

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
« ____ » _ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**Проект автоматизованого штампувального комплексу для
виготовлення деталі кришка**

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

.....Владислав СІДОРОВ

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент

..... Володимир МІРЗАК

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
Сідорову Владиславу Васильовичу**

Тема роботи:

Проект автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення деталі кришка.

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Володимир МІРЗАК

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

Строк подання роботи до захисту:

20 червня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: розробка раціонального технологічного процесу, прогресивного оснащення та автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення деталі «Кришка».

Завдання: проаналізувати варіанти процесів штампування типових деталей; виконати конструктивно-технологічний аналіз деталі та розрахувати розміри вихідної заготовки; розрахувати силовий режим за операціями штампування та вибрати обладнання, розробити карту технологічного процесу; спроектувати оснащення для листового штампування деталі «Кришка»; розробити загальний вид штампувального комплексу; розробити кінематичну схему базового пресу та виконати кінематичний, силовий та енергетичний розрахунки, спроектувати один з вузлів базового пресу. 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 | 12.06.2025 р. | |
| 8 | Рецензування роботи | 16.06.2025 р. | |
| 9 | Захист кваліфікаційної роботи | 20.06.2025 р. | |

Дата видачі завдання
03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Владислав СІДОРОВ

Керівник роботи _____ Володимир МІРЗАК

АНОТАЦІЯ

Сідоров В. В. Проект автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення деталі кришка : кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В. Я. Мірзак; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. 43 с.

Креслеників – разом 4 аркуші формату А1.

Метою роботи є розробка раціонального технологічного процесу, прогресивного оснащення та автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення деталі кришка.

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності та зменшенні собівартості виготовлення деталі в умовах великосерійного виробництва за рахунок використання раціональної технології штампування на автоматизованому штампувальному комплексі..

В роботі виконано аналіз варіантів процесів штампування типових деталей; проведений конструктивно-технологічний аналіз деталі та розраховані розміри вихідної заготовки; розрахований силовий режим за операціями штампування та вибрано обладнання; розроблена карта технологічного процесу; спроектовано оснащення для листового штампування; розроблено загальний вид штампувального комплексу; розраховано кінематичні, силові та енергетичні параметри базового пресу, спроектовано вузол головного механізму преса.

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

ANNOTATION

Vladyslav SIDOROV. Project of an automated stamping complex for the production of a cover part. Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Volodymyr MIRZAK : Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025. 38 p. Drawings – summary 4 sheets A1 format.

The aim of this work is to develop a rational technological process, advanced tooling, and an automated stamping complex for the production of the "Cover" part.

The relevance of the work lies in increasing productivity and reducing the manufacturing cost of the part under mass production conditions through the use of a rational stamping technology within an automated stamping complex.

The work analyzes variants of stamping processes for typical parts; a design and technological analysis of the part; calculation of the initial blank dimensions; calculation of the force mode for stamping operations and selection of appropriate equipment; development of a technological process chart; design of tooling for sheet metal stamping; development of a general view of the stamping complex; calculation of the kinematic, force, and energy parameters of the base press; and design of the main mechanism unit of the press.

Keywords: **technological process, sheet 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 автоматизованого штампувального комплексу
для виготовлення деталі кришка**

КРБ.ПМ.25.19.12.00.00

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

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

Кропивницький 2025

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 7 |
| Розділ 1 Аналітичний огляд технологій отримання деталей типу 1. «Кришка» | 9 |
| 1.1 Аналіз варіантів технологій виготовлення деталей типу «Кришка»..... | 9 |
| 1.2 Аналіз обладнання для штампування деталей із стрічки..... | 14 |
| Висновки і постановка задач..... | 16 |
| Розділ 2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі 2. “Кришка”..... | 17 |
| 2.1 Опис і конструктивно-технологічний аналіз деталі..... | 17 |
| 2.2 Вибір і обґрунтування оптимального варіанта маршрутної технології..... | 18 |
| 2.3 Розрахунок геометричних параметрів заготовки по переходах штампування | 18 |
| 2.4 Розкрій металопрокату | 19 |
| 2.5 Розрахунок технологічних зусиль по операціях. Вибір обладнання..... | 22 |
| 2.6 Технічне нормування..... | 24 |
| 2.7 Технічний контроль якості продукції..... | 27 |
| 2.8 Техніка безпеки..... | 28 |
| 2.9 Розробка карти технологічного процесу листового штампування..... | 29 |
| 2.10 Проектування штампу суміщеної дії..... | 29 |
| Розділ 3 Проектування автоматизованого комплексу штампування 3. деталей із стрічки..... | 32 |
| 3.1 Обґрунтування застосування та вибір складу комплексу..... | 35 |
| 3.2 Вихідні дані для проектування комплексу..... | 33 |
| 3.3 Вихідні дані для проектування базового пресу комплексу..... | 33 |
| 3.4 Розрахунок пресу..... | 34 |
| Загальні висновки | 35 |
| Перелік джерел посилання | 36 |
| ДОДАТКИ | 38 |
| Додаток А. Кресленик деталі «Кришка»..... | 39 |
| Додаток Б. Технологічна карта на виготовлення деталі «Кришка». | 40 |
| Додаток В. Специфікація до складального кресленика штампу суміщеної дії | 41 |
| Додаток Г. Специфікація до кресленика загального виду автоматизованого штампувального комплексу..... | 43 |
| Додаток Д. Специфікація до складального кресленика вузла «Повзун-шатун»..... | 44 |
| Додаток Е. Розрахунок базового пресу комплексу в програмі «PressCad»..... | 47 |

ВСТУП

Актуальність теми

У сучасних умовах серійного машинобудування зростають вимоги до ефективності та економічності технологічних процесів виготовлення просторових деталей. Однією з таких деталей є «Кришка» — циліндричний елемент з наскрізним отвором у донній частині. За своєю геометрією вона належить до тонкостінних об'ємних деталей з осьовою симетрією, які традиційно можуть виготовлятися кількома способами. Для крупносерійного виробництва найбільш раціональним варіантом є технологія листового штампування. У порівнянні з альтернативними методами, ця технологія має низку суттєвих переваг. По-перше, використання холодного листового матеріалу дозволяє мінімізувати витрати металу та підвищити коефіцієнт його використання. По-друге, листоштампувальні операції легко автоматизуються і добре піддаються реалізації на кривошипних пресах із автоматичною подачею заготовок, що забезпечує високу продуктивність та повторювану якість продукції. По-третє, собівартість виготовлення однієї деталі за допомогою штампування значно нижча, ніж при механічній обробці чи литті, особливо в умовах великого обсягу виробництва.

Механічна обробка деталі з суцільної заготовки (наприклад, прутка або диска) є недоцільною через великі обсяги знімання металу. Лиття тонкостінних корпусних деталей, має обмеження щодо точності, механічних властивостей та потребує складного оснащення, що також ускладнює масштабування процесу в умовах крупносерійного виробництва.

Таким чином, розробка спеціалізованої технології листового штампування деталі типу «Кришка» є актуальною задачею для підвищення ефективності великосерійного виготовлення металевих тонкостінних корпусних елементів. Вона дозволяє оптимізувати виробничі витрати, скоротити цикл виготовлення, забезпечити стабільну якість продукції та сприяє гнучкості адаптації процесу до потреб сучасного виробництва.

Мета і задачі роботи

Мета роботи – розробка раціонального технологічного процесу, прогресивного оснащення та автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення деталі «Кришка»/

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати варіанти процесів штампування типових деталей;
- виконати конструктивно-технологічний аналіз деталі та розрахувати розміри вихідної заготовки;
- розрахувати силовий режим за операціями штампування та вибрати обладнання, розробити карту технологічного процесу;
- спроектувати оснащення для листового штампування деталі «Кришка»;
- розробити загальний вид штампувального комплексу;
- розробити кінематичну схему базового преса та виконати кінематичний, силовий і енергетичний розрахунки, спроектувати вузол головного механізму преса.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

- запропоновано прогресивний технологічний процес штампування деталі «Кришка», в якому обґрунтовано доцільність поєднання чотирьох елементарних операцій в одну та впровадження автоматизованого штампувального комплексу для роботи зі стрічковим матеріалом. Це дає змогу зменшити кількість робочих місць і оснащення, підвищити якість продукції та скоротити терміни підготовки виробництва;
- розроблено складальне креслення прогресивного штампа суміщеної дії для операцій вирубування, витягування та формування деталі «Кришка» з використанням стрічки як вихідного матеріалу замість штаби. Після відповідного доопрацювання (повного комплекту КД) штамп може бути впроваджений у виробництво або використаний для прискореної підготовки аналогічних виробів;
- створено проект автоматизованого комплексу штампування зі стрічки на базі модернізованого кривошипного преса номінальним зусиллям 400 кН, що забезпечує значне підвищення продуктивності виготовлення деталей типу «Кришка».

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КРИШКА»

1.1 Аналіз варіантів технологій виготовлення деталей типу «Кришка»

Деталі «Кришка» має форму яка наведена на рисунку 1.1.

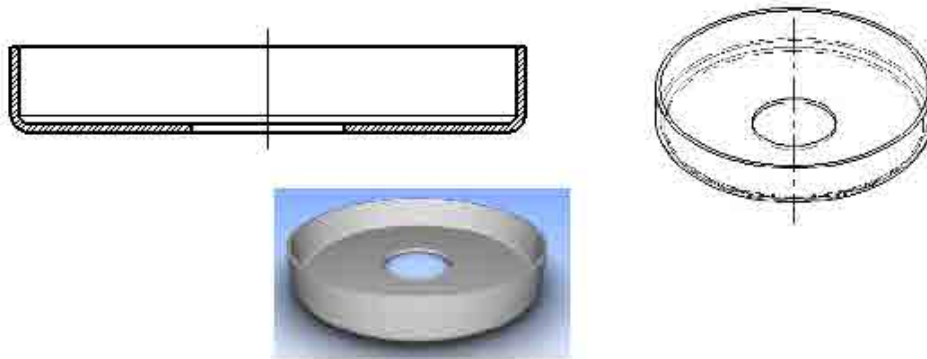


Рисунок 1.1 – Схема деталі «Кришка» та її тривимірна модель

Такі деталі виготовляються за різними технологіями в залежності від існуючого типу виробництва (дрібносерійне, серійне, крупносерійне та масове).

Фрагменти аналогів деталей типу «Кришка» наведені на рис. 1.2, 1.3.



Рисунок 1.2 – Фрагмент аналогів деталей типу «Кришка» [1, 2]

Найбільш близький по формі до оригіналу є прототип наведений на рис.

1.3



Рисунок 1.3 – Фрагмент прототипу деталі «Кришка» [1,2]

Порівняння основних можливих технологій виготовлення просторової деталі типу «Кришка» наведено в таблиці 1.1. в умовах крупносерійного виробництва:

Таблиця 1.1 – Порівняння основних можливих технологій виготовлення просторової деталі типу «Кришка»

| № з/п | Критерій | Листове штампування | Механічна обробка | Лиття |
|-------|---|---|------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Економія матеріалу | Висока | Низька (велика кількість відходів) | Середня |
| 2 | Продуктивність | Дуже висока | Низька | Низька |
| 3 | Початкова вартість оснащення | Висока (штампи) | Низька (ріжучий інструмент) | Висока (форми, машини) |
| 4 | Собівартість виготовлення однієї деталі | Низька при великій серії | Висока | Середня |
| 5 | Точність і якість поверхні | Висока (особливо при обробці краю отвору) | Висока | Середня |
| 6 | Можливість автоматизації процесу | Висока | Обмежена | Середня |
| 7 | Гнучкість переналадки | Висока | Висока | Низька |
| 8 | Механічні властивості готової деталі | Зберігаються/покращуються | Можна досягти високих | Залежить від складу металу, |

Ця таблиця демонструє, що саме листове штампування забезпечує оптимальне поєднання економічності, швидкості та якості під час виготовлення тонкостінної деталі типу «Кришка» в умовах великосерійного виробництва.

Для розгляду можливих варіантів побудови технологій листового штампування спробуємо розбити процес створення деталі «Кришка» на елементарні операції.

Приймаємо, що як заготовку буде використано штабову заготовку або стрічку.

Тоді послідовність елементарних операцій може бути такою:

а) створення круглої заготовки для операції витягування циліндричної деталі (це може бути операція «Вирубання» на штампі простої дії);

б) створення круглого отвору в донній частині деталі (це може бути операція «Пробивання» також на штампі простої дії);

в) формування циліндричної частини деталі (операція «Витягування» у штампі простої дії. На цій стадії може виникнути потреба у виконанні кількох послідовних операцій витягування, якщо не буде дотримано вимог щодо граничної пластичності матеріалу — це перевіряється технологічними розрахунками).

г) обрізання торцевої частини деталі у разі її незадовільної якості (може здійснюватися як у штампі простої дії, так і на металорізальному верстаті);

д) калібрування деталі в місці переходу від стінки до донної частини з метою забезпечення радіуса відповідно до кресленника (може виконуватись у штампі простої дії).

Теоретично таку послідовність операцій можна реалізувати й отримати деталь прийнятної якості. Проте тут є свої переваги й недоліки.

До переваг можна віднести просте штампове оснащення та спрощену процедуру його виготовлення й налагодження. Недоліків у цьому випадку буде значно більше:

- збільшення номенклатури штампового оснащення;
- складніше забезпечення точності операцій на переходах;
- використання розширеної номенклатури пресового обладнання;
- збільшення кількості робочих місць і, відповідно, кількості працівників;
- зростання навантаження на цехову логістику та витрат на передачу заготовок з позиції на позицію;
- використання ручного режиму роботи і, як наслідок, підвищена небезпека праці;
- зростання собівартості виготовлення деталей;
- збільшення строків підготовки виробництва тощо.

Отже, в умовах дрібносерійного виробництва такий варіант іще може бути прийнятним, але для більших партій деталей він стає нераціональним.

Зі збільшенням ступеня серійності виробництва (а саме це обумовлено завданням до цієї роботи — великосерійне виробництво) єдиним шляхом розв'язання проблеми є об'єднання кількох елементарних операцій в одну. Для цієї деталі також можливе різноманіття варіантів.

Одним з таких варіантів може бути наступний:

а) різання листового матеріалу на штаби (якщо використовується заготовка із штаби) або використання згорнутої у бухту стрічки відповідної ширини (якщо використовується стрічка);

б) вирубування заздалегідь прорахованої круглої заготовки в штампі простої дії;

в) витягування із штучної заготовки з одночасним пробиттям центрального отвору у штампі суміщеної дії;

г) калібрування радіусу закруглення між стінкою деталі та її донної частини у штампі простої дії.

Запропонований варіант дає можливість скоротити одне робоче місце при використанні заготовки із штаби і два робочі місця при використанні заготовки із стрічки. Але в такому вигляді він більше підходить до серійного виробництва.

Аналізуючи цей варіант по підпунктам можна констатувати наступне:

– підпункт а) – для великосерійного виробництва пріоритетним повинен бути вибір заготовки із згорнутої в бухту стрічки. Це дозволить на наступних операціях застосовувати високопродуктивні засоби автоматизації і механізації;

– підпункт б) – ця операція зменшує витрати на штампове оснащення (штамп простої дії) і дозволяє застосування автоматизованого штампувального комплексу стандартної комплектації;

– підпункт в) – використання штучної заготовки уповільнює продуктивність штампування на цій операції навіть при використанні роботизованого штампувального комплексу, що буде впливати на загальний темп видачі готової деталі;

– підпункт г) – та ж проблема, що і у підпункті в) – використання штучної заготовки. Як варіант – проектування спеціалізованого автоматизованого обладнання.

Отже, в підсумку, використання запропонованої послідовності операцій та їх комбінацій в цьому варіанті не є прийнятним рішенням для великосерійного виробництва.

Розглянемо ще одну комбінацію з елементарними операціями:

а) використання згорнутої в бухту стрічки як заготовки;

б) об'єднання операцій вирубування, пробивання і витягування в одну в штампі суміщеної дії з використанням автоматизованого комплексу штампування деталей із стрічки;

в) калібрування радіусу закруглення між стінкою деталі та її донної частини у штампі простої дії з одночасним правлінням.

Така комбінація операцій теж має свої переваги і недоліки.

Переваги:

– вивільнення трьох працівників у порівнянні з попереднім варіантом (одного на заготівельній операції і двох на штампувальних операціях);

– зменшення кількості необхідного штампового оснащення на дві одиниці (штамп для вирубування і штамп для пробивання);

– можливість використання автоматизованого комплексу для штампування зі стрічки;

– покращення якості виготовлених деталей (використання штампа суміщеної дії);

– зниження витрат на налагодження оснащення;

– підвищення продуктивності процесу штампування;

– оптимізація внутрішньоцехової логістики.

Недоліки, хоча й не критичні, також присутні:

– складніша конструкція штампа, що призводить до зростання його вартості;

– висока ціна штампувального обладнання (автоматизований комплекс для штампування зі стрічки).

Таким чином, цей варіант є більш доцільним для впровадження в умовах великосерійного виробництва.

Отже, серед усіх розглянутих підходів саме цей варіант найбільше відповідає вимогам ефективності та заслуговує на подальшу детальну розробку.

1.2 Аналіз обладнання для штампування деталей із стрічки

Обладнання для штампування деталей із стрічки представлено різного роду штампувальними комплексами. У їх склад входять такі основні модулі:

– розмотувальний пристрій (подає стрічку з бухти, часто з моторизованою підмоткою);

– правильна машина, або його ще називають вирівнювач стрічки (забезпечує рівномірність подачі, знімає залишкові деформації);

– подавач стрічки (різного роду подачі – кліщові, клиноролікові, валкові тощо). Основне їх призначення – точна подача яка визначається кроком подачі штампа;

– прес (в більшості випадків кривошипний, відкритий) призначений для виконання основних операцій штампування;

– штамп (зазвичай прогресивний), призначений для роботи в умовах автоматизованого штампування.

– пристрої для утилізації відходу із стрічки (ножиці для різання відходів, пристрої намотування відходу в бухти).

– системи вилучення відходів і приймання готових деталей (піддони, транспортери, ножиці для різання відходів, намотувачі відходів стрічки).

До основних виробників (фірми, країни) як самих комплексів так і допоміжних систем до них можна віднести:

– AIDA (Японія) – серводвигуни, висока точність, інтерфейси під CAD;

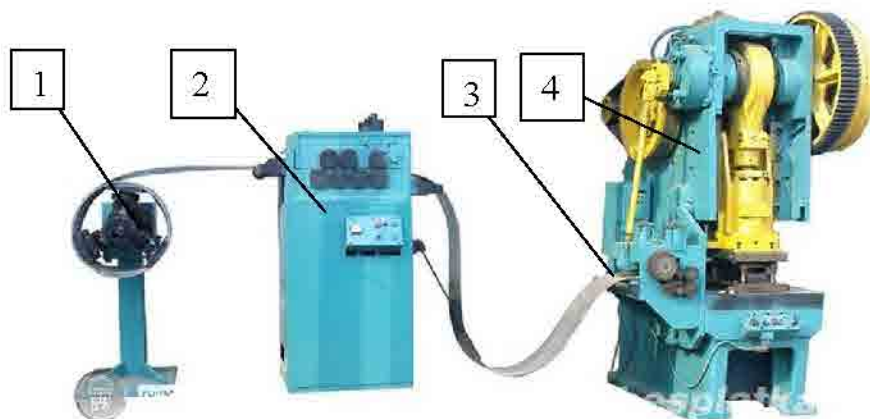
– Schuler (Німеччина) – модульні лінії, сенсорна діагностика, швидкозмінні касети;

- Yangli / JH21 Series (Китай) – базові комплекси, в т.ч. з опцією подачі стрічки
- Dimesco (Франція) – подачі, вирівнювачі, інжиніринг під замовлення;
- Andritz Kaiser (Австрія) – інтеграція з ERP-системами (системи планування ресурсів підприємства), сервоформування.

Аналоги штампувальних комплексів для штампування деталей із стрічки для деталей подібних до деталі «Кришка» наведено на рис. 4, 5.



Рисунок 1.4 – Фрагмент аналогу автоматизованого комплексу для штампування деталей із стрічки [3]



- 1 – розмотуючий пристрій; 2 – правильний пристрій; 3 – валкова подача;
4 – базовий прес

Рисунок 1.5 – Фрагмент аналогу автоматизованого комплексу для штампування деталей із стрічки типу «Кришка» [4]

Усі агрегати, що входять до складу комплексу, виготовляються промисловістю як окремі вироби у стандартизованій номенклатурі, з урахуванням продуктивності та технічних параметрів базового преса. Тому вибір відповідного допоміжного обладнання та його комплектування в єдиний комплекс зазвичай не становить значної складності з конструктивної точки зору.

В окремих випадках можна проводити незначну модернізацію деяких вузлів базового пресу і допоміжного обладнання, ніж замовляти якісь спеціалізовані варіанти.

Висновки і постановка задач

На підставі проведеного аналізу можна сформулювати такі висновки:

– найбільш доцільним для подальшої детальної розробки є варіант технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка», в якому операції «вирубання», «витягування» та «пробивання» об'єднуються в єдину операцію «вирубання-витягування-пробивання», що реалізується у штампі суміщеної дії;

– проектування автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення цієї деталі може здійснюватися на основі технічних характеристик обраного базового преса (визначеного за результатами розрахунку технологічного зусилля), із підбором відповідного стандартного допоміжного обладнання, яке серійно випускається промисловістю.

З урахуванням зазначеного, основною метою цієї роботи є розробка технологічного процесу, оснащення та автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення деталі «Кришка».

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати варіанти процесів штампування типових деталей; виконати конструктивно-технологічний аналіз деталі та розрахувати розміри вихідної заготовки; розрахувати силовий режим за операціями штампування та вибрати обладнання, розробити карту технологічного процесу; спроектувати оснащення для листового штампування деталі «Кришка»; розробити загальний вид штампувального комплексу; розробити кінематичну схему базового пресу та виконати кінематичний, силовий та енергетичний розрахунки, спроектувати вузол головного механізму преса.

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ “ КРИШКА”

2.1 Опис і конструктивно-технологічний аналіз деталі

Деталь “Кришка” має просторову форму типу тіла обертання з отвором в донній частині і призначена для захисту від пилу підшипників вала дозуючого пристрою. Технічні вимоги на деталь наведені на кресленні деталі.

За даними конструкторської документації деталь виготовляється з вуглецевої якісної конструкційної сталі марки 08кп, що постачається у вигляді холоднокатаного листа або стрічки, згорнутої в бухту.

З огляду на призначення використовуваної сталі [5] робимо висновок, що матеріал конструктором обраний правильно. Хімічний склад і механічні властивості даної марки сталі наведені в табл. 2.1 і табл. 2.2 відповідно [5, 7, 8)].

Основні вимоги до конструкції деталей, які виготовляються витягуванням з застосуванням розділових операцій, такі:

– мінімально можливі значення радіусів заокруглень згідно [5, 6, 9], складають $[r_{min}]=(1)s=1\cdot 0,8=0,8$ мм, тобто витягування з таким радіусом заокруглення ($r = 1$ мм) між дном і стінкою можливе. Але оскільки це значення наближається до граничної межі, рекомендується збільшити радіус на операції витягування до 3 мм з наступним калібруванням до 1 мм.

По іншим параметрам деталь можна вважати технологічною для виготовлення методами ОМТ.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад

| Вуглець С, % | Кремній Si, % | Марганець Mn, % | Хром Cr, % |
|-----------------|------------------|--------------------|---------------|
| 0,05...0,11 | до 0,03 | 0,25.....0,50 | не більш 0,1 |

Таблиця 2.2 – Механічні властивості

| Тимчасовий опір розриву σ_y , МПа | Межа текучості σ_T , МПа | Межа опору зрізу σ_{sp} , МПа | Відносне подовження ϵ_s , МПа, % |
|--|---------------------------------|--------------------------------------|---|
| 324 | 196 | 250 | 35 |

2.2 Вибір і обґрунтування оптимального варіанта маршрутної технології

Обґрунтування оптимального варіанту маршрутної технології виготовлення деталі «Кришка» виконано в розділі 1. Тобто перелік операцій остаточно приймаємо наступний:

– перша операція – суміщення трьох елементарних операцій (вирубання, витягування, пробивання);

– друга операція – калібрування радіуса переходу між стінкою і донною частиною з одночасним правленням.

Запропонований варіант, у порівнянні з традиційними варіантами, дозволяє скоротити число операцій, звільнити штампувальників, вивільнити технологічне устаткування, автоматизувати процес штампування, підвищити коефіцієнт використання матеріалу на одну деталь.

2.3 Розрахунок геометричних параметрів заготовки по переходах штампування

Ескіз деталі для розрахунку діаметра заготовки зображений на рис. 2.1.

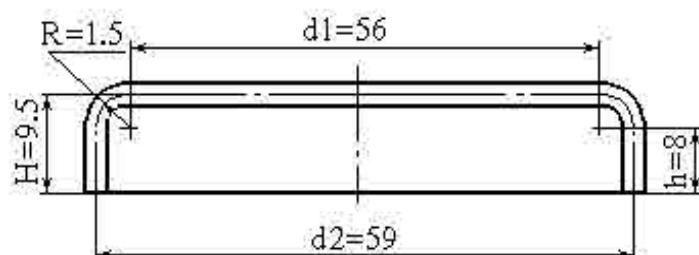


Рисунок 2.1 – Ескіз до розрахунку геометричних параметрів заготовки

Діаметр вихідної заготовки визначаємо по формулі [5]:

$$D_3 = \sqrt{d_1^2 + 2\pi R d_1 + 8R^2 + 4d_2 h};$$

$$D_3 = \sqrt{56^2 + 2 \times 3.14 \times 1.5 \times 56 + 8 \times 1.5^2 + 4 \times 59 \times 8} = 74.3 \text{ мм.}$$

Приймаємо $D_3 = 74$ мм.

2.3.1 Перевірка можливості виконання операції витягування за один перехід

Можливість виконання операції витягування за один перехід визначається умовою

$$m > [m],$$

де $[m]$ – граничний коефіцієнт витягування, $[m] = 0.55$; [5, 6].

m – коефіцієнт витягування, що визначається за формулою [6, 9]:

$$m = \frac{d}{D_3};$$

де d – діаметр деталі, мм;

D – діаметр заготовки, мм.

$$m = \frac{60}{74} = 0.81$$

$m = 0.81 > [m] = 0.55$; Умову виконано.

2.4 Розкрій металопрокату

Схема розкрою стрічки зображена на рис. 2.2.

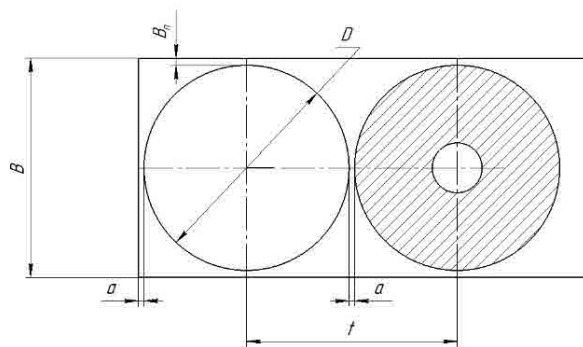


Рисунок 2.2 – Схема розкрою матеріалу стрічки

Ширина стрічки визначається по формулі [5, 6]. При умові роботи без бічного притиску:

$$B = B_p + 2 \cdot \Delta_{ш} + Z,$$

де B_p – розрахункова ширина стрічки, мм:

$$B_p = D + 2B_n,$$

де B_n – величина перемички, $B_n = 2$ мм. [5, 6],

$$B_p = 74 + 2 \times 2 = 78 \text{ мм.}$$

де $\Delta_{ш}$ – однобічний мінусовий допуск на ширину стрічки, $\Delta_{ш} = 0.5$ мм [6];

Z – гарантований зазор між напрямними штампа і максимально можливою шириною стрічки, $Z = 1$ мм.

Тоді:

$$B = 78 + 2 \times 0.5 + 1 = 80 \text{ мм.}$$

Вибираємо стрічку 08кп – ОМ – 2 – 1.0 × 80 ДСТУ 503–81 [7,8].

Розшифровка позначення: стрічка зі сталі марки 08кп особливо м'яка, нормальної точності виготовлення по товщині та ширині, другої групи поверхні з обрізаними кромками, без контролю мікроструктури та серповидності, товщиною 1 мм, шириною 80 мм, звичайної якості.

Крок подачі визначається по формулі:

$$t = D + a,$$

де a – величина перемички, мм [5, 6].

Тоді:

$$t = 74 + 2 = 76 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу визначається по формулі:

$$\eta = \frac{F_{\delta}}{t \times B},$$

де F_{δ} – площа деталі, мм^2 .

$$F_{\delta} = F_{\delta 1} - F_{\delta 2}$$

де $F_{\delta 1}$ – площа поверхні деталі, діаметр якої $D = 74 \text{ мм}$

$$F_{\delta 1} = \frac{\pi \times D^2}{4} = 4298.66 \text{ мм}^2$$

де $F_{\delta 2}$ – площа отвору діаметром $d = 18 \text{ мм}$.

$$F_{\delta 2} = \frac{\pi \times d^2}{4} = 254.34 \text{ мм}^2.$$

Тоді:

$$F_{\delta} = 4298.66 - 254.34 = 4044.32 \text{ мм}^2.$$

Тоді

$$\eta = \frac{4044.32}{76 \times 80} = 0.67$$

Норма витрати матеріалу визначається формулою [2, 10]:

Масу деталі визначаємо засобами САПР SolidWorks по твердотілій параметричній моделі деталі (модель та МЦХ див. в додатках), $M_{\delta} = 0,032 \text{ кг}$.

$$H_m = \frac{F_{\delta} \cdot s \cdot \rho}{1000\eta} K;$$

де s – товщина матеріалу; $s = 1 \text{ мм}$;

ρ - щільність матеріалу; $\rho = 0,0078 \text{ г/мм}^3$.

K – коефіцієнт, що враховує кінцеві відходи стрічки.

$$H_M = \frac{4044.32 \times 1 \times 7.83 \times 10^{-3}}{1000 \times 0.67} \times 1.05 = 0.049 \text{ кг.}$$

2.5 Розрахунок технологічних зусиль по операціях. Вибір обладнання [5, 6, 9–14]

Загальне зусилля штампування визначається за формулою:

$$P = P_e + P_{вит} + P_n,$$

де P_e – це загальне зусилля вирубування заготовки по контуру, Н.

$$P_e = P_{вир} + P_{зн},$$

де $P_{вир}$ – зусилля вирубування деталі, Н:

$$P_e = K \cdot L \cdot S \cdot \sigma_{зр},$$

де K – коефіцієнт, що враховує неоднорідність матеріалу, $K = 1.2$;

S – товщина матеріалу, мм;

L – периметр різа, мм:

$$L = \pi \cdot D = 3.14 \times 74 = 232.36 \text{ мм.}$$

Тоді:

$$P_e = 1.2 \times 232.36 \times 1 \times 250 = 66970.8 \text{ Н} = 69.7 \text{ кН.}$$

де $P_{зн}$ – зусилля, необхідне для зняття стрічки з пуансона.

$$P_{зн} = K_{зн} \cdot P,$$

де P – повне зусилля вирубання, Н.

$K_{зн}$ – коефіцієнт, обумовлений у залежності від типу штампа і товщини матеріалу [5, 6].

$$P_{зн} = 0.1 \times 69.7 = 6.97 \text{ кН;}$$

$$P_B = 69.7 + 6.97 = 76.67 \text{ кН.}$$

де $P_{вит}$ – зусилля витягування, що визначається по формулі, Н:

$$P_{вит} = \pi \cdot d \cdot s \cdot \sigma_B \cdot K,$$

де d – діаметр циліндричної деталі по середній лінії, $d = 59$ мм;

S – товщина заготовки, мм.

K_I – коефіцієнт, що знаходимо по таблиці, $K_I = 0,37$ [5, 6].

Тоді:

$$P_{\text{вит}} = 3.14 \times 59 \times 1 \times 324 \times 0.37 = 22208.99 \text{ Н} = 22.20 \text{ кН.}$$

Зусилля пробивання;

$$P_{np} = P_{np} + P_n$$

де P_{np} – зусилля пробивання, що визначається по формулі, Н:

$$P_{np} = 1,3 \cdot L \cdot S \cdot \sigma_{sp}$$

де L – периметр різа:

$$L = \pi \cdot d = 3.14 \times 18 = 56.52 \text{ мм.}$$

$$P_{np} = 1,3 \times 56.52 \times 1 \times 250 = 18369 \text{ Н} = 18.369 \text{ кН.}$$

P_n – зусилля, необхідне для проптовхування відходу через матрицю, Н:

$$P_n = K \cdot P_{np},$$

де K – коефіцієнт, що встановлює співвідношення P_n і P_{np} , $K = 0.07$ [5, 6].

Тоді

$$P_n = 0.07 \times 18.369 = 1,29 \text{ кН.}$$

$$P_{np} = 18.369 + 1,29 = 19.65 \text{ кН.}$$

Таким чином, загальне зусилля штампування дорівнює:

$$P = 76.67 + 22.20 + 19.65 = 118.52 \text{ кН.}$$

На підставі отриманого зусилля по даній операції попередньо вибираємо комплекс для штампування деталі зі стрічки на базі преса відкритого однокривошипного, модель АККД 2126 зусиллям 400 кН, технічна характеристика якого наступна [16]:

Номинальне зусилля преса, кН 400

Хід повзуна, мм.....0-9

| | |
|--------------------------------------|--------------------|
| Частота ходів повзуна, хід/хвил..... | 130 |
| Ширина стрічки, мм | 60 – 150 |
| Товщина стрічки, мм..... | 1 – 4 |
| Потужність електродвигуна, квт..... | 5.7 |
| Габаритні розміри, мм | 6200 x 2000 x 2600 |
| Маса, кг | 5350 |

Остаточний вибір буде здійснено після проектування штампового оснащення, коли буде відома закрита висота штампа та його габарити.

Зусилля для калібрування визначається по формулі [5, 6]:

$$P_{\text{кал}} = q \cdot F,$$

де q – 200 Н/мм² – питоме зусилля виправлення і калібрування, [5, 6].

F – площа проекції поверхні деталі, мм².

$$F = \frac{3,14 \times 58^2}{4} = 2640.74 \text{ мм}^2$$

тоді

$$P_{\text{кал}} = 200 \times 2640.74 = 528148 \text{ Н} \approx 528,2 \text{ кН}$$

Для операції калібрування вибираємо відкритий однокривошипний прес моделі КД 2128Е [16].

Технічна характеристика

| | |
|--------------------------------------|---------------|
| Номінальне зусилля, кН..... | 630 |
| Хід повзуна, мм..... | 0-100 |
| Число ходів повзуна в хвилину..... | 90 |
| Розмір столу, мм | 900x650 |
| Потужність електродвигуна, квт | 4,5 |
| Габаритні розміри, мм | 300x1600x3000 |
| Маса, т..... | 3,8 |

2.6 Технічне нормування

Розрахунок робимо з урахуванням даних [15] і зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок норми часу

| № карти | № позиції | Найменування переходів | Основний час, T_o | Допоміжний час на 1 шт. у хв. | |
|---------|-----------|--|---------------------|-------------------------------|--------------|
| | | | | Перекритий | Неперекритий |
| 9 | 1м | Взяти і піднести рулон, установити рулон у пристосуванні преса, перерізати в'язання дроту, витягнути, протерти і заправити кінець стрічки в штамп, включити прес | - | - | 0.0035 |
| 16 | 1у | Основна операція | 0.0077 | - | - |
| | | Разом: | 0.0077 | - | 0.0035 |

Штучний час:

$$T_{шт} = (T_o + T_e) \cdot K$$

де $K = 1.05$ [4, стр. 26] – коефіцієнт, що враховує час на організаційно-технічне обслуговування, відпочинок і особисті потреби;

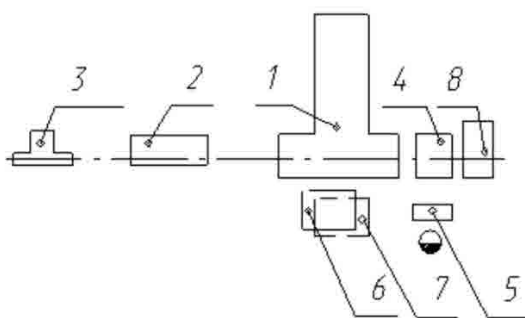
$$T_{шт} = (0.0077 + 0.0035) \times 1.05 = 0.01176 \text{ хв.}$$

Норма виробітку :

$$N_e = \frac{T_{зм}}{T_{шт}} = \frac{480}{0.01176} = 40816 \text{ шт.}$$

де $T_{зм}$ – тривалість циклу, хв. $T_{зм} = 480$ хв .

Схема організації робочого місця на даній операції зображена на рис. 2.3



Умовні позначки:

1 – прес;

2 – правильний пристрій;

3 – розмотуючий пристрій;

4 – ножиці для різання відходів;

5 – пульт керування;

6, 7, 8 – тари для деталей і відходів

Рисунок 2.3 – Схема організації робочого місця операції вирубання-пробивання-витягування

Розрахунок норми часу на операції калібрування наведений у таблиці 2.4.

Таблиця 1.4 – Розрахунок операції калібрування

| № карти | № позиції | Найменування переходів | Основний час, Т _о | Допоміжний час | |
|---------|-----------|--|------------------------------|----------------|-----------------------------|
| | | | | Перекритий | Неперекритий |
| 34 | 72 | Узяти заготовку й установити в штамп | | | $2.5 \div 100$ $= 0.025$ |
| 1 | 7а | Включити прес | | | 0.070 |
| 2 | 40б | Основний час | 0.0928 | | |
| 36 | 13д | Зняти заготовку зі штампа і відкинути убік | | | $1.4 \div 100$ $= 0.014$ |
| | | Разом: | 0.0928 | | 0.059 |

Штучний час:

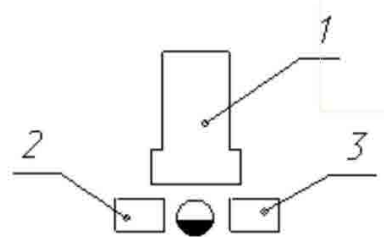
$$T_{um} = (T_o + T_e) \cdot K$$

$$T_{um} = (0.0928 + 0.059) \cdot 1.05 = 0.15939$$

Норма виробітку:

$$N_K = \frac{480}{0.15939} = 3011 \text{ шт.}$$

Схема організації робочого місця даної операції зображена на рис. 2.4.



Умовні позначки:

- 1 – прес;
- 2 – стіл для заготовок;
- 3 – тара для деталей

Рисунок 2.4 – Схема організації робочого місця на операції калібрування

2.7 Технічний контроль якості продукції

З огляду на форму і застосування деталі, на яку розроблений технологічний процес в цьому проекті, при виготовленні можливі наступні види браку [5, 6,]:

- наявність задирки по периметру зрізу металу при вирубванні і пробиванні;
- наявність мікро- і макротріщин при витягуванні деталі;
- наявність пошкоджень на зовнішній і внутрішній циліндричній поверхні (риски, борозни);
- невідповідність розмірів деталі розмірам на її кресленику.

Для запобігання усіх видів браку при розробці технологічних процесів прийняті наступні заходи:

- більш якісне виготовлення оснащення, зокрема витримка оптимального зазору між матрицею і пуансоном;
- установка вузлів, що компенсують похибки обладнання, зменшуючи їх вплив похибок на процес штампування;
- додержання планових оглядів і ремонтів штампового оснащення;
- застосування адаптивних методів контролю за станом оснащення, технологічним зусиллям, кроком подачі стрічки.

2.8 Техніка безпеки

Техніці безпеки при розробці нових технологічних процесів варто приділяти велике значення, тому що зниження травматизма – важливий фактор у показниках роботи цеху.

З огляду на вище наведене і з врахуванням ГОСТ 12.2.017-85 прийняті наступні заходи для запобігання травматизму [5, 6]:

- усі відкриті рухомі частини обладнання й оснащення закриті огороженням, що обладнано кінцевими вимикачами;
- застосованно включення на робочий рух за допомогою двох кнопок, що запобігає контакту працюючого з рухомими частинами обладнання й оснащення;
- для зниження рівня шуму застосовуються навушники;
- на обладнанні застосовується місцеве освітлення;
- усі металеві частини обладнання, що можуть виявитися під напругою, що перевищує 42В, оснащені приладами заземлення;
- кожна одиниця обладнання повинна мати вимикач ручної дії;
- дотримання інструктажів: загального і на робочому місці.

Виконання усіх вищевказаних факторів дозволяє забезпечити безпечну працю на всіх операціях маршрутної технології виготовлення деталей.

2.9 Розробка карти технологічного процесу листового штампування

Результати розробки технологічного процесу штампування фіксуємо в технологічній карті, яка містить основні відомості по розробленому технологічному процесу. Карта наведена в додатку Б.

2.10 Проектування штампа

2.10.1 Опис штампа

Спроекований штамп суміщеної дії призначений для вирубання заготовки по контуру, витягування і пробивання центрального отвору (рис. 2.5).

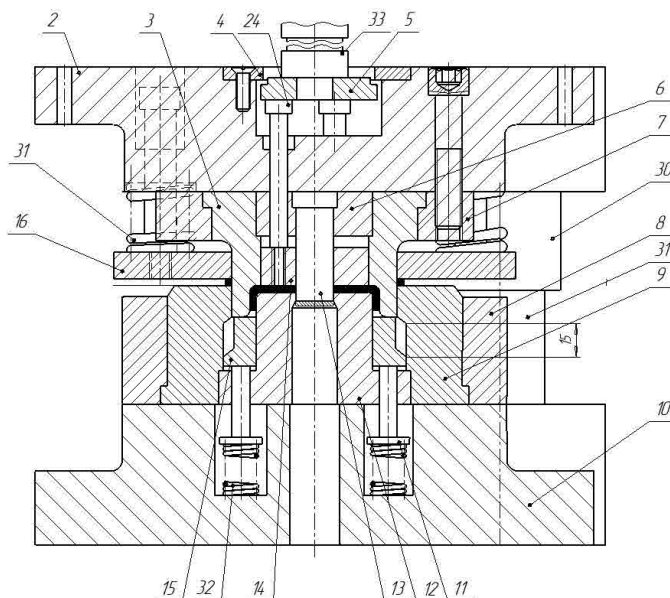


Рисунок 2.5 – Схема штампа суміщеної дії

Штамп складається з наступних основних деталей і вузлів:

– стандартного блоку з двома діагонально розташованими напрямними вузлами ковзання – поз. 30, 31; пуансона-матриці – поз. 3; пуансона – поз. 13; пуансона-матриці – поз. 12; матриці – поз. 9; матрицетримача – поз. 8; пуансонотримачей – поз. 6,7; знімачів – поз. 15, 16; виштовхувача – поз. 14; штовхачів – поз. 24, 33.

Спроекований штамп працює в такий спосіб. Стрічка заправляється в штамп між напрямними штифтами. При ході повзуна вниз відбувається вирубання заготовки по контуру і витягування пуансон-матрицею поз. 3 і

пробивання центрального отвору пуансоном поз. 13. При цьому витягування здійснюється з постійним притиском фланця заготовки знімачем поз. 15. Відхід при пробиванні видаляється зі штампа через провальний отвір у пуансоні-матриці поз. 12. При ході повзуна вгору здійснюється зняття стрічки з пуансона-матриці поз. 3 знімачем поз. 16, який спрацьовує під дією пружин поз. 31. Виштовхування відштампованої деталі з пуансона-матриці поз. 3 з одночасним зняттям її з пробивного пуансона поз. 13 здійснюється виштовхувачем поз. 14. Зняття деталі з пуансона-матриці поз. 12 здійснюється знімачем поз. 15, який спрацьовує від пружин поз. 32. Відштампована деталь вилучається зі штампа пневматичним здувачем від преса.

2.10.2 Розрахунок пуансона на міцність

Відповідно до ДСТУ 16675-80 рекомендується розраховувати пуансон на міцність за умови. $P_{дон} \geq P_z$ [6, 10–14]

де $P_{дон}$ – навантаження, що допускається, на стиск;

P_z – потрібне (технологічне) зусилля при зрізі.

Перевіряємо опорну поверхню плити на зминання головкою пуансона.

$$\sigma_{зм} = \frac{P}{F_z} \leq [\sigma]_{зм} .$$

де P – технологічне зусилля, Н;

F_z – площа поверхні голівки пуансона, мм^2 , $F_z=380 \text{ мм}^2$;

$$\sigma_{зм} = \frac{19650}{380} = 51,71 \text{ Н/мм}^2$$

$[\sigma_{дон}] = 400 \text{ МПа}$ – напруга зминання, що допускається. Умова виконується.

2.10.3 Розрахунок виконавчих розмірів

Виконавчі розміри матриці при вирубуванні визначаємо по формулі, [5, 6, 11, 12];

$$d_m = (L_n - P_3) \cdot \delta_m$$

де L_n – номінальний розмір елемента, що штампується; $L = 74$ мм.

$P_3 = 0.60$ мм – припуск на знос матриці і пуансона вибираємо з таблиці [6];

$\delta_m = 0.17$ мм, граничне відхилення розміру матриці:

$$d_m = (74 - 0.60)^{+0.17} = 73.40^{+0.17} \text{ мм}$$

Визначаємо розмір пуансона по формулі.

$$L_n = (L_n - P_3 - Z) \cdot \delta_m;$$

де $Z = 0.05$ – зазор між пуансоном і матрицею, мм.

$$L_n = (74 - 0.60 - 0.05) \cdot 0.05 = 73.35 \cdot 0.05 \text{ мм.}$$

Виконавчі розміри при пробиванні визначаються по формулі:

$$L_n = (L_n + P_3) \cdot \delta_m;$$

де $L_n = 18$ мм – номінальні розміри елемента, що штампується;

$P_3 = 0.35$ мм – припуск на знос матриці і пуансона, [6];

$\delta_m = 0.008$ – граничне відхилення розміру матриці, мм;

$$L_n = (18 + 0.35) \cdot 0.008 = 18.35 \cdot 0.008 \text{ мм}$$

Розмір матриці:

$$L_m = (L_n + P_3 + Z) \cdot \delta_m;$$

де $Z = 0.05$ мм – зазор між пуансоном і матрицею;

$$L_m = (18 + 0.35 + 0.05) \cdot 0.011 = 18.40 \cdot 0.011 \text{ мм}$$

3 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ШТАМПУВАННЯ ІЗ СТРІЧКИ

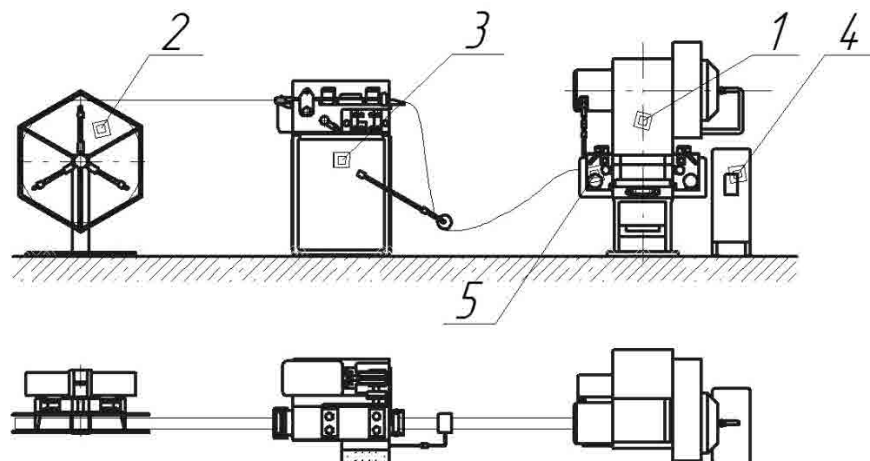
3.1 Обґрунтування застосування та вибір складу комплексу

Штампувальний комплекс на базі однокривошипного відкритого преса використовують для автоматизованого виготовлення деталей із стрічки методами операцій холодного штампування: вирубання, пробивання отворів, неглибокого витягування, формування, гнуття тощо.

Комплекс може використовуватись в різних галузях промисловості, зокрема при виготовленні сільськогосподарської техніки, радіотехнічних виробів та товарів широкого вжитку.

За аналог приймаємо комплекс АККД2126 для штампування деталей із стрічки на базі кривошипного преса КД2126Е зусиллям 0,4 МН [16, 17].

До складу комплексу входять: прес однокривошипний відкритий простої дії зусиллям 0,4 МН, правильно-розмотувальний пристрій, валкова подача, ножиці для різання відходів. Схема комплексу наведена на рис. 1.



- 1 – прес;
- 2 – розмотувальний пристрій;
- 3 – правильно-розмотувальний пристрій;
- 4 – ножиці для різання відходів;
- 5 – валкова подача.

Рисунок 3.1 – Схема комплексу для штампування деталей із стрічки

3.2 Вихідні дані для проектування комплексу

| | |
|--|----------------|
| 1. Максимальне зусилля базового пресу, МН..... | 0,4 |
| 2. Максимальна продуктивність комплексу, шт. за год..... | 5700 |
| 3. Розміри стрічки, що подається, мм | |
| ширина..... | 160 |
| товщина..... | 0,5...2,0 |
| 4. Крок подачі, мм..... | 160 |
| 5. Точність подачі по кроку, мм..... | ± 0,25 |
| 6. Найбільший зовнішній діаметр рулону стрічки, мм | 900 |
| 7. Габаритні розміри (довжина ×ширина×висота над рівнем полу)..... | 8020×1504×2275 |

3.3 Вихідні дані для проектування базового пресу комплексу

| | |
|--|--------|
| 1. Номінальне зусилля преса | 0,4 МН |
| 2. Величина ходу повзуна: | |
| - найменший | 5 |
| - найбільший | 80 |
| 4. Найбільша частота безперервних ходів/хвил | 130 |
| 5. Закрита висота преса | 300 |
| 6. Розмір підштампової плити преса: | |
| - зліва-направо | 600 |
| - з переду-назад | 400 |
| 7. Розмір нижньої поверхні повзуна преса, зліва-направо | 285 |
| 8. Розмір нижньої поверхні повзуна преса, - з переду-назад | 190 |
| 9. Діаметр центрального отвору в повзуні | 50 |
| 10. Габаритні розміри: | |
| - зліва-направо | 1305 |
| - з переду-назад | 1330 |
| - висота преса | 2600 |

Компоновка комплексу здійснюється з готових модулів, які випускаються промисловістю у різноманітних варіантах. Так для комплексу з зазначеними характеристиками може підійти наступний набір допоміжного обладнання:

- розмотувальний пристрій (модель У411.32);
- правильний пристрій (модель ПУ7);
- валкова подача (модель ВП39);
- ножиці для різання відходів (модель НП1).

У запропонованій комплектації комплекс буде відповідати наведеним вище вихідним даним.

Стандартний базовий прес, який входить у склад комплексу має кількість ходів в хвилину – 130. Для операцій витягування така швидкохідність децю завищена. Це може приводити до зниження якості деталі і навіть руйнування в місці переходу від донної частини до стінки. Тому було прийнято рішення модернізувати базовий прес шляхом зменшення кількості ходів, застосувавши в його приводі електродвигун з меншою кількістю обертів. Така модернізація не потребує значних капіталовкладень та може бути виконана силами ремонтних служб підприємства.

Для підтвердження цієї можливості були виконані відповідні розрахунки.

3.4 Розрахунок пресу

Розрахунок базового пресу зі зміненою кількістю ходів виконувався з застосуванням програми автоматизованого проектування кривошипних пресів “PressCad” в середовищі прикладної програми Mathcad, а конструювання з застосуванням конструкторських САПР [18, 19]. Були виконані кінематичний, силовий та енергетичний розрахунки. Результати наведені в додатку Д.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У сучасному серійному машинобудуванні особливої уваги набуває питання ефективного та економного виготовлення просторових металевих деталей. До таких виробів належить і деталь типу «Кришка» — тонкостінний циліндричний елемент із наскрізним отвором у донній частині.

Серед основних технологічних варіантів її виготовлення можна виділити механічну обробку, лиття, об'ємне та листове штампування. Аналіз показує, що для крупносерійного виробництва найбільш доцільним є саме листове штампування. Цей метод дозволяє значно знизити витрати металу за рахунок використання холоднокатаного листа, забезпечує високу продуктивність завдяки можливості автоматизації подачі та обробки заготовок, а також гарантує стабільну якість продукції при низькій собівартості.

Механічна обробка є малоефективною через велику кількість відходів. Лиття — поступається за точністю, повторюваністю та потребує складного оснащення.

Таким чином, впровадження технології листового штампування для виготовлення деталі типу «Кришка» є актуальним і обґрунтованим рішенням, що відповідає вимогам сучасного серійного виробництва.

2. Розроблено прогресивний технологічний процес штампування деталі «Кришка», у якому обґрунтовано об'єднання чотирьох операцій в одну та застосування автоматизованого штампувального комплексу з використанням стрічки. Запропоноване рішення дає змогу скоротити кількість робочих місць і оснастки, підвищити якість виробу та зменшити тривалість підготовки виробництва.

3. Спроектовано складальне креслення штампа суміщеної дії для операцій вирубування, витягування та пробивання деталі «Кришка» зі стрічки. Штмп може бути впроваджений у виробництво після розроблення повного комплексу конструкторської документації, або використаний як базова конструкція для проектування аналогічних деталей.

4. Розроблено проєкт автоматизованого штампувального комплексу на базі модернізованого кривошипного преса номінальним зусиллям 400 кН для великосерійного виготовлення деталей типу «Кришка».

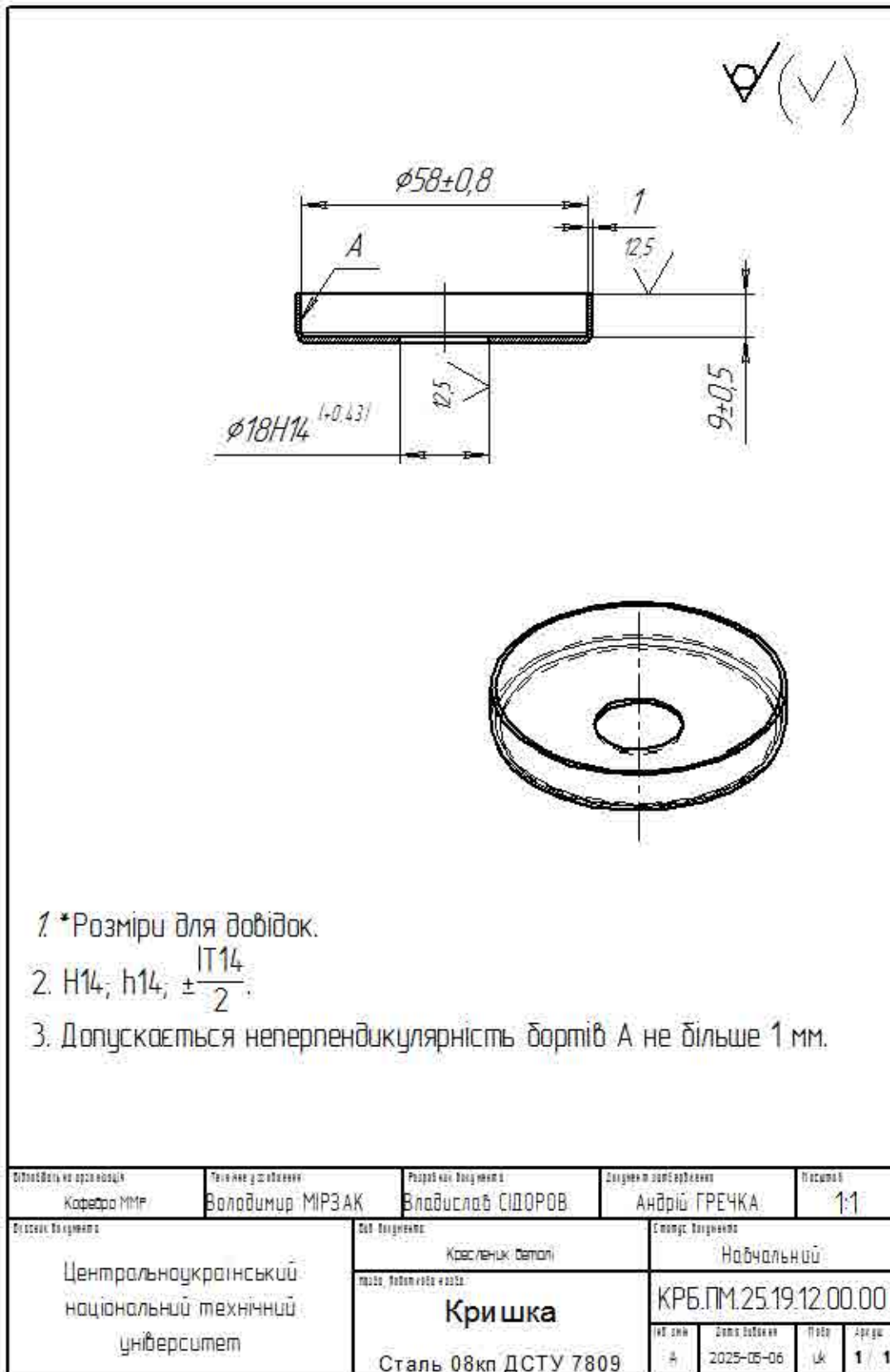
Перелік джерел посилання

1. Металеві штамповані деталі, MYD Metal Products Co., Ltd. URL: https://www.mydsheetmetalstamping.com/product_detailed/38.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwjqWzBhAqEiwAQmtgT3WSL5npfYpA_y04jEOUpQvSAnUWOJ2NYn1u2On0mrbegDpNQG16cxoC11YQAvD_BwE (дата звернення: 16.05.2024).
2. Штамповані деталі, NANJING METALLI INDUSTRIAL CO., LIMITED. URL: https://www.metalli-china.com/products_detail/c-_detailId%3D1061242035751424000.html (дата звернення: 18.05.2024).
3. Лінія прецизійного штампування з подачею преса, SUNRUI Machine. URL: <https://www.sz-sunrui.com/solution/precision-pressfeed-stamping-line.html> (дата звернення: 16.05.2025).
4. Комплекс обладнання для виконання операцій холодного штампування, RIA.com. URL: <https://www.ria.com/uk/industrial-goods-kompleks-obladnannya-dlya-vykonannya-operatsiy-kholodnogo-shtampuvannya-probyvannya-vyrubuvannya-g-165983521.html> (дата звернення: 25.05.2024).
5. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В. П. – [6-е изд.]. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. – 530 с.
6. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. –496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).
7. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. 5-е изд., перераб. – М.:Машиностроение, 1980.-728 с.-Т.1.
8. Ковка и штамповка. Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семенова. – Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка.– М.: Машиностроение,1985.–567 с.
9. 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.
10. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Проектування та розрахунок штампового оснащення для холодного штампування» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання Частина II /Укл. В.І. Дубина, В.В. Широкобоков. – Запоріжжя: НУ “Запорізька політехніка», 2020. – 24 с.

11. Боков В.М. Конструювання та виготовлення штампів. Штмп як об'єкт проектування. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ "Імекс ЛТД", 2005. – 236 с.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Общемашиностроительные нормативы на холодную штамповку, резку, высадку и обрезку. Массовое, крупносерийное, серийное и мелкосерийное производство. М.: НИИ труда. 1978.-231с., ил.
16. 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.
17. Мансуров И.З., Подрабинник И.М. Специальные кузнечно-прессовые машины и автоматизированные комплексы КГШП: Справочник,-М.: Машиностроение, 1990.-341 с.
18. Плєснецов Ю. О. Ковальсько-штампувальне обладнання. Механічні преси: навч. посіб. / Ю.О. Плєснецов, В.О.Маковей – Х.: НТУ «ХП», 2014. – 236 с.
ISBN 978-617-7188-69-7
19. Сясєв А. В. Вступ до системи MathCAD: навч. посіб. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 108 с. ISBN 966-551-134-3

Додатки

ДОДАТОК А
Кресленик деталі «Кришка»



ДОДАТОК Б

Технологічна карта на виготовлення деталі «Кришка»

| Ескіз деталі | | Карта технологічного процесу | | | | | | | | | | Картка № | | | | | | | |
|---|--|--|--|---|--|-------------------|--|--------------------|--|-----------------------------|--|---------------------|--|---------------|--|------------|--|----|--|
| | | Міністерство освіти і науки України | | Деталь | | Кришка | | Партія, шт | | Кількість карт | | Кількість карт | | | | | | | |
| | | Центральноукраїнський національний технічний університет | | Кількість деталей на виріб | | 4 | | 17976 | | Склад | | Кількість карт | | 1 | | | | | |
| | | Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки | | Маса, кг | | 0,034 | | Студент | | Група | | Підпис | | Дата | | | | | |
| | | Марка прокату | | Сторічка 08кп – ОМ – 2 – 1.0 × 80 ДСТУ 503–81 | | 72 | | Сідоров В. В. | | ПМ(ОГ) -21 | | | | | | 20.05.2025 | | | |
| | | Коефіцієнт використання матеріалу, % | | | | | | Затвердив | | | | | | | | | | | |
| | | Кількість деталей із штаби, шт | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Кількість штаб із листа, шт | | | | | | Керівник | | Підпис | | Дата | | | | | | | |
| | | Кількість деталей із листа, шт | | | | | | Мірзак В. Я. | | | | | | 15.06.25 | | | | | |
| | | Норма витрати матеріалу на 1 деталь, кг/дет | | 0,048 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Кількість деталей із рулону | | 4687 | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Схема розкрою, операційний ескіз</p> | | №№ операцій, переходів | | Найменування операцій, переходів | | Обладнання | | Штамп, пристрій | | Вимірювальний інструмент | | Норма штучного часу | | Робоча сила | | | | | |
| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | |
| | | 10 | | Вірубання-виглядування | | АККД 2126М 400 кН | | Штамп сумісної дії | | Штангенциркуль ШЦ-I | | 0,019 | | Наладчик | | IV | | 1 | |
| | | 20 | | Калібрування | | КД128Е 630 кН | | Штамп простої дії | | Штангенциркуль ШЦ-I, шаблон | | 0,159 | | Штампувальник | | II | | 1 | |

ДОДАТОК В

Специфікація до складального кресленника штампу суміщеної дії

В.1 Перший аркуш специфікації на складальний кресленник

| Поз | Познака | Найменування | Кіл | Посилання | Матеріал |
|---|-----------------------|---|--|---|--|
| | | <u>Документація</u> | | | |
| | КРБ.ПМ.25.19.12.0100 | Складальне креслення | | | |
| | | <u>Деталі</u> | | | |
| 2 | КРБ.ПМ.25.19.12.0102 | Корпус верхній | 1 | | |
| 3 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.03 | Пуансон-матриця | 1 | | |
| 4 | КРБ.ПМ.25.19.12.0104 | Кільце | 1 | | |
| 5 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.05 | Траверса | 1 | | |
| 6 | КРБ.ПМ.25.19.12.0106 | Пуансонотримач | 1 | | |
| 7 | КРБ.ПМ.25.19.12.0107 | Пуансонотримач | 1 | | |
| 8 | КРБ.ПМ.25.19.12.0108 | Пуансонотримач | 1 | | |
| 9 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.09 | Матриця | 1 | | |
| 10 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.10 | Плита нижня | 1 | | |
| 11 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.11 | Штовхач | 1 | | |
| 12 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.12 | Пуансон-матриця | 1 | | |
| 13 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.13 | Пуансон | 1 | | |
| 14 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.14 | Виштовхувач | 1 | | |
| 15 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.15 | Знімач | 1 | | |
| 16 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.16 | Знімач | 1 | | |
| 17 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.17 | Упор боковий | 4 | | |
| 18 | КРБ.ПМ.25.19.12.01.17 | Штовхач | 1 | | |
| | | Стандартні вироби | | | |
| 21 | | Гвинт М12×40.56 | 4 | ГОСТ 11738-74 | |
| <small>Інформація про кафедру</small> Кафедра ММР | | <small>Виконав виконання</small> Володимир МРЗАК | <small>Зробив документ</small> Владислав ЗДОРОВ | <small>Із чим з-т. перевіряє з-т</small> Андрій ГРЕЧКА | <small>Кількість аркушів</small> 11 |
| <small>Складальний документ</small> Центральноукраїнський національний технічний університет | | <small>Вид документа</small> Специфікація | | <small>Статус документа</small> Наблюдний | |
| | | <small>Назва</small> Штамп суміщеної дії | | <small>Об'єкт</small> КРБ.ПМ.25.19.12.01.00 | |
| | | <small>Ідентифікаційний код</small> А | <small>Дата виходу</small> 2025-03-06 | <small>Мова</small> uk | <small>Кількість сторінок</small> 1/2 |

ДОДАТОК Д
**Специфікація до складального креслення вузла
«Повзун-шатун»**

Г.1 Перший аркуш специфікації на складальний кресленник

| <i>Поз.</i> | <i>Позначка</i> | <i>Найменування</i> | <i>Кіл.</i> | <i>Посилання</i> | <i>Матеріал</i> |
|---|-----------------------|--|--|---------------------------------------|---------------------------|
| | | <u>Документація</u> | | | |
| | КРБ.ПМ.25.19.12.12.00 | Складальне креслення | | | |
| | | <u>Деталі</u> | | | |
| 1 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.01 | Шатун | 1 | | |
| 2 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.02 | Повзун | 1 | | |
| 3 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.03 | Корпус | 1 | | |
| 4 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.04 | Прижим | 1 | | |
| 5 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.05 | Ліва напрямна | 1 | | |
| 6 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.06 | Права напрямна | 2 | | |
| 7 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.07 | Опора | 1 | | |
| 8 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.08 | Вкладиш | 1 | | |
| 9 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.09 | Проставка | 1 | | |
| 10 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.10 | Гвинт регулювальний | 1 | | |
| 11 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.11 | Лінійка | 1 | | |
| 12 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.12 | Повзунук | 1 | | |
| 13 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.13 | Коромисло | 1 | | |
| 14 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.14 | Шайба | 1 | | |
| 15 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.15 | Планка | 1 | | |
| 16 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.16 | Хропавик | 1 | | |
| 17 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.17 | Шпонка | 1 | | |
| 18 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.18 | Втулка | 2 | | |
| 19 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.19 | Фіксатор | 1 | | |
| 20 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.20 | Шайба запобіжна | 1 | | |
| 21 | КРБ.ПМ.25.19.12.12.21 | Пружина | 1 | | |
| Відповідальна організація Кафедра ММР | | Виконавче узгодження Володимир МРЗ АК | Розробник документа Владислав СІДОРОВ | Документ затверджено Андрій ГРЕЧКА | Масштаб 1:1 |
| Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет | | Вид документа Специфікація | | Сплатце документа Навчальний | |
| | | Назва Повзун-шатун | | Позначення КРБ.ПМ.25.19.12.12.00 | |
| | | | | № змін А | Дата виходу 2025-03-06 |
| | | | | Мова uk | Аркуш 1/3 |

Г.2 Другий аркуш специфікації на складальний кресленняк

| Поз. | Познака | Найменування | Кіл. | Посилання | Матеріал |
|---|-----------------------|---|--|-------------------------------------|---------------------------|
| 22 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.22 | Фіксатор | 1 | | |
| 23 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.23 | Штуцер | 1 | | |
| 24 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.24 | Пробка | 1 | | |
| 25 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.25 | Пружина | 1 | | |
| 26 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.26 | Ручка | 1 | | |
| 27 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.27 | Гвинт | 1 | | |
| 28 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.28 | Кришка | 1 | | |
| 29 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.29 | Гайка | 1 | | |
| 30 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.30 | Кришка | 1 | | |
| 31 | КРБ.ЛМ.25.19.12.12.31 | Кільце | 1 | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | Стандартні вироби | | | |
| | | | | | |
| 36 | | Болт М6х16.66.05 | 20 | ГОСТ7805-70 | |
| 37 | | Болт 3М12х30.66.05 | 12 | ГОСТ7808-70 | |
| | | | | | |
| 38 | | Гвинт М16х80.66.05 | 2 | ГОСТ1482-75 | |
| 41 | | Гвинт М16х16.66.05 | 12 | ГОСТ1491-72 | |
| | | | | | |
| 42 | | Гвинт М5х12.66.05 | 2 | ГОСТ1476-75 | |
| 43 | | Гвинт М6х10.66.05 | 4 | ГОСТ1476-75 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Відповідальна організація Кафедра ММР | | Технічне узгодження Володимир МІРЗАК | Розробник документа Владислав СІДОРОВ | Документ зібрано Андрій ГРЕЧКА | Масштаб 1:1 |
| Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет | | Вид документа Специфікація | | Статус документа Навчальний | |
| | | Назва Повзун-шатун | | Позначення КРБ.ЛМ.25.19.12.12.00 | |
| | | | | № змін А | Дата виходу 2025-03-06 |
| | | | | Мова ук | Аркуш 2/3 |

Г.3 Третій аркуш специфікації на складальний кресленик

| Поз. | Познака | Найменування | Кіл. | Посилання | Матеріал | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|----------|--|---|--|---------------------------------------|----------------|---|--|-------------------------------|--|--------------------------------|--|--|-----------------------|--|-------------------------------------|--|--|-------------|-----------------------------|------------|--|--|--|--|--------------|
| 44 | | Гайка М24.8.05 | 12 | ГОСТ 5927-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | | Гайка М6.8.05 | 4 | ГОСТ 5927-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | | Гайка М16.08.05 | 2 | ГОСТ 5927-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 49 | | Гайка М20.08.05 | 4 | ГОСТ 5931-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 54 | | Шайба 4.65Г.05 | 2 | ГОСТ 6402-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55 | | Шайба 6.65Г.05 | 32 | ГОСТ 6402-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | | Шайба 2.6.05.05 | 8 | ГОСТ 11371-78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 61 | | Шайба 2.20.05.05 | 4 | ГОСТ 11371-78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 66 | | Шпилька М20-8gx190.66.05 | 4 | ГОСТ 11371-78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 67 | | Шпилька М24-8gx90.66.05 | 12 | ГОСТ 11371-78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 68 | | Шпилька М6-8gx95.66.05 | 2 | ГОСТ 11371-78 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70 | | Штифт 3x25 | 1 | ГОСТ 3129-70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 71 | | Кільце 130-140-58-2-1 | 2 | ГОСТ 9833-73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 72 | | Дрім 10-0.С | 1 м | ГОСТ 3282-74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Відповідальна організація Кафедра ММР</td> <td style="width: 25%;">Технічне узгодження Володимир МІРЗАК</td> <td style="width: 25%;">Розробник документа Владислав СІДОРОВ</td> <td style="width: 25%;">Документ затверджено Андрій ГРЕЧКА</td> <td style="width: 20%;">Масштаб 1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет</td> <td colspan="2">Тип документа Специфікація</td> <td>Статус документа Навчальний</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Назва Повзун-шатун</td> <td>Позначення КРБ.ЛМ.25.19.12.12.00</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>№ змін А</td> <td>Дата введення 2025-03-06</td> <td>Мова uk</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td>Аркуш 3/3</td> </tr> </table> | | | | | | Відповідальна організація Кафедра ММР | Технічне узгодження Володимир МІРЗАК | Розробник документа Владислав СІДОРОВ | Документ затверджено Андрій ГРЕЧКА | Масштаб 1:1 | Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет | | Тип документа Специфікація | | Статус документа Навчальний | | | Назва Повзун-шатун | | Позначення КРБ.ЛМ.25.19.12.12.00 | | | № змін А | Дата введення 2025-03-06 | Мова uk | | | | | Аркуш 3/3 |
| Відповідальна організація Кафедра ММР | Технічне узгодження Володимир МІРЗАК | Розробник документа Владислав СІДОРОВ | Документ затверджено Андрій ГРЕЧКА | Масштаб 1:1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Власник документа Центральноукраїнський національний технічний університет | | Тип документа Специфікація | | Статус документа Навчальний | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Назва Повзун-шатун | | Позначення КРБ.ЛМ.25.19.12.12.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | № змін А | Дата введення 2025-03-06 | Мова uk | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Аркуш 3/3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ДОДАТОК Е
Розрахунок базового пресу комплексу
в програмі «PressCad»

Розрахунок комплексу

- Початкові дані
- Розрахунок кривошипного пресу
- Розрахунок вузла механізації

Початкові дані преса

| | |
|--|------------------|
| Номінальне зусилля преса, МН | $P_H := 0.40$ |
| Хід повзуна преса, мм | $S := 80$ |
| Кількість ходів повзуна преса в хвилину, хвил ¹ | $n_H := 95$ |
| Коефіцієнт довжини шатуна преса | $\lambda := 0.1$ |

Розрахунок кривошипного пресу

- Кінематичний розрахунок
- Силловий розрахунок
- Енергетичний розрахунок
- Розрахунок вузла

Кінематичний розрахунок преса

- Вибір кінематичної схеми і вибір передаточних відношень
- Розрахунок кінематичних параметрів
- Побудова графіків
- Результати розрахунків

Кинематична схема кривошипного пресу

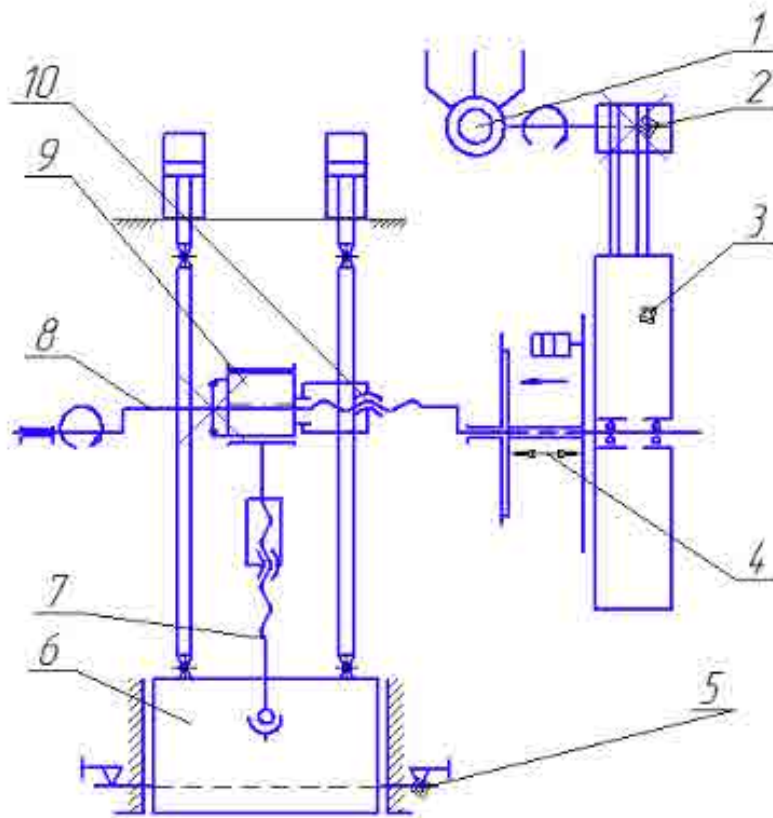


Рис. 2. Кинематична схема однокривошипного відкритого преса пристої дії: 1- електродвигун, 2- шків привода, 3- маховик привода, 4- муфта-гальма, 5- планка виштавлювача, 6- павзун, 7- гвинт регулювання, 8- вал ексцентрика, 9- втулка ексцентрика, 10- гайка.

Визначення передаточних відношень передач

Вибір електродвигуна

Довідка

Вибраний електродвигун з кількістю обертів в хвилину: $n_e := 750$

Загальне передаточне відношення $I := \frac{n_e}{n_x} \quad I = 7.895$

Приймаємо $I := 7.9$

Значення передаточних відношень окремих передач

Довідка

Передаточне відношення клиноремінної передачі $i_1 := 7.9$

Передаточне відношення швидкохідної ступені зубчатої передачі $i_2 := 1.0$

Передаточне відношення тихохідної ступені зубчатої передачі $i_3 := 1$

Перевірка ($I_s = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots i_n = I_{sum}$) $I_s := i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \quad I_s = 7.9$

Приймаємо $I_s := 7.9$

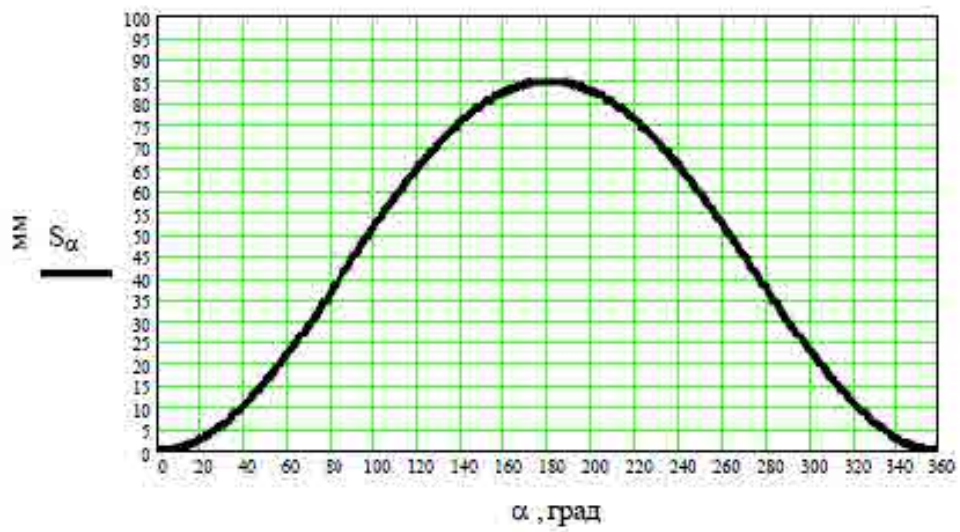
Розрахунок кінематичних параметрів

| | | |
|---|---|--------------------|
| Хід повзуна, мм | | S = 85 |
| Радіус кривошипа, мм | $R := \frac{S}{2}$ | R = 42.5 |
| Коефіцієнт перевода град. в рад. | $r := \frac{\pi}{180}$ | r = 0.017 |
| Кут повороту головного валу, град | | $\alpha := 0..360$ |
| Кутова швидкість головного валу, рад ¹ | $\omega := \frac{\pi \cdot n_x}{30}$ | $\omega = 9.948$ |
| Коефіцієнт довжини шатуна | | $\lambda = 0.1$ |
| Шлях повзуна, мм | $S_\alpha := R \cdot \left[(1 - \cos(\alpha \cdot r)) + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos(2 \cdot \alpha \cdot r)) \right]$ | |
| Швидкість повзуна, мм/с | $V_\alpha := \omega \cdot R \cdot \left(\sin(\alpha \cdot r) + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin(2 \cdot \alpha \cdot r) \right)$ | |
| Прискорення повзуна, мм/с ² | $J_\alpha := -\omega^2 \cdot R \cdot (\cos(\alpha \cdot r) + \lambda \cdot \cos(2 \cdot \alpha \cdot r))$ | |

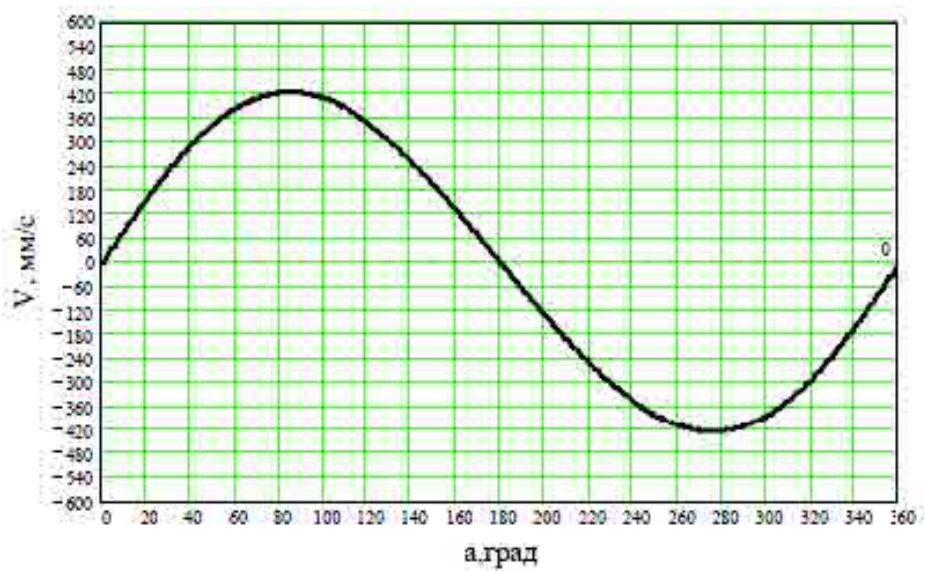
Побудова графіків

- Шлях
- Швидкість
- Прискорення

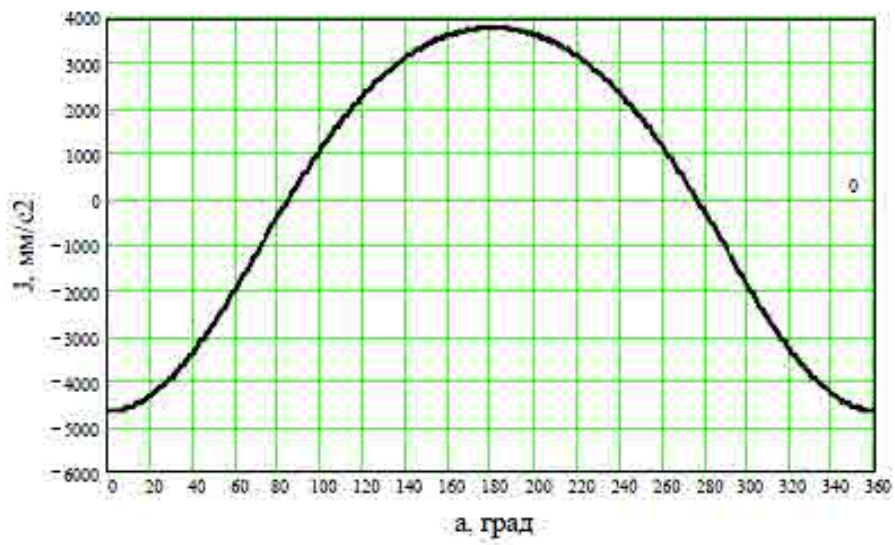
Графік залежності шляху повзуна від кута повороту
головного валу



Графік залежності швидкості повзуна від
кута повороту головного валу



**Графік залежності прискорення повзуна від
кута повороту кривошипа
повороту главного вала**



Результати розрахунку

| $\alpha_2 =$ | $S_{\alpha_2} =$ | $V_{\alpha_2} =$ | $J_{\alpha_2} =$ |
|--------------|----------------------|------------------|------------------------|
| 0 | 0 | 0 | $-4.627 \cdot 10^{-3}$ |
| 1 | $7.12 \cdot 10^{-3}$ | 8.117 | $-4.626 \cdot 10^{-3}$ |
| 2 | 0.028 | 16.23 | $-4.623 \cdot 10^{-3}$ |
| 3 | 0.064 | 24.338 | $-4.619 \cdot 10^{-3}$ |
| 4 | 0.114 | 32.436 | $-4.613 \cdot 10^{-3}$ |
| 5 | 0.178 | 40.521 | $-4.604 \cdot 10^{-3}$ |
| 6 | 0.256 | 48.591 | $-4.595 \cdot 10^{-3}$ |
| 7 | 0.348 | 56.641 | $-4.583 \cdot 10^{-3}$ |
| 8 | 0.455 | 64.67 | $-4.57 \cdot 10^{-3}$ |
| 9 | 0.575 | 72.674 | $-4.554 \cdot 10^{-3}$ |
| 10 | 0.71 | 80.65 | $-4.538 \cdot 10^{-3}$ |
| 11 | 0.858 | 88.594 | $-4.519 \cdot 10^{-3}$ |
| 12 | 1.021 | 96.505 | $-4.499 \cdot 10^{-3}$ |
| 13 | 1.197 | 104.378 | $-4.476 \cdot 10^{-3}$ |
| 14 | 1.387 | 112.211 | $-4.453 \cdot 10^{-3}$ |
| 15 | 1.591 | 120 | $-4.427 \cdot 10^{-3}$ |
| 16 | 1.808 | 127.744 | $-4.4 \cdot 10^{-3}$ |
| 17 | 2.039 | 135.438 | $-4.371 \cdot 10^{-3}$ |
| 18 | 2.283 | 143.08 | $-4.341 \cdot 10^{-3}$ |
| 19 | 2.541 | 150.667 | $-4.309 \cdot 10^{-3}$ |
| 20 | 2.812 | 158.197 | $-4.275 \cdot 10^{-3}$ |
| 21 | 3.096 | 165.666 | $-4.239 \cdot 10^{-3}$ |
| 22 | 3.393 | 173.071 | $-4.203 \cdot 10^{-3}$ |
| 23 | 3.703 | 180.411 | $-4.164 \cdot 10^{-3}$ |
| 24 | 4.026 | 187.681 | $-4.124 \cdot 10^{-3}$ |
| 25 | 4.361 | 194.88 | $-4.083 \cdot 10^{-3}$ |
| 26 | 4.71 | 202.005 | $-4.039 \cdot 10^{-3}$ |
| 27 | 5.07 | 209.053 | $-3.995 \cdot 10^{-3}$ |
| 28 | 5.443 | 216.022 | $-3.949 \cdot 10^{-3}$ |
| 29 | 5.828 | 222.908 | $-3.902 \cdot 10^{-3}$ |
| 30 | 6.225 | 229.711 | $-3.853 \cdot 10^{-3}$ |
| 31 | 6.634 | 236.427 | $-3.803 \cdot 10^{-3}$ |
| 32 | 7.055 | 243.054 | $-3.751 \cdot 10^{-3}$ |
| 33 | 7.487 | 249.589 | $-3.699 \cdot 10^{-3}$ |

Силовий розрахунок

Тип головного вала

- ④ Кривошипний вал
- ④ Одноколінчастий вал
- ④ Двоколінчастий вал
- ④ Ексцентриковий вал
- ④ Односторонній шестерне-ексцентриковий привод
- ④ Двосторонній шестерне-ексцентриковий привод

Ексцентриковий вал

- ④ Розрахунок геометричних параметрів
- ④ Розрахунок головного валу на міцність
- ④ Розрахунок зубчатої передачі
- ④ Технологічні графіки навантажень
- ④ Графік зусиль на повзуні

Довжина шатунної шийки, мм (конструктивно) **Приймаємо** $l_{ш} := 100$

Радіуси галтелей від шк до шийок, мм $r_{ш} := 0.08 \cdot d_o$ $r_{ш} = 8.8$

Приймаємо $r_{ш} := 5$

Коефіцієнт тертя:

при рідинному змащенні $f=0.03..0.04$

при твердому змащенні $f=0.05..0.06$

$f := 0.035$

Ідеальне плече сили в випадку
центрального кривошипно-
повзунного механізму, мм

$$Mk_{i\alpha} := R \cdot \left(\sin(\alpha \cdot r) + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin(2 \cdot \alpha \cdot r) \right)$$

Приведенне відносне плече
сили кривошипного преса з
центрально кривошипно-повзун-
ним механізмом, мм

$$Mk_{f\alpha} := \frac{1}{2} \cdot f \cdot [(1 + \lambda) \cdot da + \lambda \cdot db + do]$$

Приведенне плече сили в
реальному механізмі, мм

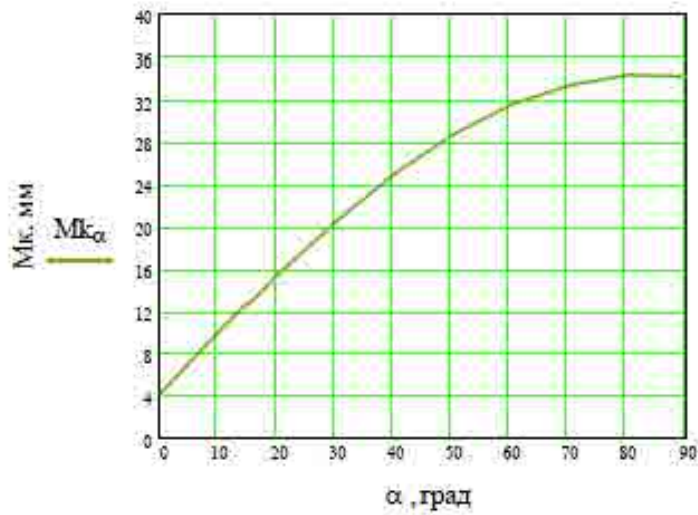
$$Mk_{\alpha} := Mk_{i\alpha} + Mk_{f\alpha}$$

- **Результати розрахунків**
- **Графік**

Результати розрахунків

| $\alpha =$ | $Mk_{i\alpha} =$ | $Mk_{f\alpha} =$ | $Mk_{\alpha} =$ | $\alpha =$ |
|------------|------------------|------------------|-----------------|------------|
| 0 | 0 | 5.241 | 4.296 | 0 |
| 10 | 8.107 | 5.241 | 10.019 | 10 |
| 20 | 15.902 | 5.241 | 15.521 | 20 |
| 30 | 23.09 | 5.241 | 20.595 | 30 |
| 40 | 29.411 | 5.241 | 25.057 | 40 |
| 50 | 34.65 | 5.241 | 28.755 | 50 |
| 60 | 38.646 | 5.241 | 31.576 | 60 |
| 70 | 41.303 | 5.241 | 33.451 | 70 |
| 80 | 42.581 | 5.241 | 34.354 | 80 |
| 90 | 42.5 | 5.241 | 34.296 | 90 |

Графік залежності приведенного плеча сили від кута повороту
головного валу



Розрахунок головного валу на міцність

| | | |
|--|--|-----------------------|
| Межа витривалості при згині, МПа | <input type="button" value="Довідка"/> | $\sigma_H := 360$ |
| Константа міцності при крутінні в перерізі В-В, визначається з графіка | <input type="button" value="Графік"/> | $\Phi_\tau := 2.25$ |
| Коефіцієнт запаса міцності | <input type="button" value="Довідка"/> | $n := 1.3$ |
| Коефіцієнт еквівалентного навантаження | <input type="button" value="Довідка"/> | $k_e := 0.8$ |
| Константа міцності при вигині в перерізі А-А, визначається з графіка | | $\Phi_\sigma := 2.25$ |
| Маса маховика з муфтою, Н | | $G_m := 6000$ |
| | | $P_d := 250000$ |
| | | $l_l := 170$ |
| $c := \frac{G_m}{P_d}$ | | $c = 0.024$ |

Відстань від краю опори до центра маховика, мм

Зусилля на повзуні, що допускається міцністю кривошипного вала в перерізі В-В, Н

$$P_{de}_\alpha := \frac{0.2 \cdot d_o^3 \cdot \sigma_H}{k_e \cdot n \cdot \sqrt{\Phi_\sigma \cdot l_m^2 + \Phi_\tau \cdot (Mk_\alpha)^2}}$$

Результати розрахунку

Результати розрахунку

| $\alpha =$ | 0 | 1 | $Pde_{\alpha} =$ | 0 |
|------------|-----|---|------------------|--------------------|
| 0 | 0 | | 0 | $6.137 \cdot 10^5$ |
| 1 | 10 | | 1 | $6.112 \cdot 10^5$ |
| 2 | 20 | | 2 | $6.07 \cdot 10^5$ |
| 3 | 30 | | 3 | $6.017 \cdot 10^5$ |
| 4 | 40 | | 4 | $5.959 \cdot 10^5$ |
| 5 | 50 | | 5 | $5.904 \cdot 10^5$ |
| 6 | 60 | | 6 | $5.858 \cdot 10^5$ |
| 7 | 70 | | 7 | $5.826 \cdot 10^5$ |
| 8 | 80 | | 8 | $5.81 \cdot 10^5$ |
| 9 | 90 | | 9 | $5.811 \cdot 10^5$ |
| 10 | 100 | | 10 | $5.828 \cdot 10^5$ |
| 11 | 110 | | 11 | $5.859 \cdot 10^5$ |
| 12 | 120 | | 12 | $5.9 \cdot 10^5$ |
| 13 | 130 | | 13 | $5.948 \cdot 10^5$ |
| 14 | 140 | | 14 | $5.998 \cdot 10^5$ |
| 15 | 150 | | 15 | $6.046 \cdot 10^5$ |
| 16 | 160 | | 16 | $6.087 \cdot 10^5$ |

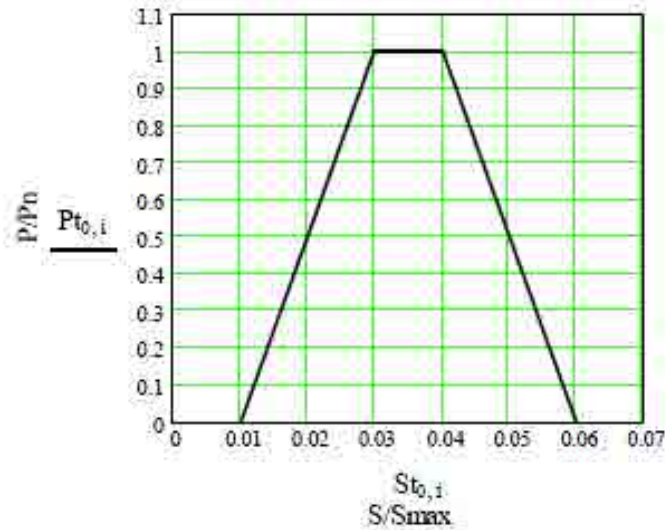
Технологічні графіки навантажень для операцій:

- Вирубання
- Витягування
- Гнуття

Технологічні графіки навантажень для операції вирубання:

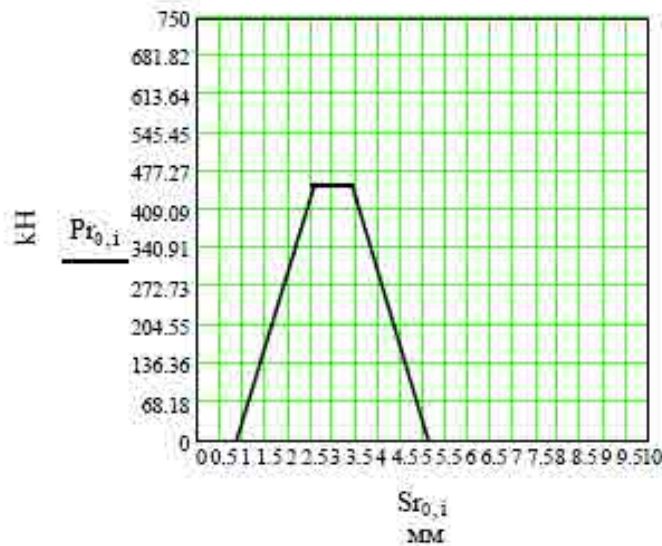
Типовий графік залежності зусилля від деформації для операції "Вирубка"

$$i := 0..3 \quad Pt := (0 \ 1 \ 1 \ 0) \quad St := (0.01 \ 0.03 \ 0.04 \ 0.06)$$



Реальний графік залежності зусилля від деформації для операції "Вирубка"

$$Pr := Pt \cdot Pn \quad Sr := St \cdot S \cdot 1000$$



| $Pr_{0,i}$ | $Sr_{0,i}$ |
|------------|------------|
| 0 | 0.85 |
| 450 | 2.55 |
| 450 | 3.4 |
| 0 | 5.1 |

Графік залежності зусилля преса від пружної деформації

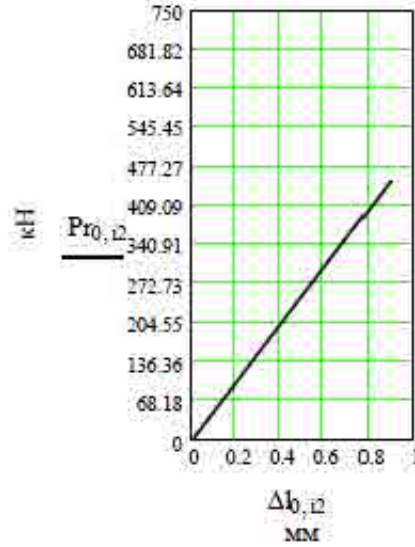
Жорсткість пресу, Мн/м

$$C := 500$$

Пружна деформація деталей н вузлів преса, мм

$$\Delta := \frac{Pn}{C} \quad \Delta = 0.9$$

$$i2 := 0..1 \quad \Delta I := (0 \quad \Delta)$$

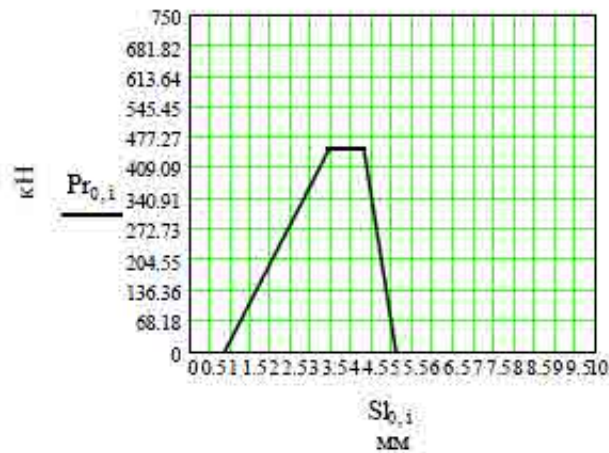


$$Pr_{0,i2} = \Delta l_{0,i2} =$$

| | |
|-----|-----|
| 0 | 0 |
| 450 | 0.9 |

Реальний графік залежності зусилля від деформації для операції "Вирубка" з врахуванням жорсткості пресу

$$S1 := (Sr_{0,0} \quad Sr_{0,1} + \Delta \quad Sr_{0,2} + \Delta \quad Sr_{0,3})$$

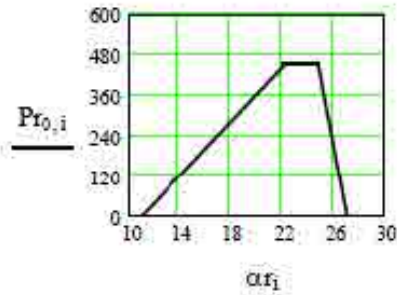


$$Sl_{0,i} = Pr_{0,i} =$$

| | |
|------|-----|
| 0.85 | 0 |
| 3.45 | 450 |
| 4.3 | 450 |
| 5.1 | 0 |

Реальний графік залежності зусилля від кута повороту
головного валу з врахуванням жорсткості пресу

$$A_{\alpha} := \alpha \quad \alpha_{r_i} := \text{interp}(S, A, Sl_{0,i})$$



| $\alpha_{r_i} =$ | $Pr_{0,i} =$ |
|------------------|--------------|
| 10.945 | 0 |
| 22.164 | 450 |
| 24.817 | 450 |
| 27.08 | 0 |

$$Pr2_i := Pr_{0,i}$$

Графік залежності крутного моменту на головному
валу від кута повороту

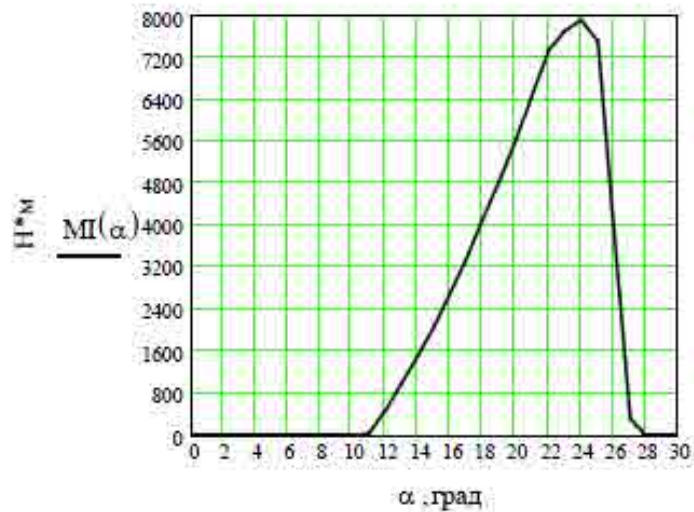
Поточне значення

зусилля деформації, кН $Pw_{\alpha} := \text{if}(\text{interp}(\alpha_r, Pr2, \alpha) < 0, 0, \text{interp}(\alpha_r, Pr2, \alpha))$

Крутний момент на головному валу, Н·м

$$Mk_{\alpha} := mk_{\alpha} \cdot Pw_{\alpha}$$

$$MI(\alpha) := \text{interp}(\text{cspline}(A, Mk), A, Mk, \alpha)$$



Максимальний крутний момент
на головному валу, Нм

$$M_{\max} := \text{floor}(\max(M_k))$$

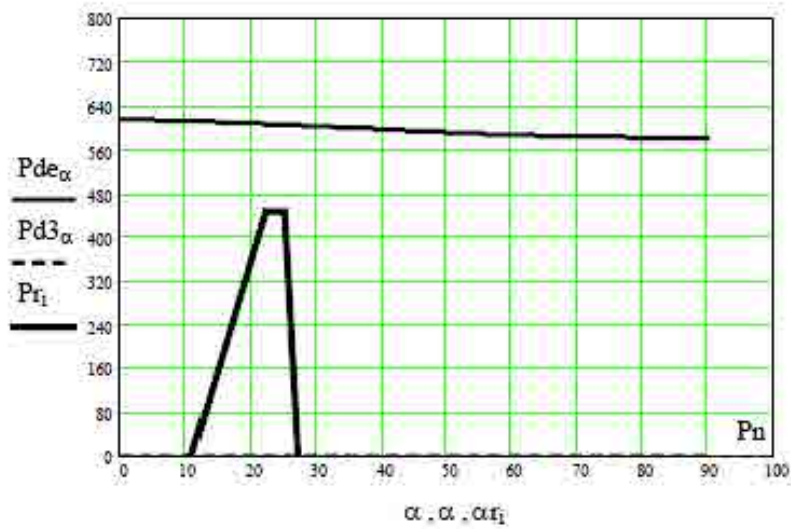
$$M_{\max} = 7925$$

Площина графика, мм²

$$F := \int_{11}^{27} MI(\alpha) d\alpha$$

$$F = 66893.02$$

Графік зусиль на повзуні по міцності кривошипного валу



Енергетичний розрахунок

Витрата енергії за час робочого ходу, Дж $A_p := 0.0175 \cdot F$ $A_p = 1170.628$

Витрата енергії за час холостого ходу, Дж $A_x := 2450 \cdot P_n \cdot \sqrt{P_n}$ $A_x = 739.579$

● Витрата енергії на включення муфти, Дж $A_m := 650$

Загальна витрата енергії, Дж $A_s := A_p + A_x + A_m$ $A_s = 2560.207$

Коефіцієнт запаса потужності електродвигуна $k := 1.3$

Коефіцієнт використання ходів $p := 0.8$

Час циклу, с $t := \frac{60}{n \cdot p}$ $t = 0.789$

Розрахункова потужність електродвигуна, КВт $N := \frac{k \cdot A_s}{1000 \cdot t}$ $N = 4.216$

Вибір електродвигуна

| | |
|---------------------------|--|
| | <input type="button" value="Довідка"/> |
| АМУ160МВ8 | |
| потужність, КВт | $N_d := 5.5$ |
| кількість обертів, об/мин | $n := 690$ |

Коефіцієнт, що залежить від відношення між номінальним и критичним ковзанням електродвигуна $\varepsilon := 0.90$

Номінальне ковзання електродвигуна, що рекомендується $s := 0.1$

Пружне ковзання клинопасової передачі $s_y := 0.01$

Коефіцієнт нерівномірності обертання маховика $\delta := 2 \cdot \varepsilon \cdot k \cdot (s + s_y)$ $\delta = 0.257$

Кутова швидкість маховика, c^{-1} $\omega_m := 78.5$

Кут повороту головного валу при
максимальному навантаженні, рад

$$\alpha_n := \alpha_{f3} \cdot \frac{\pi}{180} \quad \alpha_n = 0.473$$

Коефіцієнт, що враховує форму
графіка навантаження

$$k_f := 1 - \frac{\alpha_n}{2 \cdot \pi} \quad k_f = 0.925$$

Момент інерції махових мас привода, кг·м²

$$I := k_f \cdot \frac{A_p}{\omega_m^2 \cdot \delta} \quad I = 0.683$$

Момент інерції маховика, кг·м²

$$I_m := I - I_{MS} \quad I_m = 0.583$$

Час розгону маховика, с

$$t_p := \frac{1.2 \cdot I_m \cdot \omega_m^2}{1000 \cdot N_d} \quad t_p = 0.783$$