

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЦЕСІВ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ  
Навчально-методичний посібник до практичних занять  
і самостійної роботи для студентів спеціальності  
131 "Прикладна механіка"

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 1 від 25.02.2021

Харків  
НТУ "ХПІ"  
2021

ББК 34.623.7

ПЗ8

УДК 621.98.(075)

Рецензенти:

О. І. Тришевський, д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри "Технологія матеріалів", Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенко,

С. О. Губський, к. т. н., доцент кафедри "Комп'ютерне моделювання та інтегровані технології обробки тиском", НТУ "ХПІ".

Технологія процесів листового штампування: Навчально-методичний посібник до практичних занять і самостійної роботи для студентів спеціальності 131 "Прикладна механіка" / Укладачі: В. Л. Чухліб, О. А. Юрченко, А. В. Ашкелянець. – Харків: НТУ "ХПІ", 2021. – 76 с.

Навчально-методичний посібник містить рекомендації, що стосуються розробки і розрахунків основних технологічних процесів холодного листового штампування: аналіз технологічності деталі, визначення форми і розмірів заготовки, розрахунки технологічних переходів штампування, визначення технологічних сил, вибір обладнання. Посібник містить задачі, а також велику кількість довідкових матеріалів, необхідних для їх вирішення.

Призначено для студентів спеціальності 131 "Прикладна механіка".

Лл. 8. Табл. 29. Бібліогр. 7 назв.

## ЗМІСТ

1 Технологічність деталей для листового штампування.....	5
1.1 Поняття технологічності деталі .....	5
1.2 Технологічні вимоги до конструкції штампованих деталей.....	6
1.2.1 Плоскі деталі.....	6
1.2.3 Порожнисті деталі .....	8
1.3 Точність штампованих деталей.....	9
2 Різання листового матеріалу на ножицях. вирубання і пробивання.....	10
2.1 Розрахунки сил і роботи операцій.....	10
2.2 Зазори між пуансоном і матрицею при розділових операціях .....	12
2.3 Розрахунки виконавчих розмірів пуансонів і матриць при вирубванні і пробиванні.....	13
3 Розкрій листових матеріалів .....	16
3.1 Приклад виконання розрахунку розділових операцій .....	19
4 Гнуття листових матеріалів.....	23
4.1 Визначення довжини плоскої заготовки .....	23
4.4 Приклад виконання розрахунку гнуття листового матеріалу .....	25
5 Витягування листового матеріалу.....	29
5.1 Визначення розмірів плоских заготовок .....	29
5.2 Розрахунки технологічних переходів при витягуванні .....	34
5.3 Розрахунки сил при витягуванні.....	37
5.4 Розрахунки виконавчих розмірів робочих частин штампа для витягування .....	38
5.5 Приклад виконання розрахунку операції витягування листового матеріалу .....	40
6. Завдання і вправи .....	46
Список джерел інформації.....	50
Додаток 1 .....	51
Додаток 2.....	65

## ВСТУП

Цей навчально-методичний посібник складений відповідно до програми курсу "Технологія процесів листового штампування" і містить питання, що стосуються розробки і розрахунків основних технологічних процесів холодного листового штампування: аналіз технологічності деталі, визначення форми і розмірів заготовки, розрахунки технологічних переходів штампування, визначення технологічних сил, вибір обладнання.

Задачі посібника:

- ознайомити студентів із широкою номенклатурою деталей, виготовлених листовим штампуванням;
- надати практичні рекомендації з виконання розрахунків технологічних процесів листового штампування.

Мета посібника – допомогти студентам навчитися визначати найбільш ефективні способи виготовлення деталей листовим штампуванням, розраховувати технологічні переходи, енергосилові параметри процесів і вибрати необхідне обладнання.

Пропонуються задачі і вправи за такими темами:

- розробка кресленника деталі, що штампується, з урахуванням способу виготовлення і технологічності;
- визначення форми і розмірів плоскої заготовки;
- вибір оптимального розкрою вихідної заготовки і визначення коефіцієнта використання матеріалу;
- розрахунки технологічних переходів;
- визначення необхідної деформуючої сили, технологічної сили, роботи деформації і обґрунтування вибору обладнання;
- розрахунки виконавчих розмірів пуансонів і матриць для різних операцій листового штампування.

## 1 ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

### 1.1 Поняття технологічності деталі

Під технологічністю розуміють таку сукупність властивостей і конструктивних елементів, яка забезпечує найбільш просте і економічне виготовлення деталі (в умовах даної серійності виробництва) при дотриманні технічних і експлуатаційних вимог до них.

Основні показники технологічності листових холодноштампованих деталей:

- мінімальні витрати матеріалу;
- мінімальна кількість і низька трудомісткість операцій;
- відсутність наступної механічної обробки;
- мінімальна кількість необхідного обладнання і виробничих площ;
- збільшення продуктивності окремих операцій і цеху в цілому.

Загальним результиуючим показником технологічності є найменша собівартість (і, отже, конкурентоспроможність на ринку) виготовлених деталей.

Технологічна конструкція виробу створюється при спільній роботі конструктора і технолога. Вона передбачає:

1. Найбільш сприятливу форму виробу для того, щоб спростити процес штампування, забезпечити малу трудомісткість виготовлення і мінімальні витрати металу, знизити вартість і підвищити стійкість штампів.

2. Правильний вибір металу за товщиною і фізико-механічними властивостями.

3. Відповідність встановлених допусків на розміри виробу технологічно і економічно досяжній точності штампування.

Необхідно підкреслити, що вказані вище фактори не можна розглядати у відриві від конкретних виробничих умов і, зокрема, від обсягу виробництва.

Мала трудомісткість досягається за рахунок скорочення операцій, застосування багаторядного штампування, збільшення продуктивності штампів, застосування автоматизації і створення поточкових ліній штампування. Застосування більш дорогих штампів незначно впливає на собівартість продукції при великосерійному і масовому виробництві, тому що їхня

вартість розподіляється на велику кількість виробів. При дрібносерійному виробництві, навпаки, вартість штампів має значну питому вагу в собівартості, тому застосування спрощених і універсальних штампів більш доцільне і вигідне навіть при збільшенні витрати матеріалу і трудомісткості виготовлення.

В умовах сучасного виробництва особливо велике значення має економія металу. Аналіз собівартості штампованих деталей показує, що економія матеріалу за ефективністю рівноцінна збільшенню продуктивності в 5 разів на всіх операціях.

## **1.2 Технологічні вимоги до конструкції штампованих деталей**

### *1.2.1 Плоскі деталі*

Ці деталі виготовляють переважно за допомогою розділових операцій. Слід уникати ускладнення форми деталі, тому що при цьому виникають труднощі при виготовленні штампів, що призводить до їх подорожчання і зменшення стійкості.

До найбільш важливих критеріїв технологічності плоских деталей слід віднести:

- найменші розміри отворів (діаметр, ширина), що пробиваються в штампах без спеціальних напрямних пристроїв для пуансонів (табл. Д 1.1);
- найменші відстані між отворами, що пробиваються, і між краєм отвору та краєм плоскої деталі (табл. Д 1.2);
- найменші радіуси сполучення прямолінійних ділянок (табл. Д 1.3);
- допуски на розміри плоских деталей повинні перебувати в межах 11 - 12 квалітетів, при використанні операцій чистового штампування – 6 - 8 квалітетів;
- шорсткість поверхні зрізу після розділових операцій (табл. Д 1.4).

### *1.2.2 Гнуті деталі*

У вигнутих деталях розтягуючі напруження будуть тим більші, чим менший радіус гнуття при тій же товщині металу. При малому радіусі гнуття вони можуть викликати тріщини або розриви в деталях. Значення

найменшого припустимого радіуса гнуття залежить від ряду факторів: кута гнуття, напрямку лінії гнуття щодо волокон прокату, механічних властивостей металу (табл. Д 1.5).

Слід також пам'ятати про те, що при мінімальних радіусах гнуття заготовку, отриману вирубуванням, слід встановлювати в штамп тою ж стороною до пуансона, яка контактувала з пуансоном при вирубуванні. В іншому випадку можлива поява тріщин у місцях локалізації концентраторів напружень, які з'явилися при сколюванні.

Зміцнення металу, що відбувається в процесі вирубування заготовки, також впливає на значення мінімально припустимих радіусів гнуття. У тому випадку, коли зміцнення є причиною появи тріщин при гнутті через вичерпання ресурсу пластичності матеріалу заготовки, її нормалізують, відпалюють або видаляють зміцнений шар металу зачищенням у штампі.

Взагалі мінімально припустимі радіуси гнуття слід застосовувати лише при конструктивній необхідності. У більшості випадків можливо застосувати збільшені радіуси гнуття  $r \geq s$ , а для товстих заготовок ще більші.

У випадку розташування отвору поблизу від лінії гнуття, щоб уникнути спотворення його форми, отвір розташовують поза зоною деформації (рис. 1.1) або його пробивають після гнуття.

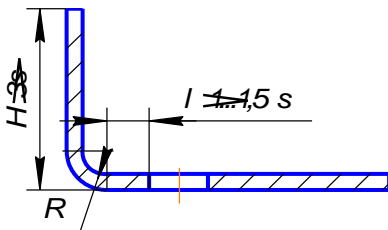


Рисунок 1.1 – Розташування отвору поблизу лінії гнуття

Висота полиці, що відгинається,  $H$ , має бути не менше трьох товщин матеріалу.

Для точного фіксування заготовки в штампі для гнуття за допомогою уловлювачів і запобігання її зсуву при штампуванні слід передбачати в деталях технологічні отвори.

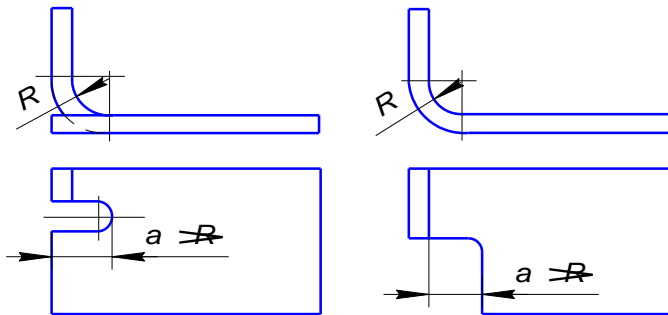


Рисунок 1.2 – Виконання полиць, що відгинаються

При наявності в деталях полиць, що відгинаються (рис.1.2), щоб уникнути утворення тріщин у кутах, необхідно робити місцеві підрізування на глибину не меншу, ніж радіус гнуття, або віддаляти лінію гнуття від краю виробу на розмір радіуса гнуття і більше.

Для збільшення твердості гнутих деталей і зменшення пружинення рекомендується штампування ребер жорсткості поперек кута згину.

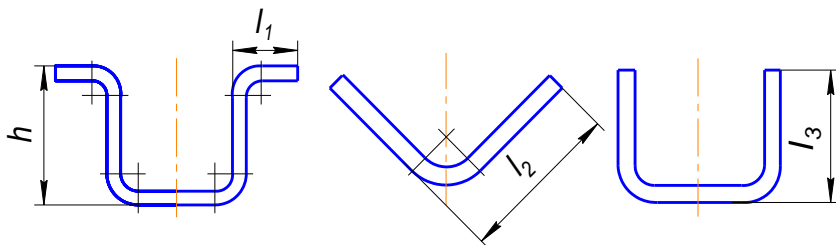


Рисунок 1.3 – Проставлення розмірів гнутих деталей

Призначати граничні відхилення розмірів деталей (рис.1.3) після гнуття слід у межах, зазначених у табл. Д 1.6.

### 1.2.3 Порожністі деталі

Деталям, виготовленим за допомогою витягування, бажано надавати по можливості просту і симетричну форму, глибину і контури окремих елементів слід встановлювати з урахуванням умов формоутворення.

До основних критеріїв технологічності таких деталей слід віднести:



- мінімальні значення радіусів сполучення елементів деталей (вказано в табл. Д 1.7);
- граничні відхилення розмірів деталей після витягування (вказано в табл. Д 1.8).

Радіуси сполучень можуть бути зменшені за рахунок введення операції калібрування.

Якщо у фланці деталі розташовані отвори, то край отвору має перебувати за межами криволінійної поверхні фланця. Те ж відноситься до отворів, розташованих у дні деталі.

### 1.3 Точність штампованих деталей

Для виробництва штампованих деталей найбільше значення має технічно здійсненна і економічно вигідна точність виконання. Занадто жорсткі необґрунтовані допуски значно збільшують вартість виготовлення деталей і штампів, і, крім цього, зменшують стійкість штампів.

Точність листових штампованих деталей залежить від великої кількості факторів. Але найбільше значення має не гранично припустима, а економічно доцільна точність, під якою розуміють технічно здійсненну і економічно найбільш вигідну точність виконання даної операції з урахуванням гранично припустимого зношення штампа.

Слід пам'ятати, що збільшення жорсткості допусків на 20 % може підвищити вартість деталей на 50...80 %.

У штампах сполученої дії може бути досягнута підвищена і середня точність штампування (за 9...12 квалітетом), а в штампах послідовної дії – середня і знижена (за 13...15 квалітетом). Щоб підвищити точність плоских деталей до 6...9 квалітету, вводять додаткову операцію зачищення або застосовують чистове вирубування. Шорсткість поверхні зрізу  $Ra$  при цьому перебуває в межах 0,4...2,5.

Гнуттям без притиску можна отримати деталі з точністю розмірів до 14 - го квалітету. Використання для фіксації заготовки притиску дозволяє підвищити точність до 12 - го квалітету. За допомогою технологічних баз і додаткового калібрування точність розмірів можна довести до 9...11 квалітету.

При витягуванні відхилення розмірів деталі (діаметра або ширини) відповідають 11 - му квалітету.

Поля допуску і граничні відхилення, що відповідають їм, наведені в табл. Д 1.9.

## 2 РІЗАННЯ ЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ НА НОЖИЦЯХ. ВИРУБУ- ВАННЯ І ПРОБИВАННЯ

Розрізання листового матеріалу здійснюють на ножицях:

- з паралельними ножами;
- зі скісними ножами (гільйотинних);
- дискових;
- вібраційних.

У великосерійному і масовому виробництвах найбільше поширення отримало різання на гільйотинних і багатодискових ножицях.

### 2.1 Розрахунки сил і роботи операцій

Силу різання  $F$  (Н) матеріалу ножицями з паралельними ножами визначають за формулою

$$F = k b s \sigma_{зр}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує вплив вигину заготовки, притуплення ножів, нерівномірності товщини матеріалу, інших можливих факторів на процес різання у виробничих умовах;  $k = 1,1 \dots 1,3$ ;  $B$  – ширина полоси або листа, мм;  $s$  – товщина матеріалу, мм;  $\sigma_{зр}$  – опір зрізу, МПа (табл. Д 1.10).

Значення роботи  $A$  (Дж), що затрачується при різанні, можна визначити за формулою (с. 34, [1])

$$A = \frac{\lambda F s}{1000}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, що дорівнює відношенню середньої сили відрізання до максимальної (табл. 1.1);  $s$  – товщина матеріалу, мм;  $F$  – сила різання, Н.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти для розрахунків роботи різання

Товщина матеріалу $s$ , мм	Коефіцієнт $\lambda$
до 2	0,75...0,55

2...4	0,55...0,45
більше 4	0,45...0,30

Сила різання гільйотинними ножицями значно менша, ніж на попередньому типі ножиць, її визначають за формулою (с.37, [1])

$$F = \frac{0,5s^2\sigma_{зр}}{\operatorname{tg}\varphi}, \quad (3)$$

де  $s$  – товщина матеріалу, мм;  $\sigma_{зр}$  – опір зрізу, МПа;  $\varphi$  – кут нахилу верхнього ножа, гради.;  $k$  – коефіцієнт запасу (див. вище),  $k = 1,1...1,3$ .

Роботу, Дж, на розрізання листа визначають за формулою (с.38, [1])

$$A = \frac{FB\operatorname{tg}\varphi}{1000}, \quad (4)$$

де  $F$  – сила різання, Н;  $B$  – довжина різку, мм.

Розрахункову силу, Н, для розділових операцій (вирубубання, пробивання, обрізання, відрізання тощо), що виконуються в штампах, визначають за формулою (с.16, [2]):

$$F = kps\sigma_{зр}, \quad (5)$$

де  $k = 1,1...1,3$  – коефіцієнт, що враховує притуплення ріжучих крайок;  $p$  – периметр розділення матеріалу, мм;  $s$  – товщина матеріалу, мм;  $\sigma_{зр}$  – опір зрізу (табл. Д 1.10, Д 1.11).

У випадку штампування матеріалу в штампах зі скошеними ріжучими кромками розрахунки сили виконуються за формулами, що наведені у табл. 5 на с. 19 [2].

Силу зняття матеріалу з пуансона визначають за формулою

$$F_{зп} = k_{зп} F, \quad (6)$$

де  $F$  – розрахункова сила вирубубання (пробивання), Н;  $k_{зп}$  – коефіцієнт, що залежить від типу штампа і товщини матеріалу (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти для визначення сили зняття

Товщина матеріалу, мм	Коефіцієнт $k_{zn}$ залежно від типу штампа		
	однопуансонний вирубний або пробивний	послідовної дії	багатопуансонний пробивний
до 1	0,02 – 0,06	0,06 – 0,08	0,10 – 0,12
1 – 5	0,06 – 0,08	0,10 – 0,12	0,12 – 0,15
понад 5	0,08 – 0,10	0,12 – 0,15	0,15 – 0,20

Силу, необхідну для проштовхування деталі через матрицю із циліндричною шийкою, визначають за формулою

$$F_{пр} = k_{пр} F n, \quad (7)$$

де  $k_{пр}$  – коефіцієнт, що становить у середньому при пробиванні й вирубванні на провал  $k_{пр} = 0,05...0,10$ ; при вирубванні зі зворотним виштовхуванням  $k_{пр} = 0,07...0,14$ , причому найбільші значення відносяться до більш тонких матеріалів;  $F$  – розрахункова сила вирубання, Н;  $n$  – кількість деталей, що перебувають у шийці матриці; при вирубванні зі зворотним виштовхуванням  $n = 1$ .

Повна технологічна сила операції вирубання (пробивання тощо) залежить від прийнятої схеми штампа – послідовного або сполученого, типу знімача – рухливого або нерухливого – та інших факторів.

У загальному виді технологічну силу можна визначити за формулою:

$$F_{техн} = F_v + F_{пр} + F_{прошт}^B + F_{прошт}^{пр} + F_{zn}^B + F_{zn}^{пр}, \quad (8)$$

де  $F_v$ ,  $F_{пр}$  – відповідно сила операцій вирубання і пробивання;  $F_{прошт}^B$ ,  $F_{прошт}^{пр}$  – відповідно сила проштовхування при вирубванні і пробиванні;  $F_{zn}^B$ ,  $F_{zn}^{пр}$  – сила зняття матеріалу при вирубванні і пробиванні.

## 2.2 Зазори між пуансоном і матрицею при розділових операціях

У штампах для розділових операцій між ріжучими кромками пуансона й матриці передбачаються зазори. Розмір зазору визначається механічними властивостями матеріалу, що штампується, і його товщиною.

Зазор повинен забезпечувати досяжну якість поверхні зрізу, найменшу силу вирубування (пробивання), найбільшу стійкість штампа і достатню точність штампування, що зберігається при тривалій роботі штампа. Існує певний діапазон розмірів зазорів – між мінімальним значенням  $z_{\min}$  і максимальним  $z_{\max}$ . У зв'язку з тим, що в процесі роботи штампа зазор поступово збільшується, розмір розрахункового зазору призначається мінімальним ( $z_{\min}$ ).

Вибір напрямку зазору визначається в такий спосіб. Оскільки розміри деталі, що вирубується, визначаються робочим вікном матриці, то розрахунковим при вирубуванні є розмір матриці, а розмір зазору призначається за рахунок зменшення розмірів пуансона. При пробиванні отвору його розмір визначається пуансоном, тому розрахунковим є розмір пуансона, а зазор призначається за рахунок збільшення розміру матриці.

Значення зазорів між робочими частинами штампа при штампуванні металів наведені в табл. Д 1.12.

Для вирубування і пробивання повинна виконуватися така умова:

$$\delta_n + \delta_m \leq z_{\max} - z_{\min}, \quad (9)$$

де  $\delta_n$  і  $\delta_m$  – допуски на виготовлення пуансона і матриці.

Якщо при призначенні табличних допусків ця нерівність не дотримується, ці допуски слід зменшити, призначивши їх довільно, тому що в протилежному випадку зазор між пуансоном і матрицею може виявитися більшим  $z_{\max}$ .

### **2.3 Розрахунки виконавчих розмірів пуансонів і матриць при вирубуванні і пробиванні**

Зовнішній контур деталей, що вирубуються (як і внутрішній контур отворів), може бути круглої, прямокутної або будь-якої іншої форми. Допуски на розміри цих контурів можуть бути задані в будь-якій системі, частіше в системі отвору.

У системі отвору розмір, що охоплює, має позитивний допуск, а охоплюваний – негативний. Таким чином, допуск «спрямований у метал».

При визначенні виконавчих розмірів пуансонів і матриць виходять із розмірів виробу, що штампується, його точності (допуску на виготовлення), матеріалу, характеру зношування штампа, технологічного зазору.

Якщо розміри на кресленні не вказані з допусками, то слід вважати, що на вільні розміри допуски призначаються в системі отвору по 14-му квалітету точності. Таким чином, на охоплювані розміри деталі допуск призначається по  $h14$ , на ті, що охоплюють – по  $H14$ , на міжосьові розміри – по  $\pm IT14/2$ .

При вирубуванні контуру номінальним розрахунковим розміром матриці буде найменший розмір виробу, а при пробиванні отвору номінальним розрахунковим розміром пуансона буде найбільший розмір отвору.

Розміри пуансона і матриці при вирубуванні круглого контуру:

$$D_M = (D - \Delta')^{+\delta_M}, \quad (10)$$

$$D_{II} = (D_M - z)_{-\delta_{II}} = (D - \Delta' - z)_{-\delta_{II}}. \quad (11)$$

При пробиванні отворів:

$$D_{II} = (D + \Delta')_{\delta_{II}}, \quad (12)$$

$$D_M = (D_{II} + z)^{+\delta_M} = (D + \Delta' + z)^{+\delta_M}, \quad (13)$$

де  $D_M$ ,  $D_{II}$  – номінальні розміри матриці і пуансона відповідно;  $D$  – номінальні розміри виробу;  $\Delta'$  – припуск на зношування інструмента;  $\delta_{II}$  і  $\delta_M$  – допуски на виготовлення пуансона й матриці відповідно.

Припуск на зношування  $\Delta'$  визначається залежно від необхідної точності штампування деталі: при  $\Delta \leq 0,1$  мм  $\Delta = \Delta$ ; при  $\Delta > 0,1$  мм  $\Delta = 0,8\Delta$ , де  $\Delta$  – поле допуску деталі.

Допуск  $\delta_M$  беруть по 7-му квалітету ( $S \leq 4$  мм); при  $s > 4$  мм і для великогабаритних деталей  $\delta_M$  беруть по 9-му квалітету з посадкою H9, а допуск на пуансон – відповідно по 6-му і 9-му квалітету.

Більш докладні рекомендації з вибору допусків на робочі розміри пуансона й матриці надані в табл. 15 на с. 71 [3].

Якщо розміри елемента, що штампується, для випадку вирубування задані у вигляді  $A \pm \Delta$ , то їх слід перетворити до виду  $(A + \Delta)_{-2\Delta}$  і далі розглядати  $(A + \Delta)$  як номінальний розмір, а  $2\Delta$  – як його поле допуску. Те ж стосується випадку завдання розміру отвору у вигляді  $A \pm \Delta$ . Його слід перетворити до виду  $(A - \Delta)^{+2\Delta}$ .

Розміри можуть бути задані також у вигляді  $A_{-\Delta 2}^{-\Delta 1}$  або  $A_{+\Delta 1}^{+\Delta 2}$  (при  $\Delta 2 > \Delta 1$ ). У цьому випадку слід перетворити їх до виду відповідно  $(A - \Delta 1)_{-(\Delta 2 - \Delta 1)}$  і  $(A + \Delta 1)^{+(\Delta 2 - \Delta 1)}$  й уважати  $(A - \Delta 1)$  і  $(A + \Delta 1)$  номінальними розмірами елемента, що штампується, а  $(\Delta 2 - \Delta 1)$  – полем їх допуску.

При вирубуванні зовнішнього контуру складної форми або пробиванні складного отвору, як правило, застосовується так зване спільне виготовлення робочих деталей штампа. При цьому, у випадку вирубування, усі розміри, пов'язані з виробом, що вирубується, проставляються на кресленні матриці. Ті ж розрахункові розміри матриці, але без допусків, проставляються на кресленні пуансона. У цих розмірів ставиться значок \*, а в технічних вимогах вказують: \* – «пуансон пригнати по матриці, забезпечивши зазор  $z_{\min} = \dots$  на сторону».

При пробиванні отвору контуру складної форми всі розміри й допуски проставляються на кресленні пуансона. Ті ж розрахункові розміри пуансона, але без допусків проставляються на кресленні матриці. У розмірів ставлять \* і в технічних вимогах вказують: \* – «матрицю пригнати по пуансону, забезпечивши зазор  $z_{\min} = \dots$  на сторону».

При вирубуванні деталі П-подібної форми або пробиванні П-подібного отвору розміри пуансона і матриці з урахуванням зношування штампа можна розділити на три види:

- такі, що збільшуються;
- такі, що зменшуються;
- незмінні.

Розрахунки виконавчих розмірів пуансонів і матриць для штампування деталей зазначеної форми наведені на с.76 – 78 [1].

Залежно від точності деталі можливі й інші способи визначення розмірів пуансонів і матриць складної форми (розділ 2.2 [5]).

### 3 РОЗКРІЙ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Розкрій – це відшукання найбільш ефективного (з погляду зменшення собівартості деталей) розміщення заготовок (або плоских деталей) в листі (смузі, стрічці) відносно однієї з крайок листового прокату.

Розкрій матеріалу залежить від конструкції деталі, її розташування на штабі, розміру перемичок між деталями та інших факторів. Мірою ефективності розкрою служить коефіцієнт використання матеріалу  $\eta$ .

Якщо вважати, що товщина деталей, що штампуються з листового прокату, незмінна у всіх точках і дорівнює товщині вихідної заготовки (листа), то коефіцієнт використання металу (КВМ) можна розглядати як відношення площі всіх деталей (або заготовок), що штампуються з листа, до площі листа, тобто:

$$\eta = \frac{nS}{BL}, \quad (14)$$

де  $S$  – площа деталі (за винятком площі отворів, якщо вони є);  $n$  – кількість деталей (заготовок), що штампуються з листа;  $B$  – ширина листа;  $L$  – довжина листа.

Якщо вихідною заготовкою служить не лист (розрізаний на штаби), а стрічка або штаба, то КВМ слід розраховувати як

$$\eta = \frac{S}{BT}, \quad (15)$$

де  $B$  – ширина стрічки (штаби);  $T$  – крок подачі заготовки в штамп.

Для класифікації видів розкрою прийнято використовувати дві основні ознаки: наявність відходів і розташування деталей у штабі (стрічці).

Залежно від наявності відходів розрізняють:

1) розкрій з відходами, коли деталь (заготовку) отримують вирубуванням по замкненому контуру;

2) маловідходний розкрій, що характеризується відсутністю бічних перемичок або перемичок між деталями;

3) безвідходний розкрій, коли перемички відсутні.

Розкрій з відходами, тобто з перемичками по всьому контуру, застосовують при штампуванні деталей, що мають, як правило, криволінійні обриси і підвищену точність розмірів. Розрізняють два види перемичок – між краями сусідніх деталей і між краями деталі і кромкою заготовки. Ширина перемичок впливає, з одного боку, на КВМ, і, з іншого боку, на точність



розмірів деталей, що вирубуються, і стійкість пуансонів і матриць. Чим ширше перемички, тем менше КВМ. Однак при малій ширині вони втрачають стійкість і можуть бути утягнені в зазор між пуансоном і матрицею, що приводить до зниження стійкості інструменту і утворення задирок на деталях.

Ширина перемичок залежить від товщини матеріалу, що штампується і його механічних властивостей, довжини прямолінійних ділянок деталі, що штампується, конструкції штампа, конструкції автоматичної подачі заготовки та інших факторів. Рекомендації з вибору оптимальної ширини перемичок наведено в табл. Д 1.13, більш докладні – містяться в довідковій літературі, наприклад, у табл. 1, 2, 3 [3].

Залежно від розташування і орієнтації деталей у заготовці розрізняють 6 основних видів розкрою: прямий, похилий, зустрічний, комбінований, багаторядний і з вирізкою перемичок (табл. 136 [2]).

Вирубання круглих деталей можна робити в один, два і більше рядів при паралельному і шаховому їх розташуванні. Круглі вироби діаметром понад 150 мм звичайно вирубують в один ряд, при менших розмірах вигідніше штампувати в кілька рядів у шаховому порядку.

При вирубванні фігурних деталей важливо знайти раціональний спосіб їх розташування на штабі. Розташування фігур, при якому виходить найменша витрата матеріалу на один виріб, і визначає найвигіднішу схему розкрою (рис. 3.1).

На розрахункових схемах розкрою отвори, що пробиваються в деталі, можна не показувати, хоча їх площі повинні бути враховані при розрахунках площі деталі  $F$ .

Після вибору оптимального розкрою слід показати його схему. (рис. 3.2).

На схемі розкрою мають бути зазначені розміри перемичок, крок подачі, ширини і довжини штаби і заштриховані ділянки матеріалу, що віддаляються.

Допуски на ширину штаб, нарізаних на гільйотинних ножицях, і стрічок, одержуваних на багатодискових ножицях (агрегатах поздовжнього розпуску) див. у табл. Д 1.14, Д 1.15.

Розрахункові формули для визначення номінальної ширини штаби і значення гарантованого зазору при штампуванні без бічного притиску штаби див. в табл. 142, 143 [ 2 ].

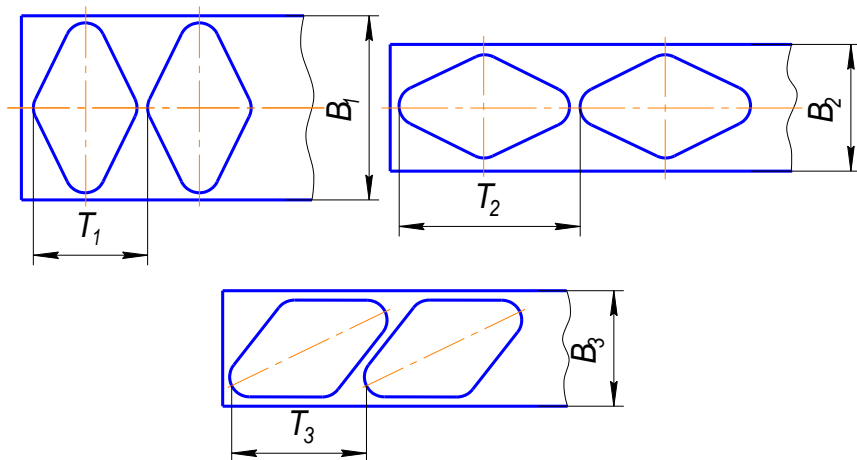


Рисунок 3.1 – Розрахункові схеми розкрою

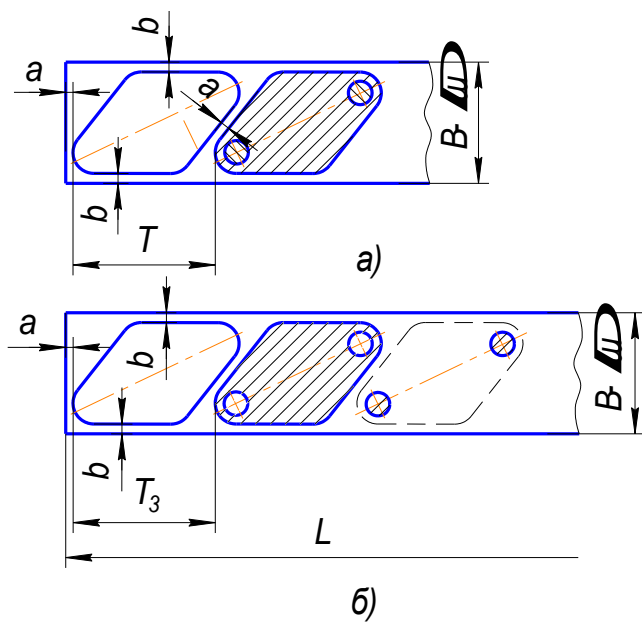


Рисунок 3.2 – Схеми розкрою :  $a$  – до штампа сполученого дії;  
 $b$  – до штампа послідовної дії.

### 3.1 Приклад виконання розрахунку розділових операцій

Вихідні дані:

Сталь 20,  $\tau_{зр} = 360$  МПа,  $2500 \times 1200 \times 2$ , вид розкрою – похилий, спосіб направлення стрічки – з боковим притиском, тип ріжучих кромки: вирубвання – зі скосом, пробивання – плоский.

#### 3.1.1 Розрахунок.

На рис. 3.3 подано креслення деталі.

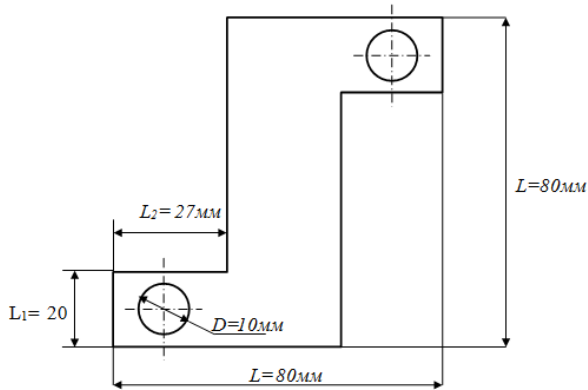


Рисунок 3.3 – Креслення деталі

1) Визначаємо найменшу величину перемички і спосіб розташування деталей на штабі (рис. 3.4).

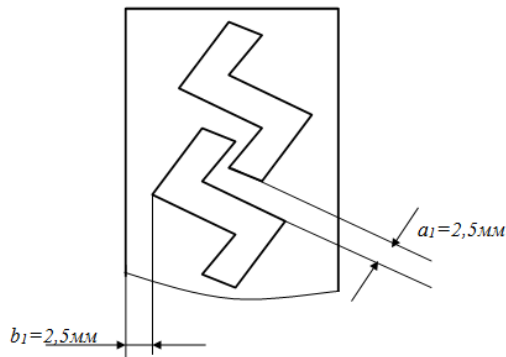


Рисунок 3.4 – Схема розташування деталей на штабі

2) Визначаємо ширину нарізаних штаб залежно від способу направлення:

$$B = D + 2 \cdot b + \Delta m,$$

де  $D$  – розмір деталі, що вирубується (поперек штаби);  $b$  – найменша величина бокової перемички;  $\Delta m$  – односторонній (мінусовий) допуск на ширину штаби.

Для металу товщиною менше 0,5 мм бокові притиски не застосовують.

$$D = (3 \cdot L - 2 \cdot L_2 - L_1) \cdot \cos 45 = (3 \cdot 80 - 2 \cdot 27 - 20) \cdot \cos 45 = 117,4 \text{ мм}$$

$$B = D + 2 \cdot b_1 + \Delta m = 117,4 + 2 \cdot 2,5 + 1,2 = 123,6 \text{ мм}$$

$$m = 2 \cdot b_1 + n \cdot b' + a_1 \cdot (n - 1),$$

де  $m$  – ширина, довжина листа;  $n$  – число деталей.

$$b' = (L - L_2) \cdot \cos 45 = (80 - 27) \cdot \cos 45 = 37,5 \text{ мм}$$

Для ширини листа:

$$n_B = \frac{m + a_1 - 2 \cdot b_1}{b' + a_1} = \frac{1200 + 2,5 - 2 \cdot 2,5}{37,5 + 2,5} = 29,9$$

$$\frac{2500}{123,6} = 20,2$$

Деталей з листа:  $20 \cdot 29 = \underline{580 \text{ шт.}}$

Для довжини листа:

$$n_L = \frac{m + a_1 - 2 \cdot b_1}{b' + a_1} = \frac{2500 + 2,5 - 2 \cdot 2,5}{37,5 + 2,5} = 62,4$$

$$\frac{1200}{123,6} = 9,7$$

Деталей з листа:  $62 \cdot 9 = \underline{558 \text{ шт.}}$

3) Визначаємо коефіцієнт використання металу:

$$F_d = L^2 - 2 \cdot L_2 \cdot (L - L_1) = 80^2 - 2 \cdot 27 \cdot (80 - 20) = 3160 \text{ мм}^2$$

$$F_3 = L \cdot B = 2500 \cdot 1200 = 3000000 \text{ мм}^2$$

$$\text{КВМ} = \frac{F_d \cdot n}{F_3} \cdot 100\% = \frac{3160 \cdot 580}{3000000} \cdot 100 = 61,1 \%$$

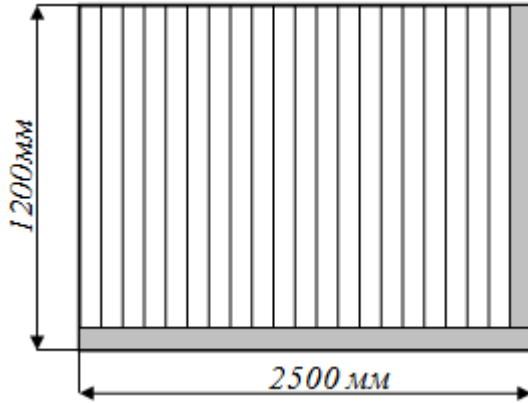


Рисунок 3.5 – Схема розкрою штаби

4) Розглядаємо різання на ножицях.

Різання на ножицях з паралельними ножами:

$$P = B \cdot S \cdot \tau_{зр} = 1,2 \cdot 0,002 \cdot 360 = 0,864 \text{ МН} = 864 \text{ кН}$$

Враховуємо затуплення ножів під час їх експлуатації за допомогою коефіцієнта затуплення  $\kappa_p = 1,2 \div 1,8$ :

$$P_1 = P \cdot \kappa_p = 0,864 \cdot 1,6 \approx 1,4 \text{ МН}.$$

Різання на гільйотинних ножицях:

$$P = \frac{0,5 \cdot S^2 \cdot \tau_{зр}}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,5 \cdot 0,002^2 \cdot 360}{0,017} = 0,042 \text{ МН};$$

$$P_1 = P \cdot \kappa_p = 0,042 \cdot 1,6 \approx 0,067 \text{ МН}.$$

Порівняння:

$$n = \frac{1,4}{0,067} \approx 21.$$

Обираємо гільйотинні ножиці.

5) Обираємо початкові зазори в штампі при виготовленні даної деталі.

6) Визначаємо силу вирубування:

$$P = 2 \cdot S \cdot \tau_{зр} \cdot \left( L + \frac{L}{2} \right),$$

$$P_1 = P \cdot \kappa,$$

де  $\kappa$  – коефіцієнт затуплення ріжучих кромek ( $\kappa = 1,2 \div 1,4$ ).

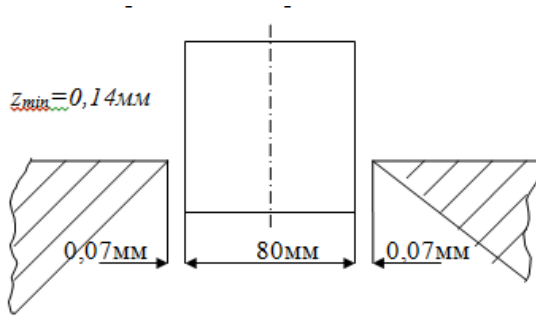


Рисунок 3.6 – Схема вирубвання

Вирубвання:

$$P = 2 \cdot S \cdot \tau_{\text{зр}} \cdot \left( L + \frac{L}{2} \right) = 2 \cdot 0,002 \cdot 360 \cdot (0,08 + 0,04) = 0,173 \text{ МН};$$

$$P_1 = P \cdot \kappa = 1,3 \cdot 0,173 = 0,225 \text{ МН}.$$

Пробивання:

$$P = \pi \cdot d \cdot S \cdot \tau_{\text{зр}} = 3,14 \cdot 0,01 \cdot 0,002 \cdot 360 = 0,023 \text{ МН};$$

$$P_1 = P \cdot \kappa = 1,3 \cdot 0,023 = 0,03 \text{ МН}.$$

7) Розраховуємо силу виштовхування:

$$n = 1, \kappa_{\text{в}} = 0,07 \text{ при } S < 3 \text{ мм, } \kappa_{\text{в}} = 0,14 \text{ при } S \geq 3 \text{ мм.}$$

$$P_{\text{в}} = \kappa_{\text{в}} \cdot P_1 \cdot n = 0,07 \cdot 0,225 = 0,016 \text{ МН}$$

8) Розраховуємо силу зняття з пуансону:

$$P_{\text{зн}} = \kappa_{\text{зн}} \cdot P_{1(\text{в})} = 0,06 \cdot 0,225 = 0,0135 \text{ МН}$$

9) Розраховуємо повну силу вирубвання:

$$P = P_{\text{зн}} + P_{\text{в}} + P_{1(\text{в})} = 0,0135 + 0,016 + 0,225 = 0,255 \text{ МН}$$

10) Обираємо прес за повною силою вирубвання.

Обираємо прес кривошипний відкритий, простої дії, одностійковий з номінальною силою 400 кН, модель КД 1426.

## 4 ГНУТТЯ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ

### 4.1 Визначення довжини плоскої заготовки

Довжина плоскої заготовки визначається способом розгорнення деталі, заснованому на тому, що нейтральна лінія зберігає при гнутті свою первісну довжину і розташована в місцях заокруглень на відстані  $x_0s$  від внутрішньої сторони деталі.

$$L_3 = \sum_{i=1}^n L_i + \frac{\pi}{180} \sum_{i=1}^n \alpha_i (r_i + x_0s), \quad (16)$$

де  $\sum_{i=1}^n L_i$  – сумарна довжина прямолінійних ділянок деталі;

$\frac{\pi}{180} \sum_{i=1}^n \alpha_i (r_i + x_0s)$  – сумарна довжина заокруглених ділянок;  $\alpha$  – кут вигину

деталі, град.;  $r$  – внутрішній радіус кутових заокруглень;  $x_0$  – коефіцієнт, що враховує положення нейтрального шару (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти, що враховують положення нейтрального шару при гнутті плоскої заготовки на  $90^\circ$ .

$\frac{r}{s}$	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
$x_0$	0,36	0,38	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48

Більш докладна таблиця для визначення коефіцієнтів, що враховують положення нейтрального шару при гнутті наведена на с. 179 [3]. У табл. 22 (с. 64 [2]) зазначені абсолютні довжини кутових заокруглень залежно від радіусів гнуття.

При гнутті без заокруглень або з  $r < 0,3s$  довжину вихідної заготовки можна з достатньою точністю визначити за формулою:

$$L_3 = \sum_{i=1}^{n+1} L_i + 0,5n, \quad (17)$$

де  $n$  – кількість перегинів з кутом  $90^\circ$ ;  $L$  – довжина прямолінійних ділянок.

#### 4.2 Визначення сили гнуття

Силу вільного однокутового гнуття  $F_r$  з достатньою для інженерних розрахунків точністю визначають за емпіричною формулою

$$F_r = Bs\sigma_B k_r, \quad (18)$$

де  $B$  – довжина лінії гнуття, мм;  $s$  – товщина матеріалу, мм;  $\sigma_B$  – межа міцності матеріалу, що штампується, МПа;  $k_r$  – коефіцієнт, залежний від відношення радіуса гнуття до товщини заготовки, згідно з таблицею 4.2.

При здійсненні гнуття разом з правленням силу правлення вважають достатньою у тому випадку, коли подальше її збільшення не призводить до підвищення точності кутових розмірів деталі, тобто до зменшення пружинення. Експериментально встановлено, що оптимальна сила правлення більша сили вільного гнуття у 30...60 раз.

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнта  $k_r$  для вільного однокутового гнуття на кут  $\alpha = 90^\circ$ .

$\frac{r}{s}$	$k_r$	$\frac{r}{s}$	$k_r$
0,1...0,2	0,70	1,2...1,5	0,34
0,2...0,25	0,66	1,5...2,0	0,31
0,25...0,3	0,60	2,0...3,0	0,25
0,3...0,4	0,56	3,0...4,0	0,20
0,4...0,5	0,54	4,0...5,0	0,15
0,5...0,6	0,50	5,0...6,0	0,13
0,6...0,7	0,48	6,0...7,0	0,11
0,7...1,0	0,43	7,0...8,0	0,10
1,0...1,2	0,38	8,0...9,0	0,08

Визначають коефіцієнт  $k_r$  за формулою

$$F = qS, \quad (19)$$



де  $q$  – тиск прavlення, МПа; (табл. 23 с.212 [3], табл. 26 с.73 [2]);  $S$  – площа проекції поверхні деталі, що стикається з пуансоном, на площину, перпендикулярну до напрямку дії сили, мм<sup>2</sup>.

Розрахункові формули для визначення сил деформування при інших схемах гнуття (двокутове, із притиском тощо) наведено в табл. 23 на с.72 [2].

### 4.3. Розрахунки розмірів деталей штампів для гнуття

Основними видами гнуття є однокутове ( V-подібне) і двокутове ( П-подібне) гнуття. Інші види так чи інакше повторюють їх і відповідно методика розрахунків розмірів деталей для всіх випадків гнуття заснована на методиці визначення розмірів деталей штампів для одно- і двухкутового гнуття.

Схеми і формули для розрахунків розмірів і конструювання деталей штампів для гнуття наведені на с. 187–201 [3].

Особливу увагу слід звернути на урахування пружинення деталей після гнуття при розрахунках виконавчих розмірів робочих деталей штампа. Кут пружинення залежить від настільки багатьох факторів, що розрахувати його точно не виявляється можливим. Тому у всіх випадках потрібне уточнення кута пружинення дослідним шляхом.

Спрощені формули для наближеного визначення пружинення при вільному гнутті наведені на с. 65–66 [2] і на с. 202 [3]. Дані для орієнтовного визначення кутів пружинення при вільному однокутовому гнутті для кутів, що найбільш часто зустрічаються, наведені в табл. 14–20 на с. 204–208 [3]. Якщо гнуття здійснюється з калібруванням, то значення кутів пружинення, отримані для вільного гнуття, слід помножити на коефіцієнт 0,75...0,8.

### 4.4 Приклад виконання розрахунку гнуття листового матеріалу

Вихідні дані:

Сталь 15,  $\sigma_b=380$  МПа,  $\alpha_1=100^\circ$ ,  $\alpha_2=150^\circ$ ,  $R=15$  мм,  
 $R_1=6$  мм,  $R_2=8$  мм,  $L_1=150$  мм,  $L_2=150$  мм,  $B_0=120$  мм,  $S_0=3$  мм.

*Розрахунок.*

Креслення деталі показано на рис. 4.1.

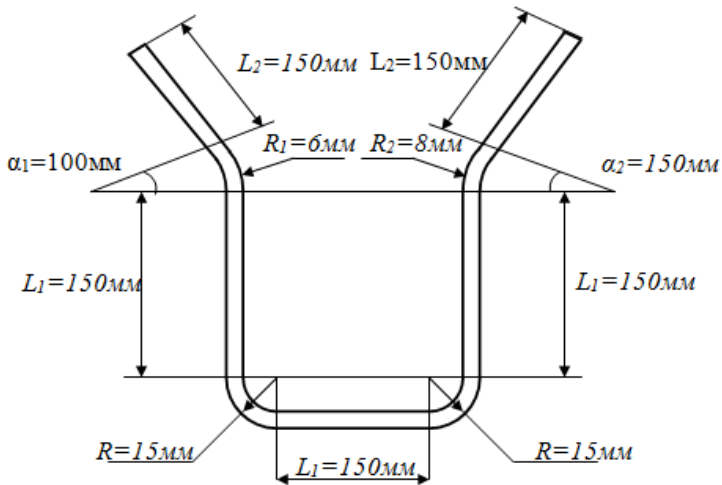


Рисунок 4.1 – Креслення деталі для операції гнуття

1) Визначаємо довжину нейтрального слою у вигнутій ділянці:

$$l_{R_1} = \frac{\pi \cdot \alpha_1}{180} \cdot (R_1 + x \cdot S_0) = \frac{3,14 \cdot 100}{180} \cdot (6 + 0,45 \cdot 3) = 12,8 \text{ мм};$$

$$l_{R_2} = \frac{\pi \cdot \alpha_2}{180} \cdot (R_2 + x \cdot S_0) = \frac{3,14 \cdot 150}{180} \cdot (8 + 0,462 \cdot 3) = 24,6 \text{ мм};$$

$$l_R = \frac{\pi}{2} \cdot (R + x \cdot S_0) = \frac{3,14}{2} \cdot (15 + 0,48 \cdot 3) = 25,8 \text{ мм}.$$

$$L = 3 \cdot L_1 + 2 \cdot L_2 + 2 \cdot l_R + l_{R_1} + l_{R_2},$$

$$L = 3 \cdot 150 + 2 \cdot 150 + 2 \cdot 25,8 + 12,8 + 24,6 = 839 \text{ мм}$$

2) Починаємо конструювання робочих частин штампа.

Схема визначання кута пружинення надана на рис. 4.2.

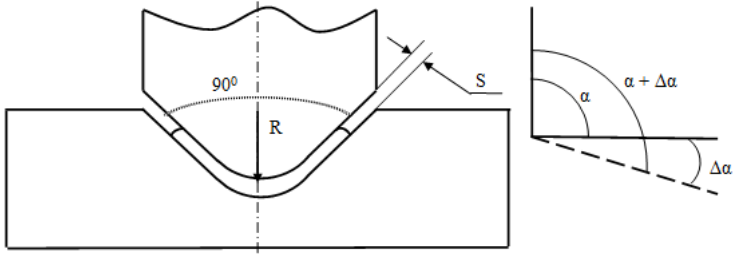


Рисунок 4.2 – Схема визначення кута пружинення

Розрахунок кута пружинення при  $\alpha_1=100^\circ$ ,  $R_1=6$  мм:

$$\Delta\alpha_1^\circ = 0,434 \cdot \frac{R_1}{S_0} - 0,36 = 0,434 \cdot \frac{6}{3} - 0,36 = 0,51^\circ = 0^\circ 31' ;$$

$$\Delta\beta_1 = \frac{\alpha_1^\circ}{90^\circ} \cdot \Delta\alpha^\circ = \frac{100}{90} \cdot 0,51 = 0,57^\circ = 0^\circ 34' .$$

Розрахунок кута пружинення при  $\alpha_2=150^\circ$ ,  $R_2=8$  мм:

$$\Delta\alpha_2^\circ = 0,434 \cdot \frac{R_2}{S_0} - 0,36 = 0,434 \cdot \frac{8}{3} - 0,36 = 0,8^\circ = 0^\circ 48' ;$$

$$\Delta\beta_2 = \frac{\alpha_2^\circ}{90^\circ} \cdot \Delta\alpha^\circ = \frac{150}{90} \cdot 0,8 = 1,33^\circ = 1^\circ 20' .$$

Ескізи пуансонів з урахуванням кута пружинення надано на рис. 4.3.

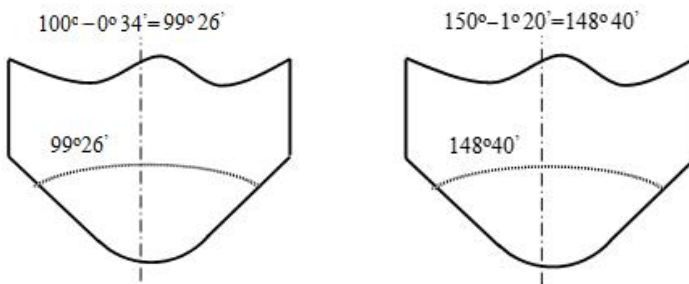


Рисунок 4.3 – Ескізи пуансонів з урахуванням кута пружинення

Вибираємо розміри конструктивно-технологічних елементів штампа.

Схема інструменту для однокутового гнуття надана на рис. 4.4, для двокутового – на рис. 4.5.

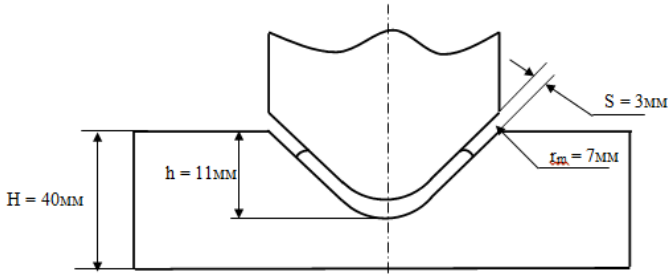


Рисунок 4.4 – Схема інструменту для виконання операції гнуття

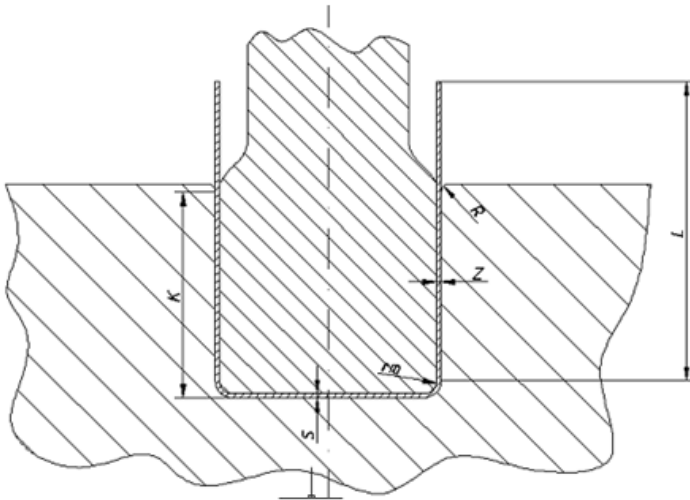


Рисунок 4.5 – Схема конструктивно-технологічних елементів штампа для двокутового гнуття

$$K = 40 \text{ мм}, z = s_0 = 3 \text{ мм.}$$

3) Визначаємо деформуючу силу:

$$P = 2,5 \cdot B \cdot S_0 \cdot \sigma_B \cdot \kappa = 2,5 \cdot 120 \cdot 3 \cdot 380 \cdot 0,1 = 34,2 \text{ кН}$$

4) Обираємо прес кривошипний відкритий, простої дії, одностійковий номінальною силою 250 кН, модель КД 1424.

## 5 ВИТЯГУВАННЯ ЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ

### 5.1 Визначення розмірів плоских заготовок

Для визначення розмірів заготовки при витягуванні виходять із основного закону ОМТ – об'єм металу до витягування дорівнює об'єму металу після витягування. У випадку витягування деталей без навмисного стоншення матеріалу можна прийняти рівність поверхні заготовки і готової деталі, виходячи із припущення, що збільшення площі поверхні деталі, що витягується, через стоншення стінки на одних ділянках компенсується зменшенням площі через стовщення на інших ділянках. Однак це припущення не завжди вірне. У табл. 33 на с. 99 [2] наведені коефіцієнти збільшення поверхні заготовки при деяких поширених видах витягування. При розрахунках розмірів заготовок ураховують припуски на обрізування.

Існує три методи розрахунків: аналітичний, графічний і графоаналітичний. Усі вони прийнятні для будь-якого виду штампувального виробництва. Однак перший найбільш універсальний і доступний для технологів і конструкторів, тому що більш точний і може бути використаний на персональному комп'ютері.

При витягуванні вісесиметричних деталей їх площу розглядають як суму площ окремих простих елементів деталі. Як правило, це фланець, торіодальні ділянки біля дна й фланця деталі, циліндр і плоске дно. Формули для визначення площі поверхні простих геометричних тіл наведено в табл. Д 1.16. У таблиці 32 на с. 94–98 [2], а також у табл.7 на с. 235–247 [3] наведені формули для визначення діаметра заготовки для форм деталей, що найбільше часто зустрічаються.

Розміри заготовок для витягування деталей складної вісесиметричної форми визначають, використовуючи правило Гюльдена–Папуша, згідно з яким площа поверхні тіла обертання, утвореного кривою довільної форми при обертанні її навколо осі, що перебуває в тій же площині, дорівнює добутку довжини твірної на довжину окружності, описаної її центром маси. Докладно цей метод подано на с. 100 [2].

Рекомендовані припуски на обрізування після витягування вибирають залежно від висоти виробу й діаметра фланця (табл. Д 1.17, Д 1.18).

Розрахунки заготовок слід здійснювати по середній лінії.

Метод розрахунків і побудови форми заготовки при витягуванні прямокутних коробчастих деталей у значній мірі залежить від відносної висоти коробки  $H/B$  (де  $H$  – висота,  $B$  – ширина коробки) і відносного радіуса кутового заокруглення  $r/B$ . Залежно від комбінації зазначених величин спостерігається різне витиснення металу в бічні стінки і збільшення їх висоти. В.П. Романовським [2] запропонована номограма (рис. 5.1), яка уточнює межі застосування різних методів розрахунків заготовок.

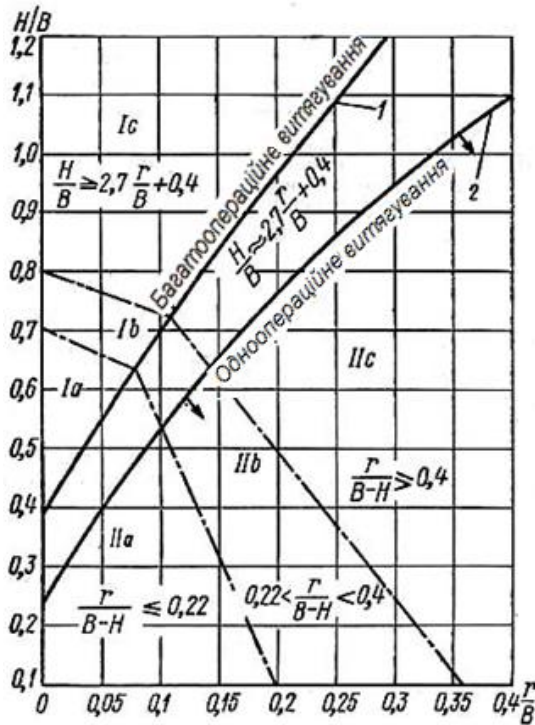


Рисунок 5.1 – Параметри різних випадків витягування прямокутних коробчастих деталей [2]

Криві 1 і 2 на рис. 5.1 вказують найбільшу висоту коробок, що витягуються в одну операцію при відносній товщині заготовок відповідно  $(s/D)100 = 2$  і  $(s/D)100 = 0,6$ .

Вище цих граничних кривих перебуває область багатоопераційного витягування, а нижче – область одноопераційного витягування. Остання підрозділяється на три окремі області – *IIa*, *IIb*, *IIc* за ступенем витиснення металу з кутових заокруглень у бічні стінки коробки.

Область *IIc* охоплює одноопераційне витягування щодо високих коробок з більшими радіусами кутових заокруглень. У цій області при витягуванні квадратних коробок виправдано застосовувати заготовку круглої форми, а при витягуванні прямокутних – заготовку овальної форми із двома заокругленими й двома прямолінійними сторонами.

Область *IIb* охоплює витягування невисоких коробок, але з відносно більшими радіусами кутових заокруглень. Побудова заготовки проводиться шляхом геометричного розгорнення коробки з коректуванням контуру.

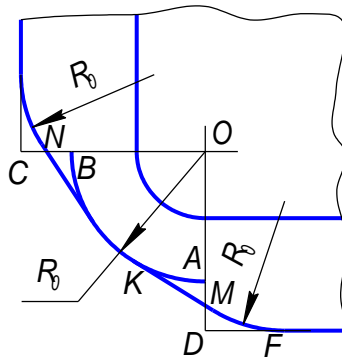


Рисунок 5.2 – Побудова контуру заготовки для низьких прямокутних коробок за методом В. П. Звороню

До області *IIa* відноситься витягування низьких коробок з відносно малими радіусами кутових заокруглень. Побудова заготовки проводиться шляхом геометричного розгорнення елементів коробки на площину за методикою, запропонованої В. П. Звороню, як показано на рис. 5.2.

Виконують побудову в такому порядку (по середній лінії):

1. Контур деталі в плані зображують у масштабі, після чого роблять розгорнення прямолінійних ділянок контуру деталі на площину. Розрахо-

вують довжину прямолінійних ділянок коробки, що відгинаються (за формулами розрахунків заготовок для гнуття).

2. Визначають радіус заготовки в кутах  $R_0$ , як для витягування чверті циліндричного стакана радіусом, рівним радіусу кутового заокруглення  $r_y$  і висотою  $H$ . При рівності радіусів кутового й донного заокруглень  $r_k=r_d=r$  цей радіус дорівнює

$$R_0 = \sqrt{2rH} = \sqrt{dH} . \quad (20)$$

У випадку різних радіусів  $r_k$  і  $r_d$

$$R_0 = \sqrt{r_k^2 + 2r_k H - 0,86r_d (r_k + 0,16r_d)} . \quad (21)$$

3. Радіусом  $R_0$  із центра  $O$  проводять дугу  $AB$  до перетинання із прямими  $OC$  і  $OD$ , що обмежують прямолінійні ділянки контуру заготовки.

4. Відрізки  $AD$  і  $BP$  ділять навпіл (отримуючи точки  $M$  і  $N$  відповідно), і через ці точки проводять дотичні до дуги  $AB$ .

5. Дотичні, проведені через точки  $M$  і  $N$ , і прямолінійні ділянки контуру заготовки спрямляють дугами радіусом  $R_0$ .

Даний спосіб побудови контуру заготовки заснований на припущенні, що при витягуванні відбувається деяке витиснення металу з кутових заокруглень у стінки і нестача металу ( $\Delta$ MDF) компенсується його надлишком ( $\Delta$ AKM).

При побудові заготовок для коробок з відносно більшими радіусами кутових заокруглень (область *Ib* на рис. 5.1) необхідно враховувати витиснення металу з кутових заокруглень у бічні стінки коробки і деяке збільшення висоти стінок. У цьому випадку розрахунки і побудова заготовок ведуть у такій послідовності.

1. Визначають довжину розгорнення прямих стінок  $l$  і радіус заготовки в кутах  $R_0$  за наведеними вище формулами.

2. Будують заготовку зі східчастим переходом від заокруглень до прямих стінок (рис.5.3).

3. Визначають збільшений радіус у кутах розгорнення  $R_1 = xr_0$  для компенсації металу, що витісняється в бічні стінки. Коефіцієнт  $x$  залежить від відносного радіуса кутового заокруглення і відносної висоти коробки. Визначити його можна за табл. 42 [2].



4. Визначають ширину смужок  $h_b$  і  $h_a$  прямих сторін, що відрізаються від геометричного розгорнення, для компенсації металу, переміщуваного з кутових заокруглень (рис. 5.3).

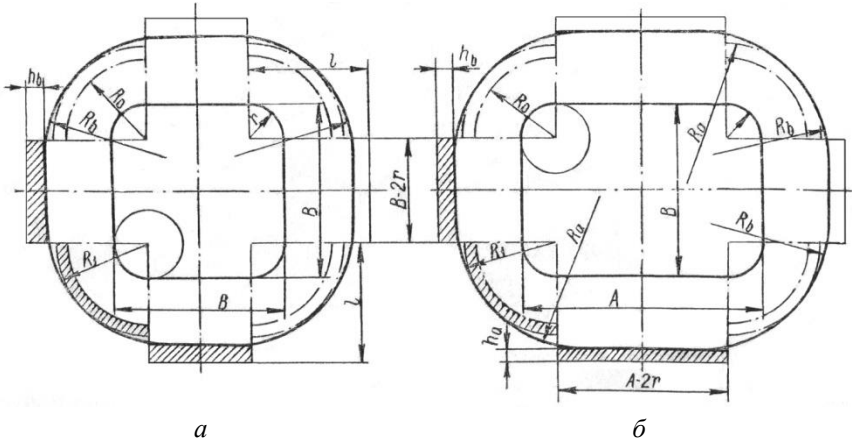


Рисунок 5.3 – Побудова форми заготовки для витягування невисоких коробок з відносно великими радіусами кутових заокруглень (область IIb рис. 5.1): *a* – для квадратної; *б* – для прямокутної коробки

Розміри  $h_b$  і  $h_a$  визначають із рівності поверхні чверті кільця, що додається, і поверхні смужки шириною  $h_b$  і довжиною  $B - 2r$  (або  $h_a$  і  $A - 2r$ ), що зменшується, і знаходять за формулами

$$h_b = y \frac{R^2}{B - 2r}, \quad h_a = y \frac{R^2}{A - 2r}. \quad (22)$$

Коефіцієнт  $y$  залежить від відносних розмірів коробки. Визначити його можна за табл. 43 [2].

5. Виконують коректування розгорнення, збільшуючи радіус до  $R_1$  і зменшуючи висоту на величину  $h_b$  і  $h_a$ .

6. За отриманими розмірами ширини, довжини і кутового радіуса розгорнення будують плавний контур, застосовуючи дуги, що сполучаються радіусами  $R_b$  і  $R_a$ .

Цю побудову застосовують для прямокутних коробок зі співвідношенням сторін до  $A : B = 1,5 \dots 2,0$ .

При витягуванні коробки, що зазнає обрізування, контур заготовки можна спростити, допускаючи невелике збільшення її розмірів.

При витягуванні високих квадратних коробок, які отримують за кілька операцій, а також коробок, які отримують за одну операцію, що належать до області  $IIc$ , у якості заготовки використовують диск.

Діаметр заготовки при цьому, якщо  $r_k = r_d = r$ , визначають за формулою

$$D_0 = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H_n - 0,43r) - 1,72r(H_n + 0,33r)}, \quad (23)$$

де  $H_n$  – висота деталі із припуском на обрізування.

Якщо  $r_k \neq r_d$ , використовують формулу

$$D_0 = 1,13 \sqrt{B^2 + 4B(H_n - 0,43r_d) - 1,72r_k(H_n + 0,5r_k) - 4r_d(0,11r_d - 0,18r_k)}. \quad (24)$$

Прямокутні коробки розмірами  $A \times B$  можна розглядати, як такі, що складаються із двох половинок квадратних коробок шириною  $B$ , з'єднаних проміжною частиною розміром  $A - B$ . У цьому випадку контур заготовки має форму овалу, утвореного двома півколами радіусом  $R_0$ , і двома паралельними сторонами, як показано на рис. 5.3.

## 5.2 Розрахунки технологічних переходів при витягуванні

Вибір способу витягування і число переходів залежить від конструкції деталі й пластичності матеріалу.

Застосування притиску (складкоутримувача) обумовлене необхідністю запобігання утворенню складок, що виникають у результаті втрати стійкості заготовки при глибокому витягуванні. Однак притиск значно збільшує шкідливий опір тертя, а отже, розтягуючі напруження в небезпечному перерізі, і погіршує умови витягування. Крім того, він ускладнює конструкцію штампа.

Необхідність притиску при витягуванні і можливість виконання витягування без притиску визначається умовами, наведеними в табл. Д 1.19.

При витягуванні без притиску рекомендується застосовувати матриці кінчної або криволінійної форми – по евольвенті. У таблиці Д 1.20 наведе-

ні гранично припустимі коефіцієнти витягування без притиску в матриці кінчної форми з кутом  $60^\circ$ .

Рекомендовані значення коефіцієнтів витягування із притиском для циліндричних деталей без фланця наведені в таблиці Д 1.21.

При витягуванні деталей із фланцем на першій операції витягується напівфабрикат із заданим по кресленню діаметром фланця (з додаванням припуску на обрізування), на наступних проводиться перерозподіл металу витягнутої циліндричної частини заготовки шляхом збільшення її висоти і зменшення діаметру.

Коефіцієнти першого витягування для циліндричних деталей із фланцем наведені в таблиці Д 1.22. Коефіцієнти витягування на наступних операціях можуть бути взяті рівними коефіцієнтам витягування деталей без фланця.

Більш докладна методика вибору коефіцієнтів витягування наведена на с. 234, 243–247 [3]. Однак треба мати на увазі, що різноманіття факторів, що впливають на значення максимально припустимих коефіцієнтів витягування, приводить до необхідності їх уточнення дослідним шляхом майже в кожному випадку освоєння штампування нової деталі.

При розрахунках технологічних переходів витягування деталей із широким фланцем необхідно пам'ятати про те, що при багатоопераційному витягуванні деталей з відносно товстих заготовок  $\frac{s}{D_0} 100\% > 2$  порушується умова рівності площ заготовки й деталі, тому що стінка напівфабрикату потовщується і її стовщена ділянка частково витісняється у фланець. Щоб діаметр фланця залишався незмінним і не відбувся відрив дна, на першій операції необхідно набрати більше металу, ніж це впливає з розрахунку за методом рівності поверхонь. Потім надлишок рівномірно розподіляється по інших операціях. На кожній операції зменшення площі поверхні становить 1,5...2,0 % при витягуванні без проштовхування, 2...4 % – із проштовхуванням.

При технологічних розрахунках багатоопераційного витягування потрібно підрахувати висоту напівфабрикату на кожній операції. Ці дані необ-

хідні для конструювання штампа, а також для визначення необхідного ходу преса і його закритої висоти.

Для визначення висоти по переходах при витягуванні циліндричних деталей із фланцем можна користуватися спрощеною формулою

$$H_n = \frac{(D_0^2 - d_n^2)}{4d_n}, \quad (25)$$

де  $H_n$  – висота напівфабриката після  $n$  операцій витягування,  $D_0$  – діаметр заготовки;  $D_n$  – діаметр напівфабриката після  $n$  операцій.

Інші формули для підрахунку поопераційної висоти витягування деталей циліндричної форми із фланцем, без фланця, з різними варіантами переходу від дна до стінок наведені в табл. 49 на с.124–125 [2].

Радіуси заокруглень крайок пуансонів і матриць залежать від відносної товщини матеріалу і ступеню деформації. Оптимальні їхні значення для першої операції наведені в таблиці Д 1.23. На наступних операціях ці радіуси зменшують на коефіцієнт 0,6...0,8 стосовно значення радіуса на попередній операції.

Очевидно, що радіус заокруглення пуансона визначає радіус переходу циліндричної частини деталі в донну. При калібруванні може бути досягнуто значне зменшення цього радіуса (від двох до п'яти разів), однак він повинен бути не меншим, ніж  $R = 0,5s$ .

Розробка технологічного процесу багатоопераційного витягування високих коробчастих деталей включає поряд з іншими наступні етапи:

- 1) визначення кількості операцій і вибір коефіцієнтів витягування;
- 2) вибір способу розрахунків з урахуванням геометрії коробки;
- 3) розрахунки форми й розмірів переходів витягування, починаючи з передостаннього.

Кількість операцій визначається залежно від загального коефіцієнту витягування і відносної товщини матеріалу (табл. 66 [2]).

Технологічні розрахунки і побудова форми переходів для квадратних коробок різні для різної відносної товщини матеріалу. Формули і послідовність розрахунків таких коробок наведені в табл. 67 [2].

При багатоопераційному витягуванні прямокутних коробок в основу побудови переходів покладений метод розрахунків вузької сторони коробки як половини квадратної коробки. Послідовність розрахунків і необхідні формули наведені в табл. 68 [2].

### 5.3 Розрахунки сил при витягуванні

Силу  $F_b$ , Н, операції витягування циліндричних деталей без стоншення матеріалу можна визначити за формулою

$$F_b = \pi d s k \sigma_b, \quad (26)$$

де  $d$  – діаметр витягнутої деталі (по середній лінії), мм;  $s$  – товщина матеріалу, мм;  $\sigma_b$  – межа міцності матеріалу, МПа;  $k$  – коефіцієнт, що залежить від коефіцієнта витягування (табл. Д 1.24).

Сила  $Q$ , Н, притиску фланця:

$$Q = q_{\text{прит}} S_{\text{прит}}, \quad (27)$$

де  $q_{\text{прит}}$  – питома сила притиску, МПа, вказана у табл. Д 1.25;  $S_{\text{прит}}$  – площа частини заготовки, затиснутої між матрицею і притискним кільцем, мм<sup>2</sup>.

Для першого витягування циліндричних деталей

$$S_{\text{прит}} = 0,25\pi[D_0^2 - (d_1 + 2r_m)^2], \quad (28)$$

де  $D_0$  – діаметр заготовки, мм;  $d_1$  – зовнішній діаметр деталі, що витягується, мм;  $r_m$  – радіус заокруглення матриці, мм.

Для наступних операцій витягування

$$S_{\text{прит}} = 0,25\pi[d_{n-1}^2 - (d_n + 2r_m)^2], \quad (29)$$

де  $d_{n-1}$  і  $d_n$  – діаметри напівфабрикатів на попередньому і поточному переходах витягування.

Технологічна сила операції витягування із притиском буде рівною

$$F_{\text{техн}} = F_b + Q. \quad (30)$$

Робота деформації  $A$ , Дж, необхідна для витягування, може бути обчислена за формулою:

$$A_b = (0,6 \dots 0,8) F_b H_b, \quad (31)$$

де  $H_b$  – глибина витягування, мм.

Силу витягування і притиску, а також роботу при витягуванні некруглих деталей без стоншення матеріалу обчислюють за тими ж формулами. При цьому у формулу (26) замість значення  $\pi d$  підставляють розрахунковий периметр перетину напівфабрикату після даної операції. Розрахункові формули для визначення сили витягування конічних, сферичних і коробчастих деталей, а також формулу для визначення сили витягування зі стоншенням циліндричних деталей можна знайти в табл. 72 [2].

#### **5.4 Розрахунки виконавчих розмірів робочих частин штампа для витягування**

Розмір зазору суттєво впливає на силу і затрачувану роботу при витягуванні, на якість деталей, що витягуються, стійкість штампів.

При недостатньому зазорі між матрицею і пуансоном збільшуються сила витягування і напруження в металі. При надмірно великому зазорі на деталі можуть з'явитися складки, а форма спотвориться.

При виборі розміру зазору враховують точність деталі, що штампується, товщину матеріалу, стовщення краю заготовки при витягуванні, число операцій витягування.

Зазор при витягуванні циліндричних деталей без стоншення матеріалу можна визначати за такими формулами (с. 287 [3]):

для сталі:

$$z_{\text{в}} = s + 0,07\sqrt{10s} ; \quad (32)$$

для алюмінію:

$$z_{\text{в}} = s + 0,02\sqrt{10s} ; \quad (33)$$

для інших кольорових металів і сплавів:

$$z_{\text{в}} = s + 0,04\sqrt{10s} , \quad (34)$$

де  $s$  – номінальна товщина матеріалу, мм.

Експериментально встановлені інші оптимальні значення зазору надані на с. 183 [2].

Однак через наявність відхилень від номінального значення товщини листа розв'язання даного питання часто ставлять у залежність від конкретних поставок матеріалу, що характеризується певними допусками.

На підставі експериментальних даних встановлено, що середнє значення зазору має становити: при витягуванні з м'якої сталі для першої операції  $(1,35...1,50)s$ ; для наступних операцій  $(1,20...1,30)s$ ; при витягуванні з алюмінію й латуні відповідно  $(1,30...1,40)s$  для першої операції і  $(1,25...1,29)s$  – для наступних операцій.

Виконавчі розміри пуансона і матриці при витягуванні визначаються за такими формулами.

Якщо заданий зовнішній розмір деталі з негативним допуском, то приймають:

розмір матриці

$$L_M = (L - 0,8\Delta)^{+\delta_M}, \quad (35)$$

розмір пуансона

$$L_H = (L - 0,8\Delta - 2z_B)_{-\delta_H}. \quad (36)$$

При заданому внутрішньому розмірі з позитивним допуском

$$L_H = (L - 0,2\Delta)_{-\delta_H}, \quad (37)$$

$$L_M = (L + 0,2\Delta + 2z_B)^{+\delta_M}, \quad (38)$$

де  $\Delta$  – допуск на виготовлення деталі, мм;  $L$  – номінальний розмір виробу, мм;  $z_B$  – односторонній зазор при витягуванні, мм;  $\delta_H$  і  $\delta_M$  – допуски на виготовлення пуансона і матриці (7–8 квалітет).

При розрахунках розмірів матриць і пуансонів для витягування напівфабрикату, отриманого на проміжних витяжних операціях, значення  $\Delta$  слід брати таким же, як для вільних розмірів (14–15 квалітет), а зазор можна призначати як за рахунок пуансона, так і за рахунок матриці.

Найбільш відповідальними частинами робочих елементів штампа є їхні поверхні, що безпосередньо контактують під час витягування з матеріалом, що штампується, особливо – заокруглення пуансона і матриці.

Радіуси заокруглення робочого ребра матриці  $r_M$  при витягуванні деталей з матеріалу товщиною до 3 мм із низьковуглецевої сталі зазвичай приймають  $r_M = (6...10)s$ , з алюмінію, його сплавів і латуні  $r_M = (5...8)s$ . При товщині 3 – 6 мм ці значення відповідно зменшуються до  $(4...6)s$  і  $(3...5)s$ , а при  $s > 6$  мм – до  $(3...4)s$  і  $(1,5...3)s$ . Слід мати на увазі, що збільшений радіус  $r_M$  може призвести до складкоутворення, тому що фланець занадто рано

виходить з-під дії притиску, а зменшений – до розриву матеріалу, що штампується.

Радіус заокруглення торця пуансона  $r_n$  на останній операції, якщо дозволяють умови штампування, приймають рівним внутрішньому радіусу в переході дна деталі в стінку  $r_d$ . У випадку, якщо  $r_d \leq 2s$  при  $s \leq 6$  мм і  $r_d \leq 1,5s$  при  $s > 6$  мм, вводять операцію калібрування.

### 5.5 Приклад виконання розрахунку операції витягування листового матеріалу

Ескіз деталі наданий на рис. 5.4.

Вихідні дані:

Сталь 15,  $\sigma_b = 380$  МПа,  $\alpha_1 = 45^\circ$ ,  $\alpha_2 = 45^\circ$ ,  $R_1 = 15$  мм,  $R_2 = 6$  мм,  $R_3 = 8$  мм,  $L_1 = 150$  мм,  $L_2 = 60$  мм,  $D_1 = 110$  мм,  $D_2 = 88$  мм,  $s_0 = 3$  мм,  $D_1' = D_1 - 2 \cdot R_1 = 110 - 2 \cdot 15 = 80$  мм,  $D_3 = D_2 - 2 \cdot R_3 = 88 - 2 \cdot 8 = 72$  мм.

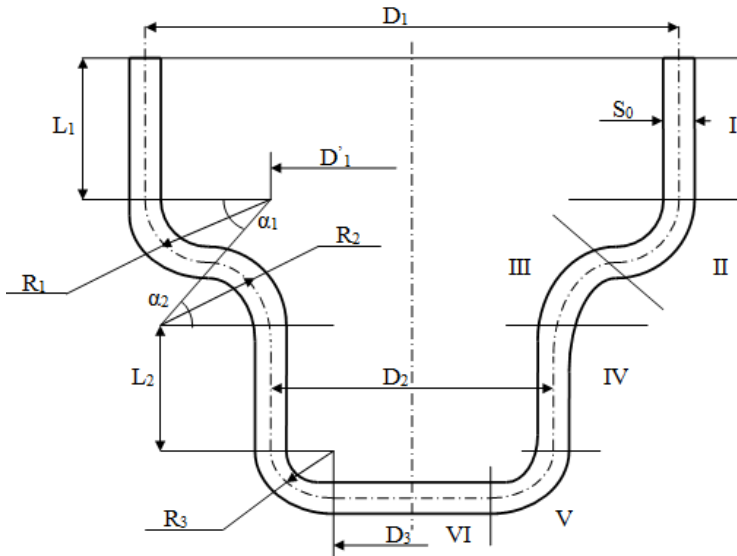


Рисунок 5.4 – Ескіз деталі, отриманої витягуванням

Методика визначення діаметру вихідної заготовки.



На рис 5.5  $B=A \cdot R$  – координата центра тяжіння елемента, що розглядається;  $L=l \cdot R$  – довжина ділянки цього елемента;  $A, l$  – коефіцієнти,  $R$  – радіус.

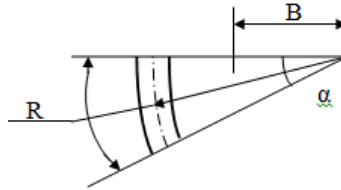


Рисунок 5.5 – Схема до визначення діаметру вихідної заготовки

Знайшовши довжину кожної ділянки і відстань її центра тяжіння від осі обертання здійснюємо їх множення і зводимо отримані дані в табл. 5.1. Отримані добутки підсумовують і знаходять діаметр заготовки:

$$D_{\text{зар}} = \sqrt{8 \cdot \sum_{i=1}^n l \cdot B} \quad (39)$$

Таблиця 5.1 – Визначення довжин ділянок деталі

№ діл.	$L$ , мм	$x$ , мм	$L \cdot x$ , мм <sup>2</sup>
I	150	$\frac{D_1}{2} = \frac{110}{2} = 55$	8250
II	$l \cdot R_1 = 0,785 \cdot 15 = 11,78$	$\frac{D_1'}{2} + A \cdot R_1 = \frac{80}{2} + 0,901 \cdot 15 = 53,52$	630,47
III	$l \cdot R_2 = 0,785 \cdot 6 = 4,71$	$\frac{D_2}{2} + R_2 + A \cdot R_2 =$ $= \frac{88}{2} + 6 + 0,901 \cdot 6 = 55,41$	260,98
IV	60	$\frac{D_2}{2} = \frac{88}{2} = 44$	2640
V	$l \cdot R_3 = 1,571 \cdot 8 = 12,57$	$\frac{D_3}{2} + A \cdot R_3 = \frac{72}{2} + 0,637 \cdot 8 = 41,1$	516,63
VI	36	$\frac{D_3}{4} = \frac{72}{4} = 18$	648
$\Sigma$			12946

$$D_{\text{зар}} = \sqrt{8 \cdot \sum_{i=1}^6 l \cdot x} = \sqrt{8 \cdot 12946} = 322 \text{ мм} .$$

Розраховуємо отримання заготовки для східчастої деталі

Для східчастого витягування використовується циліндрична заготовка з великим діаметром. Коефіцієнт витягування для циліндричної деталі без фланця визначаємо таким чином.

$$\frac{s_0}{D_{\text{зар}}} \cdot 100 = \frac{3}{322} \cdot 100 = 0,932 ,$$

$$m = \frac{D_1}{D_{\text{зар}}} = \frac{110}{322} = 0,342 .$$

Таблиця 5.2 – Коефіцієнти витягування за переходами витягування

$m_1$	0,53...0,55
$m_2$	0,76...0,78
$m_3$	0,79...0,8
$m_4$	0,81...0,82
$m_5$	0,84...0,85

$$d_1 = m_1 \cdot D_{\text{зар}} = 0,55 \cdot 322 = 177 \text{ мм} ,$$

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,78 \cdot 177 = 138 \text{ мм} ,$$

$$d_3 = m_3 \cdot d_2 = 0,8 \cdot 138 = 110 \text{ мм} .$$

Розрахунок висоти заготовки за переходами:

$$h_n = 0,25 \cdot \left( \frac{D_{\text{зар}}}{m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n} - d_n \right) + 0,43 \cdot \frac{R_n}{d_n} \cdot (d_n + 0,32 \cdot R_n) . \quad (40)$$

Визначаємо радіус заокруглення витяжних матриць за табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Радіуси заокруглення матриці

$s_0$ , мм	$R_m$
до 3	$(6 \div 10) \cdot s_0$
більше 3	$(4 \div 6) \cdot s_0$

При цьому радіус на пуансоні повинен бути не меншим двох товщин металу.

$$R_{\text{п}} = (0,7 \div 1,0) \cdot R_{\text{м}},$$

$$R_{\text{м}} = 7 \cdot S_0 = 7 \cdot 3 = 21 \text{ мм},$$

$$R_{\text{м}} = R_{\text{п}} = 21 \text{ мм}.$$

Розраховуємо висоту заготовок за формулою (40).

$$h_1 = 0,25 \cdot \left( \frac{322}{0,55} - 177 \right) + 0,43 \cdot \frac{21}{177} \cdot (177 + 0,32 \cdot 21) = 112 \text{ мм},$$

$$h_2 = 0,25 \cdot \left( \frac{322}{0,55 \cdot 0,78} - 138 \right) + 0,43 \cdot \frac{21}{138} \cdot (138 + 0,32 \cdot 21) = 163 \text{ мм},$$

$$h_3 = 0,25 \cdot \left( \frac{322}{0,55 \cdot 0,78 \cdot 0,8} - 110 \right) + 0,43 \cdot \frac{21}{110} \cdot (110 + 0,32 \cdot 21) = 217 \text{ мм}.$$

Формули для визначення сили витягування залежно від кількості переходів вказано у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Визначення сили витягування по переходах

Кількість операцій витягування	Формули
Для першої витягування	$P_1 = \pi \cdot d_1 \cdot S_0 \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot n_1$
Для другої і наступних	$P_2 = \pi \cdot d_2 \cdot S_0 \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot n_2$

$n_1, n_2$  – поправочні коефіцієнти у табл. 5.4.

Згідно з формулами у табл. 5.4.

$$P_1 = \pi \cdot d_1 \cdot S_0 \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot n_1 = 3,14 \cdot 0,177 \cdot 0,003 \cdot 380 \cdot 1,0 = 0,634 \text{ МН} = 634 \text{ кН},$$

$$P_2 = \pi \cdot d_2 \cdot S_0 \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot n_2 = 3,14 \cdot 0,138 \cdot 0,003 \cdot 380 \cdot 0,82 = 0,405 \text{ МН} = 405 \text{ кН},$$

$$P_3 = \pi \cdot d_3 \cdot S_0 \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot n_2 = 3,14 \cdot 0,11 \cdot 0,003 \cdot 380 \cdot 0,8 = 0,315 \text{ МН} = 315 \text{ кН}.$$

У процесі витягування в залежності від геометрії заготовки може застосовуватися притиск. У цьому випадку

$$P_n = P + Q, \quad (41)$$

де  $P$  – сила витягування,  $Q$  – сила притиску.

Таблиця 5.5 – Визначення способу витягування за переходами

Спосіб витягування	Для першої операції	Для другої і наступних
без притиску	$\frac{s_0}{D_{\text{зар}}} \cdot 100 \geq 2$	$\frac{s_0}{d_{\text{п}}} \cdot 100 \geq 1,5$
з притиском	$\frac{s_0}{D_{\text{зар}}} \cdot 100 < 2$	$\frac{s_0}{d_{\text{п}}} \cdot 100 < 1,5$

З притиском:

$$\frac{s_0}{D_{\text{зар}}} \cdot 100 = \frac{3}{322} \cdot 100 = 0,932.$$

Без притиску:

$$\frac{s_0}{d_1} \cdot 100 = \frac{3}{177} \cdot 100 = 1,69.$$

Без притиску:

$$\frac{s_0}{d_2} \cdot 100 = \frac{3}{138} \cdot 100 = 2,17.$$

Формули для визначення сили притиску надані у табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Визначення сили притиску

Кількість витягувань	Формули для визначення сили притиску	$s_0$ , мм	$q$ , МПа
Для першого витягування	$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{зар}}^2 - (d_1 + 2 \cdot R_m)^2) \cdot q$	<0,5	2,5÷3
Для другого і наступних	$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{n-1}^2 - (d_n + 2 \cdot R_m)^2) \cdot q$	≥0,5	2÷2,5

$$Q_1 = \frac{3,14}{4} \cdot (0,322^2 - (0,177 + 2 \cdot 0,021)^2) \cdot 2 = 0,087 \text{ МН} = 87 \text{ кН},$$

$$P_{\text{пл}} = P_1 + Q_1 = 634 + 87 = 721 \text{ кН}.$$

Обираємо прес кривошипний відкритий, простої дії, одностійковий номінальною силою 1000 кН, модель КД 1430.

Визначаємо розміри інструменту.

Величина зазору без стоншення з урахуванням стовщення вихідного матеріалу при витягуванні визначається за формулою

$$z = y \cdot s_0, \quad (42)$$

де  $z$  – односторонній зазор між пуансоном і матрицею.

$$z_1 = y \cdot s_0 = 1,4 \cdot 3 = 4,2 \text{ мм},$$

$$z_2 = y \cdot s_0 = 1,25 \cdot 3 = 3,75 \text{ мм},$$

$$z_4 = y \cdot s_0 = 1,1 \cdot 3 = 3,3 \text{ мм}.$$

Переходи витягування і креслення деталі за переходами показані на рис. 5.6 і 5.7.

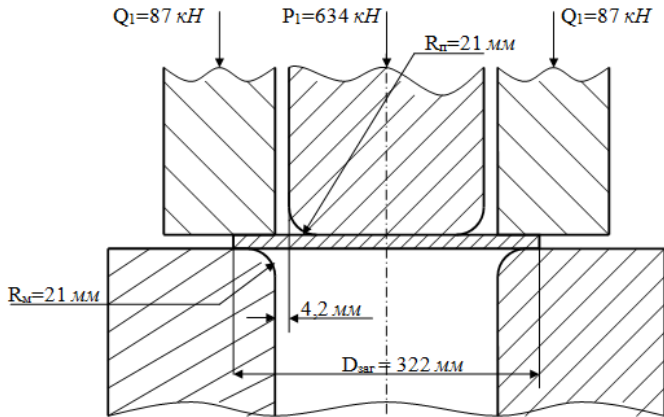


Рисунок 5.6 – Схема розташування інструменту при витягуванні

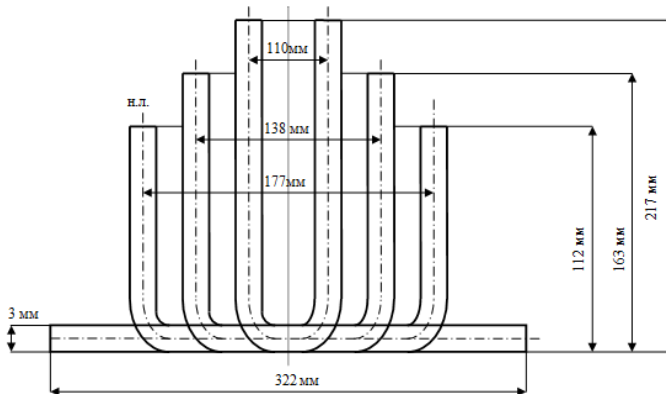


Рисунок 5.7 – Ескіз деталі за переходами

## 6 ЗАВДАННЯ І ВПРАВИ

1. Визначити, чи є технологічними деталі, представлені у варіантах 3.1; 4.3 і 8.1 (додаток 2). Якщо ні, то внесіть зміни в конструкцію деталі.
2. Проробити на технологічність конструктивні форми деталей, наведених у варіантах 15.2; 19.1; 18.1.
3. Чи можна виготовити витягуванням деталі (варіанти 38.2; 39.2)?
4. Які зміни в конструкцію деталей слід внести, щоб їх можна було виготовити листовим штампуванням (варіанти 18.2; 21.2)?
5. Знайти розрахункову силу, необхідну для розрізання листа 1,4x1000x2000 мм зі сталі 20 на штаби 1,4x200x1000 мм на ножицях з паралельними ножами.
6. Визначити розрахункову силу відрізання штаби 2x300x1800 мм від листа 2x1200x1800 мм на гільйотинних ножицях. Матеріал листа – алюміній А1.
7. Визначити роботу, затрачувану на відрізання штаби 3x150x1200 мм із листа 3x1200x2500 на ножицях як з паралельними ножами, так і гільйотинних. Матеріал – сталь Ст.3.
8. Розрахувати теоретичну силу при розрізанні листа 1x900x1800 мм на штаби 1x100x1800 мм. Матеріал листа – Сталь 10кп.
9. Визначити розрахункову силу пробивання отвору  $\varnothing 15$  мм у штабі зі Сталі 20 товщиною 3 мм.
10. Знайти теоретичну силу вирубування деталі (варіанти 1.2; 4.1; 5.2; 9.1).
11. Визначити максимальний опір зрізу при вирубуванні-пробиванні деталей, представлених у варіантах 7.2; 8.2, якщо розрахункова сила становить 300 кН.
12. Визначити технологічну силу при штампуванні деталей (варіанти 5.2; 9.2; 10.3; 13.2) на штампах послідовної і сполученої дії.
13. Знайти силу знімання штаби при штампуванні деталі (варіанти 11.2; 12.3; 16.1).

14. Знайти силу прошовхування відходів при виготовленні деталей (варіанти 3.4; 9.2; 12.3).

15. Визначити силу пробивання при виготовленні шайби, якщо її товщина  $s=1,4$  мм, зовнішній діаметр рівний 50 мм, внутрішній – 30 мм. Матеріал – мідь М2.

16. Визначити силу обрізання деталі (варіант 38.3; 44.1).

17. Визначити силу вирубування деталей (варіанти 2.2; 4.1; 11.2; 17.1; 20.2).

18. Підібрати кривошипний прес за силою при виготовленні деталей (варіанти 3.2; 7.1; 3.2; 12.1; 16.2).

19. Чи зміниться технологічна сила, якщо виготовляти деталь на штампах послідовної і сполученої дії (варіанти 10.2 і 16.1)?

20. На підприємстві встановлений прес номінальною силою 400 кН. Чи достатня його сила для штампування деталі (варіант 4.4; 8.2)?

21. У штампі сполученого дії ріжучі кромки пробивних пуансонів глибше (нижче) ріжучої кромки матриці для вирубування на розмір товщини матеріалу. Визначити технологічну силу при виготовленні деталей (варіанти 1.2; 5.3; 9.4).

22. Розрахувати технологічну силу при трирядному штампуванні шайби на штампі послідовної і сполученої дії. Нарисувати схему розкрою полоси (див. варіант 1.2).

23. Запропонувати різні розрахункові схеми розкрою при штампуванні деталей (варіанти 3.2; 4.3; 9.2; 15.1). Показати оптимальну схему розкрою і визначити КВМ при поздовжньому і поперечному розкрої листа 800x2000.

24. Запропонуєте оптимальну схему розкрою при штампуванні деталей (варіанти 5.2; 6.3; 13.2; 16.1; 17.2; 20.3). Розрахувати КВМ при виготовленні деталей з листа 1000x1700 (поперечний і поздовжній розкрій).

25. Розрахувати виконавчі розміри пуансона і матриці при штампуванні деталей (варіанти 1.4; 6.2; 8.3; 16.3; 20.2).

26. Вибрати технологічний зазор для пробивання отвору  $\varnothing 25$  мм у заготовці зі Сталі 40 товщиною 2 мм.

27. Як призначити допуски на виготовлення пуансона і матриці для розділових операцій?

28. Визначити виконавчі розміри робочих частин штампа при виготовленні деталей (варіанти 3.4; 5.2; 7.3; 14.2; 15.1).

29. Визначити розміри плоскої заготовки при штампуванні деталей (варіанти 21.2; 22.3; 24.1; 25.2; 28.3; 30.2; 31.3; 35.3; 36.1).

30. Обчислити кут пружинення при гнутті деталей (варіанти 21.2; 33.3).

31. Розрахувати силу при V-подібному гнутті деталей (варіанти 21.1; 21.4), якщо їх ширина – 50 мм.

32. Розрахувати силу гнуття деталей із притиском (варіанти 32.2; 33.1; 34.2). Ширина заготовки – 80 мм.

33. Визначити розміри плоскої заготовки при виготовленні деталей (варіанти 23.2; 26.3; 27.1; 29.3; 32.1; 34.2).

34. Визначити розміри вихідної заготовки при витягуванні деталей (варіанти 37.2; 38.1; 41.2; 42.3).

35. Розрахувати розміри технологічних переходів при виготовленні деталей (37.4; 38.3; 39.2).

36. Визначити силу витягування на передостанній операції штампування деталей по заданому ескізу готової деталі (варіанти 37.1; 38.2).

37. Розрахувати розміри вихідної плоскої заготовки і визначити кількість штампувальних операцій (варіант 40.2).

38. Знайти силу другої операції витягування по заданому ескізу готової деталі (варіант 39.1).

39. Визначити розміри плоскої заготовки при виготовленні деталі витягуванням зі стоншенням, якщо задані: зовнішній діаметр – 40 мм; товщина стінки – 1 мм; висота деталі – 55 мм; товщина дна – 8 мм.

40. Розрахувати силу притиску матеріалу при першому витягуванні деталі (варіант 38.2).

41. Визначити число операцій витягування при штампуванні деталей (варіанти 39.1; 42.2; 44.2).



42. Розрахувати технологічні переходи штампування деталі по заданому ескізу готової деталі (варіант 43.2).

43. Визначити виконавчі розміри пуансона і матриці на першій операції витягування по заданому ескізу готової деталі (варіанти 37.2; 38.3).

44. Визначити силу останньої операції витягування для деталей (варіанти 37.4; 38.2).

45. Указати основні критерії вибору кривошипного преса для виконання розділових і витяжних операцій.

46. Чи можна встановити штамп на прес однокривошипний відкритий простої дії номінальною силою 400 кН, якщо задано: технологічна сила 318 кН; закрита висота штампа – 245 мм; габаритні розміри штампа в плані – 280x360 мм; хід повзуна – 45 мм?

47. Визначити центр тиску штампа при виготовленні деталі на штампі сполученого дії (варіанти 4.2; 13.3; 15.2; 17.4).

48. Як зміниться висота циліндричної деталі при зменшенні внутрішнього радіуса заокруглення біля дна з 8 мм на 3 мм? Товщина матеріалу – 1,2 мм.

49. Порожниста деталь складної форми виготовлена з листової латуні товщиною 1,2 мм, її маса 830 г. Визначити діаметр вихідної заготовки. Щільність латуні 8550 кг/м<sup>3</sup>.

50. Визначити висоту припуску на обрізування порожнистих деталей, наведених у варіантах 37.1; 38.2; 41.3; 42.2.

51. Деталь виготовляють за дві операції витягування. Діаметр вихідної заготовки – 200 мм, діаметр деталі після другої операції – 80 мм. Матеріал – Сталь 08кп товщиною 2 мм. Визначити силу на першій і другій операціях витягування.

52. Знайти технологічну силу на першій операції витягування (варіанти 37.4; 40.2). Вибрати обладнання і виписати його основні технічні характеристики.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Зубцов М. Е. Листовая штамповка. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
2. Романовський В. П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка /Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
4. Технология листовой штамповки. Курсовое проектирование. Стеблюк В. И., Марченко В. Л., Белов В. В. и др. – Киев: Вища школа, 1983. – 280 с.
5. ГОСТ 2.424-80. Правила выполнения чертежей штампов. Введ. 01.07. 81.
6. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т.4. Листовая штамповка /Под ред. А. Д. Матвеева. – М.: Машиностроение, 1987.– 544 с.
7. Аверкиев Ю. А., Аверкиев А. Ю. Технология холодной штамповки. – М: Машиностроение , 1989. – 304 с.

## ДОДАТОК 1

Таблиця Д 1.1 – Найменші розміри отворів (діаметр, ширина), що пробиваються в штампах без спеціальних напрямних пристроїв для пуансонів [4]

Матеріал	Форма отвору			
	кругла	квадратна	прямокутна	овальна
Сталь:				
нержавіюча	1,50s	1,40s	1,20s	1,10s
тверда	1,20s	1,10s	0,90s	0,80s
м'яка	1,00s	0,90s	0,70s	0,60s
Алюміній	0,80s	0,70s	0,50s	0,45s
Латунь, мідь	0,80s	0,70s	0,60s	0,55s
Текстоліт, гетинакс	0,40s	0,35s	0,30s	0,30s

Таблиця Д 1.2 – Найменші відстані між отворами, що *пробиваються*,  $L_1$  і між краєм отвору й краєм плоскої *деталі*  $L_2$  [4]

Форма краю деталі	$L_1$	$L_2$
Для круглого отвору:		
Прямолінійна	1,0s	1,0s
Криволінійна ввігнута в напрямку до отвору	1,0s	0,7s
Для прямокутного отвору :		
Прямолінійна	1,2s	0,9s
Криволінійна ввігнута в напрямку до отвору	1,2s	0,8s
Криволінійна опукла в напрямку до отвору	1,2s	0,9s

*Примітка:* найменша відстань між отворами при одночасному їх пробиванні  $b=(2\dots3)s$

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.3 – Найменші радіуси сполучення прямолінійних ділянок плоских деталей [4]

Кут між прямолінійними ділянками	Контур деталі			
	зовнішній		внутрішній	
	звичайне штампу- вання	чистове штампу- вання	звичайне штампу- вання	чистове штампу- вання
90 °	0,25s	0,1s	0,35s	0,08s
60 °	0,5s	0,2s	0,6s	0,1s

*Примітка:* не треба заокруглювати зовнішні контури в деталей, виготовлених на гільйотинних ножицях, у відрізних штампах або в штампах зі складеними матрицями.

Таблиця Д 1.4 – Шорсткість поверхні зрізу після розділових операцій, мкм

Характер операції	При товщині матеріалу, мм				
	до 1,0	1...2	2...3	3...4	4...5
Вирубання, пробивання, інші операції, що виконуються на звичайних штампах	10...20	20...40	40...80	80...160	160...320
Чистове вирубання, пробивання	0,4...1,6				
Зачищення після вирубання, пробивання	0,63...1,25				

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.5 – Найменші значення відносного радіуса гнуття  $R/s$ 

Матеріал	У відпаленому стані		У деформаційно зміцненому стані	
	Лінія гнуття перпендикулярна напрямку волокон прокату	Лінія гнуття паралельна напрямку волокон прокату	Лінія гнуття перпендикулярна напрямку волокон прокату	Лінія гнуття паралельна напрямку волокон прокату
1	2	3	5	4
Алюміній	0	0	0,3	0,8
Мідь	0	0,2	0,4	0,8
Латунь м'яка	0	0,2	0,4	0,8
Сталь 05, 08	0	0	0,2	0,5
1	2	3	4	5
Ст3, Сталь 15, 20	0,1	0,5	0,4	0,8
Ст4, Сталь 25, 30	0,2	0,6	0,5	1,0
Ст5, Сталь 35, 40	0,3	0,8	0,8	1,5
Сталь 45, 50	0,5	1,0	1,2	1,6
Бронза, пруж. сталь	3,0	–	4,0	–
Дюралюмін м'який	1,0	1,5	2,5	1,5

Таблиця Д 1.6 – Орієнтовні значення відхилень розмірів деталей після гнуття, мм

Товщина заготовки, мм	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$h$
до 1	$\pm 0,7$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$
1...2	$\pm 1,0$	$\pm 0,7$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$
2...3	$\pm 1,2$	$\pm 1,0$	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$
3...4	$\pm 1,5$	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$
4...6	$\pm 2,0$	$\pm 1,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,2$

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.7 – Найменші значення відносних радіусів спряження елементів деталей, виготовлених витягуванням

Місце заокруглення	Циліндричні деталі	Коробчасті деталі
Між вертикальною стінкою і дном	1,0s	1,5s
Між бічними стінками	–	3,0s
Між фланцем і вертикальною стінкою	2,0s	3,0s

Таблиця Д 1.8 – Орієнтовні значення відхилень розмірів циліндричних деталей із фланцем\*

Товщина матеріалу, мм	Відхилення висоти залежно від її значення, мм							Відхилення діаметра деталі
	До 18	18...30	30...50	50...80	80...120	120...180	180...260	
до 1	± 0,3	± 0,4	± 0,5	± 0,6	± 0,8	± 1,0	± 1,2	Поля допусків по h11 і H11
1...2	± 0,4	± 0,6	± 0,6	± 0,7	± 0,9	± 1,2	± 1,4	
2...4	± 0,5	± 0,7	± 0,7	± 0,8	± 1,0	± 1,4	± 1,6	
4...6	± 0,6	± 0,8	± 0,8	± 0,9	± 1,1	± 1,6	± 1,8	

*Примітка.* У переважній більшості випадків деталі після витягування обрізують, тому відхилення висоти деталей без фланця визначається саме цією операцією. Без обрізування витягують лише неглибокі деталі з коефіцієнтом витягування  $k_v=1,2...1,4$ , причому досяжна точність відповідає 11–12 квалітету.

Таблиця Д 1.9 – Поля допусків і граничні відхилення.

Интервал размеров, мм	Поля допусків. Система отвору																													
	H7	H8	H9	H11	H12	H14	H15	H16	g6	h6	js6	k6	n6	f7	js7	h8	u8	e9	f9	h9	d11	h11	b1 2	h1 2	h1 4	h1 5	h1 6	$\pm \frac{\text{IT12}}{2}$	$\pm \frac{\text{IT14}}{2}$	
	Граничні відхилення, мкм (1 мкм = 0,001 мм)																													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Від 1 до 3	+10 0	+14 0	+25 0	+60 0	+100 0	+250 0	+400 0	+600 0	-2 -8	0 -6	+3,0 -3,0	+6 0	+10 +4	-6 -16	+5 -5	0 -14	+32 +18	-14 -39	-6 -31	0 -25	-20 -80	0 -60	-140 -240	0 -100	0 -250	0 -400	0 -600	+50 -50	+125 -125	
Від 3 до 6	+12 0	+18 0	+30 0	+75 0	+120 0	+300 0	+480 0	+750 0	-4 -12	0 -8	+4,0 -4,0	+9 +1	+16 +8	-10 -22	+6 -6	0 -18	+41 +23	-20 -50	-10 -40	0 -30	-30 -105	0 -75	-140 -260	0 -120	0 -300	0 -480	0 -750	+60 -60	+150 -150	
Від 6 до 10	+15 0	+22 0	+34 0	+90 0	+150 0	+360 0	+580 0	+900 0	-5 -14	0 -9	+4,5 -4,5	+10 +1	+19 +10	-13 -28	+7 -7	0 -22	+50 -28	-25 -61	-13 -49	0 -36	-40 -130	0 -90	-150 -300	0 -150	0 -360	0 -580	0 -900	+75 -75	+180 -180	
Від 10 до 14	+18	+27	+43	+110	+180	+430	+700	+1100	-6	0	+5,5	+12	+23	-16	+9	0	+60	-32	-16	0	-50	0	-150	0	0	0	0	0	+90	+215
Від 14 до 18	0	0	0	0	0	0	0	0	-17	-11	-5,5	+1	+12	-34	-9	-27	+33	-75	-59	-43	-160	-110	-330	-180	-430	-700	-1100	-90	-215	
Від 18 до 24	+21	+33	+52	+130	+210	+520	+840	+1300	-7	0	+6,5	+15	+28	-20	+10	0	+41	-40	-20	0	-65	0	-160	0	0	0	0	+105	+260	
Від 24 до 30	0	0	0	0	0	0	0	0	-20	-13	-6,5	+2	+15	-41	-10	-33	+81	-92	-72	-52	-195	-130	-370	-210	-520	-840	-1300	-105	-260	
Від 30 до 40	+25	+39	+62	+160	+250	+620	+1000	+1600	-9	0	+8,0	+18	+33	-25	+12	0	+60	-50	-25	0	-80	0	-170	0	0	0	0	+125	+310	
Від 40 до 50	0	0	0	0	0	0	0	0	-25	-16	-8,0	+2	+17	-50	-12	-39	+109	-112	-87	-62	-240	-160	-180	-250	-620	-1000	-1600	-125	-310	
Від 50 до 65	+30	+46	+74	+190	+300	+740	+1200	+1900	-10	0	+9,5	+21	+39	-30	+15	0	+87	-60	-30	0	-100	0	-190	0	0	0	0	+150	+370	
Від 65 до 80	0	0	0	0	0	0	0	0	-29	-19	-9,5	+2	+20	-60	-15	-46	+148	-134	-104	-74	-290	-190	-200	-300	-740	-1200	-1900	-150	-370	
																	+133						-430							
																	+70													
																	+133													
																	+102													

Продовження додатку І

Продовження таблиці Д 1.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Від 80 до 100	+35	+54	+87	+220	+350	+870	+1400	+2200	-12	0	+11,0	+25	+45	-36	+17	0	+178	-72	-36	0	-120	0	-220	-220	0	0	0	0	+175	+435
Від 100 до 120	0	0	0	0	0	0	0	0	-34	-22	-11,0	+3	+23	-71	-17	-54	+124	-159	-123	-87	-340	-220	-570	-350	-870	-1400	-2200	-175	-435	
Від 120 до 140																	+233						-260							
Від 140 до 160	+40	+63	+100	+250	+400	+1000	+1600	+2500	-14	0	+12,5	+28	+52	-43	+20	0	+255	-85	-43	0	-145	0	-280	0	0	0	0	+200	+500	
Від 160 до 180	0	0	0	0	0	0	0	0	-39	-25	-12,5	+3	+27	-83	-20	-63	+190	-185	-143	-100	-395	-250	-680	-400	-1000	-1600	-2500	-200	-500	
Від 180 до 200																	+308						-340							
Від 200 до 225	+46	+72	+115	+290	+460	+1150	+1850	+2900	-15	0	+14,5	+33	+60	-50	+23	0	+330	-100	-50	0	-170	0	-380	0	0	0	0	+230	+575	
Від 225 до 250	0	0	0	0	0	0	0	0	-44	-29	-14,5	+4	+31	-96	-23	-72	+258	-215	-165	-115	-460	-290	-840	-460	-1150	-1850	-2900	-230	-575	
Від 250 до 280	+52	+81	+130	+320	+520	+1300	+2100	+3200	-17	0	+16,0	+36	+66	-56	+26	0	+396						-480							
Від 280 до 315	0	0	0	0	0	0	0	0	-49	-32	-16,0	+4	+34	-108	-26	-81	+315	-110	-56	0	-190	0	-1000	0	0	0	0	+260	+650	
Від 315 до 355	+57	+89	+140	+360	+570	+1400	+2300	+3600	-18	0	+18,0	+40	+73	-62	+28	0	+479						-600							
Від 355 до 400	-0	0	0	0	0	0	0	0	-54	-36	-18,0	+4	+37	-119	-28	-89	+390	-125	-62	0	-210	0	-1170	0	0	0	0	+285	+700	
Від 400 до 450	+63	+97	+155	+400	+630	+1550	+2500	+4000	-20	0	+20	+45	+80	-68	+31	0	+490	-135	-68	0	-230	0	-1390	0	0	0	0	+315	+775	
Від 450 до 500	0	0	0	0	0	0	0	0	-60	-40	-20	+5	+40	-131	-31	-97	+631	-290	-223	-155	-630	-400	-840	-630	-1550	-2500	-4000	-315	-775	
																	+540						-1470							



## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.10 – Механічні властивості листової сталі, що застосовується в холодному листовому штампуванні.

Найменування сталі	Марка сталі	Опір зрізу $\sigma_{cp}$ (МПа) (при вирубці)	Межа міцності $\sigma_B$ , МПа	Відносне подовження $\delta$ , %	
				$\delta_5$	$\delta_{10}$
Тонколистова вуглецева звичайної якості (ГОСТ 380), $s = 0,5...4$ мм	Ст 1	280 – 340	320 – 400	33	28
	Ст 2	290 – 360	340 – 420	31	26
	Ст 3	330 – 400	380 – 470	25	21
	Ст 4	360 – 450	420 – 520	23	19
	Ст 5	430 – 530	500 – 620	19	15
	Ст 6	520 – 620	600 – 720	14	11
Тонколистова вуглецева якісна конструкційна (ГОСТ 1050, ТУ за ГОСТ 16583), $s = 0,2...4$ мм	08кп	250	300	35	-
	08	280	330	33	-
	10кп	270	320	33	-
	10	290	340	31	-
	15кп	310	360	29	-
	15	320	380	27	-
	20кп	330	390	27	-
	20	360	420	25	-
	25	390	460	23	-
	30	430	500	21	-
	35	460	540	20	-
	40	490	580	19	-
45	520	610	16	-	
50	540	640	14	-	
Листова низьколегована конструкційна (ГОСТ 19282), $s = 4...10$ мм	16ГС 14ХГС 12ХГН 15ХСНД	430	500	-	18
	10ХСНД 14ХГ2Ф	470	540	-	16
Тонколистова легована конструкційна загального призначення (ГОСТ 1542), $s = 0,5...4$ мм.	60Г	470 – 680	550 – 800	-	14
	65Г	510 – 720	600 – 850	-	12
	70Г	55 – 760	650 – 900	-	10
	10Г2А	340 – 490	400 – 580	-	22
	25ХГСА	420 – 600	500 – 700	-	18
	3ХГСА	450 – 640	550 – 750	-	16

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.11 – Механічні властивості листових і стрічкових кольорових металів і сплавів, застосовуваних у холодному штампуванні

Найменування металу або сплаву	Марка	Стан	Опір зрізу $\sigma_{зр}$ (МПа) (при вирубці)	Межа міцності $\sigma_{в}$ , МПа	Відносне подовження $\delta_0$
Латунь	Л68	м'яка	260	300	40
	Л62		260	300	35
	ЛС59-1		300	350	25
	Л68	тверда	340	400	15
Л62	360		420	10	
ЛС59-1	400		450	5	
Латунь марганцовиста	ЛМц58-2	м'яка	340	390	30
		напівтверда	400	450	25
		тверда	520	600	3
Мідь	М1, М2, М3	м'яка	180	210	30
		тверда	260	300	3
Алюміній	А2, А3, АД, АД1	м'який	70	75-110	30-20
		твердий	110	120-150	9-6
Дуралюмін	Д16 А-М Д16 А-Т	відпалений	150-200	180-250	12
		загартов.	270-300	340-380	15
Цинк	Ц1 – Ц4	-	120-200	140-230	40-36
Свинець	З1 – З4	-	20-30	25-40	50-40
Титанові сплави	ВТ1-1 ВТ1-2 ВТ5	відпалені	360-480	450-600	25-30
			440-600	550-750	20-25
			640-680	800-850	15
Ніхром	Х20Н80	м'який	640-700	750-800	35-45
Нікель	Н1, Н2, Н3	м'який	350	400	35
		твердий	470	550	2
Мельхіор	МН19	м'який	260	300	30
		твердий	340	400	3
Нейзильбер	МНЦ-15-20	м'який	300	350	35
		твердий	480	550	1
		особливо твердий	560	650	1
Бронза алюмінієва	Бра7	відпалена	520	600	10
		невідпал.	560	650	5

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.12 – Мінімальні й максимальні початкові двосторонні зазори між матрицею і пуансоном штампів для вирубування і пробивання, мм. (с. 74 [1]).

Товщина матеріалу $s$ , мм	Матеріал					
	Сталь м'яка (марок 08, 10, 15, Ст1, Ст2), мідь, м'яка латунь, алюміній		Сталь середньої твердості (марок 20, 25, 30, 35, Ст3, Ст4), тверда латунь		Сталь тверда (марок 40, 45, 50, Ст5, Ст6 і вище), тверда бронза	
	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$
0,2	0,005	0,020	0,010	0,025	0,010	0,030
0,3	0,010	0,030	0,015	0,035	0,015	0,035
0,4	0,015	0,035	0,020	0,040	0,025	0,045
0,5	0,020	0,040	0,025	0,050	0,030	0,055
0,6	0,025	0,050	0,030	0,060	0,040	0,070
0,8	0,030	0,065	0,040	0,080	0,050	0,090
1,0	0,040	0,080	0,050	0,100	0,060	0,110
1,2	0,060	0,120	0,070	0,130	0,080	0,160
1,5	0,075	0,140	0,090	0,165	0,100	0,195
1,8	0,090	0,160	0,110	0,200	0,130	0,230
2,0	0,100	0,180	0,120	0,220	0,140	0,260
2,5	0,125	0,225	0,150	0,275	0,175	0,325
3,0	0,150	0,270	0,180	0,330	0,210	0,390
3,5	0,210	0,350	0,245	0,420	0,280	0,490
4,0	0,240	0,400	0,280	0,480	0,320	0,560
4,5	0,270	0,450	0,315	0,540	0,360	0,630
5,0	0,300	0,500	0,350	0,600	0,400	0,700
6,0	0,400	0,660	0,500	0,800	0,500	0,900
7,0	0,500	0,770	0,600	0,900	0,600	1,100
8,0	0,600	0,880	0,700	1,100	0,700	1,200
9,0	0,700	1,000	0,800	1,300	0,900	1,400
10,0	0,800	1,200	0,900	1,400	1,000	1,600
12,0	1,000	1,500	1,100	1,700	1,200	2,000
14,0	1,400	2,000	1,500	2,100	1,700	2,200
16,0	1,600	2,300	1,800	2,400	2,000	2,600
18,0	2,400	2,800	3,000	3,400	3,400	3,800

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.13 – Найменша величина перемичок при вирубуванні

Товщина матеріалу, мм	Перемичка, мм		Товщина матеріалу, мм	Перемичка, мм	
	$a$ і $b$	$a_1$ і $b_1$		$a$ і $b$	$a_1$ і $b_1$
0,3	1,4	2,3	4,0	2,5	3,5
0,5	1,0	1,8	5,0	3,0	4,0
1,0	1,2	2,0	6,0	3,5	4,5
1,5	1,4	2,2	7,0	4,0	5,0
2,0	1,6	2,5	8,0	4,5	5,5
2,5	1,8	2,8	9,0	5,0	6,0
3,0	2,0	3,0	10,0	5,5	6,5
3,5	2,2	3,2			

Позначення:  $a$  – перемичка між вирізами для невеликих деталей простої форми,  $a_1$  – перемичка між вирізами для більших деталей або деталей складної форми;  $b$  – бічна перемичка при роботі з бічним притиском;  $b_1$  – те ж при роботі без бічного притиску.

Таблиця Д 1.14 – Допуски  $\delta$  на ширину штаб, нарізаних на гільйотинних ножицях

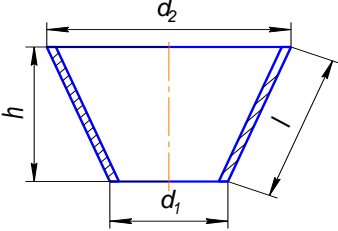
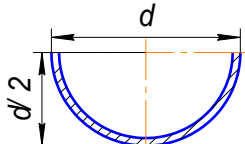
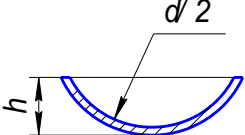
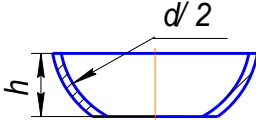
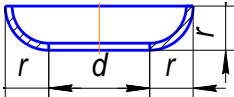
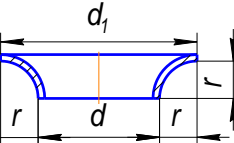
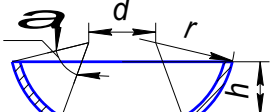
Ширина штаби	Товщина матеріалу $s$ , мм				
	До 1	Від 1 до 2	Св.2 до 3	Від 3 до 5	Від 5 до 10
До 50	0,4	0,5	0,7	0,9	1,8
Від 50 до 100	0,5	0,6	0,8	1,0	2,0
Від 100 до 150	0,6	0,7	0,9	1,1	2,5
Від 150 до 220	0,7	0,8	1,0	1,2	3,0
Від 220 до 300	0,8	0,9	1,1	1,3	4,0

Таблиця Д 1.15 – Допуски  $\delta$  на розрізування стрічки на АПР

Товщина матеріалу	Ширина стрічки					
	Нормальна точність			Підвищена точність		
	До 100	Від 100 до 300	Від 300	До 100	Від 100 до 300	Від 300
До 0,1	0,10	0,15	0,25	0,05	0,08	0,15
Від 0,10 до 0,63	0,20	0,30	0,40	0,10	0,15	0,25
Від 0,63 до 1,00	0,30	0,40	0,25	0,20	0,25	0,35
Від 1,00 до 3,60	0,40	0,50	0,60	0,30	0,35	0,45

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.16 – Площі поверхні простих геометричних тіл

Форма поверхні	Ескіз	Площа поверхні $S$
Усічений конус		$\frac{\pi l}{2}(d_2 + d_1)$
Півкуля		$\frac{\pi d^2}{2}$
Кульовий сегмент		$\pi dh$
Кульовий пояс		$\pi dh$
Чверть тора (опукла)		$\frac{\pi}{4}(2\pi dr + 8r^2)$
Чверть тора (увігнута)		$\frac{\pi}{2}(\pi dr + 2,28r^2)$ або $\frac{\pi}{4}(2\pi d_1 r + 8r^2)$
Частина опуклого сферичного кільця		$\pi(dl + 2rh)$ , де $L = \frac{\pi r \alpha}{180} = 0,017 r \alpha$

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.17 – Припуски по висоті на обрізування циліндричних деталей без фланця, мм

Повна висота деталі, мм	Припуск при відносній висоті деталі $h/d$			
	0,5...0,8	0,8...1,6	1,6...2,5	2,5...4,0
10	1,0	1,2	1,5	2,0
20	1,2	1,6	2,0	2,5
50	2,0	2,5	3,3	4,0
100	3,0	3,8	5,0	6,0
150	4,0	5,0	6,5	8,0
200	5,0	6,3	8,0	10,0
250	6,0	7,5	9,0	11,0
300	7,0	8,5	10,0	12,0

Таблиця Д 1.18 – Припуски на обрізування деталей із широким фланцем, мм

Діаметр фланця $d_f$ , мм	Припуск на сторону при відносному діаметрі фланця $d_f/d$			
	До 1,5	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...2,8
25	1,6	1,4	1,2	1,0
50	2,5	2,0	1,8	1,6
100	3,5	3,0	2,5	2,2
150	4,3	3,6	3,0	2,5
200	5,0	4,2	3,5	2,7
250	5,5	4,6	3,8	2,8
300	6,0	5,0	4,0	3,0

Таблиця Д 1.19 – Умови застосування притиску при витягуванні

Операція витягування	Із притиском	Із притиском або без притиску	Без притиску
Перша	$D_0 - d_1 > 22s$	$D_0 - d_1 \approx 22s$	$D_0 - d_1 < 22s$
Наступні	$\frac{100s}{d_{n-1}} < 1,25$	$\frac{100s}{d_{n-1}} = 1,25 \dots 1,5$	$\frac{100s}{d_{n-1}} > 1,5$

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.20 – Коефіцієнти витягування без притиску в штампі з конічною матрицею

Відношення нижнього діаметра конуса до верхнього $d_2/d_1$	Коефіцієнти при відносній товщині заготовки $\frac{s}{D_0} 100\%$				
	0,6	2,00	1,92	1,85	1,79
0,7	1,72	1,67	1,61	1,56	1,52
0,8	1,52	1,47	1,43	1,39	1,33

Таблиця Д 1.21 – Коефіцієнти витягування із притиском циліндричних деталей без фланця

$\frac{s}{D_0} 100\%$	$k_{B1}$	$k_{B2}$	$k_{B3}$	$k_{B4}$	$k_{B5}$
2,0...1,5	2,17...2,0	1,43...1,39	1,39...1,35	1,35...1,32	1,32...1,28
1,5...1,0	2,00...1,89	1,39...1,35	1,35...1,32	1,32...1,28	1,28...1,25
1,0...0,5	1,89...1,78	1,35...1,32	1,32...1,28	1,28...1,25	1,25...1,22
0,5...0,2	1,78...1,72	1,32...1,28	1,28...1,25	1,25...1,22	1,22...1,19
0,2...0,06	1,72...1,67	1,28...1,25	1,25...1,22	1,22...1,19	1,19...1,16

Таблиця Д 1.22 – Коефіцієнти першого витягування для циліндричних деталей із фланцем ( $m_1 = \frac{d_1}{D_0}$ )

$\frac{d_\phi}{d}$	Значення коефіцієнтів $m_1$ при відносній товщині заготовки $\frac{s}{D_0} 100\%$				
	2,0...1,5	1,5...1,0	1,0...0,5	0,5...0,2	0,2...0,06
До 1,1	2,00	1,89	1,82	1,75	1,69
1,3	2,04	1,96	1,89	1,85	1,82
1,5	2,12	2,04	2,00	1,96	1,92
1,8	2,22	2,17	2,13	2,08	2,08
2,0	2,38	2,33	2,27	2,22	2,22
2,3	2,50	2,44	2,38	2,38	2,38
2,5	2,70	2,63	2,63	2,63	2,63
2,8	3,03	2,94	2,94	2,86	2,86

## Продовження додатка 1

Таблиця Д 1.23 Оптимальні значення відносних радіусів заокруглень витяжних крайок матриць  $r_M/s$  і пуансонів  $r_H/s$ 

Ступінь деформації	Радіуси заокруглень при відносній товщині $\frac{s}{D_0} 100\%$					
	3,0	2,0	1,5	1,0	0,5	0,25
Більша ( $k_B = 2,22...2,00$ )						
$r_M/s$	5	6	7,5...8	9...10	12	14
$r_H/s$	3	4	5	6	8	9
Мала ( $k_B = 1,80...1,60$ )						
$r_M/s$	3	4	5	6	8	9...10
$r_H/s$	2	2,5	3	4	5	6

Таблиця Д 1.24 Значення коефіцієнта  $k$ , необхідного для обчислення сили витягування без стоншення циліндричних деталей

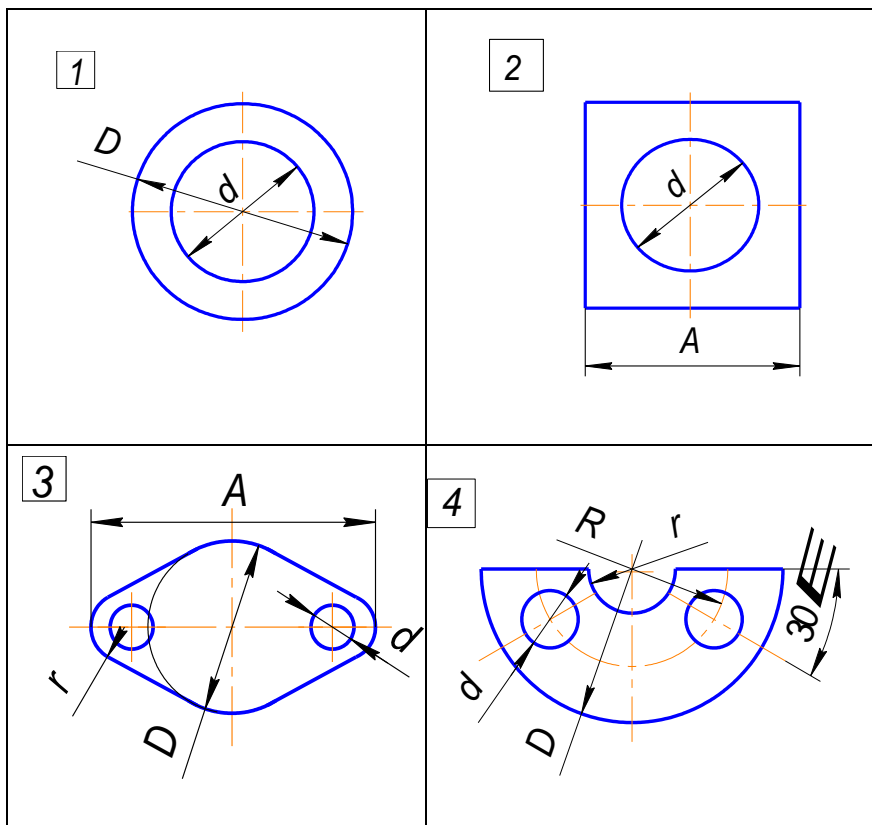
$k_B$	$k$	$k_B$	$k$
>1,82	1,00	1,47...1,43	0,60
1,82...1,72	0,93	1,43...1,37	0,55
1,72...1,67	0,86	1,37...1,33	0,50
1,67...1,59	0,79	1,33...1,28	0,45
1,59...1,54	0,72	1,28...1,25	0,40
1,54...1,47	0,66	1,25...1,25	0,37

Таблиця Д 1.25 Питомі сили притиску при витягуванні

Матеріал, що штампується	$q_{прж}$ , МПа
Низьковуглецева сталь:	
$s \leq 0,5$ мм	2,5...3,0
$s > 0,5$ мм	2,0...2,5
корозійно-стійкі, високолеговані і високомарганцовисті сталі	3,0...4,5
Мідь	1,0...1,5
Латунь	1,5...2,0
Алюміній і його сплави	0,8...1,8
Бронза	2,0...2,5

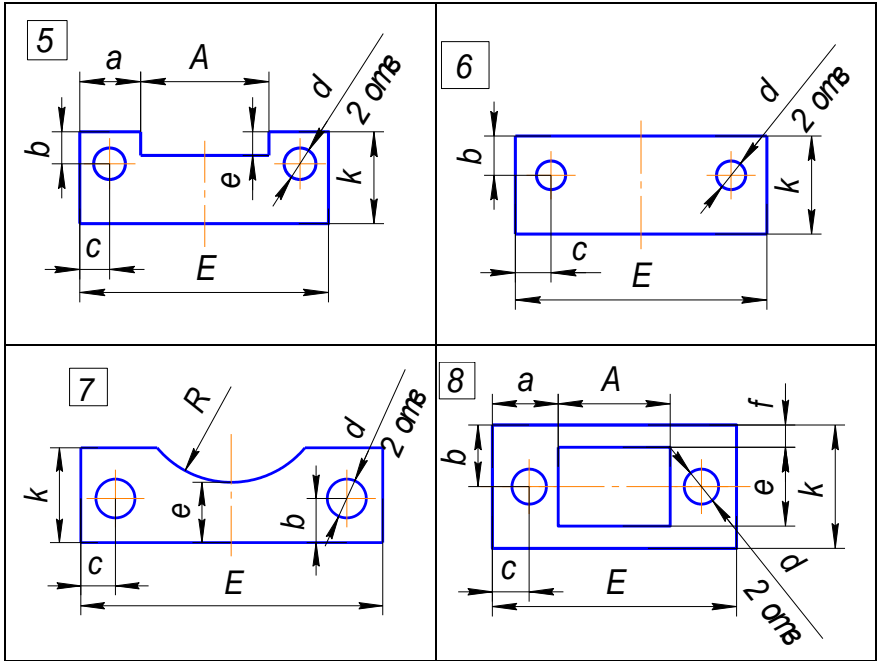


## ДОДАТОК 2



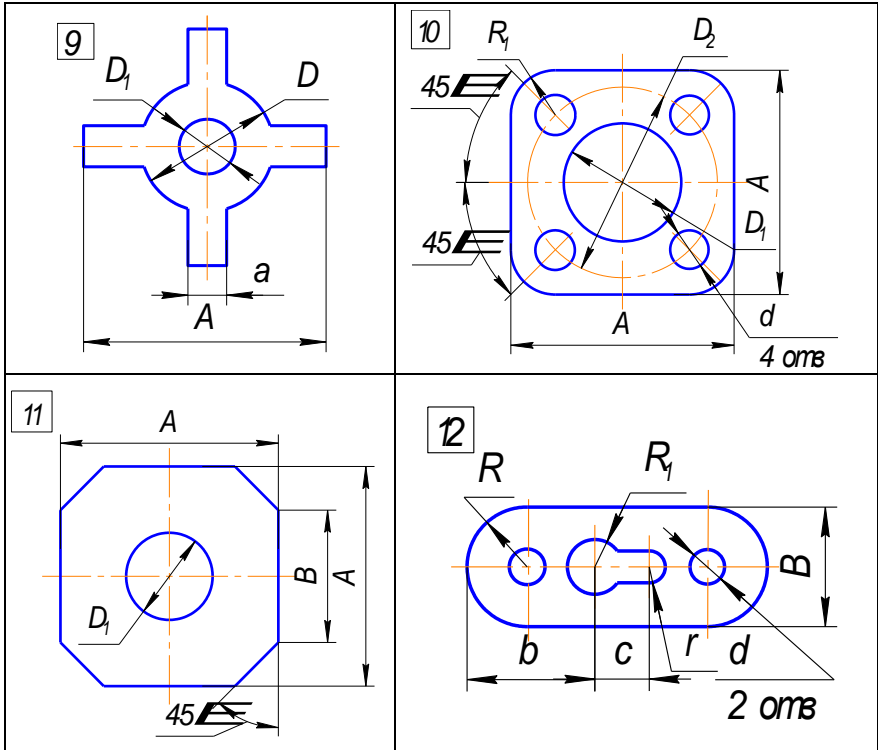
	1	2	3	4
$d$	5H11	8H11	10H12	12H12
$D$	30	40	45	50
$r$	3	5	10	10
$R$	10	12	17	16
$A$	40	45	50	60
$s$	0,8	2	2,5	1,4
	Сталь 40	Сталь 20	Мідь М1	Алюміній А1
Незначені граничні відхилення $h14, H14, \pm IT14/2$				

## Продовження додатка 2



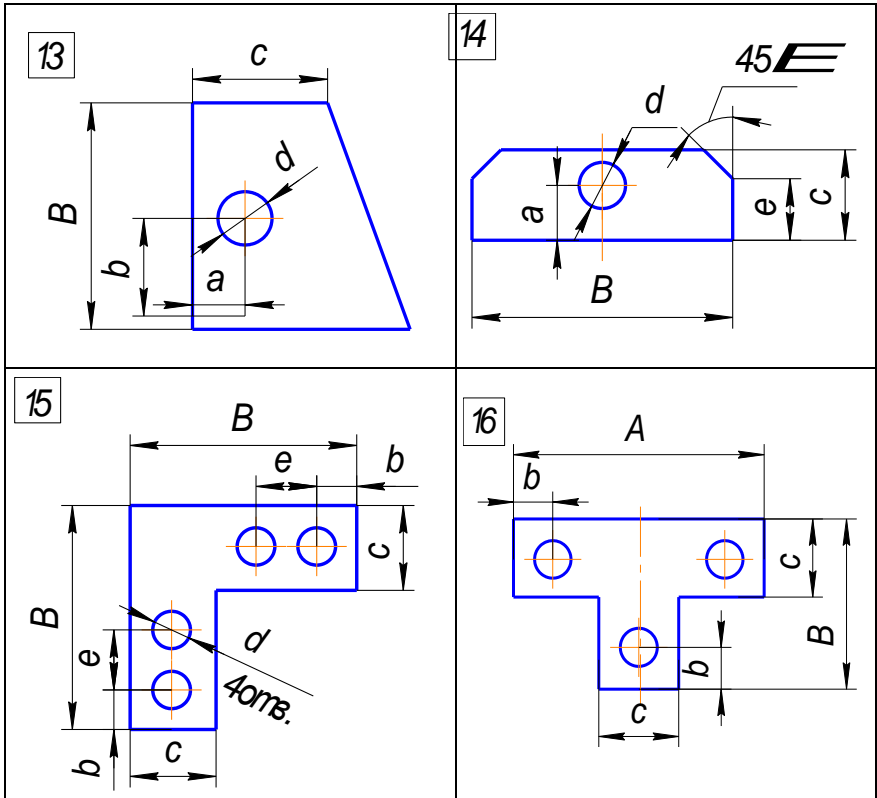
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
$a$	12	12	15	24
$A$	20H12	29H14	40H14	60H12
$b$	12	12	15	15
$c$	10	14	18	22
$d$	6H12	8H9	8H9	10H12
$e$	10	14	18	22
$f$	6	7	10	13
$E$	44	54	70	108
$k$	22	28	38	45
$R$	25	28	30	30
$s$	1,4	2,0	4	3
Матеріал	Сталь 10	Сталь 30	Сталь 65Г	Ст 3
Невказані граничні відхилення $h14$ , $H14$ , $\pm IT14/2$				

## Продовження додатка 2



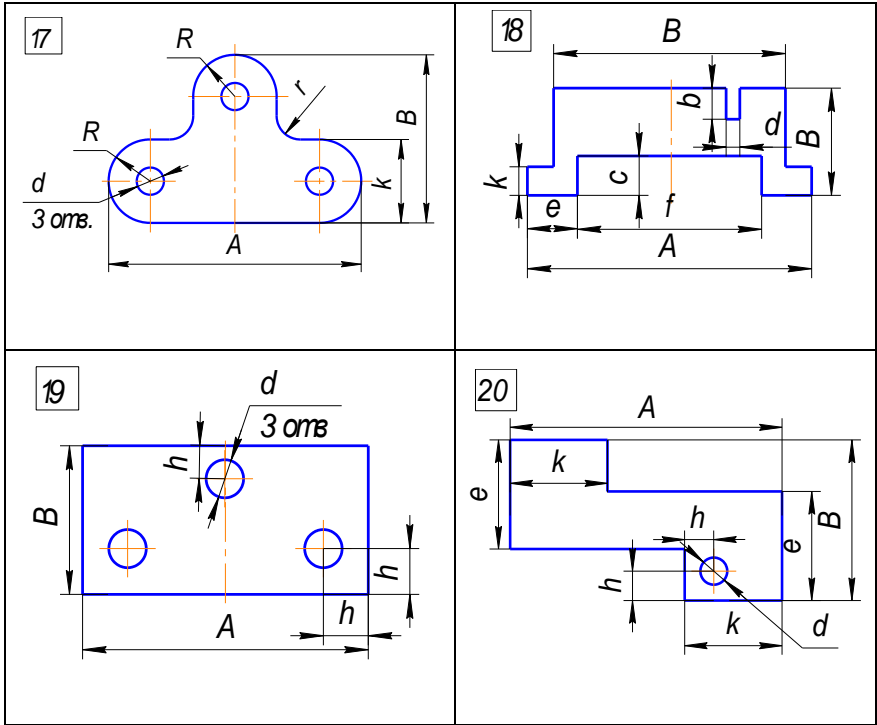
	1	2	3	4
$a$	10	12	15	15
$A$	50	58	65	75
$d$	5H12	4H12	7H14	9H12
$D$	35H12	38	42	50
$D_1$	25H14	28H12	30H14	35H12
$D_2$	48	55	60	68
$r$	5	6	6	8
$s$	1,4	3	2	1
$R_1$	10	12	13	15
$b$	30	32	35	38
$B$	20	22	28	34
$c$	12	15	15	18
Матеріал	Сталь 30	Сталь 10	Сталь 45	Мідь МЗ
Невказані граничні відхилення $h14, \pm IT14/2$				

## Продовження додатка 2



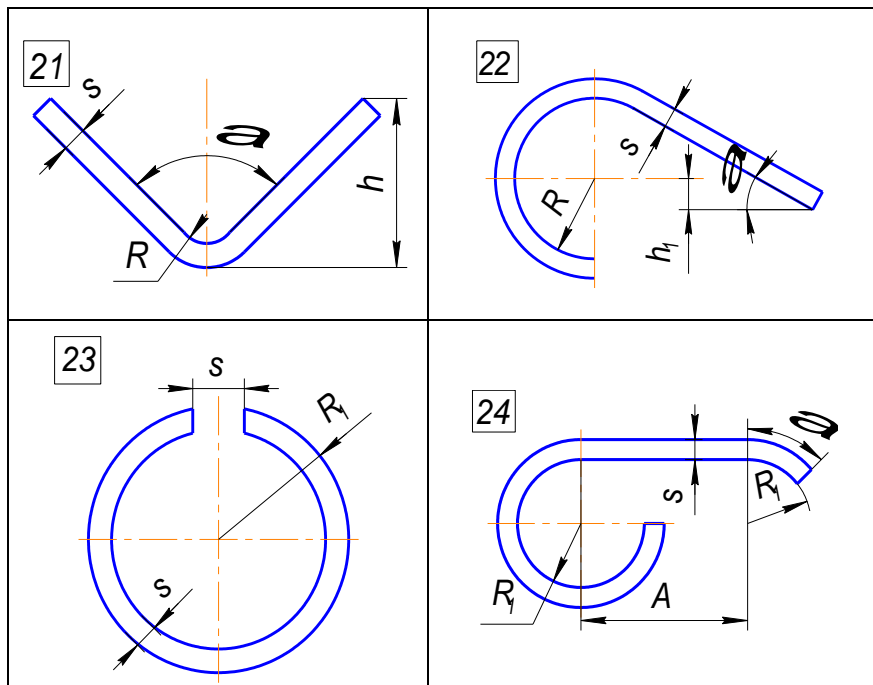
	1	2	3	4
$a$	10	12	10	15
$A$	60	65	70	80
$b$	15	18	18	20
$B$	50	55	55	65
$c$	25	30	32	35
$d$	4H12	5H12	4H12	6,5H12
$e$	15	18	16	14
$s$	2	/*4	0,5	1,4
Матеріал	Сталь 40	Мідь М2	Сталь Ст3	Сталь 10
Невказані граничні відхилення $h14, \pm IT14/2$				

## Продовження додатка 2



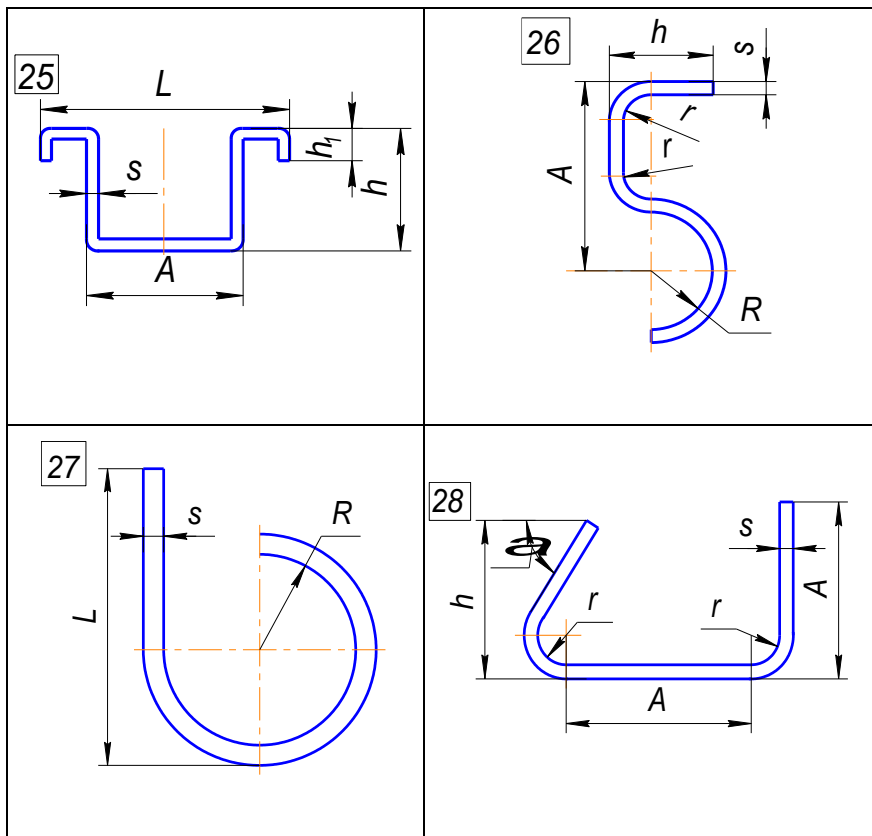
	1	2	3	4
$a$	1	2	2,5	3
$A$	55	70	80	90
$b$	5	6	8	10
$B$	40	50	60	70
$c$	5	8	10	10
$e$	25	35	42	45
$f$	20	30	35	40
$r$	2	2,5	2,5	3
$s$	2	1	1,4	3
$h$	7	9	10	10
$k$	12	18	20	22
$d$	3H12	4H14	7H12	5H14
Матеріал	Мідь МЗ	Сталь 40	Сталь 10	Сталь 15
Невказані граничні відхилення $h14, \pm IT14/2$				

## Продовження додатка 2



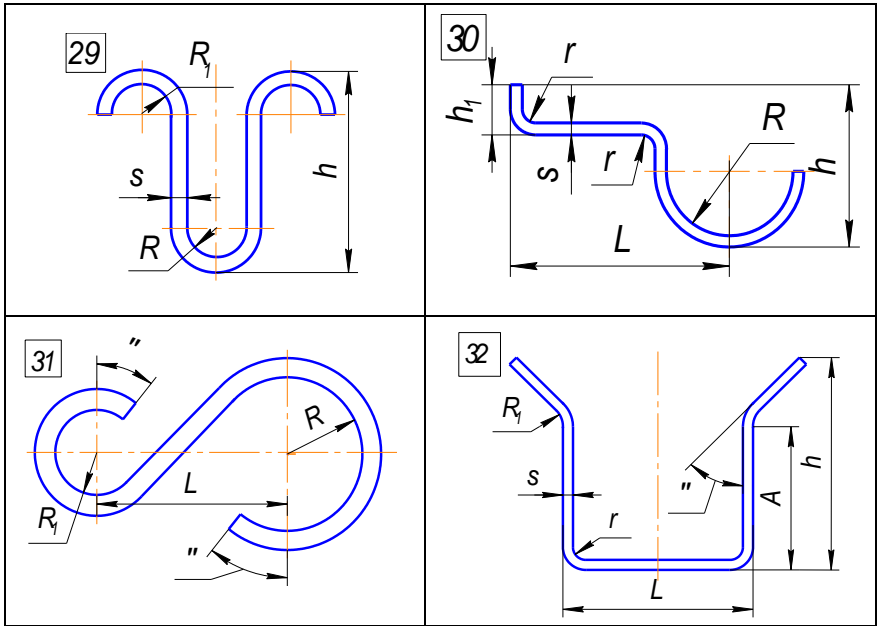
	1	2	3	4
$h$	28	32	38	44
$h_1$	20	25	10	18
$R$	3	2	4	5
$R_1$	10	18	12	15
$\alpha^\circ$	30	35	45	40
$A$	40	42	45	50
$s$	1,4	2	3	4
Матеріал	Сталь 30	Сталь 10	Мідь М2	Алюміній А3
Невказані граничні відхилення $h14, \pm IT14/2$				

## Продовження додатка 2



	1	2	3	4
$h$	40	42	45	52
$h_i$	30	32	35	40
$A$	42	48	55	60
$r$	2	3	3,5	4
$R$	10	12	15	18
$\alpha^\circ$	35	40	45	50
$L$	55	62	75	85
$s$	1	2	2,5	3,0
Матеріал	Сталь Ст3	Сталь 15	Алюміній А2	Латунь Л63
Невказані граничні відхилення $h14, \pm IT14/2$				

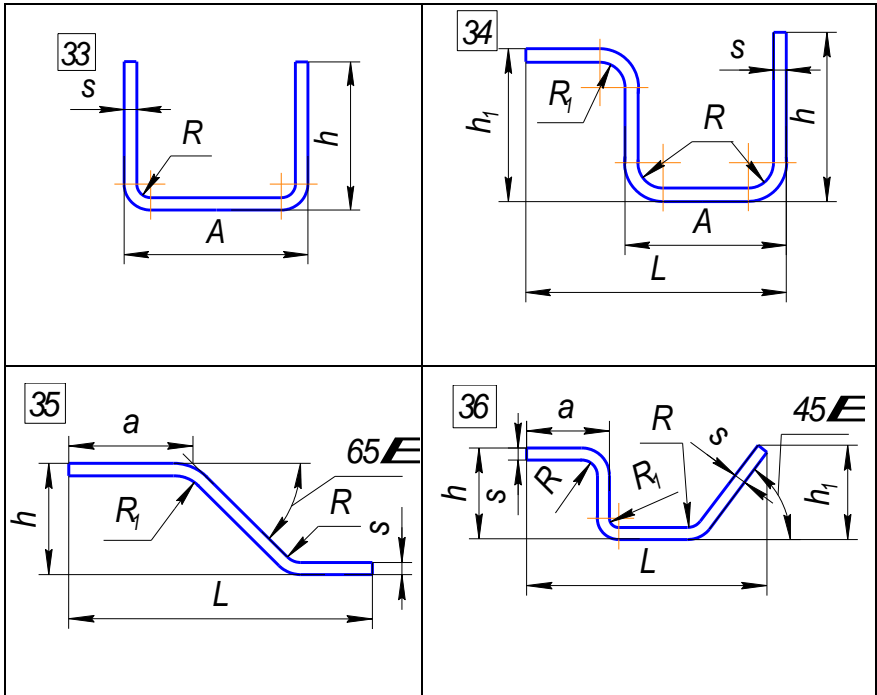
## Продовження додатка 2



	1	2	3	4
$r$	3	4	3,5	4
$R$	35	39	50	60
$R_1$	20	28	38	40
$a$	10	12	12	14
$A$	35	40	45	45
$b$	10	12	14	15
$h$	65	78	98	125
$h_1$	18	22	25	30
$L$	55	60	70	72
$\alpha^\circ$	45	40	45	35
$s$	1	1,4	2	2,5
Матеріал	Мідь М2	Сталь 20	Сталь 40	Сталь 30
Невказані граничні відхилення $h14, \pm IT14/2$				

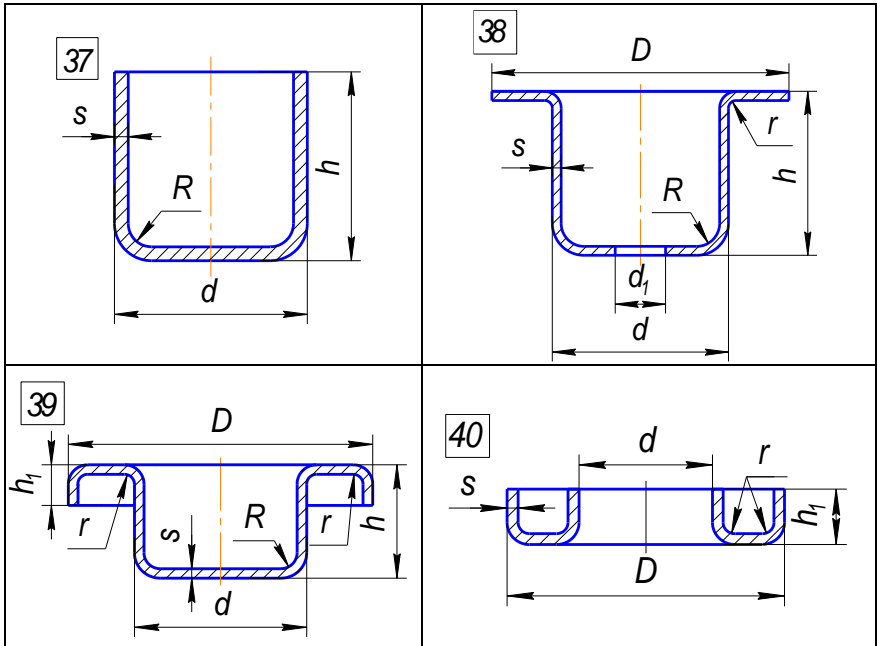


## Продовження додатка 2



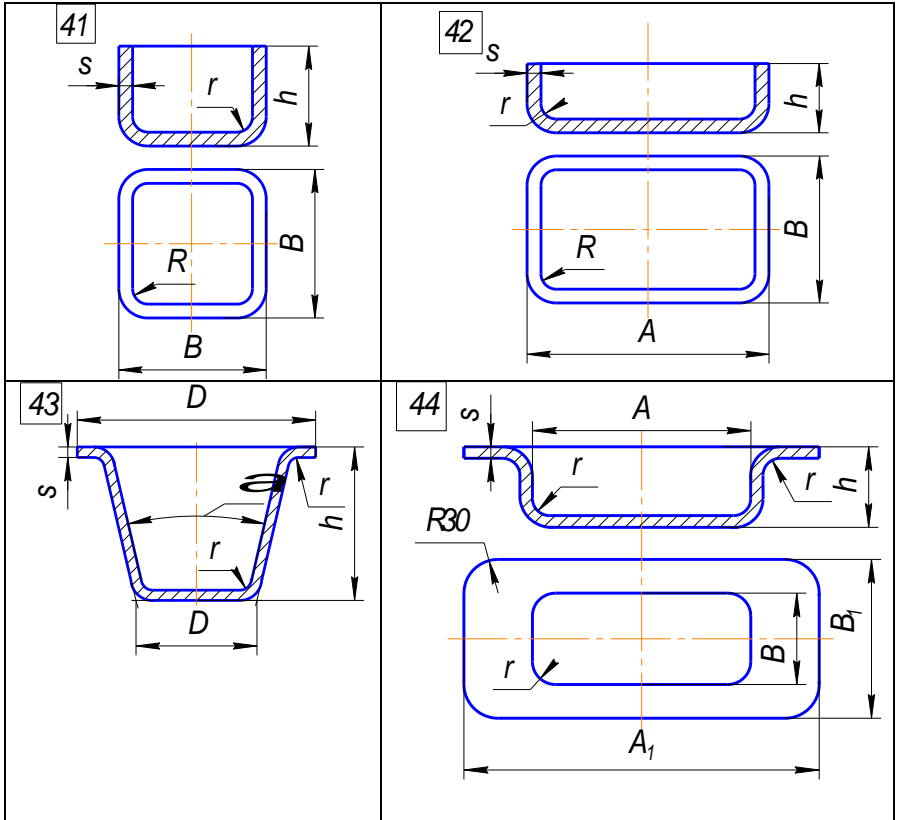
	1	2	3	4
$a$	25	28	30	30
$A$	40	45	50	50
$R$	2	3	4	6
$R_1$	6	4	4	3
$h$	40	42	28	34
$h_1$	25	30	32	37
$L$	80	85	90	110
$s$	3	4	2	2,5
Матеріал	Сталь 10	Сталь Ст5	Латунь Л63	Сталь 30
Невказані граничні відхилення $h_{14, \pm IT14/2}$				

## Продовження додатка 2



	1	2	3	4
$d$	35	40	50	60
$d_1$	20H12	28H12	32H12	38H12
$D$	60	68	78	90
$r$	4	2	2,5	3
$R$	4	5	6	7
$h$	45	50	50	60
$h_1$	8	10	10	12
$s$	1,6	2	1	1
Матеріал	Сталь 08	Сталь 08	Сталь 08	Сталь 08
Невказані граничні відхилення $h_{14}, \pm IT14/2$				

## Продовження додатка 2



	1	2	3	4
$r$	2	3	3,5	4
$R$	10	12	12	15
$A$	70H12	85H12	100H12	110H12
$A_1$	95	117	135	160
$B$	45H12	56H12	60H12	70H12
$B_1$	70	88	95	120
$d$	28	36	45	50
$\alpha^\circ$	30	35	40	40
$h$	38	50	58	70
$D$	52	65	75	90
$s$	1	1,2	1,6	1
Матеріал	Сталь 10	Сталь 08	Сталь 10	Сталь 08кп
Невказані граничні відхилення $h14, \pm IT14/2$				

Навчальне видання

**ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЦЕСІВ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ**  
**Навчально-методичний посібник**  
**до практичних занять та самостійної роботи**  
**для студентів спеціальності**  
**131 "Прикладна механіка"**

Українською мовою

Укладачі: ЧУХЛІБ Віталій Леонідович  
ЮРЧЕНКО Олександр Анатолійович,  
АШКЕЛЯНЕЦЬ Антон Володимирович.

Відповідальний за випуск Чухліб В.Л.

Роботу до видання рекомендував Чухліб В.Л.

В авторській редакції

План 2021 р., поз. \*\*\*

Підп. до друку \_\_. \_\_.20. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.  
Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Умовних друк. арк. 3.  
Обл.-вид. арк.3,6. Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ “ХП”.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №116 від 10.07.2000 р.  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

---

Друкарня НТУ “ХП”.  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.