

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра обробки металів тиском та спецтехнологій

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри ОМТ та СТ
канд. техн. наук, доцент
_____ Віталій ШМЕЛЬОВ
20 грудня 2021 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Пряме видавлювання високих ковпачків»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ОТ-20 М 1,4
спеціальності 131
«Прикладна механіка»,
_____ Ганул Д. В.
26 листопада 2021 р.

Керівник проекту
канд. техн. наук, доцент
_____ Віктор БОКОВ
26 листопада 2021 р.

Рецензент
докт. техн. наук, професор
_____ Василь КЛИМЕНКО
21 грудня 2021 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
 Факультет: Механіко-технологічний
 Кафедра: «Обробка металів тиском та спецтехнології»
 Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
 Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
 Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»
 Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма: «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Зав. кафедри ОМТ та СТ
 канд. техн. наук, доцент
 _____ Віталій ШМЕЛЬОВ
 1 вересня 2021 р.

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
 ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
 Ганулу Дмитру Володимировичу**

- Тема роботи: «Пряме видавлювання високих ковпачків».
- Керівник роботи: Боков Віктор Михайлович, к. т. н., доцент.
- Строк подання роботи до захисту: 21 грудня 2021 р.
- Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.
 Мета: підвищення відносної висоти ковпачка за рахунок використання способу прямого видавлювання.
 Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; виконати експериментальні дослідження та провести аналіз отриманих результатів; виконати розрахунки з економічної частини.
- Консультант по роботі, із зазначенням розділу роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 5 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., к. т. н., ст. викл.	1.09.2021 р.	24.11.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2021 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	1.10.2021 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	15.10.2021 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	1.11.2021 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	7.12.2021 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	21.12.2021 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	29.12.2021 р.	

Дата видачі завдання
1 вересня 2021 р.

Підпис керівника
_____ Боков В. М.

Завдання прийнято до виконання
1 вересня 2021 р.

Підпис здобувача
_____ Ганул Д. В.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1. Аналіз сучасних способів виготовлення циліндричних високих ковпачків	11
1.2. Узагальнення результатів огляду сучасних способів виготовлення циліндричних високих ковпачків та обґрунтування напрямку досліджень	24
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1. Обґрунтування технологічної схеми формування високого ковпачка	26
2.2. Методика експериментального дослідження	28
2.3. Експериментальне обладнання та оснащення	29
2.4. Матеріали, зразки та вимірювальний інструмент..	33
2.5. Техніка безпеки при експериментальному дослідженні	34
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВИСОКИХ КОВПАЧКІВ	35
3.1. Фізичні особливості та засоби покращання технологічних умов процесу прямого видавлювання високих ковпачків	35
3.2. Технологічні випробування	40
3.3. Сутність першого нового способу прямого видавлювання високих ковпачків	45
3.4. Висновки	47
РОЗДІЛ 4. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВИСОКИХ КОВПАЧКІВ	49
4.1. Сутність другого нового способу прямого видавлювання високих ковпачків	49
4.2. Принцип роботи штампа для реалізації другого нового способу прямого видавлювання високих ковпачків	51
4.3. Висновки	53
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	55
5.1. Економічна ефективність другого нового	

способу прямого видавлювання високих ковпачків	55
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
ДОДАТКИ	63
Д1. ДОС12375.00.00. Штамп для прямого видавлювання	64
Д2. ДОС12375.00.02. Пуансон для видавлювання	65
Д3. ДОС12375.00.03. Пуансон для обрізування	66
Д4. Довідка про публікацію статті	67

АНОТАЦІЯ

Ганул Д. В. «Пряме видавлювання високих ковпачків», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2021 рік.

Метою дослідження є підвищення відносної висоти ковпачка за рахунок використання способу прямого видавлювання.

Розроблено теоретичні основи формоутворення донної та циліндричної поверхонь порожнистого тіла з використанням способу прямого видавлювання. Показано, що високий ковпачок утворюється при послідовному, спочатку зворотному видавлюванні заготовки в одній закритій матриці в напрямку формування донної поверхні, а вже далі прямому видавлюванні його циліндричної поверхні. Це дозволяє скасувати залежність висоти отриманого ковпачка від осьового зусилля видавлювання та створює умови для отримання ковпачка будь-якої висоти лише з технічним обмеженням.

Запропоновано перший новий спосіб прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею, який, порівняно з відомим, створює такі умови видавлювання, при яких утворюється циліндричний ковпачок і дозволяє підвищення відносної висоти ковпачка до $H/d = 14$ і більше.

Запропоновано другий новий спосіб прямого видавлювання ковпачків, який, порівняно з відомим, дозволяє на 20-25 % зменшити собівартість їх виготовлення за рахунок зменшення етапів штампування з трьох до двох.

пряме видавлювання, високий ковпачок, відносна висота ковпачка, технологія видавлювання, відокремлення ковпачка від відходу, штамп, етапи штампування

ANNOTATION

Ganul D.V. "Direct extrusion of high caps", specialty 131 "Applied Mechanics", OPP - "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2021.

The aim of the study is to increase the relative height of the cap by using the method of direct extrusion.

Theoretical bases of shaping the bottom and cylindrical surfaces of a hollow body using the method of direct extrusion have been developed. It is shown that the high cap is formed by successive, first reverse extrusion of the work piece in one closed matrix in the direction of formation of the bottom surface, and then direct extrusion of its cylindrical surface. This eliminates the dependence of the height of the resulting cap on the axial force of extrusion and creates the conditions for obtaining a cap of any height only with a technical limitation.

The first new method of direct extrusion of caps with a smooth outer surface is proposed, which, in comparison with the known one, creates such extrusion conditions under which a cylindrical cap is formed and allows to increase the relative height of the cap to $N / d = 14$ and more.

The second new method of direct extrusion of caps is offered, which, in comparison with the known one, allows to reduce by 20-25% the cost of their production by reducing the stages of stamping from three to two.

direct extrusion, high cap, relative cap height, extrusion technology, separation of cap from waste, stamp, stamping steps

ВСТУП

Актуальність теми

В сучасному машинобудуванні для виготовлення циліндричних високих ковпачків (порожнистих деталей із дном) використовуються різноманітні способи. Найбільш поширеним з них є спосіб багатоопераційного витягування із листової заготовки. Однак, даний спосіб багатокоштовний, бо потребує для реалізації використання великої кількості штампів, яка дорівнює кількості операцій штампування. Висота ковпачка, отриманого даним способом, як правило, не перевершує трьох діаметрів. Таку ж відносну висоту ковпачка ($H/d = 3$) дозволяє отримати спосіб зворотного видавлювання, що здійснюється в одному штампі. Тому даний спосіб більш прогресивний: економічно доцільний та більш продуктивний. Однак, при спробі реалізації процесу зворотного видавлювання при відносній висоті ковпачка $H/d > 3$, спостерігається руйнування відносно тонкого пуансону, який із підвищенням висоти втрачає усталеність. Саме тому, відносну висоту ковпачка $H/d = 3$ можна вважати фізичною межею даного способу. Якщо поєднати спосіб зворотного витягування з подальшим багатоопераційним витягуванням з потоншенням стінки заготовки, то можна отримати високий ковпачок, відносною висотою до $H/d = 5$, а іноді і більше, але з кожною додатковою операцією собівартість виготовлення зростає. В той же час в машинобудуванні є потреба у високих ковпачках, відносною висотою $H/d \gg 5$. В роботі звертається увага на те, що суттєве підвищення відносної висоти ковпачка (до $H/d = 14$ і більше) можна отримати при використанні нового способу прямого видавлювання, який запропоновано професором Боковим В. М. та магістрантом Ганулом Д. В. Даний спосіб, за думкою автора, не був об'єктом дослідження.

Тому робота, що спрямована на підвищення відносної висоти ковпачка, є актуальним науково-практичним завданням.

Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – підвищення відносної висоти ковпачка за рахунок використання способу прямого видавлювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз та узагальнення результатів огляду сучасних способів виготовлення циліндричних високих ковпачків та обґрунтувати напрямок досліджень;
- обґрунтувати технологічну схему формоутворення циліндричної порожнистої поверхні тіла із дном з використанням прямого видавлювання;
- розробити методику експериментального дослідження способу прямого видавлювання високих ковпачків;
- виконати експериментальне дослідження способу прямого видавлювання високих ковпачків;
- запропонувати новий спосіб прямого видавлювання високих ковпачків.

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є спосіб видавлювання циліндричних ковпачків. Предмет дослідження – спосіб прямого видавлювання високих ковпачків.

Наукова новизна одержаних результатів

Уперше розроблено теоретичні основи формоутворення донної та циліндричної поверхонь порожнистого тіла з використанням способу прямого видавлювання. Показано, що високий ковпачок утворюється при послідовному, спочатку зворотному видавлюванні заготовки в одній закритій матриці в напрямку формування донної поверхні, а вже далі прямому видавлюванні його циліндричної поверхні. Це дозволяє скасувати залежність висоти отриманого ковпачка від осьового зусилля видавлювання та створює умови для отримання ковпачка будь-якої висоти лише з технічним обмеженням.

Практичне значення отриманих результатів

Запропоновано новий спосіб прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею, який, порівняно з відомим, створює такі умови видавлювання, при яких утворюється циліндричний ковпачок і дозволяє підвищення відносної висоти ковпачка до $H/d = 14$ і більше.

Запропоновано новий спосіб прямого видавлювання ковпачків, який, порівняно з відомим, дозволяє на 20-25 % зменшити собівартість їх виготовлення за рахунок зменшення етапів штампування з трьох до двох.

Апробація результатів роботи

Основні положення та результати магістерської роботи повідомлені і обговорені на науково-технічній студентській конференції ЦНТУ в 2021 році.

Публікації

Результати роботи будуть опубліковані в 2021 році у збірнику тез «Наука виробництву – 2021» молодих науковців КНТУ. Тема: «Пряме видавлювання високих ковпачків».

Розділ 1

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз сучасних способів виготовлення циліндричних високих ковпачків

В сучасному машинобудуванні для виготовлення циліндричних ковпачків (порожнистих деталей із дном) використовуються різноманітні способи.

Найбільш поширеним з них є спосіб витягування із листової заготовки.

Витягування – це процес перетворення плоскої заготовки у відкритий зверху порожній виріб [1, с. 148]. Воно здійснюється за допомогою витяжних штамів без заздалегідь обумовленої зміни (тобто

зменшення) товщини матеріалу стінки виробу. Розрізняють витягування без притиску фланцю та з притиском фланцю.

При **витягуванні без притиску фланця** (рис. 1.1) штамп повинен мати лише пуансон 1 та матрицю 2.

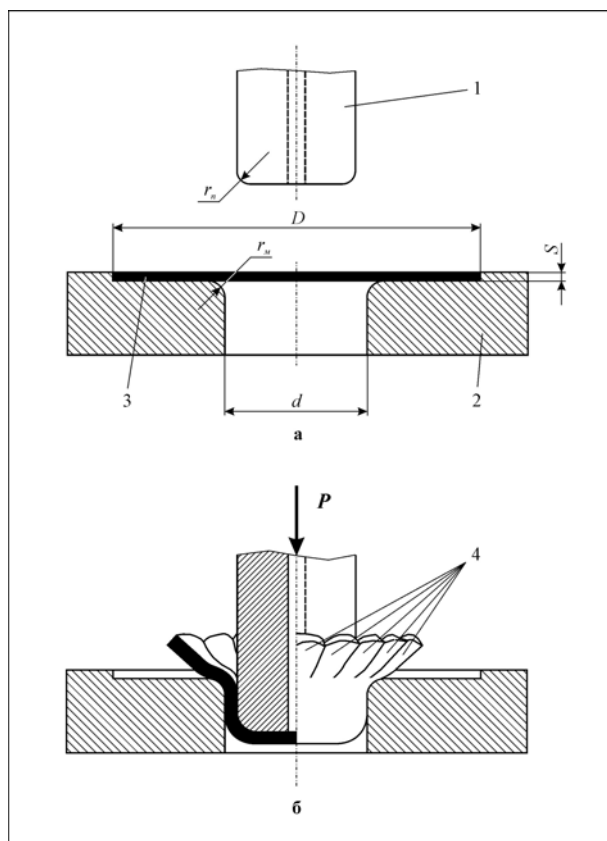
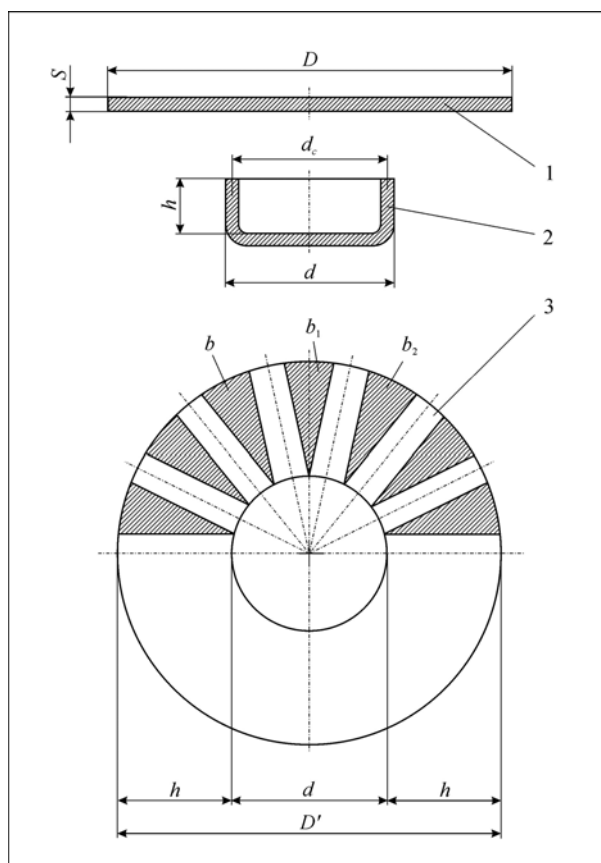


Рис. 1.1. Схема процесу витягування без притиску фланцю: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4 – гофри на виробі

Так як при витягуванні відбувається втягування 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 , ..., b_n (рис. 1.2), так як для утворення порожнистого ковпачка діаметром d і висотою h достатньо мати заготовку діаметром D' без заштрихованих ділянок.



заштрихованих ділянок.

Рис. 1.2. До пояснення процесу витягування: 1 – реальна вихідна заготовка; 2 – виріб; 3 – модель уявленої вихідної заготовки

За думкою Зубцова М. Ю. [1, с. 150], наявність надлишкових трикутників приводе до необхідності витискування та переміщення металу вгору.

Можливість витягування за одну технологічну операція за

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

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

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

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



Рис. 1.3. До визначення коефіцієнта витягування

Граничний коефіцієнт витягування m_c ділить відстань між нулем та одиницею на дві зони. В зоні 1 розрахункове значення коефіцієнта витягування m_1 більше або дорівнює граничному значенню m_c ($m_1 \geq m_c$), а процес витягування відбувається при відносно невеликому зусиллі та напруженню розтягання в критичному перерізі виробу (на межі між донною та бічною поверхнями). Тому в зоні 1 витягування можливе. В зоні 2 розрахункове значення коефіцієнта витягування m_2 менше граничного значення m_c ($m_2 < m_c$), а процес витягування відбувається при відносно невеликому зусиллі та напруженню розтягання в критичному перерізі виробу. Тому в зоні 2 витягування не можливе: спостерігається відрив дна.

Однак, спосіб витягування без притиску фланця дозволяє витягувати деталі лише на незначну глибину, тобто коли граничний коефіцієнт витягування m_c не зменшується нижче 0,75...0,85 [3, с. 70]. Висота H ковпачка, отриманого даним способом, як правило, не перевершує половини його діаметра d , тобто $H/d \leq 0,5$.

Більш прогресивним є спосіб **витягування плоскої заготовки з притиском фланцю**. 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 (рис. 1.4):

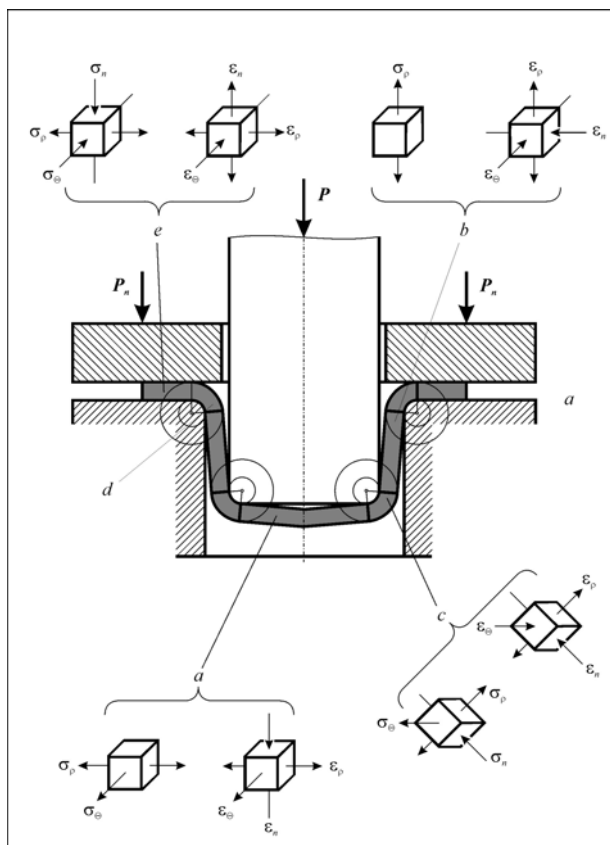


Рис. 1.4. Схема напружено-деформованого стану заготовки при витягування з притиском фланцю

- 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 потоншення стінок у тому місці. В наслідок цього поперечний переріз тіла тут є найменш міцним та найбільш небезпечним з точки зору відриву дна від стінок

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. [4] 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 рис. 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 ковпачка. 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 рис. 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).

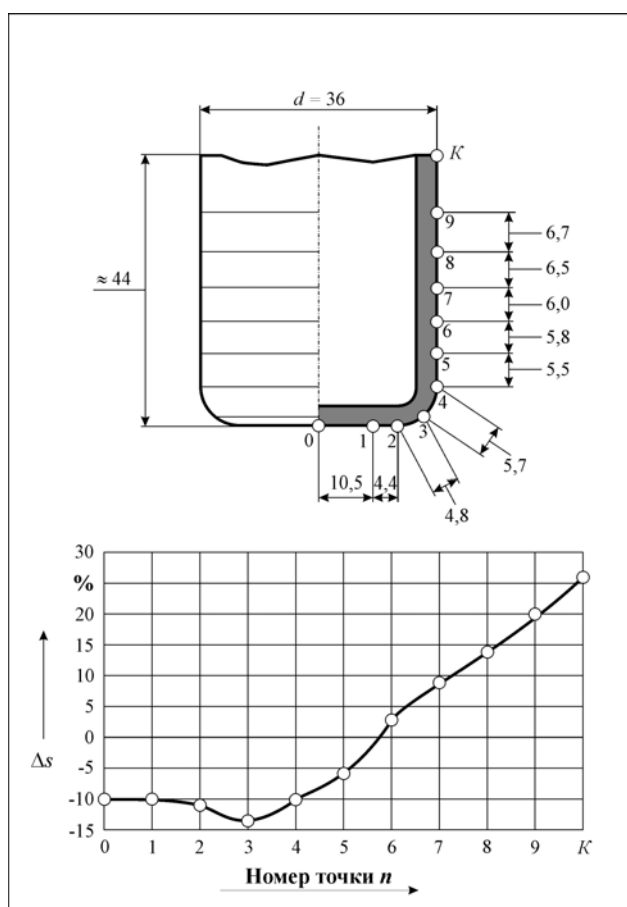
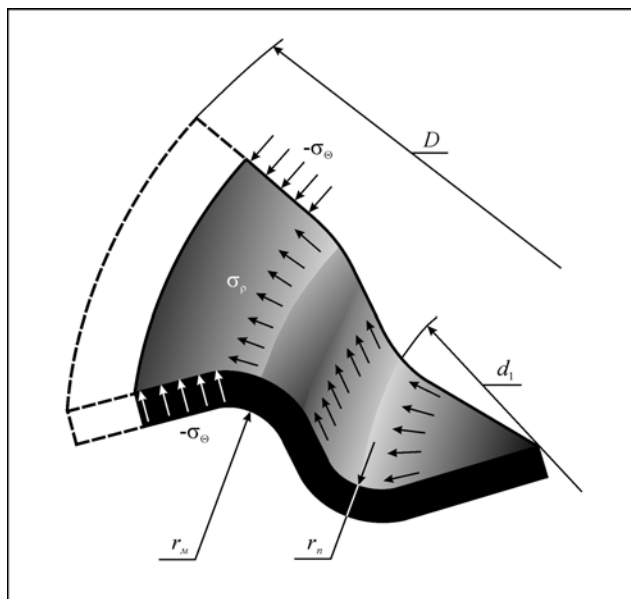


Рис. 1.5. Залежність відносної товщини стінки Δs ковпачка від номеру точки n при витягуванні з притиском фланцю

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_{ϕ}

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

Рис. 1.6. Напруження, що виникають в різних частинах заготовки при витягуванні з притиском фланцю

Встановлено [1, с. 154], що при витягуванні з притиском фланцю у заготовці, що деформується, виникають наступні напруження (рис. 1.6):

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

- напруження $\sigma_{тр}$, що викликані тертям між заготовкою, притискачем та матрицею на плоскій її частині;

- напруження $\sigma'_{тр}$, що викликані тертям заготовки об кромку матриці;

- напруження від гнуття заготовки при вході на закруглену кромку матриці та випрямлення при сходженні з неї.

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

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

де $d_{1\text{сер}}$ – середній діаметр ковпачка (виробу)

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

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:

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

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

Якщо прийняти $\sigma_{p\text{max}} = \sigma_\epsilon$, 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 $K_{1\epsilon}$:

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

Теоретичним та експериментальним дослідженням процесу витягування присвячені ряд робіт авторів А. А. Шофмана [5], Е. А. Попова [6] та В. П. Романовського [3, 7, 8, 9].

За даними роботи [3], зусилля витягування змінюється протягом робочого ходу пуансона,

досягаючи максимуму при глибині $h = (0,4 \dots 0,6)H$, де H – повна глибина витягування.

В роботі [7] приведені три експериментальні криві зусилля витягування (рис. 1.7) для різних матеріалів, що отримані за однакових умов штампування.

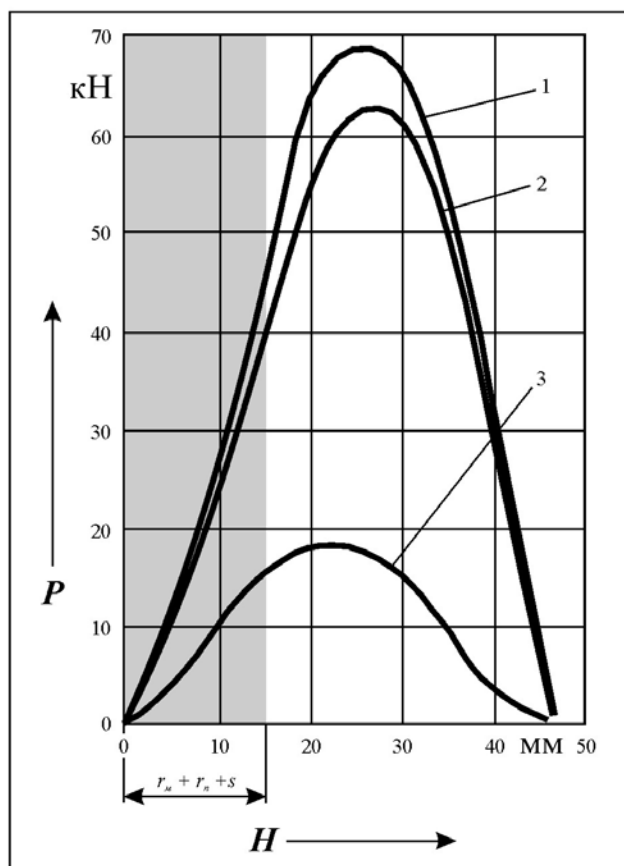


Рис. 1.7. Залежність зусилля витягування P від H ($D = 100$ мм; $s = 1,5$ мм; $m = 0,515$; $d_n = 50$ мм): 1 – сталь 08; 2 – латунь Л62; 3 – алюміній

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 [9]. Тим самим припускалося, що відразу з моменту прикладання зусилля починається пластична деформація фланця заготовки, чого немає в дійсності (рис. 1.8).

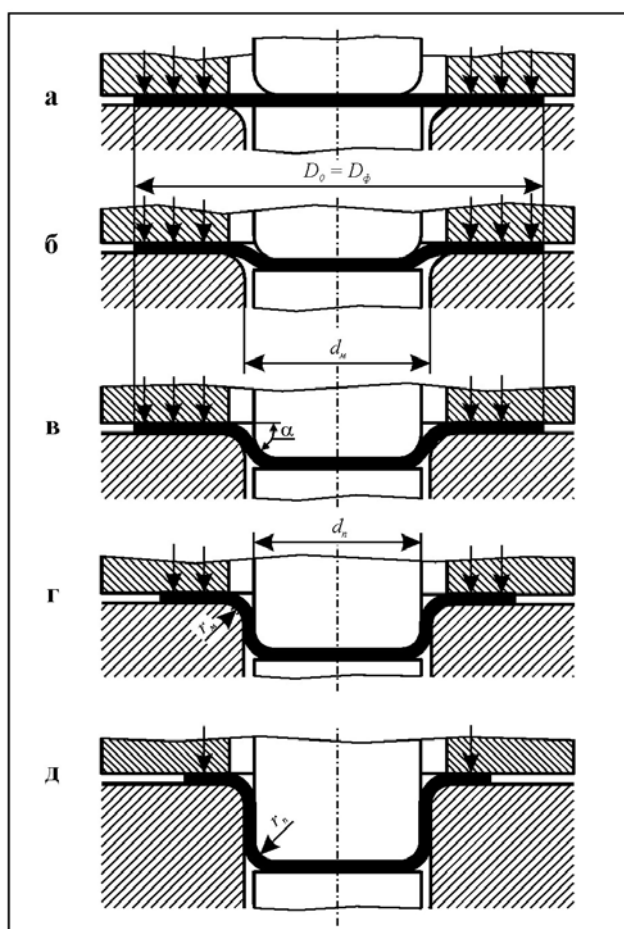


Рис. 1.8. Морфологія процесу витягування з притиском заготовки: а, б, в – початкова стадія; г – проміжна стадія; д – кінцева стадія

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 [4]. Криві показують, що зі зменшенням коефіцієнта витягування m_1 , максимальне значення зусилля витягування підвищується, а максимум зусилля зсувається праворуч.

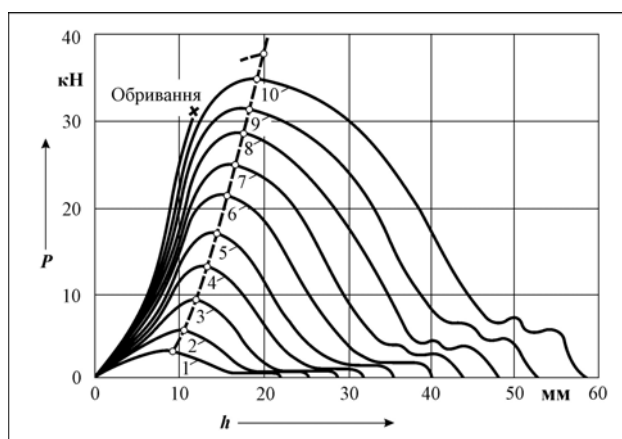


Рис. 1.9. Типові залежності зусилля витягування для першої операції P від ходу пуансона h : 1 – $m_1 = 0,83$; 2 – $m_1 = 0,78$; 3 – $m_1 = 0,71$; 4 – $m_1 = 0,67$; 5 – $m_1 = 0,62$; 6 – $m_1 = 0,59$; 7 – $m_1 = 0,55$; 8 – $m_1 = 0,52$; 9 – $m_1 = 0,50$; 10 – $m_1 = 0,48$

Після складання загального рівняння рівноваги, аналітичного його рішення при деяких припущеннях, формула для визначення зусилля витягування на першій операції P_{01} набуде вигляду [1, с. 163]:

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

а з урахуванням коефіцієнта першого витягування m_1

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

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.

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

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

При багатоопераційному (багатоперехідному) способі витягуванні процес штампування здійснюється дискретно та послідовно в напрямку підвищення висоти ковпачка. Якщо відомі критичні коефіцієнти витягування для першої та подальших операцій, діаметри напівфабрикатів за переходами витягування легко визначаються за залежностями (рис. 1.10):

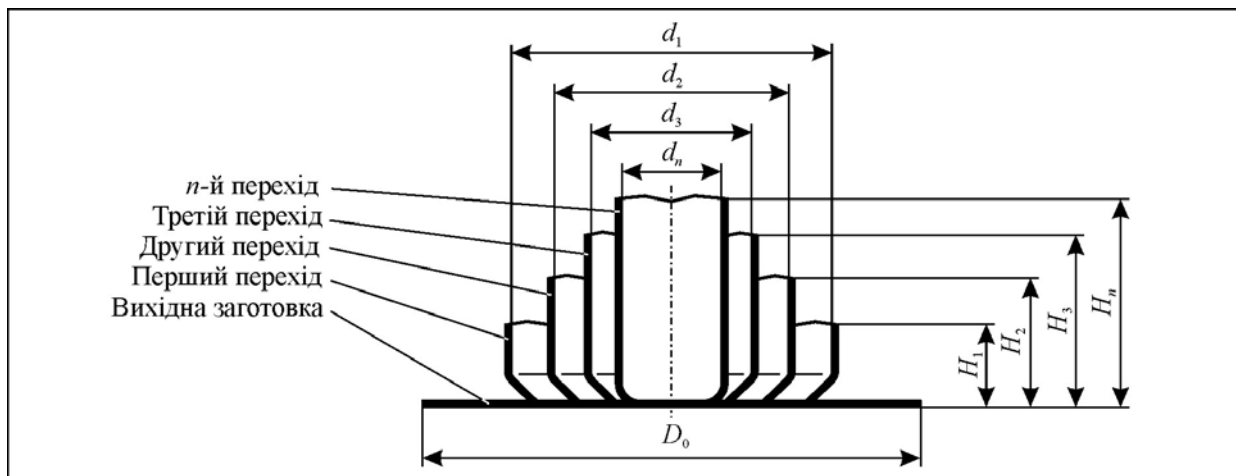


Рис. 1.10. До визначення числа переходів (операцій) витягування

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

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

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

де N – число операцій (переходів) витягування.

Більш точно K' визначають як середнє значення коефіцієнтів:

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

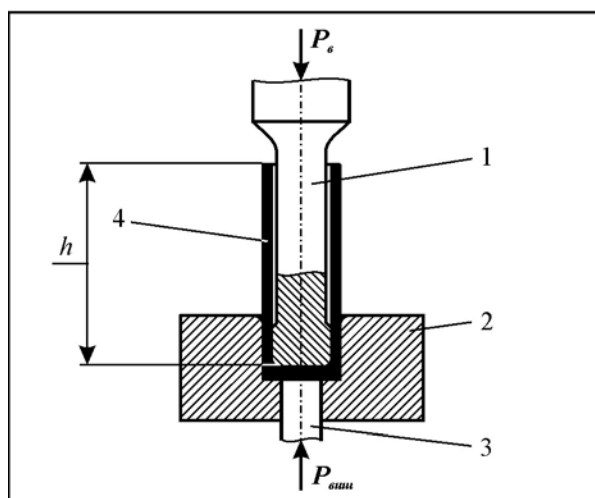
Після логарифмування рівняння (3.16), маємо наступну формулу для розрахунку числа операцій:

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

Радіус округлення матриці приймають 6...10 товщин.

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

Висота ковпачка, отриманого даним способом, як правило, не перевершує трьох діаметрів, тобто його відносна висота $H/d \leq 3$.



Таку ж відносну висоту ковпачка ($H/d \leq 3$) дозволяє отримати **спосіб зворотного видавлювання**, що здійснюється в одному штампі (рис. 1.11).

Рис. 1.11. Схема способу зворотного видавлювання ковпачка

Тому даний спосіб більш прогресивний: економічно доцільний та більш продуктивний. Однак, при спробі реалізації процесу зворотного видавлювання при відносній висоті ковпачка $H/d > 3$, спостерігається руйнування відносно тонкого пуансону, який із підвищенням висоти втрачає усталеність. Саме тому, відносну висоту ковпачка $H/d = 3$ можна вважати фізичною межею даного способу.

Висоту ковпачка після зворотного витягування можна підвищити за рахунок подальшого багатоопераційного витягування з потоншенням стінки до відносної висоти $H/d = 5$, а іноді і більше, але з кожною додатковою операцією собівартість виготовлення зростає (рис. 1.12).

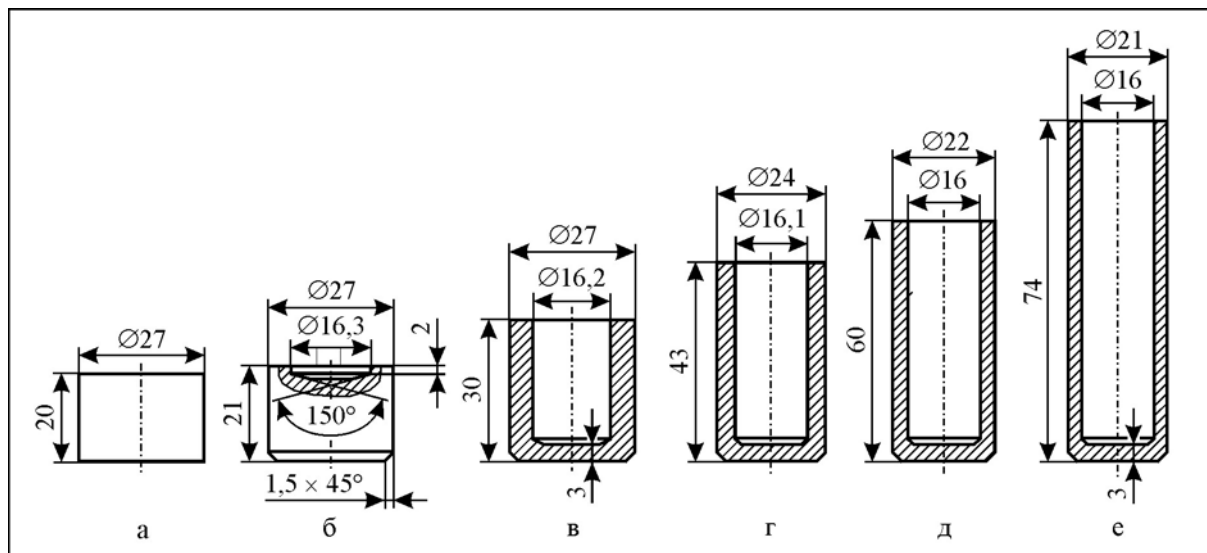


Рис. 1.12. Приклад багатоопераційного штампування високого ковпачка із сталі 40X [10, с. 142]. Заготовка після: а – відрізування; б – калібрування; в – зворотного видавлювання; г – I витягування з потоншенням стінки; д – II витягування з потоншенням стінки; е - III витягування з потоншенням стінки

1.2. Узагальнення результатів огляду сучасних способів виготовлення циліндричних високих ковпачків та обґрунтування напрямку досліджень

Із викладеного вище виходить, що із усіх розглянутих вище сучасних способів виготовлення циліндричних високих ковпачків самим прогресивним є спосіб зворотного видавлювання з використанням подальшого багатоопераційного витягування з потоншенням стінки. Він дозволяє підвищити відносну висоту ковпачка до $H/d = 5$, а іноді і більше, але з кожною додатковою операцією собівартість виготовлення ковпачка

зростає. В той же час в машинобудуванні є потреба у високих ковпачках, відносною висотою $H/d \gg 5$.

В роботі звертається увага на те, що суттєве підвищення відносної висоти ковпачка (до $H/d = 14$ і більше) можна отримати при використанні нового способу прямого видавлювання, який запропоновано професором Боковим В. М. та магістрантом Ганулом Д. В. В даному способі об'єднані переваги зворотного та прямого видавлювання: заготовка для прямого видавлювання ковпачка попередньо формується з утворенням донної поверхні способом зворотного витягування. Це дозволяє скасувати залежність висоти отриманого ковпачка від осьового зусилля видавлювання. Даний спосіб, за думкою автора, не був об'єктом дослідження, а тому його технологічні можливості невідомі.

Тому, метою дослідження є підвищення відносної висоти ковпачка за рахунок використання способу прямого видавлювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз та узагальнення результатів огляду сучасних способів виготовлення циліндричних високих ковпачків та обґрунтувати напрямки досліджень;
- обґрунтувати технологічну схему формоутворення циліндричної порожнистої поверхні тіла із дном з використанням прямого видавлювання;
- розробити методику експериментального дослідження способу прямого видавлювання високих ковпачків;
- виконати експериментальне дослідження способу прямого видавлювання високих ковпачків;
- запропонувати новий спосіб прямого видавлювання високих ковпачків.

Розділ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Обґрунтування технологічної схеми формоутворення високого ковпачка

За конструктивним виконанням високий ковпачок включає в себе (рис. 2.1) циліндричний порожнистий стрижень 1 (трубу) та плоске кругле дно 2 з перехідною радіусною частиною 3.

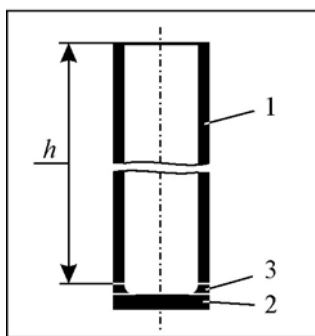


Рис. 2.1. Структура високого ковпачка

Довжина труби h практично визначає висоту ковпачка. Тому, для формоутворення високого ковпачка треба скористатися способом виготовлення довгих труб. Сьогодні труби довжиною декілька десятків метрів ефективно отримують способом прямого видавлювання на горизонтальних гідравлічних пресах.

Для формоутворення плоского дна та перехідної радіусної частини доцільно використати спосіб зворотного видавлювання.

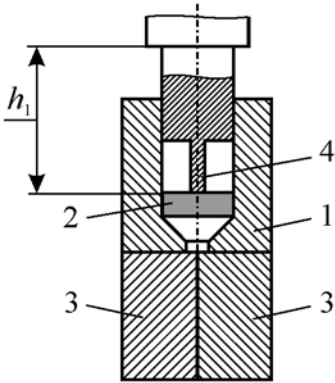
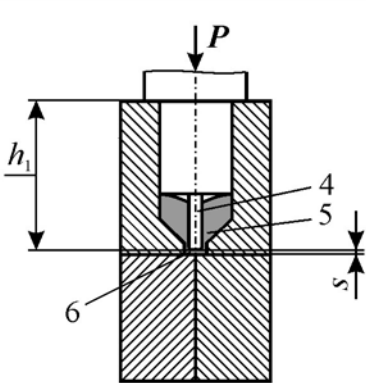
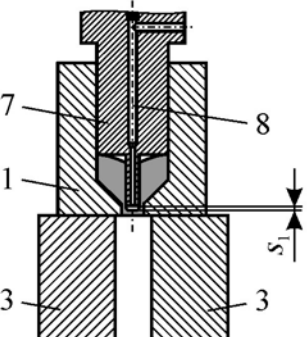
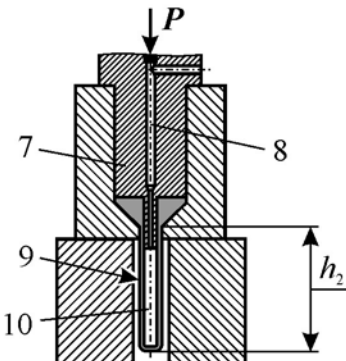
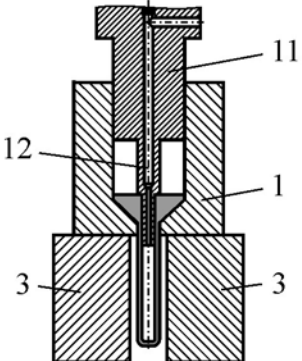
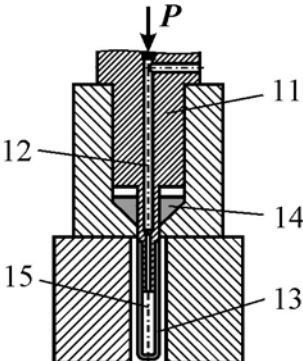
Нова технологічна схема формоутворення високого ковпачка, що пропонується, об'єднує в собі переваги зворотного та прямого видавлювання: заготовка для прямого видавлювання ковпачка попередньо формується з утворенням донної поверхні способом зворотного витягування.

Процес формоутворення високого ковпачка пояснюється таблицею 2.1. Для реалізації процесу формоутворення високого ковпачка за новою технологічною схемою використовується закрита матриця 1 (див. схему 1.1) та гаряча (для сталей) або холодна (для м'яких металів) вихідна

заготовка 2. Об'єм вихідної заготовки 2 V_1 перевищує об'єм готового ковпачка на величину технологічного залишку (відходу). Матрицю 1 встановлюють на дві однакові за висотою підставки 3.

Таблиця 2.1

Морфологія формоутворення високого ковпачка

Етапи процесу	Початок етапу	Кінець етапу
Перший	1.1 	1.2 
Другий	2.1 	2.2 
Третій	3.1 	3.2 

На першому етапі (див. схему 1.2) першим пуансоном 4 прошивають глухий отвір 5 із залишенням заданої товщини s дна 6 ковпачка, що досягається точним розрахунком висоти консольної частини h_1 пуансона 4 та прошиванням до упору. При розрахунках слід дотримуватися умови $V_1 = V_2$, де V_2 – об'єм заготовки після першого етапу.

На другому етапі (див. схеми 2.1, 2.2) другим пуансоном 7 з центральним отвором 8, який з'єднано з атмосферою, видавлюють циліндричну частину ковпачка 9 на висоту h_2 . При цьому висота ковпачка не залежить від осьового зусилля видавлювання і тому може суттєво зрости практично не обмежено. В процесі видавлювання порожнина 10 безперервно подовжується, а об'єм її збільшується. Наявність отвору 8 не дозволяє утворенню в порожнині 10 розрядженого повітря. Це позитивно впливає на зусилля виймання пуансона 7 з матриці 1.

На третьому етапі (див. схеми 3.1, 3.2) третім пуансоном 11 з центральним отвором 12, який з'єднано з атмосферою, відокремлюють ковпачок 13 від залишку металу 14. Наявність отвору 12 також не дозволяє утворенню в порожнині 15 розрядженого повітря. Це позитивно впливає на зусилля виймання пуансона 11 з матриці 1.

Нова технологічна схема дозволяє використати високоефективний спосіб прямого видавлювання для формоутворення високого ковпачка практично будь-якої висоти за рахунок того, що в заготовці для прямого видавлювання попередньо формується дно майбутнього ковпачка.

2.2. Методика експериментального дослідження

Методика експериментального дослідження передбачала:

- розробку експериментального пристрою для прямого видавлювання високого ковпачка із заготовки з попередньо відформованим дном;

- виконання експериментальних технологічних випробувань щодо прямого видавлювання ковпачка із заготовки з попередньо відформованим дном;
- удосконалення експериментального пристрою та технології видавлювання високого ковпачка із заготовки з попередньо відформованим дном за результатами технологічних випробувань.

2.3. Експериментальне обладнання та оснащення

Видавлювання заготовок здійснювали з використанням універсальної випробувальної машини УИП – 50 (рис. 2.2), яка дозволяє реєструвати зусилля в процесі деформації.

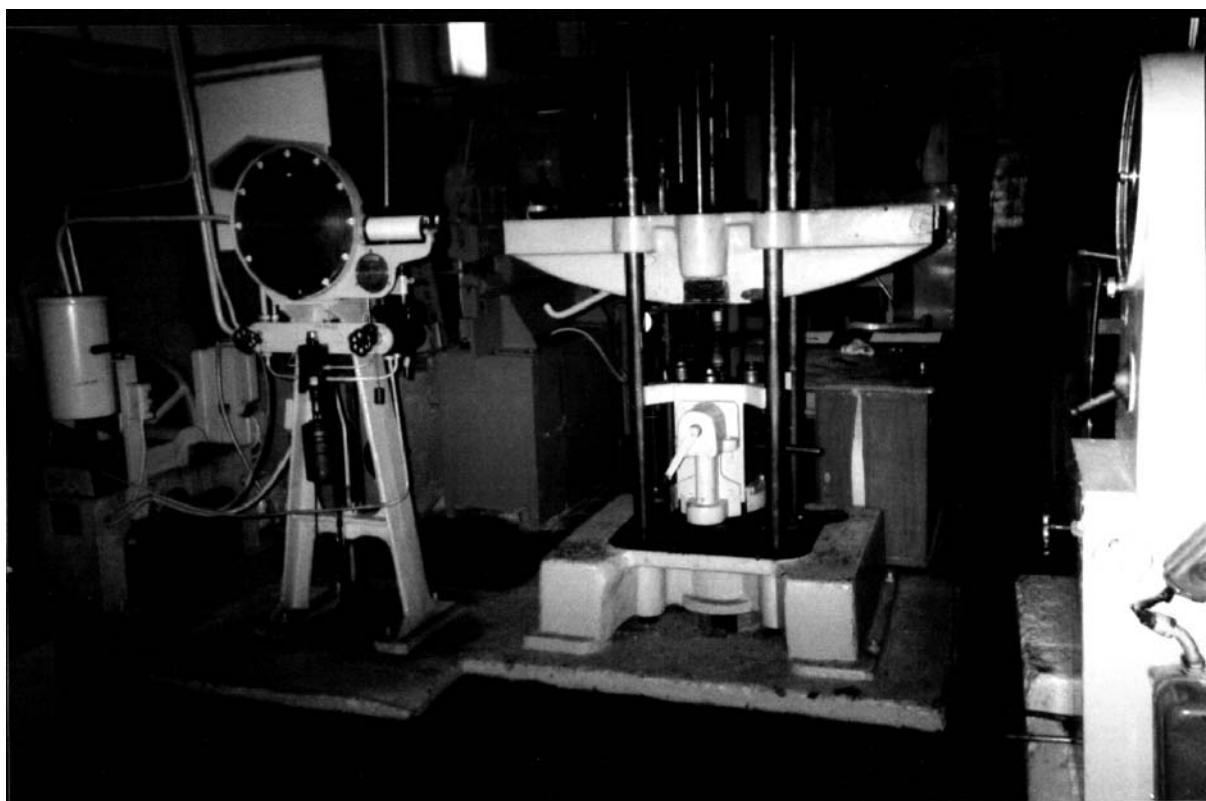


Рис. 2.2. Експериментальна універсальна випробувальна машина УИП-50

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 (рис. 2.3). Він складається з наступних основних деталей (рис. 2.4):

- циліндричної матриці 1 для прямого видавлювання високого ковпачка;
- пуансона 2 для прямого видавлювання високого ковпачка;
- конічної вставки-матриці 3 для прямого видавлювання високого

ковпачка. Кут конічної частини, що дорівнює 90° , забезпечує мінімальне зусилля видавлювання [11, с. 64, рис. 3.5, а];

- пуансона 4 для відокремлення (відкушування) високого ковпачка від технологічного залишку метала;
- двох однакових за висотою підставок 5;
- вихідної заготовки 6 з попередньо відформованим дном.



Рис. 2.3. Експериментальний штамп, що встановлений на універсальну випробувальну машину УИП-50

Штамп працює таким чином. В початковому положенні експериментальний штамп знаходиться у частково розібраному стані. В циліндричну порожнину матриці 1 завантажують вихідну заготовку 6 з попередньо відформованим дном та вставляють пуансон 2. При цьому, між торцевими поверхнями пуансона та дна є певний зазор. Штамп встановлюють на універсальну випробувальну машину УИП-50 на дві підставки 5 (див. рис. 2.3).

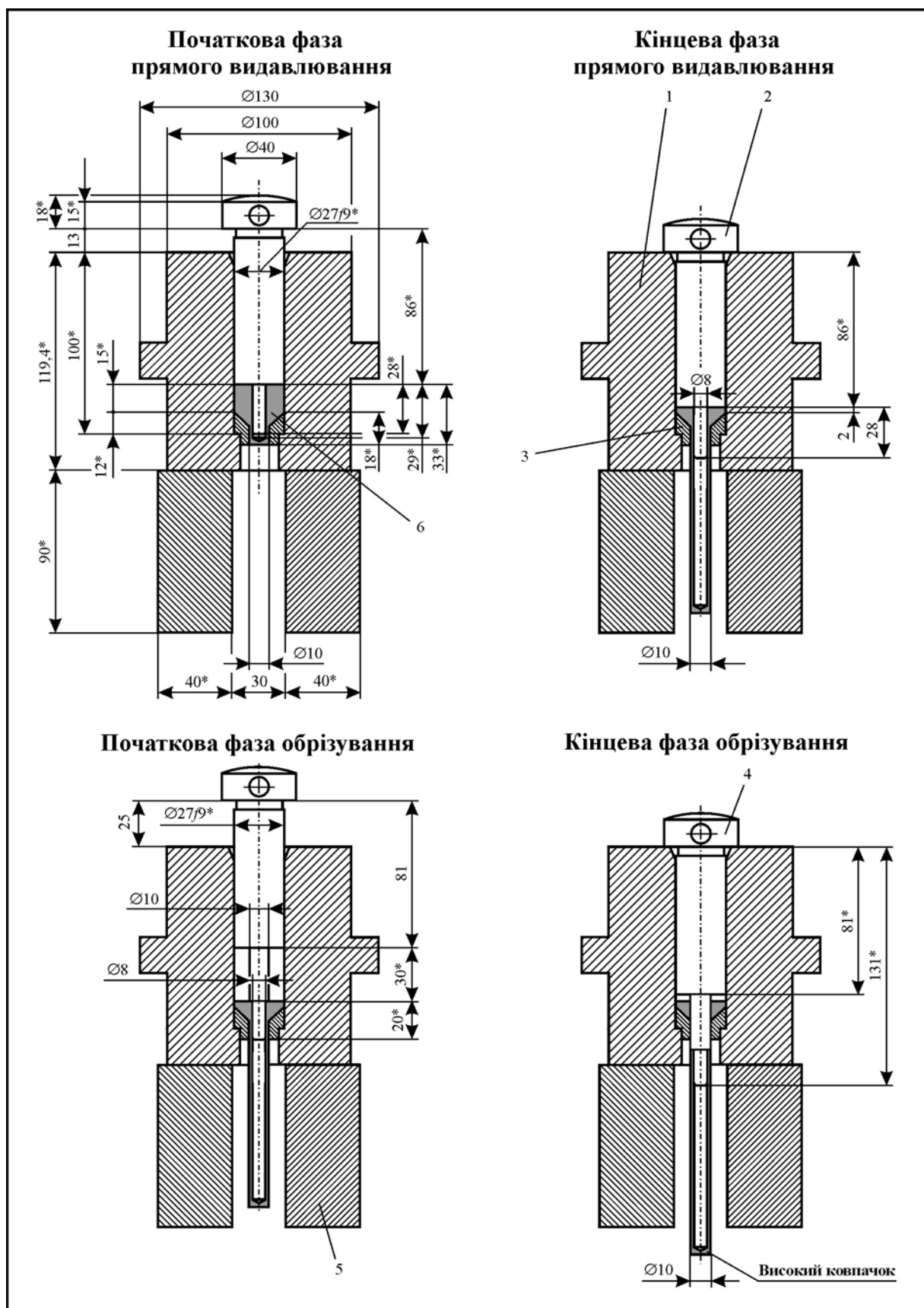


Рис. 2.4. Креслення експериментального штампа

При вмиканні машини пуансон 2 опускається униз та тисне на заготовку 6. Під дією тиску, здійснюється пряме видавлювання матеріалу заготовки із конічної вставки-матриці 3 з утворенням стінки високого ковпачка. При досяганні певної висоти ковпачка процес зупиняють, виймають пуансон 2, а замість нього вставляють пуансон 4 для відокремлення високого ковпачка від технологічного залишку металу. При другому вмиканні машини пуансон 4 переміщується униз та відокремлює високий ковпачок від технологічного залишку металу. Готовий високий ковпачок знімають із меншої стрижневої частини пуансона 4.

2.4. Матеріали, зразки та вимірювальний інструмент

Для експериментальних досліджень способу прямого видавлювання високих ковпачків використовувалися зразки із свинцю ПОСС 4-6 ГОСТ 21930-76 (рис. 2.5).

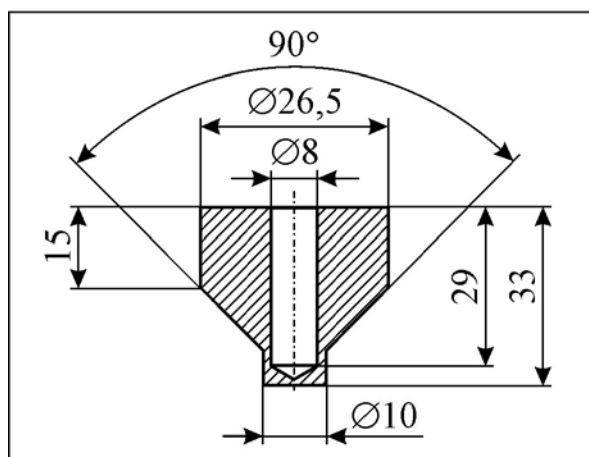


Рис. 2.5. Вихідна заготовка для прямого видавлювання високих ковпачків

Передбачалися два варіанта їх виготовлення:

- з циліндричної заготовки, отриманої методом литва, з подальшим формуванням донної частини ковпачка способом зворотного видавлювання (див. табл. 2.2, схеми 1.1, 1.2);

- з циліндричної заготовки, отриманої методом литва, з подальшим формуванням донної частини способом механічної обробки (точінням, свердленням).

В якості технологічного мастила використовувався окис цинку.

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

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

2.5. Техніка безпеки при експериментальному дослідженні

Оскільки зразки виготовлялися із свинцю, що є токсичним матеріалом, усі роботи з ним треба здійснювати у рукавицях.

При виготовленні методом литва свинцевої заготовки треба використовувати: особисту маску, шафу з витяжною вентиляцією та кліщі.

При розділенні круглої свинцевої заготовки на зразки механічною ножівкою необхідно надійно закріпити заготовку у лещатах з використанням двох спеціальних примз. Не допускається фіксація круглої заготовки безпосередньо плоскими поверхнями лещат: це небезпечно. Крім того, при потужному затисненні, заготовка може деформуватися (змінити розміри).

Оскільки видавлювання заготовок здійснювали з використанням універсальної випробувальної машини УИП – 50, при її експлуатації треба урахувати наступні фактори:

- машина має гідравлічний робочий привід та розвиває номінальне зусилля до 50 тон. Тому в робочу зону машини при її експлуатації не повинні попадати руки оператора;
- машина має додатковий механічний привід для установочного переміщення траверси. Тому при його вмиканні траверса не повинна торкатися інших нерухомих частин машини. Порушення цієї умови може нанести травму оператору та вивести машину із ладу;
- працювати на машині можна тільки з напарником.

Розділ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ВИСОКИХ КОВПАЧКІВ

3.1. Фізичні особливості та засоби покращання технологічних умов процесу прямого видавлювання високих ковпачків

При реалізації прямого видавлювання високого ковпачка 1 на експериментальному штампі (рис. 3.1) з використанням вихідної заготовки з попередньо відформованим дном 2 (див. рис. 2.5), об'єм металу більшого кільцевого перерізу заготовки F_z , що знаходиться в порожнині матриці 3 між її циліндричною поверхнею 4 діаметром d_m та циліндричною поверхнею 5 центральної частини пуансона 4 діаметром d_1 , під дією зусилля P поступово переходить через конічну частину матриці 7 в об'єм металу меншого кільцевого перерізу стінки ковпачка F_c , що забезпечується циліндричною поверхнею 8 матриці 3 діаметром d_2 та циліндричною поверхнею 5 центральної частини пуансона 6 діаметром d_1 .

Площа кільцевого перерізу заготовки F_z складає

$$F_z = \frac{\pi}{4}(d_m^2 - d_1^2) = \frac{3,14}{4}(27^2 - 8^2) = 522 \text{ мм}^2,$$

а площа кільцевого перерізу стінки ковпачка F_c складає

$$F_c = \frac{\pi}{4}(d_m^2 - d_1^2) = \frac{3,14}{4}(10^2 - 8^2) = 28 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, в експериментальному штампі площа кільцевого перерізу стінки ковпачка у 18,6 рази менша площі кільцевого перерізу заготовки ($F_z/F_c = 522 : 28 = 18,6$).

у 18,6 рази приводить до збільшення в таку ж кількість разів висоти ковпачка. При висоті циліндричної частини вихідної заготовки $h = 15$ мм (див. рис. 2.5), теоретично можна отримати ковпачок висотою h_k :

$$h_k = h \cdot \frac{F_3}{F_c} = 15 \cdot 18,6 = 279 \text{ мм},$$

тобто з співвідношенням $h_k/d_2 = 279 : 10 = 27,9$.

В процесі видавлювання стінки ковпачка у кільцеву щілину між циліндричною робочою поверхнею матриці 8 діаметром d_2 та циліндричною робочою поверхнею 5 центральної частини пуансона 6 діаметром d_1 виникають сили тертя, які залежать від опору течії металу. За інших рівних умов, опір залежить від величини кільцевої щілини: чим більше зазор між матрицею та пуансоном, тим менше опір. В реальних умовах завжди існує певний зазор між діаметром матриці та діаметром пуансона d_n , тобто є справедливим вираз $d_m - d_n > 0$. В цьому зазорі пуансон 6 може нахилитися. Кут максимального нахилу пуансона відносно матриці залежить від якості напрямку пуансона в штампі. Оскільки в експериментальному штампі відсутні напрямні вузли, спостерігається нахил пуансона на значний кут, що приводить до розташування пуансона 6 відносно матриці 3 з деяким ексцентриситетом e (див. рис. 3.1, переріз А-А). В наслідок цього, з протилежних боків пуансона утворюються різні зазори ($\delta_1 < \delta_2$), через які метал видавлюється із конічної частини 7 матриці 3 в її робочу частину діаметром d_2 . При цьому, межова крива ВС відокремлює метал заготовки, що знаходиться у замкнутому просторі між бічними поверхнями матриці та поверхнями пуансона (верхня частина заготовки) від металу, що видавлюється із штампа та знаходиться поза матрицею 3 і не торкається її (нижня частина заготовки, власне високий ковпачок). Оскільки метал витікає із штампа за принципом найменшого

опору, там де більший зазор (δ_2), швидкість витікання металу буде більша. В свою чергу, різниця у швидкостях ($V_2 > V_1$) витікання металу із штампа з протилежних боків породжує обертальний момент M , який деформує ковпачок 1, тобто відхиляє його від вертикального положення на кут γ .

Описаний вище фізичний механізм викривлення високого ковпачка підтверджується експериментально (рис. 3.2).

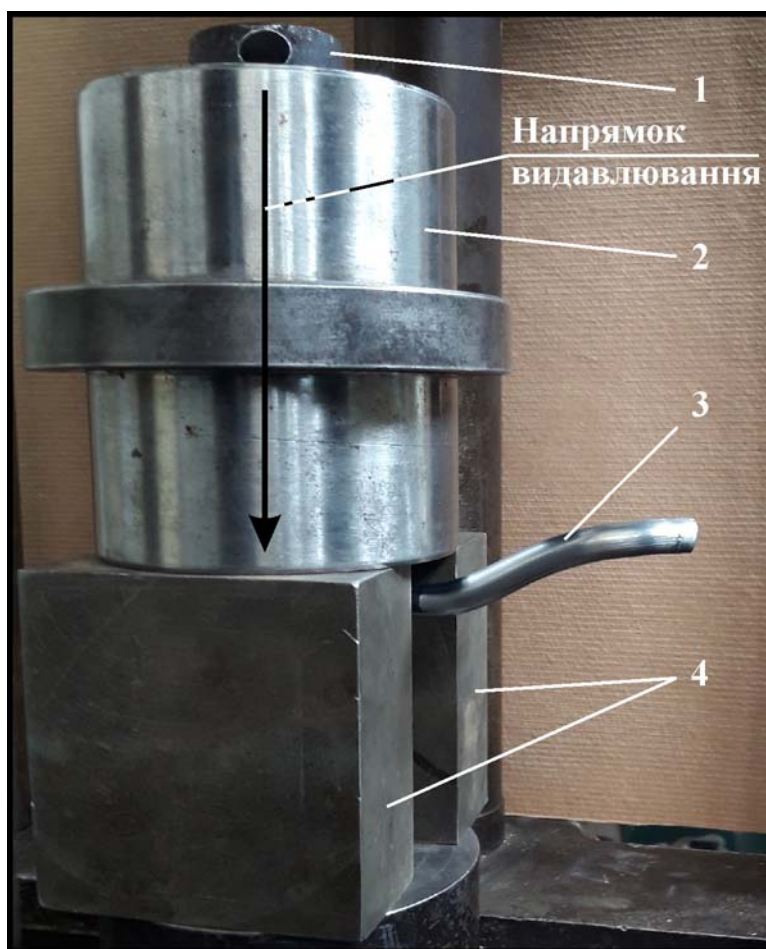


Рис. 3.2. Викривлення високого ковпачка при прямому видавлюванні на експериментальному штампі без додаткових засобів направлення: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – високий ковпачок; 4 – дві підставки

Як бачимо, при відсутності додаткових засобів направлення, спостерігається суттєве викривлення високого ковпачка під дією орбітального моменту, що виникає.

Для зменшення величини викривлення високого ковпачка при прямому видавлюванні в експериментальний штамп введено наступні засоби направлення:

- мінімальну довжину напрямної частини пуансона l_{min} збільшено від 15 мм (рис. 3.3, а) до 70 мм (рис. 3.3, б), тобто у 4,7 рази. При цьому співвідношення l_{min}/d_m , що визначає якість направлення, збільшилося від 0,55 до 2,59;

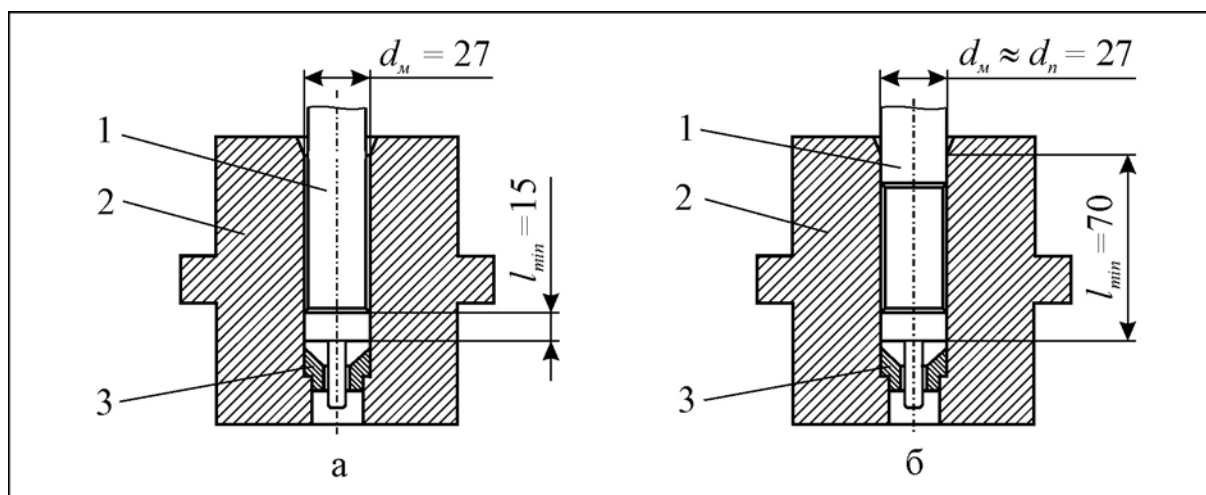


Рис. 3.3. Покращання напрямку пуансона в експериментальному штампі: а – штамп до модернізації; б – штамп після модернізації; 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – конічна вставка-матриця

- в нижню частину штампа (рис. 3.4) за допомогою проміжного диску 1 вбудовано довгу трубку 2 для напрямку високого ковпачка в момент пресування. Для візуалізації картини переміщення ковпачка при пресуванні, в трубці 2 передбачено вертикальну щілину 3, шириною 3 мм.

Для переходу до третього етапу, у відповідності з прийнятою морфологією формоутворення (див. табл. 2.1), після видавлювання високого ковпачка необхідно вийняти пуансон для видавлювання із матриці та вставити пуансон для обрізування. Однак зусилля виймання

пуансона достатньо велике (до 100 кг), тому не зручно його виймати вручну, а зворотного силового ходу повзуна на універсальній випробувальній машини УІП-50 немає (використовується гідроциліндр одnobічної дії).

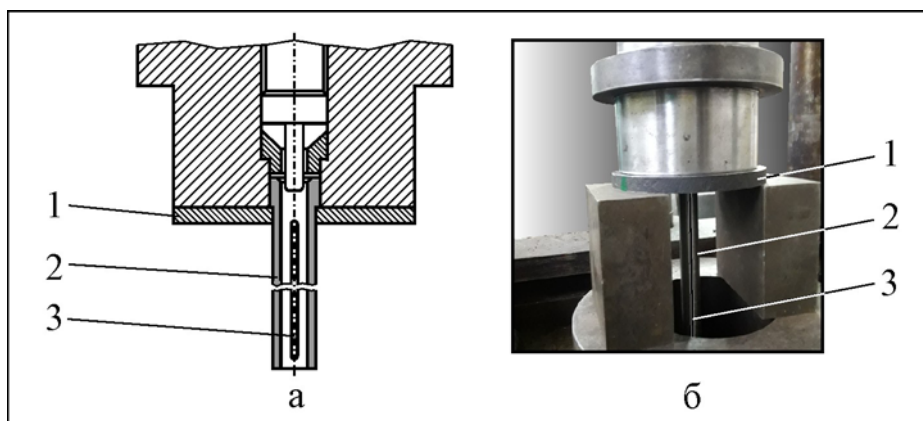


Рис. 3.4. Покращання напрямку високого ковпачка в експериментальному штампі: а – креслення нижньої частини штампа; б – фото нижньої частини штампа; 1 – диск; 2 – довга трубка; 3 – щілина

З метою використання машини УІП-50 для виймання пуансона із матриці, необхідно зняти штамп з верхньої позиції стискання, встановити його в спеціально розроблений пристрій (рис. 3.5), та встановити пристрій разом зі штампом на нижню позицію розтягання (рис. 3.6).

3.2. Технологічні випробування

Для видавлювання високого ковпачка використовувалася попередньо виготовлена свинцева заготовка за кресленням, що наведено на рис. 2.5. Спочатку складали пакет (рис. 3.7): заготовка 1, конічна матриця-вставка 2, та пуансон для прямого видавлювання 3. Далі, після технологічного змащування, вставляли пакет в циліндричну матрицю і в такому вигляді

штамп на підставках встановлювали в робочу зону машини УІП-50 (рис. 3.8).

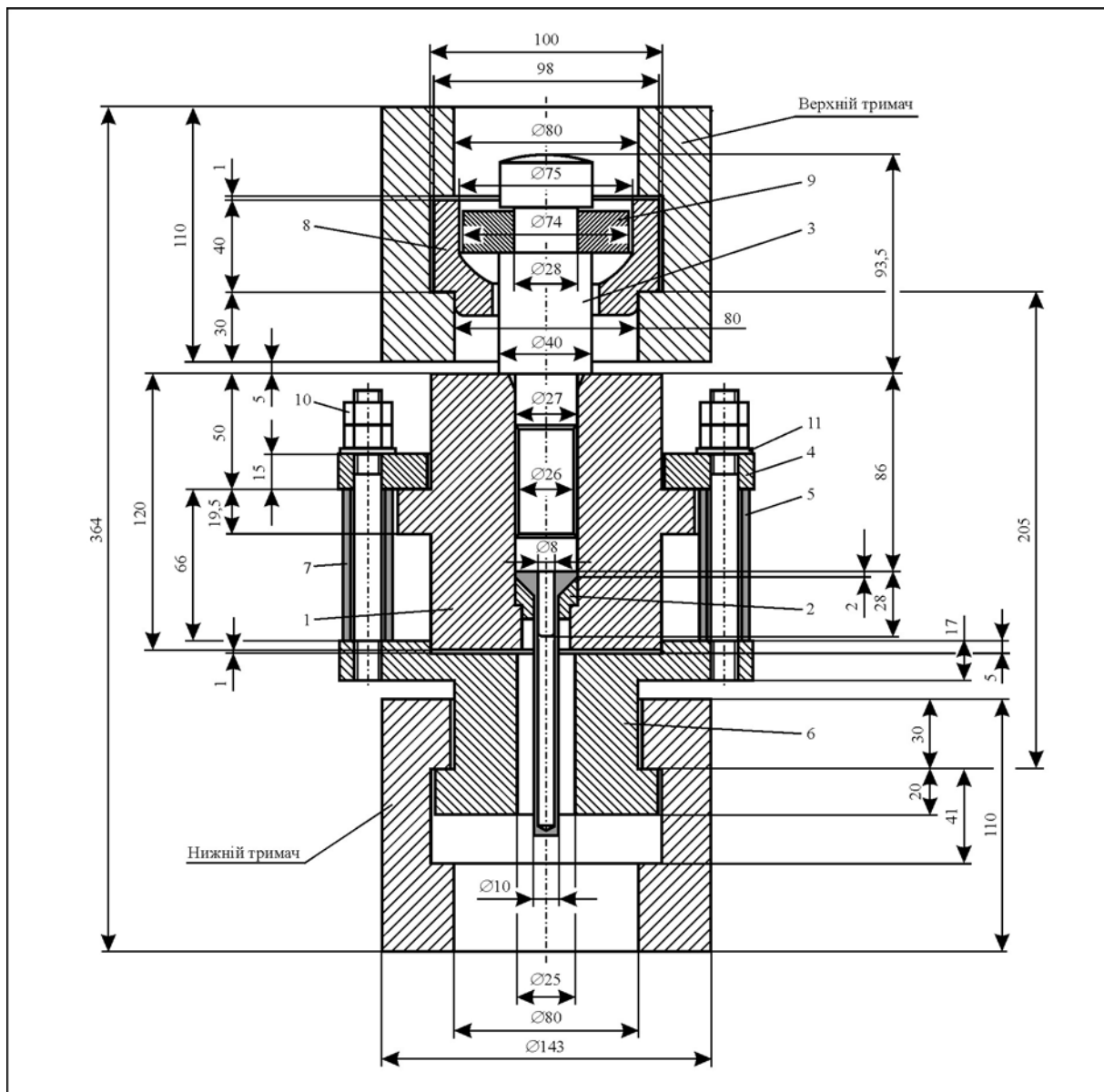


Рис. 3.5. Креслення пристрою для виймання пуансона із матриці: 1 – матриця; 2 – конічна матриця-вставка; 3 – пуансон для видавлювання; 4 – кільце; 5 – втулка розпирна (4 шт.); 6 – основа; 7 – шпилька М12 (4 шт.); 8 – захоплювач; 9 – розрізне кільце; 10 – гайка М12 (8 шт.); 11 – шайба 12 (4 шт.)

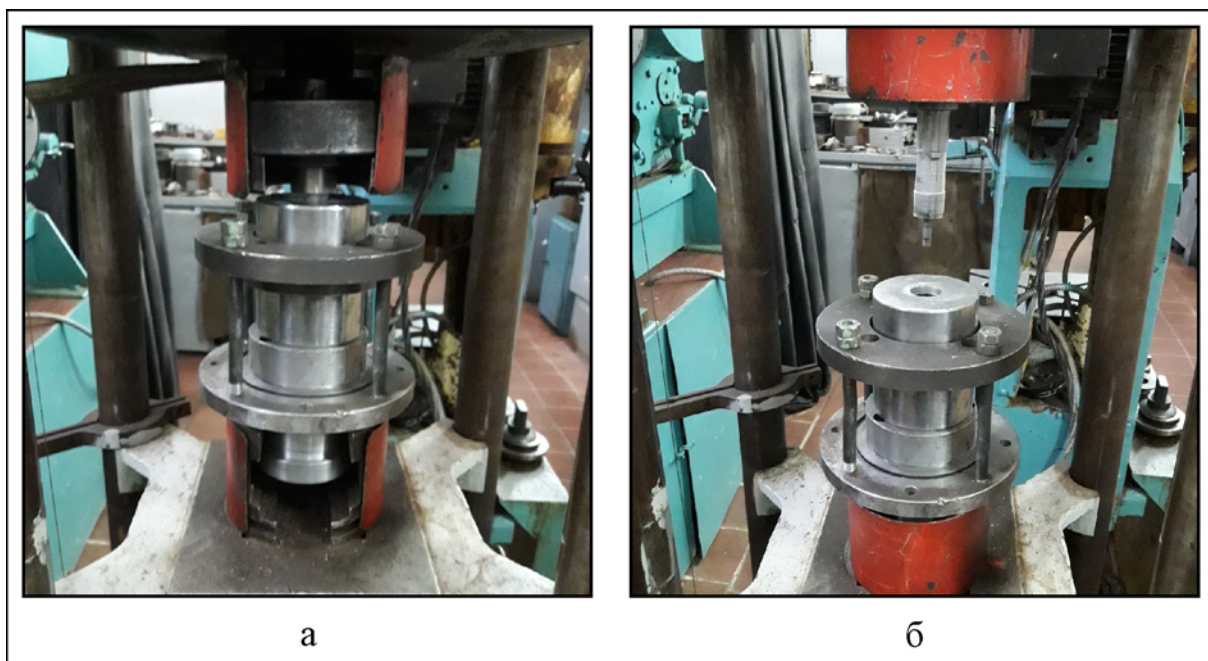


Рис. 3.6. Пристрій для виймання пуансона із матриці, що змонтований на універсальній випробувальній машини УІП-50: а – початкова фаза (завантаження); б – кінцева фаза (вивільнення пуансона)

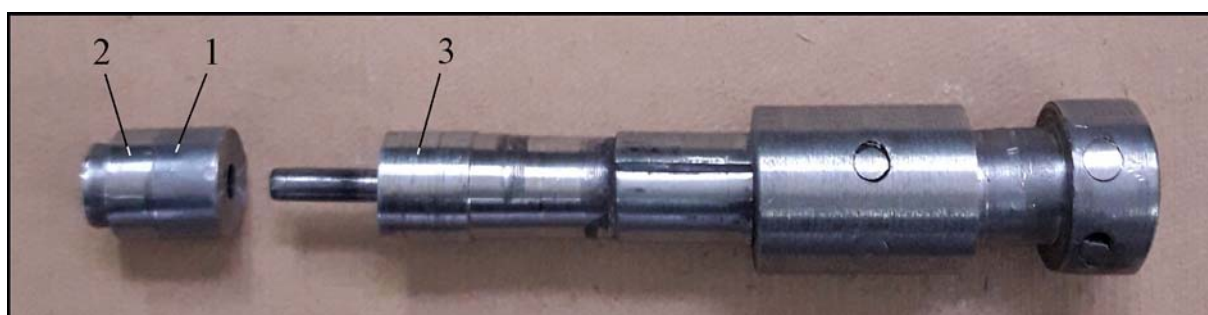


Рис. 3.7. Пакет, що встановлюється в циліндричну матрицю: 1 – вихідна заготовка; 2 – конічна матриця-вставка; 3 – пуансон для прямого видавлювання високого ковпачка

Здійснювали пряме видавлювання високого ковпачка із записом зусилля пресування. Типовий графік зміни зусилля в залежності від ходу пуансона показано на рис. 3.9.

Виймання пуансона із матриці здійснювали з використанням пристрою, що показано на рис. 3.6.



Рис. 3.8. Модернізований експериментальний штамп для прямого видавлювання високих ковпачків на універсальній випробувальній машини УІП-50: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 - підставка

Далі в циліндричну порожнину матриці вставляли ступінчастий пуансон для відрізування високого ковпачка від технологічного залишку, встановлювали штамп на машину УІП-50 на верхню позицію стискання та здійснювали процес відокремлення ковпачка від технологічного залишку.

За результатами обрізування, встановлено:

- зусилля обрізування не перевищує 8 кН;
- по периметру обрізування утворюється задирка товщиною 0,09 мм і висотою до 4 мм (рис. 3.10, а), що свідчить про не оптимальний (підвищений) зазор між обрізним пуансоном та матрицею-вставкою. Свинцева задирка легко відокремлюється від ковпачка руками (рис. 3.10, б).

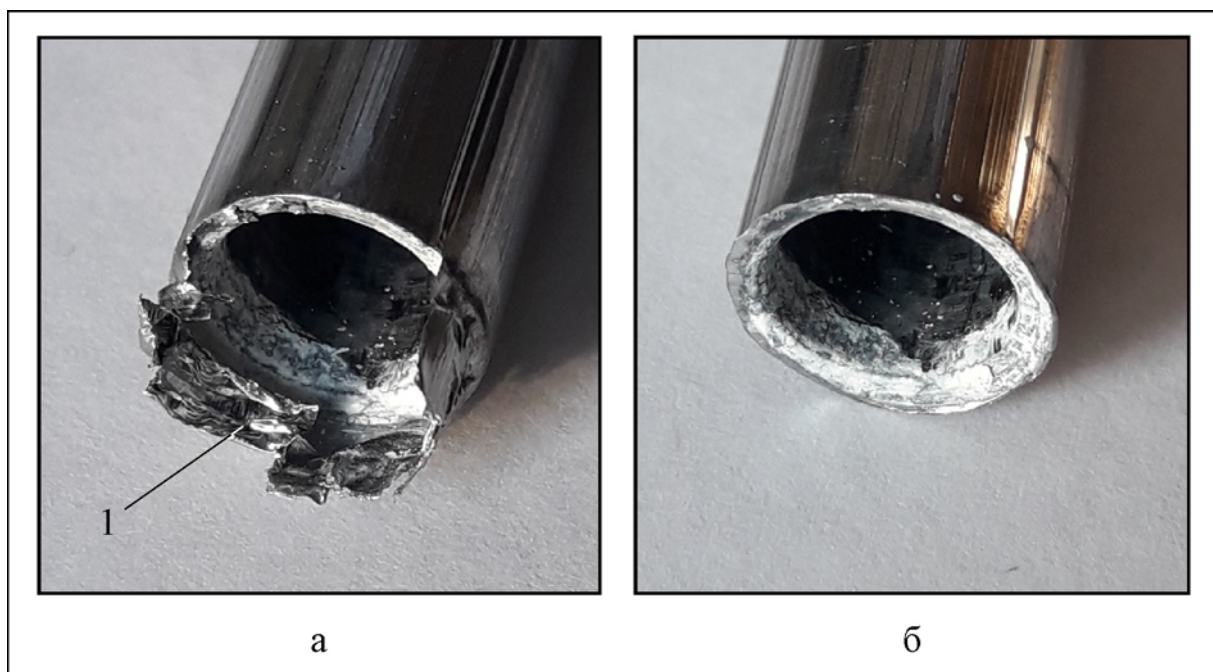


Рис. 3.10. Торцева поверхня високого ковпачка з боку порожнини після відокремлення від технологічного відходу (×4): а – з задиркою 1; б – після вилучення задирки

Таким чином, випробування технологій отримання високого ковпачка прямим видавлюванням із заготовки з попередньо формованим дном підтвердили можливість його пресування з співвідношенням $h_k/d_k = 140:10 = 14$ (рис. 3.11) та більше. Верхня межа обмежена лише технічними засобами.

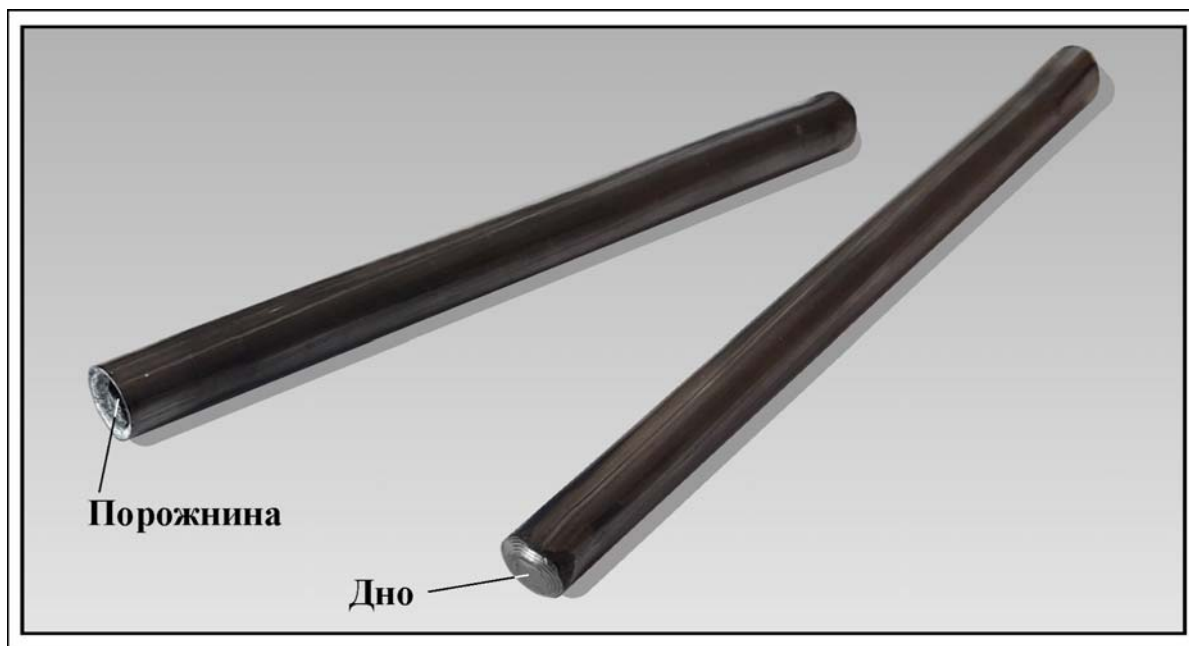


Рис. 3.11. Високі ковпачки ($d_k = 10$ мм; $h_k = 140$ мм; $s = 1$ мм), що отримано прямим видавлюванням з використанням заготовки з попередньо відформованим дном

3.3. Сутність першого нового способу прямого видавлювання високих ковпачків

На підставі виконаних вище експериментальних досліджень запропоновано новий спосіб прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею [12].

Спосіб стосується області обробки металів тиском, і може бути використаний в машинобудуванні для прямого видавлювання високих ковпачків.

Відомі аналогічні способи виготовлення ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею, зокрема способи витягування із плоскої листової заготовки [13, с. 116-121].

Недоліком даних способів є те, що висота отриманих ними ковпачків суттєво обмежена межевим коефіцієнтом витягування d/D (де d – діаметр ковпачка по середній лінії; D – діаметр вихідної заготовки). Якщо реальний коефіцієнт витягування менше межового, спостерігається відрив дна. Звичайно межевий коефіцієнт витягування лежить у межах 0,45 – 0,50.

Відомий спосіб прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею [14, с. 89, п. 9]. При реалізації даного способу пуансон, що формує внутрішню поверхню ковпачка, закріплюється нерухомо в нижній частині штампа. Тому висота ковпачка завжди менша висоти пуансона. Даний спосіб дозволяє отримувати більш високі ковпачки.

Однак у відомому способі прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею висота ковпачка обмежена осьовим зусиллям, що діє на внутрішній пуансон. Так, при підвищенні висоти ковпачка підвищується і висота цього пуансону. При постійному осьовому навантаженні та певній висоті ковпачка коефіцієнт запасу міцності пуансону знижується і становиться менше одиниці. Пуансон вигинається та зламуються. Таким чином, і даний спосіб не дозволяє суттєво підвищити висоту отриманого ковпачка.

Задачею даного винаходу є підвищення висоти отриманого ковпачка за рахунок скасування залежності висоти ковпачка від осьового зусилля видавлювання.

Дана задача вирішується у відомому способі прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею за рахунок того, що процес здійснюють в одній закритій матриці у три етапи (див. табл. 2.1): на першому етапі першим пуансоном прошивають глухий отвір із залишенням заданої товщини дна ковпачка; на другому етапі другим пуансоном з центральним отвором, який з'єднано з атмосферою,

видавлюють циліндричну частину ковпачка; на третьому етапі третім пуансоном з центральним отвором, який з'єднано з атмосферою, відокремлюють ковпачок від залишку метала.

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, створює такі умови видавлювання, при яких скасовується залежність висоти отриманого ковпачка від осьового зусилля видавлювання, та дозволяє в 8 – 10 разів підвищити висоту ковпачка.

3.4. Висновки

1. Внаслідок вивчення фізичних особливостей процесу прямого видавлювання високих ковпачків, запропоновані засоби, що покращають умови їх пресування:

- виявлено та описано фізичний механізм викривлення ковпачка під час пресування. Для зменшення величини викривлення, мінімальну довжину напрямної частини пуансона збільшено у 4,7 рази, а в нижню частину штампа для напрямку ковпачка вбудовано довгу трубку з вертикальною щілиною для візуалізації картини переміщення ковпачка;

- експериментально встановлено, що зусилля виймання пуансона видавлювання досягає 100 кг. Це не дозволяє його виймати руками, а зворотного силового ходу повзуна на універсальній випробувальній машини УИП-50 немає. З метою використання даної машини для виймання пуансона із матриці, спроектовано спеціальний пристрій, що встановлюється разом з штампом на нижню позицію машини і працює на розтягання.

2. Виконано експериментальні випробування технологій отримання високого ковпачка прямим видавлюванням із заготовки з попередньо формованим дном, які підтвердили можливість його пресування з співвідношенням $h_k/d_k = 140:10 = 14$ (рис. 3.11) та більше. Верхня межа

обмежена лише технічними засобами. Показано ефективну роботу оригінального штампа зі ступінчастим пуансоном для відрізування високого ковпачка від технологічного залишку.

3. На підставі виконаних експериментальних досліджень, запропоновано новий спосіб прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею, який, порівняно з відомим, створює такі умови видавлювання, при яких скасовується залежність висоти отриманого ковпачка від осьового зусилля видавлювання, та дозволяє в 8 – 10 разів підвищити висоту ковпачка.

Розділ 4

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ
ВИСОКИХ КОВПАЧКІВ****4.1. Сутність другого нового способу прямого видавлювання
високих ковпачків**

В запропонованому першому новому способі прямого видавлювання високих ковпачків [12] процес здійснюється у три етапи. Перший етап відповідає за формування дна майбутнього ковпачка, другий – за пряме видавлювання циліндричної частини ковпачка, а третій – за відокремлення ковпачка від залишку метала ступінчастим пуансоном.

З метою інтенсифікації процесу прямого видавлювання високих ковпачків, на думку авторів кількість етапів можна скоротити з трьох до двох за рахунок об'єднання другого та третього.

Виконані вище експериментальні дослідження (див. розділ 3) лягли в основу другого нового способу прямого видавлювання ковпачків, що запропоновано [15].

Спосіб стосується області обробки металів тиском, і може бути використаний в машинобудуванні для прямого видавлювання високих ковпачків.

Відомі аналогічні способи виготовлення ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею, зокрема способи витягування із плоскої листової заготовки [13, с. 116-121].

Недоліком даних способів є те, що висота отриманих ними ковпачків суттєво обмежена мезовим коефіцієнтом витягування d/D (де d – діаметр ковпачка по середній лінії; D – діаметр вихідної заготовки). Якщо реальний коефіцієнт витягування менше межового, спостерігається відрив дна. Звичайно мезовий коефіцієнт витягування лежить у межах 0,45 – 0,50.

Відомий спосіб прямого видавлювання ковпачків, при якому на першому етапі першим пуансоном прошивають глухий отвір із залишенням заданої товщини дна ковпачка, на другому етапі другим пуансоном видавлюють бічну частину ковпачка, а на третьому етапі третім пуансоном відокремлюють ковпачок від залишку метала [12]. Даний спосіб дозволяє отримувати значно більш високі ковпачки.

Однак при реалізації відомого способу прямого видавлювання ковпачків спостерігається значний основний та допоміжний час штампування, а також значні витрати на виготовлення інструмента, що пов'язано з послідовним використанням трьох етапів штампування. Це негативно впливає на собівартість виготовлення ковпачків.

Задачею даного винаходу є зменшення собівартості виготовлення ковпачків за рахунок зменшення кількості етапів штампування.

Дана задача вирішується у відомому способі прямого видавлювання ковпачків, при якому на першому етапі першим пуансоном прошивають глухий отвір із залишенням заданої товщини дна ковпачка, а на другому етапі другим пуансоном видавлюють бічну частину ковпачка, за рахунок того, що в кінці другого етапу ковпачок відокремлюють від залишку металу ступінчастою частиною другого пуансона, а зайвий залишковий матеріал видавлюють із робочої зони в концентрично розташовану облойну канавку.

Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, дозволяє на 20-25 % зменшити собівартість виготовлення ковпачків за рахунок зменшення кількості етапів штампування з трьох до двох. Крім того, продуктивність пресування збільшується на 30 %.

4.2. Принцип роботи штампа для реалізації другого нового способу прямого видавлювання високих ковпачків

Для реалізації способу, що пропонується, використовується штамп (рис. 4.1), в якому головним робочим елементом є матриця складеної конструкції. Вона включає в себе циліндричну частину 1, конічну частину 2, розпірне кільце 3, що з'єднані між собою накидною гайкою 4. В центральний наскрізний отвір гайки 4 вільно встановлюється циліндрична вставка 5, яка теж виконує функцію елемента матриці. Складена матриця разом із вставкою 5 встановлюється на дві однакові за висотою підставки 6.

Для видавлювання ковпачків використовується гаряча (для сталей) або холодна циліндрична вихідна заготовка (на схемі не показано). Об'єм вихідної заготовки V_1 перевищує об'єм готового ковпачка 7 на величину технологічного залишку 8 (відходу).

На першому етапі вихідну заготовку вкладають в циліндричну частину 1 матриці, встановлюють перший пуансон 9 та прошивають глухий отвір 10 із залишенням заданої товщини s дна 11 майбутнього ковпачка, що досягається точним розрахунком висоти консольної частини h_1 пуансона 9 та прошиванням до упору. Проміжна заготовка 12 набуває таку форму, в нижній частині якої починає формуватися переріз ковпачка 7. При розрахунках слід дотримуватися умови $V_1 = V_2$, де V_2 – об'єм заготовки 12 після першого етапу.

Для виконання другого етапу знімають перший пуансон 9, а на його місце встановлюють другий пуансон 13. Далі розсувають підставки 6, вилучають вставку 5 та здійснюють пряме видавлювання ковпачка 7. В кінці другого етапу ковпачок 7 за висотою h_2 відокремлюють від залишку металу 8 ступінчастою частиною другого пуансона 13, а зайвий

Для запобігання видавлювання матеріалу в облойну канавку 15 при формоутворенні ковпачка 7, вузька частина канавки c повинна бути значно меншою товщини стінки ковпачка 7. Звичайно вона складає 5-10 % від товщини стінки. Величина c точно підтримується за рахунок припасування товщини розпірного кільця 3. В момент відокремлення ковпачка 7 від залишку металу пуансон 13 продовжує опускатися вниз, що створює значно більший тиск в робочій зоні, завдяки якому метал видавлюється в облойну канавку 15.

Наявність в пуансоні 13 отворів 16, 17, що з'єднані з атмосферою, не дозволяє утворенню в порожнині 18 розрядженого повітря. Це позитивно впливає на зусилля знімання ковпачка 7 з вузької частини пуансона 13. Наявність в конічній частині матриці 2 та в накидній гайки 4 отворів 19, 20, 21, що з'єднані з атмосферою, сприяють легкому розкручуванні гайки 4.

4.3. Висновки

1. Запропоновано другий новий спосіб прямого видавлювання ковпачків, при якому на першому етапі першим пуансоном прошивають глухий отвір із залишенням заданої товщини дна ковпачка, а на другому етапі другим пуансоном видавлюють бічну частину ковпачка, який відрізняється тим, що в кінці другого етапу ковпачок відокремлюють від залишку металу ступінчастою частиною другого пуансона, а зайвий залишковий матеріал видавлюють із робочої зони в концентрично розташовану облойну канавку. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, дозволяє на 20-25 % зменшити собівартість виготовлення ковпачків за рахунок зменшення кількості етапів штампування з трьох до двох. Крім того, продуктивність пресування збільшується на 30 %.

2. Запропоновано конструкцію та описано принцип роботи штампа для реалізації другого нового способу прямого видавлювання високих ковпачків.

Розділ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1. Економічна ефективність другого нового способу прямого видавлювання високих ковпачків

Економічну ефективність другого нового способу прямого видавлювання високих ковпачків оцінювали шляхом порівняння розрахунку собівартості програмного виготовлення $n = 100\,000$ алюмінієвих корпусів теплових електричних нагрівачів ($d_k = 10$ мм, $h_k = 140$ мм, $s = 1$ мм) за базовим варіантом технологічного процесу з варіантом, що пропонується.

Сучасні технології багато перехідного витягування високих ковпачків не дозволяють отримати ковпачок з співвідношенням $h_k/d_k = 14$. Тому, за **базовий варіант** взятий наступний технологічний процес:

1. Відрізування труби $\varnothing 10$ мм, $s = 1$ мм, довжиною 140 мм. Обладнання: механічна ножівка. Час відрізування: 0,5 хвилини.

2. Вилучення задирок після відрізування. Точіння фаски на трубі під зварювальний шов. Обладнання: токарний верстат. Час точіння: 1 хвилини.

3. Точіння дна ковпачка зі ступінчастою стінкою та фаскою під зварювальний шов. Обладнання: токарний верстат. Час точіння: 4 хвилини

4. Складання ковпачка: кільцеве зварювання дна з трубою. Обладнання: зварювальний автомат з використанням дротового електрода. Час складання: 3 хвилини

5. Зачищення зварювального шва. Обладнання: абразивний круг. Час зачищення: 1 хвилини.

Таким чином, загальний час виготовлення високого ковпачка за базовим варіантом складає $t_6 = 9,5$ хвилин.

Проектний варіант технологічного процесу виготовлення високого ковпачка передбачає:

1. Відрізування циліндричної заготовки від прутка. Обладнання: механічна ножівка. Час відрізування: 1 хвилина.

2. Зворотне видавлювання дна ковпачка. Обладнання: гідравлічний прес. Час видавлювання: 2 хвилини.

3. Пряме видавлювання високого ковпачка та відокремлення його від технологічного залишку. Обладнання: гідравлічний прес. Час видавлювання: 2 хвилини.

4. Вилучення технологічного залишку із матриці штампа. Обладнання: гідравлічний прес. Час вилучення: 2 хвилини.

Таким чином, загальний час виготовлення високого ковпачка за проектним варіантом складає $t_n = 7$ хвилин, що на 26 % менше, порівняно з базовим варіантом.

Час T для виготовлення 100 000 корпусів теплових електричних нагрівачів складає:

- за базовим варіантом

$$T_{\bar{o}} = n \cdot t_{\bar{o}} = 100\,000 \cdot 9,5 = 950\,000 \text{ хв.} = 15833 \text{ год,}$$

$$\text{або } T_{\bar{o}}/\Phi_{\bar{o}} = 15833/2008 = 7,9 \text{ років,}$$

де $\Phi_{\bar{o}}$ – дійсний річний фонд роботи обладнання, год.;

- за проектним варіантом

$$T_n = n \cdot t_n = 100\,000 \cdot 7 = 700\,000 \text{ хв.} = 11666 \text{ год,}$$

або $T_n/\Phi_0 = 11666/2008 = 5,8$ років.

Якщо робітник за одну годину заробляє 50 гривень, то за виготовлення всієї програми зарплата складає:

- за базовим варіантом

$$Ц_0 = T_0 \cdot 50 = 15833 \cdot 50 = 791650 \text{ грн.},$$

- за проектним варіантом

$$Ц_n = T_n \cdot 50 = 11666 \cdot 50 = 583300 \text{ грн.}$$

Таким чином, при виготовленні за проектним варіантом 100 000 корпусів за 5,8 років економиться наступна сума $\Delta Ц$ заробітної плати:

$$\Delta Ц = Ц_0 - Ц_n = 791650 - 583300 = 691441 \text{ грн.}$$

Тоді, очікуваний річний економічний ефект від впровадження у виробництво другого нового способу видавлювання високих ковпачків становить:

$$E = \Delta Ц : T_n = 691441 : 5,8 = 119214 \text{ грн.}$$

ВИСНОВКИ

Основні результати магістерської роботи полягають в наступному:

1. В сучасному машинобудуванні для виготовлення циліндричних високих ковпачків (порожнистих деталей із дном) використовуються різноманітні способи. Найбільш поширеним з них є спосіб багатоопераційного витягування із листової заготовки. Однак, даний спосіб багатокоштовний, бо потребує для реалізації використання великої кількості штампів, яка дорівнює кількості операцій штампування. Висота ковпачка, отриманого даним способом, як правило, не перевершує трьох діаметрів. Таку ж відносну висоту ковпачка ($H/d = 3$) дозволяє отримати спосіб зворотного видавлювання, що здійснюється в одному штампі. Тому даний спосіб більш прогресивний: економічно доцільний та більш продуктивний. Однак, при спробі реалізації процесу зворотного видавлювання при відносній висоті ковпачка $H/d > 3$, спостерігається руйнування відносно тонкого пуансону, який із підвищенням висоти втрачає усталеність. Саме тому, відносну висоту ковпачка $H/d = 3$ можна вважати фізичною межею даного способу. Якщо поєднати спосіб зворотного витягування з подальшим багатоопераційним витягуванням з потоншенням стінки заготовки, то можна отримати високий ковпачок, відносною висотою до $H/d = 5$, а іноді і більше, але з кожною додатковою операцією собівартість виготовлення зростає. В той же час в машинобудуванні є потреба у високих ковпачках, відносною висотою $H/d \gg 5$. В роботі звертається увага на те, що суттєве підвищення відносної висоти ковпачка (до $H/d = 14$ і більше) можна отримати при використанні нового способу прямого видавлювання, який запропоновано професором Боковим В. М. та магістрантом Ганулом Д. В. Даний спосіб, за думкою автора, не був об'єктом дослідження. Тому робота, що спрямована на підвищення відносної висоти ковпачка, є актуальним науково-практичним завданням.

2. Внаслідок вивчення фізичних особливостей процесу прямого видавлювання високих ковпачків, запропоновані засоби, що покращають умови їх пресування:

- виявлено та описано фізичний механізм викривлення ковпачка під час пресування. Для зменшення величини викривлення, мінімальну довжину напрямної частини пуансона збільшено у 4,7 рази, а в нижню частину штампа для напрямку ковпачка вбудовано довгу трубку з вертикальною щілиною для візуалізації картини переміщення ковпачка;

- експериментально встановлено, що зусилля виймання пуансона видавлювання досягає 100 кг. Це не дозволяє його виймати руками, а зворотного силового ходу повзуна на універсальній випробувальній машини УИП-50 немає. З метою використання даної машини для виймання пуансона із матриці, спроектовано спеціальний пристрій, що встановлюється разом з штампом на нижню позицію машини і працює на розтягання.

3. Виконано експериментальні випробування технологій отримання високого ковпачка прямим видавлюванням із заготовки з попередньо формованим дном, які підтвердили можливість його пресування з співвідношенням $h_k/d_k = 140 : 10 = 14$ та більше. Верхня межа обмежена лише технічними засобами. Показано ефективну роботу оригінального штампа зі ступінчастим пуансоном для відрізування високого ковпачка від технологічного залишку.

4. На підставі виконаних експериментальних досліджень, запропоновано перший новий спосіб прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею, який, порівняно з відомим, створює такі умови видавлювання, при яких скасовується залежність висоти отриманого ковпачка від осьового зусилля видавлювання, та дозволяє в 8 – 10 разів підвищити висоту ковпачка.

5. Запропоновано другий новий спосіб прямого видавлювання ковпачків, при якому на першому етапі першим пуансоном прошивають глухий отвір із залишенням заданої товщини дна ковпачка, а на другому етапі другим пуансоном видавлюють бічну частину ковпачка, який відрізняється тим, що в кінці другого етапу ковпачок відокремлюють від залишку металу ступінчастою частиною другого пуансона, а зайвий залишковий матеріал видавлюють із робочої зони в концентрично розташовану облойну канавку. Використання способу, що пропонується, порівняно з відомим, дозволяє на 20-25 % зменшити собівартість виготовлення ковпачків за рахунок зменшення кількості етапів штампування з трьох до двох. Крім того, продуктивність пресування збільшується на 30 %.

6. Запропоновано конструкцію та описано принцип роботи штампа для реалізації другого нового способу прямого видавлювання високих ковпачків.

7. Апробація роботи здійснювалася шляхом доповіді на науково-технічній конференції студентів ЦНТУ у 2021 році (див. додаток Д4).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: учебник / М. Е. Зубцов. – 3-е изд. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 432 с., ил.
2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – 60-е изд., пере раб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с.
3. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штамів. Проектування штамів: формозмінних, складної дії, для складання та автоматичного штампування: навчальний посібник / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2010. – 322 с.
4. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: учебник / М. Е. Зубцов. – Л.: Машиностроение, 1967. – 504 с.
5. Шофман Л. А. Теория и расчёты процессов холодной штамповки / Л. А. Шофман. – М.: Машиностроение, 1964. – 374 с.
6. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
7. Романовский В. П. Процесс образования и расчёт прочности опасного сечения при глубокой вытяжке / В. П. Романовский // Кузнечно-штамповочное производство, 1968, № 9.
8. Романовский В. П. Технологические расчёты при вытяжке деталей с широким фланцем / В. П. Романовский // Вестник машиностроения, 1954, № 9.
9. Романовский В. П. Анализ напряженно-деформационного состояния в начальной стадии процесса глубокой вытяжки / В. П. Романовский // Кузнечно-штамповочное производство, 1967, № 2.

10. Ковка и штамповка: справочник. Т. 3. Холодная объёмная штамповка / Под ред. Г. Н. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.

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

12. Спосіб прямого видавлювання ковпачків з гладкою зовнішньою поверхнею: пат. 145684 Україна: МПК В21D 22/00 / Боков В. М., Ганул Д. В.; володілець Центральноукраїнський національний технічний університет. – и 2020 05057; заявл. 04.08.2020; опубл. 28.12.2020, Бюл. № 24.

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

14. Холодная объемная штамповка. Справочник / Под ред. Г. А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1973. – 496 с.

15. Спосіб прямого видавлювання ковпачків: пат. 148327 Україна; МПК В 21D 22/00 / Боков В. М., Ганул Д. В.; володілець Центральноукраїнський національний технічний університет. – и 2020 07777; заявл. 07.12.2020; опубл. 28.07.2021, Бюл. № 30.

ДОДАТКИ

Д1. ДОС12375.00.00. Штамп для прямого видавлювання

Формат		Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
А4				ДОС12375.00.00	Документація Складальне креслення		
БК		1		ДОС12375.00.01	Деталі Контейнер-матриця	1	Є
А4		2		ДОС12375.00.02	Плансон для видавлювання	1	
БК		3		ДОС12375.00.03	Матриця для видавлювання	1	Є
А4		4		ДОС12375.00.04	Плансон для обрізання	1	
БК		5		ДОС12375.00.05	Підставка	2	Є
А4		6		ДОС12375.00.06	Заготовка	1	

КОМПАС 5 (с/1996-2002 АО АСКОН, Россия. Все права защищены.)

Инв. № подл. Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № докл. Подп. и дата

ДОС12375.00.00

Изм. Лист № докум. Подп. Дата

Разработ. Ганцл 11.03.20

Проб.

Н.контр. Утв.

КОМПАС-3D LT 5.11 (некоммерческая версия) Копировал

Штамп

для прямого выдавливания

Лит. Лист Листов

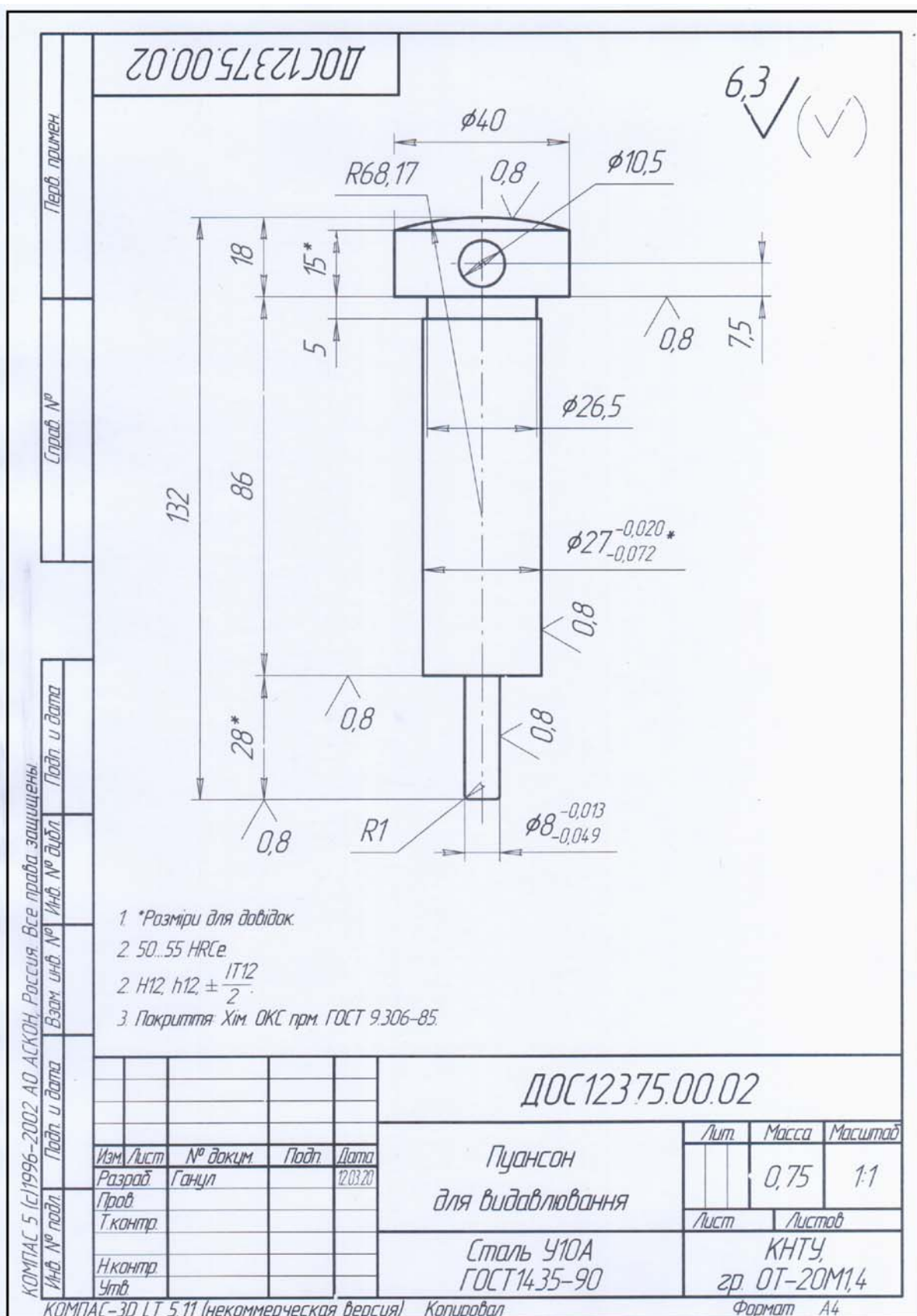
1

КНТУ

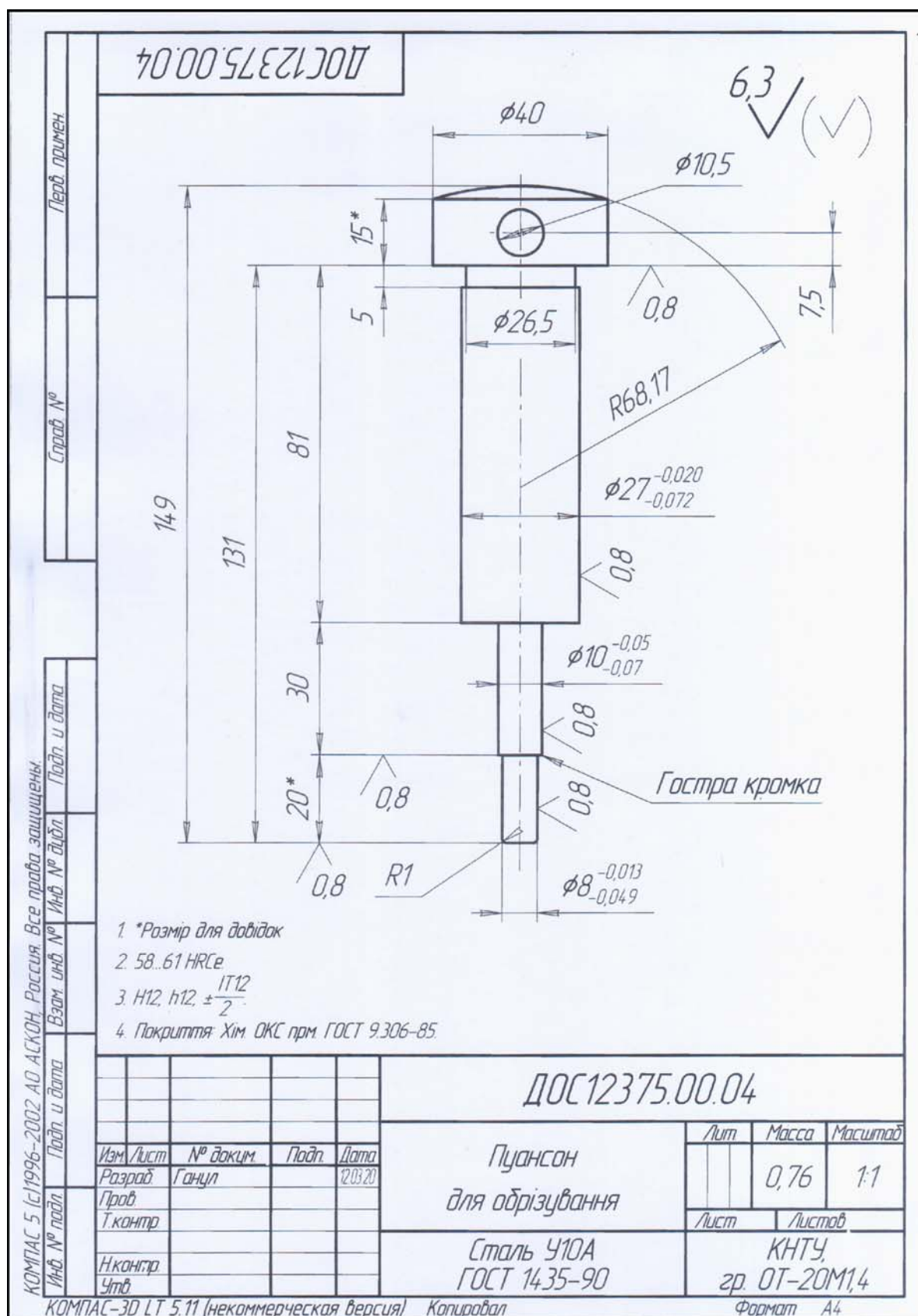
гр. ОТ-20М14

Формат А4

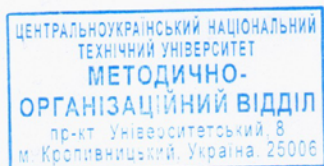
Д2. ДОС12375.00.02. Пуансон для выдавливания



ДЗ. ДОС12375.00.04. Пуансон для обрізування



Д4. Довідка про публікацію статті



Довідка №36 від 15.06.2021

Видана студенту групи ОТ-20М(1,4) Д. Ганулу про те, що він брав участь у LV науковій конференції здобувачів вищої освіти університету «День науки – 2021» з доповіддю на тему: «Пряме видавлювання високих ковпачків» (секція обробки металів тиском та спецтехнологій).

Також ним було подано тези «Пряме видавлювання високих ковпачків» в електронний збірник тез доповідей «Наука-виробництву».

Збірник буде опубліковано в липні 2021 р.

Фахівець I кат. МОВ

Л. Резнік