

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**Проектування технологічного процесу виготовлення деталі
«Ковпачок» з використанням розрахункових та графічних
модулів САПР**

КРБ.ПМ.24.66.000.00.00.00 КР

Виконав здобувач вищої освіти 4-го
курсу групи ПМ(ОТ)-21-3СК
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Коваленко С. П.

Керівник роботи (вчений ступінь,
посада)

_____ к.т.н., доцент, Володимир МІРЗАК

Рецензент:

№ ст.	Зона	Форм.	Позначення	Найменування	Кільк	Примітка		
				<u>Документація загальна</u>				
				<i>Заново розроблена</i>				
		A4		Завдання на кваліфікаційну роботу	1			
		A4		Анотація	1			
		A4	КРБ.ПМ.24.66.000.00.00.00 ПЗ	Пояснювальна записка	1			
				<u>Документація по складальним одиницям</u>				
				<i>Заново розроблена</i>				
		A4	КРБ.ПМ.24.66.100.00.00.00	Штамп суміщеної дії				
		A1	КРБ.ПМ.24.66.100.00.00.00 СК	Складальний кресленник	1			
		A4	КРБ.ПМ.24.66.100.00.00.00	Повзун-шатун				
		A1	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.00 СК	Складальний кресленник	1			
		A4	КРБ.ПМ.24.66.300.00.00.00	Автоматизований комплекс штампування деталей із стрічки	1			
		A1	КРБ.ПМ.24.66.300.00.00.00 ВЗ	Вид загальний	1			
				КРБ.ПМ.24.66.000.00.00.00 ВП				
Зм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Розробив		Коваленко		27.05	Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Ковпачок» з використанням розрахункових та графічних модулів САПР Відомість проекту			
Перевірив		Мірзак		27.05				
Т.контр.								
Н.контр.								
Затв.		Гречка		30.05				
					Літ.	Аркуш	Арку	
						Н	1	2
					ЦНТУ, гр. ПМ(ОТ)-21-ЗСК			

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР

_____ А. ГРЕЧКА
« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Коваленку Сергію Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: ***Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Ковпачок» з використанням розрахункових та графічних модулів САПР.***

2. Керівник роботи: ***Володимир МІРЗАК***

3. Строк подання роботи до захисту _____

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи

Мета роботи – розробка раціонального технологічного процесу виготовлення деталі «Ковпачок»

Завдання:

- розробити прогресивний технологічний процес штампування деталі «Ковпачок» на основі кресленника деталі (крупносерійний тип виробництва);
- розробити конструкцію штампу суміщеної дії для виготовлення деталі «Ковпачок»
- спроєктувати штампувальний комплекс для виготовлення деталі «Ковпачок»

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Патентний огляд	14.04.2024	
2.	Огляд літературних джерел	21.04.2024	
3.	Вибір та обґрунтування оптимального варіанту маршрутної технології виготовлення деталі «Ковпачок»	22.04.2024	
4.	Розрахунок вихідної заготовки та вибір схеми розкрою	24.04.2024	
5.	Розрахунок зусиль штампування, вибір обладнання	25.04.2024	
6.	Проектування штампового оснащення	12.05.2024	
7.	Проектування комплексу штампування деталей із стрічки.	24.05.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки	27.05.2024	
9.	Оформлення презентації роботи	03.06.2024	
10.	Здача роботи на кафедрі та перевірка наявності запозичень	12.06.2024	

Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

Керівник роботи _____ Володимир МІРЗАК
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 20__ р.

Здобувач вищої освіти _____ Сергій КОВАЛЕНКО
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Коваленко С. П. _Проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Ковпачок» з використанням розрахункових та графічних модулів САПР. Кваліфікаційна робота освітнього рівня – бакалавр, на правах рукопису. Спеціальність – 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки, Кропивницький, 2024. – 70 с., 5 табл., 9 рис., список використаних джерел з 13 найменувань, 2 розділи, 13 підрозділів, 6 додатків, 4 листи кресленників, ф. А1, 7 слайдів презентації

Темою роботи є проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Ковпачок» з використанням розрахункових та графічних модулів САПР. Мета роботи – розробка раціонального технологічного процесу виготовлення деталі «Ковпачок».

У першому розділі роботи описується послідовність розробки технологічного процесу, а саме: вибір матеріалу, розрахунок вихідної заготовки, розкрій обраного виду прокату, переходи штампування, силові характеристики процесу та вибір обладнання, розрахунки елементів штампового оснащення, розрахунок продуктивності штампування.

У другому розділі розглянуто проект автоматизованого комплексу для штампування деталей із стрічки. Виконано кінематичний, силовий та енергетичний розрахунок базового пресу з використанням програми Mathcad.

Результатом проведеного розрахунку технології виготовлення деталі «Ковпачок» стало – розробка раціонального технологічного процесу, розроблений складальний кресленик штампу суміщеної дії з креслениками основних робочих і допоміжних деталей, загальний вид автоматизованого комплексу для штампування деталей із стрічки та складальний кресленик вузла «повзун-шатун». Застосування даного проекту дозволить зменшити собівартість виготовлення деталей типу «Ковпачок», підвищити якість штампування та його продуктивність.

Ключові слова: **автоматизований комплекс, вирубання, витягування, кривошипний прес, стрічка, технологічний процес, штамп суміщеної дії**

ANNOTATION

Kovalenko S. P. Designing the manufacturing process of the "Cap" part using calculation and graphical CAD modules. Qualification work for the educational level – Bachelor, manuscript. Specialty – 131 "Applied Mechanics", Educational Program – "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Department of Mechanical Engineering, Mechatronics, and Robotics, Kropyvnytskyi, 2024. – 70 pages, 5 tables, 9 figures, reference list of 13 sources, 2 chapters, 13 subsections, 6 appendices, 4 A1-sized drawing sheets, 7 presentation slides.

The subject of this work is the design of the technological process for manufacturing the part "Cap" using CAD calculation and graphic modules. The aim of the work is to develop a rational technological process for manufacturing the "Cap" part.

The first chapter of the work describes the sequence of developing the technological process, namely: material selection, calculation of the initial blank, cutting of the selected type of rolled stock, stamping transitions, force characteristics of the process and equipment selection, calculation of stamping equipment elements, and productivity calculation of stamping.

The second chapter considers the design of an automated complex for stamping parts from a strip. Kinematic, force, and energy calculations of the basic press were performed using Mathcad software.

Keywords: **automated complex, cutting, drawing, crank press, strip, technological process, combined action stamp**

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА **до кваліфікаційної роботи на тему:**

**Проектування технологічного процесу виготовлення деталі
«Ковпачок» з використанням розрахункових та
графічних модулів САПР**

КРБ.ПМ.24.66.000.00.00.00 ПЗ

Виконав здобувач вищої освіти 4-го
курсу групи ПМ(ОТ)-21-3СК
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

Коваленко С. П.

Керівник роботи (вчений ступінь,
посада)

к.т.н., доцент, Володимир МІРЗАК

ЗМІСТ

ВСТУП	10
Розділ 1 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі 1 “Ковпачок”	13
1.1 Опис і технічна характеристика деталі	13
1.3 Конструктивно-технологічний аналіз деталі	13
1.4 Вибір і обґрунтування оптимального варіанту маршрутної технології	14
1.5 Розкрій металопрокату	18
1.6 Розрахунок технологічних зусиль по операціях і вибір обладнання	20
1.7 Проектування штампа	23
1.8 Технічне нормування	26
1.9 Види браку при виготовленні деталі «Ковпачок»	28
1.10 Техніка безпеки	29
1.11 Складання карти технологічного процесу холодного штамбування	30
Розділ 2 Проектування штампувального комплексу для виготовлення 2 деталі «Ковпачок»	31
2.1 Передпроектна підготовка	31
2.2 Розрахунок пресу	33
Перелік джерел посилання	35
ДОДАТКИ	37
Додаток А Кресленик деталі «Ковпачок»	38
Додаток Б. Технологічна карта на виготовлення деталі «Ковпачок»	39
Додаток В. Розрахунок базового пресу комплексу в програмі «PressCad»	40
Додаток Г. Специфікація до складального кресленика штампу суміщеної дії	65
Додаток Д. Специфікація до складального кресленика загального виду комплексу	67
Додаток Е. Специфікація до складального кресленика вузла «повзун-шату»	68

ВСТУП

Актуальність теми

Холодне листове штампування включає декілька ключових процесів, таких як вирубування, витягування і формування. Ці технології широко застосовуються у машинобудуванні при виготовленні різноманітних деталей з металевих матеріалів. Розглянемо ці процеси та їх застосування більш докладно.

Вирубування – це процес різання металевого матеріалу (лист, стрічка, штаба) з використанням штапового оснащення. Вирубування дозволяє отримати деталі складної форми з високою точністю та повторюваністю. Для вирубування використовуються пресове обладнання з різною потужністю в залежності від товщини та типу оброблюваного матеріалу.

Застосування у різних галузях машинобудування:

- автомобілебудування: вирубування використовується для виготовлення панелей кузова, дверей, капотів та інших компонентів тощо;
- електроніка: виробництво корпусів для різноманітних електронних пристроїв тощо;
- авіабудування: створення елементів обшивки літаків, ребер жорсткості та інших деталей тощо.

Витягування – це процес, при якому металева листова заготовка перетворюється на порожнисту деталь з використанням тиску. Існує кілька видів витягування, включаючи глибоке та зворотнє витягування. Процес витягування дозволяє створювати деталі з плавними формами та складними геометриями.

Застосування у машинобудуванні:

- автомобілебудування: виробництво паливних баків, корпусів двигунів, вихлопних систем тощо;
- меблева промисловість: виготовлення металевих частин стільців, столів та інших меблів, фурнітури тощо.

– побутова техніка: створення корпусів для пральних машин, холодильників та іншої великої побутової техніки тощо.

Формування – включає безліч різних методів, таких як згинання, фланцювання і профілювання, які дозволяють надати металевим заготівкам необхідну форму. Ці методи можуть комбінуватись для створення деталей з високою складністю.

Застосування:

– будівництво: виробництво металевих профілів, каркасів для будівель та інших конструктивних елементів;

– автомобілебудування: виготовлення деталей підвіски, шасі та інших елементів транспортних засобів.

– виробництво побутових виробів: формування деталей для різної кухонної та садової техніки.

Переваги застосування холодного листового штампування:

– економічна ефективність: масове виробництво деталей дозволяє значно зменшити вартість;

– висока точність: висока точність та повторюваність розмірів деталей;

– міцність і довговічність: деталі, виготовлені методом холодного штампування, мають високу міцність і довговічність;

– екологічність: відсутність необхідності нагрівання матеріалу знижує енерговитрати та зменшує викиди CO₂.

Отже можна зробити висновок, що холодне листове штампування – це ключовий процес у підготовці виробництва, який дозволяє ефективно та економічно виробляти високоякісні металеві деталі. Завдяки розвитку технологій та автоматизації, ці процеси продовжують покращуватися, розширюючи свої можливості та сферу застосування. Тому роботи, здійснювані у цьому напрямку є актуальними і мають практичну цінність.

Мета і задачі роботи

Мета роботи – розробка раціонального технологічного процесу виготовлення деталі «Ковпачок».

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- розробити прогресивний технологічний процес штампування деталі «Ковпачок»;
- розробити конструкцію штаму суміщеної дії для виготовлення деталі «Ковпачок»;
- спроектувати штампувальний комплекс для виготовлення деталі «Ковпачок».

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблено прогресивний технологічний процес штампування деталі «Ковпачок», де обґрунтовується можливість об'єднання двох операцій в одну, що дозволяє зменшити кількість робочих місць, оснащення, підвищити якість штампування та скоротити час підготовки виробництва;
- спроектовано складальний кресленик штаму суміщеної дії для вирубання-витягування деталі «Ковпачок» з застосуванням стрічки замість штаби, що може бути використано після доробки (проекування повного комплексу документації) у реальному виробництві;
- спроектовано автоматизований комплекс для штампування деталі із стрічки на базі кривошипного відкритого пресу номінальним зусиллям 450 кН із застосуванням розрахункових та графічних модулів САПР, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність виготовлення деталей типу «Ковпачок».

1 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ “ КОВПАЧОК”

1.1 Опис і технічна характеристика деталі

Деталь “Ковпачок” має просторову форму типу тіла обертання і призначена для захисту від пилу підшипників рухомих частин механізмів. Технічні вимоги на деталь приведені на кресленні деталі.

За даними конструкторської документації деталь виготовляється з вуглецевої якісної конструкційної сталі, що постачається у виді листа наступного сортаменту: *Лист* $\frac{Б - ПН - 0 \quad 1.0 \times 1250 \times 2500 \quad ГОСТ 19904 - 74}{2 - 4 - 08кп \quad ГОСТ 16523 - 70}$.

З огляду на призначення сталі, що використовується [6] робимо висновок, що матеріал конструктором обраний правильно. Хімічний склад і механічні властивості даної марки сталі приведені в таб. 1.1 і таб. 1.2 відповідно [1–4].

Таблиця 1.1 – 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 1.2 – Механічні властивості

Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	Межа текучості σ_T , МПа	Межа опору зрізу $\sigma_{зр}$, МПа	Відносне подовження δ_5 , МПа, %
310...324	196...210	240...250	35

1.2 Конструктивно-технологічний аналіз деталі

По габаритах та площині поверхні деталь відноситься до середніх. Для її виготовлення в умовах серійного виробництва рекомендується використовувати спеціальні штампи, які встановлюються на універсальні преси. Технологічних обмежень при виготовленні деталі не існує.

Відхилення розмірів деталі задано по 14-ому квалітету, що не вимагає додаткових заходів по забезпеченню цих вимог. Радіуси спряжень значно більше мінімально допустимих (2 – 3 мм).

1.3 Вибір і обґрунтування оптимального варіанту маршрутної технології

На базовому підприємстві деталь "Ковпачок" виготовлялася по наступному технологічному процесу^

1. Різання листа на штаби
2. Вирубання по контуру
3. Витягування

У запропонованому варіанті маршрутної технології об'єднані дві операції (вирубання по контуру і витягування) і вилучена операція "Різання листа на штаби" за рахунок використання стрічки, що дозволяє скоротити число операцій, звільнити штампувальника і різальника, вивільнити технологічне устаткування, автоматизувати процес штампування, підвищити коефіцієнт використання матеріалу на одну деталь.

Тобто остаточно з урахуванням типу виробництва і річної програми виготовлення деталі "Ковпачок", а також її форми і розмірів, приймаємо наступну технологію виготовлення:

1. Вирубання і витягування в штампі суміщеної дії.

1.4 Розрахунок геометричних параметрів заготовки по переходах штампування

Розрахунок геометричних параметрів заготовки по переходах штампування здійснюємо за допомогою САПР КОМПАС-ГРАФІК.

Ескіз деталі для розрахунку діаметра заготовки зображений на рис. 1.1

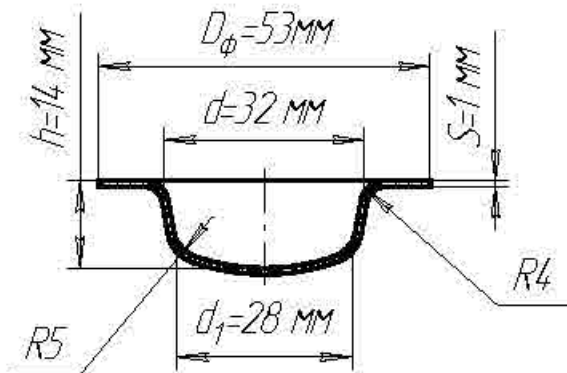


Рисунок 1.1 – Ескіз до розрахунку геометричних параметрів заготовки

Діаметр вихідної заготовки визначаємо на основі твердотільної параметричної моделі деталі "Ковпачок" побудованій в креслярсько-графічному редакторі (рис.1.2) з використанням інструментарію розрахунку масоцентровочних характеристик тривимірних моделей.



Рисунок 1.2 – Параметрична тривимірна модель деталі "Ковпачок" (розріз)

Розрахунок масоцентровочних характеристик твердотільній параметричній моделі деталі "Ковпачок" наведено нижче.

Масо-центровочні характеристики моделі

Деталь	"Ковпачок"
Площа	$S = 6096.27 \text{ mm}^2$
Об'єм	$V = 2964.88 \text{ mm}^3$
Матеріал	Сталь 08кп ГОСТ 1050-88
Щільність	$R_o = 0.00782 \text{ г/мм}^3$

Маса $W = 23.1854 \text{ г}$
 Центр ваги $X_c = -2.07701e-05 \text{ мм}$
 $Y_c = 8.89744 \text{ мм}$
 $Z_c = 0 \text{ мм}$

В глобальній системі координат:

Осьові моменти інерції $J_x = 6118.85 \text{ г*мм}^2$
 $J_y = 7404.22 \text{ г*мм}^2$
 $J_z = 6119.58 \text{ г*мм}^2$

Центробіжні моменти інерції $J_{xy} = 0.658532 \text{ г*мм}^2$
 $J_{xz} = -0.105295 \text{ г*мм}^2$
 $J_{yz} = 0.0937567 \text{ г*мм}^2$

В центральній системі координат:

Осьові моменти інерції $J_x = 4283.39 \text{ г*мм}^2$
 $J_y = 7404.22 \text{ г*мм}^2$
 $J_z = 4284.13 \text{ г*мм}^2$

Центробіжні моменти інерції $J_{xy} = 0.654247 \text{ г*мм}^2$
 $J_{xz} = -0.105295 \text{ г*мм}^2$
 $J_{yz} = 0.0937567 \text{ г*мм}^2$

В головній центральній системі координат:

Осьові моменти інерції $J_1 = 7404.22 \text{ г*мм}^2$
 $J_2 = 4284.14 \text{ г*мм}^2$
 $J_3 = 4283.38 \text{ г*мм}^2$

Направлення головних осей інерції:

Ось1 $X = 0$
 $Y = 1$
 $Z = 0$
 Ось2 $X = -0.139557$
 $Y = 0$
 $Z = 0.990214$
 Ось3 $X = 0.990214$
 $Y = 0$
 $Z = 0.139557$

Діаметр заготовки D_3 визначаємо виходячи з умови рівності об'ємів заготовки V_3 і деталі $V_d = 2964.88 \text{ мм}^3$:

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \times V_d}{S \times \pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2964.88}{1 \times \pi}} = 61.44 \text{ мм}$$

Приймаємо $D_3 = 62 \text{ мм}$.

1.4.1 Перевірка можливості виконання операції витягування за один перехід

Можливість виконання операції витягування за один перехід для деталі з фланцем визначається умовою:

$$m > [m],$$

де $[m]$ – допустимий коефіцієнт витягування.

Відносний діаметр фланця (рис. 1.3)

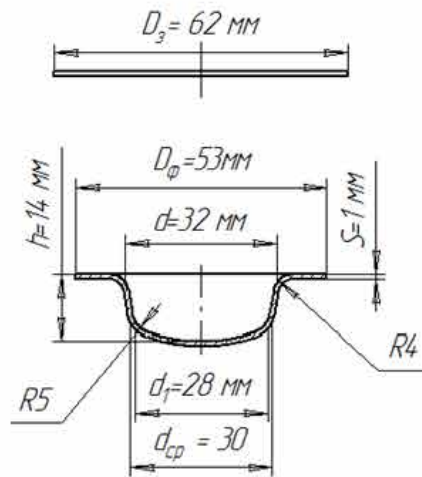


Рисунок 1.3 – До розрахунку переходів штампування

Визначаємо відносний діаметр фланця:

$$d_\phi/d_{cp} = 53/30 = 1,77$$

Визначаємо відносну товщину заготовки:

$$(S/D) \times 100\% = (1/62) \times 100\% = 1.61$$

Визначаємо коефіцієнт витягування:

$$m = \frac{d_{cp}}{D_3} = \frac{30}{62} = 0,48; \quad [1, 3, 5]$$

Найменше значення коефіцієнта першого витягування [1, 3, 5]:

$$[m_1] = 0.45,$$

$$m = 0.48 > [m_1] = 0.45.$$

Умова виконується, витягування можна здійснити за одну операцію.

1.5 Розкрій металопрокату

Схема розкрою стрічки наведена на рис. 1.4.

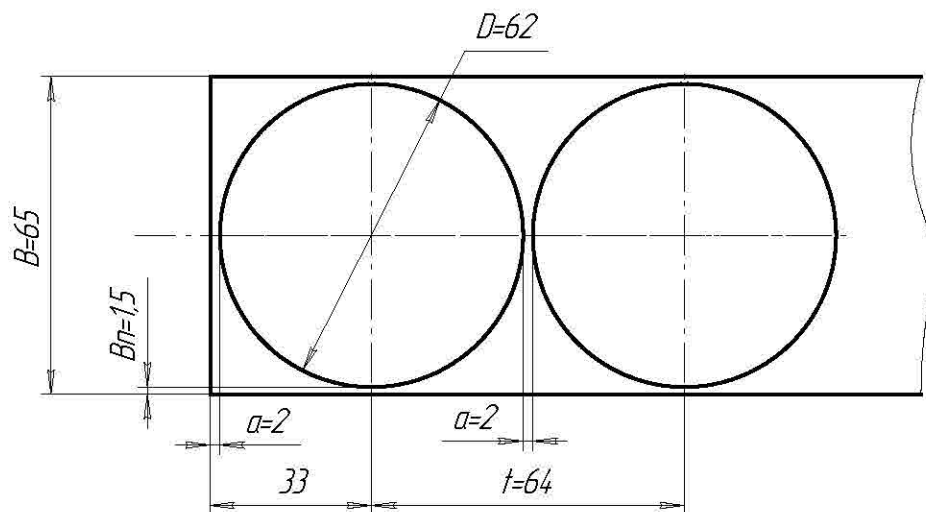


Рисунок 1.4 – Схема розкрою матеріалу стрічки

Ширина стрічки визначається по формулі [2, 6, 7] . При умові роботи без бічного притиску:

$$B = B_p + 2\Delta_{us} + Z,$$

де B_p – розрахункова ширина стрічки.

$$B_p = D + 2B_n,$$

де B_n - величина перемички, $B_n = 1,4$ мм. [2],

$$B_p = 62 + 1,2 \times 2 = 64,4 \text{ мм},$$

де Δ_u – однобічний мінусовий допуск на ширину стрічки.

$$\Delta_u = 0.5 \text{ мм. [2]}$$

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

Тоді: $B = 64,4 + 2 \times 0.5 + 1 = 66,4$ мм.

Вибираємо стрічку 08 КП – ОМ – В – 1 – К – А – 1.0×66 ГОСТ 503-81.

Крок подачі визначається по формулі:

$$t = D + a,$$

де a – величина перемички, мм [2].

Тоді:

$$t = 62 + 1,2 = 63,2 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу визначається по формулі:

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

де F_{δ} – площа деталі.

$$F_{\delta} = \frac{\pi \times D^2}{4} = 3019,07 \text{ мм}^2$$

Тоді:

$$\eta = \frac{3019,07}{63,2 \times 66} = 0,72$$

Норма витрати матеріалу визначається за формулою [2]:

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

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

ρ - щільність матеріалу; $\rho = 7,83 \text{ г/см}^3$;

R – коефіцієнт, що враховує кінцеві відходи стрічки.

$$H_m = \frac{3019,07 \times 1 \times 7,83 \times 10^{-3}}{1000 \times 0,72} \times 1,05 = 0,032 \text{ кг.}$$

Перевірка маси та площини деталі по параметричній твердотіловій моделі (рис. 1.3) створеної в САПР SolidWorks показує правильність наведених розрахунків.

1.6 Розрахунок технологічних зусиль по операціях і вибір обладнання

Загальне зусилля штампування визначається формулою:

$$P = P_{\epsilon} + P_{\text{внт}},$$

де P_e – зусилля вирубання заготовки по контуру, Н;
 $P_{вит}$ – зусилля витягування, Н.

$$P_e = P_{вир} + P_{зн,з}$$

де $P_{вир}$ – зусилля вирубки детал, Н;
 $P_{зн}$ – зусилля, необхідне для зняття стрічки з пуансона, Н.

$$P_{вир} = K \times L \times S \times \sigma_{зр},$$

де K – коефіцієнт, що враховує неоднорідність матеріалу, $K = 1.2$;
 S – товщина матеріалу, мм;
 L – периметр різа. мм.

$$L = \pi \times D = 3.14 \times 62 = 194.78 \text{ мм},$$

тоді:

$$P_{вир} = 1.2 \cdot 194.78 \cdot 1 \cdot 250 = 58434 \text{ Н} = 58.4 \text{ кН}.$$

$$P_{зн} = K_{зн} \times P_{вир},$$

де $K_{зн}$ – коефіцієнт, обумовлений у залежності від типу штампа і товщини матеріалу [2, 6, 7].

$$P_{зн} = 0.1 \times 58.4 = 5.84 \text{ кН};$$

$$P_e = 58.4 + 5.84 = 64.24 \text{ кН}.$$

$$P_{вит} = P_{ст} + P_{прт},$$

де $P_{ст}$ – зусилля витягування, кН;
 $P_{прт}$ – зусилля притискувача, кН.

$$P_{em} = \pi \times d \times s \times \sigma_{\sigma},$$

де d - діаметр циліндричної деталі, $d = 30$ мм.

s – товщина заготовки.

K – коефіцієнт, що знаходимо по таблиці [2].

Тоді:

$$P_{em} = 3.14 \times 30 \times 1.0 \times 324 = 30520.99 \text{ Н.}$$

$$P_{npt} = q_{npt} \times F_{npt},$$

де q_{npt} – питоме зусилля притискувача, н/мм² [2];

F_{npt} – площа частини заготовки, затиснутої між матрицею і притискним кільцем, мм².

$$P_{npt} = 2.5 \times 1031.4 = 2578.5 \text{ Н} = 2.6 \text{ кН,}$$

$$P_{em} = 30.5 + 2.6 = 33.1 \text{ кН.}$$

Таким чином, загальне зусилля штампування дорівнює:

$$P = 64.24 + 33.1 = 97.34 \text{ кН.}$$

На підставі отриманого зусилля по даній операції та габаритів штампа попередньо вибираємо комплекс для штампування деталі стрічки на базі преса відкритого однокривошипного, модель АККД 2126Е.21 зусиллям 400 кН, технічна характеристика якого наступна:

Номинальне зусилля преса, кН	400
Хід повзуна, мм.....	0-90
Частота ходів повзуна, хвил.....	95
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

1.7 Проектування штампа

1.7.1 Опис штампа

Спроекований штамп суміщеної дії (рис. 1.5) призначений для вирубання заготовки по контуру і витягування [2, 6– 8].

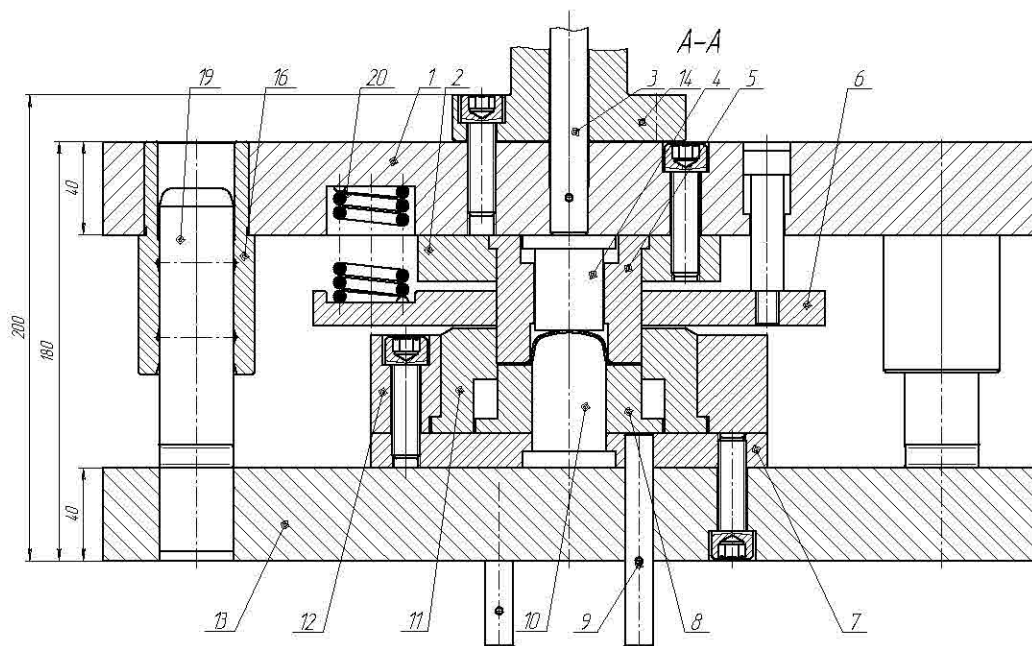


Рисунок 1.5 – Схема штампу суміщеної дії

Штамп складається з наступних основних деталей і вузлів: – стандартного блоку з двома напрямними вузлами ковзання – поз. 1, 13, 16, 19; пуансона-матриці – поз. 5, пуансона – поз. 10, матриці – поз. 11, матрицетримача – поз. 12, пуансонотримачів – поз. 2, 7, знімачів – поз. 6, 8, виштовхувача – поз. 4, штовхачів – поз. 3, 9, хвостовика – поз. 8.

Спроекований штамп працює наступним чином. Стрічка заправляється в штамп між напрямними штифтами та валками двосторонньої валкової подачі кривошипного преса. При ході повзуна преса униз відбувається вирубання заготовки по контуру і витягування. При цьому, витягування здійснюється з постійним притиском фланця заготовки

знімачем поз. 8. від пневматичного буфера преса. При ході повзуна вгору здійснюється зняття стрічки з пуансона-матриці поз. 5 знімачем поз. 6. Зняття відштампованої деталі з пуансона поз. 10 здійснюється знімачем поз. 8. Виштовхування деталі з пуансона-матриці поз. 5 здійснюється виштовхувачем поз. 4, який спрацьовує від повзуна преса. Відштампована деталь вилучається зі штампа пневматичним здувачем.

1.7.2 Розрахунок пуансона на міцність

Відповідно до ГОСТ 16675-80 рекомендується розраховувати пуансон на міцність за умови:

$$P_{дон} \geq P_c.$$

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

P_c – потрібне (технологічне) зусилля при зрізі, Н.

Перевіряємо опорну поверхню плити на зминання голівкою пуансона.

$$\sigma_{зм} = \frac{P}{F_2} \leq [\sigma]_{зм},$$

де P – технологічні зусилля, Н;

F_2 – площа поверхні голівки пуансона, мм², $F_2 = 1256$ мм²;

$$\sigma_{зм} = \frac{30500}{1256} = 24,2 \text{ Н/мм}^2 = 24,2 \text{ МПа.}$$

Напруга зминання, що допускається $[\sigma_{зм}] =$ від 300 до 400 МПа, умова виконується, пластина не потрібна.

1.7.3 Розрахунок виконавчих розмірів

Виконавчі розміри матриці при вирубуванні визначаємо по формулі,
[2]

$$d_m = (L_n - P_3)_{-\delta_m}$$

де L_n – номінальний розмір елемента, що штампується, $L_n = 62$ мм;

P_3 – припуск на знос матриці і пуансона вибираємо з таблиці,
 $P_3 = 0.60$ мм [2]

δ_m – граничне відхилення розміру матриці, $\delta_m = 0.17$ мм.

$$d_m = (62 - 0.60)^{+0.17} = 61.400^{+0.17} \text{ мм.}$$

Визначаємо розмір пуансона по формулі:

$$L_n = (L_n - P_3 - Z)_{-\delta_m},$$

де Z – зазор між пуансоном і матрицею, $Z = 0,05$ мм.

$$L_n = (62 - 0.60 - 0.05)_{-0.05} = 61,35_{-0.05} \text{ мм}$$

Виконавчі розміри при витягуванні визначаються по формулі:

$$d_m = (d + 2z + 0.5\Delta)^{+\delta_m} = (32 + 2 \cdot 1,22 + 0,5 \times 0,62)^{0,08} = 34,75^{0,08}$$

де $z = S + 0.07\sqrt{10S} = 1 + 0.07\sqrt{10 \times 1} = 1.22$ мм

Δ – допуск на розмір виробу по 14 квалітету, $\Delta = 0,62$ мм;

$$d_n = (d + 0.5\Delta)_{\delta_n} = (32 + 0,5 \cdot 0,62)_{-0,05} = 32,31_{-0,05}$$

1.7.4 Проектування пружин знімача

Проектування пружин знімача виконуємо з застосуванням модуля креслярсько-графічного редактора.

Розрахункове зусилля знімання стрічки з пуансон-матриці складає 5.84 кН (визначено вище). Приймаємо $P_{зн} = 6$ кН. Приймаємо кількість пружин знімача – 6 шт. Величина зусилля, яке повинно приходиться на одну пружину в кінці її ходу повинно складати 1000 Н.

В діалоговому вікні після запуску модуля вибираємо проектний розрахунок і вводимо початкові данні: клас пружини – 3; розряд пружини – 2; матеріал пружини – 60С2А-4 (система пропонує сама); діаметр пружини – 32 мм; сила пружини при попередній деформації – 1000 Н; сила пружини при робочій деформації – 1220 Н; робочий хід пружини – 15 мм; довжина пружини при робочій деформації – 45 мм. Після розрахунку система пропонує декілька параметрів пружин. Вибираємо ту, яка найбільше підходить конструктивно. Результати розрахунку пружини наведені в додатку. Після розрахунку вибираємо варіант побудови пружини; плоске креслення або тривимірна модель. Будуємо спочатку плоске креслення з автоматичним проставленням усіх параметрів пружини, а потім і її тривимірну модель. Результати наведені на кресленні пружини.

1.8 Технічне нормування

Розрахунок робимо з врахуванням даних [9], які зводимо в таблицю 1.3.

Таблиця 1.4 – Вихідні дані для розрахунку

Габаритні розміри стрічки	1 × 66
Площа деталі	0,003 м ²
Матеріал	Сталь
Крок просування стрічки	63,2 мм
Кількість деталей із стрічки	4746

Оснащення	Штамп суміщеної дії
Спосіб подачі заготовки	автоматичний
Спосіб видалення відходу	автоматичний
Положення робочого	стоячи
Обладнання	кривошипний прес зусиллям 0,4 МН
Кількість подвійних ходів повзуна в хвилину	70
Муфта вмикання	фрикційна
Спосіб вмикання	автоматичний

Таблиця 1.5 – Розрахунок норми часу

№ карти	№ позиції	Найменування переходів	Основний час, T_o	Допоміжний час на 1шт. 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	0.015	-	-
			0.015		0.0035

Штучний час:

$$T_{шт} = (T_o + T_v) K$$

де K – коефіцієнт, що враховує час на організаційно-технічне обслуговування, відпочинок і особисті потреби, $K = 1.05$ [9];

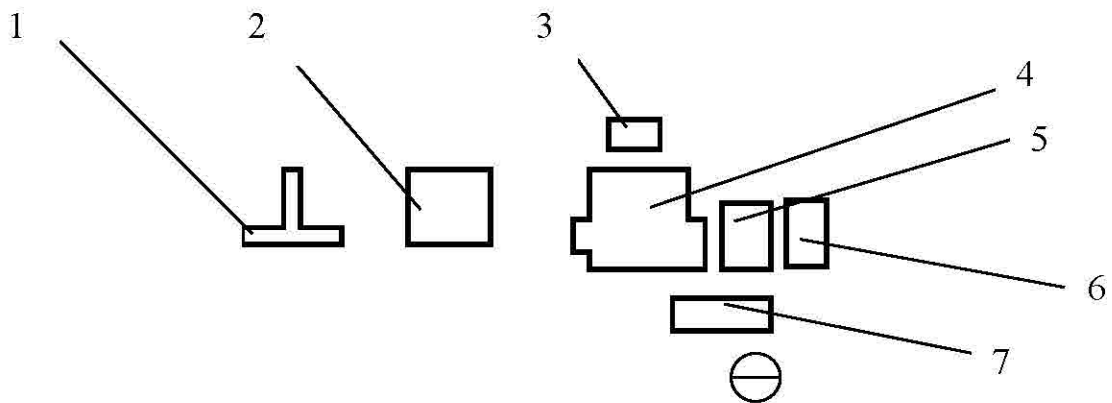
$$T_{шт} = (0.015 + 0.0035) \cdot 1.05 = 0.019 \text{ хв.}$$

Норма виробітку :

$$N_B = \frac{T_{см}}{T_{шт}} = \frac{480}{0.019} = 25263 \text{ шт,}$$

де $T_{см}$ – тривалість циклу, хв ($T_{см} = 480$ хв).

Схема організації робочого місця на даній операції зображена на мал.1.6.



1 – розмотувальний пристрій; 2 – правильний пристрій; 3 – тара для деталей; 4 – прес; 5 – ножиці для різання відходів; 6 – тара для відходів; 7 – пульт управління

Рисунок 1.6 – Схема організації робочого місця операції вирубання-витягування

1.9 Види браку при виготовленні деталі «Ковпачок»

З огляду на форму і застосування деталей, на які розроблені технологічні процеси в даному проекті, робимо висновок, що при виготовленні останніх можливі наступні види браку:

- наявність задирки по периметру зрізу металу;
- наявність мікро- і макротріщин при витягуванні деталі .

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

- більш якісне виготовлення оснащення, зокрема витримка оптимального зазору між матрицею і пуансоном;
- установка вузлів, що компенсують, що дозволяють знижувати вплив похибок устаткування на процес штампування;
- попередження тріщин за рахунок правильного вибору металу заготовки і виду термообробки;
- застосування автоматизації при штампуванні дозволяє більш точно одержувати лінійні розміри в деталях і заготовках .

Крім вищевказаних засобів підвищення якості продукції, необхідно використовувати систему організації технологічного контролю, що включає безпосередню перевірку виготовлених деталей і заготовок виробником. Це дозволяє на всіх етапах виробництва контролювати якість продукції.

1.10 Техніка безпеки

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

З огляду на вищесказане і з врахуванням ДСТ 12.2.017-76 нами прийняті наступні заходи для запобігання травматизму :

- усі відкриті рухомі й обертові частини устаткування й оснащення закриті огороженням , що обладнано кінцевими вимикачами ;
- застосовано включення на робочий рух обладнання при налагодженні за допомогою двох кнопок, що запобігає контакту працюючого з рушійними частинами устаткування й оснащення;
- для зниження рівня шуму застосовуються навушники;
- на устаткуванні застосовується місцеве освітлення;
- усі металеві частини КПУ, що можуть виявитися під напругою, що перевищує 42В, оснащені приладами заземлення;
- кожна одиниця КПУ має вхідний вимикач ручної дії;

– дотримання інструктажів (вступного, на робочому місці і передатного).

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

1.11 Складання карти технологічного процесу холодного штампування

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

2 ПРОЕКТУВАННЯ ШТАМПУВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КОВПАЧОК»

2.1 Передпроектна підготовка

2.1.1 Обґрунтування вибору штампувального комплексу

Ефективним напрямом автоматизації листоштампувального виробництва є створення автоматизованих комплексів, які включають у себе основний листоштампувальний універсальний прес або прес-автомат і допоміжне обладнання. Комплекси для штампування із стрічки включають наступне обладнання: правильно-розмотуючі або розмотуючі пристрої для розмотування рулона стрічки і її правлення при необхідності з адекватною швидкістю; валкові, ролико-клинові або кліщові подачі, які дозволяють протягувати стрічку скрізь штамп з певним кроком і частотою, яка відповідає частоті ходів преса; кривошипний прес на якому встановлюється штамп і ножиці для розрізання відходів стрічки на частини, зручні для наступного складування та транспортування або намотуючі пристрої, які забезпечують намотування залишків стрічки на барабан з потрібною швидкістю.

В результаті аналізу складу і технічних характеристик комплексів-аналогів було встановлено, що вимогам технічного завдання відповідає штампувальний комплекс на базі відкритого кривошипного пресу номінальним зусиллям 0,4 МН. Застосування такого комплексу дозволить покращити умови праці штампувальників, підвищити продуктивність праці, знизити собівартість штампованих виробів.

2.1.2 Розробка структурної схеми комплексу

В результаті аналізу аналогів та прототипів по даних літератури розробляємо структурні схеми комплексу. Схеми наведені на рис. 2.1, 2.2.

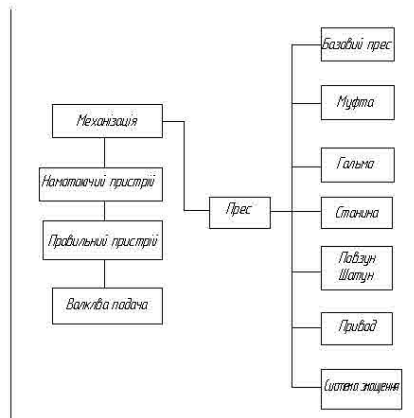


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованого комплексу для штампування деталей із стрічки.

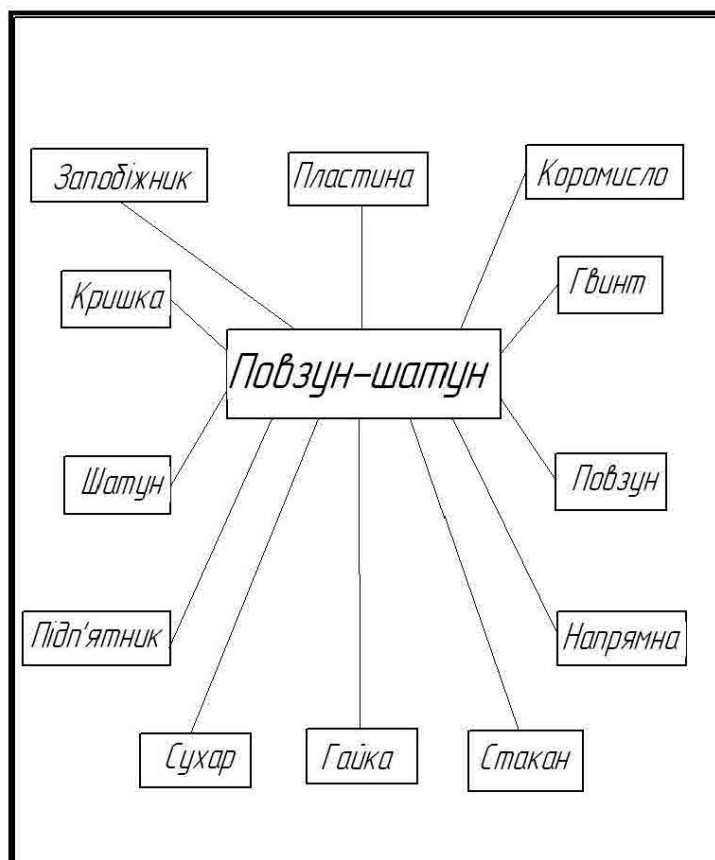


Рисунок 2.2 – Структурна схема вузла шату́н-повзун

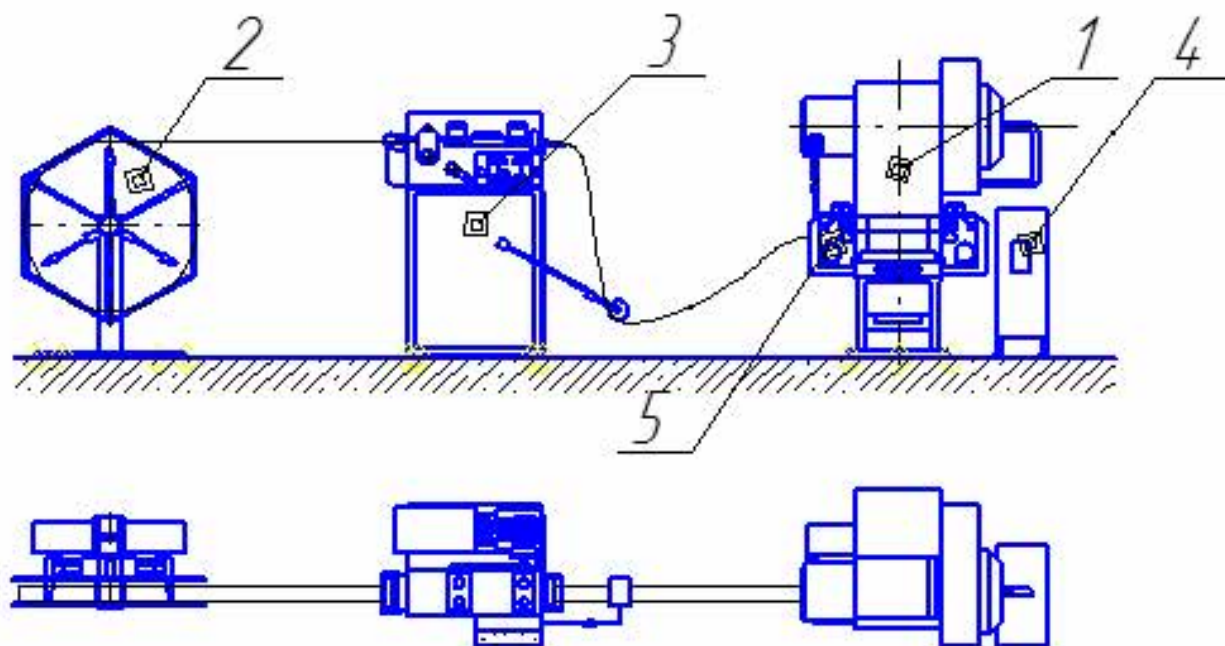
2.1.3 Технічне завдання на проект комплексу

1. Максимальне зусилля базового пресу, МН.....0,45
2. Максимальна продуктивність комплексу, шт. за год.....5400
3. Маса вихідного рулона , кг.....1000

4. Найбільші розміри заготовки в плані, мм.....40 × 160
5. Потужність ел. двигунів, кВт6,09
6. Точність позиціонування, мм..... ± 1

2.1.4 Склад комплексу-аналога

Комплекс складається з наступних компонентів (рис 2.3.)



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

Рисунок 2.3 – Схема автоматизованого комплексу для штампування деталей із стрічки

2.2 Розрахунок пресу [10–13]

2.2.1 Технічне завдання на проект преса

1. Номінальне зусилля преса

0,45 МН

2. Величина ходу повзуна:	
- найменший	5
- найбільший	85
3. Найбільша частота безперервних ходів	95 хв ⁻¹
4. Закрита висота преса	300
5. Розмір підштампової плити преса:	
- зліва-направо	710
- з переду-назад	480
7. Розмір нижньої поверхні повзуна преса, зліва-направо	370
8. Розмір нижньої поверхні повзуна преса, - з переду-назад	310
9. Діаметр центрального отвору в повзуні	50
10. Габаритні розміри:	
- зліва-направо	1500
- з переду-назад	1690
- висота преса	2890

2.2.2 Використання модулів САПР

Розрахункова частина проектування базового пресу виконувалась з використанням математичної програми Mathcad. Розраховувались кінематичні, силові та енергетичні параметри базового пресу в режимі оптимізації. Також ця програма була задіяна і при проектуванні основних вузлів пресу, зокрема вузла «повзун-шатун».

Результати роботи програми наведені в додатку Б.

Перелік джерел посилання

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / Романовский В. П. – [6-е изд.]. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1979. – 530 с.
2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. –496 с.: ил. – (Б-ка конструктора).
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. 5-е изд., перераб. – М.:Машиностроение, 1980.-728 с.-Т.1.
4. Ковка и штамповка. Справочник в 4 т. / Под ред. Е.И. Семенова. – Т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка.– М.: Машиностроение,1985.–567 с.
5. 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.
6. Боков В.М. Конструювання та виготовлення штампів. Штамп як об'єкт проектування. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ "Імекс ЛТД", 2005. – 236 с.
7. 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.
8. Методичні вказівки до практичних занять студентів кредитного модуля «Технологія холодного штампування та конструювання штампів 2» підготовки бакалавра спеціальності 131 Прикладна механіка спеціалізацій Системи комп'ютерних технологій машинобудування пластичним формоутворенням, Технології композиційних та наноструктурних конструкцій, Технології озброєння та засобів безпеки / Уклад.: Орлюк М.В., Вишневецький П.С. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 43 с.
9. Общемашиностроительные нормативы на холодную штамповку, резку, высадку и обрезку. Массовое, крупносерийное, серийное и мелкосерийное производство. М.: НИИ труда. 1978.-231с., ил.

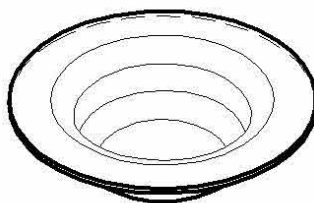
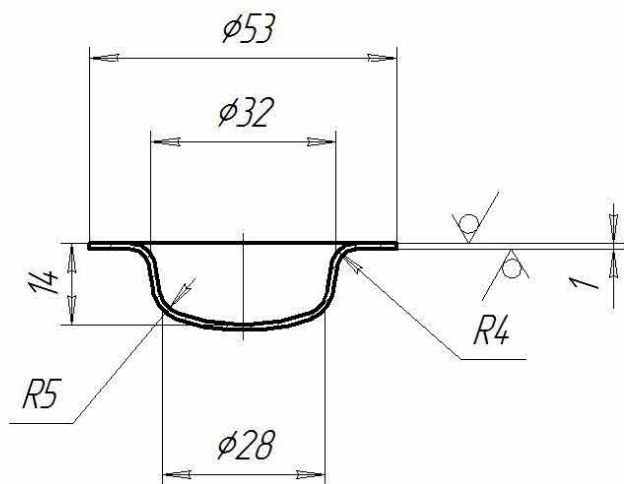
10. Справочник по оборудованию для листовой штамповки /Л.И. Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко и др.; Под ред. Л.И. Рудмана.–К.: Техніка, 1989.–231 с.
11. Мансуров И.З., Подрабинник И.М. Специальные кузнечно-прессовые машины и автоматизированные комплексы КГПП: Справочник,-М.: Машиностроение, 1990.-341 с.
12. Плєснецов Ю. О. Ковальськo-штaмпувальнє облaднaння. Мехaнiчнi преси: навч. посiб. / Ю.О. Плєснецов, В.О.Маковей – Х.: НТУ «ХП», 2014. – 236 с. ISBN 978-617-7188-69-7
13. Сясєв А. В. Вступ до системи MathCAD: навч. посiб. – Д.: Вид-во Днiпропетр. ун-ту, 2004. – 108 с. ISBN 966-551-134-3 ь

Додатки

ДОДАТОК А
Кресленик деталі «Ковпачок»

АТКМ.713355.028

$\sqrt{Ra\ 25\ (\checkmark)}$



1. *Розміри для довідок.
2. $H14, h14, \pm \frac{IT14}{2}$.

				АТКМ.713355.028			
Зм.	Арк.	№ док.	Підп.	Ковпачок	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.		Коваленко	10/04/2024		Н	0,0232	1:1
Перев.		Мірзак	11/04/2024		Аркциш	Аркцишів	1
Т.контр.							
Н.контр.				Лист	Б-ПН-0 1,0×1250×2500 ГОСТ 19904-74		
Затв.					2-4-0,8кп ГОСТ 16523-70		

Копіявав

Формат А4

ДОДАТОК Б

Технологічна карта на виготовлення деталі «Ковпачок»

<p>Бескіз деталі</p>	<p>Міністерство освіти і науки України Центральноукраїнський технічний університет</p>		<p>Карта технологічного процесу "Ковпачок"</p>				<p>Карта №</p>
	<p>Кафедра машинобудування, металознавства і робототехніки</p>		<p>Деталь</p>	<p>Кількість штук на вироб</p>	<p>Партія, шт</p>	<p>10700</p>	<p>Кількість карт</p>
<p>Марка сталі 08 КП – ОМ – В – 1 – К – А – 1.0х 66 ГОСТ прокат 502-81</p>		<p>Кваліфікація</p>	<p>Маса, кг</p>	<p>Студент</p>	<p>Група</p>	<p>Підпис</p>	
<p>Коефіцієнт використання матеріалу, %</p>		<p>72</p>	<p>0,023</p>	<p>Коваленко С. П.</p>	<p>ІМ(ОП) 21-3СК</p>	<p>Дата</p>	
<p>Кількість деталей із штаби, шт</p>				<p>Затвердив</p>			<p>12.05.24</p>
<p>Кількість штаб із листа, шт</p>				<p>Керівник</p>			<p>Підпис</p>
<p>Кількість деталей із листа, шт</p>				<p>Мірзак В. Я.</p>			<p>Дата</p>
<p>Норма витрати матеріалу на 1 деталь, кг/дет</p>			<p>0,032</p>				<p>12.05.24</p>
<p>Кількість деталей із рулону</p>			<p>4687</p>				
<p>Схема розкрою, операційний ескіз</p>	<p>№№ Операцій, переходів</p>	<p>Найменування операцій, переходів</p>	<p>Обладнання</p>	<p>Штамп, пристрій</p>	<p>Вимір- вальний інструм.</p>	<p>Норма штучного часу</p>	<p>Робоча сила</p>
	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>5</p>	<p>6</p>	<p>7</p>	<p>8 9 10</p>
	<p>10</p>	<p>Виробництво- виготовлення</p>	<p>АКСД 2126Е</p>	<p>Штамп суміщеної ді</p>	<p>Штанген- циркуль ШЦ-1</p>	<p>0.019</p>	<p>Налад- чик</p>
	<p>20</p>	<p>Контроль</p>			<p>Штанген- циркуль ШЦ-1, шаблон</p>		<p>Контро- лер</p>

ДОДАТОК В
**Розрахунок базового пресу комплексу
в програмі «PressCad»**

Початкові дані преса

Номінальне зусилля преса, МН	$P_H := 0.45$
Хід повзуна преса, мм	$S := 85$
Кількість ходів повзуна преса в хвилину, хвил ¹	$n_x := 95$
Коефіцієнт довжини шатуна преса	$\lambda := 0.1$

Розрахунок кривошипного пресу

- Кінематичний розрахунок
- Силовий розрахунок
- Енергетичний розрахунок
- Розрахунок вузла

Кінематичний розрахунок преса

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

Кінематична схема кривошипного пресу

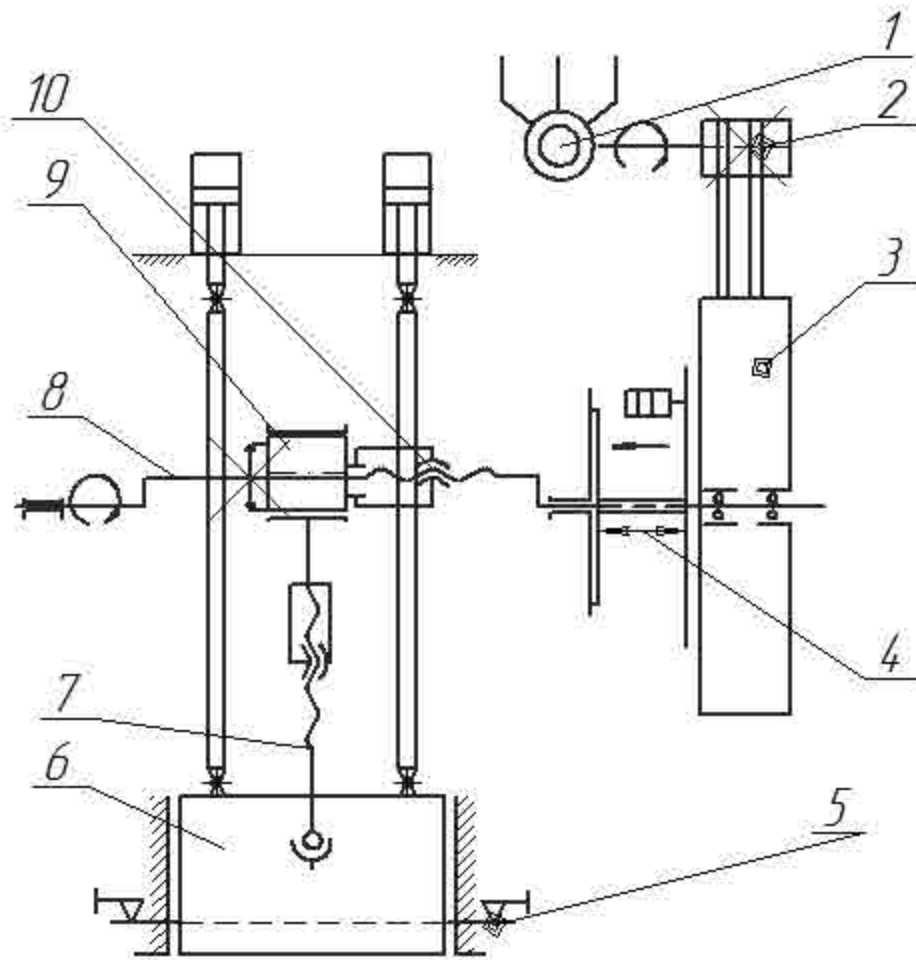


Рис. 2. Кінематична схема однокривошипного відкритого преса простої дії: 1- електродвигун; 2- шків привода; 3- маховик привода; 4- муфта-гальмо; 5- планка виштовхувача; 6- повзун; 7- гвинт регулювання; 8- вал ексцентриковий; 9- втулка ексцентрикова; 10- гайка.

Визначення передаточних відношень передач

Вибір електродвигуна

Довідка

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

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

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

Приймаємо $I_s := 7.9$

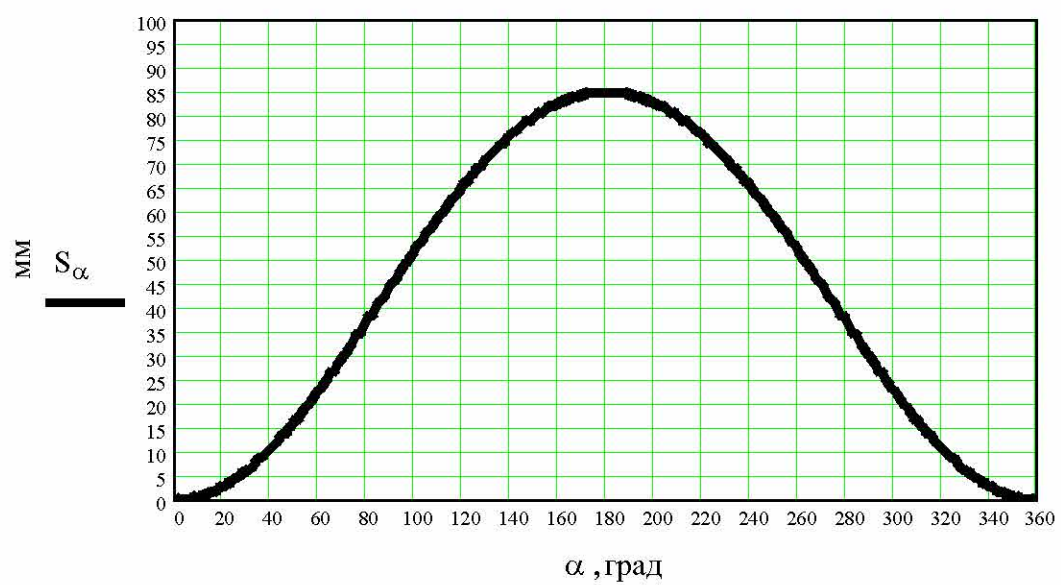
Розрахунок кінематичних параметрів

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	$J_\alpha := -\omega^2 \cdot R \cdot (\cos(\alpha \cdot r) + \lambda \cdot \cos(2 \cdot \alpha \cdot r))$	

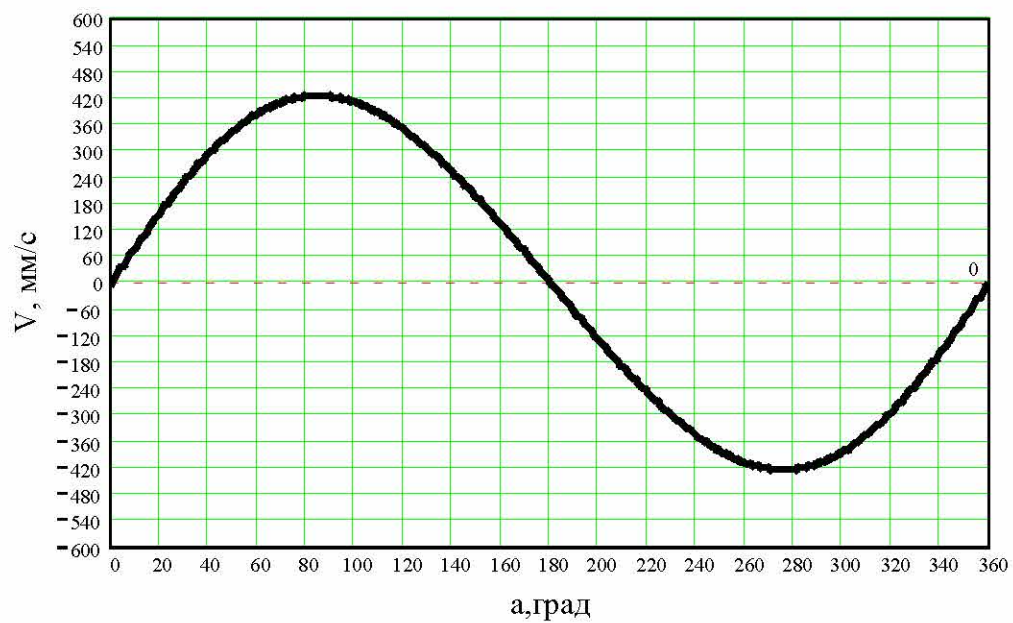
Побудова графіків

- Шлях
- Швидкість
- Прискорення

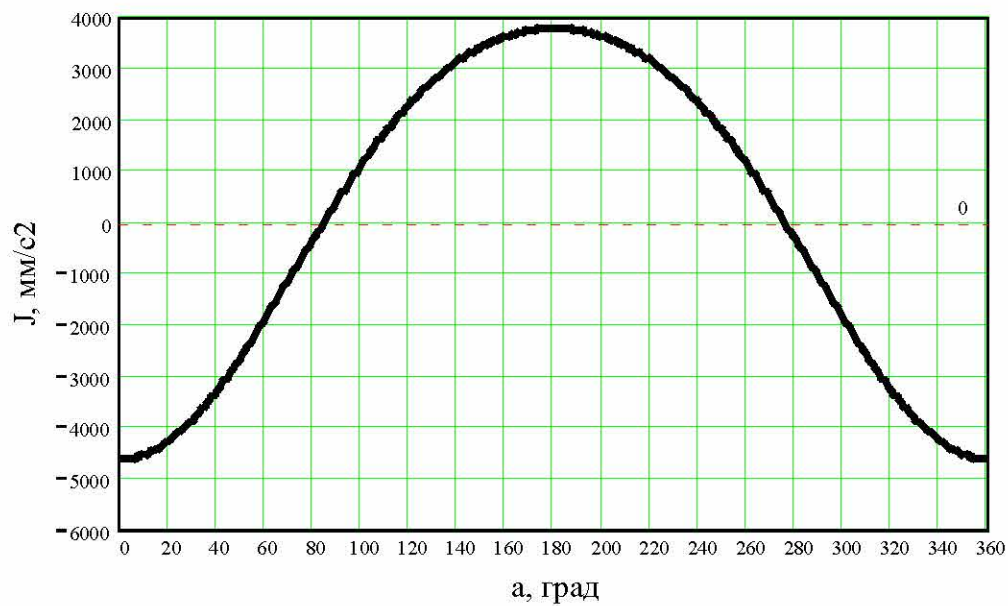
Графік залежності шляху повзуна від кута повороту
ГОЛОВНОГО ВАЛУ



Графік залежності швидкості повзуна від кута повороту головного валу



Графік залежності прискорення повзуна від
кута повороту кривошипа
повороту головного 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

- Кривошипний вал
- Одноколінчастий вал
- Двоколінчастий вал
- Ексцентрикний вал
- Односторонній шестерне-ексцентрикний привод
- Двосторонній шестерне-ексцентрикний привод

Ексцентрикний вал

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

Розрахунок геометричних параметрів

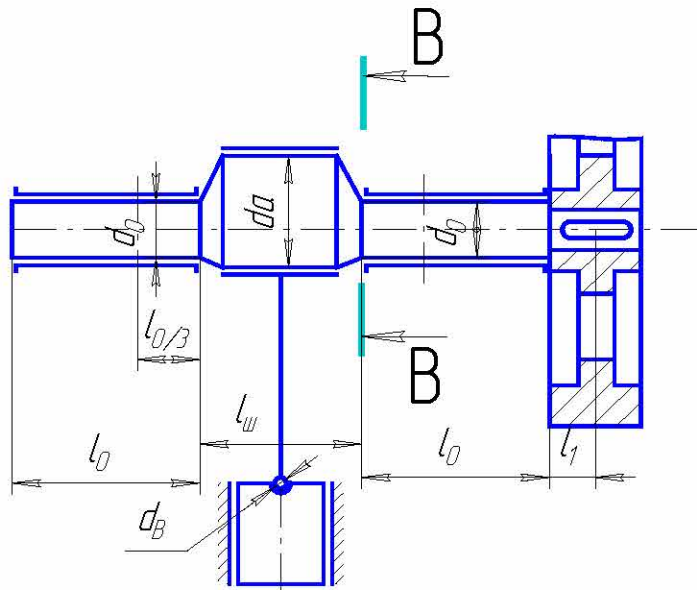


Схема ексцентрикового валу з маховиком

Діаметр опорної шийки, мм	$d_0 := 140 \cdot \sqrt{Pn + 0.02}$	$d_0 = 95.979$
	Приймаємо	$d_0 := 110$
Діаметр опорної головки шатуна, мм	Приймаємо	$d_b := 80$
Діаметр шатуної шийки шатуна, мм	$d_a := d_0 \cdot 1.25$	$d_a = 137.5$
	Приймаємо	$d_a := 165$
Довжина опорної шийки вала, мм (конструкт.)	Приймаємо	$l_0 := 150$

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

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

Приймаємо $r_{щ} := 5$

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
центрального кривошипно-повзун-
ним механізмом, мм

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

Приведенне плече сили в
реальному механізмі, мм

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

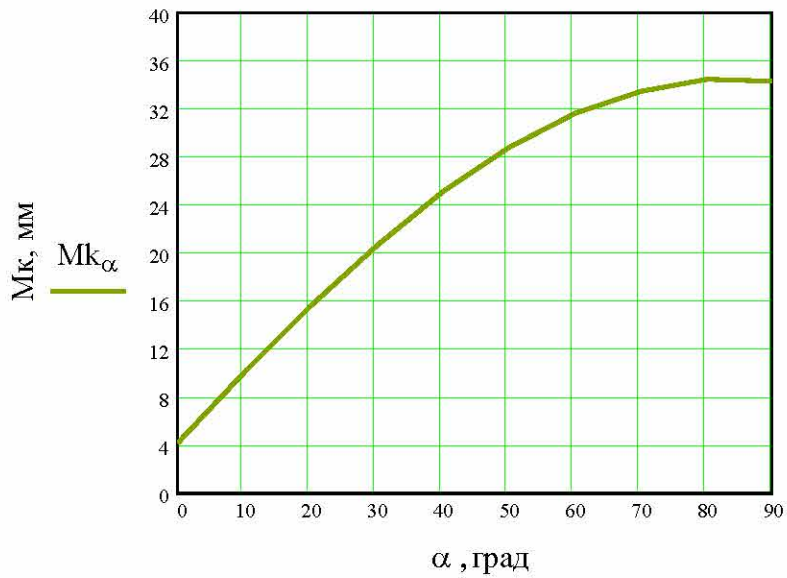
● **Результати розрахунків**

● **Графік**

Результати розрахунків

$\alpha =$	$M_{ki} =$	$M_{kf} =$	$M_{k\alpha} =$	$\alpha =$
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	$6.087 \cdot 10^5$

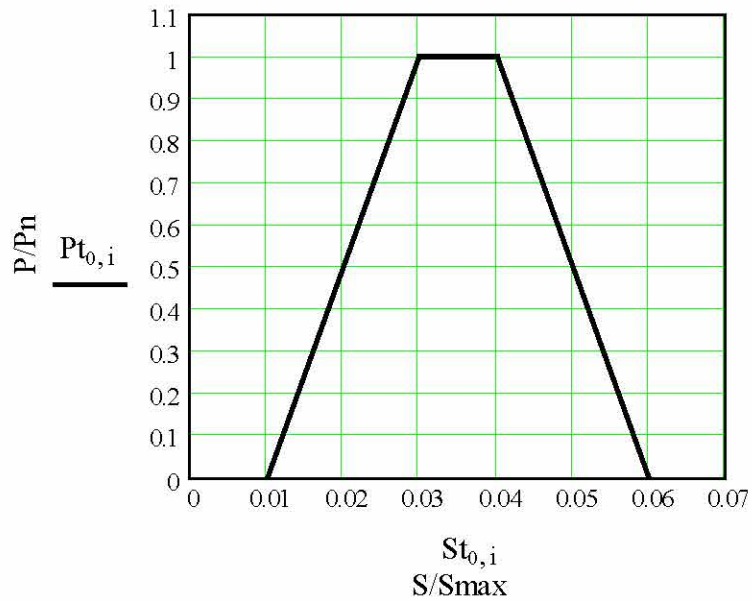
Технологічні графіки навантажень для операцій:

- Вирубання
- Витягування
- Гнуття

Технологічні графіки навантажень для операції вирубання:

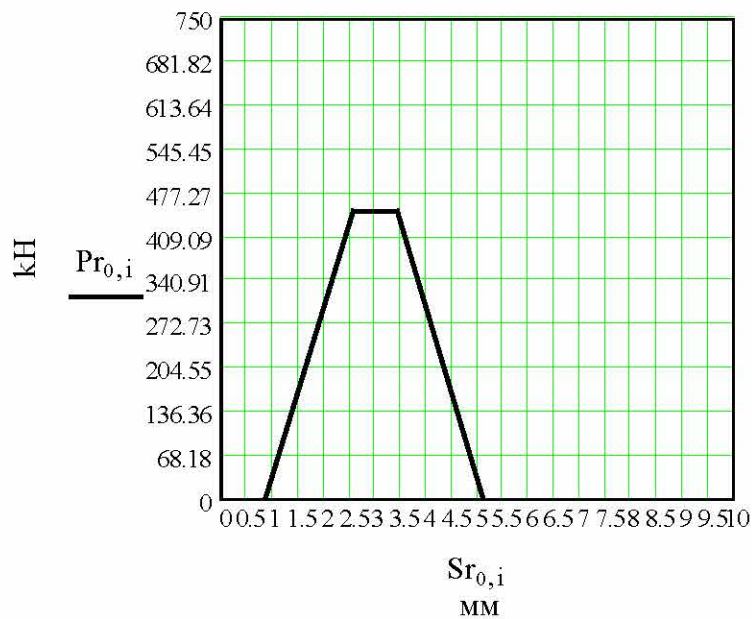
Типовий графік залежності зусилля від деформації
для операції "Вирубка"

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



Реальний графік залежності зусилля від деформації
для операції "Вирубка"

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



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

0	0.85
450	2.55
450	3.4
0	5.1

Графік залежності зусилля преса від пружної деформації

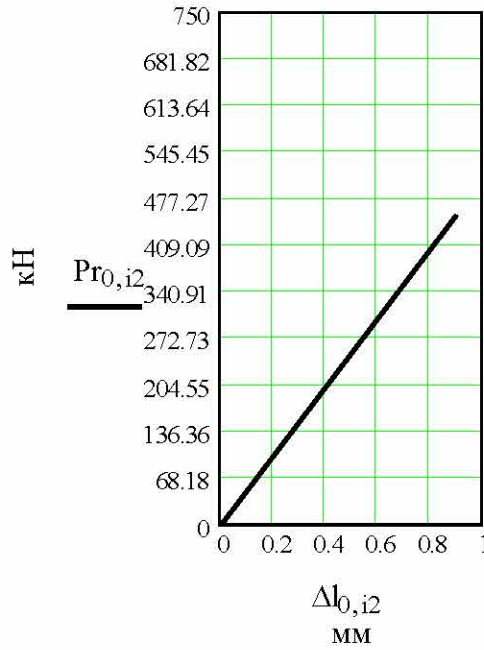
Жорсткість пресу, Мн/м

$$C := 500$$

Пружня деформація деталей и вузлів преса, мм

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

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

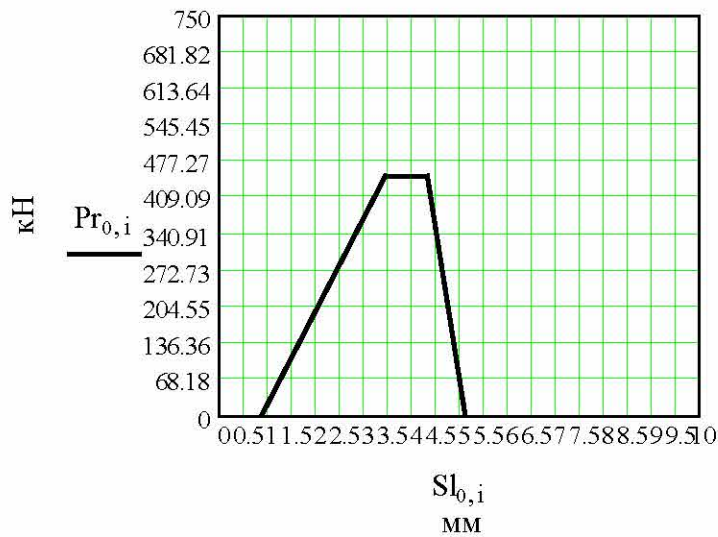


$$Pr_{0,i2} = \Delta l_{0,i2} =$$

0	0
450	0.9

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

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

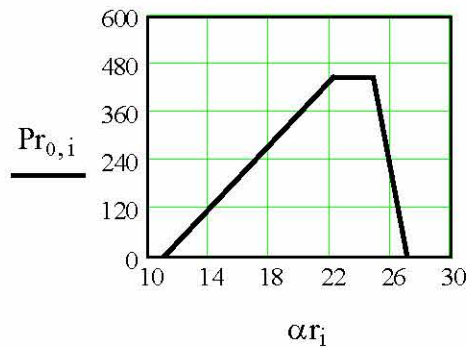


$$Sl_{0,i} = Pr_{0,i} =$$

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

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



$\alpha_{r_i} =$	$Pr_{0,i} =$
10.945	0
22.184	450
24.817	450
27.08	0

$$Pr_{2_i} := Pr_{0,i}$$

Графік залежності крутного моменту на головному
валу від кута повороту

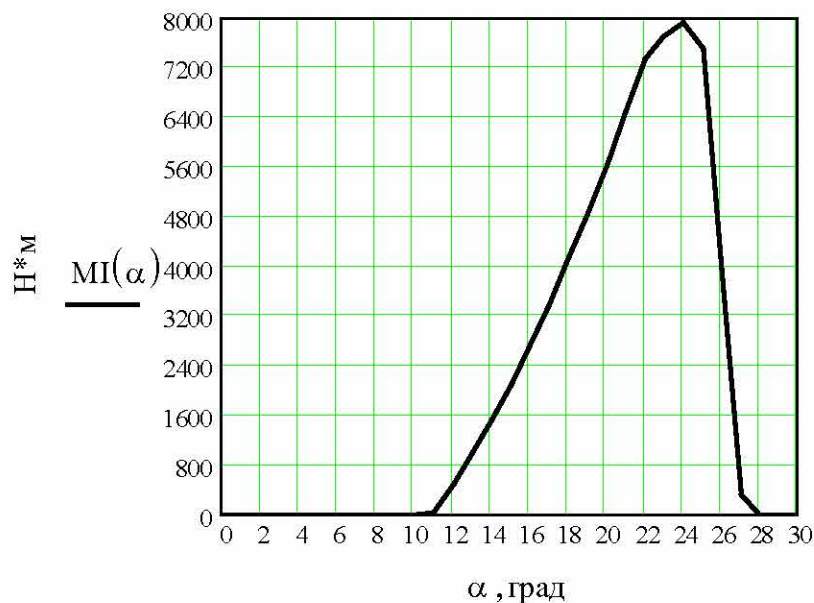
Поточне значення

зусилля деформації, кН $Pw_{\alpha} := \text{if}(\text{linterp}(\alpha_r, Pr_{2_i}, \alpha) < 0, 0, \text{linterp}(\alpha_r, Pr_{2_i}, \alpha))$

Крутний момент на головному валу, Н*м

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

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



Максимальний крутний момент
на головному валу, Н*м

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

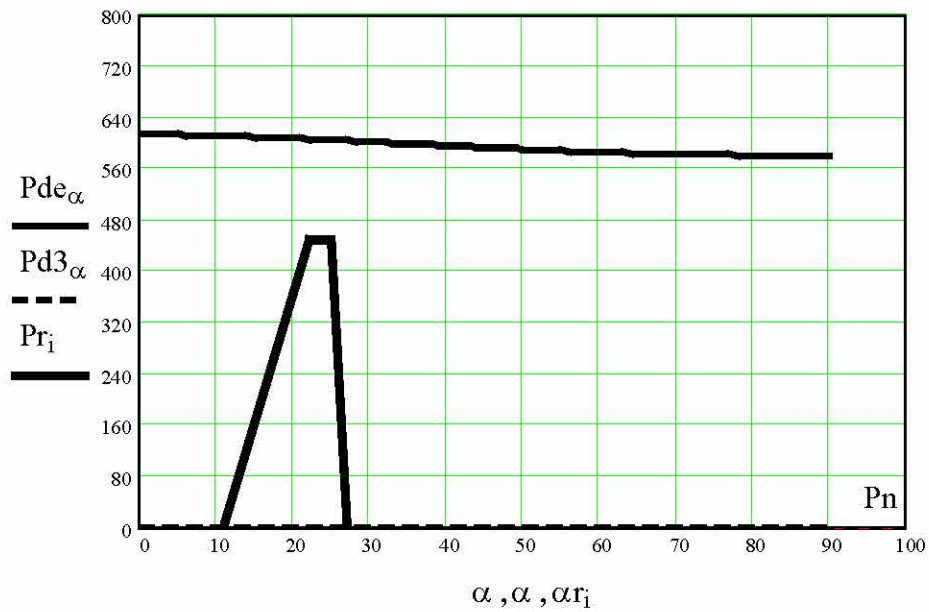
$$M_{\max} = 7925$$

Площина графіка, мм²

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

$$F = 66893.02$$

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 Довідка $k := 1.3$

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

АМУ160МВ8 Довідка
 потужність, кВт $N_d := 5.5$
 кількість обертів, об/мин $n := 690$

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

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

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, с⁻¹ $\omega_m := 78.5$

Кут повороту головного валу при
максимальному навантаженні, рад

$$\alpha_n := \alpha_{r3} \cdot \frac{\pi}{180} \quad \alpha_n = 0.473$$

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

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

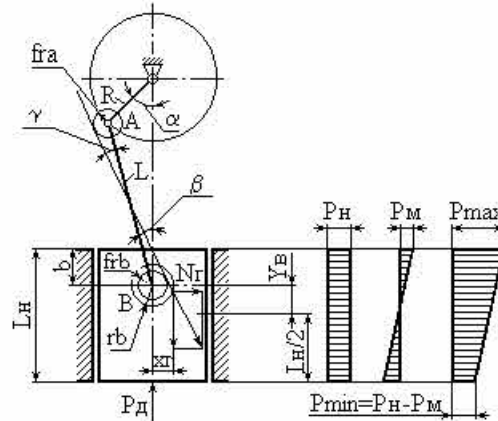
Час розгону маховика, с

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

Розрахунок вузла

- | | |
|----------------------------------|--|
| <input type="radio"/> Муфта | <input type="radio"/> Клинопасова передача |
| <input type="radio"/> Гальмо | <input type="radio"/> Компенсатор |
| <input type="radio"/> Напрямні | <input type="radio"/> Валкова подача |
| <input type="radio"/> Шатун | <input type="radio"/> Станина |
| <input type="radio"/> Запобіжник | |

Розрахунок напрямних



Силкові фактори, які діють на напрямні повзуна

Радіус великої головки шатуна, мм (конструктивно)		$ra := 110$
Радіус малої головки шатуна, мм (конструктивно)		$rb := 40$
Довжина шатуна, мм (конструктивно)		$L := 512$
Кут β , град	$\beta := \frac{\text{asin}(\lambda \cdot \sin(\alpha \cdot r))}{r}$	$\beta = 2.866$
Коефіцієнт тертя в малій і великій головках шатуна		$f := 0.06$
Кут γ , град	$\gamma := \frac{\text{asin}\left[f \cdot \frac{(ra + rb)}{L}\right]}{r}$	$\gamma = 1.007$
Сила, що прикладена зі сторони повзуна до напрямних, кН	$N_r := P_n \cdot 10^3 \cdot \tan(\beta \cdot r + \gamma \cdot r)$	$N_r = 67.703$
Відстань X_g , мм	$X_g := rb \cdot (\sin(\beta \cdot r + \gamma \cdot r) + f)$	$X_g = 5.102$
Відстань Y_b , мм	$Y_b := rb \cdot (\cos(\beta \cdot r + \gamma \cdot r))$	$Y_b = 39.909$
Довжина напрямних, мм (конструктивно)		$L_h := 620$
Размір b , мм (конструктивно)		$b := 300$
Момент, який діє на напрямні, Н*м	$M := N_r \cdot \left(\frac{L_h}{2} - b - Y_b\right) + P_n \cdot X_g$	$M = -2.02 \times 10^3$

	$M := 2020$	
Ширина напрямних, мм (конструктивно)		$a := 110$
Питоме зусилля на напрямні від сили N_{Γ} , МПа	$P_n := \frac{N_{\Gamma} \cdot 10^3}{(L_n \cdot a)}$	$P_n = 0.993$
Питоме зусилля на напрямні від моменту M , МПа	$P_M := \frac{6 \cdot M \cdot 10^3}{(L_n^2 \cdot a)}$	$P_M = 0.287$
Ширина між напрямними, мм (конструктивно)		$B := 250$
Відношення L_n/B	$n := \frac{L_n}{B}$	$n = 2.48$
Допускаєме значення P_M/n , МПа (для бронзових напрямних [$P_M/n=1.5$])	$\frac{P_M}{n} = 0.116$	$\ll 1.5$
Підсумкове питоме зусилля, МПа	$P_{\max} := P_n + P_M$	$P_{\max} = 1.279$

Розрахунок шатуна

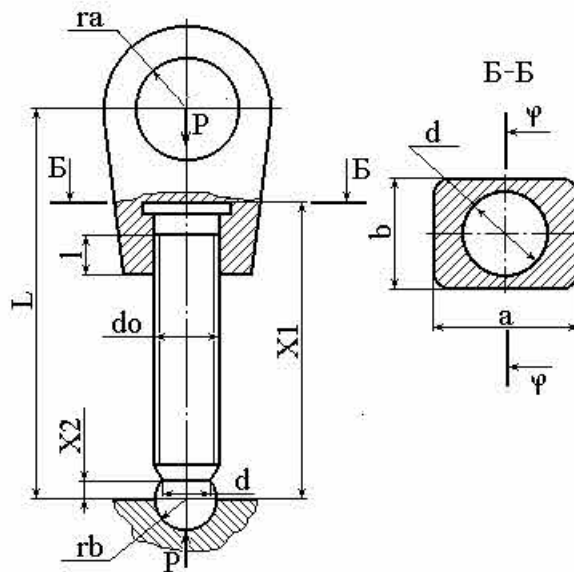


Схема з'єднання шатуна з повзуном та навантаження шатуна.

Розмір a, мм (конструктивно)

$$a := 140$$

Розмір b, мм (конструктивно)

$$b := 90$$

Розмір d, мм (конструктивно)

$$d := 56$$

Площа перерізу Б-Б, мм²

$$F_{\text{ББ}} := a \cdot b - \pi \cdot \frac{d^2}{4} \quad F_{\text{ББ}} = 1.014 \times 10^4$$

Стискуюче напруження, МПа

$$\sigma := \frac{P_H \cdot 10^6}{F_{\text{ББ}}} \quad \sigma = 44.392$$

Розмір X1, мм (конструктивно)

$$X1 := 300$$

$$L := 500$$

Момент вигину, Н·м

$$M_{\text{и}} := f \cdot P_H \cdot 10^3 \cdot \left(rb - X1 \cdot \frac{ra + rb}{L} \right) \quad M_{\text{и}} = -1.35 \times 10^3$$

Момент опору

вигину перерізу Б-Б, мм²

$$W_{\text{ББ}} := \frac{b \cdot a^2}{6} - 0.1d^3 \quad W_{\text{ББ}} = 2.764 \times 10^5$$

Напруження вигину, МПа

$$\sigma_{\text{и}} := \frac{|M_{\text{и}}| \cdot 10^3}{W_{\text{ББ}}} \quad \sigma_{\text{и}} = 4.884$$

Результуюче напруження
в перерізі Б-Б, МПа

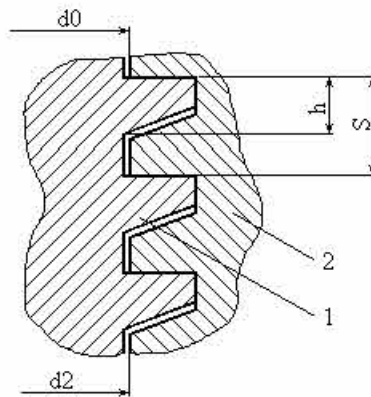
$$\sigma_{рез} := \sigma + \sigma_{и}$$

$$\sigma_{рез} = 49.275$$

Допустиме напруження, МПа (для чавуна)

$$\sigma_{д} := 70$$

Перевірка різьби шатуна на зм'яття і вигин



Різьба шатуна:

1 - гвинт; 2 - гайка

Размір d0, мм (конструктивно)

$$d0 := 60.1$$

Размір d2, мм (конструктивно)

$$d2 := 57.5$$

Число витків (конструктивно)

$$n := 30$$

Крок різьби, мм (конструктивно)

$$S := 6$$

Коефіцієнт, що враховує
нерівномірність розподілу навантаження

$$k_n := \frac{5 \cdot S}{d0}$$

$$k_n = 0.499$$

Напруження зм'яття різьби, МПа $\sigma_{см} := \frac{4 \cdot P_H \cdot 10^6}{n \cdot \pi \cdot (d0^2 - d2^2) \cdot k_n}$ $\sigma_{см} = 125.134$

Допустиме напруження
зм'яття різьби, МПа (для сталевого литва)

$$\sigma_{дзм} := 246$$

Коефіцієнт товщини витка

$$\beta_1 := \frac{n}{S}$$

$$\beta_1 = 5$$

Напруження вигину витків, МПа $\sigma_{ив} := \frac{3 \cdot P_H \cdot 10^6 \cdot (d_0 - d_2)}{2 \cdot \pi \cdot S^2 \cdot \beta l^2 \cdot d_0 \cdot n}$ $\sigma_{ив} = \blacksquare$

Допустиме напруження вигину різьби, МПа (для сталевого литва) $\sigma_{дв} := 246$

Перевірка опорних поверхонь головок шатуна на допустимий питомий тиск

Для нижньої головки с кульовою опорою, МПа $q_H := \frac{P_H \cdot 10^6}{2 \cdot \pi \cdot r_b^2}$ $q_H = \blacksquare$

Допустимий питомий тиск, МПа (для бронзи) $q_{дн} := 49.5$

Размір $L_{ш}$, мм (конструктивно) $L_{ш} := 620$

Для верхньої головки шатуна, МПа $q_B := \frac{P_H \cdot 10^6}{2 \cdot r_a \cdot L_{ш}}$ $q_B = \blacksquare$

Допустимий питомий тиск, МПа (для чавуна) $q_{дв} := 30.0$

ДОДАТОК Е

Специфікація до складального кресленника

вузла «повзун-шатун»

Е.1 Перший аркуш специфікації на складальний кресленик

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
				<i>Документація</i>			
A1			КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.00 СК	Складальне креслення			
				<i>Складальні одиниці</i>			
		1	КРБ.ПМ.24.66.301.01.01.00 СК	Шатун	1		
				<i>Деталі</i>			
		2	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.02	Повзун	1		
		3	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.03	Корпус	1		
		4	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.04	Прижим	1		
		5	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.05	Ліва напрямна	1		
		6	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.06	Права напрямна	1		
		7	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.07	Опора	1		
		8	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.08	Вкладиш	1		
		9	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.09	Проставка	1		
		10	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.10	Гвинт регульвальний	1		
		11	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.11	Лінійка	1		
		12	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.12	Повзунок	1		
		13	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.13	Коромисло	1		
		14	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.14	Шайба	6		
		15	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.15	Планка	2		
		16	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.16	Храповик	1		
		17	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.17	Шпонка	1		
		18	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.18	Втулка	1		
		19	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.19	Фіксатор	1		
		20	КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.20	Шайба запобіжна	1		
				КРБ.ПМ.24.66.301.01.00.00			
				Повзун-шатун	Літ.	Аркш	Аркшів
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підп.		Дата		
Розроб.		Коваленко			14.05.2024	1	3
Перев.		Мірзак			15.05.2024		
Н. контр.					ЦНТУ		
Затв.		Гречка		30.05.2024	гр. ПМІОТІ-21-ЗСК		
				Копіявав	Формат А4		

