

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт з дисципліни  
**“Технологія холодного штампування”**  
для студентів спеціальності  
“Обробка металів тиском”  
всіх форм навчання  
Напрямок підготовки – металургія

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Технологія холодного штампування” для студентів спеціальності “Обробка металів тиском” всіх форм навчання. Напрямок підготовки – інженерна механіка /Укл.: Явтушенко А.В., - Запоріжжя: ЗНУ, 2022. - 62 с.

Укладачі: Явтушенко А.В., доцент, к.т.н.

Рецензент: Белоконь Ю.О., доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск Явтушенко А.В., доцент, к.т.н.

Затверджено  
на засіданні кафедри ОМТ

Протокол №  
від

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ .....	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 Дослідження листових матеріалів на придатність до формозмінюючих операцій (2 години).....	6
1.1 Випробування листового металу на перегин.....	7
1.2 Випробування листового металу на придатність до глибокого витягування.....	9
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 Вплив величини зазору між матрицею і пуансоном на технологічне зусилля та якість поверхні зрізу при розділових операціях (4 години).....	11
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 Визначення зусилля, роботи та потужності при різанні в штампах з паралельними ріжучими кромками (4 години).....	19
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 Дослідження процесу гнуття плоскої заготовки (2 години).....	29
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 Визначення кута пружинення при гнутті (2 години) .....	33
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 Визначення граничного коефіцієнта витягування листового матеріалу для штампування виробів (2 години).....	38
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 Визначення граничного коефіцієнта відбортовки круглих отворів в листовому матеріалі (2 години)....	44
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8 Дослідження ротаційної витяжки (2 години).....	50
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 Штампування еластичним середовищем (2 години).....	54
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	62

## ВСТУП

Лабораторні роботи з дисципліни “Технологія холодного штампування”, що передбачені навчальною програмою, сприяють набуванню студентами практичних навиків самостійного експериментального вивчення конкретних процесів, поглибити знання, одержані на лекціях, розвинути спостережливність, ініціативу, вимогливість до об’єктивності результатів досліджень та здібності критичного мислення.

До лабораторної роботи студенти готуються самостійно, вивчаючи матеріал теми за науково-технічною літературою, яка рекомендується.

Студенти мусять знати мету роботи, основні теоретичні положення про технологічний процес, що досліджується, порядок виконання роботи, обладнання, оснащення, інструмент, матеріали, вимірювальну апаратуру і методику обробки одержаних результатів.

Робота виконується підгрупами, кожна з яких за вказівкою викладача виконує і опрацьовує певну частину дослідів. В звіт кожного студента заносяться дані всіх дослідів, одержаних підгрупами.

Після цього будують графіки вказаних залежностей, роблять висновки про вплив тих чи інших факторів на параметри і показники процесу.

Під час виконання роботи студенти зобов’язані виконувати правила техніки безпеки, які вони вивчають на першому занятті в лабораторії кафедри.

Після оформлення звіту кожний студент захищає його індивідуально. Захист, як правило, проводиться в кінці семестру.

При захисті враховуються знання теоретичного матеріалу, зміст лабораторної роботи, вірність висновків, якість оформлення і своєчасність поданих звітів.

## ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Студенти повинні проходити інструктаж з техніки безпеки на початку кожного семестру. Інструктаж проводить викладач, проведення його реєструється в журналі і підтверджується підписами студентів і викладачів.

Студенти, що не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до виконання робіт не допускаються.

Включати обладнання і працювати на ньому студенти повинні тільки під наглядом викладача чи завідуючого лабораторією. При виконанні роботи групою (не більше 4-6 студентів) на пресі повинна працювати тільки одна людина, останні повинні знаходитись не ближче 1-2 м від преса. В усіх випадках, коли студенту щось незрозуміло, він повинен звертатися до викладача чи завідуючого лабораторією. При виконанні роботи студент не повинен відволікатися сам та відволікати інших студентів.

Лабораторні роботи з курсу "Технологія холодного штампування" виконуються на кривошипних та гідравлічних пресах.

*При роботі на кривошипному пресі:*

- Перевірити вірність налагодження муфти преса. Прес повинен працювати в режимі "поодинокий хід".
- Регулювання преса, штампа і пристосувань, встановлення та виймання заготовок з робочої зони виконувати при вимкненому пресі і повністю припиненому маховику.
- При штампуванні зі штучної заготовки виключати прес тільки за допомогою дворукого включення.

• Укладання штучної заготовки в штамп і вийняття відштампованої деталі виконувати тільки пінцетом.

*При роботі на гідравлічному пресі:*

- Включення преса виконує викладач або лаборант.
- Студентам категорично забороняється нажимати кнопки, тумблери і т.п. на щиті управління пресом.
- При проведенні дослідів на пресі робоча зона його повинна бути закрита захисним прозорим щитом, який може бути знятий тільки при вимкненому двигуні преса.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1**

### **Дослідження листових матеріалів на придатність до формозмінюючих операцій (2 години)**

**Мета роботи.** Ознайомлення з методикою проведення випробувань листового матеріалу на придатність його до гноттєвих та витягувальних робіт.

#### **Загальні теоретичні відомості**

Використання холодного штампування для виготовлення складних та відповідальних деталей машин підвищило вимоги до листового матеріалу. Якість матеріалу, який призначений для штампування, повинний задовольняти як вимогам, які обумовлені призначенням та умовами роботи виробу, так і вимогам технології штампування.

Для листового штампування, як правило, використовують вихідний матеріал у вигляді листа, стрічки, штаби.

На вибір металу, в залежності від призначення та конструкції виробу, впливають значні технологічні фактори. Технологічні якості матеріалу для штампування залежать від механічних якостей, хімічного складу, структури, точності поверхні. Перераховані фактори впливають на якість виробу, головним чином при витягуванні, гнотті, формуванні, протягуванні.

Механічні випробування виявляють тільки деякі властивості металу та не можуть дати повної характеристики його придатності до штампування. Більш повне уявлення, про здатність металу підлягати тій або іншій операції, може бути отримане технологічними випробуваннями: на зріз - для вирубних робіт, на перегин - для гноттєвих робіт, на витягування - для формозмінних робіт. Випробування на зріз дає можливість встановити опір матеріалу зрізу при роздільних операціях.

Випробування на перегин використовується для визначення здатності металу підлягати вигину та застосовується для листового матеріалу товщиною не більше 6 мм. Випробування на витягувальні властивості визначає придатність матеріалу до витягувальних робіт і є найбільш складним. Було зроблено багато різних пропозицій про методи випробувань. Найбільше розповсюдження отримав спосіб видавлювання ямки в зразку на приладах типу Ериксен або Олсен.

Але цей метод не дає вірної оцінки і не повністю, відповідає процесу витягування (затиск заготовки жорсткий, фланець заготовки не рухається, великі зазори і пуансон сферичний). Методи ЦНДІТмаш, Свифта, Хукуї засновані на витягуванні циліндричного ковпачка з круглої заготовки. У теперішній час встановлено, що одна характеристика не може дати повного висновку про придатність випробуваного матеріалу до глибокого витягування. Пояснюється це тим, що виробничі процеси проходять при різних схемах напруженого стану, які приводять до різної поведінки матеріалу. Листова сталь, яка іде для витягування, повинна відповідати наступним вимогам:

а) витримувати достатньо рівномірну та значну зосереджену деформацію;

б) мати невисоку твердість, яка визначається за Роквеллом, 42...47,5 HRC<sub>e</sub>;

в) мати достатньо добре відносне подовження  $\delta_{10} = 42...48\%$ ;

г) мати невисоке відношення  $\frac{\sigma_S}{\sigma_B} \leq 0,6 \div 0,7$ .

### **Матеріал, інструмент, прилади, обладнання**

Пристосування для випробування листового матеріалу на перегин, видавлювання ямки та замірювання твердості; листові матеріали: сталь, алюміній, латунь та ін.; вимірювальні інструменти та пристосування: мікрометр з межами вимірювань 0...25 мм штангенциркуль з ціною поділення 0,1 мм та величиною вимірювання  $l = 150$  мм, радіусометр, набір замірних губок до приладу для випробувань на перегин, кулька в оправці до твердоміра, масштабна лінійка, кресалка.

## **1.1 Випробування листового металу на перегин**

### **Порядок проведення роботи.**

Перед випробуванням на перегин, визначити твердість матеріалу за допомогою твердоміра. В залежності від товщини матеріалу, підібрати затисні губки потрібного радіуса за таблицею 1.1 та вставити їх в прилад для випробування на перегин (рис. 1.1) затиснувши розміщену між губками 1 полоску випробуємого металу

2, вигинати його за допомогою важеля.

Таблиця 1.1 - Радіуси затискних губок

Товщина випробуваного металу S, мм	Радіус закруглення губок, які встановлені в прилад, R, мм
До 0,4	1,0
0,4... 0,8	2,0
0,8... 1,25	2,5
1,25... 2,0	3,0

Поворотом важеля на  $90^\circ$  вигнути штабу в один бік, а потім повернути важіль у другий бік на  $180^\circ$ . Перегини виконувати до появи тріщини в місці перегину.

За кількістю перегинів встановити придатність матеріалу до гноттєвих робіт.

Дані випробування занести до таблиці 1.2.

Випробування листового металу на перегин застосовуються в основному для товщин до 2 мм.

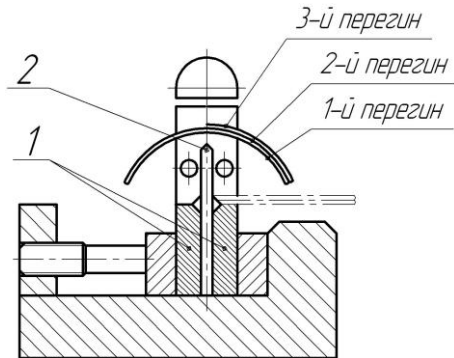


Рисунок 1.1 - Пристрій для перевірки на гнуття

Таблиця 1.2 - Дані випробування на придатність матеріалу до гнуттєвих робіт

Марка випробуваного матеріалу	Товщина матеріалу S, мм	Радіус закруглення кромки губок R, мм	Допустима кількість перегинів	Отримана кількість перегинів	Твердість HRC <sub>e</sub>



## 1.2 Випробування листового металу на придатність до глибокого витягування

### Порядок проведення роботи

Перед випробуванням перевірити твердість матеріалу за допомогою твердоміра.

Для визначення ступеня деформації при двохвісному розтягуванні на випробуваних зразках, нанести розподілову сітку з розмірами клітки 3х3 мм.

З відповідністю товщини випробуваного зразка листової сталі марки **08КП і 08Ю за ДСТ 9045-80**, встановити допустиму глибину ямки і занести до таблиці 1.3.

Зразок з нанесеною сіткою встановити в прилад Ериксона (рис. 1.2) так, щоб бік з нанесеною сіткою був звернений до дзеркальця приладу.

Зразок притиснути притиском до матриці і видавлювати ямку до появи тріщин (видавлювати ямку як із мастилом, так і без мастила) [2].

Після проведення випробування, підрахувати максимальний ступінь деформації металу за результатами змінених розмірів кліток сітки за формулою [4]

$$\varepsilon = \frac{F_1 - F_0}{F_0} \cdot 100\% , \quad (1.1)$$

де  $\varepsilon$  - ступінь деформації при двохвісному розтягуванні;

$F_1$  - площа клітки після деформації;

$F_0$  - площа клітки до деформації. Всі результати проведення досліду звести до таблиці 1.3.

### Зміст звіту

1. Описати характеристику обладнання, приладів, пристосувань, інструментів, за допомогою яких виконується дана робота.
2. Надати схему та опис налагодження приладів, обладнання.
3. Навести результати досліду (випробування).
4. Зробити висновки за результатами роботи.

Таблиця 1.3 - Дані випробування на придатність матеріалу до глибокого витягування

Характеристика випробуваного матеріалу	Марка сталі	Товщина матеріалу $S$ , мм	Твердість $HRC_e$	Площа комірки		Глибина ямки за стандартом	Фактична глибина ямки		Ступінь деформації
				до деформації	після деформації		Без мастила	З мас тилом	

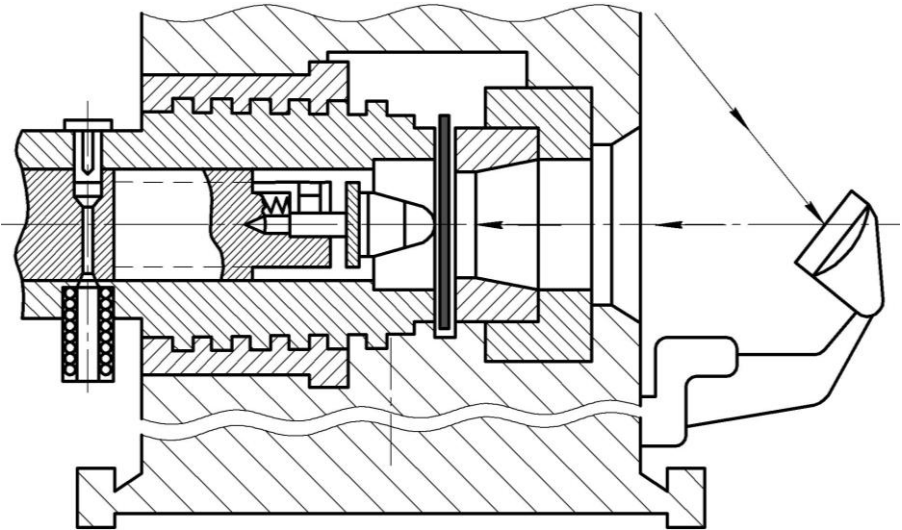


Рисунок 1.2 - Прилад Ериксона

### Контрольні питання

1. Які показники механічних якостей листових матеріалів впливають на оцінку придатності їх до формозмінюючих операцій?
2. Які фактори впливають на величину пластичної деформації?

металів?

3. Якими методами ще можна оцінювати придатність листового металу до формозмінюючих операцій?

Література [2],[4].

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### Вплив величини зазору між матрицею і пуансоном на технологічне зусилля та якість поверхні зрізу при розділових операціях (4 години)

**Мета роботи** - визначити експериментально і розрахунково:

- оптимальний зазор  $Z_{opt}$ , мм;
- зусилля вирубування  $P$ , кН.;
- ступінь деформації вирубування  $\epsilon_0$ ;
- істинний опір зрізу при вирубуванні  $\sigma_{зр}$ , МПа.

### Загальні відомості

Вирубування - одна із розділових операцій листового штампування, при якій відбувається повне відділення заготовки або виробу від вихідної заготовки по замкнутому контуру зрушенням [1].

Процес вирубування у штампах складається із трьох стадій: пружної, пластичної і сколювання [2].

У першій стадії відбувається пружний вигин металу з легким видавлюванням його в отвір матриці (рис. 2.1, а).

При цьому напруження в металі не перевершують межу пружності.

У другій стадії відбувається вдавлення пуансона в метал і видавлювання його в отвір матриці (рис. 2.1, б). В кінці другої стадії напруження поблизу ріжучих кромek досягають максимального значення, яке відповідає опору металу зрізу.

У третій стадії процесу вирубування у ріжучих кромek матриці утворюються сколюючі тріщини (рис. 2.1, в).

Після подальшого занурювання пуансона і вичерпування місцевої пластичності металу, сколюючі тріщини виникають у ріжучих кромek пуансона (рис. 2.1, г). Ця послідовність сколювання підтверджується тим, що блискучий поясok, який відповідає стадії

різання, на відході значно ширше, ніж на деталі. Сколюючі тріщини, що спрямовані вздовж ліній найбільших деформацій зрушення (поверхонь ковзання), швидко поширюються на внутрішні шари металу і викликають в кінці третьої стадії відділення вирубленої деталі (рис. 2.1, д).

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

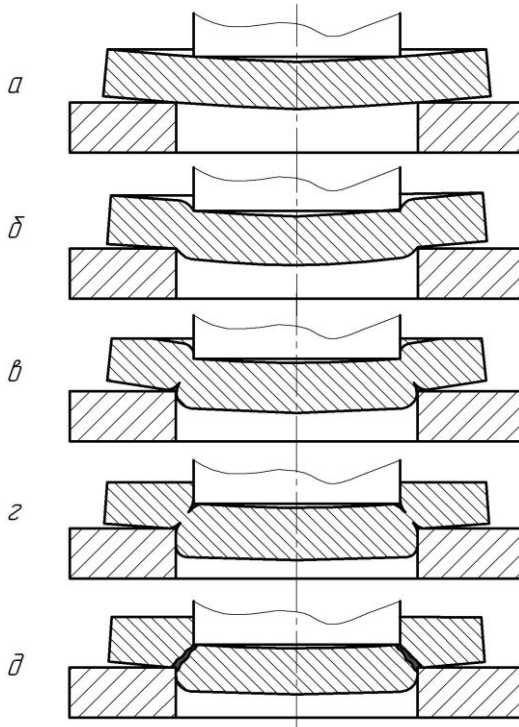


Рисунок 2.1 - Послідовність процесу вирубування при  $Z = Z_{opt}$



перевищувати 15% товщини матеріалу при задовільній поверхні зрізу.

Оптимальний зазор можна визначити за формулою:

$$Z_{\text{опт}} = AS_0^2 + BS_0, \quad (2.1)$$

де  $S_0$  - товщина вихідного матеріалу, мм; А і В - коефіцієнти, що ураховують стан вихідного матеріалу (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1—Значення коефіцієнтів А і В

Коефіцієнти	Стан матеріала			
	м'який	напівтвердий	твердий	загартований
<b>А</b>	0,008	0,009	0,010	0,030
<b>В</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 у нього вирубуємого контуру:

- із конструкцією штампа - величина зазору, конструкція (форма прохідного отвору) матриці;
- з умовами вирубування - швидкість деформування, змащування матеріалу та інструменту, стан ріжучих кромки пуансона і матриці, ступінь твердості цих кромки та інше.

При практичних розрахунках технологічне зусилля вирубування, **Н**:

$$P = kLS_0\sigma_{зр}, \quad (2.2)$$

де  $k$  - коефіцієнт, що ураховує затуплення ріжучих кромки, різновтовщинність металу, зміну зазорів при вирубуванні (приймають  $k = 1, 1...1, 3$ );

$L$  - периметр вирубуємого контуру, **мм**;

$\sigma_{зр}$  - напруження зрізу вихідного матеріалу, **МПа** [3].

Істинний опір зрізу при вирубуванні, **МПа** можливо найти по формулам:

$$\sigma_{зр} = \frac{P}{F_0}; \quad (2.3)$$

$$\sigma_{3P} = \frac{\sigma_B}{\sqrt{3}} n_1; \quad (2.4)$$

де  $P$  - зусилля вирубування, **H**;

$F_0$  - бокова повна поверхня зрізу примірника, **мм<sup>2</sup>**;

$\sigma_B$  - межа міцності даного матеріалу, **МПа**;

$n_1$  - дослідний поправний коефіцієнт.  $n_1 = 1,3$ .

Ступінь деформації матеріалу при вирубуванні: :

$$\varepsilon_\theta = \frac{F_0 - F}{F_0} = \frac{\pi d_n S_0 - \pi d_n (S_0 - i)}{\pi d_n S_0} = \frac{i}{S_0} \quad (2.5)$$

де  $F$  - істинна площа поверхні зрізу, **мм**;

$d_n$  - діаметр пуансона, **мм**;

$i$  - глибина впровадження пуансона у матеріал до виникнення сколюючих тріщин, **мм**.

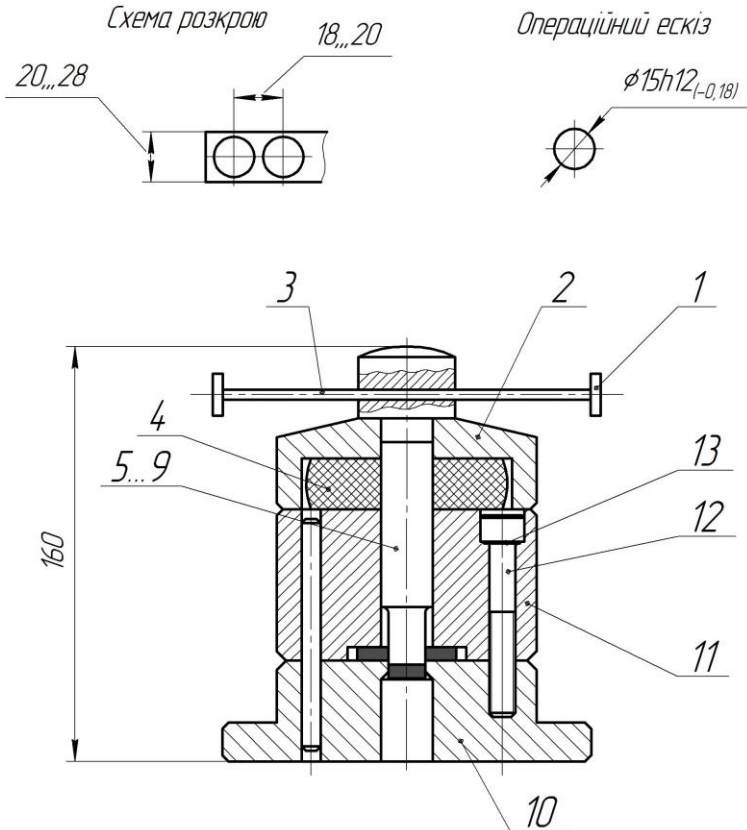
### **Матеріали, інструмент, прилади, обладнання**

Робота виконується на гідравлічному пресі моделі *УДМ-50*. зусиллям 500 кН із використанням експериментального вирубного штампу (рис. 2.4).

Штамп має матрицю 10 з робочим отвором  $\varnothing 15H7$  і комплект змінних пуансонів 5-9:  $\varnothing 14,75h6$ ,  $\varnothing 14,80h6$ ,  $\varnothing 14,90h6$ ,  $\varnothing 14,95h6$ . Пуанسونи приведених діаметрів дозволяють створювати однобічні зазори 0,025...0,125 мм.

Як вимірювальний інструмент використовується мікрометр із ціною поділки 0,01 мм та вимірювальний мікроскоп із такою ж ціною поділки.

Для проведення дослідів використовуються штаби із листового сталевого прокату різних марок завтовшки 1.0...3,0 мм



1 - шайба; 2 - обойма; 3 - вороток; 4 - буфер; 5-9 - пуансони;  
 10 – матриця, 11 - знімач-направляч; 12 - гвинт М8 х 60 ;  
 13 – шайба 8.65Г; 14-штифт 8х90.

Рисунок 2.4 - Експериментальний вирубний штамп

### Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Вивчити будову і принцип дії експериментального вирубного штампу.
3. Виміряти товщину вихідного матеріалу мікрометром у трьох точках і розрахувати її середньоарифметичне значення.
4. Розрахувати оптимальний однобічний зазор  $Z_{OPT}$  за формулою (2.1).



5. Розрахувати технологічне зусилля вирубування кружка діаметром 15 мм за формулою (2.2).

6. Вирубати п'ять кружків діаметром 15мм послідовно різними за діаметром пуансонами (при різних однобічних зазорах). Експеримент проводити із фіксацією максимального зусилля деформації силовимірювальним пристроєм гідропресу. Порядковий номер експерименту маркірувати на кожному виробленому кружку олівцем.

7. Визначити глибину впровадження пуансона в матеріал  $i$  до виникнення сколюючих тріщин при штампуванні кожного кружка. Вона вимірюється під мікроскопом і чисельно дорівнює ширині блискучого пояску плюс радіус закруглення з боку матриці (див. рис. 2.3, б). Встановити кружок "на ребро" на предметному столику мікроскопу за допомогою пластиліну.

8. Розрахувати істинний опір зрізу  $\sigma_{зр}$  за формулою (2.3 або 2.4) для кожного кружка.

9. Розрахувати ступінь деформації при вирубуванні  $\varepsilon_{\theta}$  за формулою (2.5) для кожного кружка.

10. Виміряти мікрометром товщину кожного кружка із задиркою  $S_0 + \Delta S$  (див. рис. 2.3, в) у чотирьох діаметрально протилежних точках та розрахувати її середньоарифметичне значення.

11. Розрахувати висоту задирки  $\Delta S$  кожного кружка за формулою:  $\Delta S = (S_0 + \Delta S) - S_0$ .

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

13. На підставі одержаних результатів побудувати графік залежності висоти задирки від прийнятого однобічного зазору:  $\Delta S = f(Z)$ .

14. Побудувати графік залежності зусилля вирубування від прийнятого однобічного зазору:  $P = f(Z)$ .

### Зміст звіту

1. Стисло викласти відомості про стадії процесу вирубування і про вплив зазору на протікання цього процесу.

2. Привести рис.2.1, 2.2.

3. Заповнити таблицю 2.2.

4. Побудувати графіки залежностей  $\Delta S = f(Z)$  та  $P = f(Z)$  і проаналізувати (у висновках) отримані результати.
5. Зробити ескіз експериментального штампа, рис. 2.4.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків та дослідів

Порядковий номер досліду	Матеріал			Однобічний зазор z, мм		Зусилля вирубування P, кН		Глибина впровадження пуансона до виникнення сколюючих тріщин і, мм	Істинний опір зрізу $\sigma_{зр}$ , МПа	Ступінь деформації при вирубуванні $\epsilon_v$	Товщина кружка з задиркою $S_0 + \Delta S$ , мм	Висота задирки $\Delta S$ , мм
	Найменування, марка	Товщина $S_0$	Межа міцності $\sigma_v$	Розрахунок	Дослід	Розрахунок	Дослід					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

### Контрольні питання

1. Що таке оптимальний зазор при вирубуванні?
2. Як розрахувати зусилля вирубування?
3. Поняття про істинний опір зрізу.
4. Як розрахувати ступінь деформації при вирубуванні?
5. Стадії процесу вирубування.
6. Характер поверхні зрізу, який отриманий при розділовій операції.
7. Який зв'язок між зазором і товщиною деталі, що вирубується?  
Література [2], [3].

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

#### Визначення зусилля, роботи та потужності при різанні в штампах з паралельними ріжучими кромками (4 години)

**Мета роботи.** Ознайомлення з процесами вирубки, пробивання листового матеріалу. Аналіз процесу вирубки листового матеріалу. Визначення залежності зусилля, роботи й потужності вирубки від властивостей матеріалу і його товщини. Виявлення практичних рекомендацій по вибору обладнання.

#### Загальні відомості

Вирубка, пробивання - найбільш розповсюджені технологічні операції холодного штампування. Вирубку застосовують як для отримання заготовок для наступних операцій (гнуття, витяжка та інше) так і для отримання готових деталей. Процес вирубки - пробивання супроводжується пластичною деформацією (зім'яння, зсув, сколювання). Вирубний пуансон, що укорінюється в метал, створює у ріжучих кромках пуансона і матриці напружено - деформований стан: по осі руху пуансона - напруга стиснення, і в перпендикулярному напрямку (в площині заготовки) - напруга розтягування.

В результаті деформації зрізу поблизу кромки вирубленого виробу, пробитого отвору утворюється наклепана зона, яка має підвищену твердість.

Механізм деформування при розподільних операціях складається з трьох стадій (пружна, пластична і сколювання), був докладно викладений в роботі № 2.

Для вибору преса для розподільних операцій необхідно встановити максимальне зусилля роз'єднання металу, величину роботи, що витрачена на формозмінення і потужність.

Розраховане зусилля деформування  $P_d$  можна визначити за формулою:

$$P_d = kLS_o\sigma_{3P} \quad (3.1)$$

де  $k$  - загальний поправочний коефіцієнт, який враховує зміни напруги  $\sigma_{3P}$  внаслідок притуплення ріжучих кромки інструмента,

коливань за товщиною, зміни зазору між ріжучими елементами  $Z$  і інші фактори. Значення коефіцієнта  $k$  при різних умовах роботи знаходять в межах 1,1...1,3;

$L$  довжина контуру деталі (периметр), по якому відбувається розділення металу, мм ;

$S_o$  - товщина початкової заготовки, мм;

$\sigma_{зр}$  - опір металу зрізу, МПа.

Повне зусилля деформування, яке необхідне для підбору і розрахунку обладнання:

$$P_n = P_d + P_\delta, \quad (3.2)$$

де  $P_\delta$  - додаткове зусилля, яке може складатися з зусилля проштовхування деталі і зняття відходу. Величина зусиль  $P_\delta$  залежить від тих факторів, що і зусилля вирубки. Зусилля проштовхування підраховується за формулою:

$$P_{np} = k_{np} \cdot P_d \quad (3.3)$$

в якій  $k_{np}$  - коефіцієнт, що береться з таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Коефіцієнт проштовхування

Матеріал	$k_{np}$
Сталь	0,07
Алюміній, дюралюміній	0,09
Мідь, латунь, цинк	0,09

**Примітка.** При зменшених зазорах і роботі без мастила наведені значення  $k_{np}$  збільшуються на 25%.

Зусилля зняття:

$$P_{zn} = k_{zn} \cdot P_d, \quad (3.4)$$

де  $k_{zn}$  - коефіцієнт, який залежить від співвідношення розмірів заготовки  $B$  і пуансона  $d_n$ , товщини і механічних властивостей матеріала (таблиця 3.2).

Розмір  $B = (d_n + 2a)$ , де  $a$  - перемичка, відстань від краю заготовки до контура, який вирізається.

Таблиця 3.2 – Коefіцієнт зняття

$B/d_n$	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,5</b>	<b>4,0</b>	<b>Вище 4,0</b>
$K_{zn}$	0,013	0,023	0,038	0,051	0,06	0,07

**Примітка.** При роботі без мастила значення коefіцієнта  $K_{zn}$  збільшується на 20%.

В таблиці 3.3 наведені основні механічні характеристики деяких металів, які можуть бути використані для перевірочних розрахунків. В таблиці 3.4 наведені значення відносної глибини проникнення пуансона в заготовку.

Таблиця 3.3 – Основні механічні характеристики

Вихідний матеріал	Межа міцності $\sigma_b$ , МПа	Межа текучості $\sigma_s$ , МПа	Істина напруга $\sigma_{in}$ , МПа	Напруга зрізу $\sigma^3_p$ , МПа	Відносне подовження $\delta$ , %	Відносне поперечне звуження в місці розриву $\psi$ , %
Алюміній	120	-	130	10,2	41	76,3
Мідь М1,М2	230	110	350	18,4	43,8	71,4
Латунь Л68	300	90	450	22,5	51,3	79,9
Латунь Л62	290	170	500	22,0	33,0	-
Технічне залізо	310	190	390	26,35	25,7	78,6
Сталь 08	330	-	-	280	33	
Сталь 08кп	300	22,4	355	255	35	
Сталь Ст3	400	260	490	340	22,2	68,0
Сталь 10кп	320	-	-	272	33	-
Сталь Ст5	550	320	660	467	19,0	60,4
Алюміній АД	80-110	-	-	68-93	25,0	-
Дюралюміній Д16	180-250	-	-	153-212	12,0	-
Алюміній АМц А	100-150	-	-	85-127	25-20	-

Таблиця 3.4 – Значення відносної глибини проникнення пуансона в метал в момент досягнення максимального зусилля різання

Марка метала	Відносна глибина проникнення $i/S_0$ , %			
	Метал м'який (відпалений)		Метал твердий (наклепаний)	
	при $S_0 < 4$ мм	при $S_0 > 4$ мм	при $S_0 < 4$ мм	при $S_0 > 4$ мм
08кл	60...55	-	50	-
10кп;15кп	55...50	-	50	-
20;Ст2	50	45	45	38
25;Ст3	47	40	40	28
М1;М2;М3	55	-	30	-
Л62;Л68	60...55	50	30...20	20
А1; А2	65 ..55	60	50...40	30
АД; АД1	65 55	60	50...40	30
Д1;Д16	50 38	35	35...25	25

Роботу А процесу різання (Дж) визначають за формулою:

$$A = \frac{P_n S_0 9,8}{1000} = \frac{P_n S_0 \lambda}{100}, \quad (3.5)$$

в якій  $P_n$  - повне зусилля деформування в  $H$ ;

$\lambda$  - коефіцієнт, який представляє відношення середнього зусилля різання  $P_{zp}$  до максимального фактичного  $P_n$ . Він виражає відношення площі прямокутника  $P_{zp} S_0$  (рівновеликої площі під кривою різання по діаграмі "зусилля різання - хід пуансона") до площі прямокутника  $P_n S_0$ . Для матеріалів товщиною  $S_0 = 2...4$  мм  $\lambda = 0,55...0,45$  і при  $S_0 > 4$   $\lambda = 0,45...0,30$ .

Для м'яких матеріалів необхідно брати значення коефіцієнта  $\lambda$ , близькі до верхніх меж, для твердих - близькі до нижніх. Необхідну корисну потужність  $N_0$  (л.с.), що знімається з повзуна преса, визначаємо за формулою:

$$N_{\partial} = \frac{9,8An_0}{60 \cdot 75}. \quad (3.6)$$

Ураховуючи формулу (3.6) потужність мотору (***кВт***)

$$N_M = N_{\partial} \frac{cV}{1,36\eta\eta_{пер}}, \quad (3.7)$$

де *c* - коефіцієнт, який враховує режим роботи; *c* = **1,1..1,4** (при тихохідному пресі *c* = **1,1**, при швидкохідному *c* = **1,4**;

*V* - коефіцієнт, рівний відношенню тривалості робочого ходу до тривалості холостого ходу,  $V = S_p / S_x$ ,  $V = 0,7...0,8$ ;

$\eta$  - середнє значення к.к.д. преса;  $\eta = 0,5...0,7$ ;

$\eta_{пер}$  - к.к.д. передачі;  $\eta_{пер} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \dots \eta_n$

де  $\eta_1 - 0,95...0,97$  - к.к.д. ремінної передачі

$\eta_2 - 0,98$  - к.к.д. кожного підшипника

$\eta_3 - 0,95...0,96$  - к.к.д. кожної пари зубчатих коліс і т.п.

В формулі (3.6)  $n_0$  - кількість обертів головного валу чи кількість двійних ходів преса за хвилину.

Робота знайомить студентів з сучасними методами досліджень силового режиму процесу вирубки з застосуванням тензометричної апаратури (осцилограф ***Н-105***, тензопідсилювач ***ТА-5 і 8АНЧ***, датчики опору, месдоза, ходографи та інші прилади).

Студент знайомиться з типовими конструкціями вирубних штампів послідовної, сумісної та простої дії та виявляє практичні рекомендації по вибору обладнання для виконання тієї чи іншої операції листового штампування.

### **Матеріал, інструмент, прилади, обладнання**

Кривошипний одностоечний прес номінальним зусиллям  $P_n - 160\text{кН}$  моделі ***К2322***, на якому установлюється спеціальний вирубний штамп (рис.3.1), який має: 1 - напрямні колонки; 2 - напрямні втулки; 3 - хвостовик; 4 - верхню плиту; 5 - опорну пластину; 6 - еталонну пластину; 7 - кульову месдозу; 8 - пуансонотримач; 9 - рухомий пуансон; 10 - зйомник; 11 - зразок, що випробується; 12 - вирубну матрицю; 13 - нижню плиту.

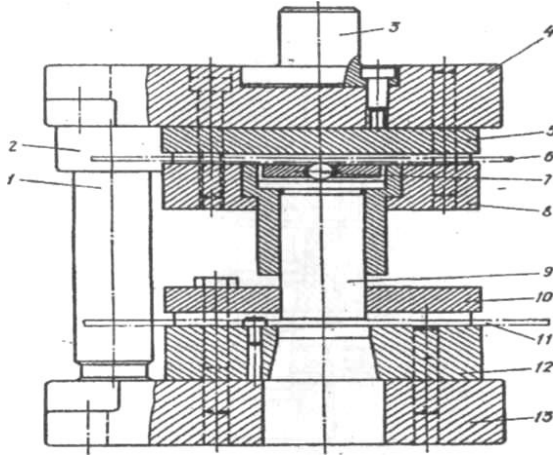


Рисунок 3.1 Штамп для пробивання

При використанні тензометричної месдозы на пресі встановлюється спеціальний вирубний штамп (рис.3.2), який має: 1 - нижню плиту; 2,16 - напрямні колонки; 3 - матрицю; 4,5 - болт з шайбою; 6 - пуансон; 7 - пуансонотримач; 8,15 - напрямні втулки; 9- верхню плиту; 10 - прокладку; 11 - болт; 12 - хвостовик; 14,19 штифти; 17 - зйомник; 18 - напрямні лінійки; 20 - тензометричну месдозу.

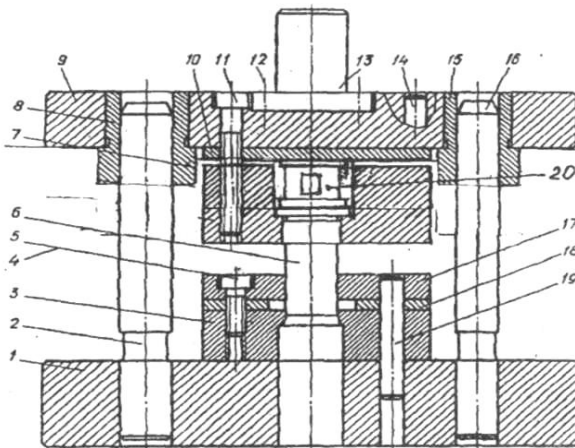


Рисунок 3.2 – Штамп для вирубання



Штаби з листового матеріалу різної товщини (1;1,5;2,0;3,0 мм) зі сталі, алюмінію, латуні.

Для першого варіанту (див. рис. 3.1) вимірювальні інструменти та пристосування; еталонна пластинка з установленною твердістю, лупа - мікроскоп до пресу Бринеля, штангенциркуль.

Для другого варіанту (див. рис. 3.2) вимірювальні інструменти та пристосування: магнітоелектричний осцилограф з тензопосилувачем і комплектом шлейфів, набір матеріалів для проявлення осцилографічних плівок, тензодатчики, месдоза, пристосування для розшифрування плівок; випробувальна машина типу УДМ - 50 для тарювання месدوزи зусилля вирубки і кільцевого ходографа (який використовує тензодатчики); штангенциркуль; мікрометр; масштабна лінійка.

### Порядок виконання роботи

#### I варіант

Перевірити правильність установлення штампів і налагодження преса (прес повинен працювати на одиничних ходах, а штамп надійно закріплений через хвостовик в повзуні і на плиті преса). Перевірити твердість еталонної пластини за діаметром відбитку лунки від кульки преса Бринеля.

Експериментально визначити зусилля вирубки. Для цього необхідно еталонну пластину 6 установити в штамп, як показано на рис.3.1 (зусилля при вирубці повинно передаватися через кульову месдозу 7 на еталонну пластинку 6). Потім установити в штамп матеріал, що випробується, і включити прес на робочий хід: після зупинки преса вийняти зі штампів еталонну пластину і за допомогою лупи - мікроскопа визначити діаметр відбитку кульової месدوزи, а дані занести в таблицю 3.5.

Випробування провести 2-3 рази на кожному зразку різної товщини матеріалу.

На основі експериментальних даних зусилля вирубки зразка можливо розрахувати за формулою

$$P = 0,5HB\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \text{ [кгс]}. \quad (3.8)$$

$$P = 5HB\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \text{ [Н]}. \quad (3.9)$$

де  $HB$  - твердість еталонної пластини по Бринелю;

$D$  - діаметр кульки месдозы ,мм.

$d$  - діаметр відбитку на еталонній пластині, мм;

Таблиця 3.5 – Результати розрахунків та дослідів

Матеріал зразку	Товщина $S$ дослідного матеріала	Розрахунковий зазор між пуансоном і матрицею, мм	Фактичний зазор між пуансоном і матрицею, мм	Діаметр $d$ відпечатка на еталонній пластині, мм	Зусилля вирубаня		Площа зрізу $F_{зр}$ , мм <sup>2</sup>		Опір зрізу $\sigma_{зр}$ , МПа	
					По розрахунку	Получене експериментом $P$ , кгс або Н	Табличне $F_0$	Експериментальне $F$	Табличне	Експериментальне

За формулою (3.2) знайти розрахункове зусилля, яке необхідне для вирубки.

За формулою (2.1) знайти оптимальний зазор  $z_{opt}$  і значення  $P_i$  занести в табл.3.5.

## II варіант

Підключити прилади і апаратуру. Виконати тарирування месдозы зусилля вирубки експериментального штампу і ходографа. Установити і налагодити експериментальний штамп (рис.3.2) на пресі.

Виконати вирубку з записом процесу на осцилографічній плівці. На початку експерименту в штампі установлюється матриця, яка забезпечує оптимальний зазор.

Швидкість запису процесу на плівці -  $0,25$  м/с

Проявити і розшифрувати отримані осцилограми, визначивши для кожної вирубки максимальні значення технологічного зусилля.

Скласти звіт по роботі.

## Зміст звіту

### I варіант

Дати повну характеристику обладнання, приладів, пристосувань, штампів, інструменту, за допомогою яких виконується робота.

Навести схему чи опис налагодження штампа (рис. 3.1), обладнання. Отримані по кожній серії випробувань експериментальні і теоретичні дані, які стосуються зусилля вирубки, занести в табл. 3.5.

Вихідні дані:

а) діаметр кульки месдози  $D=10\text{мм}$ ;

б) твердість еталона в  $HB$ ,

в) розміри робочих деталей штампа, пуансона  $D_{П}$  і матриці  $D_{М}$ .

Для отримання експериментального опору зрізу необхідно зусилля вирубки розділити на площу зрізу зразка, який вирубався.

За даними табл. 3.5 побудувати графіки зміни зусилля вирубки в залежності від зміни товщини і властивостей матеріалу (рис. 3.3) для сталевих (1) і алюмінієвих (2) зразків.

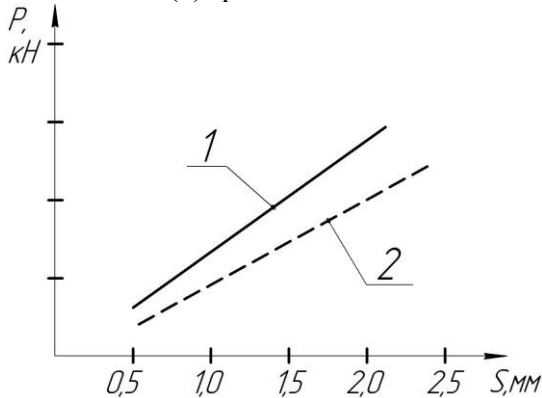


Рисунок 3.3 - Зразок побудованих графіків

Визначивши  $A, N$ , виконуємо виміри габаритних розмірів запропонованих штампів: послідовної і сумісної дії. Виходячи з зусилля, роботи, потужності вирубки, закритої висоти штампа, габаритів штампа вибрати обладнання для виконання технологічної операції

Зробити висновки за результатами роботи.

## II варіант

Дати короткий опис суті питання, яке досліджується, а також обладнання, оснащення, вимірювальної апаратури, які використовувались.

Користуючись даними тарирування (таблиця 3.6), побудувати тарировочний графік месдозы зусилля вирубки.

Таблиця 3.6 – Результати дослідів

Зусилля тарировки, Н	Відхилення проміння шлейфа, мм

Експериментальні значення зусиль вирубки порівняти з розрахованими. Дати оцінку впливу зазора на якість поверхні зрізу.

Розрахункові та експериментальні дані занести до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати дослідів

Матеріал заготовки	Товщина $S_0$ , мм	Опір зрізу $\sigma_{зр}$ , МПа	Діаметр пуансона $D_p$ , мм	Діаметр матриці $D_m$ , мм	Зазор між пуансоном і матрицею, z мм	Зусилля вирубки		Характеристика поверхні зрізу
						По розрахунку	По експерименту $P_n$ , Н	

За даними таблиці 3.7 побудувати для кожного матеріалу заготовок графіки зусиль вирубки в залежності від товщини металу і величини зазору.

Навести по одній типовій осцилограмі тарирування месдозы і процесу вирубки. Вибрати обладнання. Зробити висновки по роботі.

### Контрольні питання

1. Які фактори впливають на вибір обладнання?
2. Чи можлива вирубка з від'ємним зазором?
3. Фактори, які впливають на величину опору зрізу?
4. Як змінюється опір зрізу та чистота зрізу з збільшенням чи зменшенням зазору між пуансоном і матрицею в порівнянні з оптимальним?
5. Як розрахувати роботу та потужність вирубування?
6. Які типи месдоз для заміру зусиль Ви знаєте?

Література [1], [2], [3].

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

#### Дослідження процесу гнуття плоскої заготовки (2 години)

**Мета роботи.** Набути навички експериментального визначення параметрів технологічного процесу і властивостей матеріалу.

#### Загальні відомості

Гнуття вихідної плоскої заготовки супроводжується нерівномірністю деформованого і напруженого стану за товщиною. В зовнішніх шарах заготовки діють розтягуючі тангенційні та стискаючі радіальні напруження. У внутрішніх шарах, які прилягають до пуансона, діють стискаючі напруження в усіх напрямках.

Межею внутрішніх і зовнішніх шарів є поверхня розриву тангенційних напружень. Радіус цієї поверхні  $\rho_n$  називають нейтральним за напруженням. Відрізняється і деформований стан в цих шарах: в зовнішніх іде розтяг в тангенційному напрямку і стиск в радіальному, а у внутрішніх – навпаки.

Шар, довжина якого в тангенційному напрямку в даний момент деформування дорівнює початковій довжині, його радіус називають  $\rho_g$  нейтральним за деформаціями. В загальному випадку  $\rho_n \neq \rho_g$  [4]. Різниця значень цих радіусів збільшується із зменшенням відносного радіуса гнуття  $r/s$ , де  $r$  – внутрішній радіус, а  $s$  – товщина зігнутої дільниці заготовки. Із зменшенням  $r/s$  деформування наростає, а нейтральні шари зміщуються до внутрішньої поверхні зігнутої

дільниці.

Одночасно гнуття супроводжується стоншенням матеріалу, яке можна оцінити величиною

$$\xi = \frac{s_y}{s}, \quad (4.1)$$

де  $s_y$ ,  $s$  – товщина відповідно в даний момент гнуття і до деформування.

При визначенні довжини заготовки необхідно знати  $\rho_g$ . Точне значення цієї величини знайти не вдається, тому використовують наближені формули [1]:

$$\rho_{g1} = (r + 0,5s\xi), \quad (4.2)$$

$$\rho_{g2} = \sqrt{Rr}, \quad (4.3)$$

$$\rho_{g3} = r + xs, \quad (4.4)$$

де  $R$  – зовнішній радіус зігнутої дільниці, мм;

$x$  – коефіцієнт, одержаний в дослідах і залежний від  $r/s$  знаходиться в таблиці 16[1].

Довжина заготовки гнутої деталі визначається виразом:

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{i=1} \varphi_i \rho_{gi}, \quad (4.5)$$

де  $l_i$  – довжина відповідної прямої дільниці деталі, мм;

$\varphi_i$  – кут зігнутої дільниці деталі.

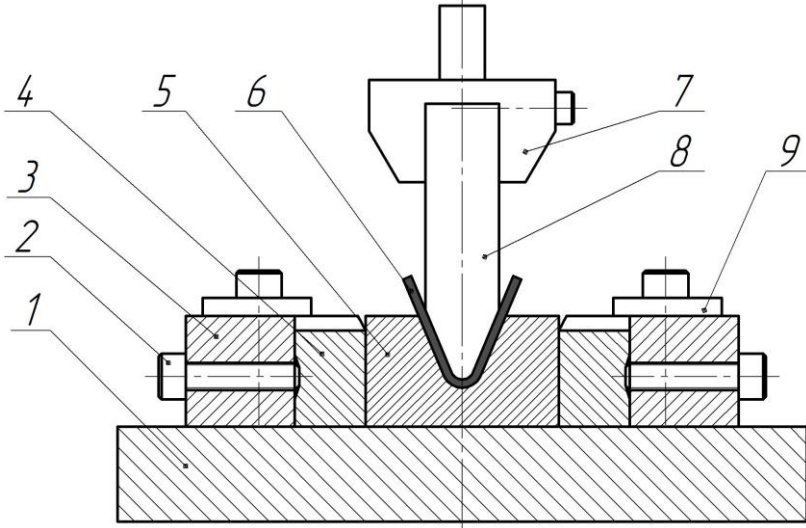
Внутрішній радіус при гнутті обмежується допустимою деформацією зовнішнього шару, бо в ньому при певному значенні  $r$  з'являється тріщина. Найменше значення  $r$ , при якому не відбувається руйнування деталі, називають найменшим допустимим радіусом гнуття  $r_{\min}$ . Значення  $r_{\min}$  залежить від властивостей металу, розміщення лінії згину відносно волокон металу, якості поверхні і термообробки заготовки, місця знаходження і величини задирок.

## **Матеріали, інструменти, прилади, обладнання.**

Гідравлічний чи кривошипний прес.

Штамп для однокутового гнуття з комплектом змінних матриць з кутами  $120^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $30^\circ$  та пуансонів, що при відповідних кутах

мають радіуси закруглення при вершині від 1 мм до 15 мм (рис. 4.1).



1 - плита; 2 - затисний гвинт; 3 - корпус; 4 - затисна планка; 5 - матриця; 6 - заготовка; 7 - пуансонотримач; 8 - пуансон; 9 - упор.

Рисунок 4.1 - Штамп для гнуття

Мікрометр, радіусомір, кутомір, штангенциркуль.

Плоскі зразки 20x60 мм товщиною 1...5 мм із листової сталі двох марок (маловуглецевої і середньовуглецевої) в стані поставки і після відпалу. В кожному комплекті є зразки, волокна яких спрямовані вздовж і поперек майбутньої лінії згину.

### Порядок виконання роботи

1. Вибрати комплект змінних пуансонів з кутом  $\alpha$  при вершині  $90^\circ$  і різними радіусами закруглення та матрицю з кутом  $\alpha=90^\circ$ .

2. Підготувати комплект зразків, який включає:

- без відпалу, з волокнами, які спрямовані вздовж майбутньої лінії згину;

- з відпалом, з таким же напрямком волокон;

- без відпалу, з волокнами, які спрямовані поперек майбутньої лінії згину;

- з відпалом, з таким же напрямком волокон.

3. Заміряти товщину зразка без відпалу, в якого напрямком волокон

співпадає з лінією майбутнього згину і зігнути його пуансоном з найбільшим радіусом.

Дані занести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати гнuttя зразків

Матеріал і термообробка	Напрямок волокон	$r$ , мм	$\alpha^\circ$	$S$ , мм	$S_y$ , мм	$\xi$	$\rho_{g1}$ , мм	$\rho_{g2}$ , мм	Примітка (тріщина)

4. Згинати такі ж зразки пуансоном, зменшуючи радіус закруглення, до появи тріщини.

5. Згинати аналогічно зразки інших партій підготовленого комплекту.

6. Якщо при гнuttі зразків якоїсь партії пуансоном з найменшим радіусом закруглення заготовка не зруйнується, то взяти матрицю і пуансон з кутом  $30^\circ$  і найменшим радіусом. Якщо зразок зруйнується, то наступний зразок гнути пуансоном з більшим радіусом при тому ж куті. Якщо не зруйнується, то гнuttя зразка продовжити плоскими бойками до руйнування або змикання його полиць.

7. Виконати досліди за тією ж схемою для іншого матеріалу.

8. Вирахувати величини, які вказані в таблиці 4.1.

9. За даними таблиці 4.1 побудувати графіки  $\xi = \xi(r)$ ,  $\rho_{g1} = \rho_{g1}(r)$ ,  $\rho_{g2} = \rho_{g2}(r)$  для кожної партії зразків.

10. Вказати  $r_{\min}$  для кожної партії зразків і вплив кожного фактора на його величину.

### Контрольні запитання

1. Як впливають на  $r_{\min}$  механічні властивості металу?
2. Нарисуйте графічну схему напруженого і деформованого стану в зоні розтягу та стиску при гнuttі широкої та вузької смуги.
3. Які фактори впливають на стоншення металу в зоні деформації?
4. Чому допустимі радіуси гнuttя різні при різних напрямках волокон відносно лінії згину?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

### Визначення кута пружинення при гнутті (2 години)

**Мета роботи.** Ознайомлення з явищем пружинення: дослідити вплив механічних властивостей і товщини матеріалу, а також радіуса закруглення пуансона і кута гнуття на кут пружинення.

#### Загальні відомості

Гнуття - одна з найбільш розповсюджених формозмінних операцій холодного штампування. Це процес пружно-пластичної деформації, який протікає по різному з обох боків вигинаємої заготовки. Гнуття здійснюється на спеціальних гнуттєвих машинах, а також в штампах на пресі в ручних або механічних пристосуваннях (див. рис. 4.1).

Процес пластичної деформації вигином супроводжується пружною деформацією, яка зникає при розвантаженні; деформована заготовка в цьому випадку частково встановлює свою форму. Це явище називають пружним наслідком або пружиненням. При гнутті, на відзнаку від інших процесів листового штампування, пружна деформація складає значну частину повної деформації і тоді при розвантаженні будуть відбуватися помітні зміни у взаємному розміщенні частин вигнутої заготовки (рис. 5.1).

Пружне пружинення звичайно виражається в кутовому змінненні і є тою величиною, на яку слід змінити кут гнуття, щоб отримати вимагаємий кут вигнутої деталі. Кут пружинення може бути визначений аналітичним розрахунком пружної деформації або шляхом випробувань і замірів.

Для отримання деталей з заданими розмірами пружні деформації (пружинення) необхідно враховувати при розрахунку виконавчих розмірів інструменту для гнуття. З цією метою коректують розміри пуансона і матриці таким чином:

$$\alpha_{\partial} = \alpha_1 \pm \Delta\alpha, \quad (5.1)$$

$$r_n = r_{\partial} - \Delta r, \quad (5.2)$$

де  $\alpha_1$  - кут пуансона;

$\alpha_{\partial}$  - кут деталі після гнуття;

$\Delta\alpha$  – кут пружинення;

$r_n$  - радіус пуансона;

$r_{\partial}$  - радіус деталі після гнуття;

$\Delta r$  - радіус пружинення.

Слід відзначити, що знак "+" у виразі (5.1) належить до випадку гнуття при відносно великих радіусах округлення пуансону ("позитивне" пружинення), що відповідає рис. 5.1а. Теоретичні дослідження гнуття відносно малих радіусів закруглення пуансона, які виконані І.А. Норіциним і Ю.Г. Калліним [2] показали, що в кінці процесу відбувається розгинання полук заготовки, результатом якого є "негативне" пружинення (див. рис. 5.1б). Воно зростає із зменшенням радіусу гнуття і із збільшенням відстані між опорами заготовки.

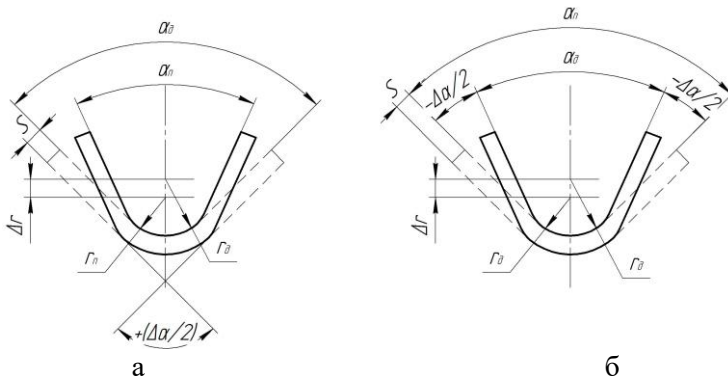


Рисунок 5.1 - Схеми пружинення при гнутті

Крім того, В.Б.Рябініним експериментально встановлено, що для кожного кута деталі  $\alpha_{\partial}$  існує відносний радіус  $r_n / S$ , при якому кут пружинення  $\Delta\alpha = 0$ . Цей відносний радіус є оптимальним, оскільки пружні деформації будуть відсутні.

При вільному гнутті, величина пружного пружинення залежить від пружних якостей матеріалу, ступеня деформації при гнутті.

Співвідношення  $r/S$  [1] кута гнуття та способу гнуття (однокутове V - образне або двокутове П - образне).

Нижче наводяться спрощені формули для наближеного визначення кута пружного пружинення при вільному гнутті і порівняння з отриманими експериментальними значеннями кута пружинення.

Для однокутового V - образного гнуття [1]

$$\operatorname{tg}\beta = 0,375 \frac{l}{kS} \cdot \frac{\sigma_S}{E}, \quad (5.3)$$

для двухкутового П - образного гнуття [1]

$$\operatorname{tg}\beta = 0,75 \frac{l_1}{kS} \cdot \frac{\sigma_S}{E}, \quad (5.4)$$

де  $\beta$  - кут пружинення однобічний:

$k$  – коефіцієнт, який визначає положення нейтрального шару в залежності від  $r/S$  (1).  $k = 1 - x$ , знаходиться з таблиці 16[1];

$l$  - відстань між опорами - губками матриці, мм;

$l_1$  - плече гнуття, рівне  $r_m + r_n + l,25S$ ;

$\sigma_S$  - межа текучості вигинаємого матеріалу, МПа;

$E$  - модуль пружності вигинаємого матеріалу, МПа.

Практично кут пружинення визначається як різниця між величиною кута деталі (після штампування) та кута пуансона гнуттєвого штампа для залежності  $R < 10S$  ;

$$2\beta = \Delta\alpha = \alpha_{\partial} - \alpha_{\Pi}, \quad (5.5)$$

де  $R$  - радіус закруглення пуансона;

$\Delta\alpha$  - кут пружинення;

$\alpha_{\partial}$  - кут вигнутої заготовки після розвантаження;

$\alpha_{\Pi}$  - кут вигнутої заготовки до розвантаження (кут інструмента, див. рис. 5.1).

При гнутті з великими радіусами закруглення, необхідно визначити не кутове пружинення  $\Delta\alpha$ , а пружне змінення радіуса після

гнуття ( $\Delta\gamma$ ).

На основі досліджень встановлено, що на величину пружинення впливають: механічні властивості матеріалу, радіус вигину та спосіб гнуття (вільне гнуття або гнуття в упор із чеканенням кута).

### **Матеріали, інструмент, прилади, обладнання**

Прес кривошипний зусиллям  $P_n=0,1\text{MN}$  моделі КА2320; зразки листової сталі двох марок, з різним вмістом вуглецю та зразки з алюмінію різної товщини. Матеріали беруться в стані постачання; штамп для однокутового гнуття із змінними матрицями та пуансонами з кутом гнуття  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ; матриці і пуансони мають радіус закруглення 5, 10, 20 мм. Кутомір, лінійка, радіусомір, штангенциркуль.

### **Порядок проведення роботи**

За літературними даними встановити межу текучості матеріалу зразків, які використовують для експерименту.

Підготовлені зразки встановити в гнуттєвий штамп (див. рис. 4.1).

Після гнуття замірити кути вигнутих зразків та визначити кут пружинення. Отримані дані занести до таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1 – Результати гнуття зразків**

<b>Матеріал зразка</b>	<b>Межа текучості <math>\sigma_s</math>, МПа</b>	<b>Кут <math>\alpha_п</math> гнуття, град</b>	<b>Кут зразка після гнуття <math>\alpha_0</math>, град</b>	<b>Кут пружинення <math>\Delta\alpha</math>, град</b>

Випробування проводити не менше двох разів для кожного матеріалу.

За результатами випробувань побудувати графік залежності кута пружинення від межі текучості матеріалу зразків при вільному гнутті.

В штамп з радіусом закруглення у матриці і пуансона  $R=5$  мм та кутами гнуття  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  та  $120^\circ$  встановити відповідно вигнуті зразки та здійснити гнуття з чеканенням. Після гнуття визначити кути вигнутих

зразків та кут пружинення. Отримані дані занести до таблиці 5.2.

За результатами дослідів побудувати графік впливу чеканення на величину кута пружинення.

Щоб вивчити вплив радіуса вигину, величину пружинення, зразки однієї марки сталі вигинати в штампах з одним кутом гнуття і радіусом закруглення матриці і пуансона 5, 10, 20 мм.

**Таблиця 5.2 - Результати гнуття зразків**

Матеріал зразка	Кут гнуття $\alpha$ , град	Кут зразка після чеканення $\alpha_0$ , град	Кут пружинення $\Delta\alpha$ , град

Гнуття проводити без чеканення (рис. 5.1). Гнуття починати пуансоном і матрицею з радіусом закруглення  $R=5$  мм та кутом вигину 90. Після виконання даного гнуття штамп переналагодити на гнуття з радіусом закруглення у пуансона та матриці  $R=10$  мм, а після другого гнуття переналагодити його на гнуття з радіусом закруглення пуансона і матриці  $R=20$  мм. Після гнуття визначити кути вигнутих зразків і пружинення. Отримані дані занести до таблиці 5.3.

**Таблиця 5.3 – Результати гнуття зразків**

Матеріал зрізка	Радіус гнуття $R$ , мм	Кут гнуття $\alpha$ , град.	Кут зразка після гнуття $\alpha_0$ , град.	Кут пружинення $\Delta\alpha$ , град.

За результатами випробувань побудувати графіки залежності кута пружинення від радіуса вигину.

### **Зміст звіту**

Навести ескіз штампа для виконання лабораторної роботи (рис. 5.1).

Побудувати графік залежності пружинення від вивчаємих факторів за результатами випробувань, наведених у таблиці 5.1; 5.2;

5.3. Зробити висновки за результатами роботи.

### **Контрольні питання**

Вплив товщини матеріалу і межі текучості на величину кута пружинення.

1. Вплив величини кута гнуття на величину пружинення.
2. Як змінюється кут пружинення з збільшенням радіуса гнуття?
3. Методи зменшення величини пружинення.

Література [1], [2].

### **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6**

#### **Визначення граничного коефіцієнта витягування листового матеріалу для штампування виробів (2 години)**

**Мета роботи.** Вивчення процесу витягування циліндричних виробів на першому переході з притиском заготовки до матриці. Визначення граничного ступеня формозмінення (коефіцієнта витягування, який забезпечує отримання придатного виробу). Вплив зусилля притиску на значення коефіцієнта витягування, вплив мастила на значення граничного коефіцієнта витягування.

#### **Загальні відомості**

Витягування без заданого потоншення стінки - це процес перетворення плоских заготовок у порожнисті деталі різних форм (або подальше змінення розмірів витягнутих виробів).

Витягування проводиться на витяжних штампах за одну або декілька операцій в залежності від потрібної глибини витягування і діаметра виробу. Під час першої операції проходить вивертання плоскої заготовки в порожнистий виріб визначеного діаметра, на наступних операціях - зменшення діаметра та збільшення висоти виробу. Отож, витягування проходить за рахунок пластичної деформації, яка супроводжується зміщенням значного об'єму металу в висоту. Зміщений об'єм виражається [2] формулою:

$$V_{3M} = \frac{\pi}{4} S(D-d)^2. \quad (6.1)$$

При великому ступеню деформації, що відповідає глибокому

витягуванню, і при невеликій товщині матеріалу, зміщений об'єм є причиною утворення гофрів та зморшок.

На рис. 6.1 наведено схематичне зображення процесу витягування без притиску: де 1 - пуансон; 2 – заготовка, що деформується; 3 - матриця. На рис. 6.2 наведена схема витягування з притиском:

де 1 - пуансон; 2 - притиск; 3 - заготовка; 4 - матриця.

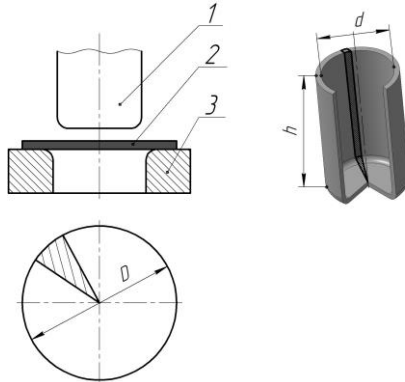


Рисунок 6.1 - Схема зображення процесу витягування без притиску

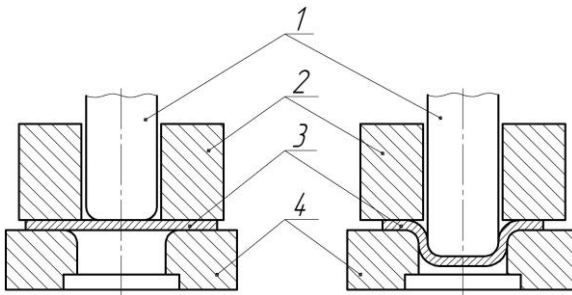


Рисунок 6.2 - Схема зображення процесу витягування з притиском

У процесі витягування плоска заготовка діаметром  $D$  вивертається в циліндр діаметром  $d$  та висотою  $h$ , зайвий метал із фланця витиснюється. Витиснений метал зображений заштрихованими секторами на дні. Як видно з рис. 6.1, частина сектора (трикутник), яка припадає на дно виробу, змінюється мало, частина ж, яка утворює стінку, перетворюється у витягнутий

прямокутник і зазнає найбільше змінення.

Для процесу витягування характерні радіальні розтягуючі та тангенціальні стискаючі напруження. У дні виробу радіальні напруження діють як двовісні порівняно невеликі розтягуючі напруження. Вони викликають деяке потоншення дна (2...3%). У стінках циліндричного ковпачка діють одновісні розтягуючі напруження. Величина їх зменшується від дна ковпачка до краю фланця: в місці переходу дна в стінку напруження найбільші, біля краю фланця - дорівнюють нулю. У плоскій частині заготовки витягуємого ковпачка, яка знаходиться під притиском (див. рис. 6.2), діють також радіальні розтягуючі та тангенціальні стискаючі напруження.

Тангенціальні напруження стиснення збільшуються від поля в вертикальній стінці ковпачка до найбільшої величини біля краю фланця. Діючі напруження тим більше, чим більший діаметр заготовки, витягуємої в дану матрицю.

При витягуванні виробу без фланця із заготовки будь якого діаметра, краї її підіймаються і, якщо відносна товщина її достатньо велика,  $\Delta = \frac{S}{D} \cdot 100 \geq 2$  ( $S$  товщина матеріалу) або  $D - d \leq 18S$ , зморшкоутворення не відбувається, так як зміщений об'єм невеликий і витягування можна здійснити без притиску. У випадку  $\Delta \leq 1,5$  витягування здійснюють з притиском. Основним способом витягування є витягування з притиском. Відношення діаметра витягнутого ковпачка  $d$  до діаметра заготовки  $D$  приймається за ступінь деформації при витягуванні і носить назву коефіцієнта витягування. Останній характеризує максимально можливе зменшення діаметра заготовки за один перехід при відсутності розмірів матеріалу. Для запобігання утворення зморшок застосовують притиск. Але для процесу витягування притиск заготовки небажаний, так як збільшується шкідливий опір тертя, а отож, розтягуючі напруження в небезпечному перерізі, і погіршуються умови витягування. Крім того, притиск ускладнює конструкцію штампа. Зусилля притиску заготовки до матриці є одним із важливих факторів, які впливають на процес витягування.

При недостатній силі притиску на заготовці утворюються гофри, а при надмірній силі притиску відбувається розрив заготовки. Щоб



провести витягування, необхідно прикласти визначене зусилля, величина якого залежить від механічних якостей матеріалу, його товщини, розміру виробу, коефіцієнта витягування, коефіцієнта тертя між заготовкою і інструментом.

Для визначення потрібного зусилля витягування використовуються або теоретичні, або емпіричні формули [1], [2].

Для витягування циліндричних деталей з плоскої заготовки [1] зусилля притиску:

$$Q = \frac{\pi}{4} [D^2 - (d_1 + 2r_M)^2] q, \quad (6.2)$$

де  $D$  - діаметр заготовки, мм;

$d_1$  - діаметр виробу, що витягується, мм;

$r_M$  - радіус закруглення робочої кромки матриці, мм;

$q$  - питоме середнє зусилля притиску, МПа.

Значення  $q$  для різних матеріалів за дослідними даними:

сталь м'яка	
$S < 0,5$	2,0...3,0
$S > 0,5$	1,5...2,5
латунь	1,0...2,0
мідь	1,0...1,5
алюміній	0,6...1,2

### **Матеріали, інструмент, прилади, обладнання**

Кривошипний прес простої та подвійної дії з закритою висотою штампового простору, достатнього для роботи витяжного штампа; зразки з листової мало вуглецевої якісної сталі 08КП, 08Ю, товщиною - 1...1,5 мм різних діаметрів з різницею в 2...3 мм; мастило, яке використовується при витягуванні автокузовних деталей; штангенциркуль; лінійка; мікрометр; радіусовимірювач; спеціальний витяжний штамп з гідравлічним притиском; насос гідравлічний ручний.

### **Порядок проведення роботи**

Ознайомитись із роботою штампа (рис. 6.3) і преса. Штамп складається з таких деталей: 1 - пуансонотримач; 2 - пуансон; 3 -

гідроциліндр; 4 - кільцевий плунжер; 5 - манжета; 6 - фіксатор месдози; 7 - месдоза; 8 - притиск; 9 - колонка; 10 - пружина; 11 - матриця; 12 - нижня плита; 13 - масляний резервуар; 14 - ручний насос; 15 - мікрометр; 16 - запорний клапан.

Визначити товщину матеріалу, що випробується, перед експериментом за допомогою мікрометра.

Замірити внутрішній діаметр і радіус закруглення робочих кромek матриці за допомогою штангенциркуля і радіусоміра.

Замірити діаметр і радіус закруглення робочих кромek пуансона. Визначити однобічний зазор між пуансоном та матрицею. Встановити, чи відповідає він прийнятним зазорам для даної товщини матеріалу (мм), за залежністю:

$$Z_B = (1,25 \dots 1,4)S, \quad (6.3)$$

Визначити найбільший діаметр заготовки  $D$ , який забезпечує отримання придатного виробу для даної марки сталі, використовуючи табличні значення коефіцієнта витягування в залежності від радіуса закруглення матриці [1] (табл. 6.2), перевіривши, чи узгоджується відносна товщина заготовки з табличною.

Замірити діаметри зразків та визначити аналітично зусилля притиску для кожного діаметра заготовки за формулою (6.2).

Вимагаєме зусилля притиску утворюється тиском плунжера гідроциліндра на притисне кільце.

Тиск плунжера на притисне кільце визначається відношенням потрібного зусилля притиску до площі плунжера і встановлюється по манометру, який показує тиск (МПа) в гідроциліндрі:

$$q' = \frac{Q}{f}, \quad (6.4)$$

де  $q'$  - показник манометра, МПа;

$Q$  - потрібне зусилля притиску, МН;

$f$  - площа плунжера гідравлічного циліндра, м<sup>2</sup>.

Площа плунжера гідравлічного циліндра визначається як різниця площ зовнішнього та внутрішнього діаметрів кільцевого плунжера.

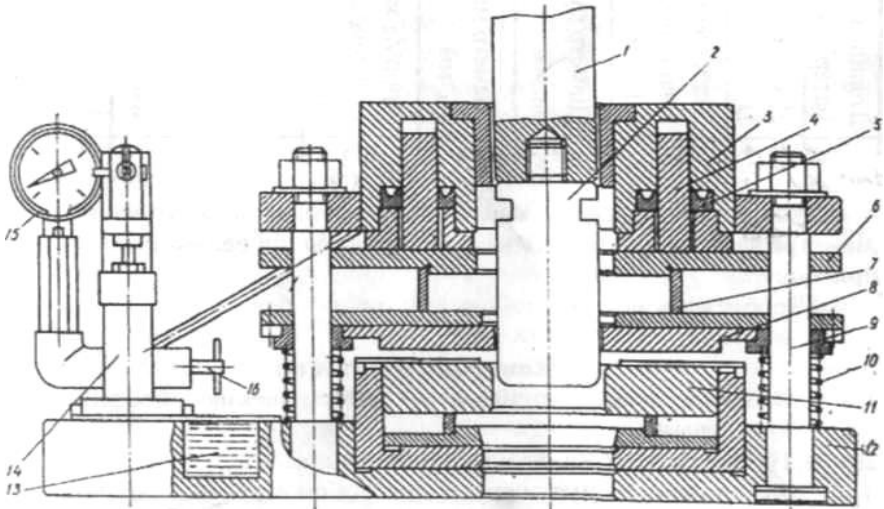


Рисунок 6.3 - Штамп експериментальний

Встановити в штамп заготовку найменшого діаметра і притиснути її до матриці відповідно розрахунковому зусиллю. Здійснити витягування ковпачка без мастила. На кожне наступне витягування діаметр заготовки збільшувати на 2..3 мм. Штампувати заготовки аналогічно першій для отримання ковпачка з розривом.

Повторити дослід з використанням мастила. Визначити граничні значення коефіцієнта витягування.

Під час виконання роботи фіксувати всі результати замірів і занести до таблиці 6.1.

### Зміст звіту

Дати ескіз штампа для витягування ковпачків, а також схему витягування.

Побудувати графіки залежності коефіцієнта витягування від діаметра заготовки, коефіцієнта витягування, від величини зусилля притиску. Зробити висновки.

Таблиця 6.1 - Результати замірів витягнутих ковпачків

Товщина S матеріалу, мм	Діаметр заготовки Dз, мм	Відношення товщини заготовки S/Dз 100	Діаметр пуансона dп, мм	Діаметр матриці dм, мм	Зазор Zв між пуансоном і матрицею, мм	Коефіцієнт витягування m	Показники манометра q', МПа	Зусилля притиску Q, Н	Примітка

### Контрольні питання

1. Фактори, які впливають на значення коефіцієнта витягування.
2. Вплив мастила на ступінь витягування.
3. Як впливає радіус закруглення робочої кромки матриці на ступінь витягування?
4. Вплив зусилля притиску на якість деталі, що витягують.

Література [1], [2].

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

#### Визначення граничного коефіцієнта відбортовки круглих отворів в листовому матеріалі (2 години)

**Мета роботи.** Визначити граничний коефіцієнт відбортовки і ступінь деформації металу при відбортовуванні.

#### Загальні відомості

Відбортовка розподіляється на два основних види: відбортовка отворів і відбортовка зовнішнього контуру. Відбортовка отворів - це утворення бортів навколо попередньо пробитих отворів (інколи без них) або по краю порожнистих деталей (закатка бортів для створення жорсткості виробу) наслідок розтягування металу.

Відбортовка отворів широко використовується в

штампувальному виробництві для заміни операції витягування з наступним вирубанням дна. Особливо велику ефективність дає застосування відбортовки отворів при виготовленні деталей з великим фланцем, коли витягування затруднене і потребує декілька переходів. При відбортованні отворів частина заготовки, що деформується знаходиться в плоско напруженому (розтягування в радіальному та тангенціальному напрямках) та об'ємно-деформованому стані.

При цьому радіальні розтягуючі напруження максимальні у кромки матриці і дорівнюють нулю у кромки отвору. Таким чином, метал у отвору заготовки знаходиться в умовах лінійного напруженого стану. Це приводить до того, що при відбортовуванні отворів відбувається подовжене розтягування волокон у тангенціальному напрямку - і зменшення товщини матеріалу, тобто звуження в поперечному напрямку. Напружений стан в цій операції відповідає схемі двовісного розтягу. Можливість відбортовки отворів без розриву борта визначається за допомогою коефіцієнта відбортовки, який дорівнює відношенню діаметра отвору в заготовці  $d_0$  до діаметра борта по середній лінії (рис. 7.1):

$$K_{ВД} = \frac{d_0}{D}. \quad (7.1)$$

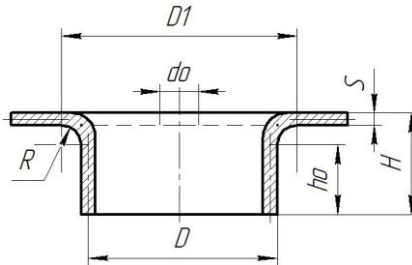


Рисунок 7.1 - Схема відбортовки

Геометричні розміри при відбортованні визначають з рівності об'ємів деталі та заготовки. Звичайно висота борта буває задана кресленням деталі. У цьому випадку, діаметр отвору під відбортовку  $d_0$  із достатньою для практики точністю підраховують тим же методом, який використовується при розрахунку заготовок для простого гнуття [2] за визначеним радіусом:

$$d_0 = D_1 - \pi \left( R + \frac{S}{2} \right) - 2h_0. \quad (7.2)$$

Висота борта визначається за залежністю

$$h_0 = H - (R + S), \quad (7.3)$$

де позначення відповідають рисунку 7.1.

Дослідами встановлено [1], що граничний коефіцієнт відбортовки залежить від наступних факторів:

- роду матеріалу та його механічних якостей;
- відносної товщини заготовки  $(S/d_0) \cdot 100$  ;
- характер відбортовки та стану кромek отворів в заготовці (пробивка та свердлення, наявності або відсутності задирок);
- форми робочої частини пуансона.

Форма пуансона впливає не тільки на коефіцієнт відбортовки, але й на зусилля та весь хід процесу відбортовки.

Граничний коефіцієнт відбортовки для пробитих отворів більше, чим для отворів, які отримані свердленням, так як торцева поверхня пробитих отворів наклепується. Встановлено, що з збільшенням відношення  $(S/d_0) \cdot 100$  граничний коефіцієнт відбортовки знижується. Зусилля, яке необхідне для відбортовки циліндричним пуансоном, може бути наближено визначене за формулою А.Д.Томленова [2].

Найменша товщина (мм) біля краю борта складає:

$$S_1 = S \sqrt{K_{ВД}}. \quad (7.4)$$

### **Матеріали, інструмент, прилади, обладнання**

Кривошипний прес простої дії моделі К2126 (0,4 МН); зразки з листової маловуглецевої сталі 08кп, 08Ю, товщиною  $S = 0,9 \dots 1$  мм з отвором різного діаметра; штамп для відбортовки; кресалка; ножовка слюсарна; напилек; штангенциркуль; мікрометр; лінійка; радіусомір.

### **Порядок проведення роботи**

Ознайомитись з роботою преса, штампа і надати їх характеристику.

П'ять заготовок із сталі 08КП або 08Ю з отворами, діаметри яких відрізняються один від одного на 3 мм, підготувати до

випробування.

Замірити товщину заготовок мікрометром, а діаметри отворів штангенциркулем. На заготовки з найбільшим і найменшим діаметрами отворів нанести координатну сітку з відстанями між рисками 5 мм для визначення найменшої і найбільшої величини пластичної деформації. Пронумерувати ряди сітки від краю отвору до краю заготовки, як показано на рис. 7.2. Відбортовку отвору починати з найбільшого діаметра.

На пуансон відбортовочного штампа (рис. 7.3) встановити фіксатор, який відповідає найбільшому діаметру отвору. На фіксатор встановити заготовку, включити прес і відбортувати. Аналогічно відбортувати всі інші зразки до тих пір, поки не з'являться тріщини на краях відбортованого отвору. Після виконання відбортовки замірити діаметри відбортованих отворів та інші розміри зразка. Всі заміри занести до таблиці 7.1.

Визначити відношення  $S/d_0$ , коефіцієнт відбортовки і порівняти з табличним ([1], таблиця 7.1). При відбортовці не допускається наявність тріщин, які свідчать про порушення цілісності металу. Граничний коефіцієнт відбортовки забезпечує відбортовку без тріщин, а якщо є, то можуть бути видалені обрізуванням торця відбортованого отвору (горловини).

Замірити змінні розміри координатної сітки (див. рис. 7.2).

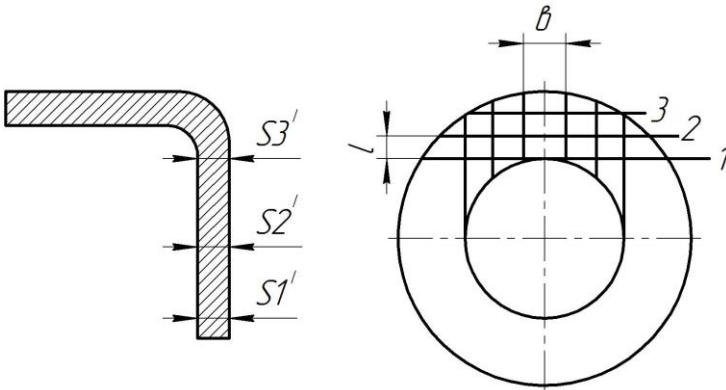


Рисунок 7.2 - Схема відбортовки з координатною сіткою.

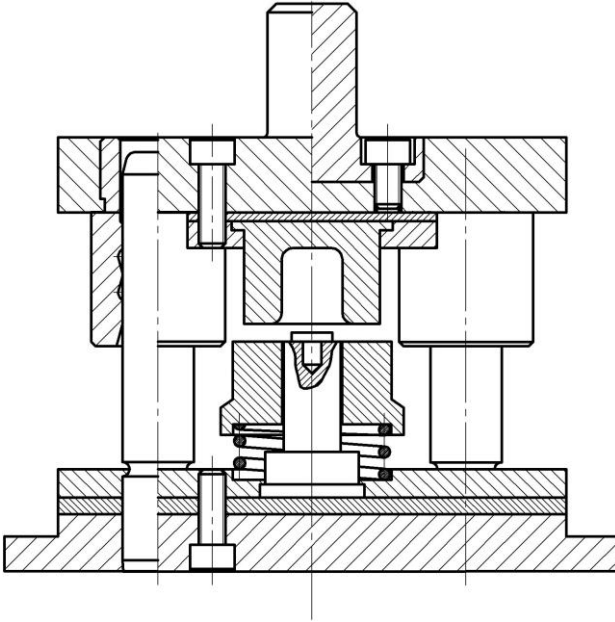


Рисунок 7.3 - Штамп експериментальний для відбортовки

Зразки з сіткою розрізати по діаметру ножовкою, зачистити задирки напильником та замірити товщину відбортованої стінки по поясам (рис. 7.2). Товщину біля краю борта порівняти з розрахунковою (рис. 7.3).

Замірити висоту циліндричної ділянки борта.

Дані замірів деформованої координатної сітки і товщини стінки занести до таблиці 7.2.

За даними результатами замірів визначити головні деформації для зразків з мінімальною та граничною деформацією [1] за формулами:

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{b'}{b}; \quad \varepsilon_2 = \ln \frac{l'}{l}; \quad \varepsilon_3 = \ln \frac{S'}{S};$$

де  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  - логарифмічні деформації за трьома напрямками;

$b, b'$  - ширина клітки до та після деформації, мм;

$l, l'$  - довжина клітки до та після деформації, мм;



$S, S'$  - товщина металу до та після деформації, мм.

**Таблиця 7.1 - Результати замірів відбортовки**

№ досліду	Марка матеріалу	Товщина $S$ заготовки, мм	Відношення товщини матеріалу до діаметра отвору $S/d_0$	Коефіцієнт відбортовки $K_{вдб}$	Товщина краю стінки відбортованого отвору, мм		Висота $h_0$ циліндричної ділянки відбортованого отвору	Примітка
					Експериментальна	Розрахункова		

**Таблиця 7.2 - Результати замірів деформованої координатної сітки**

№ заміру	№ зразка	№ ямки сітки	$b$	$b'$	$l$	$l'$	$S$	$S'$	$\varepsilon$

Підрахувати середнє значення кожної деформації з трьох замірів.

Визначимо загальну об'ємну деформацію [2] за формулою:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2} \quad (7.5)$$

### **Зміст звіту**

Дати ескіз відбортованого штампа, схему нанесення сітки та місць заміру.

Побудувати графік залежності ступеня деформації від коефіцієнта відбортовки.

Зробити висновки за виконаною роботою.

### Контрольні питання

1. Як змінюється товщина стінки відбортованого отвору в залежності від ступеня деформації, від коефіцієнта відбортовки?
  2. Як залежить коефіцієнт відбортовки від способу отримання отвору?
  3. Чим відрізняється відбортовки зовнішнього контуру від відбортовки отворів?
- Література [1], [2], [3].

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

#### Дослідження ротаційної витяжки (2 години)

**Мета роботи.** Набути практичних навичок дослідження локальних методів обробки металів тиском, вибору допустимих деформацій.

#### Загальні відомості.

Ротаційна витяжка застосовується при виготовленні асиметричних деталей та заготовок в першу чергу в мало серійному виробництві, тому що потрібне нескладне оснащення і порівняно мале зусилля. Деформування листової заготовки здійснюється натискувачем, який має велику робочу поверхню або ролик, який крутиться відносно своєї осі. Заготовка, як правило, закріплюється на оправі яка крутиться з заданою частотою. Робочий інструмент (натискувач або ролик) переміщається за заданою траєкторією. Деформація при цьому є локальною, тобто в будь-який момент деформується тільки незначний об'єм заготовки.

Осередок деформації рухається відносно заготовки за гвинтовою лінією. Схема процесу витяжки циліндричної деталі із плоскої заготовки показана на рис. 8.1.

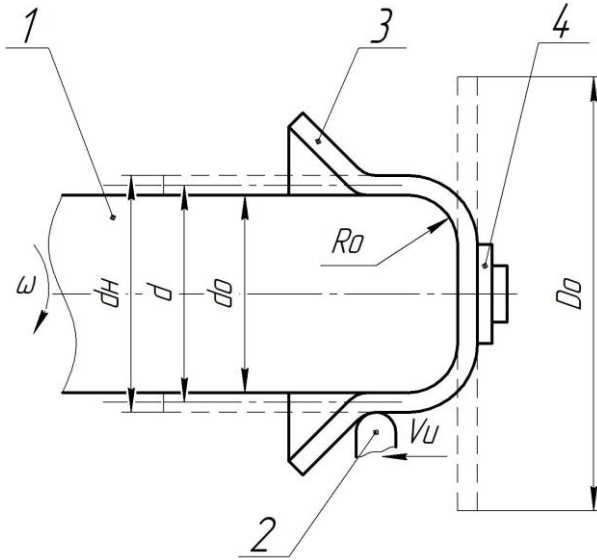
Формозмінення при витяжці можна характеризувати коефіцієнтом витяжки:

$$m = \frac{d}{D_0}, \quad (8.1)$$

де  $d$  – діаметр виробу по середній поверхні виробу, мм;

$D_0$  – діаметр заготовки, мм.

Якщо коефіцієнт витяжки в конкретних умовах деформування менший певного значення, з'являються різні дефекти (складки через втрату стійкості, тріщини) які роблять неможливим подальше формозмінення.



1 – оправа; 2 – натискач; 3 – заготовка; 4 – притискач.  
Рисунок 8.1 – Схема ротаційної витяжки

Тоді виріб можна одержати за кілька переходів. В кожному переході формозмінення оцінюють відповідним коефіцієнтом витяжки:

$$m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}}, \quad (8.2)$$

де  $d_i$  - діаметр виробу за середньою поверхнею в даному переході, мм;

$d_{i-1}$  - те саме, але в попередньому переході, мм.

Тоді за  $n$  переходів:

$$m = m_1, m_2, \dots, m_n$$



Величини, які заносять в таблицю 8.1, визначити за формулами:

$$F_o = \frac{\pi D_o^2}{4}; \quad (8.3)$$

$$H_H = \frac{H_e + H_M}{2}; \quad (8.4)$$

$$d = d_H - s; \quad (8.5)$$

$$H = H_H - \frac{S}{2}; \quad (8.6)$$

$$r = r_o + \frac{S}{2}. \quad (8.7)$$

$$F = 0,25\pi \left[ (d - 2r)^2 + 2\pi r(d - 2r) + 8r^2 + 4d(H - r) \right], \quad (8.6)$$

де  $d_H$  – зовнішній діаметр циліндричного зразка, мм;

$H_B$  – найбільша висота зразка, мм;

$H_M$  – найменша висота зразка, мм;

$F_o$  – площа вихідної заготовки, мм<sup>2</sup>;

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

### Зміст звіту

Надати ескіз експериментального пристрою та витяжних зразків.

Побудувати графік залежності коефіцієнта витяжки від ступеня деформування, від роду матеріалу, від мастила.

### Контрольні питання

1. Якими показниками оцінюють деформацію та формозмінення при ротаційній витяжці?
2. В яких випадках доцільно застосовувати ротаційну витяжку?
3. Як змінюється площа поверхні виробу при ротаційній витяжці?
4. Як змінюються властивості виробу при ротаційній витяжці?  
Література [1], [2], [4].

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9**

### **Штампування еластичним середовищем (2 години)**

**Мета роботи.** Аналіз розділових та формозмінюючих операцій штампування еластичним середовищем.

#### **Загальні відомості**

В умовах дрібносерійного та дослідного виробництва звичайні методи штампування, де використовують дороге технологічне оснащення, недостатньо ефективні і раціональні. Необхідність швидкого освоєння нових видів виробів вимагає застосування нових технологічних процесів із використанням дешевого універсального оснащення. До таких процесів належить, зокрема, штампування еластичним середовищем - гумою або поліуретаном.

Штампування еластичним середовищем застосовується для здійснення як розділових (вирубання заготовок за контуром, пробивання отворів), так і формозмінюючих операцій (формування рельєфів, відбортовка, витяжка).

Матеріал з якого вирізають деталі це алюмінієві та мідні сплави товщиною від 0.05 до 3 мм, сталь (вуглецева, легована, нержавіюча), титанові сплави товщиною до 1,5 мм. При необхідності можливо вирізати деталі з більш товстих матеріалів (до 5 мм), але при цьому потрібний дуже високий тиск поліуретана і при цьому помітно знижується якість виготовлення деталі. Мінімальні діаметри пробивасмих отворів і ширина пазів залежить від тиску поліуретана і складає 2-3 товщини матеріала деталі.

Найменший розмір перемичок між отворами, пазами і краєм деталі залежить в основному від їх довжини і обмежується шириною рівною 3-5 товщинам матеріала деталі. Внутрішні кути деталей повинні мати закруглення по дузі кола з радіусом не менше товщини матеріала.

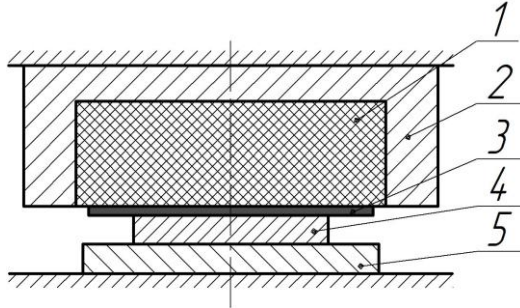
Штамп для вирубання складається із одного робочого елемента шаблона, який виконує роль чи пуансона чи матриці. Роль другого робочого елемента виконує еластичне середовище (рис. 9.1-9.3).

Процес вирубання на еластичній матриці (рис. 9.2) можливо розбити на декілька частин.

В початковій стадії процесу гума контейнера загинає краї

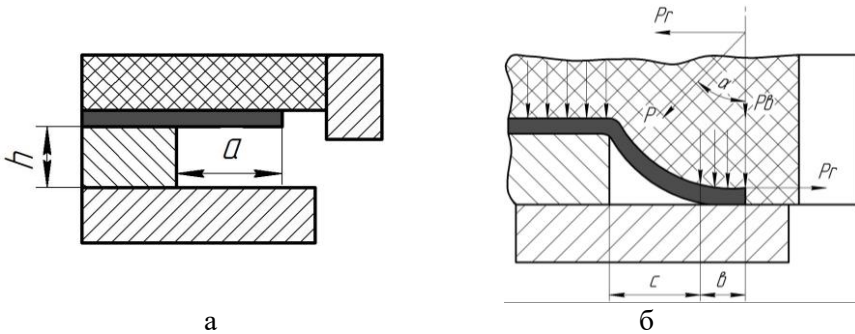
матеріалу (шириною "а"), який звисає навколо пуансона і притискає їх до підштампової плити.

При подальшому стисненні гума тисне на відігнуті краї і відрізує їх за кромкою пуансона.



1 - еластичне середовище; 2 - контейнер; 3 - заготовка; 4 - копір-пуансон (шаблон); 5 - підштампова плита.

Рисунок 9.1 - Схема вирубання еластичним середовищем:



а - початкове положення; б - притиск напуску; в - відділення заготовки від напуску.

Рисунок 9.2 - Послідовність операції вирубання:

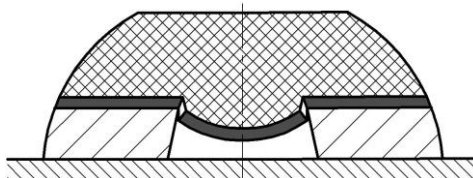


Рисунок 9.3 - Схема пробивання еластичним середовищем

З рис. 9.2 видно, що під дією вертикальної складової вектора тиску  $P_B (P_B = P \cos \varphi = qc \cdot \cos \varphi)$  проходить розділення матеріала, а під дією горизонтальної складової вектора тиску  $P_T (P_T = P \sin \varphi = qc \cdot \sin \varphi)$  - підтягування напуску до торця копіра - пуансона (шаблону). Зрівняння горизонтальної складової вектора тиску  $P_T$  здійснюється за рахунок зусиль тертя між притиснутої частини напуску і еластичним середовищем.

Оптимальну висоту шаблону для вирубання деталей з пластичних матеріалів пропонується розрахувати по формулі:

$$h = 3(1 + 0,01\delta_{10})\sqrt{S}, \quad (9.1)$$

де  $\delta_{10}$  - відносне подовження матеріала заготовки, %;

$S$  - товщина вихідного матеріалу, мм.

Необхідний напуск матеріала "а" при вирубванні деталей з простим контуром визначається за формулою:

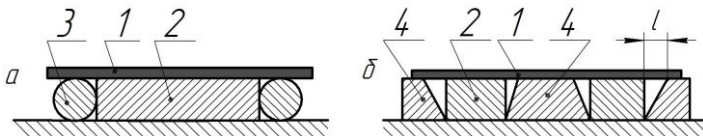
$$a = 1,4h + \frac{(h + S)}{\mu}, \quad (9.2)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт тертя між листовою заготовкою і підштамповою плитою ( $\mu = 0,2$ ).

При вирубванні деталей з малопластичних матеріалів зустрічаються деякі затруднення, поверхня зрізу отримується рваною.

Це пояснюється крихким зломом малопластичних матеріалів під дією згинаючих і розтягуючих напружень в зоні розділення.

Одним із способів, що підвищує якість вирізаних деталей за рахунок збільшення зсуваючих і уменшення згинаючих, і розтягуючих напружень, є вирубання деталей з використанням опорних рамок рис. 9.4.



1 - заготовка; 2 - шаблон; 3 - опорна рамка; 4 - вкладиш.

Рисунок 9.4 - Схема вирубання гумою деталей на вирізних шаблонах з опорними вкладишами (б) і рамкою (а):



Ці рамки можливо виготовляти з дроту, а вкладиші з пластин товщиною рівною висоті шаблона. Ширину скосу " $\ell$ " можливо розрахувати за формулою:

$$\ell = \frac{1,5S\sigma_B}{q} + S\sqrt{\frac{\sigma_B}{2q}}, \quad (9.3)$$

де  $q$  - питоме зусилля штампування гумою, **Н/м<sup>2</sup>**.

На практиці ширину скоса  $\ell$  приймають,  $\ell = (3 \div 4)S$ .

Зусилля для штампування гумою:

$$P = qF, \quad (9.4)$$

де  $F$  - площа гуми в контейнері, **м<sup>2</sup>**.

Питоме зусилля залежить від матеріалу еластичного середовища, від ступеню стиснення гуми, поліуретан і приймається рівним:

для гуми -  $50 - 75 \text{ МПа} (q = 5 - 7,5 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2})$ ;

для поліуретан марки ОКУ - 7Л  $200 - 250 \text{ МПа} (q = 20 - 25 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2})$ .

Питоме зусилля можливо розрахувати за формулами:

для пластичних матеріалів –

$$q = \frac{1,4S\sigma_{3P}}{h} = \frac{S\sigma_B}{h}, \quad (9.5)$$

для малопластичних –

$$q = \frac{S\sigma_B}{\ell} \left( 1,5 + \frac{S}{2\ell} \right), \quad (9.6)$$

де  $\ell$  - ширина скосу опорної рамки;

$\sigma_B$  - межа міцності матеріалу заготовки, **МПа**.

Питоме зусилля, необхідне для пробивання отворів діаметром  $d$  визначається за формулою:

$$q = \frac{4S\sigma_{3P}}{d} \approx \frac{S\sigma_B}{d}. \quad (9.7)$$

Для пробивання прямокутних отворів і пазів необхідне питоме зусилля, яке розраховується за формулою:

$$q = \frac{2S(a+b)\sigma_{3P}}{ab} \approx \frac{1,5S(a+b)\sigma_B}{ab}, \quad (9.8)$$

де  $a$  і  $b$  - довжина і ширина прямокутника, мм.

При вирізанні деталей як з пластичних, так і малопластичних матеріалів зі сторони дії поліуретан (гуми) кромки вирізаних деталей мають невелике закруглення овальної форми (рис. 9.5) розміри якої не перевищують наступні значення для матеріалів:

мідь **МІ**, латунь **Л63**, алюміній **АМц** -  $t = (0,5 - 0,7)S$ ;  $\kappa = (0,75... 1,15)$ ;  $r \approx S$ ;

для ст.3, **10**, **20**, **12Х18Н9Т**, **Д16ЛТ**, **ОТЧ** -  $t = (0,25...0,40)S$ ;  $\kappa = (0,35...0,65)S$ ;  $r = 0,5S$ .

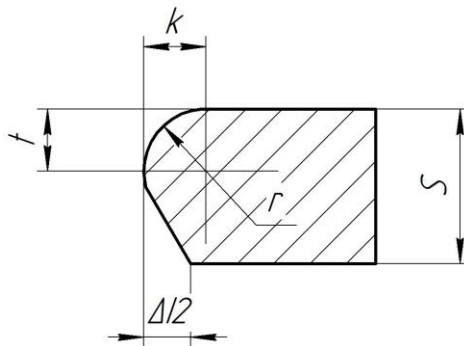


Рисунок 9.5 - Форма зрізу деталі.

При вирізанні з опорними рамками закруглення кромки деталей помітно зменшується для любых матеріалів.

Розміри деталей по зовнішньому контуру виходять більшими, а діаметри отворів меншими у зрівнянні з розмірами шаблону.

Величини відхилень розмірів деталей ( $\Delta$ ) від відповідних розмірів шаблону мають наступні значення : для матеріалів *Д16АМ*, *АМг* -  $\Delta = (0,1-0,15)S$ ; для *М1*, *М2*. *АМц*, *12Х18Н9Т*  $\Delta = (0,15...0,25)S$ .

При вирізанні з опорними рамками -  $\Delta = (0,03...0,1)S$ .

При використанні шаблонів, виготовлених без рахунку  $\Delta$  відхилення розмірів вирізаних деталей товщиною до **1 мм** відповідає **6...12** квалітету, при  $S=1...2$  мм - по **8...14** квалітету точності.

При вирубуванні деталей  $S < 0,2$  мм поліуретаном точність розмірів вище, чим у деталей, одержаних в штампах звичайною конструкції.

### **Матеріали, інструмент, прилади, обладнання**

Робота виконується на гідравлічному пресі моделі *УДМ-50*,  $R_n=500$  кН з використанням універсального штампа (рис.9.1). Останній включає в себе кільцевий сталевий контейнер з гумовою подушкою, підштампову плиту і набір змінних шаблонів, рамок, вкладишів.

Як заготовка, використовується алюмінієва фольга товщиною  $S=0,1...0,2$  мм; фольга із сплаву *АМцАМ* товщиною  $(0,4...0,6)$  мм; стрічка із сталі *08кп* -  $S=(0,2...1,0)$  мм.

Вимірювальний інструмент - штангенциркуль з ціною поділки **0,1 мм** і мікрометр з ціною поділки **0,01 мм**

### **Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитись з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Вивчити будову і принцип дії універсального штампу для штампування еластичним середовищем.
3. Відштампувати деталі з використанням розділових операцій

(2-3 шт.).

4. Відштампувати деталі з використанням формозмінюючих операцій (2-3 шт.).

### Зміст звіту

Стисло викласти відомості про процес штампування еластичним середовищем. Показати галузь застосування метода.

Виконати головний розріз універсального штампа в момент закінчення операції вирубування пробивання. Розрахувати питоме зусилля, загальне зусилля штампування еластичним середовищем.

Розрахувати мінімальні значення напусків "а" для вирубаних деталей, а також висоти шаблонів. Розрахувати зусилля штампування еластичним середовищем з використанням опорних рамок і без них. Визначити по якому квалітету точності виходять вирублені деталі з різних матеріалів.

Розрахункові і експериментальні дані занести в таблиці 9.1.

Зробити висновки по роботі.

Таблиця 9.1 - Дані пробивки прямокутних отворів

Матеріал заготовки	Товщина S,мм	Напруження зрізу МПа	Розміри отв.,мм	Розміри шаблону,мм	Питоме зусилля, q, МПа			Зусилля вирубув. Р.кН			Величина напуска а,мм	
					Для пробивного отвору	Для вирубного контура	Для пробивного отвору з рамкою	Для вирубного контура з рамкою	Теорет.	Експер.		

### 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. Можливості застосування пластичних матеріалів як еластичного середовища.

5. Стадії процесу вирубування-пробивання еластичним середовищем.

6. Від чого залежить зусилля штампування еластичним середовищем?

7. Як змінюються внутрішні і зовнішні розміри деталей у зрівнянні з розмірами шаблонів?

8. Галузь застосування методу штампування деталей еластичним середовищем.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. -6-е изд; перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.: ил.
2. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. М.: Машиностроение, 1980. – 431 с.
3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка. /Под общ. ред. Л.И. Рудмана. - М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
4. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
5. Попов Е. А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 480 с.