

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
« » червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему:
Проектування технологічного процесу
виготовлення деталі «Фланець»

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ-22-2
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 Прикладна механіка
_____ Максим КІСІЛЬОВ

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
01 квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Кісільову Максиму Володимировичу

Тема роботи:

Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець».

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Володимир СВЯЦЬКИЙ

Затверджено наказом ЦНТУ від 01 квітня 2026 року № 199-02.

Строк подання роботи до захисту:

26 червня 2026 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: розробка раціонального технологічного процесу, прогресивного оснащення виготовлення деталі «Фланець».

Завдання: проаналізувати варіанти процесу штампування типових деталей; виконати конструктивно-технологічний аналіз деталі та розрахувати розміри вихідної заготовки; розрахувати силовий режим за операціями штампування та вибрати обладнання, спроектувати оснащення для листового штампування деталі «Шайба». Тип виробництва – крупносерійний.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	21.04.2026 р.	
2	Виконання загальної частини	02.05.2026 р.	
3	Виконання технологічної частини	09.05.2026 р.	
4	Виконання конструкторської частини	16.05.2026 р.	
5	Розробка креслеників	30.05.2026 р.	
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	10.06.2026 р.	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	22.06.2026 р.	
8	Рецензування роботи	24.06.2026 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	26.06.2026 р.	

Дата видачі завдання 02 квітня 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Максим КІСІЛЬОВ

Керівник роботи _____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Кісілюв М. В. Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» : кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В. В. Свяцький; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2026. 36 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка раціонального технологічного процесу, прогресивного оснащення виготовлення деталі «Фланець». Актуальність роботи полягає в необхідності розробки ефективного та економічно обґрунтованого процесу холоднолистового штампування деталі «Фланець» з урахуванням вимог до точності, жорсткості оснащення і продуктивності.

Виконано конструкторсько-технологічний аналіз деталі, вибрано та обґрунтовано оптимальний варіант маршрутної технології, розраховано вихідну заготовку, виконано розкрій листового прокату з оптимізацією розташування заготовки на штабі, визначено коефіцієнт використання матеріалу при різних варіантах розкрою листа, розраховано технологічні зусилля за операціями штампування та обрано штампувальне обладнання, спроектовано штамп послідовної дії для вирубання-пробивання деталі «Фланець».

Ключові слова: **технологічний процес, листове штампування, штампове оснащення, силовий режим, автоматизований комплекс**

ANNOTATION

Maxim KISILOV. Design of the technological process for manufacturing the "Flange" part : qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Volodymyr SVIATSKYI : Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026. 36 p.

Drawings – summary 3 sheets A1 format.

The purpose of the work is to develop a rational technological process, progressive equipment for the manufacture of the part "Flange". The relevance of the work lies in the need to develop an effective and economically justified process of cold sheet stamping of the part "Flange", taking into account the requirements for accuracy, rigidity of the equipment and productivity.

A design and technological analysis of the part was performed, the optimal route technology option was selected and substantiated, the initial workpiece was calculated, sheet metal was cut with optimization of the workpiece location on the staff, the material utilization factor was determined for different sheet cutting options, the technological efforts for stamping operations were calculated and stamping equipment was selected, a sequential action stamp was designed for cutting-punching the part "Flange".

Keywords: **technological process, sheet metal stamping, stamping equipment, power mode, automated complex**

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

Проект кривошипного кувально-штампувального пресу

КРБ.ПМ.26.26.12.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ-22-2
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 Прикладна механіка
_____ Максим КІСІЛЬОВ

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

Кропивницький 2026

Зміст

Вступ	7
1. Дані для розрахунків.....	8
2. Розрахунки процесу отбортовки.....	9
2.1. Розрахунки кількості операцій утоніння.....	9
2.2. Коефіцієнт отбортовки	10
2.3. Висота борту без утоніння	11
2.4. Висота борту з утонінням	11
2.5. Висота, яка повинна бути отримана витяжкою.....	11
3. Розрахунки процесу витяжки.....	12
3.1. Розрахунки розгорнення фланця.....	12
3.2. Визначення діаметра вихідної заготовки для витяжки.....	12
3.3. Розрахунки коефіцієнтів витяжки.....	13
3.4. Розрахунки робочих коефіцієнтів витяжки по переходах.....	14
3.5. Діаметр напівфабрикату по переходах (внутрішній).....	14
3.6. Розрахунки радіусів закруглення матриці по переходах.....	14
3.7. Розрахунки радіусів закруглення пуансона по переходах.....	15
3.8. Попередній розрахунки висоти напівфабрикату переходам.....	15
3.9. Остаточний розрахунки висоти напівфабрикату по переходах.....	16
4. Розрахунки витяжки фланця.....	16
4.1. Сумарний коефіцієнт витяжки.....	17
4.2. Коефіцієнт витяжки по переходах.....	17
4.3. Діаметр фланця.....	17
4.4. Радіуси закруглення пуансона й матриці.....	17
4.5. Висота фланця.....	17
5. Розрахунки гнуття.....	17
5.1. Визначення довжини розгорнення.....	17

5.2. Розрахунки пружинення при гнутті.....	18
6. Розрахунки виконавчих розмірів інструмента.....	18
6.1. Розміри при вирубці.....	18
6.2. Розміри при витяжці (перший перехід).....	19
6.3. Розміри при витяжці (останній перехід).....	20
7. Розрахунки зусиль по операціях.....	21
7.1. Зусилля вирубки.....	21
7.2. Зусилля отбортовки з утоненням і притиску.....	21
7.3. Зусилля витяжки й притиску по переходах.....	22
7.4. Зусилля пробивання отвору під отбортовку.....	23
7.5. Зусилля витяжки фланця.....	23
7.6. Зусилля обрізки припуску.....	23
7.7. Зусилля гнуття.....	23
8. Вибір преса.....	24
9. Розрахунки ширини смуги й визначення типу розкрою.....	24
9.1. Номінальна ширина смуги.....	25
9.2. Просвіт між напрямними штампа.....	25
9.3. Коефіцієнт використання матеріалу.....	26
9.4. Коефіцієнт розкрою матеріалу.....	26
10. Розрахунки пружин знімача.....	26
10.1. Зусилля знімання.....	26
10.2. Максимальне зусилля пружини.....	27
10.3. Число витків пружини.....	27
10.4. Довжина пружини у вільному стані.....	27
10.5. Довжина пружини в робочому стані.....	27
11. Розрахунки пуансона для отбортовки.....	28
11.1. Розрахунки кута конуса пуансона.....	28
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	31

Вступ

Холодне листове штампування належить до найбільш прогресивних технологічних способів виготовлення виробів і характеризується низкою переваг порівняно з іншими методами обробки металів як з технічної, так і з економічної точок зору.

З технічного погляду холодне листове штампування забезпечує:

- виготовлення деталей складної конфігурації, виробництво яких іншими методами є ускладненим або взагалі неможливим;
- отримання міцних, жорстких і водночас легких конструкцій за рахунок раціонального використання матеріалу;
- виготовлення взаємозамінних деталей із високою точністю геометричних параметрів, що в більшості випадків не потребують подальшої механічної обробки.

Економічні переваги холодного штампування полягають у такому:

- раціональному використанні матеріалу та мінімізації відходів виробництва;
- високій продуктивності обладнання завдяки широкому впровадженню засобів механізації та автоматизації виробничих процесів;
- можливості організації масового випуску продукції за відносно низької собівартості виробів.

Розроблення технологічних процесів холодного штампування та проєктування штампового оснащення є взаємопов'язаними етапами підготовки виробництва, хоча їх виконання може здійснюватися різними фахівцями.

Технологія холодного листового штампування охоплює значну кількість різноманітних операцій, які можуть бути класифіковані за технологічними ознаками. Залежно від способу поєднання операцій комбіноване

штампування поділяють на три основні види: суміщене, послідовне та суміщено-послідовне.

При суміщеному штампуванні декілька різних операцій виконуються одночасно за один робочий хід преса та за одне встановлення заготовки в штампі.

Послідовне штампування передбачає виконання кількох операцій або переходів у визначеній послідовності окремими пуансонами протягом декількох ходів преса. При цьому заготовка переміщується між робочими позиціями, а після кожного ходу преса отримується готова деталь.

Суміщено-послідовне штампування є поєднанням двох попередніх способів і передбачає виконання декількох операцій у межах одного штампа шляхом комбінування суміщеного та послідовного принципів обробки.

До основних переваг листового штампування належать:

- можливість виготовлення деталей мінімальної маси за умови забезпечення необхідних показників міцності та жорсткості;
- висока точність розмірів і якість поверхні виробів, що дає змогу суттєво скоротити обсяг оздоблювальних операцій та забезпечити значну продуктивність праці (до 40 тис. деталей за зміну на одній одиниці обладнання);
- універсальність щодо масштабів виробництва, завдяки чому листове штампування є економічно ефективним як у масовому, так і в дрібносерійному виробництві.

1. Дані для розрахунків

Марка матеріалу – сталь 10 кп;

$d_1=65$ мм; $d_2=30$ мм; $h_1=60$ мм; $h_2=15$ мм; $S_0=1,2$ мм; $S_1=0,8$ мм; $r_1=4,0$ мм; $r_2=5,0$ мм; $r_3=0,3$; $\alpha=25^\circ$; $b=3$ мм; $l=20$ мм.

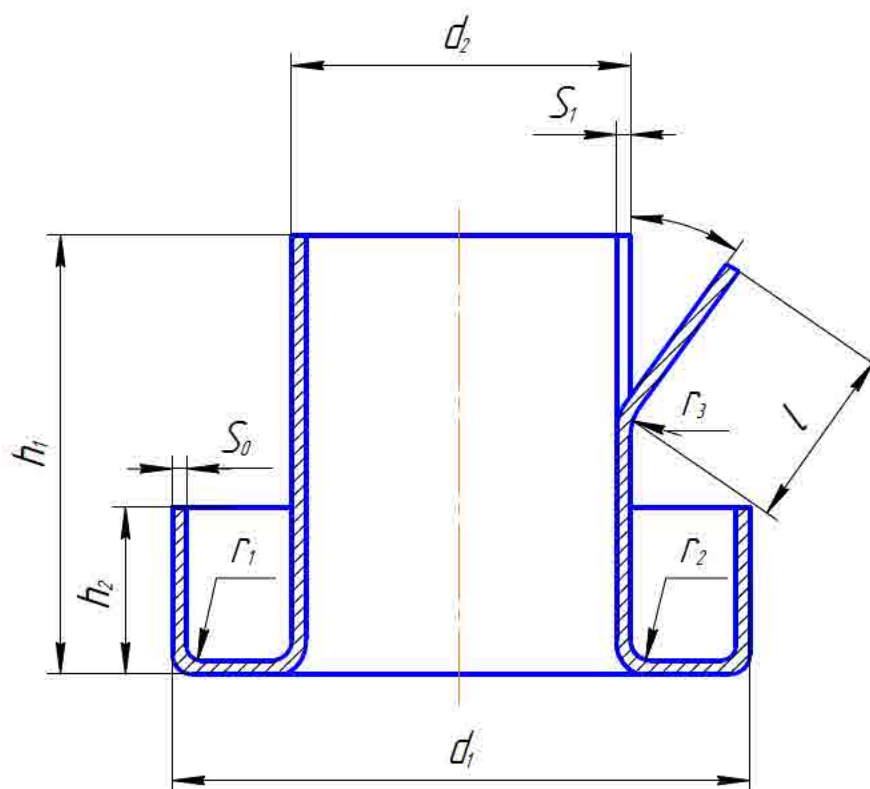


Рис.1. Ескіз деталі

Технологічні розрахунки виготовлення типових деталей із широким фланцем роблять, як правило, у зворотній послідовності. Спочатку розраховують процес отбортовки з метою встановлення висоти деталі, одержуваною попередньою витяжкою.

2. Розрахунки процесу отбортовки

Отбортовку виконуємо з утоненням стінки від 1,2 до 0,8 мм.

2.1. Розрахунки кількості операцій утоніння

$$n = \frac{\lg S_n - \lg S_0}{K_y}, \quad S_0 = 1,2 \text{ мм}; \quad S_n = S_1 = 0,8 \text{ мм};$$

K_y – коефіцієнт утоніння.

$$K_y = \sqrt{\frac{S_1}{S_0}} = \sqrt{\frac{0,8}{1,2}} = 0,7.$$

$$n = \frac{\lg 0,8 - \lg 1,2}{0,7} = 1,3 = 1 \text{ операція.}$$

Досвіди показують можливість утоніння за одну операцію до $S = (2 \div 2,5)S_1$ [1, стор. 223].

2.2. Коефіцієнт отбортовки

Знаходимо його по формулі $k_0 = 0,26 \left(\frac{d_0}{S_0} \right)^{0,23}$, але оскільки діаметр отвору d_0

невідомий, то знаходимо коефіцієнт методом послідовних наближень.

1.1. Коефіцієнт отбортовки першого наближення

$$k_0^1 = 0,26 \left(\frac{28,8}{1,2} \right)^{0,23} = 0,54;$$

$$d_{2cp} = d_2 - S_0 = 30 - 1,2 = 28,8 \text{ мм};$$

$$d_0^1 = k_0^1 d_{2cp} = 0,54 * 28,8 = 15,55 \text{ мм};$$

1.2. Коефіцієнт отбортовки другого наближення

$$k_0^2 = 0,26 \left(\frac{15,55}{1,2} \right)^{0,23} = 0,469;$$

$$d_0^2 = k_0^2 d_{2cp} = 0,469 * 28,8 = 13,5 \text{ мм};$$

1.3. Коефіцієнт отбортовки третього наближення

$$k_0^3 = 0,26 \left(\frac{13,5}{1,2} \right)^{0,23} = 0,454;$$

$$d_0^3 = k_0^3 d_{2cp} = 0,454 * 28,8 = 13,075 \text{ мм};$$

1.4. Коефіцієнт отбортовки четвертого наближення

$$k_0^4 = 0,26 \left(\frac{13,075}{1,2} \right)^{0,23} = 0,45;$$

$$d_0^4 = k_0^4 d_{2cp} = 0,45 * 28,8 = 12,96 \text{ мм};$$

1.5. Коефіцієнт отбортовки п'ятого наближення

$$k_0^5 = 0,26 \left(\frac{12,96}{1,2} \right)^{0,23} = 0,449;$$

$$d_0^5 = k_0^5 d_{2cp} = 0,449 * 28,8 = 12,93 \text{ мм};$$

т.к. відбулося насичення - k_0^5 мало отличается от k_0^4 - те прийємо: $k_0=0,449$,
 $d_0=12,93 \approx 12,9 \text{ мм};$

2.3. Висота борту без утоніння

$$r = 5S_0 = 6 \text{ мм}$$

$$h_6 = d_{2cp} \frac{(1-k_0)}{2} + 0,57r + 0,28S_0 = 7,93 + 3,42 + 0,336 = 11,7 \text{ мм}$$

2.4. Висота борту з утонением

$h_y = h_6 + 0,5(S_0 / z - 1)(h_6 - h_x)$, де h_x - частина висоти борту, що не зазнає утонению.

$$h_x = \frac{z - S_1}{S_0 - S_1} = \frac{0,05 - 0,8}{1,2 - 0,8} = 1,875.$$

$$h_y = 11,7 + 0,5(1,2/0,05 - 1)(11,7 - 1,875) = 15 \text{ мм}$$

2.5. Висота, яка повинна бути отримана витяжкою

$$h_e = h_1 - h_y + r + S_1 = 60 - 15,3 + 6 + 0,8 = 51,5 \approx 52 \text{ мм}.$$

Також необхідно використовувати притиск оскільки

$$d_0 / S_1 = 12,9 / 0,8 = 16 < 100.$$

3. Розрахунки процесу витяжки

3.1. Розрахунки розгорнення фланця

Оскільки останній елемент обойми jnhbve.nm витяжною, то розрахунки розгорнення фланця ведемо по рівності площ поверхонь.

Визначаємо площі окремих елементів

F_1 - круг;

$$F_1 = \frac{\pi d_3^2}{4} = \frac{3,14 * 54,6^2}{4} = 2340 \text{ мм}^2,$$

$$\text{где } d_3 = d_1 - 2(r_1 + S_0) = 65 - 2(4 + 1,2) = 54,6 \text{ мм},$$

F_2 - чверть сферичного кінця

$$F_2 = \frac{\pi r_1}{2} (\pi d_3 + 4r_1) = \frac{3,14 * 4}{2} (3,14 * 54,6 + 4 * 4) = 1177 \text{ мм}^2,$$

F_3 - циліндрична поверхня;

$$F_3 = \pi d_{1cp} h_3 = 3,14 * 63,8 * 9,8 = 1963 \text{ мм}^2, \text{ де}$$

$$d_{1cp} = d_1 - S = 65 - 1,2 = 63,8 \text{ мм};$$

$$h_3 = h_2 - r_1 - S = 9,8 \text{ мм}.$$

Діаметр фланця без припуску

$$D_{\phi 1} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^3 F_i} = \sqrt{\frac{4}{\pi} (2340 + 1177 + 1963)} \approx 83,6 \text{ мм};$$

Припуск на обрізку

$$P_1 = \sqrt{D_{\phi 1}} \frac{0,52}{D_{\phi 1} / d_{2cp}} = \sqrt{83,6} \frac{0,52}{83,6 / 28,8} = 1,64 \text{ мм};$$

Повний діаметр фланця деталі, що витягається

$$D_{\phi} = D_{\phi 1} + 2P_1 = 83,6 + 2 * 1,64 \approx 87 \text{ мм};$$

3.2. Визначення діаметра вихідної заготовки для витяжки

Діаметр також знаходимо через рівність площ

$$F_1 = \frac{\pi}{4} (D_{\Phi}^2 - d_{\Phi 1}^2) = \frac{\pi}{4} (87^2 - 73^2) = 1759 \text{ мм}^2, \text{ где}$$

$$d_{\Phi 1} = d_1 + 2r_{M1} = 65 + 2 \cdot 4 = 73 \text{ мм};$$

$$F_2 = \frac{\pi r_2}{2} (\pi d_{\Phi 1} - 4r_{M1}) = \frac{3,14 \cdot 5}{2} (3,14 \cdot 73 - 4 \cdot 4) = 1673 \text{ мм}^2;$$

$$F_3 = \pi d_{2cp} h = 3,1416 \cdot 28,8 \cdot 43,8 = 3963 \text{ мм}^2,$$

$$\text{де } h = h_s - 2S_0 - r_2 - r_3 = 51,5 - 2,4 - 5 - 0,3 = 43,8 \text{ мм}.$$

$$F_4 = \frac{\pi r_{II}}{2} (\pi d_{\partial 1} + 4r_{II}) = \frac{3,14 \cdot 4}{2} (3,14 \cdot 60,4 + 4 \cdot 4) = 1292 \text{ мм}^2,$$

$$\text{где } d_{\partial 1} = d_1 - \frac{S_0}{2} - r_{II} = 65 - \frac{1,2}{2} - 4 = 60,4 \text{ мм};$$

$$F_5 = \frac{\pi d_{\partial 1}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 60,4^2}{4} = 2864 \text{ мм}^2;$$

$$\text{діаметр: } d_{заг} = 1,13 \sqrt{\sum F_i} \text{ мм}, \approx 120 \text{ мм}.$$

3.3. Розрахунки коефіцієнтів витяжки

Перевіримо необхідність притиску:

$$S_0 / D \cdot 100 = (0,8 / 145) \cdot 100 = 0,413 < 2 \Rightarrow \text{витяжку необхідно виконувати із притиском.}$$

Сумарний коефіцієнт витяжки:

$$K_c = \frac{d_{2cp}}{d_{заг}} = \frac{28,8}{120} = 0,24.$$

Припустимі коефіцієнти витяжки:

$$\text{-перший перехід: } K_1 = 0,6 - 0,07 \left(\frac{S_0}{d_{заг}} \cdot 100 \right) = 0,6 - 0,07 \left(\frac{1,2}{120} \cdot 100 \right) = 0,53,$$

т.к. $K_1 > K_c$ - потрібно другий перехід.

-другий перехід: $K_2 = 0,79 - 0,045\left(\frac{S_0}{d_{заг}} \cdot 100\right) = 0,745$,

т.к. $K_1 K_2 = 0,44 > K_c$ - потрібно третій перехід.

-третій перехід: $K_3 = 0,8 - 0,04\left(\frac{S_0}{d_{заг}} \cdot 100\right) = 0,76$,

т.к. $K_1 K_2 K_3 = 0,3 > K_c$ - потрібно четвертий перехід.

Для розміщення, після третього переходу, проводимо відпал, тоді $K_2 = K_4$ і $K_1 K_2 K_3 K_4 = 0,22 < K_c \Rightarrow$ усього необхідно чотири витяжні переходи.

3.4. Розрахунки робочих коефіцієнтів витяжки по переходах
для розрахунків робочих коефіцієнтів уводимо коефіцієнт коректування:

$$N = \frac{K_c}{K_i} = \frac{K_c}{K_1 K_2 K_3 K_4} = \frac{0,24}{0,22} = 1,09$$

-перший перехід: $K_p^1 = K_1 \sqrt[3]{N} = 0,53 \sqrt[3]{1,09} = 0,54$.

-другий перехід: $K_p^2 = K_2 \sqrt[3]{N} = 0,745 \sqrt[3]{1,09} = 0,76$.

-третій перехід: $K_p^3 = K_3 \sqrt[3]{N} = 0,76 \sqrt[3]{1,09} = 0,77$.

-четвертий перехід: $K_p^4 = K_4 \sqrt[3]{N} = 0,745 \sqrt[3]{1,09} = 0,76$.

3.5. Діаметр напівфабрикату по переходах (внутрішній)

-перший перехід: $d_{1паб} = K_p^1 d_{заг} = 0,54 * 120 = 65 \text{ мм.}$

-другий перехід: $d_{2паб} = K_p^2 d_{1паб} = 0,76 * 65 = 49,4 \approx 49 \text{ мм.}$

-третій перехід: $d_{3паб} = K_p^3 d_{2паб} = 0,77 * 49 = 37,73 \approx 38 \text{ мм.}$

-четвертий перехід: $d_{4паб} = K_p^4 d_{3паб} = 0,76 * 38 = 28,88 \text{ мм.} (= d_2 - 2S_1) .$

3.6. Розрахунки радіусів закруглення матриці по переходах

-четвертий перехід: $r_m^4 = \sqrt[4]{1,6} * 4S_0 = 1,125 * 4 * 1,2 = 5,4 = 5 \text{ мм.} (= r_2)$

-третій перехід: $r_m^3 = \sqrt[4]{1,6} * r_m^4 = 1,125 * 5 = 6 \text{ мм.}$

-другий перехід: $r_m^2 = \sqrt[4]{1,6} * r_m^3 = 1,125 * 6 = 7 \text{ мм.}$

-перший перехід: $r_m^1 = \sqrt[4]{1,6} * r_m^2 = 1,125 * 7 = 8 \text{ мм.}$

3.7. Розрахунки радіусів закруглення пуансона по переходах на четвертому переході радіус переходу ухвалюємо $= (3 \div 5) S_0$

-четвертий перехід: $r_n^4 = 5 S_0 = 6 \text{ мм.}$

-третій перехід: $r_n^3 = 7 \text{ мм.}$

-другий перехід: $r_n^2 = 8 \text{ мм.}$

-перший перехід: $r_n^1 = 9 \text{ мм.}$

3.8. Попередній розрахунки висоти напівфабрикату по переходах висота визначається по формулі:

$$h_i = \frac{d_{\text{заз}}^2 - d_{\phi}^2 + d_{\phi 1} + 2\pi d_{\text{раб}}^i r_m^i + 8r_m^{i^2} - 2\pi d_{\phi}^i r_n^i - 8r_n^{i^2}}{4d_i},$$

де $d_{\phi}^i = d_{1\phi}^i + 2r_m^i + S_0,$

$d_{\phi}^i = d_{1\phi}^i + 2r_n^i - S_0.$

-перший перехід $d_{\phi}^i = 65 + 2 * 8 + 1,2 = 83 \text{ мм},$

$$d_{\phi}^i = 65 - 2 * 9 - 1,2 = 45 \text{ мм.}$$

$$h_1 = \frac{120^2 - 87^2 + 82,8^2 + 2\pi * 82,8 * 8 + 8 * 8^2 - 2\pi * 45,8 * 9 - 45^2 - 8 * 9^2}{4 * 65} = 19 \text{ мм.}$$

-другий перехід $d_{\phi}^i = 49 + 2 * 7 + 1,2 = 64 \text{ мм},$

$$d_{\phi}^i = 49 - 2 * 8 - 1,2 = 32 \text{ мм.}$$

$$h_2 = \frac{120^2 - 87^2 + 64^2 + 2\pi * 64 * 7 + 8 * 7^2 - 2\pi * 32 * 8 - 32^2 - 8 * 8^2}{4 * 49} = 27,3 \text{ мм.}$$

-третій перехід $d_{\phi}^i = 38 + 2 * 6 + 1,2 = 51 \text{ мм}$,

$$d_o^i = 38 - 2 * 7 - 1,2 = 23 \text{ мм}.$$

$$h_1 = \frac{120^2 - 87^2 + 51^2 + 2\pi * 51 * 6 + 8 * 6^2 - 2\pi * 23 * 7 - 23^2 - 8 * 7^2}{4 * 38}$$

$$= 38,59 \text{ мм}.$$

-четвертий перехід $d_{\phi}^i = 28,8 + 2 * 5 + 1,2 = 40 \text{ мм}$,

$$d_o^i = 28,8 - 2 * 6 - 1,2 = 16 \text{ мм}.$$

$$h_1 = \frac{120^2 - 87^2 + 40^2 + 2\pi * 40 * 5 + 8 * 5^2 - 2\pi * 16 * 6 - 16^2 - 8 * 6^2}{4 * 28,8}$$

$$= 54 \text{ мм}.$$

3.9. Остаточні розрахунки висоти напівфабрикату по переходах
точна висота (H_i) розраховується по формулі: $H_i = h_i + r_n^i + r_m^i + 2S_0$.

-перший перехід $H_1 = 19 + 8 + 7 + 2 * 1,2 = 36,4 \approx 36 \text{ мм}$

-другий перехід $H_2 = 27,3 + 8 + 7 + 2 * 1,2 = 44,7 \approx 45 \text{ мм}$

-третій перехід $H_3 = 38,59 + 7 + 6 + 2 * 1,2 = 53,99 \approx 52 \text{ мм}$

-четвертий перехід $H_4 = 54 + 6 + 5 + 2 * 1,2 = 67,4 \approx 56,2 \text{ мм}$

4. Розрахунки витяжки фланця

4.1. Сумарний коефіцієнт витяжки

$$K_c = \frac{d_1}{d_{\phi}} = \frac{65}{87} = 0,747.$$

4.2. Коефіцієнт витяжки по переходах

$$K_1 = 0,6 - 0,07 \left(\frac{S_0}{d_\phi} 100 \right) = 0,6 - 0,07 \left(\frac{1,2}{87} 100 \right) = 0,503$$

т.к. $K_1 < K_c \Rightarrow$ витяжка можлива за 1 перехід.

4.3. Діаметр фланця

$$d_1^1 = d_1 = d_\phi K_c = 87 * 0,747 = 65 \text{ мм}.$$

4.4. Радіуси закруглення пуансона й матриці

$$r_n = (3..5)S_0 = 5 * 1,2 = 6 \text{ мм},$$

$$r_m = 1,6 * 4S_0 = 1,6 * 4 * 1,2 = 7,68 \approx 8 \text{ мм}.$$

4.5. Висота фланця

повинна бути рівна h_2 :

$$h = 0,25 \left(\frac{d_\phi}{K_c} - d_1 \right) + 0,43 \frac{r_n}{d_1} (d_1 + 0,32 r_n) = 0,25 \left(\frac{87}{0,747} - 65 \right) + 0,43 \frac{6}{65} (65 + 0,32 * 6) = 15 \text{ мм}.$$

5. Розрахунки гнуття

5.1. Визначення довжини розгортки

довжина розгорнення обчислюється по формулі: $L_1 = L + \frac{\pi}{180} * \rho \alpha$,

де $\rho = r_3 + xS_1 = 0,3 + 0,38 * 0,8 = 0,604 \text{ мм}$ - нейтральний радіус ділянки вигнутого на кут α , (r_3 - внутрішній радіус гнучки).

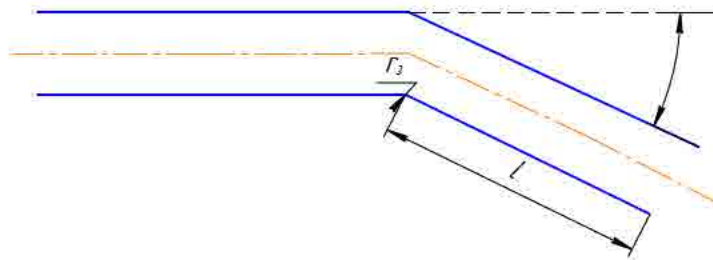


Рис.2. Схема до розрахунків гнуття

$$L_1 = 20 + \frac{\pi}{180} * 0,604 * 25^0 = 20,26 \text{ мм}$$

5.2. Розрахунки пружиння при гнутті

тангенс кута пружинення обчислюється: $\text{tg}\beta = 0,75 * \frac{A\sigma_{\epsilon}}{S(1-x)E}$,

де $\sigma_{\epsilon} = 300 \text{ МПа}$ – межа міцності,

$E = 0,9 * 10^{10}$ – модуль пружності,

β - однобічний кут пружинення,

A - плече гнуття.

Плече гнуття можна визначити по формулі: $A = z + (r_m + r_n) * (1 - \sin \alpha)$,

де $z = 1,25S_1 = 1,25 * 0,8 = 1$.

$$A = 1 + (0,1 + 1)(1 - \sin 25^0) = 1,635 \text{ мм.}$$

$$\text{tg}\beta = 0,75 * \frac{1,635 * 300 * 10^6}{0,8(1 - 0,38)0,9 * 10^6} = 0,082.$$

Кут пружинення: $\beta \approx 5^0$.

6. Розрахунки виконавчих розмірів інструмента

6.1. Розміри при вирубці

Зазор між пуансоном і матрицею поберемо за рахунок зменшення розмірів пуансона; розмір матриці по найменшому розміру деталі, що вирубється.

а) Діаметр матриці:

$$D_m = (D - \Delta U)^{+\delta_m},$$

де $D = d_{\text{заг}}$ - діаметр заготовки = 120мм,

ΔU - допуск на деталь = 0,22мм [1, табл. 149],

δ_m - допуск на матрицю = 0,02мм [1, табл. 194].

$$D_m = (D - \Delta U)^{+\delta_m} = (120 - 0,22)^{+0,02} = 119,78^{+0,02} \approx 119,8^{+0,02} \text{ мм.}$$

б) Діаметр пуансона:

$$D_n = (D - \Delta U - 2z_{\min})_{-\delta_n},$$

де $D = d_{\text{заг}}$ - діаметр заготовки = 120мм,

ΔU - допуск на деталь = 0,22мм [1, табл. 149],

δ_n - допуск на пуансон = 0,011мм [1, табл. 194],

$z_{\min}$ - найменший зазор = 0,05мм $\approx 5 - 8\%$ від S_0 [1, табл. 8 і 9].

$$D_n = (D - \Delta U - 2z_{\min})_{-\delta_n} = (120 - 0,22 - 2 * 0,05)_{-0,011} = 119,68_{-0,011} = 119,7_{-0,11} \text{ мм}$$

6.2. Розміри при витяжці (перший перехід)

Допуски вказуємо по внутрішньому діаметру деталі.

а) Діаметр матриці:

$$D_m = (d + z)^{+\delta_m},$$

де $d = d_{\text{раб1}} = 65\text{мм}$,

δ_m - допуск на матрицю = +0,06мм [1, табл. 196],

$z = S_0 + \delta + a = 1,2 + 0,22 + 0,11 = 1,53$ - зазор [1, табл. 81],

a - збільшення на товщину матеріалу = 0,11 [1, табл. 82],

δ - допуск на товщину матеріалу = 0,22 мм.

$$D_m = (d + z)^{+\delta_m} = (65 + 1,53)^{+0,06} = 67^{+0,06} \text{ мм.}$$

б) Діаметр пуансона:

$$D_n = d_{-\delta_n},$$

де $d = d_{\text{раб1}} = 65 \text{ мм}$,

δ_n - допуск на пуансон = -0,04 мм [1, табл. 196],

$$D_n = d_{-\delta_n} = 65_{-0,04} \text{ мм.}$$

6.3. Розміри при витяжці (останній перехід)

а) Діаметр матриці:

$$D_m = (d + z)^{+\delta_m},$$

де $d = d_{\text{раб4}} = 28,8 \text{ мм}$,

δ_m - допуск на матрицю = +0,03 мм [1, табл. 196],

$z = S_0 + \delta + a = 1,2 + 0,22 + 0,11 = 1,53$ - зазор [1, табл. 81],

a - збільшення на товщину матеріалу = 0,11 [1, табл. 82],

δ - допуск на товщину матеріалу = 0,22 мм.

$$D_m = (d + z)^{+\delta_m} = (28,8 + 1,53)^{+0,06} = 30^{+0,06} \text{ мм.}$$

б) Діаметр пуансона:

$$D_n = d_{-\delta_n},$$

де $d = d_{\text{раб4}} = 28,8 \text{ мм}$,

δ_n - допуск на пуансон = -0,02 мм [1, табл. 196],

$$D_n = d_{-\delta_n} = 28,8_{-0,02} \text{ мм.}$$

7. Розрахунки зусиль по операціях

7.1. Зусилля вирубки

$$P_{\text{вир}} = 1,3\pi D_s S_0 \sigma_{cp},$$

де $\sigma_{cp} = 27 \text{ кгс/мм}^2$ – межа міцності на зріз.

$$P_{\text{вир}} = 1,3\pi D_s S_0 \sigma_{cp} = 1,3\pi * 120 * 1,2 * 27 = 15870,8 \text{ кг.}$$

7.2. Зусилля отбортовки з утоненням і притиску

-зусилля отбортовки:

$$P_o \approx \pi(D_y + S_y) * \frac{S_y \sigma_e}{1 - \psi_{\text{ш}}} \left(\frac{\psi}{\psi_{\text{ш}}} \right)^{\frac{\psi_{\text{ш}}}{1 - \psi_{\text{ш}}}} [2, \text{ стор. 199}],$$

де $D_y = d_{4\text{раб}} = 28,8 \text{ мм},$

$$S_y = S_1 = 0,8 \text{ мм},$$

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} = \frac{1,2 - 0,8}{1,2} = 0,3,$$

$\psi_{\text{ш}} = 60\% = 0,6$ - відносне звуження поперечного переріза.

$$\begin{aligned} P_o &\approx \pi(D_y + S_y) * \frac{S_y \sigma_e}{1 - \psi_{\text{ш}}} \left(\frac{\psi}{\psi_{\text{ш}}} \right)^{\frac{\psi_{\text{ш}}}{1 - \psi_{\text{ш}}}} = \\ &= \pi(28,8 + 0,8) * \frac{0,8 * 32}{1 - 0,6} \left(\frac{0,3}{0,6} \right)^{\frac{0,6}{1 - 0,6}} = 2974,2 \text{ кг.} \end{aligned}$$

-зусилля притиску:

$$\begin{aligned} Q &= 0,1 \left(1 - \frac{10S_0}{(1 - K_0)d_{2cp}} \right) \frac{1}{K_0^2} * P_o = \\ &= 0,1 \left(1 - \frac{10 * 1,2}{(1 - 0,449)29,2} \right) \frac{1}{0,449^2} * 2974,2 = 374 \text{ кг.} \end{aligned}$$

7.3. Зусилля витяжки й притиску по переходах

а) перший перехід

-зусилля витяжки:

$$P_{\text{внт1}} = \sigma_{\epsilon} \pi d_{1\text{поб}} S_0 * 2,4 K_p^1 = 32 * \pi * 65 * 1,2 * 2,4 * 0,54 = 10157,3 \text{ кг}.$$

-зусилля притиску:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 0,1 \left(1 - \frac{18 S_0}{(1 - K_p^1) d_{\text{заг}}} \right) \frac{1}{K_p^2} * P_{\text{внт1}} = \\ &= 0,1 \left(1 - \frac{18 * 1,2}{(1 - 0,54) 120} \right) \frac{1}{0,54^2} * 10157,3 = 2121,3 \text{ кг}. \end{aligned}$$

б) другий перехід

-зусилля витяжки:

$$P_{\text{внт2}} = \sigma_{\epsilon} \pi d_{2\text{поб}} S_0 * 2,4 K_p^2 = 32 * \pi * 49 * 1,2 * 2,4 * 0,76 = 10776,6 \text{ кг}.$$

-зусилля притиску:

$$\begin{aligned} Q_2 &= 0,1 \left(1 - \frac{4 S_0}{(1 - K_p^2) d_{\text{заг}}} \right) \frac{1}{K_p^2} * P_{\text{внт2}} = \\ &= 0,1 \left(1 - \frac{4 * 1,2}{(1 - 0,76) 120} \right) \frac{1}{0,76^2} * 10776,6 = 1554,7 \text{ кг}. \end{aligned}$$

в) третій перехід

-зусилля витяжки:

$$P_{\text{внт3}} = \sigma_{\epsilon} \pi d_{3\text{поб}} S_0 * 2,4 K_p^2 = 32 * \pi * 38 * 1,2 * 2,4 * 0,77 = 8467,3 \text{ кг}.$$

-зусилля притиску:

$$Q_3 = 0,1 \left(1 - \frac{4S_0}{(1 - K_p^2)d_{заг}} \right) \frac{1}{K_p^2} * P_{вм3} =$$

$$= 0,1 \left(1 - \frac{4 * 1,2}{(1 - 0,77)120} \right) \frac{1}{0,77^2} * 8467,3 = 1179,77 \text{ кг}.$$

г) четвертий перехід

-зусилля витяжки:

$$P_{вм4} = \sigma_e \pi d_{4роб} S_0 * 2,4 K_p^2 = 32 * \pi * 28,8 * 1,2 * 2,4 * 0,76 = 6334 \text{ кг}.$$

-зусилля притиску:

$$Q_4 = 0,1 \left(1 - \frac{4S_0}{(1 - K_p^2)d_{заг}} \right) \frac{1}{K_p^2} * P_{вм4} =$$

$$= 0,1 \left(1 - \frac{4 * 1,2}{(1 - 0,76)120} \right) \frac{1}{0,76^2} * 6334 = 913,8 \text{ кг}.$$

7.4. Зусилля пробивання отвору під отбортовку

$$P_{проб} = 1,3 \pi d_0 S_0 \sigma_{cp} = 1,3 * 3,14 * 12,9 * 0,8 * 27 = 1137,4 \text{ кг}.$$

7.5. Зусилля витяжки фланця

$$P_{\phi} = \pi d_{\phi} S_0 \sigma_e K = \pi * 87 * 1,2 * 32 * 0,747 = 7836,1 \text{ кг}.$$

7.6. Зусилля обрізки припуску

$$P_{обр} = 1,3 \pi d_{\phi} S_0 \sigma_{cp} = 1,3 * \pi * 87 * 1,2 * 27 = 11506,3 \text{ кг}.$$

7.7. Зусилля гнуття

$$P_z = 1,25 \sigma_e LSK = 1,25 * 32 * 20,26 * 0,8 * 0,4 = 259,3 \text{ кг}.$$

8. Вибір преса

Вибір преса для штампа суміщеної дії для вирубки й витяжки робимо по зусиллю P :

$$P = 1,25(P_{\text{вир}} + P_{\text{вит1}} + Q_1 + P_{\text{пт}}) = 1,25(15870,8 + 10157,3 + 2121,3 + 1587,08) = 37170,6 \text{ кг},$$

де $P_{\text{пт}}$ – зусилля протитиску, $P_{\text{пт}} = 0,1P_{\text{вир}} = 0,1 * 15870,8 = 1587,08 \text{ кг}$;

Зусилля необхідне для здійснення операції на суміщеному штампі, для вирубки й витяжки $P = 370 \text{ кН}$ забезпечує прес КД2122Г с зусиллям $P = 370 \text{ кН}$.

Хід повзуна: найменший - 5 мм,

найбільший – 71 мм;

Розміри стола: ліворуч – праворуч - 500 мм,

попереду – назад - 380 мм;

Найбільша відстань між столом преса й повзуном у його нижньому положенні - 255 мм.

9. Розрахунки ширини штаби й визначення типу розкрою

Виберемо прямий тип розкрою з відходами, однорядний, він забезпечить безперервну подачу матеріалу:

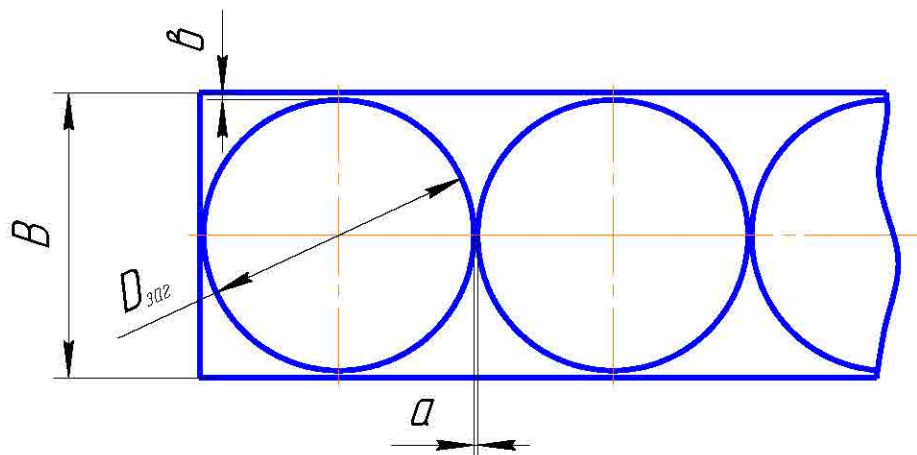


Рис.3. Схема розкрою листа

Також виберемо спосіб подачі без бічного притиску:

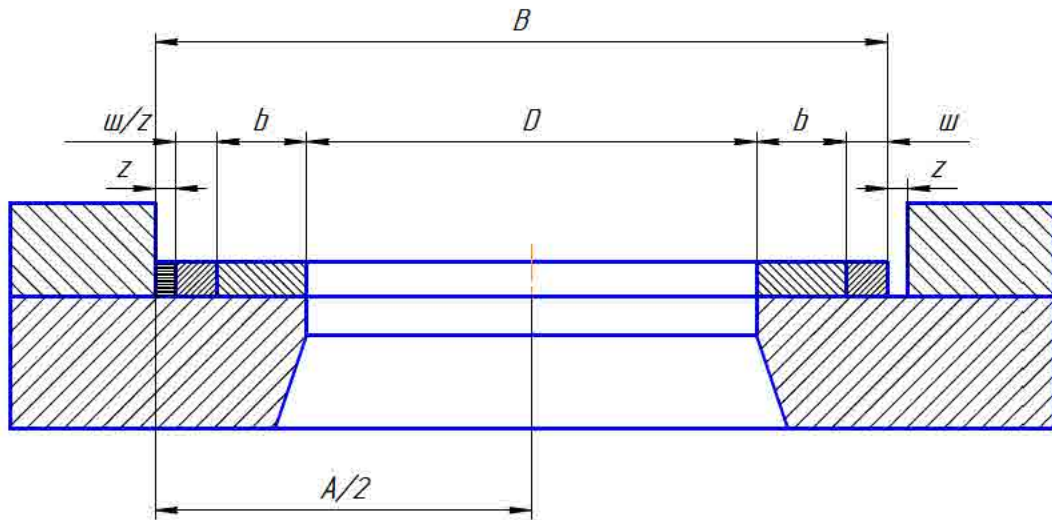


Рис.4. Схема для розрахунків номінальної ширини смуги

9.1. Номінальна ширина штаби

$$B = D + 2(b + \Delta_{\text{ш}}) + z,$$

де b - бічна перемичка при роботі без бічного притиску = 1,8мм [1, табл. 139],

$\Delta_{\text{ш}}$ - односторонній (мінусовий) допуск на ширину смуги = 0,8 (для гильотинних ножиць) [1, табл. 144],

z - гарантійний зазор = 1,0 ÷ 1,5=1мм [1, табл. 143],

D - діаметр заготовки.

$$B = D + 2(b + \Delta_{\text{ш}}) + z = 120 + 2(1,8 + 0,8) + 1 = 127 \text{ мм.}$$

9.2. Просвіт між напрямними штампа

$$A = B + z = 151 + 1 = 128 \text{ мм.}$$

9.3. Коефіцієнт використання матеріалу

$$KBM = \frac{fn}{LB} 100\%,$$

де $f = \frac{\pi D_{заг}^2}{4} = 11304 \text{ мм}^2$ - площа деталі без отвору,

$L = 2000 \text{ мм}$ - довжина штаби,

$$n = \frac{L}{A} = \frac{2000}{128} = 15,6 \approx 16 - \text{кількість деталей.}$$

$$KBM = \frac{f * n}{LB} 100\% = \frac{11304 * 16}{2000 * 127} * 100 = 71\%.$$

9.4. Коефіцієнт розкрою матеріалу

$$K_p = \frac{n_p * f}{B * h} * 100\%,$$

де $n_p = 1$ - кількість рядів розкрою,

$h = B + a = 127 + 1,2 = 128,2 \text{ мм}$ - крок розкрою.

$$K_p = \frac{n_p * f}{B * h} * 100\% = \frac{1 * 11304}{127 * 128,2} * 100\% = 70\%.$$

10. Розрахунки пружин знімача

10.1. Зусилля знімання

$$Q_c = KP_{vir},$$

де K - коефіцієнт, що залежить від типу штампа й товщини матеріалу (0,02-0,06), попередньо вибираємо 0,06,

P_{vir} - зусилля вирубки.

$$Q_c = KP_{vir} = 0,06 * 15870,8 = 952,3 \text{ кг}.$$

10.2. Максимальне зусилля пружини

$$P_{\max} = \frac{2Q_c}{m},$$

де m - кількість пружин, приймаємо 4.

$$P_{\max} = \frac{2Q_c}{m} = \frac{2 \cdot 952,3}{4} = 476 \text{ кг}.$$

Виходячи з максимального зусилля пружини вибираємо пружину стиснення 3 класу 2 розряду [3, стор. 181, табл.2]:

-діаметр дроту: $d = 6 \text{ мм}$,

-марка сталі: 60С2А,

-зовнішній діаметр: $D = 45 \text{ мм}$,

-найбільший прогин одного витка: $f = 10,25 \text{ мм}$.

10.3. Число витків пружини

$$n = \frac{H}{0,35f} + 2, \text{ де } H - \text{робочий хід штампа} = 33 \text{ мм}.$$

$$n = \frac{H}{0,35f} + 2 = \frac{33}{0,35 \cdot 10,25} + 2 = 11,19 = 11.$$

10.4. Довжина пружини у вільному стані

$$L = (d + f)n - 2f = (6 + 10,25) \cdot 11 - 2 \cdot 10,25 = 158,8 \text{ мм}.$$

10.5. Довжина пружини в робочому стані

$$L_p = (d + 0,5f)n - 2f = (6 + 0,5 \cdot 10,25) \cdot 11 - 2 \cdot 10,25 = 102 \text{ мм}.$$

11. Розрахунки пуансона для отбортовки

Оскільки проводимо отбортовку з утонінням, то використовуємо конічний пуансон із двома пасками. Один конус призначений, безпосередньо, для отбортовки отвору, інший – для утоніння стінки напівфабрикату.

11.1. Розрахунки кута конуса пуансона

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_n}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha_s}{2}}{1 - \frac{1,6S_1\sqrt{K_0}}{(d_{2\text{вн}} + 2S_1)\cos \frac{\alpha_s}{2}}},$$

де α_s - кут конічної порожнини виштовхувача ($=120^\circ$).

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_n}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{120}{2}}{1 - \frac{1,6 * 0,8 \sqrt{0,449}}{(28,8 + 2 * 0,8) \cos \frac{120}{2}}} = 1,836,$$

звідси кут конуса пуансона: $\approx 124^\circ$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» методом холодного листового штампування. Під час виконання роботи вирішено взаємопов'язаний комплекс конструкторських, технологічних та розрахункових завдань, спрямованих на вибір найбільш раціонального способу виготовлення виробу, підвищення ефективності використання матеріалу, забезпечення необхідної точності геометричних параметрів деталі та створення надійного штампового оснащення. Усі технічні рішення приймалися з урахуванням сучасних вимог до продуктивності, економічності та технологічності процесів холодного листового штампування. Розроблений технологічний процес забезпечує можливість виготовлення деталі з високою стабільністю якості та мінімальними виробничими витратами, що підтверджує досягнення поставленої мети роботи.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи отримано такі основні результати:

Проведено детальний конструкторсько-технологічний аналіз деталі «Фланець», визначено її конструктивні особливості, технологічність та основні вимоги до точності виготовлення, що стало підставою для вибору раціонального способу одержання виробу.

Обґрунтовано доцільність застосування холодного листового штампування як найбільш ефективного способу виготовлення деталі, що забезпечує високу продуктивність виробництва, достатню точність розмірів, низьку матеріаломісткість та економічну ефективність.

Розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення деталі, визначено послідовність виконання технологічних операцій та обґрунтовано їх зміст, що дозволяє забезпечити раціональну організацію виробництва та стабільність технологічного процесу.

Виконано розрахунок геометричних параметрів вихідної заготовки та розроблено оптимальну схему розкрою листового прокату. Раціональне розміщення заготовок на штабі забезпечило підвищення коефіцієнта використання матеріалу та зменшення кількості технологічних відходів.

Проведено інженерні розрахунки технологічних зусиль для операцій витяжки та отбортовки, що дозволило визначити навантаження на штамп і правильно підібрати пресове обладнання з необхідними технічними характеристиками та запасом потужності.

Розроблено конструкцію штампа суміщеної дії для виконання операцій вирубування та витяжки, що забезпечує суміщення технологічних переходів, скорочення тривалості виробничого циклу, підвищення продуктивності праці та зменшення кількості переналагоджень обладнання.

Спроектовано штамп для виконання операції отбортовки, конструкція якого забезпечує необхідну жорсткість, точність взаємного розташування робочих елементів, надійність роботи та отримання деталей, що відповідають вимогам конструкторської документації.

Розроблені конструктивні та технологічні рішення дозволяють підвищити ефективність виробництва за рахунок скорочення витрат матеріалу, зменшення трудомісткості виготовлення, підвищення продуктивності штампувального обладнання та забезпечення стабільної якості готових виробів.

Практична цінність виконаної роботи полягає в можливості використання розробленого технологічного процесу та конструкцій штампового оснащення при організації серійного виробництва деталей типу «Фланець». Запропоновані технічні рішення відповідають сучасним вимогам машинобудівного виробництва, є технічно обґрунтованими та забезпечують економічну доцільність їх впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В. П. – [6-е изд.]. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. – 530 с.
2. Ковка и штамповка : Справочник. В 4т. Т. 4. Листовая штамповка / Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов/пред./ и др. - М.: Машиностроение, 1985–1987. – 544 с.: ил.
3. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спец. 131 «Прикладна механіка» / [уклад. : К. Щербина, В. Шмельов, О. Скрипник, А. Гречка, О. Кузик] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки, каф. матеріалознавства і ливарного виробництва. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 16 с.
4. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи : спец. 131 Прикладна механіка / [уклад. : В. А. Мажара, А. І. Гречка, В. В. Свяцький та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 40 с.
5. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. –496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).
6. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. 5-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1980.-728 с. - Т.1.
7. Ковка и штамповка. Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семенова. – Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка.– М.: Машиностроение,1985. – 567 с.

8. Боков В.М. Конструювання та виготовлення штампів. Штмп як об'єкт проектування. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ “Імекс ЛТД”, 2005. – 236 с.

9. Боков В.М., Мірзак В.Я. Технологія холодного штампування. Курсове проектування. Листове штампування. Навчальний посібник. – Кіровоград. Поліграфічно-видавничий центр ТОВ "Імекс-ЛТД".2010. – 250 с.

10. Справочник по оборудованию для листовой штамповки / Л.И. Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко и др.; Под ред. Л.И. Рудмана. – К.: Техніка, 1989.–231 с.

11. Плєснецов Ю. О. Ковальськo-шмпувальне обладнання. Механічні преси: навч. посіб. / Ю.О. Плєснецов, В.О.Маковей – Х.: НТУ «ХП», 2014. – 236 с. ISBN 978-617-7188-69-7.

ДОДАТКИ