Залежності $P = f(H)$ демонструють розбіжність максимуму теоретичних кривих (див. точки з абсцисою $H = r_n + r_m + s$) з експериментальними. Це пояснюється тим, що в теоретичних дослідженнях не враховувалася початкова стадія витягування та напруження, що в ній виникають [11]. Тим самим припускалося, що відразу з моменту прикладання зусилля починається пластична деформація фланця заготовки, чого немає в дійсності (на рисунку 1.8).

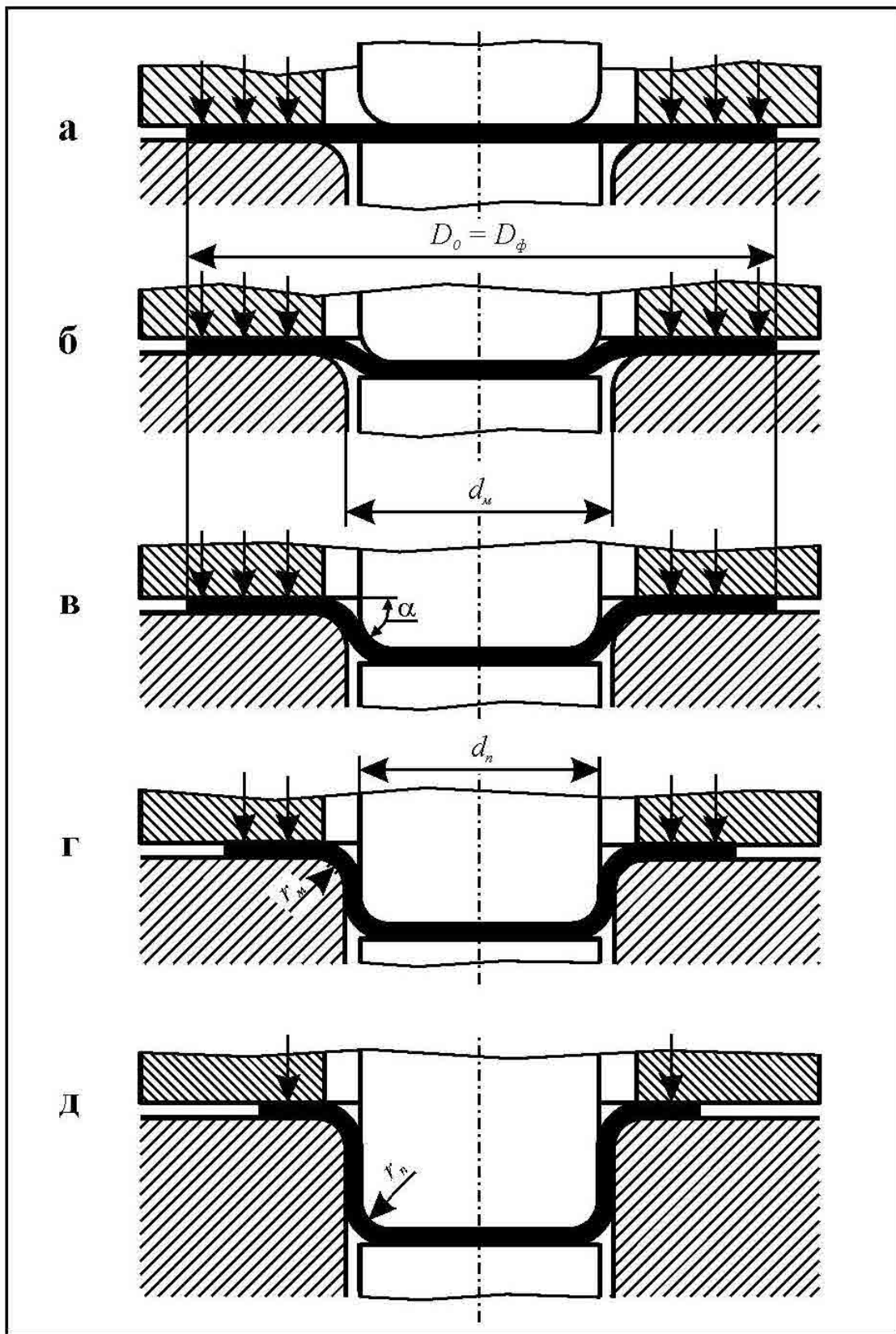
На рис. 1.9 приведені типові графічні залежності зусилля витягування на першій операції P від ходу пуансона h для алюмінієвого сплаву Д16М товщиною 1 мм при різних значеннях коефіцієнта витягування [9, 10]. Криві показують, що зі зменшенням коефіцієнта витягування m_1 , максимальне значення зусилля витягування підвищується, а максимум зусилля зсувається праворуч.



($D = 100$ мм; $s = 1,5$ мм; $m = 0,515$; $d_n = 50$ мм): 1 – сталь 08;

2 – латунь Л62; 3 – алюміній

Рисунок 1.7 – Залежність зусилля витягування P від H



а, б, в – початкова стадія; г – проміжна стадія; д – кінцева стадія

Рисунок 1.8 – Морфологія процесу витягування з притиском заготовки

Після складання загального рівняння рівноваги, аналітичного його рішення при деяких припущеннях, формула для визначення зусилля витягування на першій операції P_{01} набуде вигляду [1]:

$$P_{01} = 1,25 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma_e (D - d_1), \quad (1.6)$$

а з урахуванням коефіцієнта першого витягування m_1

$$P_{01} = 1,25 \cdot \pi \cdot s \cdot \sigma_e \left(\frac{1}{m_1} - d_1 \right). \quad (1.7)$$

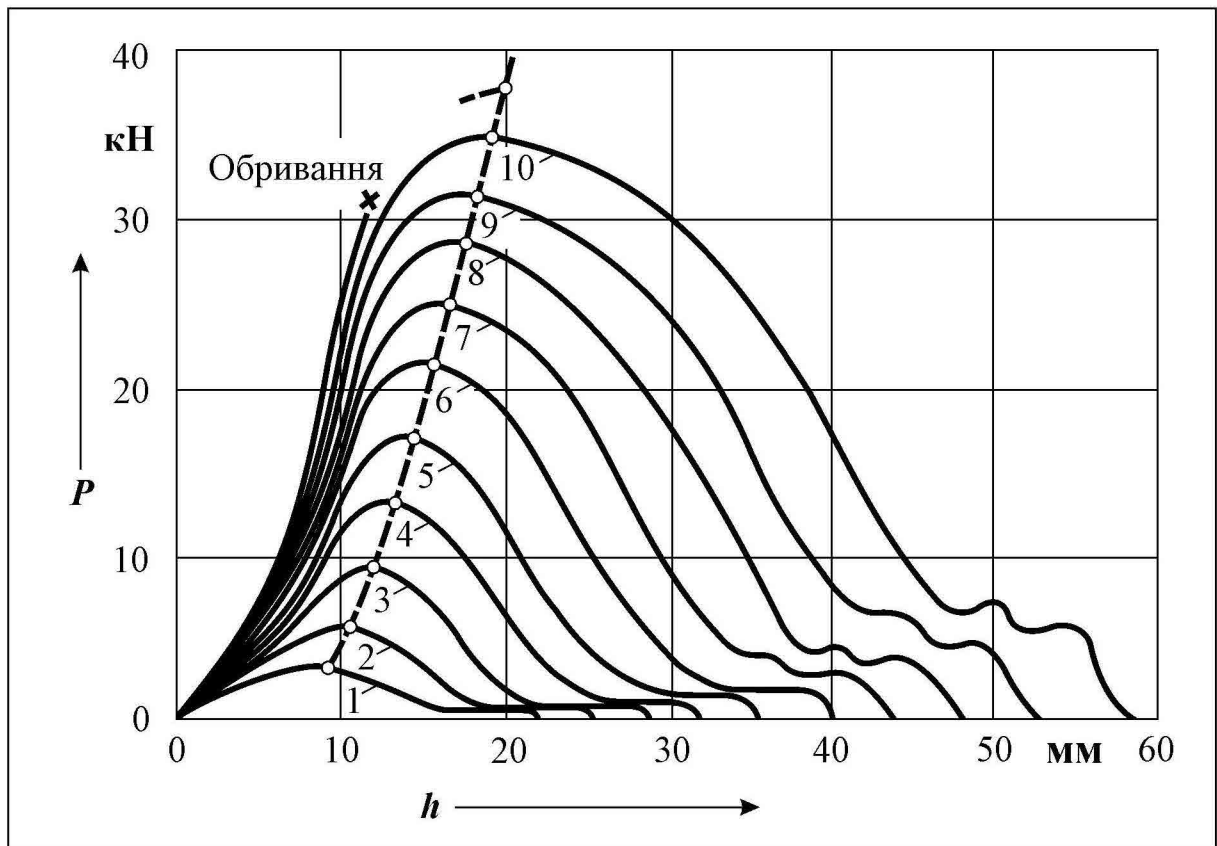
Загальне зусилля витягування P_1 визначається з урахуванням зусилля проштовхування виробу крізь матрицю P_{np} за емпіричною формулою:

$$P_1 = P_{01} + P_{np} = k \cdot P_{01} = (1,2 \dots 1,3) \cdot P_{01}, \quad (1.8)$$

де k – коефіцієнт, що ураховує вплив зусилля проштовхування.

На рисунку 1.9 наведені типові залежності зусилля витягування для першої операції P від ходу пуансона h (по І. Г. Ковальову [5, 6]). Матеріал заготовки: дюралюміній Д16М, товщиною 1 мм. Криві показують, що зі зменшенням коефіцієнта витягування m_1 , максимальне значення зусилля витягування за інших рівних умов збільшується, а максимум зусилля зсувається вправо.

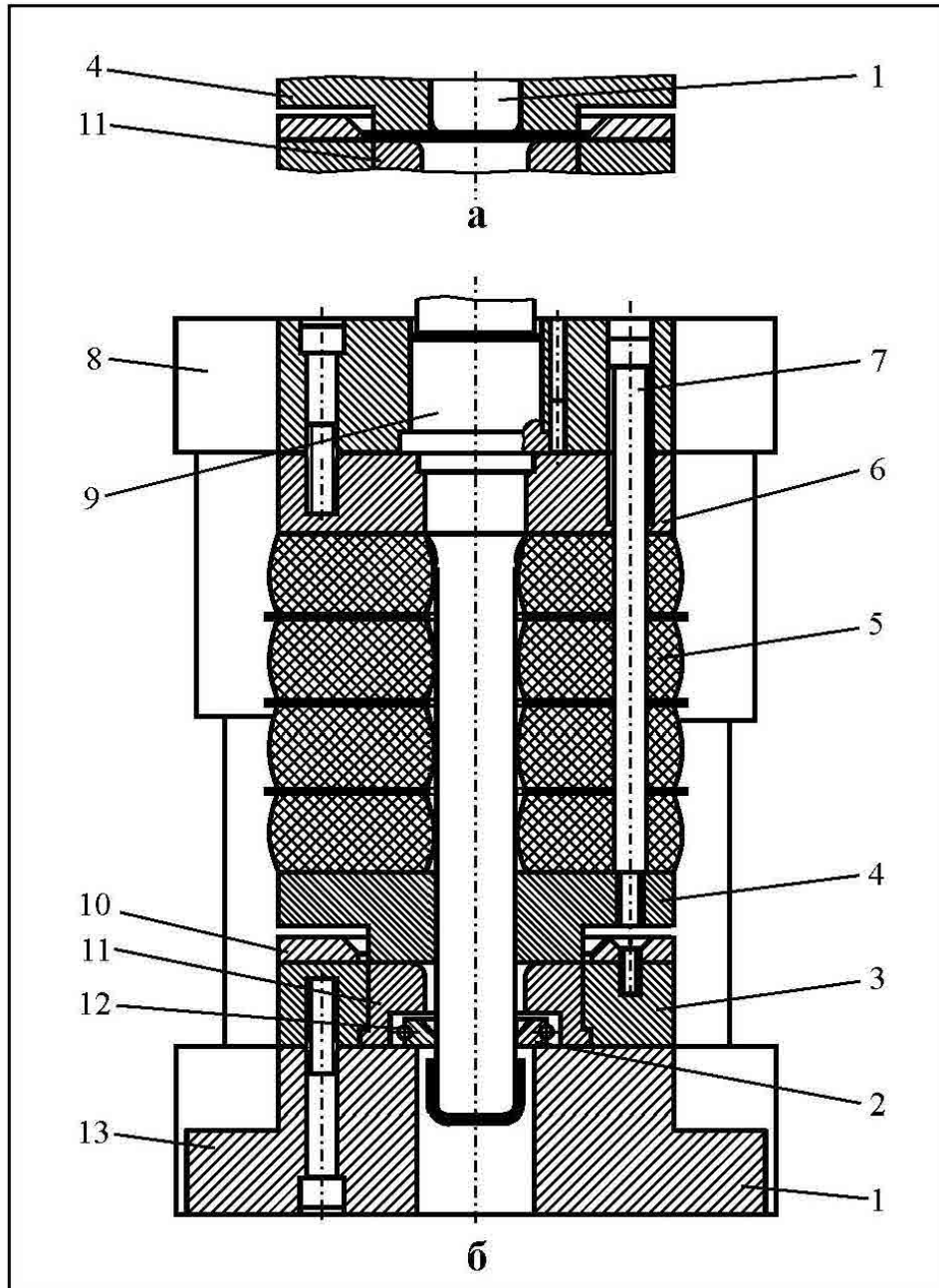
Витягування деталей, як відомо, здійснюється у *витяжних штампах*. Типовий витяжний штамп (на рисунку 1.10) має витяжний пуансон 1, витяжну матрицю 11, притискач 4 з буферним приводом (5, 7), трафарет 10 для фіксації вихідної заготовки, матрицетримач 3 та пуансонотримач 6. Пакет штампа змонтований у нормалізований блок (8, 13) з заднім розташуванням напрямних вузлів ковзання.



1 – $m_1 = 0,83$; 2 – $m_1 = 0,78$; 3 – $m_1 = 0,71$; 4 – $m_1 = 0,67$; 5 – $m_1 = 0,62$; 6 – $m_1 = 0,59$; 7 – $m_1 = 0,55$; 8 – $m_1 = 0,52$; 9 – $m_1 = 0,50$; 10 – $m_1 = 0,48$

Рисунок 1.9 – Типові залежності зусилля витягування для першої операції P від ходу пуансона h

Штамп працює таким чином. Вихідну заготовку вкладають пінцетом в трафарет 10 і здійснюють дворучне вмикання пресу. При ході повзуна вниз притискач 4 перший торкається заготовки і притискує її до дзеркала витяжної матриці 11 за рахунок стиснення поліуретанового буфера 5. При подальшому опусканні повзуна витяжний пуансон 1 діє на заготовку, втягує її в зазор між матрицею 11 і пуансоном 1, та проштовхує крізь знімач 2. При зворотному ході повзуна знімач 2 відсікає гострою кромкою відштампований виріб і таким чином знімає його з витяжного пуансона 1.



а – початок штампування (момент торкання пуансоном заготовки); б – кінець штампування; 1 – пуансон; 2 – знімач; 3 – матрицетримач; 4 – притискач; 5 – буфер; 6 – пуансонотримач; 7 – ступінчастий гвинт; 8 – плита верхня; 9 – хвостовик; 10 – трафарет; 11 – матриця; 12 – пружина розтягання; 13 – плита нижня

Рисунок 1.10 – Типовий штамп для витягування

Таким чином, способи витягування з притиском фланця дозволяють знизити граничний коефіцієнт витягування m_2 до 0,48, а за деякими джерелами тільки до 0,6 [4], і тим самим суттєво підвищити глибину витягування.

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

Із викладеного вище виходить, що способи витягування з притиском фланця, хоча і більш прогресивні, порівняно зі способами витягування без притиску фланця, не дозволяють знизити граничний коефіцієнт витягування m_2 менше ніж 0,48...0,6. При спробі реалізації процесу при менших значеннях коефіцієнта витягування спостерігається відрив дна, який обумовлений перевищенням напружень розтягання в критичному перерізі заготовки (між донною та бічною поверхнями) межі міцності заготовки σ_e .

На думку автора, дані напруження можна значно зменшити за рахунок заміни заготовки із суцільного матеріалу на заготовку із не суцільного матеріалу, зокрема на металеву сітку або перфоровану заготовку. Деталі, які отримані способом витягування із не суцільного матеріалу, можуть штампуватися при значно менших коефіцієнтах витягування, а отже мати значно більшу висоту витягнутої частини. Крім того, деталі (наприклад, кожуха та оболонки), що виготовлені із не суцільної заготовки, мають значно меншу масу, порівняно з деталями, що виготовлені із суцільної заготовки.

Спосіб витягування деталей із не суцільного матеріалу не був об'єктом дослідження, а тому технологічні можливості даного способу невідомі.

Тому, метою дослідження є підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію шляхом використання для заготовки не суцільного матеріалу (металевої сітки або перфорації заготовки).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз та узагальнення результатів огляду сучасних способів витягування деталей із плоскої заготовки та обґрунтувати напрямок досліджень;

- обґрунтувати технологічну схему формоутворення поверхні тіла при витягуванні деталей з притиском фланця із плоскої сітчастої заготовки;

- розробити методику експериментального дослідження процесу витягування деталей з притиском фланцю із плоскої сітчастої заготовки;

- виконати експериментальне дослідження способу витягування деталей з притиском фланця із плоскої сітчастої заготовки. Запропонувати новий спосіб витягування;

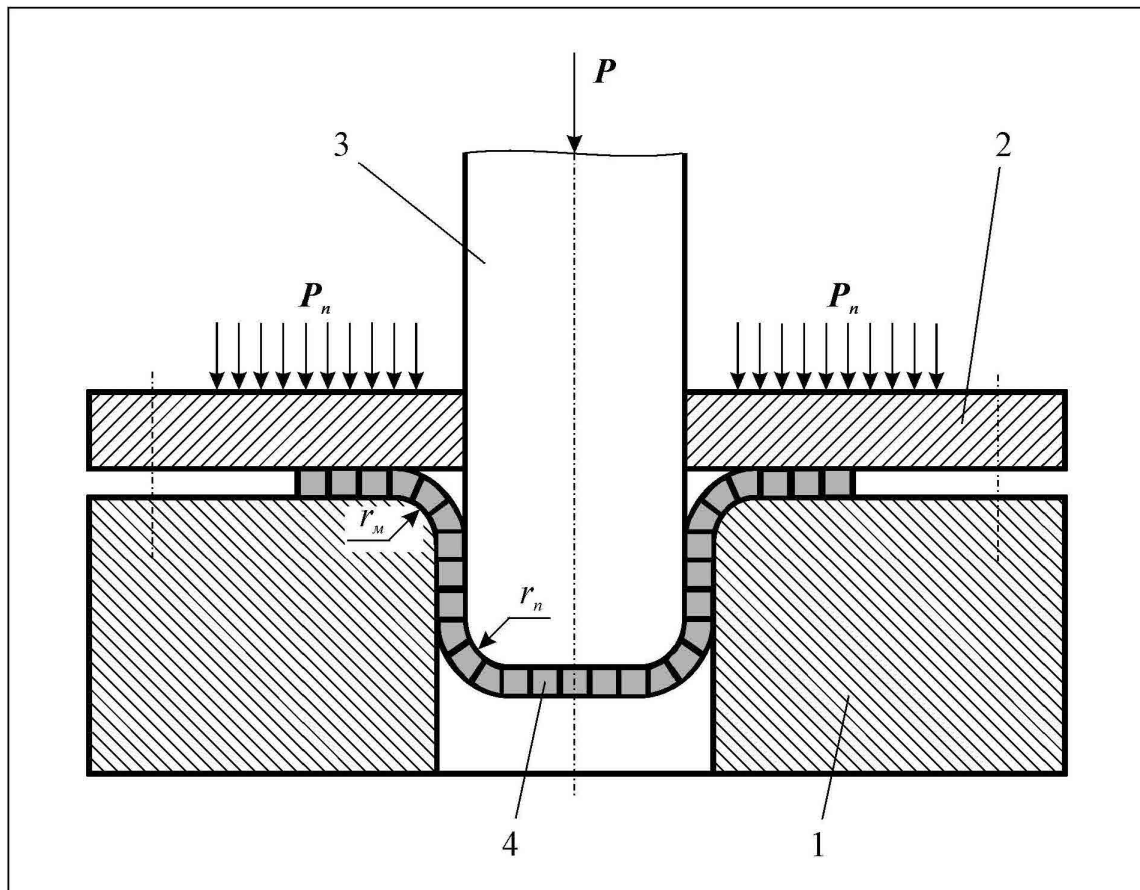
- виконати експериментальне дослідження способу витягування деталей з притиском фланця із плоскої перфорованої заготовки. Запропонувати новий спосіб витягування.

Розділ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Обґрунтування технологічної схеми формоутворення поверхні тіла при витягуванні деталей з притиском фланця із плоскої сітчастої заготовки

В способі витягування деталей, що пропонується, реалізується нова технологічна схема формоутворення, в якій використовується не суцільна заготовка, зокрема плоска, сітчаста (на рисунку 2.1).



1 – матриця; 2 – притискач; 3 – пуансон; 4 - виріб

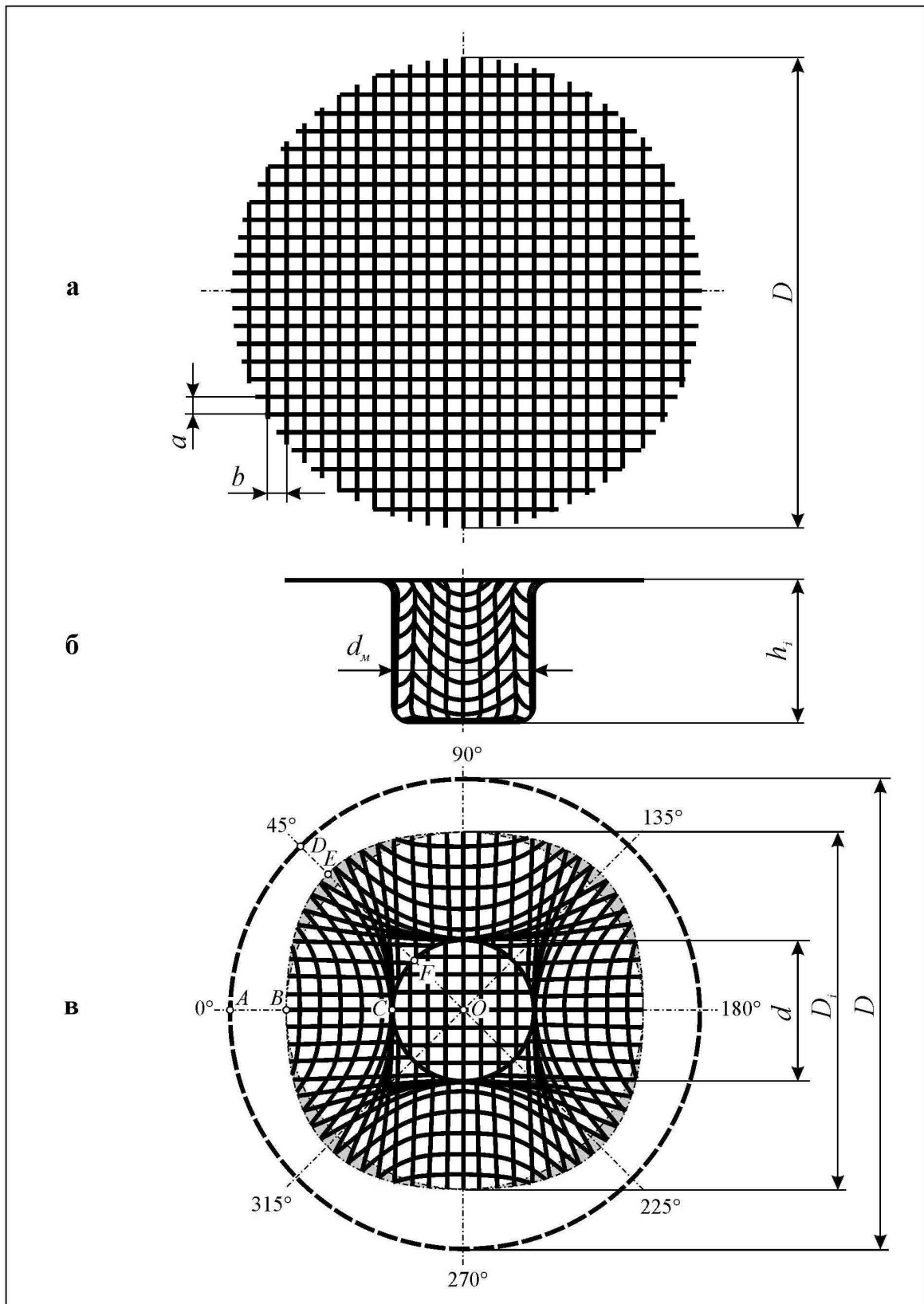
Рисунок 2.1 – Технологічна схема формоутворення поверхні тіла при витягуванні з притиском фланця із плоскої сітчастої заготовки

Плоску сітчасту заготовку (на рис. не показано) кладуть на витяжну матрицю 1 з радіусом округлення кромки r_m , накривають притискачем 2 та притискають до матриці 1 з постійним невеликим зусиллям P_{np} , яке дорівнює 0-10 Н. Далі у притискач вставляють пуансон 3 з радіусом округлення кромки r_n , навантажують його зусиллям P та здійснюють витягування виробу 4.

Плоска сітчаста заготовка (на рисунку 2.2, а) в процесі витягування деформується (на рисунку 2.2, б, в).

Виникають напруження розтягу σ_p у радіальному та стиснення σ_Θ у тангенціальному напрямках, що безпосередньо зв'язані з опором деформації металу. Оскільки у фланці не суцільної заготовки при куті 0° до вічка сітки (радіальний напрямок $A-B-C$) напруження розтягу σ_p збігається за напрямком з віссю дроту сітки, дріт натягається, але не викривляється. В цей же час напруження стиснення σ_Θ – невеликі, порівняно з напруженнями, що виникають у фланці при витягуванні суцільної заготовки, так як вони викликані бічною деформацією «порожнього» вічка сітки. Аналогічна картина спостерігається у фланці при кутах 90° , 180° та 270° .

Інша картина спостерігається у фланці сітчастої заготовки при куті 45° до вічка сітки (радіальний напрямок $D-E-F$). Оскільки напруження розтягу σ_p не збігається за напрямком з віссю дроту, дріт викривляється та викликає суттєве деформування вічку сітки в напрямку від квадрату до подовженого в радіальному напрямку ромбу. При цьому напруження стиснення σ_Θ – теж невеликі, порівняно з напруженнями, що виникають у фланці при витягуванні суцільної заготовки, так як вони теж викликані бічною деформацією «порожнього» вічка сітки. Вони навіть менші напружень стиснення σ_Θ , що виникають при кутах 0° , 90° , 180° та 270° . Аналогічна картина спостерігається у фланці при кутах 135° , 225° та 315° .



а – вихідна заготовка; б, в – заготовка в процесі витягування

Рисунок 2.2 – Моделювання картини викривлення вічок сітки при витягуванні

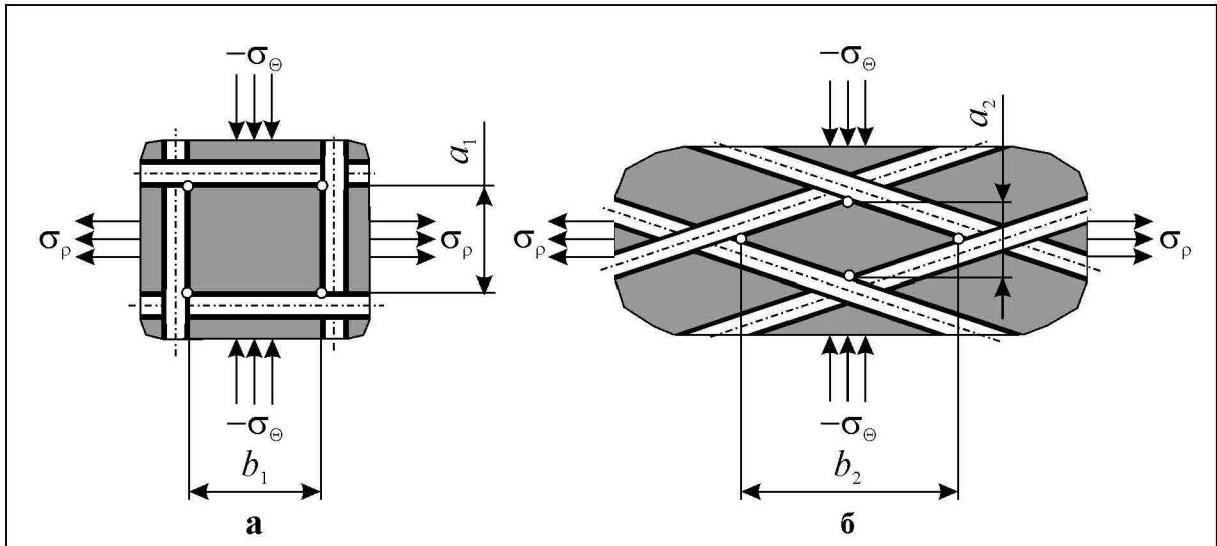


Рисунок 2.3 – Схема напружень розтягу σ_r у радіальному та стиснення σ_θ у тангенціальному напрямках, що виникають в елементарному вічку фланця сітчастої заготовки в процесі витягування при кутах 0° (а) та 45° (б)

Таким чином, в процесі витягування у фланці сітчастої заготовки спостерігаються наступні зміни розмірів у світлі елементарного вічка ($a \times b$):

- при кутах $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$: $a_1 < a$; $b_1 \approx b$;
- при кутах $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$: $a_2 \ll a$; $b_2 \gg b$.

Такі зміни впливають на відхилення від кола зовнішнього периметру заготовки з утворенням чотирьох зон «надлишкового» матеріалу (на рисунку 2.2 зони виділено сірим кольором), що потребує застосування операції обрізування. Слід припустити, що при збільшенні діаметра вихідної заготовки та підвищенні висоти витягнутого ковпачка, зони «надлишкового» матеріалу будуть зростати, і тоді виникає питання про оптимальну форму вихідної сітчастої заготовки. Особливий практичний інтерес має процес витягування круглого стаканчика із квадратної заготовки, який потребує подальшого вивчення.

Наведена технологічна схема формоутворення поверхні тіла при витягуванні деталей з притиском фланцю із плоскої сітчастої заготовки суттєво зменшує зусилля штампування, що створює передумови для зменшення граничного коефіцієнту витягування і підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію.

2.2 Методика експериментального дослідження

Методика визначення граничного коефіцієнта витягування для сітчастої заготовки передбачає наступну послідовність виконання експериментального дослідження:

- для можливості подальшого порівняння, приймається за орієнтир вихідна заготовка діаметром $D = 60$ мм за як така, із якої гарантовано (без відриву дна) витягується стаканчик середнім діаметром $d_c = 29$ мм із листової сталі 08. Експериментально встановлено, що при використанні заготовки діаметром $D = 65$ мм дно ковпачка із листової сталі завжди відривається. Можна вважати, що граничний коефіцієнт витягування для даних умов $m_2 = 29/60 = 0,48$;

- із металевої сітки простого переплетення (розмір сторони вічку у світлі 2,5 та діаметром дроту 0,5) вирізали заготовки у формі диску діаметром $D = 55, 60, 65$ і т. д. мм, тобто для кожного наступного експерименту діаметр заготовки збільшували на 5 мм;

- послідовно із кожної заготовки витягували ковпачки, вимірювали їх розміри, розраховували коефіцієнти витягування та заносили отримані дані в таблицю. Експеримент продовжували до моменту відриву дна. За граничний коефіцієнт витягування приймали такий коефіцієнт, який відповідає ковпачку без відриву дна, що був отриманий із найбільшого діаметру D вихідної заготовки;

- виконували порівнювальний аналіз граничних коефіцієнтів витягування стаканчиків із листової та сітчастої заготовок.

2.3 Експериментальне обладнання та оснащення

Витягування заготовок із різних матеріалів здійснювали з використанням універсальної випробувальної машини УИП – 50 (на рисунку 2.4), яка дозволяє реєструвати зусилля в процесі деформації.

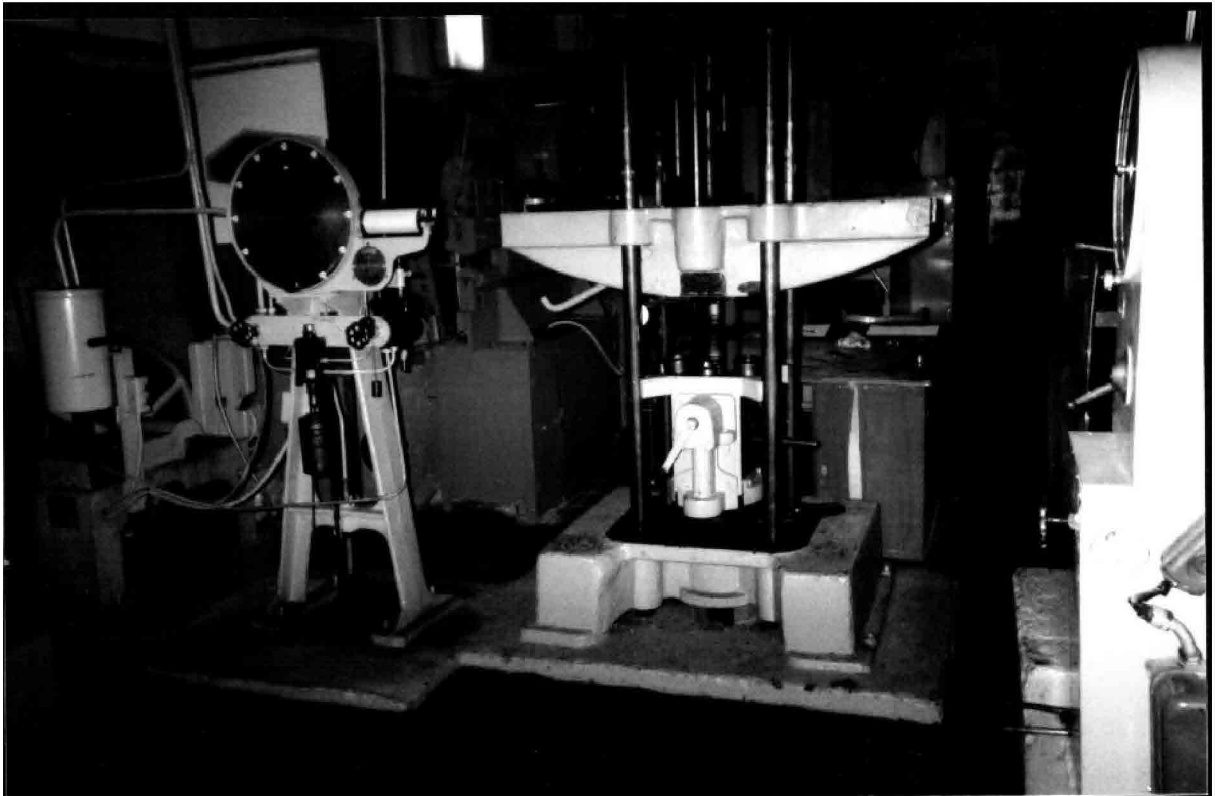


Рисунок 2.4 – Експериментальна універсальна випробувальна машина УИП-50

Технічна характеристика

Потужність електродвигуна насосу, кВт	2,8
Максимальний робочий тиск насосу, МПа	23,5
Діапазон навантажень, що заміряються, кН	0 – 50

0 – 100

0 – 250

0 – 500

Ціна поділки шкали зусилля вимірювача при діапазоні навантажень, що заміряються, кН:

від 0 до 50 кН 0,1

від 0 до 100 кН 0,2

від 0 до 250 кН 0,5

від 0 до 500 кН 1,0

Габарити машини, що встановлена на фундаменті, мм:

довжина 288

ширина 1180

висота 5330

Маса машини складає 2668 кг та складається з маси, кг:

насосу 288

пресу 2160

зусилля вимірювача 220



В якості інструмента використовувався експериментальний штамп (на рисунку 2.5).

Рисунок 2.5 – Експериментальний витяжний штамп, що встановлений на універсальну випробувальну машину УИП-50

Він складається з наступних основних деталей (на рисунку 2.6):

- витяжного пуансона 1;
- матриці 2, яка дозволяє встановлювати вихідні заготовки діаметром D до 170 мм;
- притискача 3 для запобігання гофроутворенню на фланці заготовки;
- втулки-підставки 4 для забезпечення виходу пуансона з відштампованим зразком;
- чотирьох спеціальних гайок 5;
- чотирьох шпильок 6.

Штамп працює таким чином. В початковому положенні експериментальний штамп знаходиться у частково розібраному стані. На втулку-підставку 4 встановлюють матрицю 2 з попередньо вкрученими шпильками 6. Далі змащують вихідну заготовку із не суцільного матеріалу та встановлюють на дзеркало матриці 2 симетрично відносно її осей. Заготовку накривають притискачем 3 та легко фіксують його нижнє положення спеціальними гайками 5. В центральний отвір притискача вставляють витяжний пуансон 1. У такому вигляді встановлюють штамп на універсальну випробувальну машину УІП-50. Витягування зразка здійснюють з записом зусилля штампування. Після штампування знімають зразок, вимірюють його та фіксують результати виміру в таблиці.

2.4 Матеріали, зразки та вимірювальний інструмент

Експериментальні дослідження способу витягування деталей з притиском фланцю із плоскої сітчастої та перфорованої заготовки здійснювали з використанням в якості зразків наступних матеріалів:

- сітка напівтомпакова 2,0 ГОСТ 6613-73 [12], товщина 1 мм;
- листовий прокат із якісної вуглецевої сталі марки 08, товщиною 1 мм [13].

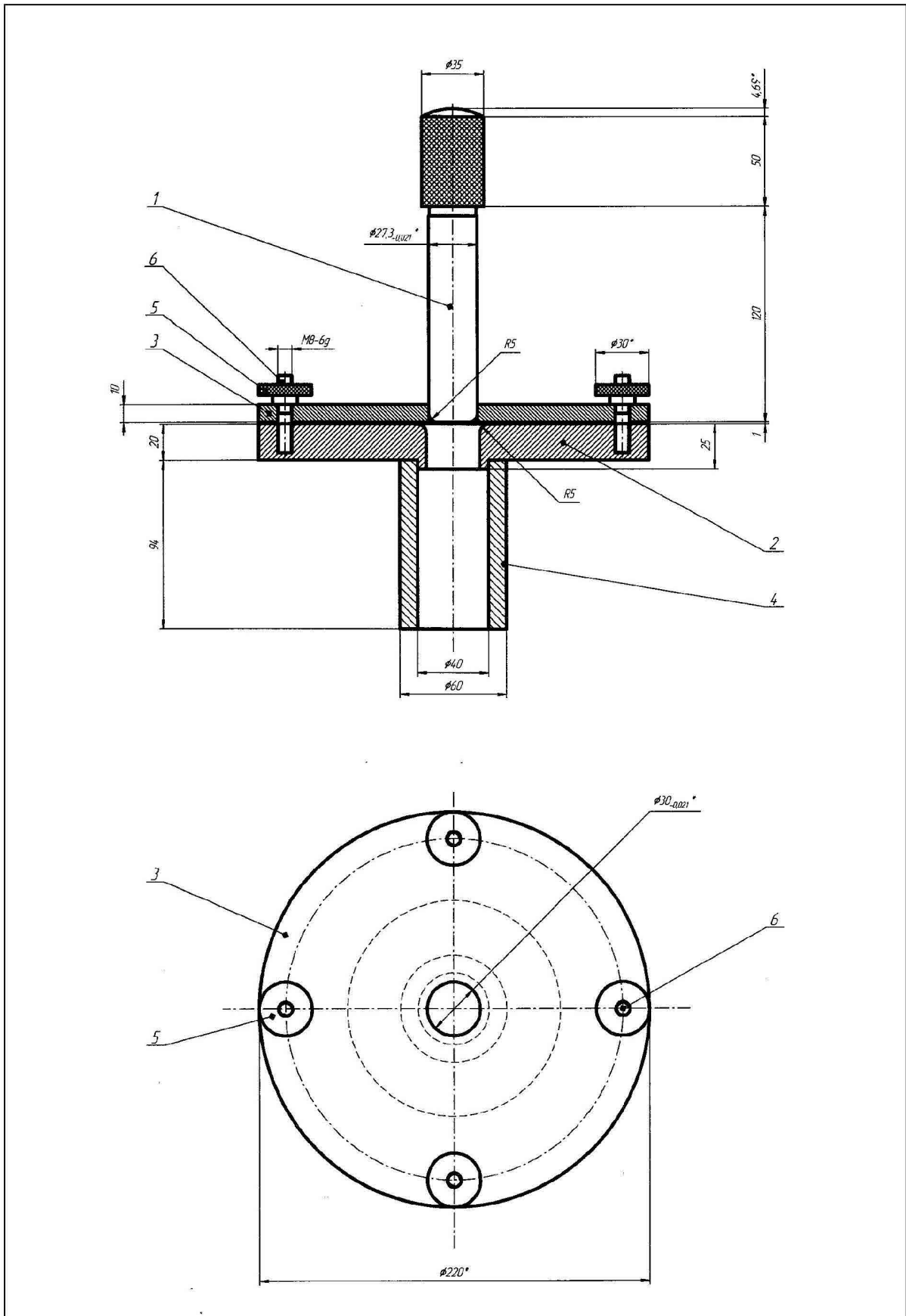


Рисунок 2.6 – Креслення експериментального штампа

Зразки вирізали круглої форми (у вигляді дисків). Діаметри зразків вказані у відповідних розділах роботи.

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

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

2.5 Вимоги безпеки під час виконання технологічного процесу

Під час виконання штампувальних робіт необхідно дотримуватися вимог [15, 16], які зазначені в Правилах охорони праці під час холодного оброблення металів НПАОП 0.00-1.68-13.

Під час штампування дрібних деталей невеликими партіями подавання заготовок у штамп необхідно виконувати із застосуванням засобів малої механізації (лотків, шиберів). Подавання заготовок у штамп і видалення відштампованих деталей і відходів зі штампа вручну дозволяється за наявності на пресі ефективних захисних пристроїв або при застосуванні штампів безпечної конструкції, висувних або відкидних матриць, зблокованих із ввімкненням преса. На невеликих штампах, застосовуваних на пресах з малим ходом повзуна, необхідно передбачати зазори безпеки між рухомими і нерухомими їх частинами:

- не більше 8 мм - між верхнім рухомим знімачем і матрицею, між нерухомим нижнім знімачем і пуансоном при перебуванні повзуна у верхньому положенні;
- не менше 20 мм - між нижнім знімачем і притиском та пуансонотримачем, між втулками (у штампах з напрямними колонками) і знімачем під час перебування повзуна в нижньому положенні.

На пресах з великим ходом повзуна зазначений зазор безпеки 20 мм повинен бути збільшений з таким розрахунком, щоб кисть руки працівника не була притиснута в нижньому положенні повзуна. Якщо за умовами роботи (установка штампа на пресі з нерегульованим великим ходом повзуна) неможливо дотримати зазори безпеки між рухомими і нерухомими частинами, небезпечні зони повинні бути обгороджені.

У штампах з напрямними колонками повинно блокуватися сходження напрямних втулок з колонок під час підйому повзуна. Противіджимні пристрої не повинні виходити з напрямного отвору під час роботи преса, або вони повинні розташовуватися на штампі відповідно до вимог технологічної документації. Застосування випадкових шайб і прокладок під час кріплення штампів не дозволяється. Під час закріплення верхньої частини штампа за допомогою хвостовика розміри його повинні відповідати отвору в повзуні преса. За потреби повинні використовуватися інші наявні в повзуні преса елементи кріплення (різьбові, наскрізні отвори). Застосовувати на хвостовиках штампів перехідні втулки дозволяється у випадках, коли хвостовик призначений тільки для центрування. Під час закріплення верхньої частини штампа до повзуна преса тільки хвостовиком, а також при застосуванні кулькових напрямних елементів, сходження напрямних втулок з колонок під час роботи штампа не дозволяється. Видалення застряглих у штампі деталей і відходів необхідно виконувати відповідними пристроями (гачками, щітками) при вимкненому пресі. Змащування штампів необхідно виконувати за допомогою спеціальних пристосувань (ручних розбризкувачів або стаціонарних пристроїв для змащування) для запобігання потраплянню рук працівника у небезпечну зону. Під час роботи на пресах необхідно систематично перевіряти кріплення штампів до преса, кріплення деталей штампів, стан захисних пристроїв, прочищати канали для змащення і виходу повітря [16].

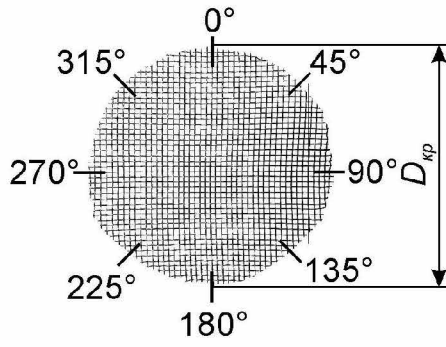
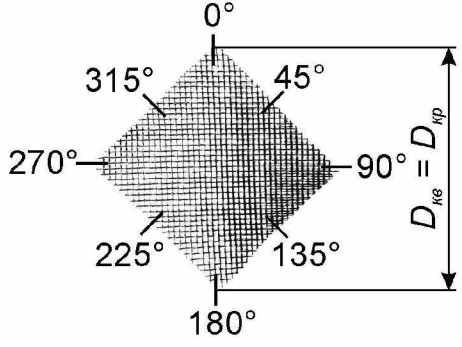
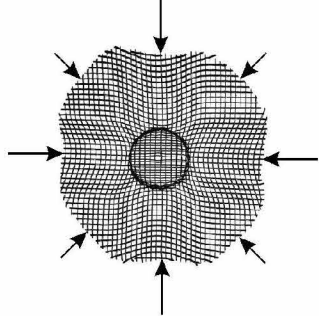
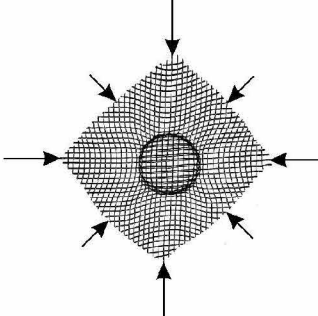
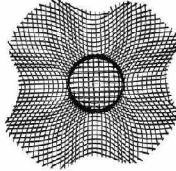
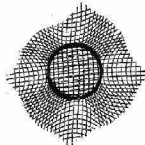
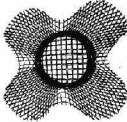



Розділ 3

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ
ВИТЯГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ПРИТИСКОМ ФЛАНЦЯ
ІЗ ПЛОСКОЇ СІТЧАСТОЇ ВИХІДНОЇ ЗАГОТОВКИ****3.1 Морфологія зміни форми фланця в процесі витягування
ковпачка із круглої та квадратної сітчастої заготовки**

Для порівнювального аналізу зміни форми фланця в процесі витягування стаканчика середнім діаметром 29 мм виготовили дві заготовки із сітки. Перша заготовка була кругла та мала діаметр 90 мм, а друга була квадратна з довжиною діагоналі теж 90 мм. Таким чином, квадратна заготовка вписувалася в круг 90 мм. Крім того, дотримувалася додаткова умова: сторони квадратної заготовки паралельні діагоналям вічка сітки, тобто квадратна заготовка була повернута відносно квадратного вічка сітки на кут, що дорівнює 45° .

Витягування здійснювали на експериментальному штампі (див. рис. 2.6) послідовно з кроком зміни висоти ковпачка h 10 мм. Після кожного витягування заготовку виймали зі штампа, клали на білий папір та фотографували фланець. Як бачимо (таблиці 3.1), в процесі витягування циліндричного стаканчика 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

Таблиця 3.1 – Морфологія зміни форми фланця в процесі витягування стаканчика із круглої та квадратної сітчастих вихідних заготовок

Висота стаканчика 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 

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 суттєво зменшити собівартість штампування деталей за рахунок зменшення площі вихідної заготовки.

3.2 Визначення граничного коефіцієнта витягування для круглої та квадратної сітчастої заготовки

З метою подальшого порівнювального аналізу, експериментально-аналітичне визначення граничних коефіцієнтів витягування циліндричних ковпачків середнім діаметром 29 мм здійснювали за методикою, що викладена у підрозділі 2.2, для наступних вихідних заготовок:

- кругла заготовка із листової сталі 08, товщиною 1 мм;
- кругла заготовка із металевої сітки, товщиною 1 мм (див. підрозділ 2.4);
- квадратна заготовка із металевої сітки, товщиною 1 мм.

Результати дослідження та розрахунків наведено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Результати експериментально-аналітичного визначення граничних коефіцієнтів витягування циліндричних ковпачків діаметром $d_c = 29$ мм

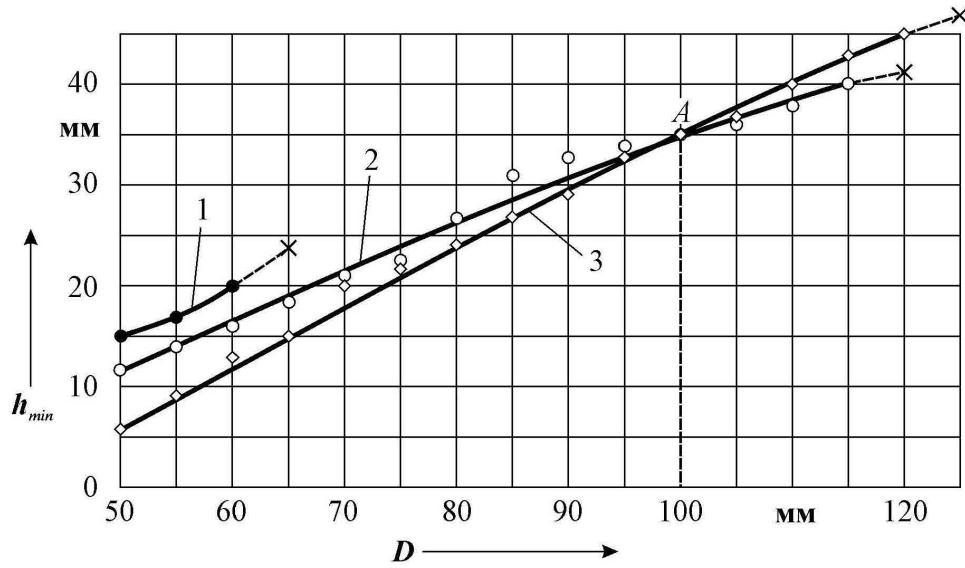
Діаметр (розмір) вихідної заготовки D , мм	Коефіцієнт витягування $m = d_c / D$	Висота витягнутого стаканчика h_{min} , мм		
		Кругла вихідна заготовка із листової сталі 08	Кругла вихідна заготовка із металевої сітки	Квадратна вихідна заготовка із металевої сітки
50	0,580	15	12	6
55	0,527	17	14	9
60	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

На підставі отриманих результатів:

- побудована графічна залежність мінімальної висоти стаканчика h_{min} від діаметру (розміру) D , форми та матеріалу вихідної заготовки (на рисунку 3.1);

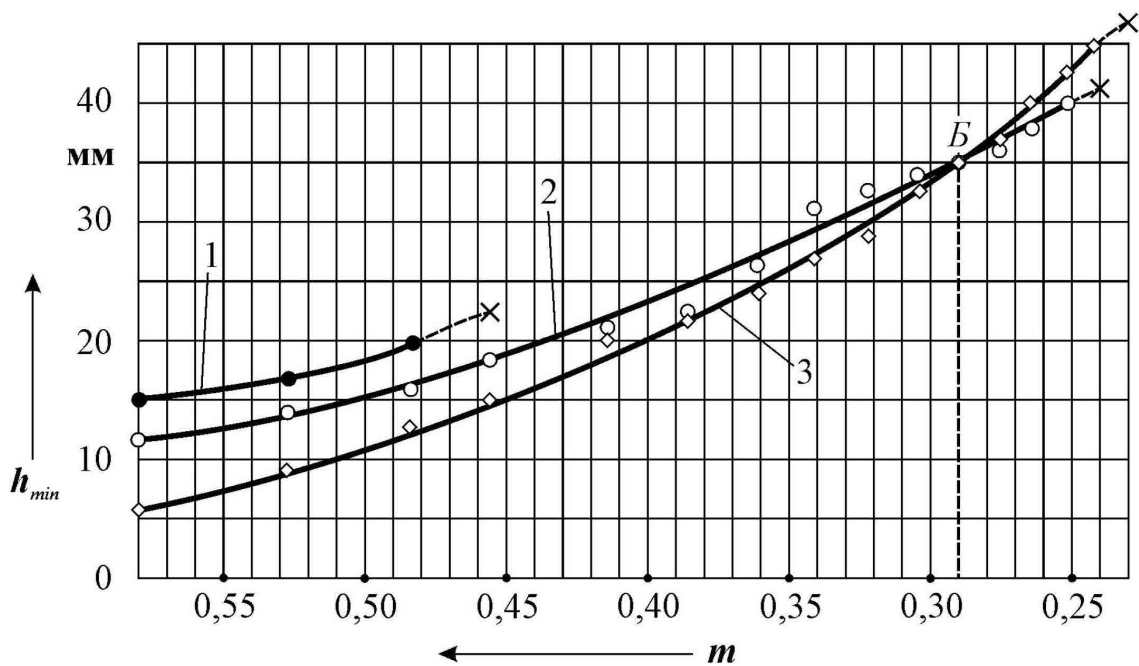
- побудована графічна залежність мінімальної висоти стаканчика h_{min} від коефіцієнта витягування m , форми та матеріалу вихідної заготовки (рис. 3.2);

- виконано порівнювальний аналіз процесу та граничних коефіцієнтів витягування циліндричних стаканчиків із різних вихідних заготовок (таблиця 3.3), та порівнювальний аналіз циліндричних стаканчиків із різних вихідних заготовок при граничних значеннях коефіцієнтів витягування m_c (таблиця 3.4).



1 – кругла заготовка із листової сталі 08; 2 – кругла заготовка із сітки; 3 – квадратна заготовка із сітки; × - обрив дна

Рисунок 3.1 – Залежність мінімальної висоти ковпачка h_{min} від діаметру (розміру) D , форми та матеріалу вихідної заготовки





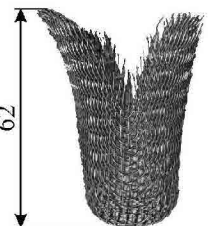
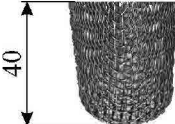
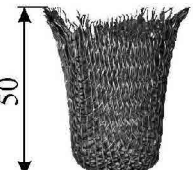
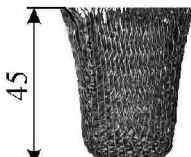
1 – кругла заготовка із листової сталі 08; 2 – кругла заготовка із сітки; 3 – квадратна заготовка із сітки; × – обрив дна

Рисунок 3.2 – Залежність мінімальної висоти стаканчика h_{min} від коефіцієнта витягування m , форми та матеріалу вихідної заготовки

Таблиця 3.3 – Порівнювальний аналіз процесу та граничних коефіцієнтів витягування циліндричних ковпачків із різних вихідних заготовок

Вихідна заготовка		Граничний коефіцієнт витягування m_e		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

Таблиця 3.4 – Порівнювальний аналіз циліндричних ковпачків із різних вихідних заготовок при граничних значеннях коефіцієнтів витягування m_e

Вихідна заготовка		Фото стаканчика при $m = m_e$	
		До обрізування	Після обрізування
Матеріал	Форма		
Листова сталь 08	Кругла	1.1 	1.2 
		2.1 	2.2 
Металева сітка	Кругла		
Металева сітка	Квадратна	3.1 	3.2 

Із рисунка 3.1 виходить, що із підвищенням діаметру (розміру) вихідної заготовки D мінімальна висота стаканчика h_{min} зростає, але до певної межі. Дана межа визначається граничним значенням коефіцієнта витягування (на рисунку 3.2), який найменший для квадратної заготовки із сітки (таблиці 3.3). Так, для круглої вихідної заготовки із листової сталі 08 мінімальна висота стаканчика $h_{min} = 20$ мм, для круглої заготовка із сітки – 40 мм, а для квадратної заготовки із сітки – 45 мм (таблиці 3.4). Як бачимо, найкращі показники за цим фактором спостерігаються при витягуванні із квадратної сітчастої заготовки.

Крім того, із таблиці 3.3 видно, що для отримання стаканчика мінімальною висотою 20 мм, доцільно використати квадратну сітчасту заготовку як таку, яка володіє найменшою площею: площа квадратної сітчастої вихідної заготовки на 5,7 % менша площі круглої вихідної заготовки із листової сталі 08 та на 24,4 % менша площі круглої вихідної заготовки із сітки. Використання квадратної сітчастої вихідної заготовки дозволяє суттєво зменшити собівартість витягнутого із неї виробу.

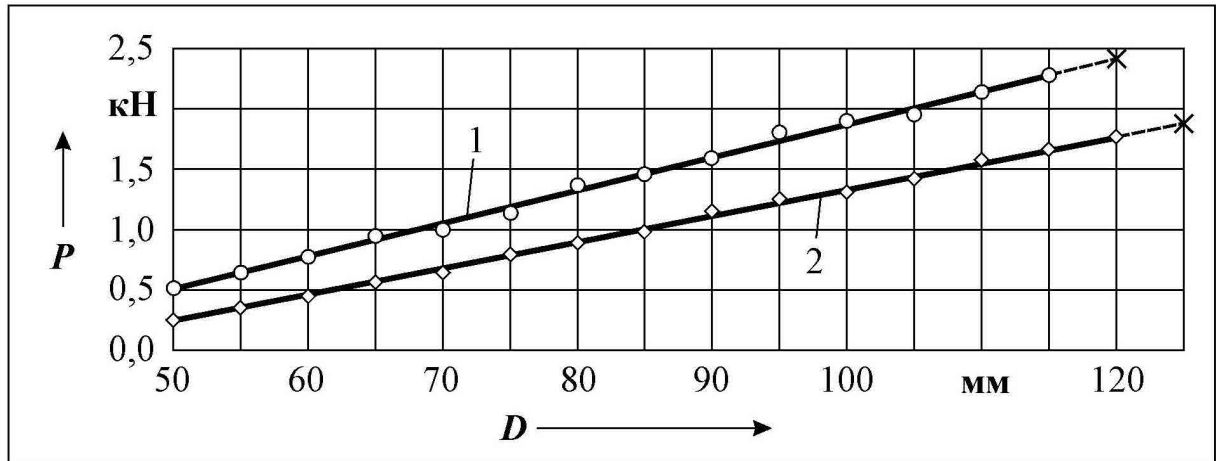
3.3 Зусилля витягування циліндричних стаканчиків із сітчастої вихідної заготовки

В загальному випадку зусилля витягування циліндричних стаканчиків із сітчастої вихідної заготовки залежить від розміру (діаметру) D , товщини S , форми та матеріалу вихідної заготовки (σ_e), а також від діаметру ковпачка d_c .

Завданням даного підрозділу показати фізичний зв'язок зусилля витягування циліндричних стаканчиків із сітчастої вихідної заготовки з її формою.

Для експериментального дослідження впливу форми вихідної сітчастої заготовки на зусилля витягування здійснювали витягування

циліндричних (діаметром D) та вписаних в них квадратних (розміром D) заготовок в діапазоні зміни D від 50 до 125 мм. Результати дослідження наведено на рисунку 3.3.



1 – кругла заготовка; 2 – квадратна заготовка

Рисунок 3.3 – Залежність зусилля витягування P циліндричного стаканчика із сітки від розміру (діаметру) D та форми вихідної заготовки

Як бачимо, із підвищенням розміру (діаметру) D вихідної заготовки зусилля витягування P лінійно збільшується і для круглої, і для квадратної заготовки. Однак, обидві прямі на графіку не паралельні, а зусилля витягування із квадратної заготовки із підвищенням розміру D безперервно зменшується. Для пояснення цього явища порівняємо відсоток зменшення зусилля витягування квадратної заготовки по відношенню до круглої з відсотком зменшення площі фланця квадратної заготовки по відношенню до круглої для діаметрально протилежних точок на графіку: для заготовок розміром $D = 50$ мм та $D = 115$ мм. Результати аналізу наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Порівнювальний аналіз впливу площі фланця круглої та квадратної сітчастої вихідної заготовки в плані на зусилля витягування

Форма вихідної заготовки	Заготовка розміром $D = 50$ мм				Заготовка розміром $D = 115$ мм			
	Площа фланцю ($F_{D=50} - F_{d=29}$)		Зусилля витягування P		Площа фланцю ($F_{D=115} - F_{d=29}$)		Зусилля витягування P	
	мм ²	%	кН	%	мм ²	%	кН	%
Кругла	1302	100	0,53	100	9721	100	2,26	100
Квадратна	590	54,7	0,26	51,3	5952	38,8	1,65	38,2

Як бачимо, при витягуванні стаканчика із вихідної заготовки розміром $D = 50$ мм, зменшення площі фланця квадратної заготовки до 54,7 % від площі круглої заготовки приводить до практично такому ж зменшенні зусилля витягування (до 51,3 % від зусилля витягування круглої заготовки). Аналогічна ситуація відбувається і при витягуванні стаканчика із вихідної заготовки розміром $D = 115$ мм: зменшення площі фланця квадратної заготовки до 38,8 % від площі круглої заготовки приводить до такого ж зменшенні зусиллі витягування (до 38,2 % від зусилля витягування круглої заготовки).

Отже, можна стверджувати, що зусилля витягування P циліндричного стаканчика із сітки пропорційно площі фланцю вихідної заготовки.

Слід відмітити, що фізичний механізм витягування циліндричних стаканчиків із сітчастої вихідної заготовки принципово відрізняється від фізичного механізму їх витягування із листової (суцільної) вихідної заготовки. В останньому випадку за Зубцовим М. Ю. [1] процес витягування супроводжується пластичним деформуванням заготовки у фланці для витискування надлишкових трикутників із фланця в циліндричну частину. В той же час при витягуванні циліндричних стаканчиків із сітчастої вихідної заготовки таких надлишкових трикутників немає. Матеріал сітки лише втягується в матрицю, а плоска форма фланцю вихідної заготовки перетворюється в циліндричну за

рахунок деформації вічок сітки. Таким чином, дроти стрічки, що співпадають та наближені до осей матриці в плані, в процесі витягування ковпачка випробують такі ж деформації, як при гнутті. Більш складну деформацію випробують дроти стрічки, які віддалені від осей матриці на відстань більшу її радіуса. Вони випробують одночасно складне гнуття (гнуття у двох площинах). При цьому периферійна частина вічок сітки безперервно деформується: витягується в бік від квадрату до ромбу. Із зменшенням коефіцієнта витягування (тобто при підвищенні діаметра вихідної заготовка) кількість деформованих «ромбів» у вхідному перерізі матриці, а отже кількість дротів сітки, зростає. Останнє підтверджується результатами дослідження кількості дротів сітки на лінії обрізування стаканчика при великому ($m = 0,446$; $D = 65$ мм) та малому ($m = 0,252$; $D = 115$ мм) коефіцієнті витягування для круглої та квадратної сітчастої вихідної заготовки (таблиця 3.6).

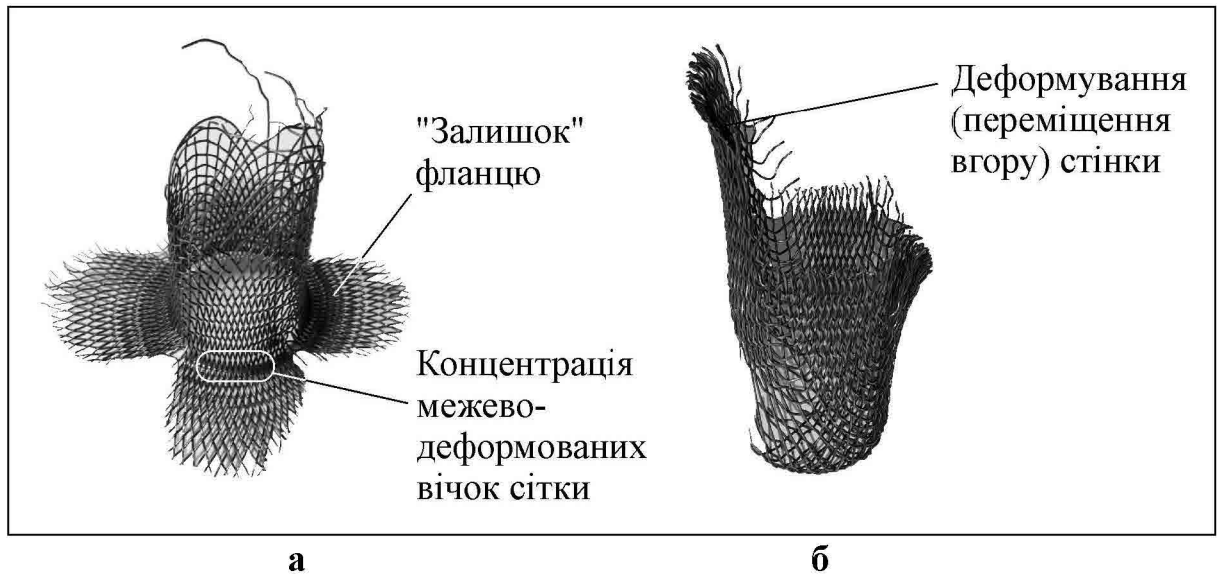
Таблиця 3.6 – Результати дослідження впливу коефіцієнта витягування на кількість дротів на лінії обрізування стаканчика із сітчастої вихідної

Коефіцієнт витягування m	Розмір (діаметр) вихідної заготовки D , мм	Кількість дротів на лінії обрізування стаканчика, шт.	
		Кругла заготовка	Квадратна заготовка
0,446	65	94	78
0,252	115	160	132

Як бачимо, і для круглої, і для квадратної сітчастої заготовки із зменшенням коефіцієнта витягування, кількість дротів сітки на лінії обрізування ковпачка за висотою h_{min} зростає, але дана кількість на 17% менша для квадратної заготовки. Саме тому, граничний коефіцієнт витягування для квадратної вихідної заготовки завжди менший коефіцієнта витягування для круглої вихідної заготовки.

При граничному значенні коефіцієнта витягування кількість дротів сітки на вхідному перерізі матриці збільшується настільки, що подальше

витягування «ромбів» в напрямку штампування потребує значного збільшення зусилля. По суті, настає момент переходу пластичного гнуття вічок сітки у холодне об'ємне розтягання її складових дротів. Тому, при подальшому зменшенні коефіцієнта витягування нижче граничного значення, найбільш навантажені тертям дроти сітки починають розриватися (на рисунку 3.4).



а – обрив дна при витягуванні із круглої сітчастої заготовки діаметром $D = 120$ мм; б – обрив дна з подальшим деформуванням стінки при витягуванні із квадратної заготовки розміром $D = 125$ мм

Рисунок 3.4 – Характер пошкодження ковпачків при коефіцієнті витягування менше граничного

3.4 Аналіз якості витягування деталей із сітчастої заготовки

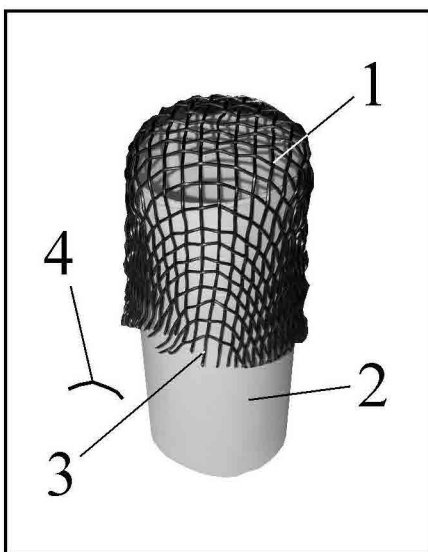
Особливістю витягування деталей із сітчастої заготовки є те, що вічка сітки на різних за геометрією її поверхнях деформуються по різному.

Так, найменш викривляється вічка на торцевій поверхні (дні) стаканчика. Цю властивість використовують, коли потрібно виготовити деталь з не викривленими вічками. Звичайно такі деталі являють собою

неглибокі стаканчики, що доцільно штампувати із круглої сітчастої вихідної заготовки з відносно великим коефіцієнтом витягування m , який змінюється у межах від 0,6 до 0,4 (на рисунку 3.2). Донна поверхня таких деталей може бути плоскою або сферичною.

Викривлення вічок сітки на циліндричній поверхні збільшується за напрямком від дна ковпачка до його торця. Воно супроводжується деформацією у напрямку зменшення горизонтальної та збільшення вертикальної діагоналей вічка. На циліндричній поверхні стаканчика утворюється характерний малюнок, який можна використати для декоративного оздоблення деталей із сітки (наприклад, для виготовлення кожухів мікрофонів). Оскільки такі деталі являють собою глибокі ковпачки, їх доцільно виготовляти із квадратної сітчастої вихідної заготовки з коефіцієнтом витягування m , що наближається до граничного m_2 (на рисунку 3.2).

Слід відмітити, що короткі дроти стрічки на циліндричній поверхні стаканчика, які V-подібно вигнуті поблизу лінії обрізування, мають недостатній зв'язок з іншими дротами, а тому можуть випадати (див. рис. 3.5).



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

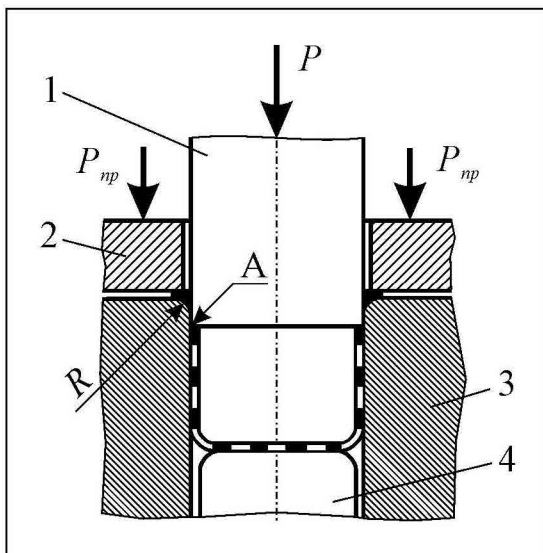
Рисунок 3.5 – Стаканчик з дротом, що випав

Для забезпечення якісного та точного стаканчика рекомендується його витягувати із вихідної заготовки, що має припуск на

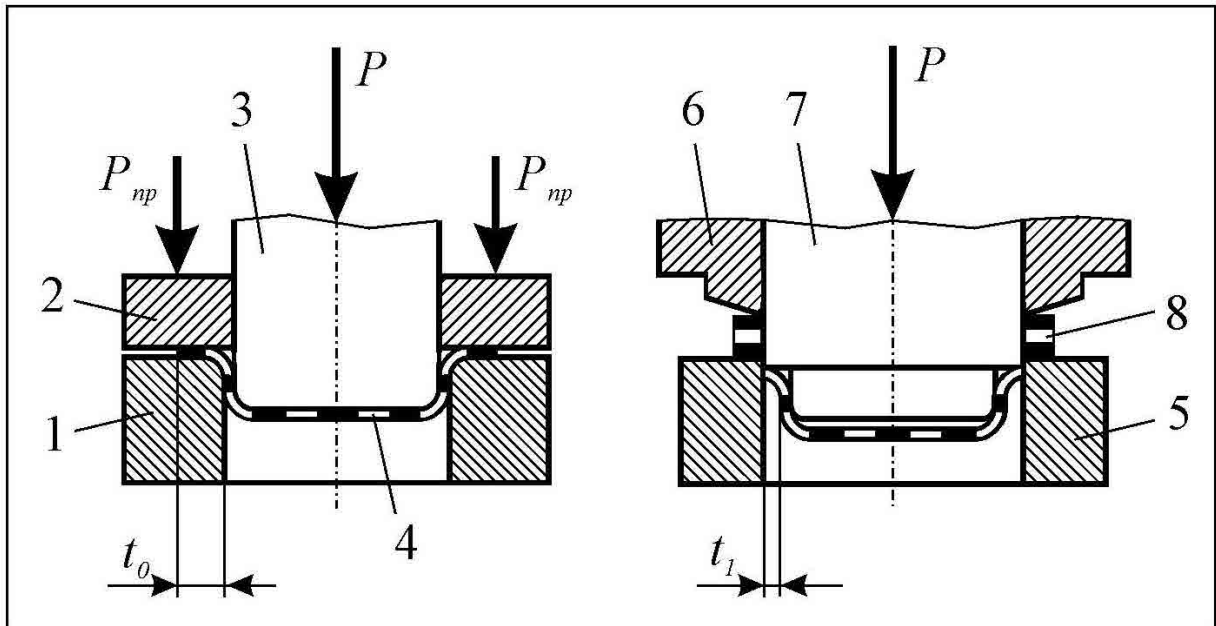
подальше обрізування. Величина припуску повинна бути не менше 2 – 3 розмірів в світлі вічка сітки.

Крім того, рекомендується сполучати витягування з обрізуванням на одному штампі (на рисунку 3.6). З цією метою в штампі використовується ступінчастий пуансон 1, який в останній момент штампування «перекушує» дроти стрічки по лінії обрізування.

У випадку, коли циліндричний стаканчик має невеликий фланець для кріплення деталі у вузлу, доцільно штампувати деталь на двох окремих штампах: в штампі для витягування та в штампі для обрізування (рис. 3.7). Навіть коли короткий дріт поблизу лінії обрізування випаде, це місце буде закрито елементом кріплення стаканчика у вузлі.



1 – ступінчастий пуансон; 2 – притискач; 3 – матриця; 4 – притискач-виштовхувач; *A* – гостра кромка
Рисунок 3.6 – Схема робочої зони штампа для одночасного витягування та обрізування стаканчика із сітчастої заготовки



а – штамп для витягування; б – штамп для обрізування; 1 – витяжна матриця; 2 – притискач; 3 – витяжний пуансон; 4 – заготовка після витягування; 5 – обрізна матриця; 6 – ніж для розрізування відходів; 7 – пуансон для обрізування; 8 – відходи для обрізування; 9 – деталь після обрізування

Рисунок 3.7 – Схеми штампів для виготовлення циліндричного ковпачка із невеликим фланцем із сітчастої вихідної заготовки для обрізування

3.5 Інтенсифікація способу витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком

На підставі виконаних вище експериментальних досліджень запропоновано новий спосіб витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком.

Спосіб стосується області обробки металів тиском, і може бути використаний в машинобудуванні для витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком.

Відомі аналогічні способи витягування циліндричних деталей із плоскої суцільної листової заготовки [1]. Оскільки штампування здійснюється із круглої заготовки, аналогічні способи дозволяють отримувати деталі у вигляді ковпачка з відносно плоскою верхньою частиною.

Недоліком даних способів є те, що отримані 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 плоскої металевої сітки з квадратним вічком, який, зокрема, знайшов застосування для виготовлення кожухів мікрофонів [14]. Завдяки використанню металевої сітки, отриманий даним способом циліндричний стаканчик забезпечує надійний повітряний зв'язок внутрішньої частини виробу із зовнішньою.

Однак у відомому способі витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком, який традиційно здійснюється із круглої заготовки, спостерігається нерівномірне витягування фланцю заготовки в бічний зазор між витяжним пуансоном та витяжною матрицею. Так, деформування квадратних вічок сітки в напрямку діагоналі вічка приводить до значного збільшення висоти ковпачка в цьому напрямку. В наслідок цього спостерігається явно нерівномірна висота циліндричної частини деталі. Таке негативне явище змушує застосовувати додатково операцію обрізування стаканчика за меншою висотою, що підвищує собівартість штампування та зменшує коефіцієнт використання матеріалу сітки.

Задачею даного винаходу є зниження собівартості витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком за

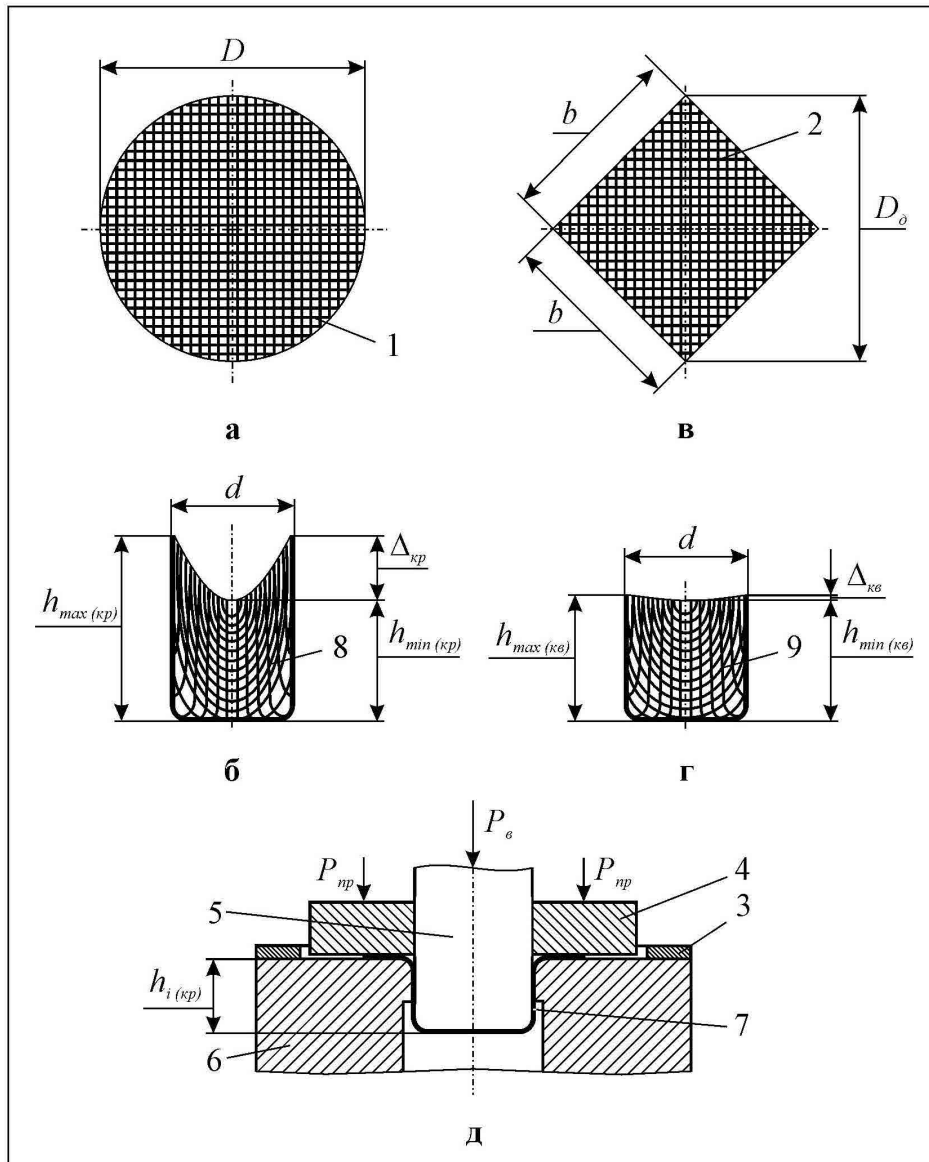
рахунок створення таких умов штампування, при яких нерівномірність висоти циліндричної частини деталі суттєво зменшується.

Дана задача вирішується у відомому способі витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком за рахунок того, що витягування здійснюють із квадратної заготовки, сторони якої паралельні діагоналям вічка сітки.

Реалізації відомого способу витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком здійснюють із круглої заготовки 1 (на рисунку 3.8, а, б), а способу, що пропонується – із квадратної заготовки 2, сторони якої паралельні діагоналям вічка сітки (на рисунку 3.8, в, г). Довжину діагоналі квадратної заготовки D_0 вибирають рівною діаметру круглої заготовки D у відомому способі витягування.

Для порівнювального аналізу, витягування заготовок 1, 2 здійснюють послідовно на штампі (на рисунку 3.8, д). Спочатку одну із заготовок пінцетом кладуть в штамп та фіксують за трафаретом 3. Далі притискають заготовку зусиллям P_{np} притискачем 4 та в такому стані за допомогою пуансона 5 і матриці 6 витягують із неї циліндричний сітчастий стаканчик 7.

Із порівнювального аналізу отриманих стаканчиків із круглої 8 та квадратної 9 заготовок маємо наступне:



а – сітчаста кругла заготовка для витягування циліндричної деталі відомим способом; б – поздовжній переріз циліндричної деталі, яку отримано із круглої сітчастої заготовки відомим способом; в – сітчаста квадратна заготовка для витягування циліндричної деталі способом, що пропонується; г – поздовжній переріз циліндричної деталі, яку отримано із круглої сітчастої заготовки способом, що пропонується; д – схема штампа для витягування циліндричної деталі із круглої сітчастої заготовки способом, що пропонується (проміжна фаза штампування)

Рисунок 3.8 – До способу витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком

- при однаковій мінімальній висоті циліндричної частини стаканчика 8 із круглої заготовки та ковпачка 9 із квадратної заготовки ($h_{min (кр)} = h_{min (ке)}$), максимальна висота циліндричної частини стаканчика 8 значно більша максимальна висота циліндричної частини стаканчика 9, а тому є справедливим наступний вираз для різниць між максимальними та мінімальними висотами циліндричних частин стаканчиків відповідно $\Delta_{кр}$ та $\Delta_{ке}$:

$$\Delta_{кр} \gg \Delta_{ке} ;$$

- незначна нерівномірність висоти циліндричної частини стаканчика 9 $\Delta_{ке}$ дозволяє скасувати операцію обрізування. Це знижує собівартість штампування;

- площа квадратної сітчастої заготовки 2 ($F_{ке} = \frac{D^2}{2}$) у способі, що пропонується, в 1,57 рази менша площі круглої сітчастої заготовки 1 діаметром D у відомому способі ($F_{кр} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$). Це зменшує вартість вихідного матеріалу.

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, створює такі умови витягування, при яких нерівномірність висоти циліндричної частини деталі суттєво зменшується, що дозволяє на 35-40% знизити собівартість штампування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком.

3.6 Висновки

1. Внаслідок вивчення морфології зміни форми фланцю в процесі витягування стаканчика із круглої та квадратної сітчастої вихідної

заготовки виявлено явище утворення на фланці круглої заготовки чотирьох симетрично розташованих «залишків» сітки, які не використовується і підлягають обрізуванню. В той же час, квадратний контур вихідної заготовки поступово перетворюється у круглий, а «залишок» на фланці практично не утворюється. Дане явище пов'язано з інтенсивним деформуванням вічок сітки при витягуванні в діагональному напрямку.

2. Показано, що із підвищенням діаметру (розміру) вихідної заготовки D мінімальна висота ковпачка h_{min} зростає, але до певної межі. Дана межа визначається граничним значенням коефіцієнта витягування, який найменший для квадратної заготовки із сітки. Так, для круглої вихідної заготовки із листової сталі 08 мінімальна висота стаканчика $h_{min} = 20$ мм, для круглої заготовки із сітки – 40 мм, а для квадратної заготовки із сітки – 45 мм. Як бачимо, найкращі показники за цим фактором спостерігаються при витягуванні із квадратної сітчастої заготовки.

3. Доведено, що для отримання ковпачка мінімальної висотою 20 мм, доцільно використати квадратну сітчасту заготовку як таку, яка володіє найменшою площею: площа квадратної сітчастої вихідної заготовки на 5,7 % менша площі круглої вихідної заготовки із листової сталі 08 та на 24,4 % менша площі круглої вихідної заготовки із сітки. Використання квадратної сітчастої вихідної заготовки дозволяє суттєво зменшити собівартість витягнутого із неї виробу.

4. Показано, що із підвищенням розміру (діаметру) D вихідної заготовки зусилля витягування P лінійно збільшується і для круглої, і для квадратної заготовки. Експериментально доведено, що зусилля витягування P циліндричного стаканчика із сітки пропорційно площі фланцю вихідної заготовки. За цією причиною, при рівності діаметра круглої та діагоналі квадратної вихідних заготовок, зусилля витягування із квадратної заготовки завжди менше.

5. Встановлено, що при граничному значенні коефіцієнта витягування кількість дротів сітки на вхідному перерізі матриці збільшується настільки, що подальше витягування «ромбів» в напрямку штампування потребує значного збільшення зусилля. По суті, концентрація «ромбів» приводить до моменту переходу пластичного гнуття вічок сітки у холодне об'ємне розтягання її складових дротів. Тому, при зменшенні коефіцієнта витягування нижче граничного значення, найбільш навантажені тертям дроти сітки починають розриватися.

6. Встановлено, що вічка сітки на різних за геометрією її поверхнях деформуються по різному. Так, найменш викривляється вічка на торцевій поверхні (дні) стаканчика. Цю властивість використовують, коли потрібно виготовити деталь з не викривленими вічками. Звичайно такі деталі являють собою неглибокі ковпачки, що доцільно штампувати із круглої сітчастої вихідної заготовки з відносно великим коефіцієнтом витягування m , який змінюється у межах від 0,6 до 0,4. Викривлення вічок сітки на циліндричній поверхні збільшується за напрямком від дна стаканчика до його торця. Воно супроводжується деформацією у напрямку зменшення горизонтальної та збільшення вертикальної діагоналей вічка. На циліндричній поверхні стаканчика утворюється характерний малюнок, який можна використати для декоративного оздоблення деталей із сітки (наприклад, для виготовлення кожухів мікрофонів). Оскільки такі деталі являють собою глибокі стаканчики, їх доцільно виготовляти із квадратної сітчастої вихідної заготовки з коефіцієнтом витягування, що наближається до граничного.

7. Встановлено, що короткі дроти стрічки на циліндричній поверхні стаканчика, які V-подібно вигнуті поблизу лінії обрізування, мають недостатній зв'язок з іншими дротами, а тому можуть випадати. Для забезпечення якісного та точного стаканчика запропоновано його витягувати із вихідної заготовки, що має припуск на обрізування.

Величина припуску повинна бути не менше 2 – 3 розмірів в світлі вічка сітки. Показано, що доцільно сполучати витягування з обрізуванням на одному штампі з використанням ступінчастого пуансона, який в останній момент штампування «перекушує» дроти стрічки по лінії обрізування.

8. За результатами виконаних досліджень запропоновано новий спосіб витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком, який відрізняється тим, що витягування здійснюють із квадратної заготовки, сторони якої паралельні діагоналям вічка сітки. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, створює такі умови витягування, при яких нерівномірність висоти циліндричної частини деталі суттєво зменшується, що дозволяє на 35-40% знизити собівартість штампування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком.

Розділ 4

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ
ВИТЯГУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ПРИТИСКОМ ФЛАНЦЯ
ІЗ ПЛОСКОЇ ПЕРФОРОВАНОЇ ЗАГОТОВКИ****4.1. Фізична сутність нового способу витягування**

Виконані вище експериментальні дослідження щодо витягування деталей із сітчастої заготовки лягли в основу нового способу витягування деталей з притиском фланця плоскої листової заготовки, що пропонується.

Спосіб стосується області обробки металів тиском, і може бути використаний в машинобудуванні для глибокого витягування деталей із листової заготовки з перфорованою поверхнею.

Відомі аналогічні способи витягування деталей, реалізація яких здійснюється без притиску фланця [4]. Штампи для них відрізняються простотою виконання та надійністю в експлуатації.

Недоліком даних способів є дуже високий граничний коефіцієнт витягування ($[m] = d_c/D_s$, де d_c – середній діаметр отриманої циліндричної деталі; D_s – діаметр вихідної заготовки), що, за даними роботи [3], не зменшується нижче 0,75...0,85. Це негативно впливає на глибину витягування. Тому даний спосіб використовується лише для не глибокого витягування деталей із плоскої заготовки.

Відомий спосіб витягування деталей з притиском фланця плоскої листової заготовки [4], у якого граничний коефіцієнт витягування значно менший. Так, для листової заготовки, товщиною 1 мм, із сталі 08 він складає 0,46 [3]. Останнє дозволяє збільшити глибину витягування.

Однак у відомому способі витягування деталей з притиском фланця плоскої листової заготовки подальше зменшення коефіцієнту витягування приводить до обриву дна деталі. Саме тому, глибоке витягування деталей за один хід пресу відомим способом неможливе.

Задачею даного технічного рішення є створення таких умов витягування, при яких граничний коефіцієнт витягування значно зменшується ($[m] \ll 0,46$), що дозволить реалізувати більш глибоке витягування деталей за один хід пресу.

Дана задача вирішується у відомому способі витягування деталей з притиском фланця плоскої листової заготовки за рахунок того, що:

- **пункт 1.** Заготовку попередньо перфорують;
- **пункт 2.** Перфорацію заготовки виконують тільки в області фланця, внутрішній діаметр якого дорівнює середньому діаметру d_c отриманої циліндричної деталі;
- **пункт 3.** Перфорацію заготовки виконують так, щоб сума Σ усіх перемичок за шириною a_i на кожному концентричному колі розташування отворів перфорації дорівнювала довжини кола за середнім діаметром d_c отриманої циліндричної деталі, тобто є справедливим вираз:

$$\Sigma a_i = \pi \cdot d_c .$$

Нижче наводиться пояснення нового способу витягування, що пропонується, за допомогою рисунка 4.1 – 4.4.

Реалізацію даного способу за **пунктом 1** здійснюють в наступній послідовності (на рисунку 4.1, 4.4). Заготовку 1 перед витягування перфорують. Звичайно отвори перфорації 2 в ній невеликі та розташовані з однаковим кроком за осями X та Y . Заготовку 1 кладуть пінцетом на витяжну матрицю 3 за кільцевим упором 4, який виконано у формі трафарету. Після вмикання пресу і ході повзуна вниз заготовка 1 спочатку притискується до матриці 2 притискачем 5, а потім витягується в притиснутому стані пуансоном 6. Це дозволяє запобігти утворенню гофрів у фланці в момент витягування та дозволяє отримати якісну деталь 7 у

формі циліндричного ковпачка. Завдяки наявності на заготовці отворів перфорації 2 зусилля витягування зменшується.

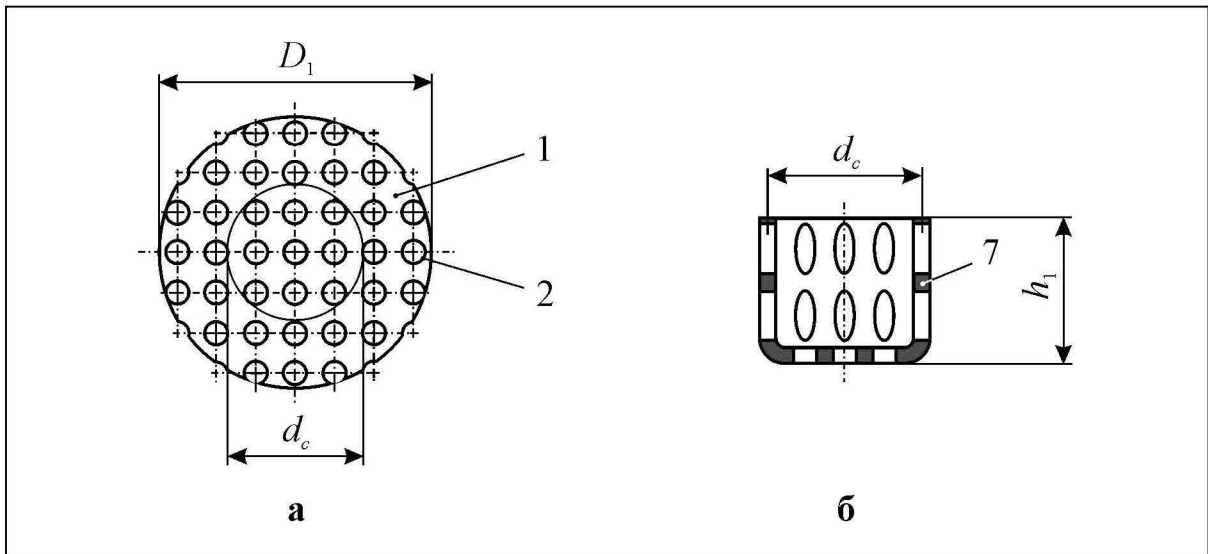


Рисунок 4.1 – Заготовка (а) та деталь (б) після витягування за пунктом 1

Відомо, що технологічні можливості витягування визначаються коефіцієнтом витягування m , який для витягування за **пунктом 1** (m_1) визначається за формулою

$$m_1 = \frac{d_c}{D_1},$$

де d_c – діаметр отриманої деталі по середній лінії, мм;

D_1 – діаметр вихідної заготовки, мм.

Якщо коефіцієнт витягування m_1 більше граничного $[m_1]$, що визначається за довідником для першої операції витягування, то витягування можливе. Але, якщо коефіцієнт витягування m_1 менше граничного $[m_1]$, то витягування не можливе: спостерігається відрив дна. Звичайно дно відривається за середнім діаметром d_c . Оскільки зусилля витягування за **пунктом 1** значно менше зусилля витягування із заготовки без перфорації, є можливим підвищити діаметр вихідної заготовки і тим самим зменшити коефіцієнт витягування, порівняно з коефіцієнтом

втягування із заготовки без перфорації. А, при однаковому середньому діаметрі витягнутої заготовки d_c , меншому коефіцієнту витягування відповідає більша висота h_1 отриманої деталі 6. Отже, наявність на заготовці 1 отворів перфорації 2 дозволяє підвищити глибину витягування деталей за одну технологічну операцію.

Якщо за **пунктом 2** (на рисунку 4.2) перфорацію заготовки 8 виконати тільки в області фланцю, внутрішній діаметр якої дорівнює середньому діаметру d_c отриманої циліндричної деталі 9, то дно 10 деталі 9 посилюється. Тому є можливим підвищити діаметр вихідної заготовки 8 з D_1 до D_2 і тим самим ще зменшити коефіцієнт витягування m_2 :

$$m_2 = \frac{d_c}{D_2}.$$

Це, в свою чергу, дозволяє підвищити глибину витягування деталі 9 з h_1 до h_2 .

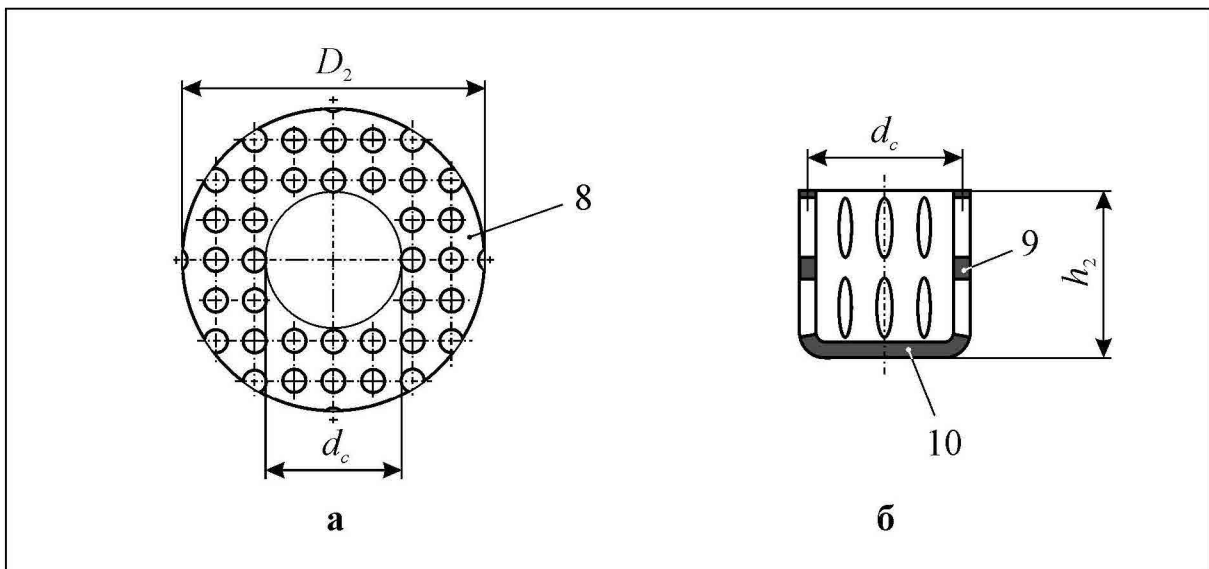


Рисунок 4.2 – Заготовка (а) та деталь (б) після витягування за пунктом 2

Якщо за **пунктом 3** (на рисунку 4.3) перфорацію заготовки 11 виконати так, щоб сума Σ усіх перемичок за шириною a_i (див. однакові перемички: $a_1 = a_2 = a_3$) на кожному концентричному колі 12, 13, 14 розташування отворів перфорації 15, 16, 17 дорівнювала довжини кола за середнім діаметром d_c отриманої циліндричної деталі 18, тобто є справедливим вираз

$$\Sigma a_i = \pi \cdot d_c,$$

то зусилля витягування деталі 18 ще більше зменшується. Тому є можливим ще підвищити діаметр вихідної заготовки 11 з D_2 до D_3 і тим самим ще зменшити коефіцієнт витягування m_3 :

$$m_3 = \frac{d_c}{D_3}.$$

Спосіб витягування за **пунктом 3** дозволяє отримати найбільшу глибину витягування h_3 деталі 18 так, що стає справедливим співвідношення:

$$h_1 < h_2 < h_3.$$

Крім того, точне виконання на заготовці 11 перемичок a_1, a_2, a_3 та розрахованих за вказаним принципом за **пунктом 3** залежних від них діаметрів отворів 15, 16, 17 дозволяють отримати деталь 18 із закритими, або майже закритими отворами перфорації 19, 20, 21.

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, створює такі умови витягування, при яких граничний коефіцієнт

витагування значно зменшується ($[m] \ll 0,46$), що дозволяє реалізувати більш глибоке витагування деталей за один хід пресу.

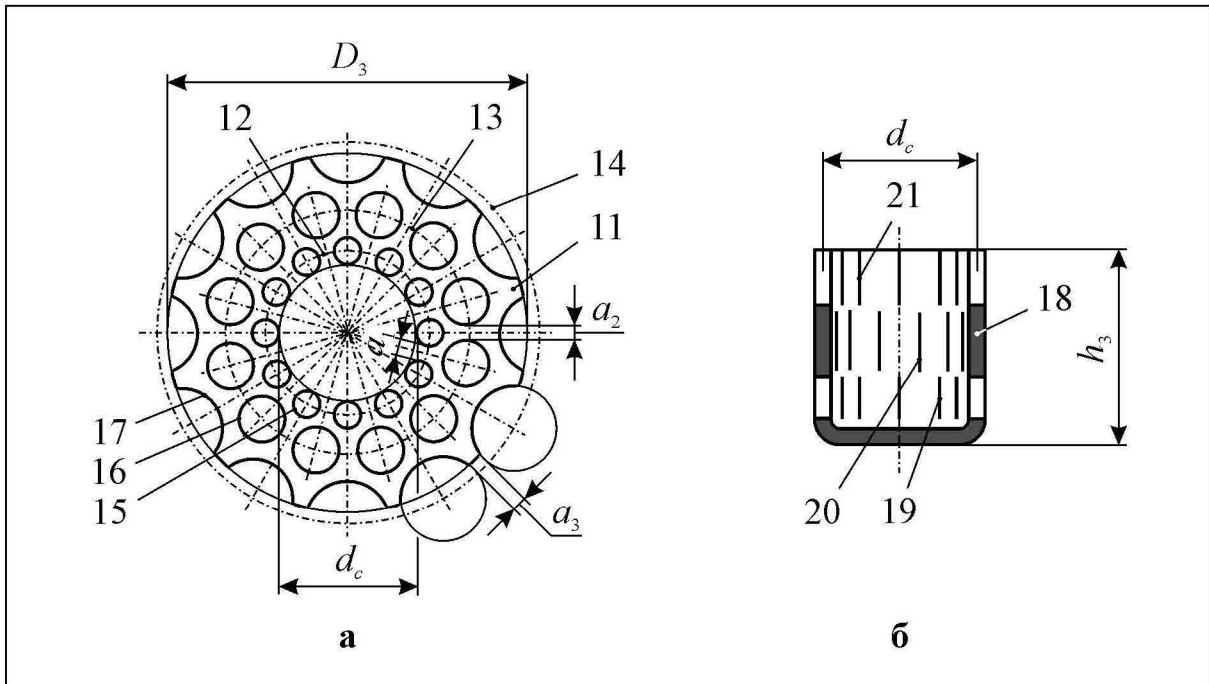
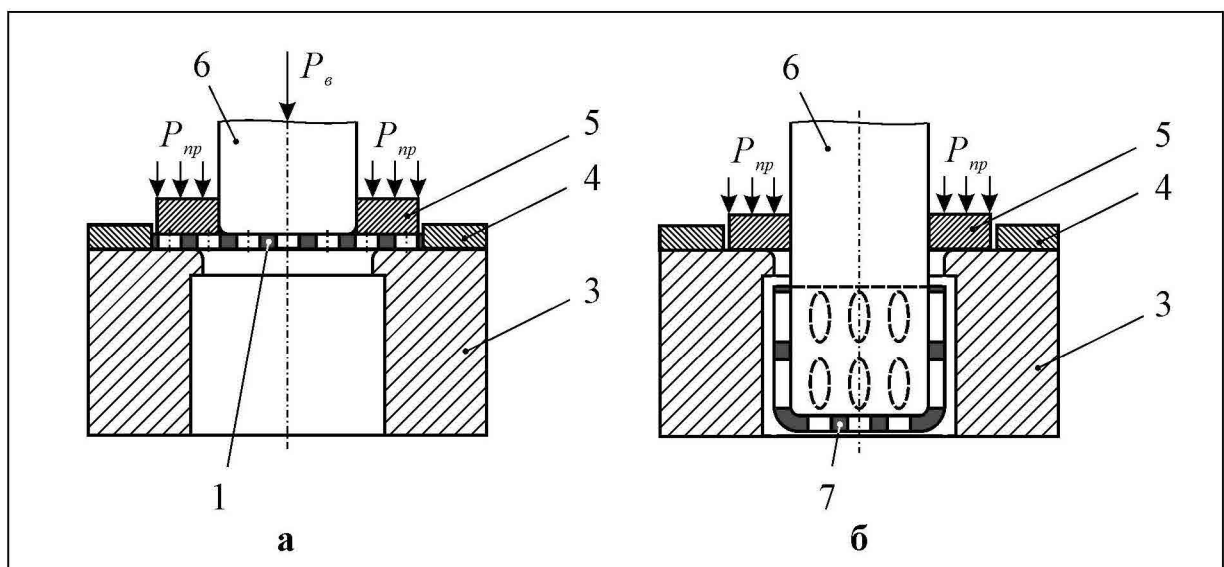


Рисунок 4.3 – Заготовка (а) та деталь (б) після витагування за пунктом 3



а – початкова фаза; б – кінцева фаза

Рисунок 4.4 – Схема роботи штампа для витагування деталі за пунктом 1

4.2 Експериментальне випробування нового способу витягування

Для випробування нового способу витягування виконувався порівнювальний аналіз зразків, які витягнуті із суцільних вихідних заготовок діаметром D , що дорівнює 55, 60 та 65 мм, та із не суцільною діаметром $D = 65$ мм.

Не суцільна заготовка була виконана за вимогами нового способу витягування з додержанням усіх трьох пунктів:

- пункт 1. Заготовка попередньо перфорована;
- пункт 2. Перфорацію заготовки виконали тільки в області фланцю, внутрішній діаметр якої дорівнює середньому діаметру d_c отриманої циліндричної деталі;
- пункт 3. Перфорацію заготовки виконали так, щоб сума Σ усіх перемичок за шириною a_i на кожному концентричному колі розташування отворів перфорації дорівнювала довжини кола за середнім діаметром d_c отриманої циліндричної деталі, тобто є справедливим вираз:

$$\Sigma a_i = \pi \cdot d_c .$$

Останнє підтверджується наступними діями (на рисунку 4.5):

- приймаємо діаметр першого ряду розташування отворів $D_1 = 43,5$ мм із умови розташування отворів перфорації даного ряду на циліндричній поверхні витягнутого зразка;
- приймаємо величину перемички між усіма отворами перфорації постійною та рівною $a = 1,5$ мм;
- розраховуємо довжину кола L_1 діаметром D_1

$$L_1 = \pi \cdot D_1 = 3,14 \cdot 43,5 = 136,59 \text{ мм};$$

- приймаємо кількість отворів в кожному ряді n постійною, яка дорівнює 24;

- розраховуємо крок t_1 розташування отворів d_1 на першому ряді

$$t_1 = \frac{L_1}{n} = \frac{136,59}{24} = 5,69 \text{ мм};$$

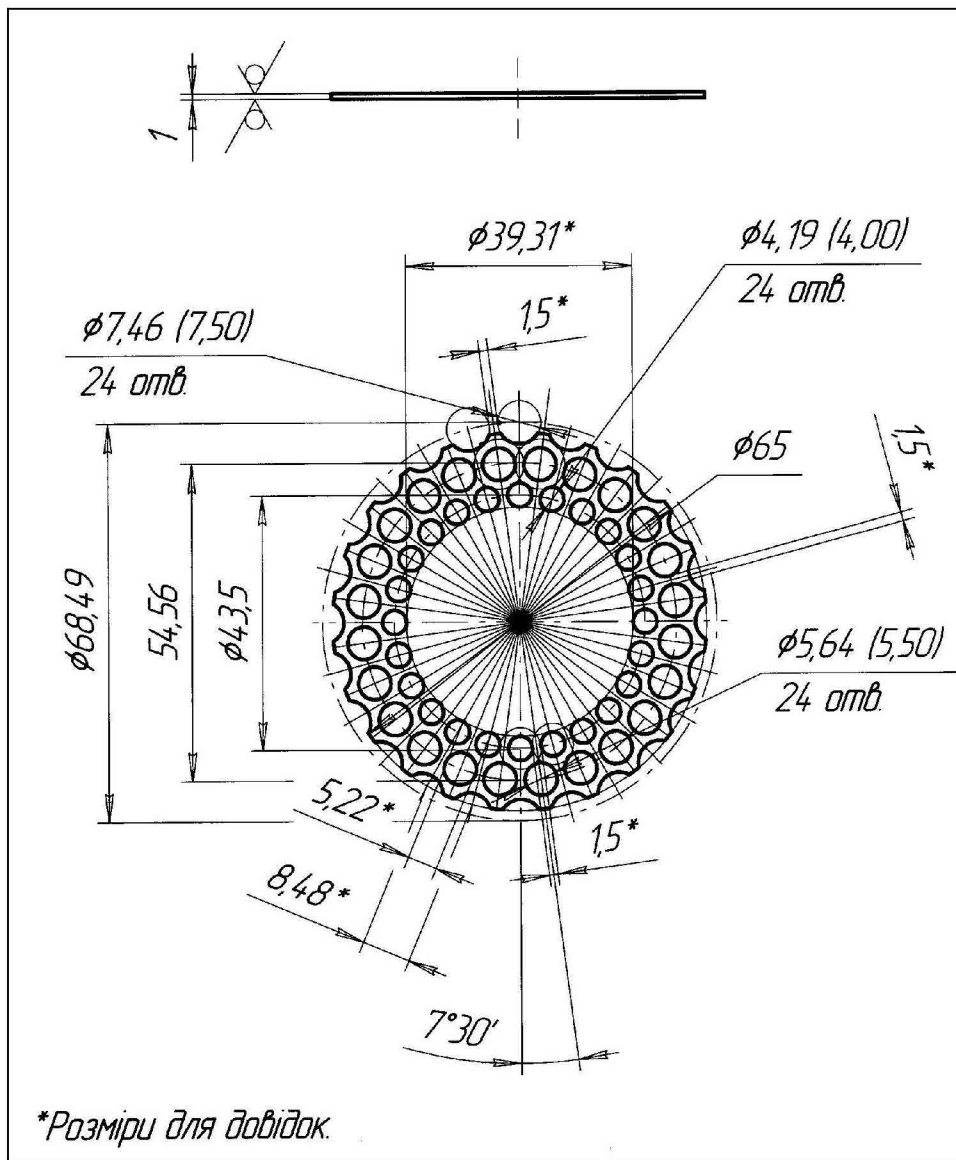


Рисунок 4.5 – Креслення розрахункової вихідної заготовки для витягування за новим способом, що пропонується

- розраховуємо діаметр отворів перфорації у першому ряді d_1

$$d_1 = t_1 - a = 5,69 - 1,5 = 4,19 \text{ мм};$$

- графоаналітичним методом (на рисунку 4.5) розраховуємо діаметр другого ряду розташування отворів D_2 , який дорівнює 54,56 мм;

- розраховуємо довжину кола L_2 діаметром D_2

$$L_2 = \pi \cdot D_2 = 3,14 \cdot 54,56 = 171,32 \text{ мм};$$

- розраховуємо крок t_2 розташування отворів d_2 на другому ряді

$$t_2 = \frac{L_2}{n} = \frac{171,32}{24} = 7,14 \text{ мм};$$

- розраховуємо діаметр отворів перфорації у другому ряді d_2

$$d_2 = t_2 - a = 7,14 - 1,5 = 5,64 \text{ мм};$$

- графоаналітичним методом (на рисунку 4.5) розраховуємо діаметр другого ряду розташування отворів D_3 , який дорівнює 68,49 мм;

- розраховуємо довжину кола L_3 діаметром D_3

$$L_3 = \pi \cdot D_3 = 3,14 \cdot 68,49 = 215,06 \text{ мм};$$

- розраховуємо крок t_3 розташування отворів d_3 на третьому ряді

$$t_3 = \frac{L_3}{n} = \frac{215,06}{24} = 8,96 \text{ мм};$$

- розраховуємо діаметр отворів перфорації у третьому ряді d_3

$$d_3 = t_3 - a = 7,14 - 1,5 = 5,64 \text{ мм.}$$

Далі суцільні та не суцільна заготовки виготовлялися (на рисунку 4.6), змащувалися та витягувалися з використанням штампа (на рисунку 4.7). Результати випробування заносилися у таблицю 4.1.

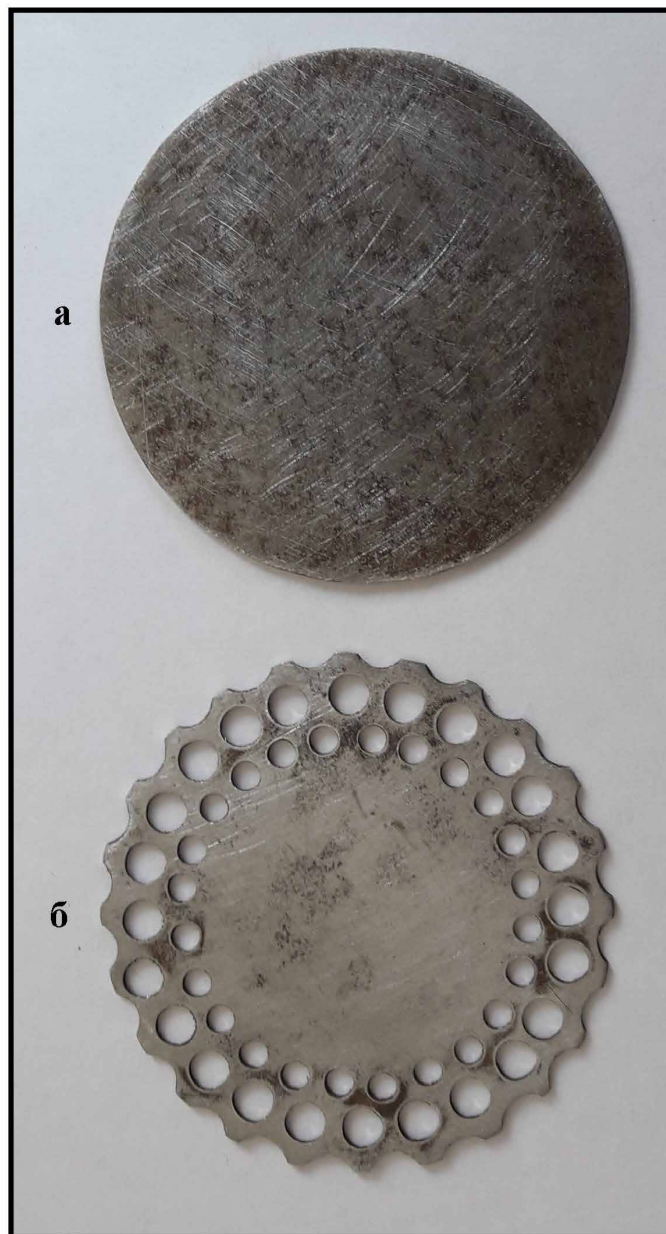


Рисунок 4.6 – Приклад суцільної (а) та не суцільної (б) заготовки \varnothing 65 мм

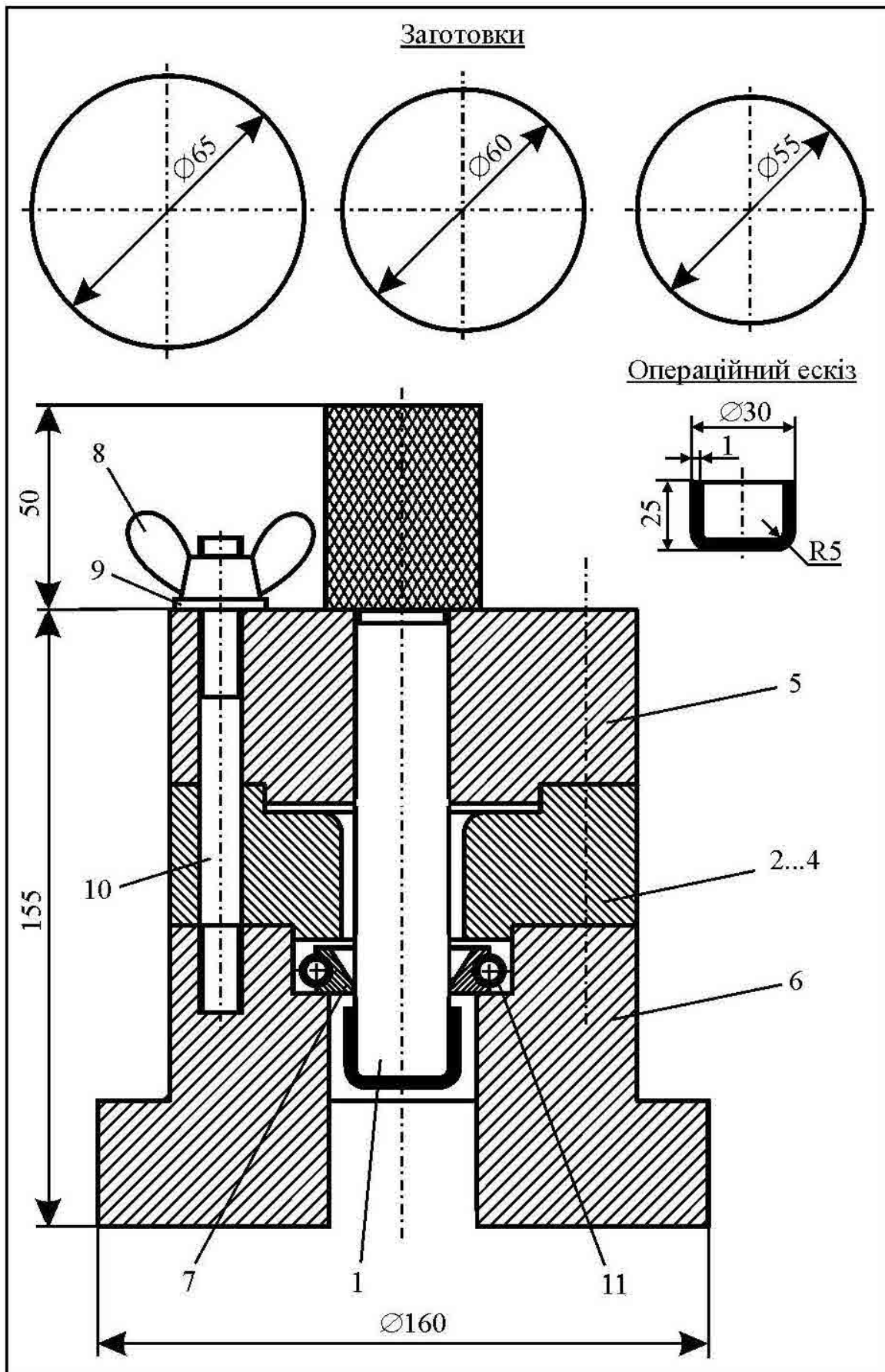
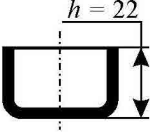
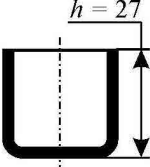
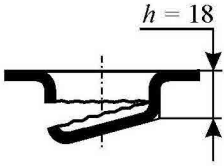
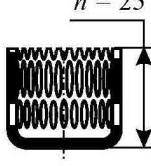


Рисунок 4.7 – Креслення II експериментального витяжного штампa.

Таблиця 4.1 – Результати випробування нового способу витягування

Матеріал заготовки	Діаметр заготовки, D , мм	Діаметр ковпачка за середньою лінією, d_c , мм	Коефіцієнт витягування, m	Ескіз витягнутого ковпачка	
				із суцільної заготовки	із не суцільної заготовки
Сталь 08	55	29	0,52		—
	60		0,48		—
	65		0,44		

Із таблиці виходить, що граничний коефіцієнт для суцільної заготовки лежить між значеннями 0,48 – 0,44, в той час, як для не суцільної заготовки він значно менший. Останнє підтверджується тим, що при коефіцієнті витягування $m = 0,44$ ковпачок із суцільної заготовки не утворюється (спостерігається відрив дна), а із не суцільної утворюється (на рисунку 4.8).

Крім того, виявлено, що висота стаканчика із не суцільної заготовки на 2 мм менша висоти отриманого стаканчика із суцільної заготовки. Пояснюється дане явище таким чином. При деформації характеристичних трикутників у фланці суцільної заготовки (рисунку 1.2) метал повністю видавлюється вгору, що сприяє підвищенню висоти стаканчика, а при

деформації характеристичних трикутників з перфорацією у фланці не суцільної заготовки метал видавлюється вгору лише частково, бо замість металу в трикутниках є повітря в отворах. Останнє є особливістю нового способу витягування, що позитивно впливає на зниження граничного коефіцієнта витягування, зменшення зусилля штампування та підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію.

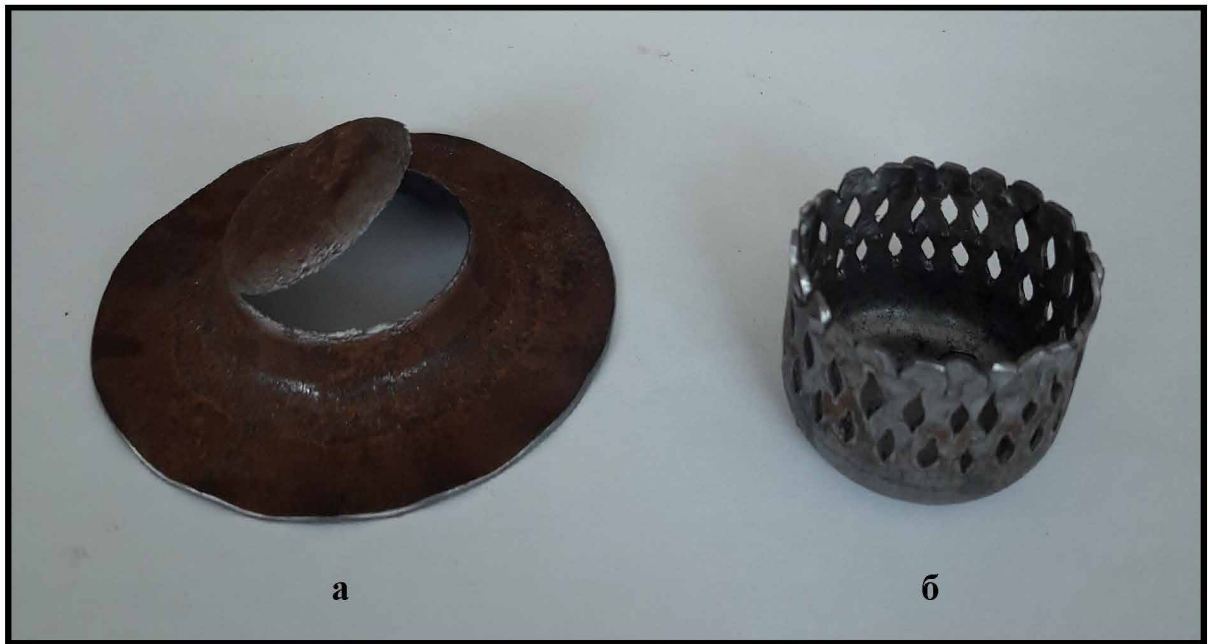


Рисунок 4.8 – Зразки, що отримані в рівних умовах при коефіцієнті витягування $m = 0,44$ із суцільної (а) та не суцільної (б) заготовок

4.3 Висновки

1. Запропоновано новий спосіб витягування деталей з притиском фланця плоскої листової заготовки, який відрізняється тим, що заготовку попередньо перфорується; перфорацію заготовки виконують тільки в області фланцю, внутрішній діаметр якої дорівнює середньому діаметру d_c отриманої циліндричної деталі; перфорацію заготовки виконують так, щоб сума Σ усіх перемичок за шириною a_i на кожному концентричному колі

розташування отворів перфорації дорівнювала довжини кола за середнім діаметром d_c отриманої циліндричної деталі, тобто є справедливим вираз: $\sum a_i = \pi \cdot d_c$. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, створює такі умови витягування, при яких граничний коефіцієнт витягування значно зменшується ($[m] \ll 0,46$), що дозволяє реалізувати більш глибоке витягування деталей за один хід пресу.

2. Експериментальне випробування нового способу витягування показали, що граничний коефіцієнт для суцільної заготовки лежить між значеннями 0,48 – 0,44, в той час, як для не суцільної заготовки він значно менший. Останнє підтверджується тим, що при коефіцієнті витягування $m = 0,44$ ковпачок із суцільної заготовки не утворюється (спостерігається відрив дна), а із не суцільної утворюється.

3. Виявлено явище зменшення висоти стаканчика із не суцільної заготовки на 2 мм, порівняно з висотою стаканчика із суцільної заготовки. Пояснюється дане явище таким чином. При деформації характеристичних трикутників у фланці суцільної заготовки метал повністю видавлюється вгору, що сприяє підвищенню висоти стаканчика, а при деформації характеристичних трикутників з перфорацією у фланці не суцільної заготовки метал видавлюється вгору лише частково, бо замість металу в трикутниках є повітря в отворах. Останнє є особливістю нового способу витягування, що позитивно впливає на зниження граничного коефіцієнта витягування, зменшення зусилля штампування та підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію.

Розділ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

**5.1. Економічна ефективність способу витягування
циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з
квадратним вічком**

Економічну ефективність способу витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком оцінювали шляхом порівняння розрахунку собівартості програмного виготовлення $n = 40\,000$ корпусів мікрофонів ($d_c = 29$ мм; $h = 35$ мм) за базовим варіантом технологічного процесу з варіантом, що пропонується. Розрахунок базується на таких умовах:

- за базовий варіант прийнято відомий спосіб витягування мікрофонів із сітчастої круглій вихідної заготовки діаметром $D = 115$ мм на висоту 40 мм (таблиця 3.2) у витяжному штампі з подальшим обрізуванням заготовки на висоту 35 мм в окремому обрізному штампі. Площа вихідної заготовки $F_{кр}$ складає

$$F_{кр} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 115^2}{4} = 10383 \text{ мм}^2.$$

Вартість C_c сітки напівтомпакової 2,0 ГОСТ 6613-73, товщиною 1 мм, складає 128 грн/м². Вартість витяжного штампа – 20 000 грн. Вартість обрізного штампа – 25 000 грн.;

- за варіантом, що пропонується прийнято спосіб витягування мікрофонів із сітчастої квадратної вихідної заготовки розміром діагоналі $D = 110$ мм на висоту 40 мм (таблиця 3.2) у штампі з одночасним обрізуванням заготовки. Площа вихідної заготовки $F_{кв}$ складає

$$F_{кв} = \frac{D^2}{2} = \frac{110^2}{2} = 6050 \text{ мм.}$$

Вартість штампа суміщеної дії для витягування та обрізування складає 22 000 грн.

Розрахунок

1. Визначаємо вартість сітки для виготовлення 40 000 мікрофонів за базовим варіантом (з круглої заготовки)

$$\Pi_{c(б)} = n \cdot F_{кр} \cdot C_c = 40000 \cdot \frac{10383}{10^6} \cdot 128 = 53160 \text{ грн.}$$

2. Визначаємо сумарну вартість штамів для виготовлення 40 000 мікрофонів за базовим варіантом (з круглої заготовки)

$$\Pi_{ш(б)} = 20000 + 25000 = 45000 \text{ грн.}$$

3. Визначаємо вартість сітки для виготовлення 40 000 мікрофонів за варіантом, що пропонується (з квадратної заготовки)

$$\Pi_{c(п)} = n \cdot F_{кв} \cdot C_c = 40000 \cdot \frac{6050}{10^6} \cdot 128 = 30976 \text{ грн.}$$

4. Визначаємо загальні витрати для виготовлення 10 000 мікрофонів за базовим варіантом (з круглої заготовки)

$$B_{кр} = \Pi_{c(б)} + \Pi_{ш(б)} = 53160 + 45000 = 98160 \text{ грн.}$$

5. Визначаємо загальні витрати для виготовлення 40 000 мікрофонів за варіантом, що пропонується (з квадратної заготовки)

$$B_{ке} = \Pi_{c(n)} + \Pi_{ш(n)} = 30976 + 22000 = 52976 \text{ грн.}$$

6. Визначаємо економічну ефективність E способу витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком із застосуванням квадратної вихідної заготовки на прикладі виготовлення 40 000 корпусів мікрофонів

$$E = B_{кр} - B_{ке} = 98160 - 52976 = 45184 \text{ грн.}$$

ВИСНОВКИ

Основні результати випускної кваліфікаційної роботи полягають в наступному:

1. В сучасному машинобудуванні для виготовлення порожнистих деталей із плоскої листової заготовки широко використовуються різноманітні способи витягування. Найбільш простішими з них є способи витягування без притиску фланця. Для їх реалізації штамп повинен мати лише пуансон та матрицю. Однак, дані способи дозволяють витягувати деталі лише на незначну глибину, тобто коли граничний коефіцієнт витягування m_2 не зменшується нижче 0,75...0,85. Більш прогресивними, а тому поширеними способами витягування, є такі, при яких штампування плоскої заготовки здійснюється з притиском фланця. Вони дозволяють знизити граничний коефіцієнт витягування m_2 до 0,5...0,6 і тим самим суттєво підвищити глибину витягування. Однак, при спробі реалізації процесу при менших значеннях коефіцієнта витягування спостерігається відрив дна, який обумовлений перевищенням напружень розтягання в критичному перерізі заготовки (між донною та бічною поверхнями) межу міцності заготовки σ_s . В роботі звертається увага на те, що дані напруження можна значно зменшити за рахунок заміни заготовки із суцільного матеріалу на заготовку із не суцільного матеріалу, зокрема на металеву сітку або перфоровану заготовку. Крім того, запропоновано новий спосіб витягування деталей з притиском фланцю із плоскої листової заготовки, де показано принцип організації такої перфорації поверхні заготовки, при якій значно зменшується зусилля штампування, а отже напруження в її критичному перерізі, що дозволяє суттєво зменшити граничний коефіцієнт витягування та підвищити глибину штампування. Даний спосіб, за думкою автора, не був об'єктом дослідження. Тому

робота, що спрямована на підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію, є актуальним науково-практичним завданням.

2. Запропонована та обґрунтована нова технологічна схема формоутворення поверхні тіла при витягуванні деталей з притиском фланця, в якій використовується не суцільна заготовка, зокрема плоска, сітчаста. Це дозволяє суттєво зменшити зусилля, а отже і коефіцієнт витягування.

3. Внаслідок вивчення морфології зміни форми фланцю в процесі витягування стаканчика із круглої та квадратної сітчастої вихідної заготовки виявлено явище утворення на фланці круглої заготовки чотирьох симетрично розташованих «залишків» сітки, які не використовується і підлягають обрізуванню. В той же час, квадратний контур вихідної заготовки поступово перетворюється у круглий, а «залишок» на фланці практично не утворюється. Дане явище пов'язано з інтенсивним деформуванням вічок сітки при витягуванні в діагональному напрямку.

4. Показано, що із підвищенням діаметру (розміру) вихідної заготовки D мінімальна висота ковпачка h_{min} зростає, але до певної межі. Дана межа визначається граничним значенням коефіцієнта витягування, який найменший для квадратної заготовки із сітки. Так, для круглої вихідної заготовки із листової сталі 08 мінімальна висота стаканчика $h_{min} = 20$ мм, для круглої заготовки із сітки – 40 мм, а для квадратної заготовки із сітки – 45 мм. Як бачимо, найкращі показники за цим фактором спостерігаються при витягуванні із квадратної сітчастої заготовки.

5. Доведено, що для отримання стаканчика мінімальною висотою 20 мм, доцільно використати квадратну сітчасту заготовку як таку, яка володіє найменшою площею: площа квадратної сітчастої вихідної заготовки на 5,7 % менша площі круглої вихідної заготовки із листової сталі 08 та на 24,4 % менша площі круглої вихідної заготовки із сітки.

Використання квадратної сітчастої вихідної заготовки дозволяє суттєво зменшити собівартість витягнутого із неї виробу.

6. Показано, що із підвищенням розміру (діаметру) D вихідної заготовки зусилля витягування P лінійно збільшується і для круглої, і для квадратної заготовки. Експериментально доведено, що зусилля витягування P циліндричного ковпачка із сітки пропорційно площі фланцю вихідної заготовки. За цією причиною, при рівності діаметра круглої та діагоналі квадратної вихідних заготовок, зусилля витягування із квадратної заготовки завжди менше.

7. Встановлено, що при граничному значенні коефіцієнта витягування кількість дротів сітки на вхідному перерізі матриці збільшується настільки, що подальше витягування «ромбів» в напрямку штампування потребує значного збільшення зусилля. По суті, концентрація «ромбів» приводить до моменту переходу пластичного гнуття вічок сітки у холодне об'ємне розтягання її складових дротів. Тому, при зменшенні коефіцієнта витягування нижче граничного значення, найбільш навантажені тертям дроти сітки починають розриватися.

8. Встановлено, що вічка сітки на різних за геометрією її поверхнях деформуються по різному. Так, найменш викривляється вічка на торцевій поверхні (дні) ковпачка. Цю властивість використовують, коли потрібно виготовити деталь з не викривленими вічками. Звичайно такі деталі являють собою неглибокі стаканчики, що доцільно штампувати із круглої сітчастої вихідної заготовки з відносно великим коефіцієнтом витягування m , який змінюється у межах від 0,6 до 0,4. Викривлення вічок сітки на циліндричній поверхні збільшується за напрямком від дна стаканчика до його торця. Воно супроводжується деформацією у напрямку зменшення горизонтальної та збільшення вертикальної діагоналей вічка. На циліндричній поверхні стаканчика утворюється характерний малюнок, який можна використати для декоративного оздоблення деталей із сітки

(наприклад, для виготовлення кожухів мікрофонів). Оскільки такі деталі являють собою глибокі стаканчики, їх доцільно виготовляти із квадратної сітчастої вихідної заготовки з коефіцієнтом витягування, що наближається до граничного.

9. Встановлено, що короткі дроти стрічки на циліндричній поверхні стаканчика, які V-подібно вигнуті поблизу лінії обрізування, мають недостатній зв'язок з іншими дротами, а тому можуть випадати. Для забезпечення якісного та точного стаканчика запропоновано його витягувати із вихідної заготовки, що має припуск на обрізування. Величина припуску повинна бути не менше 2 – 3 розмірів в світлі вічка сітки. Показано, що доцільно сполучати витягування з обрізуванням на одному штампі з використанням ступінчастого пуансона, який в останній момент штампування «перекушує» дроти стрічки по лінії обрізування.

10. За результатами виконаних досліджень запропоновано новий спосіб 1 витягування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком, який відрізняється тим, що витягування здійснюють із квадратної заготовки, сторони якої паралельні діагоналям вічка сітки. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, створює такі умови витягування, при яких нерівномірність висоти циліндричної частини деталі суттєво зменшується, що дозволяє на 35-40% знизити собівартість штампування циліндричних деталей із плоскої металевої сітки з квадратним вічком.

11. Запропоновано новий спосіб 2 витягування деталей з притиском фланцю плоскої листової заготовки, який відрізняється тим, що заготовку попередньо перфорують; перфорацію заготовки виконують тільки в області фланцю, внутрішній діаметр якої дорівнює середньому діаметру d_c отриманої циліндричної деталі; перфорацію заготовки виконують так, щоб сума Σ усіх перемичок за шириною a_i на кожному концентричному колі розташування отворів перфорації дорівнювала довжини кола за середнім

діаметром d_c отриманої циліндричної деталі, тобто є справедливим вираз: $\sum a_i = \pi \cdot d_c$. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, створює такі умови витягування, при яких граничний коефіцієнт витягування значно зменшується ($[m] \ll 0,46$), що дозволяє реалізувати більш глибоке витягування деталей за один хід пресу.

12. Експериментальне випробування нового способу 2 витягування показали, що граничний коефіцієнт для суцільної заготовки лежить між значеннями 0,48 – 0,44, в той час, як для не суцільної заготовки він значно менший. Останнє підтверджується тим, що при коефіцієнті витягування $m = 0,44$ ковпачок із суцільної заготовки не утворюється (спостерігається відрив дна), а із не суцільної утворюється.

13. Виявлено явище зменшення висоти стаканчика із не суцільної заготовки на 2 мм, порівняно з висотою ковпачка із суцільної заготовки. Пояснюється дане явище таким чином. При деформації характеристичних трикутників у фланці суцільної заготовки метал повністю видавлюється вгору, що сприяє підвищенню висоти стаканчика, а при деформації характеристичних трикутників з перфорацією у фланці не суцільної заготовки метал видавлюється вгору лише частково, бо замість металу в трикутниках є повітря в отворах. Останнє є особливістю нового способу витягування, що позитивно впливає на зниження граничного коефіцієнта витягування, зменшення зусилля штампування та підвищення глибини витягування за одну технологічну операцію.

14. Апробація роботи здійснювалася шляхом доповідей на LVIII науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти приуроченій «Дню науки – 2024» в ЦНТУ.

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. Ковка и штамповка. Т. 1. Листовая штамповка: справочник / под ред. А. Д. Матвеева; Ред. совет: Е. И. Семёнов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с.
3. Romanovsky V.P. Handbook of cold stamping. Leningrad: Mechanical Engineering. 1979. 520 p.
4. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Проектування штампів: формозмінних, складної дії, для складання та автоматичного штампування: навчальний посібник / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2010. – 322 с.
5. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: учебник / М. Е. Зубцов. – Л.: Машиностроение, 1967. – 504 с.
6. Норицын И. А. Анализ операций осесимметричной вытяжки / И. А. Норицын. – В кн.: Основы теории обработки металлов давлением. – М.: Машгиз, 1959. – 527 с.
7. Kalyuzhny, A., Kalyuzhny, V., & Kartamishev, D. (2020). Холодне витягування з потоншенням сталевих порожнистих виробів. *Обробка матеріалів тиском*, (1(50), 50-56. [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2020-1\(50\)50](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2020-1(50)50)
8. Kaliuzhnyi A.V., Kaliuzhnyi V.L. Intensification of forming operations of sheet stamping. Kyiv: Cik Grup Ukraine. 2015. 292 p.
9. Романовский В. П. Процесс образования и расчёт прочности опасного сечения при глубокой вытяжке / В. П. Романовский // Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 9.
10. Романовский В. П. Технологические расчёты при вытяжке

деталей с широким фланцем / В. П. Романовский // Вестник машиностроения, 1954, № 9.

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

12. Thipprakmas S., Jin M., Murakawa M. Study on flanged shapes in fineblanked-hole flanging process (FB-hole flanging process) using finite element method (FEM). Journal of Materials Processing Technology. 2007. Vol. 192-193, pp. 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.040>.

13. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.

14. Сетка для микрофона DPA microphones DUA0710N / Режим доступа: <https://muzline.ua/dpa-microphones-dua0710n/>

15. Закон України від 18.01.2001 р. № 2245-III «Про об'єкти підвищеної небезпеки».

16. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Наказ від 16.10.2013 р. № 749 «Про затвердження Правил охорони праці під час холодного оброблення металів».