

Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Кафедра обробки металів тиском та спецтехнологій

## **ТЕХНОЛОГІЯ ХОЛОДНОГО ШТАМПУВАННЯ**

Методичні рекомендації до лабораторних робіт  
для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Кропивницький  
2019

Методичні рекомендації з дисципліни «Технологія холодного штампування» до лабораторних робіт / Укл. В. М. Боков. – Кропивницький: ЦНТУ, 2019, – 64 с.

Затверджено  
на засіданні кафедри «ОМТ та СТ»  
Протокол № 5 від 26.02.2019 р.

Укладач: к. т. н., проф. В. М. Боков

Відповідальний за випуск В. М. Боков

Рецензент: д. т. н., проф. В. І. Носуленко

Комп'ютерний набір та верстка: В. М. Боков

Дисципліна «Технологія холодного штампування» складається із двох частин. Обидві частини передбачають виконання лабораторних робіт.

Перша частина: холодне листове штампування. Вона включає в себе 6 лабораторних робіт, які охоплюють будову та принцип дії штампів, розділові та формозмінні операції, а також елементи випробування листового матеріалу.

Друга частина: холодне об'ємне штампування. Вона включає в себе теж 6 лабораторних робіт, які охоплюють ефект зміцнення металу при об'ємному штампуванні, технологію відрізування сортового метало-прокату в штампах та операції холодного об'ємного штампування.

Кожна із наведених лабораторних робіт має таку структуру:

- мета роботи;
- загальні відомості (теоретичний матеріал);
- обладнання, інструмент, матеріали;
- порядок виконання роботи;
- зміст звіту;
- контрольні питання;
- посилання на технічну літературу.

Розділ 1  
**ХОЛОДНЕ ЛИСТОВЕ ШТАМПУВАННЯ**

Лабораторна робота № 1

**ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ШТАМПІВ  
ХОЛОДНОГО ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ**

**Мета роботи:** ознайомлення з конструкціями штампів холодного листового штампування і з операціями, які виконують на них.

**Загальні відомості**

Холодне листове штампування є одним із прогресивних високо економічних методів обробки металів.

Штамп – інструмент (або технологічне оснащення) для холодного листового штампування.

За технологічним принципом розрізняють:

- розділові штампи, що призначені для виконання розділових операцій листового штампування: відрізування, вирубування, пробивання, обрізування, розрізування, надрізування, проколювання, зачищення, висікання та просікання;

- формозмінні штампи, що призначені для виконання формозмінних операцій листового штампування: гнуття, рельєфного формування, витягування, відбортування, скручування, загортання, правлення, роздавання, обтискування, карбування, калібрування та завивання;

- складальні штампи, що призначені для виконання складальних операцій. Наприклад, штампи для з'єднання деталей методом заклепування;

- комбіновані штампи, що призначені для одночасного виконання декілька різних операцій холодного листового штампування. Наприклад,

штамп послідовної дії для пробивання та вирубування (деталь «Шайба»), штамп суміщеної дії для відрізування та гнуття.

За принципом дії розрізняють:

- одноопераційні штампи, що призначені для виконання однієї операції холодного листового штампування. Наприклад, штамп для другого витягування, штамп для гнуття;

- штампи послідовної дії, що призначені для одночасного виконання декілька різних операцій за два і більше ходів пресу. Наприклад, штамп послідовної дії для пробивання та відрізування;

- штампи суміщеної дії, що призначені для одночасного виконання декілька різних операцій холодного листового штампування за один хід пресу. Наприклад, штамп суміщеної дії для вирубування, витягування та пробивання.

Крім того, за конструктивним виконанням розрізняють такі штампи: прості, складні, із напрямними вузлами, без напрямних вузлів, уніфіковані та оригінальні.

### **Обладнання, інструмент, матеріали**

Робота виконується з використанням промислових та експериментальних кафедральних штампів холодного листового штампування. Розбирання та складання штампів здійснюється на слюсарних верстаках із застосуванням слюсарно-монтажного інструменту.

Як вимірювальний інструмент використовується штангенциркуль із ціною поділки 0,05 мм та металева лінійка із ціною поділки 1 мм.

Ескізи штампів виконуються олівцем на папері формату А3 з подальшим оформленням в графічному редакторі «Компас».

## Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із інструкцією до лабораторної роботи.
2. Розкрити штамп на слюсарному верстаку за допомогою спеціального інструменту та по зовнішньому вигляду:
  - визначити його призначення (вид операції);
  - виконати операційний ескіз деталі (заготовки), що штампується;
  - виконати ескіз заготовки або схему розкрою штаби (стрічки).
3. Розібрати штамп з метою вивчення його будови та принципу дії.
4. Зробити ескіз штампа на папері формату А3 та специфікацію на форматі А4, згідно вимог роботи [1, с. 44-67]. Кількість проєкцій штампу визначає викладач.
5. Скласти штамп.
6. Оформити ескіз штампа в графічному редакторі «Компас». Формат А4 – А3.
7. Вид штампа, що вивчається, встановлює викладач.

## Зміст звіту

Привести ескіз штампа із специфікацією.

## Контрольні питання

1. Призначення штампа.
2. Будова штампа.
3. Принцип дії штампа.
4. Характеристика напрямних вузлів.
5. Спосіб фіксування заготовки (штаби).
6. Спосіб кріплення та фіксування інструменту.
7. Спосіб кріплення штампа на пресі.

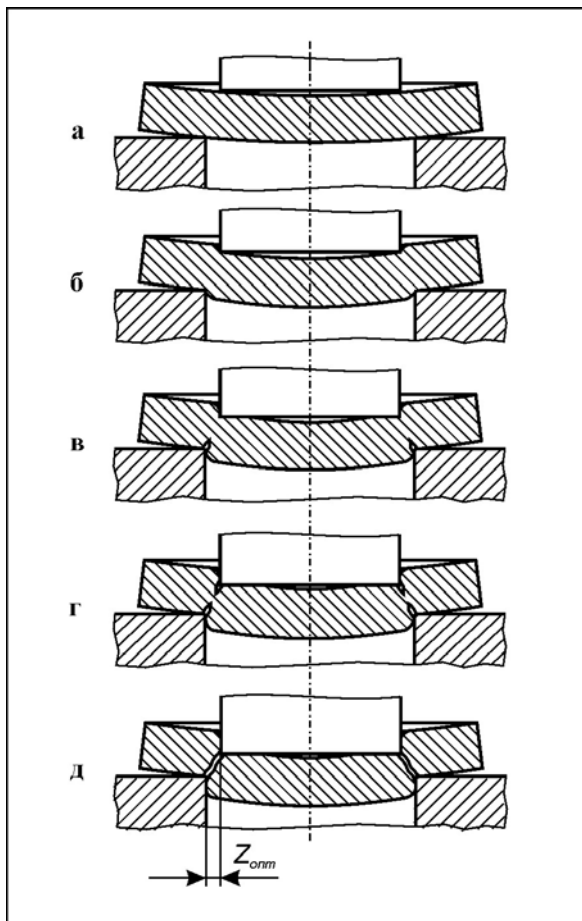
## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВИРУБУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ

**Мета роботи:** визначення експериментально та аналітично:

- оптимального зазору  $Z_{opt}$ , мм;
- зусилля вирубування  $P$ , кН;
- роботи деформації  $A$ , кДж;
- істинного опору зрізу при вирубуванні  $\sigma_{вир}$ , МПа;
- ступеню деформації при вирубуванні  $\varepsilon_{\theta}$ .

### Загальні відомості

Вирубування – одна із розділових операцій листового штампування, при якій відбувається повне відокремлення заготовки або виробу від вихідної заготовки по замкнутому контуру зсувом [2].



Процес вирубування у штампах складається із трьох стадій: пружної, пластичної та сколювання [3, с. 11, 12].

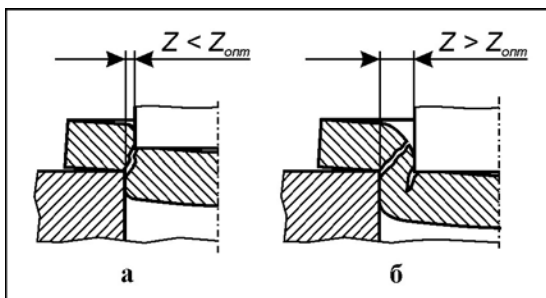
На першій стадії відбувається пружний вигін металу з легким видавлюванням його в отвір матриці (рис. 2.1, а). При цьому напруження в металі не перевершують межу пружності.

**Рис. 2.1.** Послідовність процесу вирубування при  $Z = Z_{opt}$

На другій стадії відбувається вдавлювання пуансона в метал та видавлювання металу в отвір матриці (рис. 2.1, б). У кінці другої стадії напруження поблизу ріжучих кромки досягають максимального значення, яке відповідає опору металу зрізу.

На третій стадії процесу вирубування у ріжучих кромки матриці утворюються тріщини, що сколюють (рис. 2.1, в). Після подальшого занурення пуансона та вичерпування місцевої пластичності металу, тріщини, що сколюють, виникають біля ріжучих кромки пуансона (рис. 2.1, г). Ця послідовність сколювання підтверджується тим, що блискучий пояс, який відповідає стадії різання, на відході значно ширше, ніж на деталі. Тріщини, що сколюють, які спрямовані уздовж ліній найбільших деформацій зсуву (поверхня ковзання), швидко поширюються на внутрішні шари металу і викликають в кінці третій стадії відокремлення відштампованої деталі (рис. 2.1, д).

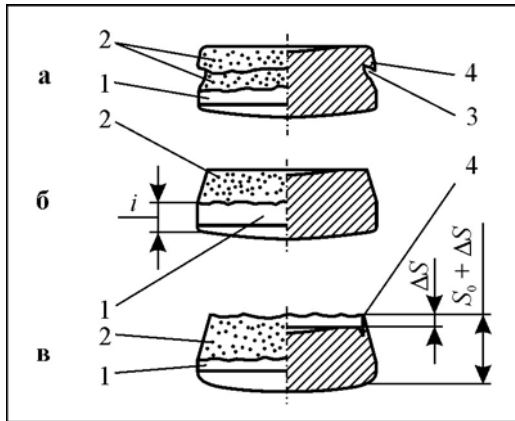
При оптимальному зазорі між пуансоном і матрицею  $Z_{opt}$  поверхні зсуву (лінії ковзання) та тріщини, які виникають у ріжучих кромки пуансона, збігаються з поверхнями зсуву та тріщинами, які виникають у ріжучих кромки матриці, і утворюють загальну криволінійну поверхню сколювання (рис. 2.1 та 2.3, б). Це визначає якісну (без задирок) поверхню зрізу.



**Рис. 2.2. Формування поверхні поділу металу при  $Z < Z_{opt}$  (а) та  $Z > Z_{opt}$  (б)**

При  $Z < Z_{opt}$  та великій товщині металу поверхні зсуву і тріщини (рис. 2.2, а), які йдуть від кромки пуансона, не збігаються із поверхнями зсуву та тріщинами, які йдуть від кромки матриці. Кільцева перемичка, що залишається, перерізується при подальшому зануренні пуансона з

виникненням нових сколюючих тріщин, причому на виробі утворюється надрив та подвійний зріз із протягнутою задиркою (рис. 2.3, а).



**Рис. 2.3. Форма поверхні зрізу виробу при  $Z < Z_{opt}$  (а),  $Z = Z_{opt}$  (б) та  $Z > Z_{opt}$ : 1 – блискучий поясок; 2 – шорстка поверхня; 3 – надрив; 4 – задирка**

У випадку, коли  $Z > Z_{opt}$ , на поверхні виробу утворюються рвані задирки від затягування та обривання металу в зазорі (рис. 2.3, в).

Таким чином, поява та характер задирки на виробі при вирубуванні визначаються насамперед розміром зазору між матрицею та пунсоном. При вірному виборі зазору величина утвореної задирки не повинна перевищувати 15 % від товщини матеріалу при задовільній поверхні зрізу.

Оптимальний зазор можна визначити за формулою

$$Z_{opt} = A \cdot S_0^2 + B \cdot S, \quad (2.1)$$

де  $S_0$  – товщина вихідного матеріалу, мм;

$A$  та  $B$  – коефіцієнти, що ураховують стан вихідного матеріалу (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

### Значення коефіцієнтів $A$ та $B$

| Коефіцієнти | Стан матеріалу |              |         |              |
|-------------|----------------|--------------|---------|--------------|
|             | М'який         | Напівтвердий | Твердий | Загартований |
| $A$         | 0,008          | 0,009        | 0,010   | 0,030        |
| $B$         | 0,010          | 0,060        | 0,080   | 0,200        |

На опір металу при вирубуванні впливають фактори, які пов'язані:

- із матеріалом, формою та розмірами деталі – механічні властивості металу та глибина проникнення в нього інструменту;
- із конструкцією штампа – величина зазору, конструкція (форма пояски) матриці;
- з умовами вирубування – швидкість деформування, змазування матеріалу та інструменту, стан ріжучих кромek пуансона та матриці, ступінь твердості цих кромek та інше.

При практичних розрахунках технологічне зусилля вирубування визначають за формулою, Н

$$P = \kappa \cdot L \cdot S_0 \cdot \sigma_z, \quad (2.2)$$

де  $\kappa$  – коефіцієнт, що ураховує притуплення ріжучих кромek. Звичайно приймають  $\kappa = 1,1 \dots 1,3$ ;

$L$  – периметр контуру, що вирубується, мм;

$\sigma_z$  – напруження зрізу вихідного матеріалу, МПа [4, с. 478-482].

Робота деформації при вирубуванні визначається із виразу, кДж

$$A = P \cdot i, \quad (2.3)$$

де  $P$  – технологічне зусилля вирубування, кН;

$i$  – глибина впровадження пуансона у матеріал до виникнення тріщин, що сколюють, мм.

Істинний опір зрізу при вирубуванні, МПа:

$$\sigma_{vir} = \sigma_z \frac{S_0}{S_0 - 1}. \quad (2.4)$$

Ступінь деформації матеріалу при вирубуванні:

$$\varepsilon_s = \frac{F_0 - F}{F_0} = \frac{\pi \cdot d \cdot S_0 - \pi \cdot d(S_0 - i)}{\pi \cdot d \cdot S_0} = \frac{i}{S_0}, \quad (2.5)$$

де  $F_0$  – повна площа поверхні зрізу, мм<sup>2</sup>;

$F$  – істинна площа поверхні зрізу, мм<sup>2</sup>;

$d$  – діаметр пуансона, мм.

### Обладнання, інструмент, матеріали

Робота виконується на гідравлічному пресі моделі 2ПГ-10, зусиллям 100 кН, із використанням експериментального вирубного штампу (рис. 2.4). Штмп має матрицю 10 з робочим отвором  $\varnothing 15$  h7 та комплект змінних пуансонів 5-9:  $\varnothing 14,75$  h6,  $\varnothing 14,80$  h6,  $\varnothing 14,85$  h6,  $\varnothing 14,90$  h6,  $\varnothing 14,95$  h6. Пуансони приведених діаметрів дозволяють створювати однобічні зазори в діапазоні від 0,025 до 0,125 мм.

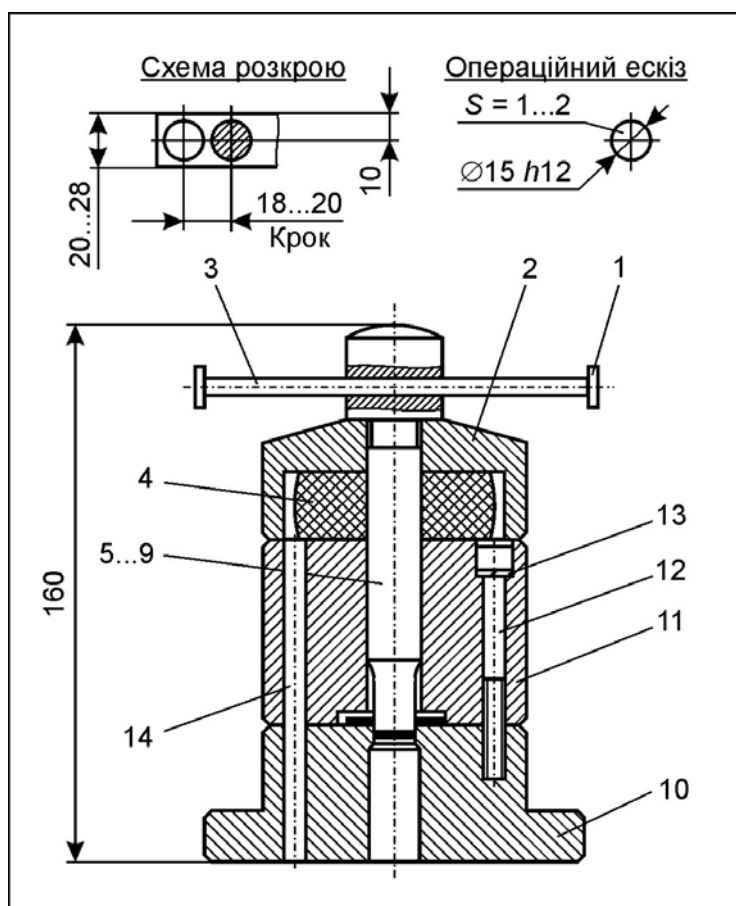


Рис. 2.4. Експериментальний вирубний штмп:

- 1 – шайба;
- 2 – обойма;
- 3 – вороток;
- 4 – буфер;
- 5...9 – пуансони;
- 10 – матриця;
- 11 – знімач-направляч;
- 12 – гвинт М8х60;
- 13 – шайба 8 65Г;
- 14 – штифт 8х90

Як вимірювальний інструмент використовується мікрометр із ціною поділки 0,01 мм та вимірювальний мікроскоп із такою ж ціною поділки. Крім того, за ініціативою викладача для вимірювання глибини  $i$  впровадження пуансона в матеріал до виникнення тріщин, що сколюють, може використовуватися комплекс на базі цифрової камери Sigeta MDC-200 2,0 MP для мікроскопу (рис. 2.5).

Для проведення дослідів використовуються штаби із листового сталевого прокату різних марок завтовшки 1...2 мм.



**Рис. 2.5.** Комплекс для дослідження глибини  $i$  впровадження пуансона в матеріал до виникнення тріщин, що сколюють: 1 – цифрова камера Sigeta MDC-200 2,0 MP для мікроскопу; 2 – мікроскоп; 3 - ноутбук з програмою обробки фотографічних знімків TourView 3,7

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із інструкцією до лабораторної роботи.
2. Вивчити будову та принцип дії експериментального вирубного штампа.
3. Виміряти товщину вихідного матеріалу мікрометром у трьох точках та розрахувати її середньоарифметичне значення.
4. Розрахувати оптимальний однобічний зазор  $Z_{opt}$  за формулою (2.1).
5. Розрахувати технологічне зусилля вирубання кружка діаметром 15 мм за формулою (2.2).
6. Вирубати п'ять зразків діаметром 15 мм послідовно різними за діаметром пуансонами (при різних однобічних зазорах). Експеримент проводити із фіксацією максимального зусилля деформації сило-



13. Результати виконаних розрахунків та експериментальних досліджень звести до таблиці 2.2.

14. На підставі отриманих результатів побудувати графік залежності висоти задирки від прийнятого однобічного зазору:  $P = f(Z)$ .

### **Зміст звіту**

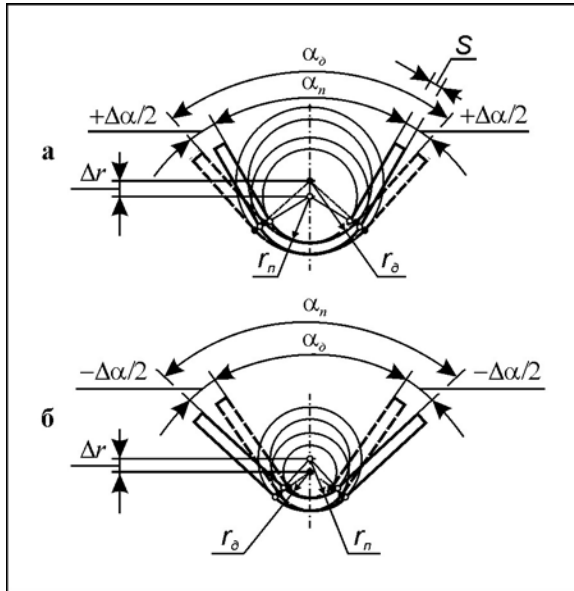
Стисло викласти відомості про стадії процесу вирубування та про вплив зазору на протікання цього процесу. Привести рис. 2.3. Заповнити таблицю 2.2. Побудувати графіки залежностей  $\Delta S = f(Z)$ ,  $P = f(Z)$  та проаналізувати (у висновках) отримані результати.

### **Контрольні питання**

1. Що таке оптимальний зазор при вирубуванні?
2. Як розрахувати зусилля вирубування?
3. Як розрахувати роботу деформації при вирубуванні?
4. Поняття про істинний опір вирубуванню.
5. Як розрахувати ступінь деформації при вирубуванні?
6. Стадій процесу вирубування.
7. Характер поверхні зрізу, яка отримана при розділовій операції.
8. Який зв'язок між зазором та товщиною деталі, що вирубується?



При гнутті пластичний вигін супроводжується пружними деформаціями, які викликають зміну форми і розмірів заготовки: радіусу кривизни та кута між прямолінійними частинами заготовки (рис. 3.2).



**Рис. 3.2. Схема деформації при однокутовому гнутті:**

**а** – «позитивна» пружність;

**б** – «негативна» пружність;

$\alpha_n$  – кут пуансона (кут деталі після гнуття до знімання навантаження);

$\alpha_\delta$  – кут деталі після гнуття та знімання навантаження;

$\Delta\alpha$  – кут пружності;

$r_n$  – радіус закруглення пуансона (радіус деталі після гнуття);

$r_\delta$  – радіус деталі після гнуття після гнуття та розвантаження;

$S$  – товщина деталі

Дане явище пояснюється законом Гука: при розвантаженні шари заготовки, які знаходяться у зоні розтягання, внаслідок пружної деформації укорочуються, а шари, які знаходяться у зоні стиснення, подовжуються. Різнойменні пружні деформації в зонах розтягання та стиснення викликають поворот поперечних перерізів заготовки на кут  $\Delta\alpha$ , в результаті чого відбувається зміна радіуса її кривизни і, отже, кута гнуття [2].

Для отримання деталей із заданими розмірами пружні деформації необхідно враховувати при розрахунку виконавчих розмірів інструменту для гнуття. З цією метою корегують розміри пуансона та матриці таким чином:

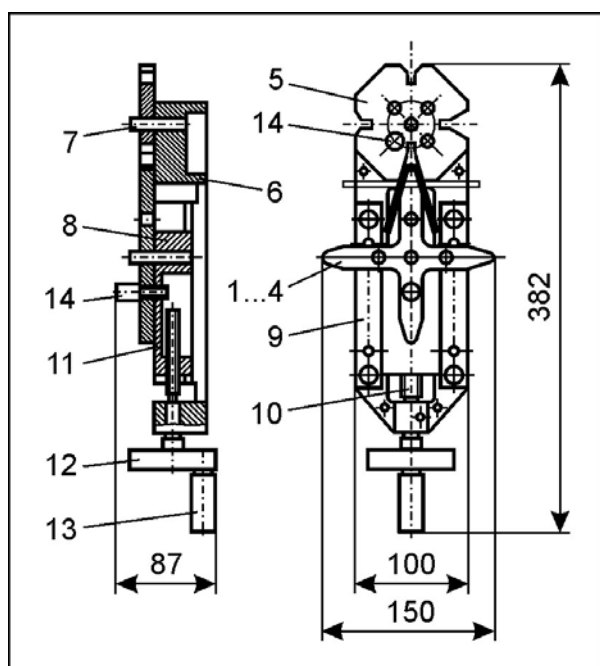
$$\alpha_n = \alpha_\delta \pm \Delta\alpha ; \quad (3.1)$$

$$r_n = r_\delta - \Delta r , \quad (3.2)$$

де  $\alpha_n$  – кут пуансона;  $\alpha_d$  – кут деталі після гнуття;  $\Delta\alpha$  – кут пружності;  $r_n$  – радіус закруглення пуансона;  $r_d$  – радіус деталі після гнуття;  $\Delta r$  – радіус пружності.

Слід відзначити, що знак «+» у виразі (3.1) належить до випадку гнуття при відносно великих радіусах округлення пуансону («позитивна» пружність), що відповідає рис. 3.2, а. Теоретичні дослідження гнуття при відносно малих радіусах округлення пуансона, які виконано І. А. Норіциним та Ю. Г. Калпіним, доказали, що в кінці процесу відбувається розгинання полиць заготовки, результатом якого є «негативна» пружність (див. рис. 3.2, б). Розгинання зростає із зменшенням радіуса гнуття та із збільшенням відстані між опорами заготовки. При цьому буде справедливим вираз (3.1) зі знаком «-». Крім того, В. Б. Рябініним експериментально встановлено, що для кожного кута деталі  $\alpha_d$  існує відносний радіус  $r_n/S$ , при якому кут пружності  $\Delta\alpha = 0$ . Цей відносний радіус є оптимальним, оскільки пружні деформації будуть відсутні.

### Обладнання, інструмент, матеріали



Експериментальна частина здійснюється на спеціальному штампі з ручним приводом (рис. 3.3).

**Рис. 3.3. Спеціальний (експериментальний) штамп:**

**1, 2, 3, 4 – змінні за радіусами пуансони; 5 – матриця (різні кути гнуття); 6 – корпус; 7 – вісь; 8 – повзунок; 9, 10 – напрямні планки; 11 – гвинт; 12 – маховичок; 13 – рукоятка; 14 – фіксатор**

Штамп постачається змінним інструментом, який дозволяє виконувати гнуття на кути  $\alpha_n$ , що дорівнюють 30, 60, 90 та 120° при радіусах пуансонів  $r_n$ , що дорівнюють 1, 3, 5 та 7 мм.

Як зразки використовуються листові заготовки довжиною 120 мм, шириною 10 мм та товщиною 1...1,5 мм. Розміри зразків вимірюються штангенциркулем та мікрометром. Кут зразка після гнуття  $\alpha_\delta$  вимірюється кутоміром з точністю до 30'.

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Вивчити будову та принцип дії типового (рис. 3.1) та експериментального (рис. 3.3) штампів.
3. Виміряти товщину, ширину та довжину зразка.
4. Розрахувати відносний радіус закруглення пуансона  $r_n/S$  для різних значень  $r_n$ . Результати розрахунку занести в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

### Результати розрахунків та дослідів

| Початковий зразок |             | Радіус пуансона $r_n$ , мм | Відносний радіус пуансона $r_n/S$ | Кут пружності $\Delta\alpha$ при кутах гнуття $\alpha$ |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |  |
|-------------------|-------------|----------------------------|-----------------------------------|--|-----------|------------------|----------|-----------|------------------|----------|-----------|------------------|----------|-----------|------------------|--|
| Матеріал          | Товщина, мм |                            |                                   | 30°  |           |                  | 60°      |           |                  | 90°      |           |                  | 120°     |           |                  |  |
|                   |             |                            |                                   | I дослід   | II дослід | Середнє значення | I дослід | II дослід | Середнє значення | I дослід | II дослід | Середнє значення | I дослід | II дослід | Середнє значення |  |
|                   |             | 1                          |                                   |  |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |  |
|                   |             | 3                          |                                   |  |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |  |
|                   |             | 5                          |                                   |  |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |  |
|                   |             | 7                          |                                   |  |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |          |           |                  |  |

5. Виконати гнуття зразків у штампів при змінних значеннях  $r_n$  та  $\alpha_n$  (див. табл. 3.1). Кожний дослід повторити двічі.

6. Виміряти кут пружності зразка  $\Delta\alpha$  кутоміром. Результати вимірювання занести в табл. 3.1.

7. Розрахувати середнє значення кута пружності  $\Delta\alpha$  за двома паралельними дослідами. Результати розрахунку занести в табл. 3.1.

8. Побудувати графічні залежності:

-  $\Delta\alpha = f(r_n/S)$  при  $\alpha = \text{const}$ ;

-  $\Delta\alpha = f(\alpha)$  при  $r_n/S = \text{const}$ .

### Зміст звіту

Стисло викласти відомості про явище пружності металу при гнутті. Зробити ескіз експериментального штампу для дослідження пружності (формат А4). Заповнити таблицю 3.1. Побудувати графічні залежності  $\Delta\alpha = f(r_n/S)$  при  $\alpha = \text{const}$  та  $\Delta\alpha = f(\alpha)$  при  $r_n/S = \text{const}$ . Проаналізувати отриманий результат.

### Контрольні питання

1. Якими параметрами оцінюється величина пружності металу при гнутті?
2. Як впливає відносний радіус пуансона на кут пружності?
3. Як впливає кут гнуття на кут пружності?
4. Методи компенсації пружності металу при гнутті в штампах.
5. Привести приклад двухкутового гнуття з елементами компенсації пружності металу.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИТЯГУВАННЯ

### Мета роботи:

- експериментально визначити граничне значення коефіцієнта для першої операції;
- експериментально та аналітично визначити зусилля витягування;
- дослідити характер зміни товщини стінки деталі після витягування.

### Загальні відомості

Витягування – одна із формозмінних операцій листового штампування, при якій відбувається утворення порожнистої заготовки або виробу із плоскої або порожнистої вихідної заготовки [2]. Вона реалізується з використанням витяжних штампів.

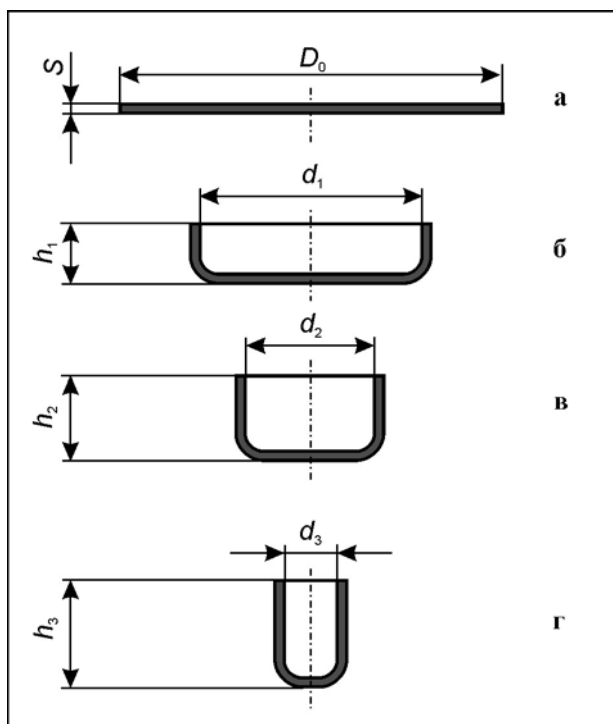
Розрізняють два основних способи витягування:

- витягування без штучного зменшення товщини стінки, або витягування без потоншення стінки;
- витягування із штучним (навмисним) зменшенням товщини стінки, у тому числі комбіноване витягування, або витягування із потоншенням стінки.

Витягування без потоншення стінки характеризується суттєвим зменшенням діаметру заготовки при незначній зміні стінки витягнутої деталі. Його здійснюють у штампі, де зазор між пуансоном та матрицею дорівнює або більше товщини заготовки ( $Z \geq S$ ).

Витягування із потоншенням стінки характеризується суттєвим зменшенням товщини стінки при відносно малому зменшенні діаметра заготовки. При цьому зазор  $Z < S$ .

Деталі, які отримані способом витягування без потоншення стінки, в залежності від відносної висоти, штампують за одну або за декілька операцій. На першій операції плоску заготовку (рис. 4.1, а) витягують у порожнисту (рис. 4.1, б). На наступних операціях (рис. 4.1, в, г) відбувається збільшення висоти при одночасному зменшенні поперечних розмірів напівфабрикатів.



**Рис. 4.1. Схема багатоопераційного витягування:**

**а – вихідна заготовка;  
б – перше витягування;  
в – друга витягування;  
г – третє витягування**

Можливість витягування за одну операцію визначається граничним значенням коефіцієнта витягування  $m$ , який є кількісним показником процесу витягування. Його експериментально встановлюють за формулою:

$$m = \frac{d}{D_0}, \quad (4.1)$$

де  $d$  – діаметр отриманого ковпачка (по середній лінії), мм;

$D_0$  – діаметр вихідної (плоскої) заготовки, мм.

Коли розрахункове значення коефіцієнта витягування  $m_1$  більше або дорівнює граничному значенні  $m$  ( $m_1 \geq m$ ), то витягування за одну операцію можливе, а якщо  $m_1 < m$ , то витягування за одну операцію неможливе: відбудеться обрив дна витягнутого ковпачка. Звичайно

граничні значення коефіцієнта витягування приводять у довідниках [3, с. 118-119].

У випадку, коли потрібно вибрати обладнання за силовим параметром, зусилля деформації при витягуванні визначають наближено за формулою, Н:

$$P_{\epsilon} = \pi \cdot d \cdot S (K_{\epsilon} - 1) \cdot \sigma_{\epsilon}, \quad (4.2)$$

де  $d$  – діаметр витягнутого ковпачка (по середній лінії), мм;

$S$  – товщина заготовки, мм;

$K_{\epsilon}$  – коефіцієнт, що зворотній коефіцієнту витягування:

$$K_{\epsilon} = \frac{1}{m} = \frac{D_0}{d},$$

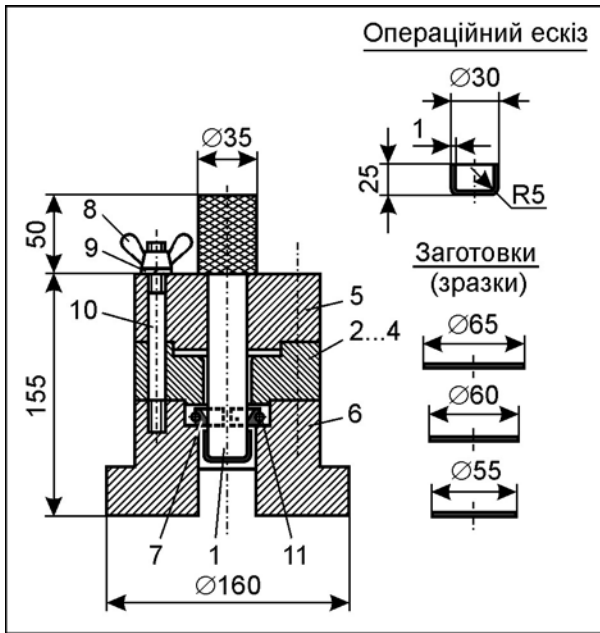
де  $D_0$  – діаметр вихідної заготовки, мм;

$\sigma_{\epsilon}$  – межа міцності матеріалу заготовки, МПа [4, с. 478].

### Обладнання, інструмент, матеріали

Робота виконується на гідравлічному пресі моделі 2ПГ-10,  $P_n = 100$  кН з використання експериментального штампа (рис. 4.2). Штмп має три змінних матриці, які дозволяють концентрично встановлювати відносно витяжного пуансона три початкові заготовки діаметрами  $D_1 = 65$  мм,  $D_2 = 60$  мм,  $D_3 = 55$  мм, товщиною  $S = 1$  мм. Діаметр матриці  $d_m = 30$  мм, радіус округлення кромки  $R_m = 8$  мм. Діаметр пуансона  $d_n = 27,3$  мм, радіус округлення кромки  $R_n = 5$  мм. Матеріал зразків – сталь 08 ГОСТ 4041-71.

Як вимірювальний інструмент використовується мікрометр з ціною поділки 0,01 мм, штангенциркуль з ціною поділки 0,05 мм та часовий індикатор з ціною поділки 0,01 мм.



**Рис. 4.2. Експериментальний витяжний штамп:**

- 1 – пуансон;  
 2...4 – змінні матриці;  
 5 – напрямляч;  
 6 – корпус;  
 7 – складений знімач;  
 8 – гайка;  
 9 – шайба;  
 10 – шпилька;  
 11 – пружина розтягання

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Вивчити будову та принцип дії експериментального витяжного штампа.
3. Виміряти діаметри та товщину трьох заготовок, діаметр витяжного пуансона; розрахувати діаметр ковпачка (по середній лінії) та коефіцієнти витягування для трьох дослідів за формулою (4.1). Результати занести в табл. 4.1.

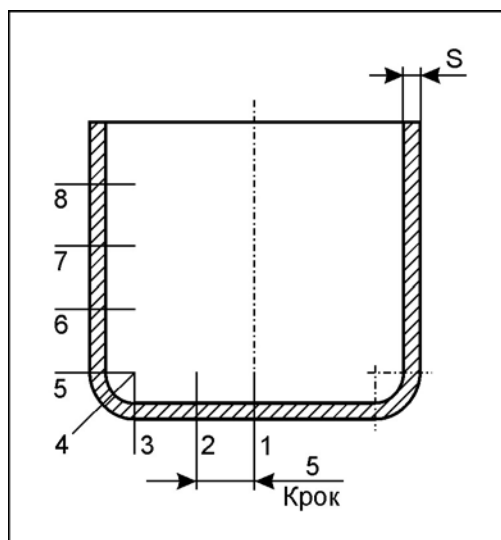
Таблиця 4.1

### Результати розрахунків та дослідів щодо визначення граничного значення коефіцієнта витягування

| Номер дослідів | Діаметр заготовки $D_0$ , мм | Діаметр ковпачка (по середній лінії) $d$ , мм | Коефіцієнт витягування $m$ | Ескіз витягнутої деталі з вказівкою висоти ковпачка $h$ , мм | Зусилля деформування, $P_e$ , Н |             | Висновок |
|----------------|------------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------|-------------|----------|
|                |                              |   |                            |  | Розрахунок                      | Експеримент |          |
| 1              | 65                           |   |                            |  |                                 |             |          |
| 2              | 60                           |   |                            |  |                                 |             |          |
| 3              | 55                           |   |                            |  |                                 |             |          |

4. Розрахувати зусилля деформації при витягуванні для трьох дослідів за виразом (4.2). Результати занести в табл. 4.1.

5. Здійснити витягування трьох заготовок в експериментальному штампі з вимірюванням зусилля деформування. Результати занести в табл. 4.1.



6. Виконати ескізи витягнутих деталей в таблиці 4.1 з вказівкою висоти ковпачка.

7. Виміряти товщину стінок ковпачка у восьми точках (рис. 4.3) за допомогою індикаторного пристрою.

**Рис. 4.3. Схема розташування номерів точок  $n$  для вимірювання товщини стінок  $S$  ковпачка**

8. Побудувати графічну залежність товщини стінки  $S$  від номеру точки  $n$ :  $S = f(n)$ .

### Зміст звіту

Стисло викласти сутність процесу витягування. Зробити ескіз експериментального витяжного штампа та описати його роботу. Оформити табл. 4.1 з висновками про граничне значення коефіцієнта витягування для умов експерименту. Побудувати графічну залежність  $S = f(n)$ .

### Контрольні питання

1. Сутність процесу витягування.
2. Яким кількісним показником регламентується операція витягування? Від чого він залежить?

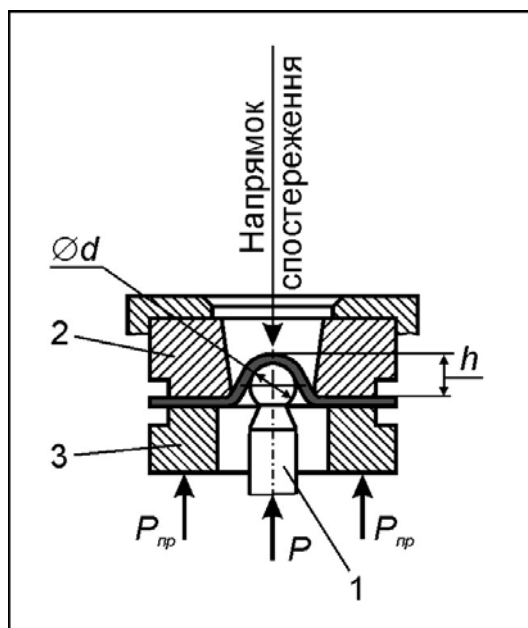
3. Якісна характеристика основних способів витягування.
4. Чому при витягуванні змінюється товщина деталі?
5. Що лежить в основі принципу розрахунку геометричних параметрів вихідної заготовки для витягування?
6. Від чого залежить зусилля деформації при витягуванні?
7. З якою метою виконують центральний отвір у витяжних пуансонах?
8. Способи зменшення гороутворення.
9. Способи вилучення фестонів.

## ВИПРОБУВАННЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ НА ГЛИБИНУ ФОРМУВАННЯ ЛУНКИ

**Мета роботи:** вивчення будови та принципу дії машини-приладу МТЛ-10Г для випробування листового прокату на глибину формування лунки (за Еріксенем) та здійснення випробування зразків.

### Загальні відомості

Для оцінки придатності для штампування широко використовується технологічне випробування листового прокату на глибину формування лунки [5, с. 26, 27], яке було запропоновано шведським інженером А. Еріксенем (рис. 5.1).



**Рис. 5.1. Схема випробування листового прокату за Еріксенем:**

- 1 – сферичний пуансон;
- 2 – матриця;
- 3 – притискне кільце

Випробування полягає у формуванні сферичним пуансоном 1 лунки у зразку товщиною 0,2...2 мм, який міцно затиснутий між матрицею 2 та притискним кільцем 3. Випробування здійснюється на машині-приладі МТЛ-10Г, що реєструє зусилля формування лунки та зусилля притиснення фланцю заготовки. Умови проведення випробування регламентовані ГОСТ 10510-80, де зусилля притискання дорівнює 10 кН, заготовка у вигляді штаби повинна мати ширину 90 мм, а діаметри пуансонів – 10 та 20 мм. Деформація металу відбувається за рахунок зменшення товщини заготовки. Мірою випробування, в процесі

якого в осередку деформації виникає двовісне розтягання, є глибина лунки в момент зменшення (спаду) зусилля деформації, тобто в момент появи тріщини

Характер руйнування та якість поверхні лунки дозволяють судити про здатність металу до штампування:

- розрив лунки по дузі кола вказує на ізотропність металу;
- прямолінійний розрив свідчить про анізотропію металу, смугастість структури або про наявність дефектів прокатування;
- чиста, гладка поверхня лунки характеризує дрібнозернисту структуру металу, шорстка – про крупнозернисту.

Випробування на глибину формування лунки проводять з метою встановлення категорії листової сталі по ГОСТ 9045-80:

- Г – глибоке витягування;
- НГ – надто глибоке витягування;
- СВ – складне витягування;
- ОСВ – особливо складне витягування;
- НОСВ – надто особливо складне витягування.

Чим більша глибина лунки, тим вища категорія сталі. У листової сталі 08 та 10, в залежності від товщини та категорії, глибина лунки повинна бути не меншою 9...12 мм.

Однак, випробування на глибину формування лунки має певний недолік: воно ні є повним відтворенням процесу витягування. Це пояснюється тим, що випробування за Еріксоном та операція витягування мають лише зовнішню схожість, в той час як напружено-деформований стан матеріалу при цих процесах зовсім різний.

### **Обладнання, інструмент, матеріали**

Робота виконується на машині-приладі МТЛ-10Г з використанням як інструмента пуансона с діаметром сферичної частини 20 мм. Початковою

заготовкою є штаба шириною 90 мм та товщиною до 2 мм. Контроль глибини лунки здійснюється годинниковим індикатором з ціною поділки 0,01 мм. Геометричні параметри заготовки вимірюються штангенциркулем з ціною поділки 0,1 мм.

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Вивчити будову та принцип дії машини-приладу МТЛ-10Г за технічним паспортом та натуральним зразком.
3. Виконати трьохкратне випробування листового прокату на глибину формування лунки та розрахувати похибку дослідів. Результати випробування та розрахунків занести до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

### Результати випробування листового прокату на глибину формування лунки

| Матеріал |             |            | Глибина лунки до появи тріщини, мм |                  |                   |   |   | Похибка дослідів, %<br>$\eta = 100 - \frac{h_c \cdot 100}{h_m}$ |
|----------|-------------|------------|------------------------------------|------------------|-------------------|---|---|---|
| Марка    | Товщина, мм | Ширина, мм | I дослід, $h_1$                    | II дослід, $h_2$ | III дослід, $h_3$ | Середнє значення значення трьох дослідів, $h_c$ | Табличне значення $h_m$ [4, с. 483-485] |   |
|          |             |            |                                    |                  |                   |   |   |   |

### Зміст звіту

Стисло викласти суть метода випробування листового прокату за Еріксемем, виконати ескіз схеми випробування. Оформити табл. 5.1. За характером руйнування зразка та якості поверхні лунки зробити висновок про здатність металу зразка до штампування методом витягування.

**Контрольні питання**

1. Суть методу випробування листового прокату за Еріксенем.
2. Мета застосування методу.
3. Недолік методу.

**ШТАМПУВАННЯ ЕЛАСТИЧНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ**

**Мета роботи:** аналіз розділових та формозмінних операцій штампування еластичним середовищем.

**Загальні відомості**

В умовах дрібносерійного виробництва звичайні методи штампування, де використовують коштовне технологічне оснащення, не ефективні та не раціональні.

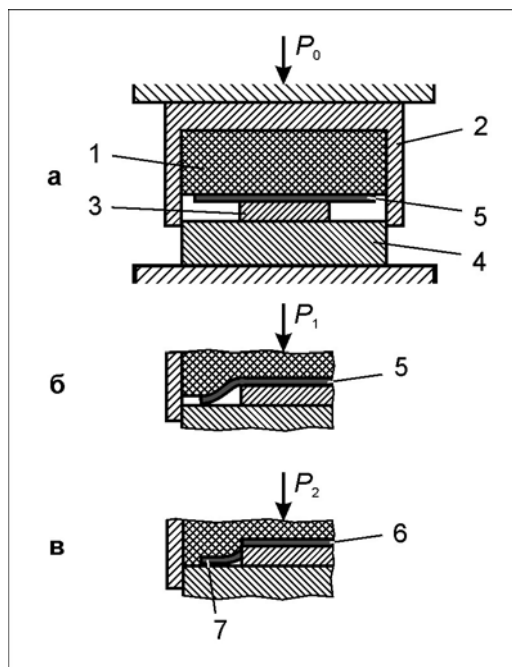
Необхідність швидкого освоєння нових видів виробів вимагає застосування нових технологічних процесів із використанням дешевого універсального оснащення. До таких процесів належить зокрема спосіб штампування еластичним середовищем – гумою або поліуретаном.

Штампування еластичним середовищем застосовується для здійснення як розділових (вирубівання заготовок за контуром, пробивання отворів), так і формозмінних операцій (формування рельєфів, відбортування, витягування).

Штамп для вирівування складається із одного робочого елемента – шаблону, який виконує роль чи пуансона, чи матриці. Роль другого робочого елемента виконує еластичне середовище.

При здійсненні операції вирівування (рис. 6.1, а) на підштампову плиту 4 кладуть плоский шаблон 3 (вирубний пуансон), який відповідає формі та розмірам у плані виробу. Висота  $h$  шаблону 3 повинна бути більшою товщини  $S$  заготовки 5 та вибирається у межах від  $4S$  до  $40S$ . Заготовка 5, що кладеться на пуансон 3, має напуск від краю  $B = (2,5 \dots 3,5)h$ . При прикладанні зусилля до контейнеру 2 у напрямку від  $P_0$  до  $P_1$  еластичне середовище 1 (зокрема, гума), що в контейнері, загинає краї матеріалу, який звисає навколо пуансона, та притискає їх до під штампової

плити 4 (рис. 6.1, б). При подальшому стисненні (рис. 6.1, в) еластичне середовище 1 тисне на відігнути краї і відриває їх за гострою кромкою пуансона 3.



**Рис. 6.1. Послідовність реалізації способу вирубання еластичним середовищем:**

- а** – початкове положення;  
**б** – проміжне положення;  
**в** – кінцеве положення;  
**1** – еластичне середовище;  
**2** – контейнер;  
**3** – шаблон (пуансон);  
**4** – під штампова плита;  
**5** – заготовка;  
**6** – відштампована деталь;  
**7** – відхід

Зусилля для штампування гумою визначається за формулою:

$$P = F \cdot q,$$

де  $F$  – площа гуми в контейнері,  $\text{м}^2$ ;

$q$  – питоме зусилля штампування гумою,  $\text{Н}/\text{м}^2$ . Вона залежить від ступеню стиснення гуми ті приймається рівним  $0,05 \dots 0,075 \text{ Н}/\text{м}^2$ .

### **Обладнання, інструмент, матеріали**

Робота виконується на гідравлічному пресі моделі 2ПГ-10,  $P_n = 100$  кН, з використанням універсального штампу. Останній включає в себе кільцевий сталевий контейнер з гумовою подушкою, під штампову плиту та набір змінних шаблонів.

Як заготовка, використовується алюмінієва фольга товщиною 0,1...0,2 мм.

Вимірювальний інструмент – штангенциркуль з ціною поділки 0,1 мм та мікрометр з ціною поділки 0,01 мм.

### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитись з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Вивчити будову та принцип дії універсального штампа для штампування еластичним середовищем.
3. Відштампувати деталі з використанням розділової операції (2...3 шт.).
4. Відштампувати деталі з використанням формозмінної операції (2...3 шт.).

### **Зміст звіту**

Стисло викласти відомості про спосіб штампування еластичним середовищем. Показати мету його застосування. Виконати головний переріз універсального штампу в момент закінчення операції вирубування. Розрахувати зусилля штампування еластичним середовищем.

### **Контрольні питання**

1. Яка рекомендована ступінь деформації гуми?
2. Які технологічні можливості штампування гумою та поліуретаном?
3. Конструктивне оформлення шаблонів для виконання розділових операцій штампування еластичним середовищем.

4. Можливість застосування пластичних матеріалів як еластичного середовища.
5. Стадії процесу вирубування-пробивання еластичним середовищем.
6. Межі застосування методу штампування деталей еластичним середовищем.
7. Від який факторів залежить зусилля штампування еластичним середовищем?

Розділ 2  
**ХОЛОДНЕ ОБ'ЄМНЕ ШТАМПУВАННЯ**

Лабораторна робота № 7

**ВИВЧЕННЯ ЕФЕКТУ ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛУ ПРИ  
ОБ'ЄМНОМУ ШТАМПУВАННІ**

**Мета роботи:** ознайомлення з характером зміни показників істинного опору матеріалу деформації  $\sigma_s$  при холодному об'ємному деформуванні.

**Загальні відомості**

При обробки металів тиском у холодному стані відбувається значна зміна механічних, фізичних, хімічних та технологічних властивостей металу [6]. Із збільшенням ступеню деформації підвищуються всі показники опору деформуванню:

- межа пружності  $\sigma_p$ ;
- межа текучості  $\sigma_s$ ;
- межа міцності  $\sigma_b$ .

Одночасно з цим зменшуються показники пластичності:

- відносне подовження;
- відносне стиснення;
- ударна в'язкість тощо.

Сукупність явищ, що пов'язані із зміною наведених властивостей металу в процесі холодної пластичної деформації, називають **зміцненням**.

Найбільш інтенсивне зміцнення спостерігається в діапазоні температур  $T < (0,2 \dots 0,25)T_{пл}$ , де  $T_{пл}$  – температура плавлення металу. При таких температурах пластичної деформації металу збільшується щільність

дислокацій, утрудняється їх переміщення, внаслідок чого збільшується опір металу пластичному деформуванню.

Ступень зміцнення визначається ступенем деформації  $\varepsilon$ . Із збільшенням останньої інтенсивність зміцнення зростає. При цьому кристали набувають певного орієнтування площин та напрямів ковзання, тобто утворюється текстура деформації, яка викликає анізотропію властивостей.

Зміцнення, яке отримує метал під час холодної пластичної деформації у більшості випадків підвищує міцність штампованих виробів. Однак при великих значеннях ступеню деформації суттєво підвищується зусилля деформування. Тому при реалізації багатоперехідних технологічних процесів холодного об'ємного штампування часто застосовують проміжний відпал напівфабрикату.

На сучасному етапі розвитку теорії процесів холодного об'ємного штампування зв'язок між показниками деформації та зміцнення можна встановити у вигляді діаграми істинних напружень  $\sigma_s = f(\varepsilon)$ , де  $\sigma_s$  – істинний опір матеріалу деформації. Дану діаграму будують графічно для певних марок сталей та сплавів за експериментальними даними.

### **Обладнання, програми, матеріали**

Робота виконується із використанням випробувальної машини УИМ-50. Деформації підлягає комплект із трьох зразків вихідним діаметром 20 мм та висотою 25 мм із сталі, алюмінію та свинцю. Можливо використання зразків із інших матеріалів. Визначення розмірів зразків при деформуванні проводиться за допомогою комплекту мірних плиток та штангенциркуля. Точність замірів  $\pm 0,1$  мм.

Результати лабораторної роботи друкуються на білому папері формату А4.

### Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Торцеві поверхні першого зразка змастити технологічним мастилом та помістити в робочу зону випробувальної машини між контактними паралельними плитами.
3. Виконати послідовно деформацію зразка на 10, 20, 30, 40, 50 % від його початкової висоти. Після кожної деформації процес зупинити, зафіксувати значення зусилля деформування та виконати заміри діаметру торця  $D_m$  та висоти зразка  $h$ .
4. Виконати ті ж самі дії із зразками із інших матеріалів.
5. За результатами експериментів заповнити таблицю 7.1.

Таблиця 7.1.

#### Результати експериментального дослідження істинного опору матеріалів деформації $\sigma_s$

| Матеріал зразка | $\varepsilon$ , % | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|-----------------|-------------------|----|----|----|----|----|
| Сталь           | $P$ , кН          |    |    |    |    |    |
|                 | $D_m$ , мм        |    |    |    |    |    |
|                 | $\sigma_s$ , МПа  |    |    |    |    |    |
| Алюміній        | $P$ , кН          |    |    |    |    |    |
|                 | $D_m$ , мм        |    |    |    |    |    |
|                 | $\sigma_s$ , МПа  |    |    |    |    |    |
| Свинець         | $P$ , кН          |    |    |    |    |    |
|                 | $D_m$ , мм        |    |    |    |    |    |
|                 | $\sigma_s$ , МПа  |    |    |    |    |    |

Розрахункові формули для визначення параметрів в таблиці 7.1:

- ступінь деформації

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0}, \quad (7.1)$$

де  $h_0$  – початкова висота зразка, мм;

$h$  – поточне значення висоти зразка, мм;

- істинний опір металу деформації, МПа

$$\sigma_s = \frac{P}{F},$$

де  $P$  – зусилля деформування, Н;

$F$  – площа контактної поверхні зразка, мм<sup>2</sup>.

6. Побудувати експериментальні графіки залежностей  $\sigma_s = f(\varepsilon)$  для кожного із зразків.

### Зміст звіту

Навести мету роботи, загальні відомості, перелік використаного обладнання, матеріалів та інструменту, а також результати експериментів (табл. 7.1), графіки залежностей  $\sigma_s = f(\varepsilon)$  для кожного із зразків та зробити висновок.

### Контрольні питання

1. Як залежать показники опору деформуванню від ступеню деформації?
2. При яких температурах спостерігається найбільший опір пластичному деформуванню?
3. Як щільність дислокацій впливає на опір металу пластичному деформуванню?
4. Що передбачає багатоперехідний технологічний процес ХОШ для зменшення опору металу пластичному деформуванню?

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДРІЗУВАННЯ СОРТОВОГО МЕТАЛОПРОКАТУ В ШТАМПАХ

**Мета роботи:** вивчення технології відрізування пруткового матеріалу методом зсуву у втулкових штампах; дослідження впливу основних параметрів процесу відрізування на точність отриманих заготовок.

### Загальні відомості

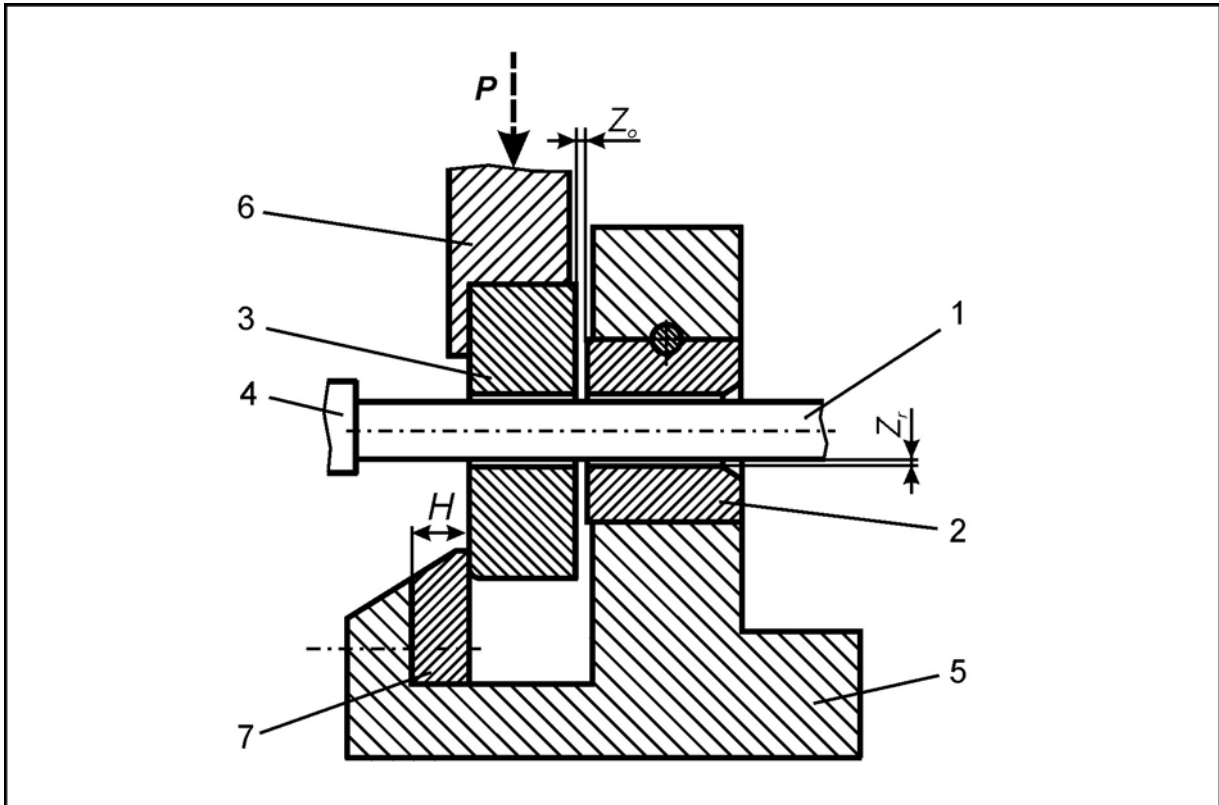
Відрізування заготовок під наступне холодне видавлювання виконують на пресах, прес-ножицях та іншому спеціалізованому обладнанні. При цьому прагнуть забезпечити високу продуктивність відрізування, максимальний коефіцієнт використання матеріалу та низьку собівартість.

Розрізняють відкрите та закрите відрізування. В якості заготівельної операції ХОШ застосовують як правило останнє як таке, що забезпечує мінімальне викривлення заготовки, найменший обсяг дефектів на поверхнях зсуву, відсутність деформованої зони на площині відокремлення тощо.

Для закритого відрізування найбільш придатні втулкові штампа. При їх використанні практично виключається або істотно обмежується вигин та поворот прутка і його частини, що відрізається. Таким чином, стає можливим максимально приблизити об'єм заготовки до об'єму готового виробу і ліквідувати, як непотрібну, операцію попереднього калібрування торців заготовки перед ХОШ.

На рис. 8.1 наведено схему неповного закритого відрізування. Пруток 1, що підлягає відрізуванню, подається крізь втулковий нерухомий ніж 2, та втулковий рухомий ніж 3 до переднього упору 4. Втулковий ніж

2 нерухомо закріплений в нижній плиті 5 штампу, а втулковий ніж 3 – в верхній рухомій плиті 6. Після натиснення на педаль обладнання вмикається на робочий хід. При цьому втулковий ніж 3 переміщується вниз та відрізає заготовку необхідної довжини.



**Рис. 8.1.** Схема встановлення прутка в штампі при неповному закритому відрізуванні заготовки втулковими ножами: 1 – пруток; 2 – нерухомий втулковий ніж; 3 – рухомий втулковий ніж; 4 – передній упор; 5 – нижня плита штампу; 6 – верхня (рухома) плита штампу; 7 – протівідтискач

Регулювання зазору  $Z_0$  між втулковими ножами 2, 3 здійснюється за рахунок зміни товщини  $H$  протівідтискача 7. Процес відрізування перш за все визначається параметрами торцевого  $Z_0$  та радіального  $Z_r$  зазорів. При зменшенні  $Z_0$  та  $Z_r$  якість поверхні зрізу підвищується. Точність відрізування оцінюють за такими геометричними параметрами та відносними показниками деформування (рис. 8.2):

- за відносним осаджуванням верхньої частини заготовки  $c_0 = \frac{c}{d}$ ;

- за відносною деформацією заготовки  $\delta = \frac{d-d_1}{d}$ ;

- за криволінійністю торця заготовки  $b_0 = \frac{b}{d}$ .

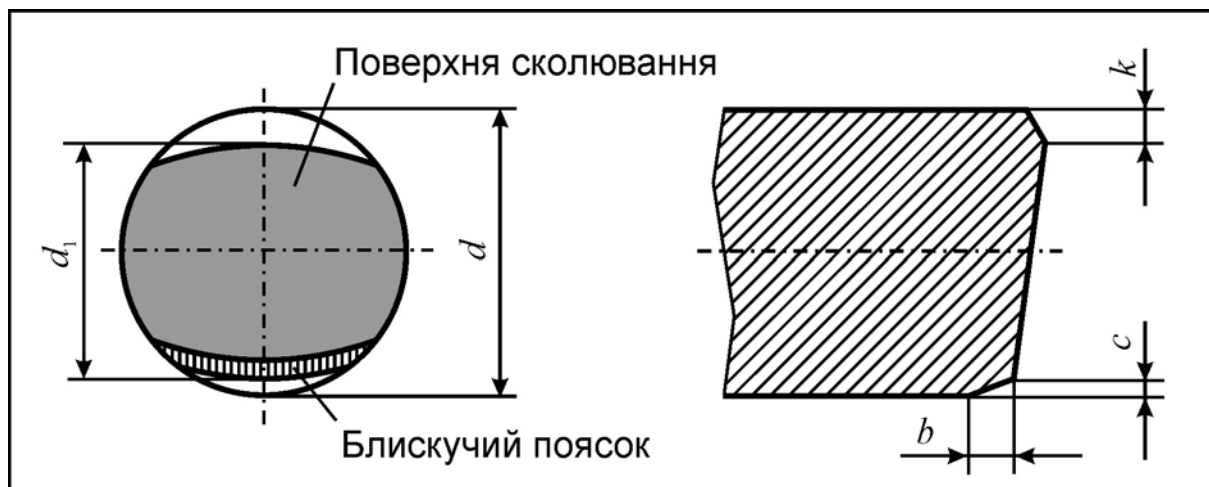


Рис. 8.2. Геометричні параметри частини заготовки, що відрізнана втулковими ножами від прутка

### Обладнання, прилади, матеріали

Робота виконується на кривошипному пресі номінальним зусиллям 160 кН. Для експериментів використовуються калібровані прутки із сталі, латуні або дюралюмінію (алюмінію) діаметром  $d = 7,8$  мм. Для замірів геометричних параметрів, що визначають точність відрізування, застосовується мікроскоп МБС-9.

### Послідовність виконання роботи

1. Підготувати до роботи кривошипний прес. З цією метою:
  - ввімкнути рубильник на розподільному щитку;
  - ввімкнути компресор і довести робочий тиск повітря в пневматичній системі до 0,4...0,5 МПа;
  - повернути перемикач на зворотній стороні пульту керування у положення «1»;

- відкрити кришку режимів роботи, встановити верхній перемикач в положення «робота в ручному режимі», а нижній – в положенні «одиначний хід»;

- повернути перемикач пристрою керування системою змащення пресу в положення «1»;

- розблокувати, якщо це є необхідним, усі кнопки «стоп» на пультах керування;

- ввімкнути електродвигун преса шляхом натиснення на зелену кнопку;

- подати пруток в штамп крізь втулкові ножі до переднього упору.

2. Ввімкнути прес на робочий хід шляхом дворучного вмикання (одночасне натиснення двох чорних кнопок) і відрізати заготовку.

3. Вимкнути електродвигун преса центральною кнопкою «стоп».

4. Після повної зупинки маховика преса вилучити із штампів відрізану заготовку та пруток.

5. Змінити торцевий зазор  $Z_o$  між втулковими ножами шляхом встановлення другого противідтискача іншої товщини  $H$ .

6. Повторити експеримент (пп. 2...5) для інших значень  $Z_o$ .

7. Після закінчення роботи на пресі вимкнути компресор та живлення пульта керування.

8. Замірити геометричні параметри відрізаних заготовок у відповідності із вимогами таблиці 8.1. Виконати потрібні розрахунки та заповнити дану таблицю.

Таблиця 8.1

### Результати експериментального дослідження

| $z_o$ , мм | Осаджування нижньої частини заготовки |           | Осаджування верхньої частини заготовки |           | Відносна деформація заготовки $\delta$ , % | Криволінійність торця |           |
|------------|---------------------------------------|-----------|--|-----------|--|-----------------------|-----------|
|            | $c$ , мм                              | $c_0$ , % | $k$ , мм                               | $k_0$ , % |  | $b$ , мм              | $b_0$ , % |
| 0,3        |                                       |           |  |           |  |                       |           |
| 0,2        |                                       |           |  |           |  |                       |           |
| 0,1        |                                       |           |  |           |  |                       |           |

9. Побудувати експериментальні графічні залежності:

$$c_0 = f(z_o); \quad k_0 = f(z_o); \quad \delta = f(z_o); \quad b_0 = f(z_o).$$

10. Зробити висновки по роботі стосовно впливу зазору  $z_o$  на геометричні параметри процесу відрізування.

### **Зміст звіту**

Навести мету роботи, загальні відомості, перелік використаного обладнання, матеріалів та інструменту, а також результати експериментів (табл. 8.1), графіки залежностей  $c_0 = f(z_o)$ ;  $k_0 = f(z_o)$ ;  $\delta = f(z_o)$ ;  $b_0 = f(z_o)$  та зробити висновок.

### **Контрольні питання**

1. Як впливає зазор між втулковими ножами на геометричні параметри процесу відрізування?
2. Навести схему повного закритого відрізування заготовок від круглого сортового прокату та пояснити його переваги і недоліки.
3. Навести схеми механічних способів точного відрізування заготовок від сортового прокату.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

**Мета роботи:** вивчення кінематики плинущу металу при прямому видавлюванні; експериментальне визначення впливу геометричних та технологічних параметрів на питоме зусилля, зусилля прямого видавлювання та умови контактного тертя.

### Загальні відомості

Прямим видавлюванням (ПВ) називають технологічну операцію ХОШ, при реалізації якої відбувається зменшення площі перерізу деформованого зразка з одночасним збільшенням його довжини, причому напрямок плинущу металу при ПВ співпадає з напрямом руху інструмента, який деформує заготовку. ПВ отримують переважно круглі в перерізі вироби типу ступінчастих валів, стрижнів з фланцями тощо. Пластичність металу, який підлягає ПВ, значно вища, ніж для інших, зовнішньо подібних операцій ХОШ (наприклад, редукування), тому що при ПВ має місце всебічне нерівномірне стиснення матеріалу заготовки. Ця обставина дає можливість збільшувати ступінь деформації на переході, а отже, і отримувати вироби складної конфігурації та з кращими показниками міцності.

Схему процесу ПВ зображено на рис. 9.1, а. Робочими елементами експериментального штапу є пуансон 1, що виконує деформування заготовки 2, та розміщена у контейнері 3 матриця 4, крізь отвір у якій відбувається витікання металу. Зразок розташовують у приймальній частині матриці діаметром  $D$  та деформують крізь отвір у матриці діаметром  $d < D$ .

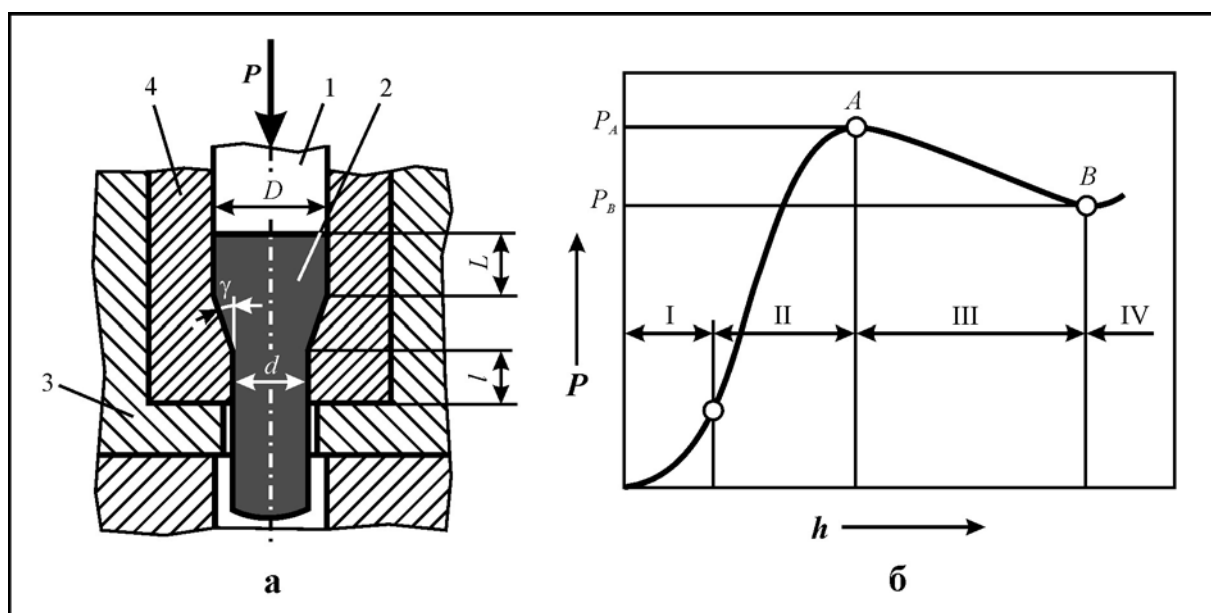


Рис. 9.1. Схема процесу прямого видавлювання: а – схема; б – якісна залежність зусилля ПВ  $P$  від ходу переміщення пуансона  $h$ ; 1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – контейнер; 4 – матриця

Графік зміни зусилля ПВ від ходу переміщення пуансона показано на рис. 9.1, б. На ньому розрізняють чотири стадії процесу:

- I стадія. Вільне осаджування зразку, при якому поступово ліквідуються всі радіальні зазори. В кінці стадії відбувається часткове заповнення конічної перехідної зони матриці. Оскільки контактне тертя ще не виявляє себе у повній мірі, зусилля зростає досить повільно;

- II стадія. Витікання матеріалу через робочий отвір. Зусилля різко зростає до певного максимуму  $P_A$ , який відповідає моменту початку витоку;

- III стадія. Стаціонарна, під час якої має місце усталений рух деформованого металу через робочий отвір у матриці. При цьому деформована частина заготовки поступово виходить із матриці. Відповідно знижується до значення  $P_B$  робоче зусилля процесу ПВ;

- IV стадія. Кінцева, нестационарна стадія, на якій відбувається зростання зусилля деформування, збільшення швидкостей ковзання на контактних поверхнях у західній частині матриці, зміцнення матеріалу, зокрема сталевих зразків, тощо. Звичайно деформування завершують з початком цієї стадії.

Оскільки експериментально доведено [4], що при граничному терті на ділянці  $AB$  (див. рис. 9.1, б) форма та розміри вогнища деформації практично постійні, то різниця між значеннями зусилля в точках  $A$  та  $B$  являє собою зусилля тертя процесу ПВ, що зменшується відповідно до зменшення довжини контактної поверхні по мірі виходу деформованої частини заготовки з робочого отвору.

### **Обладнання, прилади, матеріали**

Робота виконується на універсальній випробувальній машині УИМ-50 в діапазоні використання зусилля до 250 кН. Для експериментів використовуються свинцеві зразки діаметром  $d_0 = 20$  мм та висотою  $h_0 = 15$  мм у вигляді двох напівциліндрів та одного циліндру. На внутрішній поверхні одного з напівциліндрів металевим «олівцем» слід нанести координатну сітку з розмірами комірки  $2 \times 2$  мм. Вимірювання деформованих зразків виконується штангенциркулем. Експериментальне визначення зусилля деформування здійснюється силовимірювачем випробувальної машини.

### **Послідовність виконання роботи**

1. Виконати заміри вихідних зразків, користуючись прозорим папером, перенести на нього початковий малюнок координатної сітки, що нанесена на внутрішню поверхню напівциліндричного зразка.

2. Помістити два напівциліндри (зразки) в матрицю штампу, попередньо змастити контактні поверхні матриці та матрицетримача технологічним мастилом.

3. Деформувати напівциліндричні зразки. При цьому слідкувати за поведінкою покажчика силовимірювача, щоб зафіксувати орієнтовні координати проходження всіх стадій процесу ПВ.

4. При досягання IV стадії вимкнути електродвигун випробувальної машини та вилучити деформовані зразки із штампю. Розняти напівциліндри, на прозорому папері виконати ескіз деформованої координатної сітки, записати розміри  $\gamma$ ,  $D$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $l$  (див. рис. 9.1, а).

5. Помістити у матрицю циліндричний зразок з попереднім поновленням змащення контактних поверхонь. Під час процесу деформування силовимірювачем вести запис змінення технологічного зусилля ПВ на діаграмному папері.

6. Вилучити деформований зразок із матриці. Визначити мірило отриманого графіка  $P = f(h)$ . По графіку визначити експериментальні значення зусилля ПВ та сили тертя.

7. Зробити висновки щодо кінематики плину металу при ПВ.

### **Зміст звіту**

Навести мету роботи, загальні відомості, перелік використаного обладнання, матеріалів та інструменту, а також наступні результати експериментів. На прозорому папері виконати ескіз деформованої координатної сітки, записати розміри  $\gamma$ ,  $D$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $l$  (див. рис. 9.1, а). Навести експериментальний графік змінення технологічного зусилля ПВ, вказати масштаб, визначити експериментальні значення зусилля ПВ та сили тертя. Зробити висновок.

### **Контрольні питання**

1. Визначення операції «пряме видавлювання».
2. Стадії ПВ.
3. Навести схему плину матеріалу при ПВ.
4. Методика визначення сили тертя при ПВ.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

**Мета роботи:** експериментальне вивчення силових параметрів процесу зворотного видавлювання (ЗВ), їх залежності від форми робочої частини пуансону.

### Загальні відомості

Зворотне видавлювання – технологічна операції холодного об'ємного штампування (рис. 10.1, а), при якій із суцільної заготовки 4, що знаходиться у матриці 6 внаслідок деформування пуансоном 1 отримують виріб типу стакану 7. Плин металу при цьому відбувається у напрямку, зворотному руху деформуючого інструменту. Готовий виріб вилучається із порожнини матриці виштовхувачем 5. ЗВ являє собою приклад практично безвідхідного технологічного процесу штампування. При ЗВ високі пластичні властивості деформованого металу отримуються внаслідок реалізації схеми всебічного нерівномірного стиснення матеріалу заготовки. Під час ЗВ створюються надзвичайно високі навантаження на інструмент, що з одного боку є причиною його відносно невеликої стійкості, а, з іншого боку вимагає ретельного аналізу силового та енергетичного режиму формо змінювання. Ця обставина особливо важлива для процесів ЗВ, які розробляються вперше.

В найбільш важких умовах працюють пуансони та виштовхувачі штампів для ЗВ. Конструктивно пуансони виконують циліндричними 1 (рис. 10.1, а), або з пояском 3, що калібрує (рис. 10.1, б). В другому випадку вдається зменшити зусилля деформування, так як відсутнє тертя по бічній поверхні деформованої заготовки з пуансоном, а отже краще утримується мастило, під мастильне покриття інші речовини, що зменшують значення коефіцієнту тертя при ЗВ. Разом з тим виявлено, що

стійкість пуансонів з пояском, що калібрує, дещо нижче. Особливо падає втомлювала міцність пуансона, тому що при зворотному ході повзуна пресу на пуансон діє навантаження розтягання, що виникає внаслідок обтискування внутрішньою поверхнею заготовки робочої частини пуансону, яка розташована вище пояса, що калібрує.

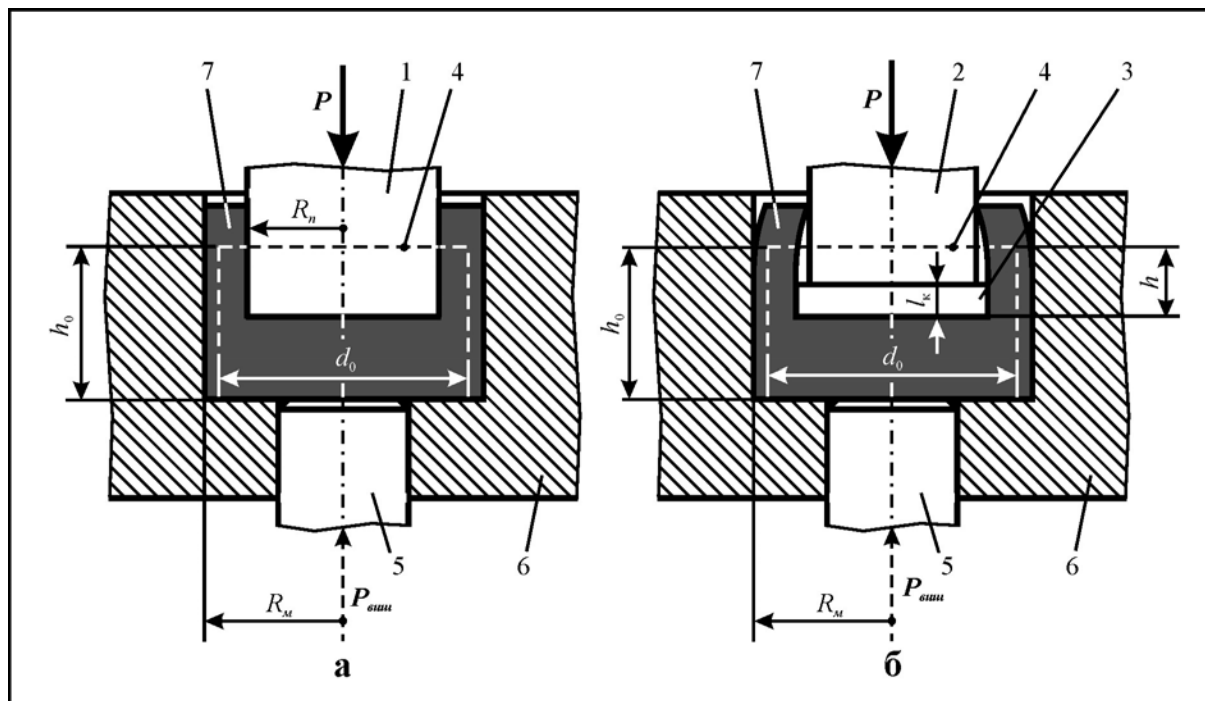


Рис. 10.1. Схеми процесу зворотного видавлювання: а – циліндричним пуансоном 1; б – пуансоном 2 з пояском, що калібрує; 4 – заготовка; 5 – виштовхувач; 6 – матриця; 7 - виріб

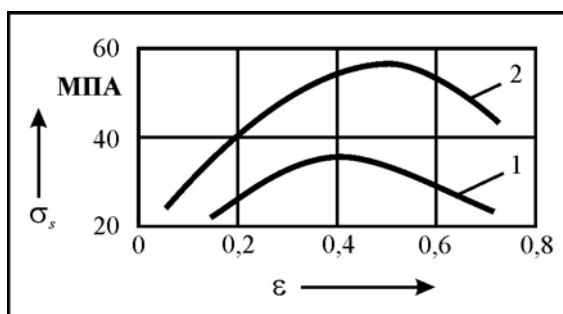
ЗВ – відносно енергомстка технологічна операція ХОШ, тому її звичайно виконують на спеціальних кривошипно-колінчастих пресах серії К00. Для вірного вибору преса треба розрахувати не тільки найбільше зусилля операції, але й його змінення в процесі ЗВ. З цією метою застосовують формулу (10.1):

$$P = \pi R_n^2 \cdot \sigma_s \cdot \bar{p}, \quad (10.1)$$

де  $R_n$  – радіус робочого торця пуансону, мм;

$\bar{p}$  – відносне питоме зусилля [8];

$\sigma_s$  – істинний опір матеріалу деформації, МПа (рис. 10.2).



**Рис. 10.2.** Залежність істинного опору матеріалу деформації  $\sigma_s$  від ступеню деформації  $\varepsilon$ :

1 – свинець С1 ГОСТ 1320-74;

2 – свинець ПОСС4-6 ГОСТ 21930-76

### Обладнання, прилади, матеріали

Робота виконується на лабораторному гідропресі 2ПГ10 (ПСУ10) зусиллям 100 кН. Для ЗВ використовується комплект з п'яти свинцевих зразків діаметром  $d_0 = 30$  (20) мм та висотою  $h_0 = 30$  (20) мм. Вимірювання зразків виконується штангенциркулем з ціною поділка ноніусу 0,05 мм.

### Послідовність виконання роботи

1. Помістити заготовку у матрицю та про деформувати її суцільним пуансоном певного діаметру (див. табл. 10.1). Через кожні 5 мм записувати плинне зусилля процесу. На силівимірювальному пристрої пресу 2ПГ10 (ПСУ10) 100 кН відповідають 260 позначкам шкали.

Таблиця 10.1

### Вихідні дані експерименту

| № експ. | Діаметр робочої частини пуансону $d_n$ , мм | Зовнішній діаметр вихідної заготовки $d_z$ , мм |
|---------|---|---|
| 1       | 10  | 20  |
| 2       | 7,5   |   |
| 3       | 6   |   |
| 4       | 15  | 30  |
| 5       | 10  |   |
| 6       | 7,5   |   |

2. Перевернути матрицю, встановити на прес та виконати виштовхування заготовки. Записати експериментальне значення зусилля виштовхування  $P_{виш}$  та порівняти отримане значення зусилля з розрахунковим:

$$P_{виш} = 2,5 \cdot R_m \cdot h \cdot \mu \cdot \sigma_s, \quad (10.2)$$

де  $R_m$  – робочий діаметр матриці, мм;

$h$  – глибина видавлювання, мм;

$\mu$  - коефіцієнт тертя між контактними поверхнями заготовки та інструменту [8];

$\sigma_s$  – істинний опір матеріалу деформації, МПа (рис. 10.2).

3. Повторити пункти 1 та 2 для пуансонів з іншим значенням  $d_n$ .

4. Повторити пункти 1 та 2 для пуансонів з пояском, що калібрує.

5. За результатами дослідів побудувати графіки залежності  $P = f(h)$ .

6. Порівняти отримані результати з теоретичними значеннями зусилля ЗВ, що розраховані за формулою.

7. Проаналізувати отримані результати та зробити висновки, в яких зазначити вплив форми та розмірів робочої частини пуансонів на зусилля ЗВ. Пояснити характер змінення зусилля виштовхування.

### Зміст звіту

Навести мету роботи, загальні відомості, перелік використаного обладнання, матеріалів та інструменту, а також наступні результати експериментів. Навести експериментальні графіки змінення технологічного зусилля  $P$  ЗВ в залежності від зміни глибини видавлювання  $h$  для різних за формою робочої частини пуансонів. Навести розрахунки зусилля  $P$  ЗВ та зусилля виштовхування  $P_{виш}$ . Порівняти розрахункове зусилля з експериментальним. Пояснити характер змінення зусилля виштовхування. Зробити висновок.

**Контрольні питання**

1. Визначення операції «зворотне видавлювання».
2. Про пластичні властивості деформованого металу при ЗВ.
3. Навести схему плинину матеріалу при ЗВ з використанням циліндричного пуансону.
4. Навести схему плинину матеріалу при ЗВ з використанням пуансону з пояском, що калібрує.
5. Силові умови роботи пуансона при ЗВ.

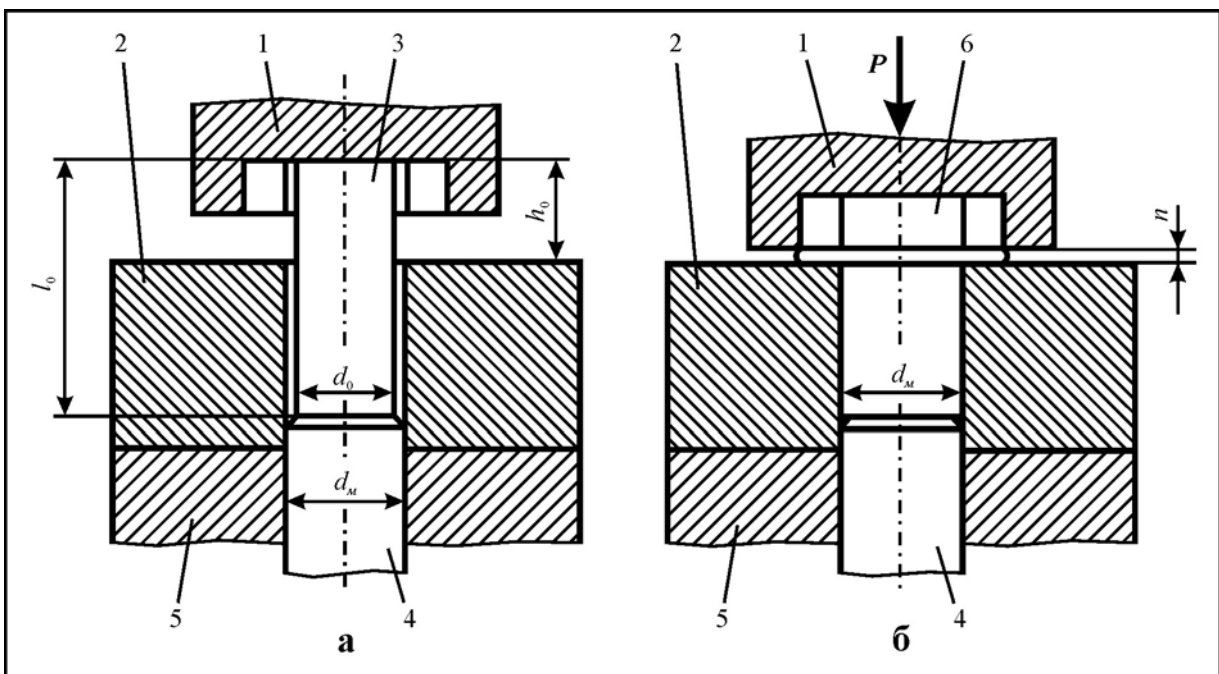
## Лабораторна робота № 11

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО ВИСАДЖУВАННЯ**

**Мета роботи:** вивчення силових та енергетичних параметрів процесу холодного висаджування та аналіз їх змінення в ході виконання технологічної операції.

**Загальні відомості**

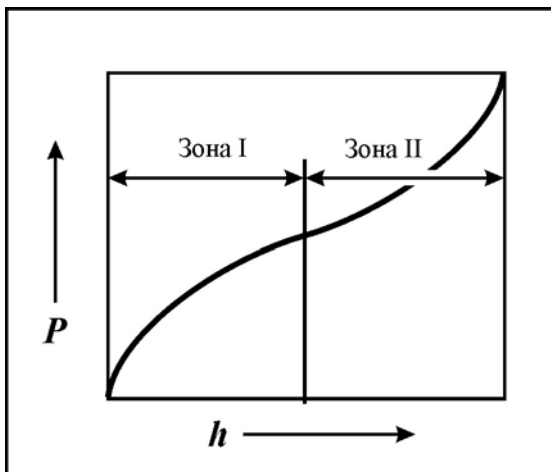
Холодне висаджування – технологічна операція ХОШ, під час якої відбувається зменшення висоти частини заготовки при збільшенні в цьому місці площі її перерізу (рис. 11.1). Дещо збільшується також і діаметр стрижневої частини виробу ( $d_m > d_0$ ), що пояснюється двостадійністю процесу висаджування:



**Рис. 11.1.** Схема холодного висаджування головки болта: 1 – початкова фаза; 2 – кінцева фаза

- на першій стадії (рис. 11.2, зона I) відбувається часткове осаджування заготовки 3 в матриці 2. Це є можливим тому, що, згідно закону найменшого опору деформованому металу легше заповнити зазори у матриці, ніж більш важку для заповнення шестикутну порожнину у пуансоні 1;

- після того, як діаметр стрижня  $d_0$  досягає значення діаметру матриці  $d_m$ , осаджування переходить у другу стадію – холодне висаджування (рис. 11.2, зона II). Воно характеризується різким зростанням зусилля.



**Рис. 11.2. Якісна залежність зусилля висаджування  $P$  від ходу деформації  $h$ :**

- зона I – перша стадія (часткове осаджування);
- зона II – друга стадія (висаджування)

Якщо вихідні розміри заготовки (зокрема,  $l_0$ ) розраховані правильно, то зазор  $n$  між матрицею та пуансоном становить 0,3...0,5 мм. При зворотному ході пуансона виконується виштовхування виробу 6 із матриці 2 виштовхувачем 4, що знаходиться у корпусі 5. Якість висаджування забезпечується дотриманням таким умов:

- об'єм частини заготовки 3  $h_0$ , що висаджується, повинен дорівнювати об'єму порожнини в пуансоні;
- торець заготовки може мати скіс не більше  $2^\circ$ ;
- за один удар можливе висаджування на будь-який діаметр, якщо  $h_0/d_0 \leq 2,5$ . Інакше частина виробу 6, що висаджується, може втратити поздовжню усталеність.

У випадках, коли висаджування за один перехід технологічно неможливе, застосовують двупозиційне або багатопозиційне штампування на холодно-висадочних автоматах.

### Обладнання, прилади, матеріали

Робота виконується на лабораторному гідропресі 2ПГ10 або на випробувальній машині УИМ-50 з використанням зусилля до 100 кН. В експериментальному штампі моделюється процес холодного висаджування заготовки болта М20×20 ГОСТ 7798-70. Матеріал заготовки – свинцевий стрижень діаметром  $d_0 = 20$  мм. Для вимірювань застосовується штангенциркуль з ціною поділка ноніусу 0,05 мм.

### Послідовність виконання роботи

1. Визначити довжину консольної частини вихідної заготовки  $h_0$  із умови постійності об'єму:

$$V_{ш} = V_{ц},$$

де  $V_{ш}$  – об'єм шестигранної частини виробу, мм<sup>3</sup>,

$$V_{ш} = 3,464 \cdot (0,5 \cdot S)^2 \cdot H, \quad (11.1)$$

$S$  – розмір шестигранника «під ключ», мм;

$H$  – висота шестигранника, мм;

$V_{ц}$  – об'єм циліндричної консольної частини заготовки, мм<sup>3</sup>,

$$V_{ц} = \frac{\pi d_0^2}{4} \cdot h_0, \quad (11.2)$$

$d_0$  - діаметр вихідної заготовки.  $d_0 = 20$  мм;

$h_0$  - довжину консольної частини вихідної заготовки, мм.

Після прирівнювання виразів (11.1) і (11.2) та подальших перетворень маємо наступну формулу для визначення параметра  $h_0$ :

$$h_0 = \frac{4,413 \cdot (0,5 \cdot S)^2 \cdot H}{d_0^2}.$$

2. Визначити довжину вихідної заготовки за формулою:

$$l_0 = h_0 + 12.$$

3. Встановити заготовку розрахункової довжини  $l_0$  у матрицю та за допомогою змінних прокладок відрегулювати значення висоти  $h_0$ . Здійснити висаджування. Якщо деформування відбувається на випробувальній машині УИМ-50, то записати графік зусиль  $P = f(h)$ . Визначити масштаб графіку та найбільше зусилля технологічної операції  $P_{max}$ .

4. На пресі 2ПГ-10 з використанням зусилля до 50 кН виконати виштовхування виробу із матриці і записати найбільше зусилля  $P_{виш} (max)$ .

5. Визначити теоретичне значення зусиль: висаджування за формулою, що наведена в роботі [6, с. 295] та виштовхування за формулою, що наведена в роботі [6, с. 296].

6. Виконати аналіз отриманих результатів.

### Зміст звіту

Навести мету роботи, загальні відомості, перелік використаного обладнання, матеріалів та інструменту. Навести розрахунок довжини консольної частини вихідної заготовки  $h_0$  та розрахунок довжини вихідної

заготовки  $l_0$ . Навести експериментальний графік зусиль  $P = f(h)$ . Навести розрахунки теоретичного зусилля висаджування та виштовхування. Зробити висновок.

### Контрольні питання

1. Визначення операції «холодне висаджування».
2. Про стадії холодного висаджування.
3. Навести схему холодного висаджування головки конічної заклепки.
4. Умова багатоперехідного процесу при холодному висаджуванні..

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОГО КАРБУВАННЯ**

**Мета роботи:** вивчення процесів формозміни металу під час холодного об'ємного карбування; засвоєння методики розрахунку основних параметрів процесу карбування; дослідження впливу кінематики руху металу при карбуванні на енергетичні показники процесу.

**Загальні відомості**

За допомогою холодного об'ємного карбування отримують рельєфні зображення на поверхні (або поверхнях) виробу. У випадках, коли один із вимірів деталі значно перевищує висоту (глибину) рельєфного зображення, карбування називають відкритим. Проте для переважної більшості виробів застосовують закрите карбування, при якому наведена вище умова не виконується. Процес формозміни при карбуванні складається із двох основних стадій:

- стадія 1. Втискування пуансона з опуклим рельєфом у заготовку. При цьому зусилля поступово зростає до  $(0,03...0,1) \cdot P$ , де  $P$  – загальне зусилля процесу (більші значення відповідають більшій площі та глибині рельєфного зображення);

- стадія 2. Об'ємне калібрування рельєфу, отриманого на попередній стадії, з метою зменшення можливих відхилень від площинності та одержання необхідної якості поверхні. При цьому пересічне по площі контакту інструмента з матеріалом значення питомого зусилля карбування становить  $p = (3...6) \cdot \sigma_s$ .

З метою зменшення навантажень на робочі деталі карбувальних штампів зменшують час контактування останніх з металом виробу, або відповідним чином профілюють поверхню виробу (надають їй невелику конусність або сферичну опуклість).

Питомий тиск процесу холодного об'ємного карбування залежить також від висоти  $h_0$  та діаметру  $d_0$  елементів рельєфного зображення, діаметру  $D$  виробу, що підлягає карбуванню та площі тиску (яка становить приблизно 30 % від площі виробу діаметром  $D$ ), де пружно-пластичне змінання матеріалу виробу максимальне.

При динамічному деформуванні (наприклад, на гвинтових пресах) інтенсивність оформлення рельєфу підвищується в 1,5...2 рази, при цьому більш складний рельєф розташовують з боку руху повзуну.

На відміну від інших операцій ХОШ, змащення поверхні заготовки, що підлягає холодному об'ємному карбуванню, погіршує якість процесу. Зокрема, зростає шорсткість поверхні виробу, погіршується чіткість оформлення рельєфу. Тому, у загальному випадку, заготовки перед карбуванням не змащують.

Найбільше питоме зусилля холодного об'ємного карбування розраховують за формулою:

$$p = \frac{2 \cdot \sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot d}{h_0}\right),$$

де  $\sigma_s$  – істинний опір матеріалу деформуванню (див. рис. 10.2);

$d$  – діаметр заготовки, що піддається карбуванню, мм;

$h_0$  – висота заготовки, мм;

$\mu$  - коефіцієнт тертя. При карбуванні без змащення свинцевих заготовок  $\mu = 0,3$ .

Технологічне зусилля карбування визначають за формулою:

$$P_k = p \cdot F_k,$$

де  $F_k$  – площа поверхні виробу, що контактує з інструментом при карбуванні.

## Обладнання, прилади, матеріали

Робота виконується на гвинтовому пресі з ручним приводом з номінальним зусиллям  $P_n = 100$  кН. Деформуванню підлягають свинцеві зразки. Для визначення геометричних параметрів зразків застосовується штангенциркуль з точністю виміру 0,05 мм.

## Послідовність виконання роботи

1. Виміряти вихідну висоту зразка  $h_0$ .
2. Встановити зразок у штамповий простір гвинтового пресу, накласти на нього карбувальний штемпель.
3. Виконати холодне об'ємне карбування рельєфу на одній з поверхонь зразка за один хід повзуна. Виміряти кінцеву висоту зразка  $h_k$ .
4. Повторити пункти 2, 3 для випадку, коли зразок накладено зверху штемпеля. Виміряти кінцеву висоту зразка  $h$ .
5. Розрахувати технологічне зусилля карбування для першого та другого дослідів. Для знаходження значень  $\sigma_s$  за рис. 10.2 треба попередньо обчислити ступінь деформації  $\varepsilon$  за формулами:

$$\varepsilon_1 = \frac{h_0 - h_k}{h_0}, \quad \varepsilon_2 = \frac{h_0 - h}{h_0}.$$

6. Обчислити роботу деформування:

$$A_{\partial 1} = P_k (h_0 - h_k), \quad A_{\partial 2} = P_k (h_0 - h).$$

7. Розрахувати енергію деформування, яка реалізується при карбуванні:

$$T_e = \left( A_d + \frac{P_k^2}{2c} \right) \cdot \eta_m,$$

де  $c$  – жорсткість системи «прес-штамп» у напрямі руху повзуна.  $c = 43920$  кН/мм;

$\eta_m$  – коефіцієнт корисної дії процесу холодного об'ємного карбування.

$$\eta_m = 0,45 \dots 0,6.$$

8. Обчислити енергію, що розвиває при карбуванні гвинтовий прес:

$$T_n = \frac{10P_n \cdot \sqrt{P_n}}{\eta_m}.$$

9. Розрахувати коефіцієнт корисної дії процесу карбування:

$$\eta_{ef} = \frac{T_e}{T_n}.$$

Результати експериментів та розрахунків занести до таблиці 12.1

Таблиця 12.1

### Результати експериментів та розрахунків

| Параметри карбування | $\sigma_s$ , МПа | $F_{k_2}$ , мм <sup>2</sup> | $P_k$ , кН | $A_d$ , кН·мм | $T_e$ , кН·мм | $T_n$ , кН·мм | $\eta_{ef}$ , % |
|----------------------|------------------|-----------------------------|------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| Перше                |                  |                             |            |               |               |               |                 |
| Друге                |                  |                             |            |               |               |               |                 |

### Зміст звіту

Навести мету роботи, загальні відомості, перелік використаного обладнання, матеріалів та інструменту. Навести схему карбування, результати розрахунків та висновки, в яких зазначити вплив технологічних

параметрів процесу на енергетичні характеристики та ефективність холодного об'ємного карбування.

### **Контрольні питання**

1. Призначення операції карбування.
2. З яких стадій складається процес формозміни при холодному об'ємному карбуванні?
3. Навести схему холодного об'ємного карбування монети.
4. Чим визначається енергію деформування, яка реалізується при карбуванні?

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штампів. Штмп як об'єкт проектування: навчальний посібник / В. М. Боков – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс-ЛТД», 2005. – 216 с.
2. Аверкием Ю. А. Технология холодной штамповки: учебник / Ю. А. Аверкием, А. Ю. Аверкием – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
3. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., пере раб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
4. Справочник конструктора штампов: листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с., ил.
5. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: учебник / М. Е. Зубцов. – 3-е изд. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. – 432 с.
6. Холодная объёмная штамповка: справочник; под ред. Г. А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
7. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа, 1981. – 248 с.
8. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа, 1987. – 144 с.

## ЗМІСТ

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Розділ 1. ТЕХОЛОГІЯ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ</b>  | <b>4</b>      |
| <b>Лабораторна робота № 1.</b> Вивчення будови та принципу дії штампів холодного листового штампування .....                            | 4             |
| <b>Лабораторна робота № 2.</b> Визначення оптимальних енерго-силових параметрів процесу вирубкування деталей із листового прокату ..... | 7             |
| <b>Лабораторна робота № 3.</b> Експериментальне дослідження процесу пружності листового металу при гнутті .....                         | 15            |
| <b>Лабораторна робота № 4.</b> Експериментальне визначення граничного значення коефіцієнта витягування .....                            | 20            |
| <b>Лабораторна робота № 5.</b> Випробування листового прокату на глибину формування лунки .....   | 26            |
| <b>Лабораторна робота № 6.</b> Штампування еластичним середовищем   | 30            |
| <br><b>Розділ 2. ХОЛОДНЕ ОБ'ЄМНЕ ШТАМПУВАННЯ</b>  | <br><b>34</b> |
| <b>Лабораторна робота № 7.</b> Вивчення ефекту зміцнення металу при об'ємному штампуванні .....   | 34            |
| <b>Лабораторна робота № 8.</b> Дослідження технології відрізування сортового металопрокату в штампах .....                              | 38            |
| <b>Лабораторна робота № 9.</b> Дослідження процесу прямого видавлювання .....   | 43            |
| <b>Лабораторна робота № 10.</b> Дослідження процесу зворотного видавлювання .....   | 47            |
| <b>Лабораторна робота № 11.</b> Дослідження процесу холодного висаджування .....  | 52            |
| <b>Лабораторна робота № 12.</b> Дослідження процесу холодного карбування .....  | 57            |
| Список літератури .....   | 62            |

Навчальне видання

**ТЕХНОЛОГІЯ ХОЛОДНОГО ШТАМПУВАННЯ**

Методичні рекомендації

до лабораторних робіт для студентів  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Укладач: Боков Віктор Михайлович