

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 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему:

**Технологія і оснащення для виготовлення
деталі «Шайба»**

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ОТ)-21
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 Прикладна механіка
_____ Денис БАЛАКАН

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

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ Віктор ПУКАЛОВ

Кропивницький 2025

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
31 січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Балакану Денису Валерійовичу

Тема роботи:

Технологія і оснащення для виготовлення деталі «Шайба».

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Володимир СВЯЦЬКИЙ

Затверджено наказом ЦНТУ від 31 січня 2025 року № 130-02.

Строк подання роботи до захисту:

27 червня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

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

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	21.04.2025 р.	
2	Виконання загальної частини	02.05.2025 р.	
3	Виконання технологічної частини	09.05.2025 р.	
4	Виконання конструкторської частини	16.05.2025 р.	
5	Розробка креслеників	30.05.2025 р.	
6	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	10.06.2025 р.	
7	Перевірка роботи на академічний плагіат	24.06.2025 р.	
8	Рецензування роботи	25.06.2025 р.	
9	Захист кваліфікаційної роботи	27.06.2025 р.	

Дата видачі завдання 03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Денис БАЛАКАН

Керівник роботи _____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Балакан Д. В. Технологія і оснащення для виготовлення деталі «Шайба»: кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В. В. Свяцький; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. 36 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка раціонального технологічного процесу, прогресивного оснащення виготовлення деталі «Шайба». Актуальність роботи полягає в необхідності розробки ефективного та економічно обґрунтованого процесу холоднолистового штампування деталі «Шайба» 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 вирубаня-пробивання деталі «Шайба».

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

ANNOTATION

Denys BALAKAN. Technology and equipment for manufacturing the "Washer" part / Scientific supervisor Volodymyr SVIATSKYI : Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025. 36 p.

Drawings – summary 3 sheets A1 format.

The purpose of the work is to develop a rational technological process and advanced tooling for the manufacturing of the part “Washer.” The relevance of the work lies in the need to design an efficient and economically justified process of cold sheet stamping of the “Washer” part, taking into account the requirements for accuracy, tooling rigidity, and productivity.

A design and technological analysis of the part has been carried out, the optimal variant of the process route has been selected and justified, the initial blank has been calculated, the cutting of sheet metal with optimization of blank arrangement on the strip has been performed, the material utilization factor for different cutting layouts has been determined, technological stamping forces for each operation have been calculated, stamping equipment has been selected, and a progressive die for blanking and punching the “Washer” part has been designed.

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:

**Технологія і оснащення для виготовлення
деталі «Шайба»**

КРБ.ПМ.25.01.12.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ОТ)-21
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 Прикладна механіка
_____ Денис БАЛАКАН

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

Кропивницький 2025

Зміст

Вступ	6
1. Технологічний аналіз конструкції деталі	7
2. Визначення розмірів заготовки	10
3. Розгорнутий технологічний процес виготовлення деталі	11
4. Визначення ширини штаби заготовки	11
5. Визначення коефіцієнта використання матеріалу	13
6. Розробка конструкції штампа	16
7. Визначення центру тиску штампа	17
8. Розрахунки параметрів, необхідних для виконання розділових операцій і вибір преса	19
9. Розрахунки виконавчих розмірів робочих частин штампа	23
10. Розрахунки пуансонів на міцність	25
11. Опис штампа і технічні умови на його складання	27
12. Технічний контроль якості продукції	28
13. Безпека праці під час штампування	29
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32
ДОДАТКИ	34

Вступ

Холодне листове штампування є одним з найбільш прогресивних технологічних методів виробництва; воно має ряд переваг перед іншими видами обробки металів як у технічному, так і в економічних сенсах.

У технічному сенсі холодне штампування дозволяє:

- 1) одержувати деталі досить складних форм, виготовлення яких іншими методами обробки або не можливо або є важким;
- 2) створювати міцні і тверді, але легкі за масою конструкції деталей при невеликій витраті матеріалу;
- 3) одержувати взаємозамінні деталі з досить високою точністю розмірів, переважно без наступної механічної обробки.

В економічному сенсі холодне штампування має такі переваги:

- 1) заощадливе використання матеріалу й порівняно невеликі відходи;
- 2) досить висока продуктивність устаткування, із застосуванням механізації й автоматизації виробничих процесів;
- 3) масовим випуском і низькою вартістю виготовлених виробів.

Розробка технологічних процесів холодного штампування і проектування штампів нерозривно пов'язані між собою, хоча можуть виконуватися різними особами.

Холодне листове штампування поєднує велику кількість різноманітних операцій, які можуть бути систематизовані по технологічних ознаках.

По способу сполучення операцій комбіноване штампування поділяється на три групи: суміщену, послідовну, суміщено-послідовну.

При суміщеному штампуванні одночасно виконується кілька різних операцій за один хід преса і за одну установку заготовки в штампі.

Послідовне штампування поєднує кілька різних операцій (переходів), здійснюваних послідовно окремими пуансонами за кілька ходів преса при переміщенні заготовки між ними, причому за кожний хід преса виходить

готова деталь.

При суміщено-послідовному штампуванні виконується кілька різних операцій шляхом комбінації в одному штампі сполученого і послідовного штампування.

До переваг листового штампування відносяться:

– можливість одержання деталей мінімальної маси при заданій їхній міцності і твердості;

– досить висока точність розмірів і якість поверхні, що дозволяють до мінімуму скоротити оздоблювальні операції обробки, забезпечуючи високу продуктивність (до 40 тис. деталей у зміну з однієї машини);

– гарна пристосовність до масштабів виробництва, при якому листове штампування може бути економічно доцільним як у масовому, так і в дрібносерійному виробництві.

1. Технологічний аналіз конструкції деталі

Забезпечення технологічності конструкції деталі (виробу) – найважливіша функція технологічної підготовки виробництва.

Технологічні процеси холодного штампування можуть бути найбільш раціональними лише за умови створення конструкції або форми деталі, що допускає найбільш просте і економічне виготовлення. Тому технологічність листоштампованих деталей є найбільш важливою передумовою прогресивності технологічних методів і економічності виробництва.

Задана деталь, представлена на рисунку 1, виконана з матеріалу Д19АТ, товщиною $S = 1,5$ мм.

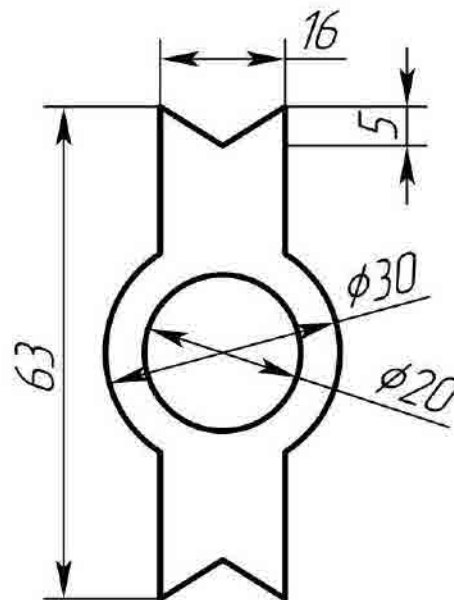


Рисунок 1 – Деталь «Шайба»

Технологічний аналіз заданої деталі по основних технологічних вимогах до конструкції плоских деталей, що одержують вирубкою і пробиванням:

- 1) деталь не має складної конфігурації, тому що не має вузьких і довгих вирізів контуру, а також вузьких прорізів;
- 2) зовнішній контур деталі представлений прямими і двома дугами радіусом 15 мм, внутрішній – отвором радіусом 10 мм.
- 3) найменший радіус круглого отвору r (мм):

$$r = \frac{S \cdot 0,7}{2}$$

$$r = 0,525$$

Радіус отвору, що пробивається, у деталі:

$$R_1 = 10 \text{ мм} > 0,525.$$

4) відхилення розмірів контуру деталі повинні відповідати точності, що досягається операціями листового штампування. Розмір деталі рівний

$$A = 63 \text{ мм.}$$

Відхилення розмірів контуру плоских металевих деталей після операції вирубки по заданій деталі (мм):

$$A = 63 \pm 0,3$$

Відхилення розмірів контуру плоских металевих деталей після операції пробивання по заданій деталі (мм):

$$R_1 = 10 \pm 0,2$$

5) найменша відстань від краю отворів до зовнішнього контуру заданої деталі (мм):

$$e_{дз} = e_3 \cdot S$$

$$e_{дз} = 1,5 \cdot 1,5$$

$$2,25 > 1,5$$

На основі аналізу було виявлено, що дана деталь задовольняє основним вимогам до конструкції плоских деталей, одержуваних вирубкою і пробиванням.

2. Визначення розмірів заготовки

Визначення розмірів заготовки проводиться як розгортка деталі, при цьому підсумовуються довжини прямолінійних ділянок і довжини закруглень, підрахованих по нейтральному шару. Такі розрахунки не представляють істотних ускладнень. На практиці при згинанні особливо складних деталей рекомендується одержати їхнє розгорнення досвідченим шляхом, тому що не завжди вдається точно підрахувати її теоретично.

Позначимо деякі початкові розміри деталі, необхідні для визначення розмірів заготовки (рисунок 2).

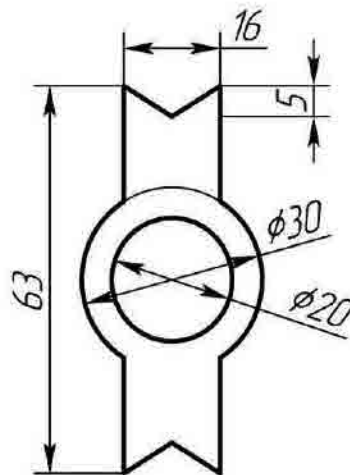


Рисунок 2 – Деталь, яку штамнують

3. Розгорнутий технологічний процес виготовлення деталі

Технологічний процес виготовлення даної деталі містить у собі наступні операції:

- 1) підготовка листа до розкрою:
 - зняття захисного паперу;
 - знежирення листа (змивання мастила);
- 2) розкрій листа на штаби з використанням гільйотинних ножиць:
 - настроювання гільйотинних ножиць на певний розмір;
 - розкрій згідно з картою розкрою;
- 3) зняття заусенців по гострих крайках штаб;
- 4) вирубка-пробивання в розділовому інструментальному штампі – додання заготовці форми, розмірів і якості поверхні, які задаються кресленням деталі;
- 5) контрольна операція:
 - візуальний контроль після кожної операції;
 - вибірковий контроль на відповідність кресленню (проводиться за допомогою штангенциркуля – контур деталі, за допомогою пробок – отвору).

Розмір стандартного листа для алюмінієвого сплаву Д16АТ, мм:

$$L_{\text{л}} = 2000,$$

$$B_{\text{л}} = 1500.$$

4. Визначення ширини штаби заготовки

Щоб спростити процес штампування, лист ріжуть на штаби.

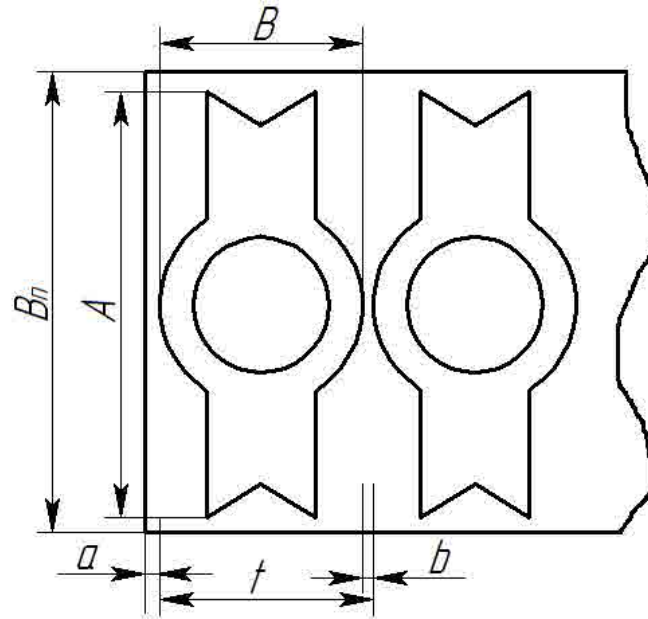


Рисунок 3 – Схема розкрою штаби

Для обчислення ширини штаби, необхідно визначити розмір бічної перемички (мм), а також допуск на ширину штаби при розрізі на гільйотинних ножицях (мм) за допомогою таблиць стандартних значень:

$$\alpha = 2,1$$

$$\delta = 0,6$$

Оскільки в конструкції розроблювального штампа передбачається притиск штаби до напрямної планки, то ширина смуги не залежить від зазору між напрямними планками й штабою, тоді ширина штаби визначається залежністю:

$$B_n = [A + 2 \cdot a + \delta]_{-\delta},$$

де A – найбільший розмір деталі (поперек штаби), рівний 63 мм;

δ – допуск на ширину смуги при розрізі листа на гільйотинних ножицях, рівний 0,6 мм. (таблиця 2.2 [1, с. 17]);

a – розмір бічної перемички, рівний 2,1 мм. (таблиця 13 [4, с. 21]).

$$B_{nl} = [63 + 2 \cdot 2,1 + 0,6]_{-0,6} = 67,8_{-0,6}$$

5. Визначення коефіцієнта використання матеріалу

Можливі кілька видів розкрою листа на штаби, тому необхідно визначити, який вид розкрою дозволить одержати найбільшу кількість деталей і мінімальний відхід. Порівнювати будемо поздовжній і поперечний розкрій, після чого виберемо найбільш вигідний.

Спочатку визначаємо загальну кількість деталей, що одержують з однієї смуги для першого (поздовжнього) і другого (поперечного) видів розкрою, попередньо обчисливши крок вирубки t , мм:

$$t = 31,6$$

$$N_{дп1} = \frac{L_{л}}{t} = 63$$

$$N_{дп2} = \frac{B_{л}}{t} = 47$$

Після визначення кількості смуг для кожного з видів розкрою:

$$N_{п1} = \frac{B_{л}}{B_{п}} = 29,49 \approx 29$$

$$N_{п2} = \frac{L_{л}}{B_{п}} = 22,12 \approx 22$$

Далі визначаємо загальну кількість деталей, що одержують з одного листа для кожного виду розкрою:

$$N_{д1} = N_{дп1} * N_{п1} = 1827$$

$$N_{д2} = N_{дп2} * N_{п2} = 1034$$

У першому випадку деталей виходить більше, а відходів менше, тому вибираємо поздовжній варіант розкрою аркуша на смуги.

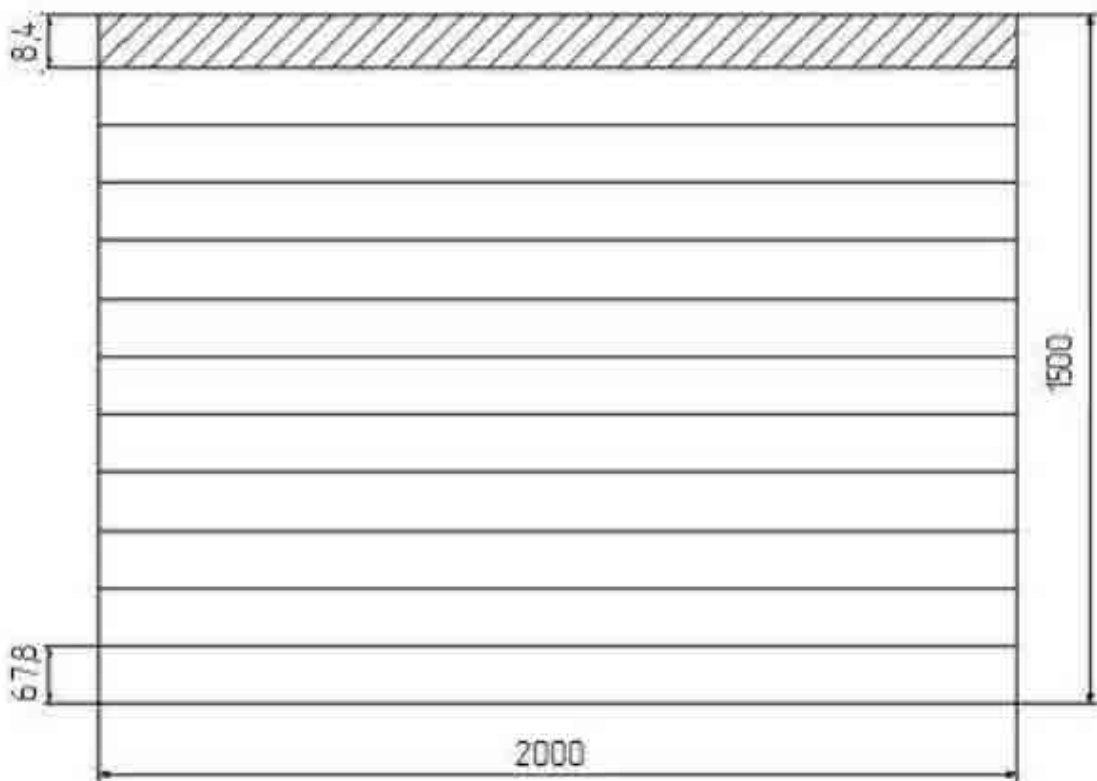


Рисунок 4 – Поздовжній розкрій листа

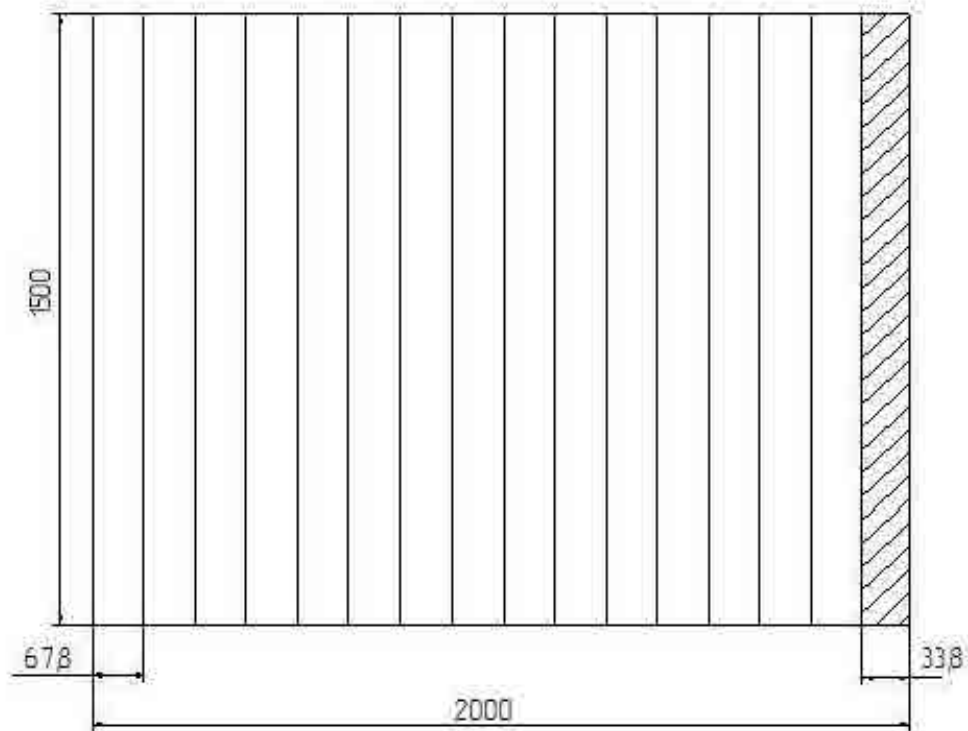


Рисунок 5 – Поперечний розкрій листа

Для листового штампування вибір вихідної заготовки здійснюється шляхом економічного аналізу можливих варіантів розкрою матеріалу й визначення оптимального. За критерій оптимальності приймаємо коефіцієнт використання матеріалу.

Щоб його обчислити, необхідно визначити площу листа $F_{л}$, а також площу, яку займає деталь $F_{д}$, мм²:

$$F_{л} = 3000000 \text{ мм}^2$$

$$F_{д} = 976,54 \text{ мм}^2$$

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу для поздовжнього й поперечного розкрою листа:

$$K_{\text{им1}} = \frac{N_{\text{д1}} * F_{\text{д}}}{F_{\text{л}}} = 0,595$$

$$K_{\text{им2}} = \frac{N_{\text{д2}} * F_{\text{д}}}{F_{\text{л}}} = 0,337$$

Результати обчислень підтверджують, що поздовжній розкрій листа на штаби дозволяє найбільше вигідно використовувати матеріал.

6. Розробка конструкції штампа

Виходячи з умов завдання і розробленого технологічного процесу виготовлення деталі, проектую штамп послідовної дії для вирубкн-пробивання.

Згідно з технологічним процесом відбувається пробивання отвору й вирубка деталі, тому робоча зона штампа є прямокутною. Отже, вибираю конструкцію штампа із прямокутним пакетом.

До складу штампа ввійдуть такі елементи:

- верхня плита – 1 шт.;
- нижня плита – 1 шт.;
- пуансон пробивний – 2 шт.;
- пуансон вирубний – 1 шт.;
- матриця – 1 шт.;
- пуансонотримач – 1 шт.;
- хвостовик ГОСТ 16715-71 – 1 шт.;
- знімач – 1 шт.;
- уловлювач – 1 шт.;
- колона – 2 шт.;
- упор – 1 шт.;

- упор разовий ГОСТ 18748-80 – 2 шт.;
- штифт ГОСТ 24296-93 – 2 шт.;
- штифт ГОСТ 3128-765 – 4 шт.;
- гвинт ГОСТ 1491-80 – 8 шт.;
- гвинт ГОСТ 11644-75 – 1 шт.

7. Визначення центру тиску штамп

У штампах для вирубки (пробивання), що містять кілька пуансонів, визначення центру тиску штамп є обов'язковим. Визначенню координат центру тиску штамп в цілому передують визначення координат центру тиску окремих елементів, які штампують.

Центром тиску кожного зі елементів, які штампують, є точка прикладання рівнодіючої сил, що виникають при його вирубці (пробиванні). Тобто, центр тиску елемента, який штампують, є центр ваги лінії контуру штампкування.

Якщо контур, який штампують, є замкнутий і має дві явно виражені вісі симетрії, то його центр ваги збігається із центром ваги охопленої їм плоскої фігури. Для даної деталі явно виражена вертикальна вісь симетрії, але у випадку штамп послідовної дії центр тиску є зміщеним щодо вертикальної осі симетрії.

Визначимо центр ваги отворів і зовнішнього контуру деталі графічно, потім підрахуємо по формулах центр тиску штамп. Визначення центру тиску штамп презентовано на рисунку 6.

Довжини контурів l_i визначаю по кресленню:

$$l_1 = 187,48 \text{ мм,}$$

$$l_2 = 62,83 \text{ мм.}$$

Центр ваги контурів знаходимо графічно по кресленню:

$$x_{1y\phi} = 0 \text{ мм};$$

$$y_{1y\phi} = 31,6 \text{ мм};$$

$$x_{2y\phi} = 0 \text{ мм};$$

$$y_{2y\phi} = 0 \text{ мм}.$$

Визначаємо координати центру тиску:

$$X_{y,\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \cdot x_{y,m}^i}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad Y_{y,\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i \cdot y_{y,m}^i}{\sum_{i=1}^n l_i}$$

$$x_{y,\phi} = \frac{187,48 \cdot 31,6 + 62,83 \cdot 0}{187,48 + 62,83}$$

$$y_{y,\phi} = \frac{187,48 \cdot 0 + 62,83 \cdot 0}{187,48 + 62,83}$$

$$x_{y,\phi} = 23,67$$

$$y_{y,\phi} = 0$$

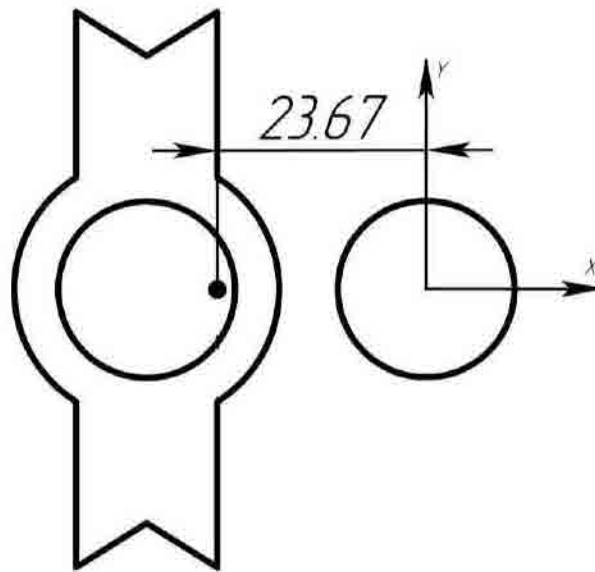


Рисунок 6 – Центр тиску деталі

8. Розрахунки параметрів, необхідних для виконання розділових операцій і вибір преса

Вибір преса для проведення різних операцій проводиться з розрахунків зусилля преса і площі стола, необхідного для встановлення штампа. Щоб визначити необхідне зусилля преса, потрібно обчислити значення зусиль, які витрачаються на операції штампування, а потім їх сумують.

Технологічне зусилля P_{cp} (кН), яке витрачається на вирубку і пробивання деталі обчислимо по формулі:

$$P_{cp} = L \cdot s \cdot \sigma_{cp},$$

де L – периметр контуру деталі, рівний 250,31 мм;

s – товщина матеріалу, рівна 1,5 мм;

σ_{cp} – опір зрізу, рівний 330 МПа.

$$P_{cp} = 250,31 \cdot 1,5 \cdot 330,$$

$$P_{cp} = 123,9.$$

Необхідне зусилля преса розраховують по формулі

$$P_n = 1,25 \cdot P_{cp}$$

$$P_n = 1,25 \cdot 123,9$$

$$P_n = 154,875$$

Іншими критерієм вибору преса є площа стола, яка необхідна для встановлення штампа. Для початку необхідно визначити найменші габаритні розміри матриці (рисунок 7):

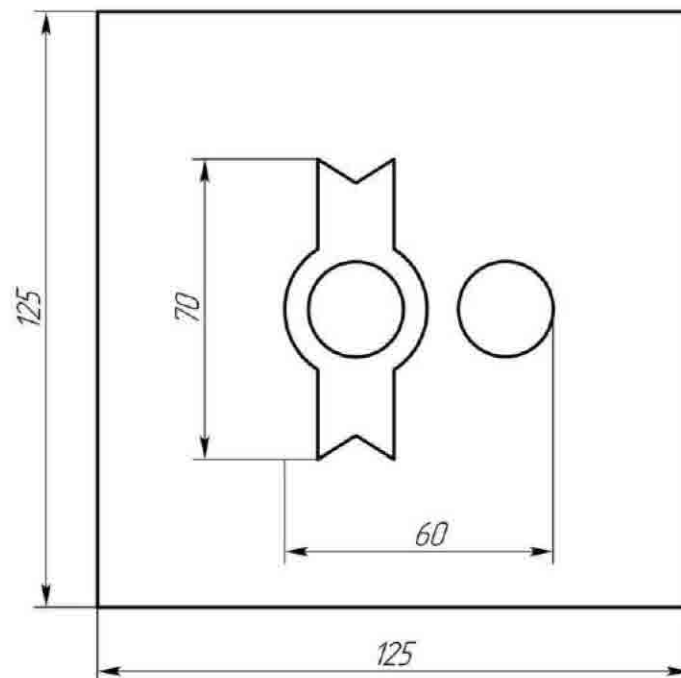


Рисунок 7 – Габаритні розміри матриці

Матеріалом матриці виберемо сталь X12M.

Обчислимо товщину матриці, використовуючи залежність:

$$H_M = S + K_M \cdot \sqrt{a_r + b_r} + 7;$$

де, K_M – коефіцієнт, залежний від матеріалу матриці.

$$K_M = 1;$$

$$H_M = 1,5 + 1 \cdot \sqrt{70 + 60} + 7,$$

$$H_M = 19,9 \text{ мм.}$$

Перевіримо достатність матриці:

$$H_M = \sqrt[3]{100 \cdot P_n};$$

$$H_M = \sqrt[3]{100 \cdot 123,9},$$

$$H_M = 23,13 \text{ мм.}$$

Округляємо отримане значення до більшого числа зі спеціального ряду,
тоді:

$$H_M = 25 \text{ мм.}$$

Із двох отриманих результатів товщин матриці виберемо найбільший:

$$H_M = 25 \text{ мм.}$$

Далі поєднуємо центр тиску деталі і центр стола для встановлення штампа і визначаємо остаточні розміри матриці (рисунок 8):

$$A_r = 168 \text{ мм};$$

$$B_r = 125 \text{ мм}.$$

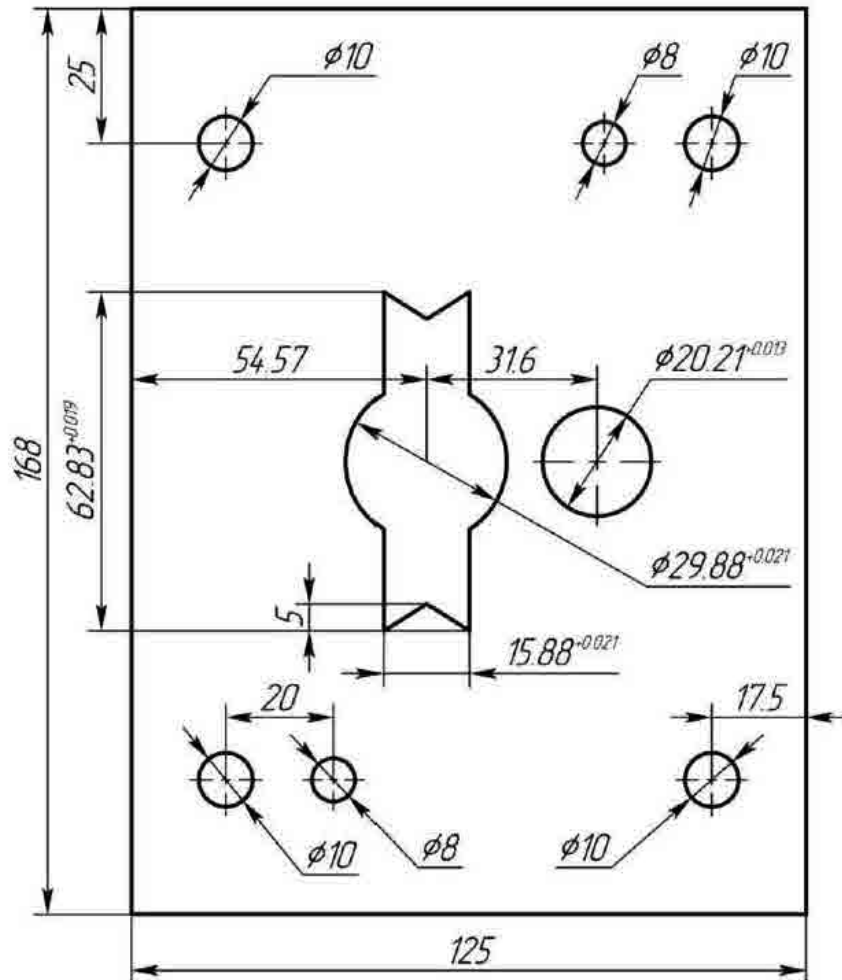


Рисунок 8 – Ескіз матриці

9. Розрахунки виконавчих розмірів робочих частин штампа

Робочі деталі (елементи) штампів для вирубки і пробивання (матриця і пуансон) можна виготовляти спільно або роздільно.

Розглянемо розрахунки виконавчих розмірів матриці і пуансона при їхнім роздільному виготовленні, коли робочі деталі обробляються до остаточних розмірів без взаємного узгодження.

Розрахунки виконавчих розмірів матриці і пуансона при вирубці ведеться по таких формулах:

$$L_M = (L_H - \Pi_H)^{+\delta^M};$$

$$L_H = (L_H - \Pi_H - z)_{-\delta^H},$$

де L_M і L_H – виконавчі розміри матриці й пуансона, мм;

L_H – номінальний розмір елемента, який штампують, мм;

Π_H – припуск на зношування матриці й пуансона, мм;

z – основний зазор між матрицею й пуансоном, мм;

δ^M і δ^H – граничні відхилення розмірів матриці й пуансона, мм.

Визначимо номінальний розмір елемента, який штампують, (найбільший розмір для деталей складної форми), припуск на зношування і основний зазор між матрицею і пуансоном, мм:

$$a_M = (63 - 0.17)^{+0.019};$$

$$a_H = (63 - 0.17 - 0.09)_{-0.013},$$

$$a_M = 62.83^{+0.019};$$

$$a_{\Pi} = 62.74_{-0.013},$$

$$b_{\text{M}} = (30 - 0.12)^{+0.021};$$

$$b_{\Pi} = (30 - 0.12 - 0.09)_{-0.013},$$

$$b_{\text{M}} = 29.88^{+0.021};$$

$$b_{\Pi} = 29.79_{-0.013}$$

Розрахунки виконавчих розмірів матриці і пуансона для пробивання проводяться по таких формулах:

$$D_{\Pi} = (D_{\text{H}} + \Pi_{\text{H}})_{-\delta_{\text{M}}};$$

$$D_{\text{M}} = (D_{\text{H}} + \Pi_{\text{H}} + z)^{+\delta_{\text{H}}},$$

Оскільки в деталі, яку штамнують, один отвір, необхідно визначити виконавчі розміри матриці і пуансона для одного отвору.

Граничні відхилення розмірів, а так само основний зазор при вирубці і пробиванні буде однаковий, мм:

$$D_{\Pi} = (20 + 0.12)_{-0.021};$$

$$D_{\text{M}} = (20 + 0.12 + 0.09)^{+0.013},$$

Виконавчі розміри при вирубці і пробиванню представлено на рисунку 9.

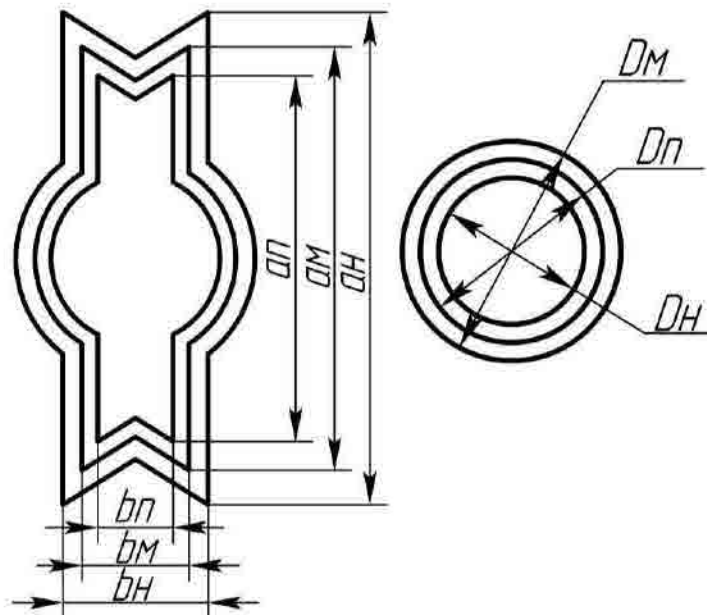


Рисунок 9 – Виконавчі розміри при вирубці й пробиванню

10. Розрахунки пуансонів на міцність

Пуансони необхідно перевіряти на зминання опорною поверхнею головки пуансона поверхні плити, а також на стиснення і поздовжній вигин самого пуансона в найменшому перетині. Напруження зминання поверхні головки обчислюються по формулі:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{P_{\text{п}}}{F_{\text{гол}}};$$

де $\sigma_{\text{см}}$ – напруга зминання поверхні головки, МПа;

$P_{\text{п}}$ – технологічне зусилля, сприймане пуансоном, Н;

$F_{\text{гол}}$ – площа поверхні головки, мм².

Для штампування даної деталі застосовується один пуансон. Обчислимо технологічне зусилля, сприймане пуансоном, а також площу

поверхні головки:

$$P_n = \pi \cdot D \cdot s \cdot \sigma_{cp}$$

$$P_n = 3,14 \cdot 20 \cdot 1,5 \cdot 330$$

$$P_n = 31086$$

Обчислимо напругу зминання для пуансона й перевіримо на умову:

$$\sigma_{cm} = \frac{31086}{3,14 \cdot 10^2} = 99 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа.}$$

Так як $\sigma_{cm} < 100$ МПа, то пуансон не слід упирати головою в сталеву загартовану шитку.

Перевірку на стиснення здійснюють в такій послідовності.

Спочатку визначаємо коефіцієнт зниження, що допускається напруги для пуансона, що залежить від умовної гнучкості пуансона й враховуючий можливу втрату стійкості пуансона.

Для пуансонів круглого перетину він залежить від параметра:

$$\mu = 2,8 \frac{h_n}{d_n},$$

де h_n – довжина робочої частини пуансона,

d_n – діаметр робочої частини пуансона.

$$\mu = 2,8 \cdot \frac{10}{20} = 1,4$$

По таблиці 6.13 [1, с. 87]

$$\varphi = 1$$

Площа кільцевого паска:

$$F_k = \pi a_k (d_n - a_k),$$

де a_k – ширина кільцевого паска.

Визначаємо по таблиці 6.14 [1, с. 88] з $y/z = 0,09$; $z/s = 0,06$; $dn/s = 13,3$; тоді $a_k/d_n = 0,2$.

$$F_k = 3,14 \cdot 4 \cdot (20 - 4) = 200,96 \text{ мм}^2.$$

Напруга стискання:

$$F_k = 3,14 \cdot 4 \cdot (20 - 4) = 200,96 \text{ мм}^2.$$

де $[\sigma_{сж}] = 1900 \text{ МПа}$ (сталь У8А).

$$\sigma_{сж} = \frac{31086}{1 \cdot 200,96} = 154,68 \leq [\sigma_{сж}]$$

Умова виконується.

Пуансон у цьому випадку не є довгим, тому перевірку на поздовжній вигин проводити немає необхідності.

11. Опис штампа і технічні умови на його складання

Штамп послідовної дії із прямокутним пакетом для виготовлення деталі із круглими отворами. Рекомендується до виготовлення деталей для крупносерійного виробництва.

У верхній частині штампа закріплено три пуансони: два для пробивання отворів, один для вирізки деталі по контуру. Закріплені за допомогою пуансонотримача. У верхній плиті закріплені напрямні втулки по посадці з натягом.

У нижній частині штампа на плиті змонтована матриця з разовими упорами. На матриці встановлений твердий знімач для знімання відходу з пуансона. Для точного розташування отворів, що пробиваються, щодо зовнішнього контуру деталі у вирізному пуансоні встановлені вловлювачі. У нижній плиті закріплені напрямні колонки по посадці з натягом.

Деталь виготовляється зі штаби товщиною 1,5 мм. Послідовність роботи штампа така. Штаба подається вручну. При заправленні штаба

подається в штамп до першого разового упору. На першому переході пробиваються отвори пробивними пуансонами. Далі штаба просувається до другого разового упору. На другому переході включається в роботу вирубний пуансон, що має вловлювачі, які фіксують розташування отворів щодо контуру деталі, і пуансон на матриці вирізає деталь. Далі знову подаємо штабу до упору й процес повторюється. Зусилля преса подається через хвостовик на верхній пакет, який рухається вниз по напрямних колонках. Вирубка відбувається «на провал» через отвори в матриці й нижній плиті.

Технічні умови на складання штампа зазначені на складальному кресленні, а технічні умови на виготовлення проєктованих деталей – на кресленнях цих деталей. Виходячи з конструкторських міркувань, закрита висота штампа визначається по складальному кресленню.

12. Технічний контроль якості продукції

Питання контролю якості продукції залишається пріоритетним при розробці нових технологічних процесів, устаткування, оснащення та вимірювальних засобів.

Беручи до уваги конструктивні особливості та призначення деталей, для яких розроблено технологічні процеси в даному проєкті, можна передбачити імовірність появи таких дефектів:

- наявність задирок по краях зрізу металу;
- відхилення симетрично розташованих отворів відносно осі згину;
- пружне відновлення форми (відпружинювання) під час згинання;
- утворення мікро- та макротріщин при виконанні операцій згину.

З метою мінімізації ризику виникнення зазначених дефектів у проєкті передбачено такі технічні заходи:

- високоточне виготовлення оснащення, зокрема забезпечення оптимального зазору між матрицею та пуансоном;

- використання компенсуючих плит, що дають змогу точно позиціонувати матриці та пуансони;
- застосування фіксуючих елементів під час гнуття для запобігання деформації бортів;
- правильний вибір матеріалу заготовки з урахуванням його властивостей та подальших операцій технологічного процесу дозволяє зменшити ймовірність утворення тріщин;
- автоматизація штампування забезпечує точніше дотримання лінійних розмірів деталей і заготовок.

Окрім технічних рішень, важливу роль відіграє впровадження ефективної системи організації технічного контролю. Вона передбачає обов'язкову перевірку виготовлених виробів на всіх етапах виробництва безпосередньо виробником, що дозволяє підтримувати стабільну якість продукції.

13. Безпека праці під час штампування

При розробці нових технологічних процесів особливу увагу слід приділяти питанням безпеки праці, оскільки низький рівень травматизму є важливим показником ефективності роботи виробничого підрозділу.

Відповідно до вимог стандарту ГОСТ 12.2.017-76 та з урахуванням реальних умов виробництва, в цеху впроваджено такі заходи для запобігання нещасним випадкам:

- усі відкриті обертові частини обладнання та оснащення оснащуються захисними кожухами з кінцевими вимикачами;
- за відсутності огороження передбачено керування робочим ходом за допомогою двох кнопок, що унеможливило контакт працівника з рухомими елементами;
- для зниження впливу шуму на працівників використовуються захисні

навушники;

- на робочих місцях передбачено місцеве освітлення;
- усі металеві елементи контрольно-вимірювальних пристроїв, що можуть опинитися під напругою понад 42 В, заземлюються;
- кожен пристрій повинен бути оснащений ручним вводом-вимикачем.

Дотримання наведених вимог забезпечує належний рівень безпеки праці на всіх етапах технологічного процесу виготовлення деталей.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Деталь «Шайба» представляє собою компактний штампований елемент, що широко застосовується в різних вузлах технічних систем. Виготовляється вона з холоднокатаної матеріалу марки Д19АТ товщиною 1,5 мм методом холодного листового штампування, з використанням декількох операцій вирубки та пробивки. Попри відносно просту геометричну форму, шайба має контур середньої складності, що вимагає забезпечення високої точності розмірів при послідовному виконанні штампувальних операцій, ускладнюючи технологічний процес.

У зв'язку з цим критично важливим є вибір оптимального технологічного маршруту та відповідної конструкції штампового оснащення, яке може бути ефективно застосоване на універсальних кривошипних пресах. У масштабах крупносерійного виробництва це дозволяє досягти балансу між продуктивністю, собівартістю та надійністю процесу виготовлення.

Отже, розробка й впровадження раціонального конструкторсько-технологічного підходу до виготовлення деталі «Шайба» є актуальним завданням сучасного машинобудування.

2. Розроблено раціональний технологічний процес виготовлення деталі «Шайба» з урахуванням вимог крупносерійного виробництва, що дозволяє забезпечити стабільну якість при мінімальних витратах.

3. Оптимізований розкрій вихідної заготовки за рахунок її раціонального розміщення.

4. Спроектований штамп послідовної дії, який виконує вирубування та пробивання заготовки за один хід преса, що скорочує загальний цикл виготовлення та підвищує продуктивність;

5. Підвищена економічна ефективність за рахунок зменшення кількості операцій, скорочення простоїв обладнання та зменшення витрат на обслуговування оснастки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.

2. 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.

3. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В. П. – [6-е изд.]. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. – 530 с.

4. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. –496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).

5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. 5-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1980.-728 с. - Т.1.

6. Ковка и штамповка. Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семенова. – Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка.– М.: Машиностроение,1985. – 567 с.

7. 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.

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