

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:

**Проект автоматизованого штампувального комплексу для
виготовлення деталі «Кільце»**

КРБ.ПМ. 24.64.000.00.00.00 КР

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

Годованець М. І.

Керівник роботи (вчений ступінь,
посада)

к.т.н., доцент, Володимир МІРЗАК

Рецензент:

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

Годованець Микола Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: ***Проект автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення деталі «Кільце»***

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

3. Строк подання роботи до захисту _____

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи

Мета роботи – удосконалення технології виготовлення деталі «Кільце», підвищення продуктивності штампування.

Завдання:

– провести аналіз аналогів і прототипів процесів штампування деталей типу «Кільце»;

– розробити прогресивний технологічний процес штампування деталі «Кільце» на основі кресленика деталі (тип виробництва – крупносерійний);

– розробити конструкцію штампового оснащення для виготовлення деталі «Кільце»;

– розробити проект штампувального комплексу для виготовлення деталі «Кільце»

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 «Кільце»	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 _____ Микола ГОДОВАНЕЦЬ
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Годованець М. І. Проєкт автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення деталі «Кільце». 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. – 63 с., 3 табл., 10 рис., список використаних джерел з 19 найменувань, 3 розділи, 14 підрозділів, 5 додатків, 4 листи кресленників, ф. А1, 9 слайдів презентації

Темою роботи є проєкт автоматизованого штампувального комплексу для виготовлення деталі «Кільце». Мета роботи – зменшення собівартості деталі «Кільце», підвищення якості штампування та його продуктивності.

У першому розділі роботи розглядаються аналоги і прототипи деталей типу «Кільце», які виготовляються з листового металу різними галузями промисловості. Проаналізовані варіанти технологій їх виготовлення та обраний найбільш оптимальний варіант. Розглянуто продуктивне обладнання для реалізації обраного варіанту.

У другому розділі роботи описується процедура розробки технологічного процесу, а саме: розрахунок вихідної заготовки, вибір матеріалу, розкрій обраного виду прокату, переходи штампування, енерго-силові характеристики процесу, розрахунки елементів штампового оснащення, розрахунок продуктивності штампування.

У третьому розділі пропонується проєкт автоматизованого комплексу для штампування деталей із стрічки нестандартного компонування. Виконано кінематичний, силовий та енергетичний розрахунок базового пресу з використанням програми Mathcad.

Результатом проведеного аналізу та розрахунку технології виготовлення деталі «Кільце» стало – удосконалення технологічного процесу, розроблений складальний кресленник штампу суміщеної дії з креслениками основних робочих і допоміжних деталей та загальний вид автоматизованого комплексу для штампування деталей із стрічки. Застосування даного проєкту в реальних умовах дозволить зменшити собівартість виготовлення деталей типу «Кільце», підвищити якість штампування та його продуктивність.

Ключові слова: **автоматизований комплекс, вирубування, витягування, кривошипний прес, стрічка, штамп суміщеної дії, формування**

ANNOTATION

Hodovanets M. I. Project of an Automated Stamping Complex for the Production of the "Ring" Part. Bachelor's Qualification Work, Manuscript. Specialty – 131 "Applied Mechanics", Educational and Professional Program – "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Department of Mechanical Engineering, Mechatronics, and Robotics, Kropyvnytskyi, 2024. – 63 pages, 3 tables, 10 figures, list of references with 19 sources, 3 chapters, 14 sections, 5 appendices, 4 A1-size drawing sheets, 9 presentation slides.

The topic of the work is the project of an automated stamping complex for the production of the "Ring" part. The goal of the work is to reduce the cost of the "Ring" part, improve stamping quality, and increase productivity.

The first chapter of the work reviews analogs and prototypes of "Ring" type parts made from sheet metal by various industries. The manufacturing technologies of these parts are analyzed, and the most optimal variant is selected. Productive equipment for implementing the chosen variant is considered.

The second chapter describes the procedure for developing the technological process, including the calculation of the initial blank, material selection, cutting of the selected type of rolled stock, stamping transitions, energy-force characteristics of the process, calculations of stamping equipment elements, and stamping productivity calculation.

The third chapter proposes a project of an automated complex for stamping parts from a non-standard strip layout. Kinematic, force, and energy calculations of the base press are performed using Mathcad software.

The result of the conducted analysis and calculation of the technology for manufacturing the "Ring" part is the improvement of the technological process, the development of an assembly drawing of a combined-action die with drawings of the main working and auxiliary parts, and the general view of the automated complex for stamping parts from the strip.

Keywords: automated complex, punching, drawing, crank press, strip, combined-action die, forming

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 «Кільце»»**

КРБ.ПМ.24.64.000.00.00.00 ПЗ

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

Годованець М. І. _____

Керівник роботи (вчений ступінь, посада)

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

ЗМІСТ

ВСТУП		10
Розділ 1.	1 Аналітичний огляд технологій отримання деталей типу «Кільце»	
	1.1 Аналіз варіантів технологій виготовлення деталей типу «Кільце».....	12
	1.2 Аналіз обладнання для штампування деталей із стрічки.....	17
	Висновки і постановка задач.....	18
Розділ 2.	2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Кільце».....	19
	2.1 Опис і технічна характеристика деталі.....	19
	2.2 Вибір та обґрунтування оптимального варіанту маршрутної технології виготовлення деталі «Кільце».....	19
	2.3 Конструктивно-технологічний аналіз деталі.....	20
	2.4 Розрахунок вихідної заготовки та вибір схеми розкрою.....	20
	2.5 Розрахунок переходів штампування.....	22
	2.6 Розрахунок технологічних зусиль.....	23
	2.7 Проектування штампу суміщеної дії.....	26
	2.8 Технічне нормування.....	31
	2.9 Попередження браку при штампуванні.....	33
	2.10 Складання карти технологічного процесу холодного штампування.....	34
Розділ 3.	3 Проектування комплексу для штампування деталей із стрічки	35
	3.1 Обґрунтування вибору комплексу для штампування із стрічки.....	35
	3.2 Розрахунок комплексу для штампування деталей із стрічки.....	36
	Загальні висновки	37
Перелік джерел посилання		39
ДОДАТКИ		42
	Додаток А. Кресленик деталі «Кільце».....	43
	Додаток Б. Технологічна карта на виготовлення деталі «Кільце»	44
	Додаток В. Розрахунок базового пресу комплексу в програмі «PressCad».....	45
	Додаток Г. Специфікація на штамп суміщеної дії.....	61
	Додаток Д. Специфікація на загальний вид комплексу.....	63

ВСТУП

Актуальність теми

Під час підготовки будь-якого виробництва застосовуються багато різноманітних технологій. Серед них чільне місце займають технології холодного листового штампування (ТХШ). Листове штампування надає можливість отримувати деталі низької собівартості, вирішувати проблеми виготовлення великих партій деталей у стислі терміни, забезпечувати високу якість і ідентичність продукції.

В різних галузях промисловості частка виробів виготовлених засобами листового штампування складає від 50 % до 80 %. Особливо високі показники застосування ТХШ можна побачити в автомобілебудуванні, сільгоспмашинобудуванні, електротехнічній галузі.

Найбільш складні технології листового штампування пов'язані з виготовленням різного роду просторових деталей (скоби, кронштейни, профілі, ковпачки з фланцем та без фланцю, коробчасті деталі, кільця тощо).

При розробці ТХШ вирішуються ціла низка оптимізаційних задач.

Серед них:

- оптимізація розкрою матеріалу;
- оптимізація послідовності виконання операцій;
- вибір типу штампового оснащення;
- вибір штампувального обладнання.

Не завжди рішення цих задач є однозначним. В більшості випадків потрібно порівнювати варіанти за критерієм собівартості.

Тому робота, яка направлена на вдосконалення існуючих технологій та розробку нових, є актуальною і має практичну цінність.

Мета і задачі роботи

Мета роботи – удосконалення технології виготовлення деталі «Кільце», підвищення продуктивності штампування.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз аналогів і прототипів процесів штампування деталей типу «Кільце»;
- розробити прогресивний технологічний процес штампування деталі «Кільце» на основі кресленника деталі;
- розробити конструкцію штампного оснащення для виготовлення деталі «Кільце»;
- розробити проект штампного комплексу для виготовлення деталі «Кільце».

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблено прогресивний технологічний процес штампування деталі «Кільце», де обґрунтовується можливість об'єднання чотирьох операцій в одну та застосування автоматизованого комплексу для штампування деталі із стрічки, що дозволяє зменшити кількість робочих місць, оснащення, підвищити якість штампування та скоротити час підготовки виробництва;
- спроектовано складальний кресленик штампного суміщеної дії для вирубування-витягування-формування деталі «Кільце» з застосуванням вихідного матеріалу стрічки замість штаби, що може бути використано після певних доопрацювань (проекування повного комплексу документації) у реальному виробництві або скоротити час підготовки виробництва інших типових деталей;
- спроектовано автоматизований комплекс для штампування деталі із стрічки на базі кривошипного пресу номінальним зусиллям 1000 кН, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність виготовлення деталей типу «Кільце».

1 Аналітичний огляд технологій отримання деталей типу «Кільце»

1.1 Аналіз варіантів технологій виготовлення деталей типу «Кільце»

Схема деталі «Кільце», на яку потрібно розробити технологічний процес виготовлення, наведена на рисунку 1.1.

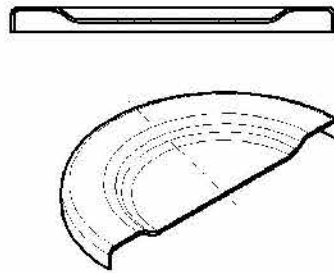


Рисунок 1.1 – Схема деталі «Кільце»

Виготовлення таких деталей може відбуватися за різними варіантами в залежності від очікуваного типу виробництва (дрібносерійне, серійне, крупносерійне та масове).

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



Рисунок 1.2 – Фрагмент аналогів деталей типу «Кільце» [1]



Рисунок 1.3 – Фрагмент аналогів деталей типу «Кільце» [2]

Найближчий прототип деталі типу «Кільце» (кришка twist off) наведений на рис. 1.4



Рисунок 1.4 – Фрагмент прототипу деталей типу «Кільце» [3]

Найбільш простий варіант (надалі I варіант), розбиття процесу виготовлення на елементарні операції в наступній послідовності:

- вирубування круглої заготовки з заздалегідь прорахованим діаметром у штампі простої дії;
- неглибоке витягування заготовки по зовнішньому контуру у штампі простої дії;
- формування донної частини витягнутої заготовки також у штампі простої дії.

Така технологія має свої переваги і недоліки.

До переваг можна віднести:

- спрощену конструкцію штампового оснащення, що прискорює процес її проектування з мінімальними витратами на виготовлення;
- використання відносно недорогого універсального механічного штампувального обладнання (різного типу кривошипні преси);
- залучення до роботи працівників невисокої кваліфікації.

Недоліками такої технології є:

- необхідність створення трьох робочих місць з відповідною кількістю працівників, штапового оснащення та обладнання;
- зростають витрати на налагодження штапового оснащення висококваліфікованими налагоджувальниками;
- ускладнюється цехова логістика та зростають витрати на переміщення заготовок між позиціями виготовлення;
- виснажлива праця штапувальників та підвищена небезпека при ручному режимі роботи;
- необхідність використання вихідної заготовки у вигляді штаби, яку отримують шляхом різання листа на відповідному обладнанні (різного типу ножиці).

Використання такого варіанту технології виправдовує себе при дрібносерійному типу виробництва.

Наступний другий варіант (надалі II-ий варіант) технології штампування деталі «Кільце» може виглядати так:

- вирубування круглої заготовки у штампі простої дії;
 - витягування і формування у штампі суміщеної дії із штучної заготовки.
- Перевагами цього варіанту є низька вартість штапового оснащення на першій операції, як і у I варіанті;
- об'єднання операції «витягування» і «формування» донної частини в одну операцію «витягування-формування», що дає змогу вивільнити одного працівника, одну одиницю обладнання, скоротити кількість штапового оснащення (замість двох штапів використовується один);
 - можливість використання на першій операції автоматизованого штапувального комплексу для штампування деталі із стрічки;
 - можливість використання на другій операції роботизованого комплексу для штампування деталей і штучної заготовки;
 - прийнятне вирівнювання продуктивності штампування на першій і другій операції.

Але і у цього варіанту також є недоліки:

– висока вартість штампувального обладнання (комплекс штампування деталей із стрічки на першій операції та роботизований комплекс штампування деталей із штучної заготовки на другій операції);

– ускладнюється цехова або, навіть, міжцехова логістика, зростають витрати на переміщення заготовок між операціями штампування.

Цей варіант більше прийнятний для застосування в умовах серійного виробництва.

Третій варіант технології виготовлення деталі типу «Кільце» (надалі III варіант) може бути сформований наступним чином:

– «вирубубання-витягування» у штампі суміщеної дії;

– «формування» донної частини заготовки у штампі простої дії, як і у попередньому варіанті.

У цьому варіанті також є переваги і недоліки. Але їх баланс зміщується у бік переваг.

Основною перевагою III-го варіанту є об'єднання операцій «вирубубання» і «витягування» в одну операцію «вирубубання-витягування», що зменшує кількість штампового оснащення (замість двох штампів стає один штамп), вилучається одне робоче місце штампувальника на операції вирубубання, підвищується якість штампування. Окрім цього, стає доцільним у якості заготовки вибрати стрічку замість штаби, що опосередковано зменшить витрати на заготівельні операції і підвищить продуктивність штампування за рахунок використання автоматизованого штампувального комплексу.

До недоліків III-го варіанту слід віднести підвищені витрати на проектування і виготовлення штампів суміщеної дії та використання більш дорогого автоматизованого штампувального комплексу. Суттєвим недоліком є те, що операція формування донної частини деталі стає «вузьким місцем» у загальному процесі. Її продуктивність, внаслідок ручної роботи, буде значно менше ніж продуктивність автоматизованого комплексу на попередній операції. Також

залишаються неусунуті проблеми цехової логістики, додаткові витрати на переміщення заготовок між операціями.

III-й варіант також більш прийнятний для застосування в умовах серійного виробництва.

До розглянутих варіантів можна також долучити і четвертий варіант (надалі IV варіант), найбільш раціональний на нашу думку.

У IV-ому варіанті пропонується об'єднати операції «вирубання», «витягування» і «формування» в одну операцію «вирубання-витягування-формування» у штампі суміщеної дії.

До переваг цього варіанту слід віднести:

- вивільнення трьох працівників у порівнянні з I-им варіантом;
- скорочення двох одиниць штампового оснащення;
- можливість застосування автоматизованого комплексу штампування деталей із стрічки;
- підвищення якості штампування деталей;
- скорочення витрат на налагодження штампового оснащення;
- збільшення продуктивності штампування;
- покращення цехової логістики.

Недоліки цього варіанту, хоч і не суттєві, також є:

- більш складне і, як наслідок, дороге штампове оснащення;
- дороге штампувальне обладнання (автоматизований штампувальний комплекс для штампування деталей із стрічки).

IV-й варіант стає більш прийнятним для застосування в умовах крупносерійного та масового виробництва.

Отже, з розглянутих варіантів найбільш доцільним до подальшої детальної розробки є саме IV-й варіант.

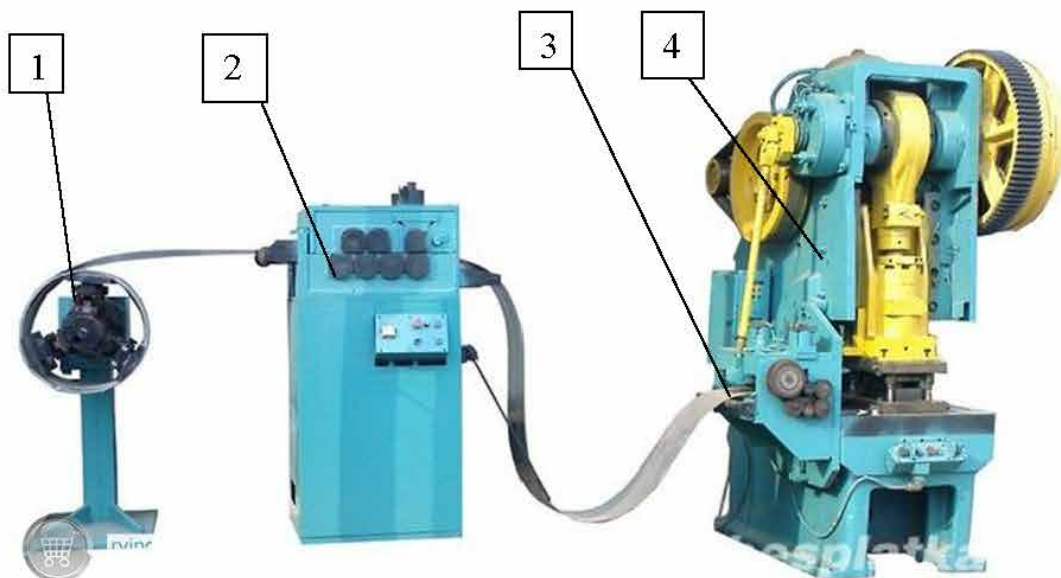
1.2 Аналіз обладнання для штампування деталей із стрічки

Автоматизовані комплекси складаються як правило з базового універсального пресу або пресу-автомату і допоміжного обладнання.

У комплекси для штампування деталей із стрічки входить наступне обладнання:

- розмотуючі пристрої (приводні і неприводні);
- правильні пристрої (або правильно-розмотуючі пристрої) для правки стрічки після розмотування з рулону;
- різноманітні пристрої подачі стрічки в робочу зону преса які відрізняються точністю та швидкістю подачі;
- базовий прес відкритого або закритого типу;
- пристрої для утилізації відходу із стрічки (ножиці для різання відходів, пристрої намотування відходу бухти).

Аналог штампувального комплексу для штампування деталей із стрічки для типових деталей типу «Кільце» наведено на рис. 5.



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 «Кільце» [4]

Всі складові частини комплексу (агрегати) випускаються промисловістю окремо у певній номенклатурі, зорієнтованою на продуктивність та технічні характеристики базового пресу. Тому підібрати допоміжне обладнання для базового пресу і сформувати з нього потрібний комплекс є не дуже складною конструкторською роботою.

Висновки і постановка задач

Отже на основі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

– 4-ий варіант технологічного процесу виготовлення деталі «Кільце», в якому пропонується об'єднати операції «вирубання», «витягування» і «формування» в одну операцію «вирубання-витягування-формування» у штампі суміщеної дії є найбільш доцільним до подальшої детальної розробки;

– проектування автоматизованого комплексу для штампування деталі «Кільце» можна виконувати по технічним характеристикам базового пресу (який вибирається на стадії розробки технологічного процесу після розрахунку технологічного зусилля) з підбором під нього відповідних допоміжних пристроїв, що випускаються промисловістю.

З врахуванням викладеного вище, головною метою даної роботи повинно стати удосконалення технології виготовлення деталі «Кільце», підвищення продуктивності штампування.

Для здійснення цієї мети потрібно вирішити наступні задачі:

– провести аналіз аналогів і прототипів процесів штампування деталей типу «Кільце», що зроблено вище;

– розробити прогресивний технологічний процес штампування деталі «Кільце» на основі кресленника деталі;

– розробити конструкцію штампного оснащення для виготовлення деталі «Кільце»;

– розробити проект штампного комплексу для виготовлення деталі «Кільце»

2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Кільце»

2.1 Опис і технічна характеристика деталі

Деталь «Кільце» використовується для захисту рухомих частин приводу конвейерних агрегатів.

Згідно з вищенаведеним та враховуючи те, що для отримання деталі «Кільце» необхідно використати рельєфну формовку, деталь виготовляємо з відносно м'якого листового прокату марки:

Стрічка Ст3 – М – 1- А- 0,8х95 ГОСТ 503–81

Механічні характеристики матеріалу для виготовлення деталі наведені в [5, 7,8].

Таблиця 2.1 – Механічні характеристики матеріалу

Найменування марки сталі	Межа опору зрізу σ_{cp} , Мпа (при вирубванні)	Межа міцності, σ_b , МПа	Відносне подовження δ_5 , %
Тонколистова вуглецева звичайної якості Ст3	280-400	330-450	20

2.2 Вибір та обґрунтування оптимального варіанту маршрутної технології виготовлення деталі «Кільце»

Виготовлення деталі «Кільце» можливо виконати двома способами.

I варіант (базовий):

- вирубвання круглої заготовки в штампі простої дії;
- витягування-формування в штампі суміщеної дії.

II варіант (проектний):

- вирубвання – витягування – формування деталі в штампі суміщеної дії.

Обираємо другий варіант, який дозволяє отримати деталь «Кільце» з меншою собівартістю завдяки:

- скороченню двох операцій;

- вивільнення штампувальника та різальника;
- скорочення одиниці штампного оснащення.

2.3 Конструктивно-технологічний аналіз деталі

Деталь “Кільце” – виріб типу тіл обертання, осесиметрична. Основні вимоги до конструкції деталей, які виготовляються витягуванням-формуванням, такі:

- максимально 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.

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

2.4 Розрахунок вихідної заготовки та вибір схеми розкрою

Діаметр заготовки визначаємо з умови рівності об'єму.

Об'єм деталі визначаємо засобами САПР SolidWorks по параметричній твердотільній моделі деталі:

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot S}} = \sqrt{\frac{4 \times 5297.43}{3.14 \times 0.8}} = 92 \text{ мм}$$

де V – об'єм деталі, мм^3 ;

S – товщина матеріалу, мм.

Приймаємо однорядний тип розкрою (рис. 2.1).

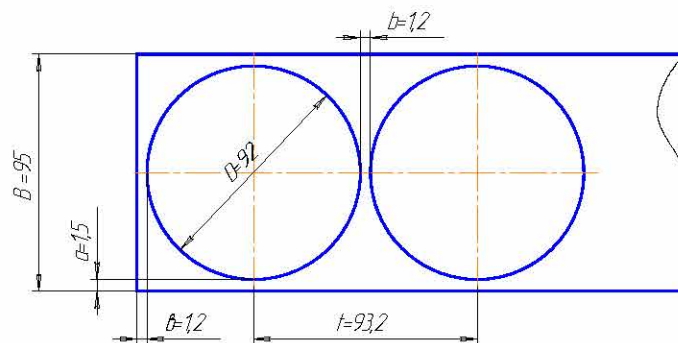


Рисунок 2.1 – Схема розкрою

За рекомендаціями [5, 6], оптимальне значення перетинок $a = 1,2$ мм, отже мінімальна ширина заготовки

$$B = D_s + 2 \cdot a = 92 + 2 \times 1,2 = 94,4 \text{ мм}$$

Приймаємо холоднокатану стрічку по ГОСТ 503-81 з розмірами $s = 0,8$ мм, $B = 95$ мм [7, 8]. Стан постачання – м'яка, точність виготовлення – нормальна, граничне відхилення по ширині стрічки – 0,4 мм. Таким чином, діапазон ширини від 94,6 мм до 95 мм задовольняє умовам штампування.

Позначення стрічки для замовлення:

Стрічка Ст3 – М – 1 – А – 0,8 х 95 ГОСТ 503–81.

Згідно обраній схемі однорядного розкрою розрахункове значення коефіцієнту розкрою

$$K_p = \frac{f \cdot n}{B \cdot h} \times 100\%$$

де f – площа поверхні вихідної заготовки, мм²;

n – кількість рядів розкрою ($n = 1$);

h – крок розкрою ($h = 92 + 1,2 = 93,2$), мм.

$$f = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} = \frac{3,14 \times 92^2}{4} = 6644,24 \text{ мм}^2$$

$$K_p = \frac{6644,24 \times 1}{95 \times 93,2} \times 100\% = 75\% \%$$

Враховуючи конфігурацію заготовки, значення K_p можна визнати задовільним.

Довжина стрічки при зовнішньому діаметру бухти $D = 1000$ мм складає $L_c = 942477$ мм.

Кількість деталей із стрічки:

$$n_d = L_c/t = 942477/93.2 = 10112 \text{ дет.}$$

Маса бухти стрічки $M_c = 560133.4$ гр.

Норма витрати металу:

$$H = \frac{M_c}{n_d} = \frac{560133.4}{10112} = 53,4 \text{ гр. .}$$

Маса деталі $M_d = 41,58$ гр (визначена засобами САПР SolidWorks по твердотіловий моделі деталі).

Виходячи з умов штампування – середня ступінь точності, розміри деталей – до 200 мм – доцільніше прийняти штамп суміщеної дії вирубаня-витягування-формування. Згідно [5, 6, 9], використання штампу суміщеної дії дозволить підвищити якість штампування, зменшити габарити штампу та збільшити продуктивність штампування.

2.5 Розрахунок переходів штампування

Технічні вимоги на виготовлення деталі:

- відхилення по зовнішнім розмірам $0,22 \pm 0,05$ мм;
- відхилення по висоті, $\pm (0,05 - 0,1)s = \pm 0,04$ мм;
- відхилення по діаметру, 0,36 мм (тільки мінусовий допуск);
- відхилення по висоті внутрішнього борту, $\pm 0,25$ мм;

2.5.1 Перевірка можливості виконання операції витягування за один перехід

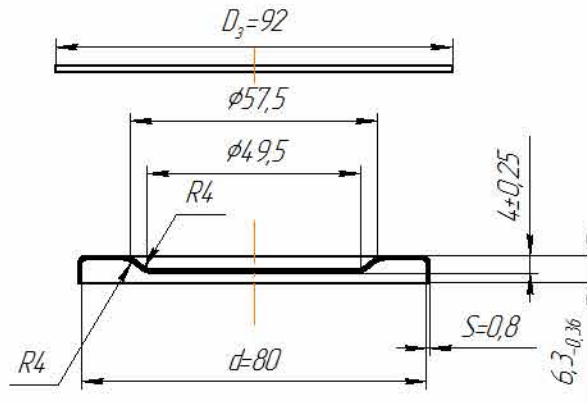


Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку переходів штампування

Можливість виконання операції витягування за один перехід визначається умовою:

$$m > [m],$$

де $[m]$ – допустимий коефіцієнт витягування.

Відносна товщина заготовки $s/D = (0,8/92) \times 100 = 0,86$.

$$[m] = 0,54 ; [6, 9]$$

m - коефіцієнт витягування, що визначається за формулою:

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

де d – діаметр деталі, мм;

D_3 – діаметр заготовки, мм.

$$m = \frac{80}{92} = 0,86$$

$m = 0,86 > [m] = 0,54$ – умову виконано.

2.6 Розрахунок технологічних зусиль

Визначаємо технологічні зусилля [5, 6, 9–14]. Для переходу рельєфного формування попередньо встановлюємо глибину внутрішнього фланцю. Згідно [5]:

$H_B = 4 \text{ мм} > [H_B] = 3 \cdot s = 2,4 \text{ (мм)}$. При цьому відносна глибина становить

$$\frac{h_s}{D_s} = \frac{4}{57,5} = 0,07 < 0,25 = \left[\frac{h_s}{D_s} \right]$$

Таким чином, фланець доцільніше виготовляти формуванням, ніж витягуванням.

Зусилля переходу:

$$P = F \cdot s^2 \cdot k,$$

де F – площа рельєфу.

k – коефіцієнт (для сталі Ст3 $k = 20$).

Тоді:

$$F = \frac{\pi(D_{\phi n} + 2s)^2}{4} = 5229,62 \text{ мм}^2,$$

$$P = 5229,62 \cdot 0,8^2 \cdot 20 = 669,39 \text{ кН}.$$

Вирубання відформованого рельєфу відбуватиметься із зусиллям

$$P_{\text{вир}} = k_1 \cdot L \cdot s \cdot \sigma_{\text{зр}},$$

де k_1 – коефіцієнт ($k_1 = 1,25$);

L – периметр вирубання ($\pi \cdot D_3$), мм;

$\sigma_{\text{зр}}$ – напруження зрізу, МПа.

Тоді:

$$P_{\text{вир}} = 1,25 \times 288,88 \times 0,8 \times 360 = 103,996 \text{ кН}$$

Зусилля витягування:

$$P_e = k_2 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot \sigma_B,$$

де k_2 – коефіцієнт, який вибирається по [5, 6], ($k_2 = 0,9$);
 d_1 – діаметр деталі по середній лінії, мм ($d_1 = 80,8$ мм);
 σ_B – межа міцності, МПа.

Тоді:

$$P_B = 0.9 \cdot \pi \cdot 80,8 \cdot 0.8 \cdot 400 = 73,069 \text{ кН.}$$

Отже, сумарне зусилля штампування:

$$P = 669,39 + 92,287 + 73,069 = 835,4 \text{ кН.}$$

Згідно отриманих даних попередньо вибираємо комплекс [16] на базі преса з номінальним зусиллям 1000 кН, який має наступну технічну характеристику:

– ширина стрічки, мм	50 – 160
– товщина стрічки, мм	0,6 – 3,0
– крок подачі, мм	20 – 250
– точність подачі, мм	$\pm 0,05$
– номінальне зусилля пресу, кН	1000
– частота ходів, хв^{-1}	100
– найбільший зовнішній діаметр рулону, мм	1200
– сумарна потужність електродвигунів, кВт	17,8
– габаритні розміри (довжина x ширина x висота), м	8,4x2,27x3,16

2.7 Проектування штампу суміщеної дії

2.7.1 Розрахунок виконавчих розмірів робочих деталей

Визначення конструктивних елементів штампів проводимо за методикою розрахунку штампів для витягування [6, 9, 10–14].

Розрахунковий коефіцієнт витягування:

$$m_p = \frac{d}{D_s} = \frac{80}{92} = 0,86;$$

Фактором, що лімітує є формування зовнішнього фланцю ($m_p > [m_B]$).
Визначаємо радіуси заокруглення робочих кромek матриці та пуансону. Для матриці [6, 9], $r_M = (6) \cdot s = 4,8$ мм.

Відповідно радіус заокруглення пуансону приймаємо по внутрішньому радіусу переходу від стінки до дна ($r_{\Pi} = 1$ мм).

Величина зазору (z) між пуансоном та матрицею визначається з умови, що стоншення матеріалу заготовки незначне (до 2%, згідно [5, 6, 11]. Тому приймаємо, що $z = s = 0,8$ мм.

Зазор задаємо за рахунок матриці (зовнішній діаметр виробу згідно креслення є довідковим параметром). Отже,

$$d_{\Pi} = D_{BH} = 80 \text{ мм}; \quad D_M = d_{\Pi} + 2 \cdot z = 80 + 1,6 = 81,6 \text{ мм.}$$

Визначаємо допуски на виконавчі розміри з урахуванням припуску на зношування пуансону

$$\Delta^1 = 0,2 \cdot \Delta = 0,01 \text{ мм. Тут } \Delta = -0,05 \text{ мм – допуск на виготовлення [6].}$$

Тоді виконавчий розмір формувального інструменту [5] складає:

$$D_M = (D_{BH} + \Delta^1 + z)^{+\delta_M} = (80 + 0,01 + 0,8)^{+0,08} = 80,81^{+0,08} \text{ мм,}$$

$$d_n = (D_{BH} + \Delta^1)_{-\delta_{\Pi}} = 80,01_{-0,05} \text{ мм.}$$

Визначаємо допуски на виконавчі розміри пуансон-матриці та матриці для вирубування готового виробу. Початковий зазор [6].

$$z_{\text{п}} = 0,05 - 0,08 \text{ мм.}$$

Допуск на виготовлення [5, 6], складає: для матриці $+0,02$ мм, для пуансону $-0,012$ мм.

Оскільки зовнішній контур деталі – несполучуваний, то при вирубуванні зовнішнього контуру виконавчі розміри матриці та пуансону відповідно становитимуть:

$$D_{\text{м}} = 92^{+\delta_{\text{м}}} = 92^{+0,02} \text{ мм,}$$

$$d_{\text{п}} = (92 - 0,8)_{-0,012} = 91,2_{-0,012} \text{ мм.}$$

2.7.2 Розрахунок на міцність деталей штамп

Для виготовлення деталі «Кільце» прийнято штамп суміщеної дії з напрямними вузлами «колонка-втулка». Центр тиску штамп не розраховуємо, оскільки деталь має центральну вісь симетрії. Розрахунок виконуємо за рекомендаціями [6, 10–14]

Формувальну пуансон-матрицю перевіряємо на зминання та на стискування, оскільки висота деталі незначна і повздовжнього вигину інструменту не очікується.

Напруження зминання:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{P}{F} = \frac{669390}{5026,55} = 133,17 \text{ МПа}$$

де F – площа опорної поверхні пуансон-матриці (визначається засобами креслярсько-графічного редактора), мм^2 .

Оскільки $\sigma_{\text{зм}} > [\sigma_{\text{зм}}] = 100 \text{ МПа}$, потрібна гартована сталеві підкладка.

Напруження стискування в небезпечному перерізі становлять:

$$\sigma_{ст} = \frac{P}{F_{нз}} = \frac{669390}{4756,55} = 140,17 \text{ МПа}$$

де $F_{нз}$ – площа небезпечного перерізу пуансон-матриці (визначається засобами креслярсько-графічного редактора), мм^2 .

Для пуансон-матриці приймаємо сталь Х12Ф1 з азотуванням поверхні до твердості 65-70 НRC та твердості гартованого підшару 57-60 НRC. В цьому випадку $[\sigma_{ст}] = 200 \text{ МПа}$, що менше за граничні значення. Міцність забезпечується.

Максимальне напруження $\sigma_{\max} = 151,53 \text{ МПа} < 200 \text{ МПа}$. В бандажуванні матриці потреби немає, отже решту її розмірів визначаємо конструктивно. Матеріал матриці – сталь Х12М, гартована до твердості 60-65 НRC.

Розрахунок опорної нижньої плити на міцність проводимо згідно [1, 10]. Максимальний вигинаючий момент:

$$M_{\max} = \frac{0,64(R-r)P}{2} = \frac{0,64(180-120)761,68}{2} = 1462425,8 \text{ кГмм}$$

де R – радіус отвору в столі пресу ($R = 180 \text{ мм}$);

r – радіус отвору в підштамповій плиті пресу ($r = 120 \text{ мм}$).

Фактичне напруження на вигин (розміри нижньої плити беруться з креслення штампу):

$$\sigma_{\sigma} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{6M_{\max}}{(A_c - B_c)h_{нз}^2} = \frac{1462425,8}{85333,33} = 171,38 \text{ МПа},$$

де W – момент опору нижньої плити на вигин, мм^3 :

$$W = \frac{950-630}{6} \times 40^2 = 85333,33 \text{ мм}^3.$$

Виготовлення нижньої плити можливо із сталі 45, яка термооброблена до 42-45 HRC. Граничні напруження в цьому випадку $[\sigma_{\text{н}}] = 180 \text{ МПа} > \sigma_{\text{в}}$.

2.7.3 Конструювання та опис роботи технологічного оснащення

Процес виготовлення деталі “Кільце” відбувається у такій послідовності (рис. 2.3). Стрічка з правильно-розмотуючого пристрою і валкову подачу штампувального комплексу по напрямним надходить до штампового простору пресу. На нижній плиті 14 штампу крім пуансону 21, розташовано також матрицю 3, виштовхувач 22 та буферний пристрій 1. Стрічка орієнтується по напрямним в знімачі 5. Під час виконання робочого ходу пресу пуансон-матриця 11 спочатку, долаючи опір буферного пристрою 1, своїм зовнішнім контуром здійснює вирубання заготовки, (при цьому штовхач 7 відходить у своє крайнє верхнє положення). Далі відбувається витягування борта вирубленої заготовки внутрішнім контуром пуансон-матриці 11. В кінці робочого ходу пресу відбувається формування дна деталі з остаточним оформленням заданих креслеником радіусів. Під час зворотного ходу пресу виштовхувач 22 виштовхує деталь з порожнини матриці 3 і в кінці холостого ходу витягнута та відформована деталь виштовхується з порожнини пуансон-матриці 10 виштовхувачем 7, який спрацьовує від повзуна преса. Жорсткий знімач 5, знімає стрічку з пуансон-матриці 11.

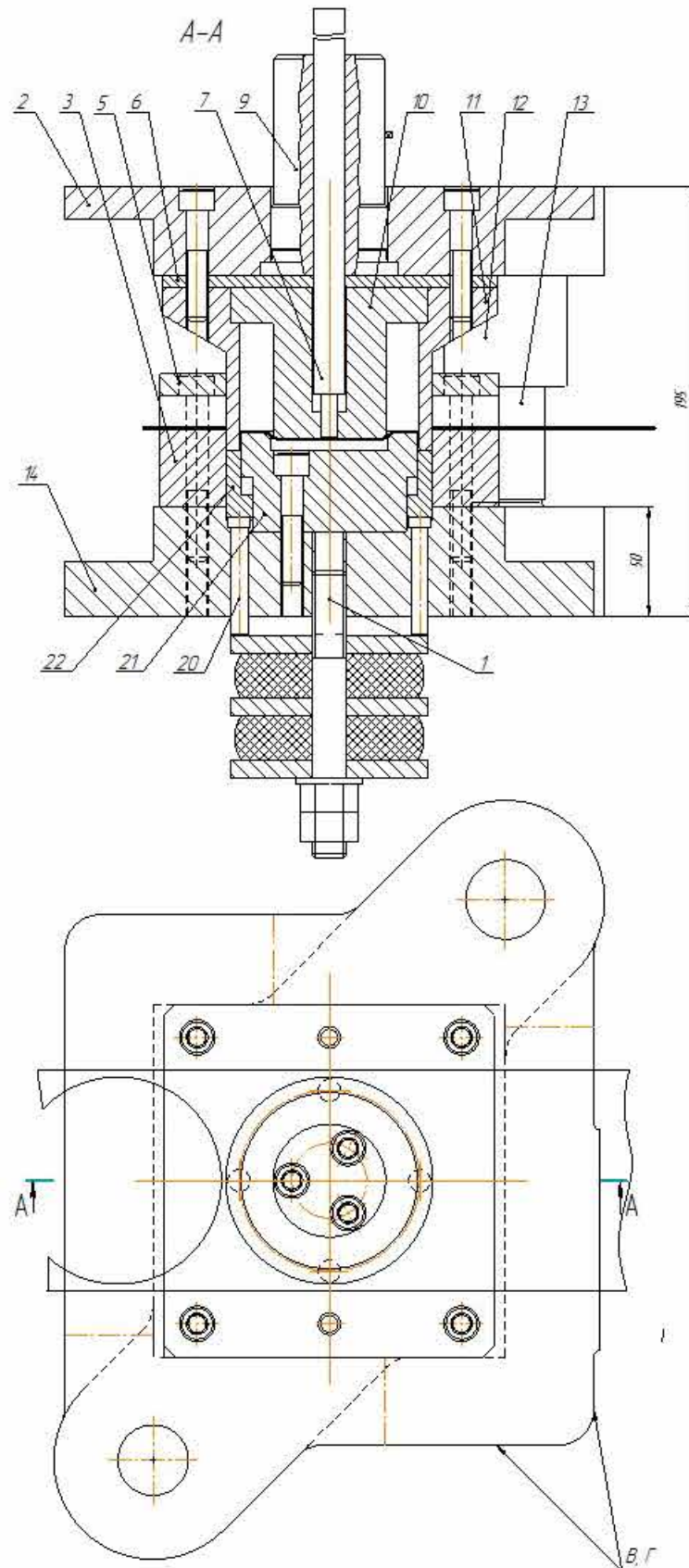


Рисунок 2.3 – Схема штапу суміщеної дії

У верхній плиті штапу 15 розміщено також сталеву гартовану прокладку 6, яка унеможливорює змінання опорних поверхонь робочих деталей. Фіксується

верхня плита у повзуні пресу за допомогою хвостовика 9. Напрям верхньої плити штампу забезпечують два діагонально розміщених у нижній плиті напрямних вузла 13, що включають напрямну втулку та напрямну колонку.

Вилучення деталі з робочої зони відбувається стисненням повітрям.

2.8 Технічне нормування

Розрахунок робимо з врахуванням попередніх даних та рекомендацій [15], які зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для нормування

Габаритні розміри стрічки	0,8 × 95
Площа деталі	0,0066 м ²
Матеріал	Сталь
Крок просування стрічки	93,2 мм
Кількість деталей із стрічки	10112
Оснащення	Штамп суміщеної дії
Спосіб подачі заготовки	автоматичний
Спосіб видалення відходу	автоматичний
Положення робочого	стоячи
Обладнання	кривошипний прес зусиллям 1 МН
Кількість подвійних ходів повзуна в хвилину	100
Муфта вмикання	фрикційна
Спосіб вмикання	автоматичний

Таблиця 2.3 – Розрахунок норми часу.

№ карти	№ позиції	Найменування переходів	Основний час , T_0	Допоміжний час на 1 шт. у хв.	
				Перекритий	Неперекритий
9	1м	Взяти і піднести рулон , установити рулон у пристосуванні преса, перерізати в'язання проволки, витягнути, протерти і заправити кінець стрічки в штамп, ввімкнути прес	-	-	0.0035
16	1у	Основна операція	0.01	-	-
					0.0035

Штучний час :

$$T_{шт} = (T_0 + T_B) K,$$

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

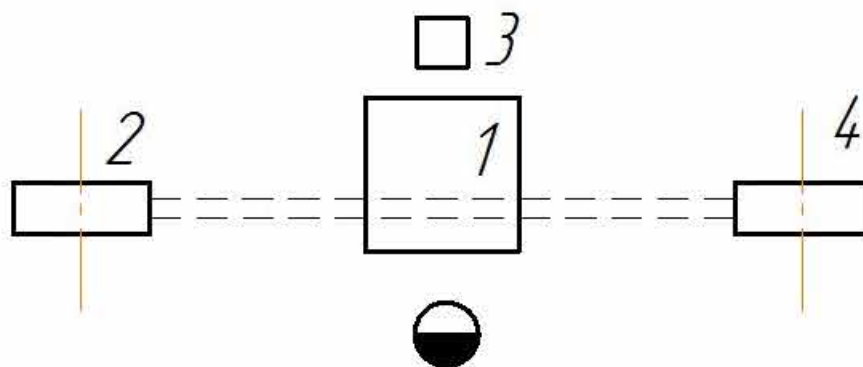
$$T_{шт} = (0.01 + 0.0035) \cdot 1.05 = 0.0105 \text{ хв.}$$

Норма виробітку :

$$N_s = \frac{T_{зм}}{T_{шт}} = \frac{480}{0,0105} \text{ шт.} = \frac{480}{0.0105} = 45714 \text{ шт.},$$

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

Схема організації робочого місця зображена на рис. 2.4



1 – прес; 2 – котушка зі стрічкою;

3 – тара для готових деталей; 4 –ножиці

Рисунок 2.4 – Схема організації робочого місця операції вирубання-пробивання:

2.9 Попередження браку при штампуванні

Враховуючи форму і застосування деталей, на які розроблені технологічні процеси в даному проекті, робимо висновок, що при виготовленні останніх можливе виявлення наступних видів браку [5, 6]:

- присутність задирок по периметру зрізу метала;
- зміщення симетрично розташованого отвору відносно осі витягання;
- присутність мікро- і макротріщин при витяганні деталі;

- наявність зовнішніх ушкоджень поверхні деталей у вигляді подряпин та зім'яття.

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

- передбачено більш якісне виготовлення оснащення, зокрема, робочого інструменту;
- використання прогресивного штампувального устаткування, зокрема, комплексів;
- застосування фіксуючих елементів в штампі, що попереджає перетягнення бортів готових деталей;
- запобігання тріщин можливе при правильному виборі металу заготовки, який враховує його подальше використання і увесь цикл технологічного процесу;
- застосування автоматизації при штампуванні дозволяє більш точно одержувати лінійні розміри в деталях та заготовках.

Однак, крім вищезгаданих засобів підвищення якості продукції, необхідно використовувати належну систему організацій технічного контролю, яка включає безпосередню перевірку виготовлених деталей і заготовок виробником. Це дозволяє на всіх етапах виробництва контролювати якість продукції.

2.10 Складання карти технологічного процесу холодного штампування

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

3 Проектування комплексу для штампування деталей із стрічки

3.1 Обґрунтування вибору комплексу для штампування із стрічки

У відповідності з крупносерійним типом виробництва, визначеним завданням на кваліфікаційну роботу, та з врахуванням виконаних в розділі 2 розрахунків по визначенню підсумкового технологічного зусилля був обраний кривошипний відкритий прес з найближчим більшим технологічним зусиллям – 1000 кН. На базі цього пресу скомпонований автоматизований комплекс для штампування деталей із стрічки [16, 17], склад якого наведений на рис. 3.1.

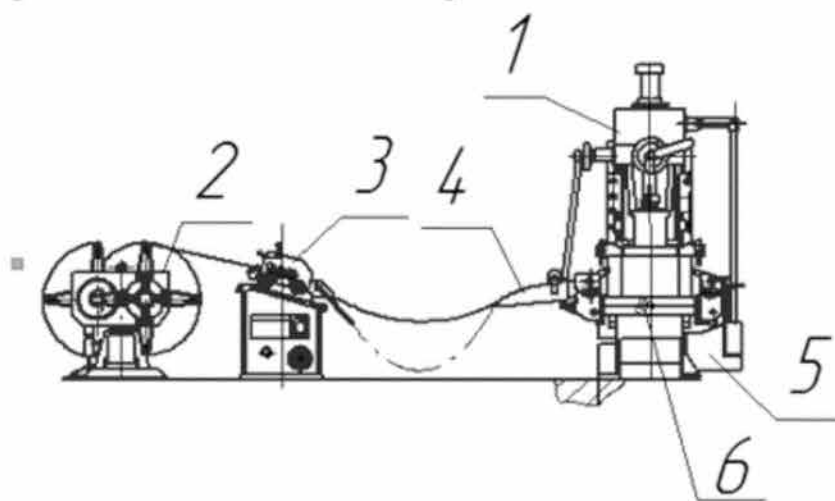
Застосування такого комплексу дозволить покращити умови праці штампувальників, підвищити продуктивність праці, знизити собівартість штампованих виробів.

3.1.2 Вихідні дані для проектування комплексу

1. Максимальне зусилля базового пресу, МН.....	1.0
2. Максимальна продуктивність комплексу, шт. за год.....	4000
3. Найбільша товщина стрічки, мм.	2,5
4. Найбільша ширина стрічки, мм.....	300
5. Крок подачі, мм:	до 300
6. Швидкість подачі, мм\хвил.....	15
7. Маса комплексу, кг.....	11300
8. Габаритні розміри, мм	
довжина	5600
ширина	2080
висота	3675

3.1.3 Склад комплексу

Комплекс складається з наступних основних агрегатів і вузлів (рис. 3.1.):



- 1 – прес, 2-розмотуючий пристрій; 3 – правильний пристрій;
 4 – валкова подача; 5 – ножиці для різання відходів;
 6 – пристрій компенсації похибок обладнання.

Рисунок 3.1 – Схема автоматизованого штампувального комплексу

3.2 Розрахунок комплексу для штампування деталей із стрічки

Розрахунок базового пресу виконується з застосуванням прикладної програми Mathcad [18, 19]. Професійне середовище “Mathcad» розраховане на роботу в операційному середовищі “Windows” і має ряд переваг в порівнянні з іншими математично-орієнтованими програмними середовищами: зручний та простий інтерфейс, простота корегування та керування, швидкість та дизайн побудови графіків, можливість роботи в декількох програмних середовищах з обміном даних між ними тощо.

Програма автоматизованого проектування складових елементів комплексів (розрахунковий модуль) має назву “PressCad” і розрахована на роботу в середовищі “Mathcad”. Розрахунок основних параметрів базового пресу комплексу наведено в додатку В.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Під час підготовки будь-якого виробництва застосовуються багато різноманітних технологій. Серед них чільне місце займають технології холодного листового штампування (ТХШ). Листове штампування надає можливість отримувати деталі низької собівартості, вирішувати проблеми виготовлення великих партій деталей у стислі терміни, забезпечувати високу якість і ідентичність продукції.

В різних галузях промисловості частка виробів виготовлених засобами листового штампування складає від 50 % до 80 %. Особливо високі показники застосування ТХШ можна побачити в автомобілебудуванні, сільгоспмашинобудуванні, електротехнічній галузі.

Найбільш складні технології листового штампування пов'язані з виготовленням різного роду просторових деталей (скоби, кронштейни, профілі, ковпачки з фланцем та без фланцю, коробчасті деталі, кільця тощо).

При розробці ТХШ вирішуються ціла низка оптимізаційних задач.

Серед них:

- оптимізація розкрою матеріалу;
- оптимізація послідовності виконання операцій;
- вибір типу штампного оснащення;
- вибір штампного обладнання.

Не завжди рішення цих задач є однозначним. В більшості випадків потрібно порівнювати варіанти за критерієм собівартості.

Тому робота, яка направлена на вдосконалення існуючих технологій та розробку нових, є актуальною і має практичну цінність;

2. Розроблено прогресивний технологічний процес штампування деталі «Кільце», де обґрунтовується можливість об'єднання чотирьох операцій в одну та застосування автоматизованого комплексу для штампування деталі із стрічки, що дозволяє зменшити кількість робочих місць, оснащення, підвищити якість штампування та скоротити час підготовки виробництва;

3. Спроектовано складальний кресленик штампу суміщеної дії для вирубування-витягування-формування деталі «Кільце» з застосуванням вихідного матеріалу стрічки замість штаби, що може бути використано, після певних доопрацювань (проекування повного комплексу документації), у реальному виробництві або скоротити час підготовки виробництва інших типових деталей;

4. Спроековано автоматизований комплекс для штампування деталі із стрічки на базі кривошипного пресу номінальним зусиллям 1000 кН, що дозволяє суттєво підвищити продуктивність виготовлення деталей типу «Кільце».

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. Кришка твіст офф. URL: <https://www.google.com/search?q=%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%88%D0%BA%D0%B8+%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D1%80%D1%83%D1%82%D0%BA%D0%B8+%D0%B4%D0%BF%D1%8F+%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BA&oq=%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%88%D0%BA%D0%B8+%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D1%80%D1%83%D1%82%D0%BA%D0%B8+%D0%B4%D0%BF%D1%8F+%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BA&aqs=chrome..69i57j0i22i30j0i512i546j0i546i649l2.26101j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8#imgrc=WnCrDHMJ8ZFy5M&imgdii=Us31oJdDYRQqM> (дата звернення: 20.05.2024).
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 штамів. Штамп 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. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Конструювання та виготовлення штамів». Частина 1 «Холодне штампування» для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка, спеціалізації «Обладнання та технології пластичного формування конструкцій машинобудування» всіх форм навчання. /Укл.: Матюхін А.Ю. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 58 с.
14. Методичні вказівки до практичних занять студентів кредитного модуля «Технологія холодного штампування та конструювання штамів 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.

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. Мансу

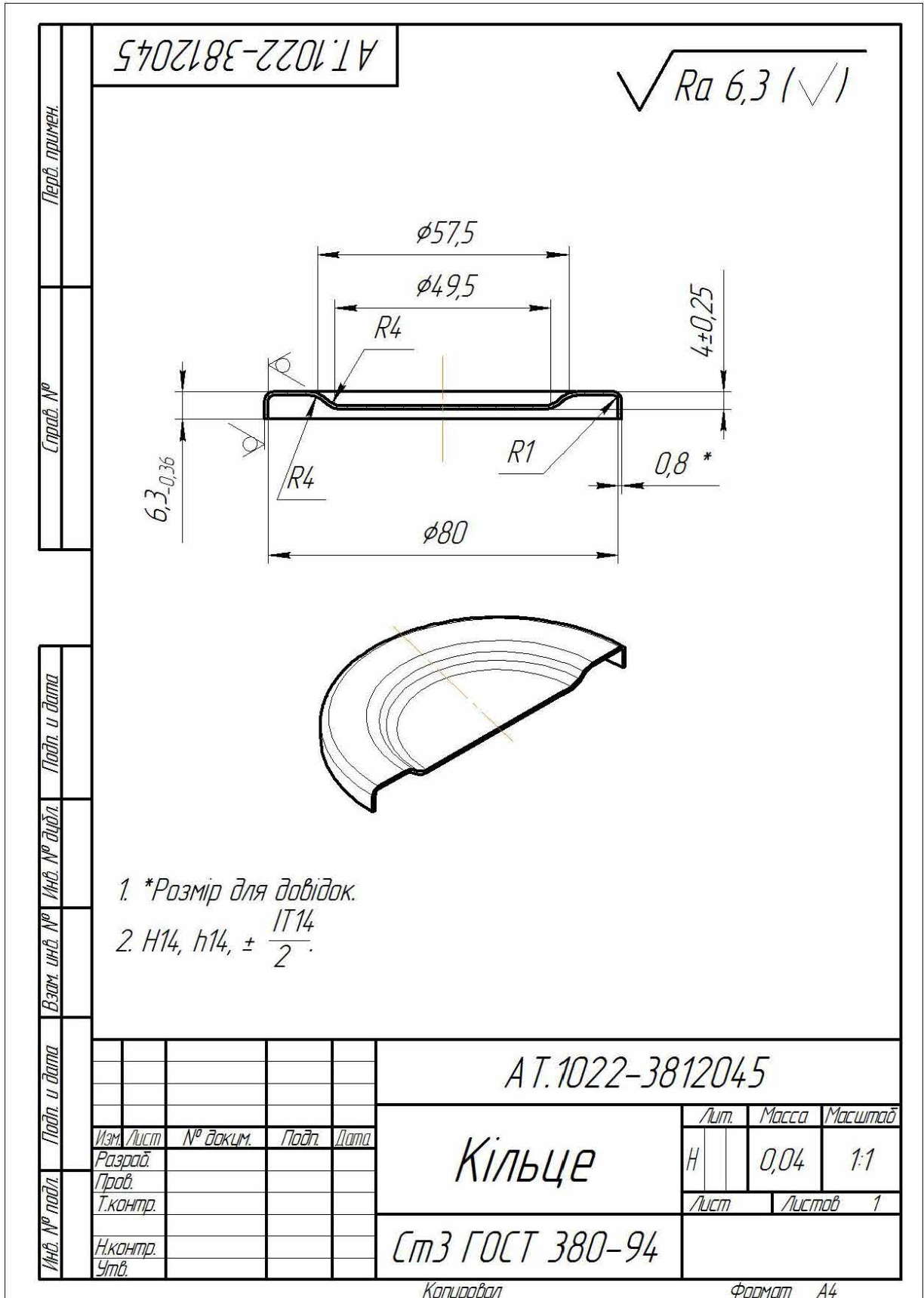
ров И.З., Подрабинник И.М. Специальные кузнечно-прессовые машины и автоматизированные комплексы КГПП: Справочник,-М.: Машиностроение, 1990.-341 с.

18. Плєснецов Ю. О. Ковальськo-штaмпувальнe облaднaння. Мехaнiчнi преси: навч. посiб. / 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. посiб. – Д.: Вид-во Днiпропетр. ун-ту, 2004. – 108 с. ISBN 966-551-134-3 ь

Додатки

ДОДАТОК А
Кресленик деталі «Кільце»



ДОДАТОК В

Розрахунок базового пресу комплексу в програмі «PressCad»

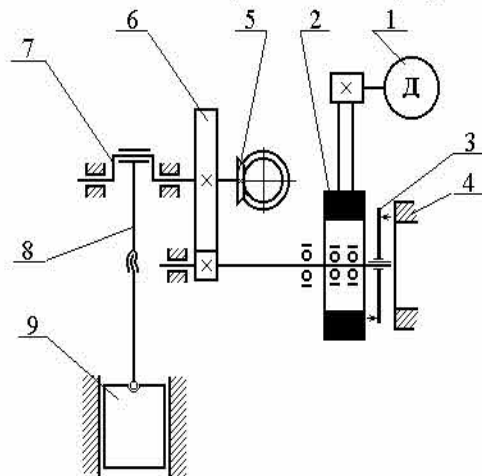
Розрахунок базового пресу комплексу в програмі «PressCad»

Початкові дані преса

Номінальне зусилля преса, МН	P _н := 1
Хід повзуна преса, мм	S := 130
Кількість ходів повзуна преса в хвилину, мин ⁻¹	n _х := 90
Коефіцієнт довжини шатуна преса	λ := 0.11

Вибір кінематичної схеми і вибір передаточних відношень

Кінематична схема кривошпінного пресу



```

nx := READ("nx.dat")
nc := READ("nc.dat")
  
```

Кинематическая схема прессы:

1-електродвигатель; 2-маховик; 3-муфта; 4-тормоз;
5-коническая передача привода автоподачи; 6-зубчатая передача; 7-коленчатый вал; 8- шатун; 9-ползун.

◀ Вибір схеми ▶

Визначення передаточних відношень передач

Вибір електродвигуна

Довідка

Вибраний електродвигун з кількістю обертів в хвилину: nc := 860

Загальне передаточне відношення $I := \frac{nc}{n_x}$ I = 1

Приймаємо I := 9.5

Значення передаточних відношень окремих передач

Довідка

Передаточне відношення клиноремінної передачі i1 := 2.714

Передаточне відношення швидкохідної ступені зубчатої передачі i2 := 3.5

Перевірка ($I_s = i1 \cdot i2 \cdot i3 \dots i_n = I$) I_s = 1

WRITE("i1.dat") := i1

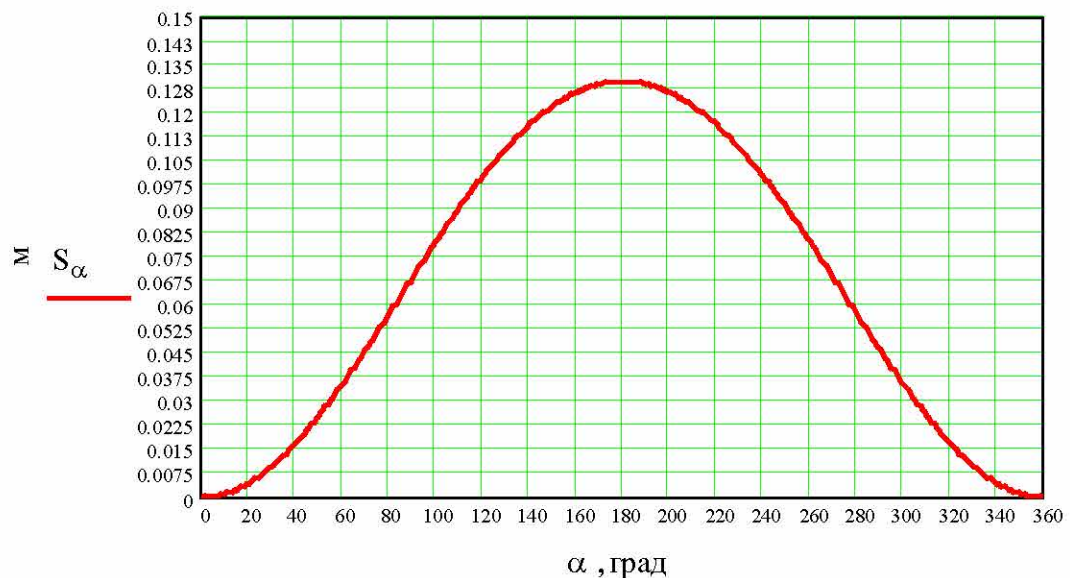
WRITE("i2.dat") := i2

WRITE("i3.dat") := i3

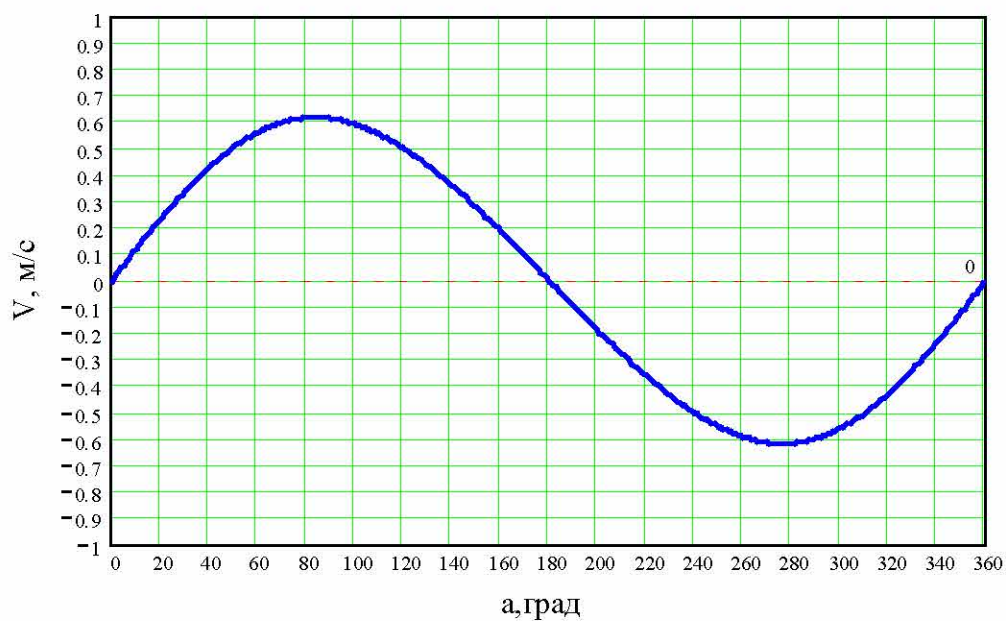
Розрахунок кінематичних параметрів

Хід повзуна, м		$S = 0.13$
Радіус кривошипа, м	$R := \frac{S}{2}$	$R = 0.065$
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	$\omega := \frac{\pi \cdot nX}{30}$	$\omega = 9.425$
Коефіцієнт довжини шатуна		$\lambda = 0.11$
Шлях повзуна, м	$S_{\alpha} := R \cdot \left[(1 - \cos(\alpha \cdot r)) + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos(2 \cdot \alpha \cdot r)) \right]$	
Швидкість повзуна, м/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, м ² /с	$J_{\alpha} := -\omega^2 \cdot R \cdot (\cos(\alpha \cdot r) + \lambda \cdot \cos(2 \cdot \alpha \cdot r))$	

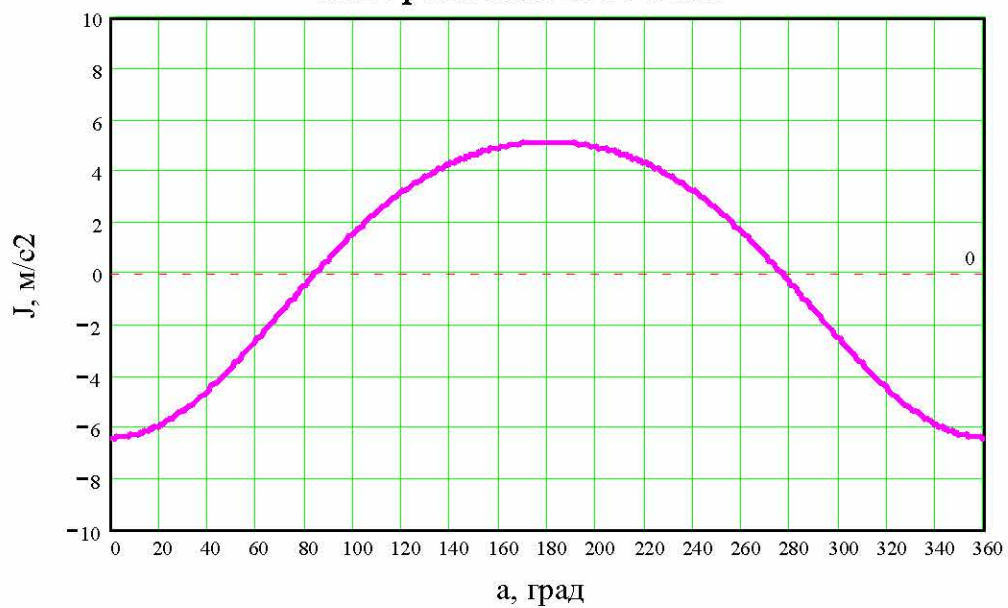
Графік залежності шляху повзуна від кута повороту головного валу



Графік залежності швидкості повзуна
від кута повороту головного валу



Графік залежності прискорення повзуна від
кута повороту кривошипа
повороту главного вала



Результати розрахунку

$\alpha =$	$S_{\alpha} =$	$V_{\alpha} =$	$J_{\alpha} =$	$\alpha =$
0	0	0	-6.409	0
1	$1.099 \cdot 10^{-5}$	0.012	-6.408	1
2	$4.395 \cdot 10^{-5}$	0.024	-6.404	2
3	$9.887 \cdot 10^{-5}$	0.036	-6.397	3
4	$1.757 \cdot 10^{-4}$	0.047	-6.389	4
5	$2.745 \cdot 10^{-4}$	0.059	-6.377	5
6	$3.951 \cdot 10^{-4}$	0.071	-6.363	6
7	$5.376 \cdot 10^{-4}$	0.083	-6.347	7
8	$7.018 \cdot 10^{-4}$	0.095	-6.328	8
9	$8.877 \cdot 10^{-4}$	0.106	-6.307	9
10	$1.095 \cdot 10^{-3}$	0.118	-6.283	10
11	$1.324 \cdot 10^{-3}$	0.13	-6.257	11
12	$1.575 \cdot 10^{-3}$	0.141	-6.228	12
13	$1.847 \cdot 10^{-3}$	0.153	-6.197	13
14	$2.14 \cdot 10^{-3}$	0.164	-6.163	14
15	$2.454 \cdot 10^{-3}$	0.175	-6.127	15

Силовий розрахунок

Тип головного вала

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

Кривошипний вал

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

Розрахунок геометричних параметрів

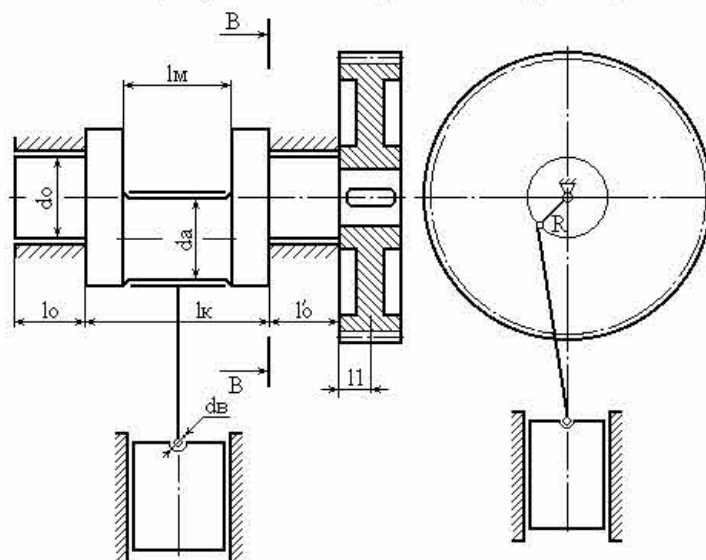


Схема одноколенчатого вала с односторонним зубчатым приводом

Діаметр опорної шийки, мм	$d_0 := 14 \cdot \sqrt{P_n}$	$d_0 = 14$
	Приймаємо	$d_0 := 125$
Діаметр опорної головки шатуна, мм	Приймаємо	$d_b := 130$
Діаметр шатунної шийки шатуна, мм	$d_a := d_0 \cdot 1.25$	$d_a = 156.25$
	Приймаємо	$d_a := 160$
Довжина опорної шийки вала, мм (конструкт.)	Приймаємо	$l_0 := 115$
Довжина шатунної шийки, мм (конструктивно)	Приймаємо	$l_m := 170$
		$l_k := 300$
Радіуси галтелей від щік до шийок, мм	$r_{щ} := 0.08 \cdot d_0$	$r_{щ} = 10$

Коефіцієнт тертя:

при рідинному змащенні	$f = 0.03 \dots 0.04$	
при твердому змащенні	$f = 0.05 \dots 0.06$	$f := 0.06$

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

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

Приведенне відносне плече сили кривошипного преса з центральним кривошипно-повзунним механізмом, мм

$$M_{kf\alpha} := \frac{1}{2} \cdot f \cdot [(1 + \lambda) \cdot d_a + \lambda \cdot d_b + d_0]$$

Приведенне плече сили в реальному механізмі, мм

$$M_{k\alpha} := M_{ki\alpha} + M_{kf\alpha}$$

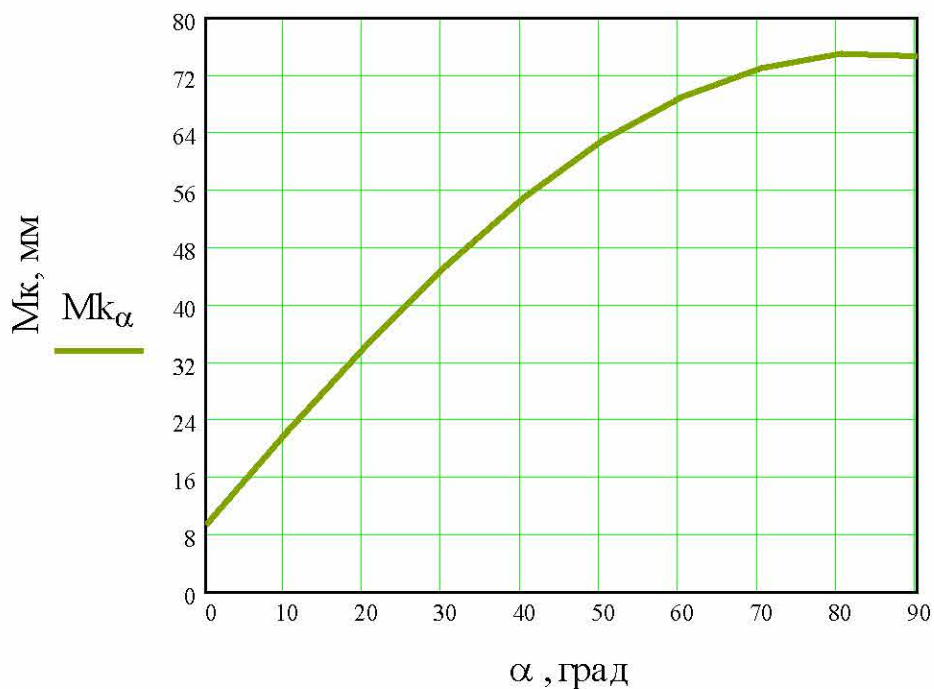
● **Результати розрахунків**

● **Графік**

Результати розрахунків

$\alpha =$	$M_{ki_\alpha} =$	$M_{kf_\alpha} =$	$M_{k_\alpha} =$	$\alpha =$
0	0	9.573	9.573	0
10	12.51	9.573	22.083	10
20	24.529	9.573	34.102	20
30	35.596	9.573	45.169	30
40	45.302	9.573	54.875	40
50	53.314	9.573	62.887	50
60	59.388	9.573	68.961	60
70	63.378	9.573	72.951	70
80	65.235	9.573	74.808	80
90	65	9.573	74.573	90

Графік залежності приведенного плеча сили від кута повороту головного валу



Розрахунок головного валу на міцність

Межа витривалості при згині, МПа

Довідка

$\sigma_H := 360$

Константа міцності при крутінні в перерізі В-В, визначається з графіка

Графік

$\Phi_\tau := 4.2$

Коефіцієнт запаса міцності

Довідка

$n := 1.3$

Коефіцієнт еквівалентного навантаження

Довідка

$k_e := 0.8$

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

$$Pde_\alpha := \frac{0.2 \cdot d_o^3 \cdot \sigma_H}{k_e \cdot n \cdot (\Phi_\tau)^{0.5} \cdot (Mk_\alpha + 0.17 \cdot d_o)}$$

Результати розрахунку

$\alpha =$	$Pde_\alpha =$
0	$2.141 \cdot 10^6$
15	$1.335 \cdot 10^6$
30	$9.934 \cdot 10^5$
45	$8.21 \cdot 10^5$
60	$7.314 \cdot 10^5$
75	$6.916 \cdot 10^5$
90	$6.885 \cdot 10^5$
105	$7.186 \cdot 10^5$
120	$7.853 \cdot 10^5$
135	$9.012 \cdot 10^5$
150	$1.096 \cdot 10^6$
165	$1.439 \cdot 10^6$
180	$2.141 \cdot 10^6$

Розрахунок зубчатої передачі

Допускаємо нормальне контактне напруження з врахуванням деякої пластичної деформації зуб'їв, МПа	Довідка	$\sigma_{kmax} := 1310$
Коефіцієнт, який враховує модуль пружності матеріала зубчатого колеса і шестерні	Довідка	$C := 2140$
Коефіцієнт, який враховує кут зацеплення і кут нахилу зуб'їв	Довідка	$C1 := 1$
Коефіцієнт перевантаження. Для ковальсько-пресових машин, які мають запобіжники $k1п=1.3$		$k1п := 1.3$
Коефіцієнт концентрації навантаження	Довідка	$k2 := 1.15$
Коефіцієнт, який враховує динамічне навантаження в зацепленні	Довідка	$k4 := 1.3$
Коефіцієнт навантаження при розрахунку по пластичним деформаціям, що допускаються	$Kp := k1п \cdot k2 \cdot k4$	$Kp = 1.944$
Кут нахилу зуб'їв, град	Приймаємо	$\beta := 0$
Кількість зуб'їв шестерні (конструктивно)	Приймаємо	$Zш := 20$
Кількість зуб'їв колеса	$Zk := i2 \cdot Zш$	$Zk = 70$
	Приймаємо	$Zk := 123$
Модуль зацеплення зуб'їв, мм	$mn := d0 \cdot 0.09$	$mn = 11.25$
	Приймаємо	$mn := 14$
Радіус початкового кола зубчатого колеса, мм	$Rk := 0.5 \cdot mn \cdot Zk$	$Rk = 861$
	Приймаємо	$Rk := 984$

Ширина зубчатого колеса, мм	$B_k := 10 \cdot m_n$	$B_k = 140$
	Приймаємо	$B_k := 120$
Ширина шестерні, мм	$B_{ш} := B_k + 25$	$B_{ш} = 145$

Крутний момент, що допускається пластичною деформацією зубів, Н·м

$$M_{kn} := \left(\frac{\sigma_{kmax}}{10 \cdot C \cdot C1 \cdot \cos(\beta \cdot r)} \right)^2 \cdot \frac{Z_k^2 \cdot m_n^2 \cdot B_k}{K_p \cdot (i2 + 1)}$$

$M_{kn} = 152463.374$

Коефіцієнт, який враховує форму зуба: колеса шестерні	Довідка	$Y_k := 0.177$ $Y_{ш} := 0.141$
---	----------------	------------------------------------

Коефіцієнт, який враховує ступінь перекриття	Довідка	$k_{\epsilon} := 1.0$
--	----------------	-----------------------

Коефіцієнт перевантаження		$k_1 := 1$
---------------------------	--	------------

Коефіцієнт еквівалентного навантаження	Довідка	$k_{34} := 0.6$
--	----------------	-----------------

Коефіцієнт навантаження при згині	$k_u := k_1 \cdot k_2 \cdot k_{34} \cdot k_4$	$k_u = 0.897$
-----------------------------------	---	---------------

Коефіцієнт, який враховує навантаження зубчастої передачі гальмуючим моментом	Довідка	$v := 0.15$
---	----------------	-------------

Коефіцієнт, який враховує концентрацію навантаження: колеса шестерні	Довідка	$\Phi_{\sigma k} := 2.2$ $\Phi_{\sigma ш} := 2.15$
--	----------------	---

Коефіцієнт, який залежить від межі стомленості: колеса шестерні	Довідка	$\psi_{\sigma k} := 0.1$ $\psi_{\sigma ш} := 0.2$
---	----------------	--

Коефіцієнт, який враховує масштабний фактор колеса	$\Phi_{\sigma k} := \Phi_{\sigma k} + \psi_{\sigma k}$	$\Phi_{\sigma k} = 2.3$
--	--	-------------------------

Коефіцієнт, який враховує масштабний фактор шестерні	$\Phi_{\sigma ш} := \Phi_{\sigma ш} + \psi_{\sigma ш}$	$\Phi_{\sigma ш} = 2.35$
--	--	--------------------------

Коефіцієнт запасу міцності на витривалість при згині в випадку нереверсивного навантаження		$n_H := 2.2$
--	--	--------------

Межа витривалості матеріалу при згині, МПа:

колеса
шестерні

Довідка

$$\sigma_{uk} := 245$$

$$\sigma_{uш} := 360$$

Допускаемый крутний момент, який передається колесом виходячи із втомленої міцності зуб'їв колеса, Н *м

$$M_{ku} := \frac{Y_k \cdot mn^2 \cdot Z_k \cdot B_k \cdot \sigma_{uk} \cdot k_\epsilon}{340 \cdot k_u \cdot (1 + \nu) \cdot \Phi \sigma_k \cdot n_H \cdot \cos(\beta \cdot r)}$$

$$M_{ku} = 70690.664$$

Допускаемый крутний момент на колесі виходячи із втомленої міцності зуб'їв шестерні на згин, Н *м

$$M_{kш} := \frac{Y_{ш} \cdot mn^2 \cdot Z_k \cdot B_{ш} \cdot \sigma_{уш} \cdot k_\epsilon}{340 \cdot k_u \cdot (1 + \nu) \cdot \Phi \sigma_{ш} \cdot n_H \cdot \cos(\beta \cdot r)}$$

$$M_{kш} = 97856.81$$

Допускаєме нормальне контактне напруження, виходячи із міцності на витривалість поверхні зуб'їв, МПа:

колеса
шестерни

Довідка

$$\sigma_k := 625$$

$$\sigma_{ш} := 1180$$

Коефіцієнт еквівалентного навантаження, який враховує змінність режиму роботи і розрахунковий термін служби

Довідка

$$k_{3k} := 0.5$$

Коефіцієнт навантаження при розрахунку на міцність по витривалості поверхні зуб'їв

$$K_k := k_2 \cdot k_{3k} \cdot k_4 \quad K_k = 0.747$$

Допускаемый крутний момент на колесі виходячи із межі витривалості поверхні зуб'їв, Н*м

$$M_{kk} := \left(\frac{\sigma_k}{10 \cdot C \cdot C_1 \cdot \cos(\beta)} \right)^2 \cdot \frac{Z_k^2 \cdot mn^2 \cdot B_k}{K_k \cdot (i^2 + 1)}$$

$$M_{kk} = 90231.114$$

Допускаемый крутний момент виходячи із міцності на витривалість поверхні зуб'їв шестерні, Нм

$$M_{kш} := \left(\frac{\sigma_{ш}}{10 \cdot C \cdot C_1 \cdot \cos(\beta)} \right)^2 \cdot \frac{Z_{ш}^2 \cdot mn^2 \cdot B_{ш}}{K_k}$$

$$M_{kш} = 46239.096$$

Мінімальний крутний момент, який допускається міцністю зубчатої передачі, Н·м

$$M_m := (M_{kn} \quad M_{ku} \quad M_{kш} \quad M_{kk} \quad M_{крш})$$

$$M_{min} := \text{floor}(\min(M_m)) \quad M_{min} = 46239$$

Коефіцієнт, який враховує кількість тихохідних зубчатих коліс в приводі преса і число точок підвіски повзуна

Довідка

$$n := 1.0$$

Зусилля на повзуні, яке допускається міцністю тихохідної зубчатої передачі, Н

$$Pd3_{\alpha} := \frac{n \cdot M_{min}}{Mk_{\alpha} \cdot 10^{-3}}$$

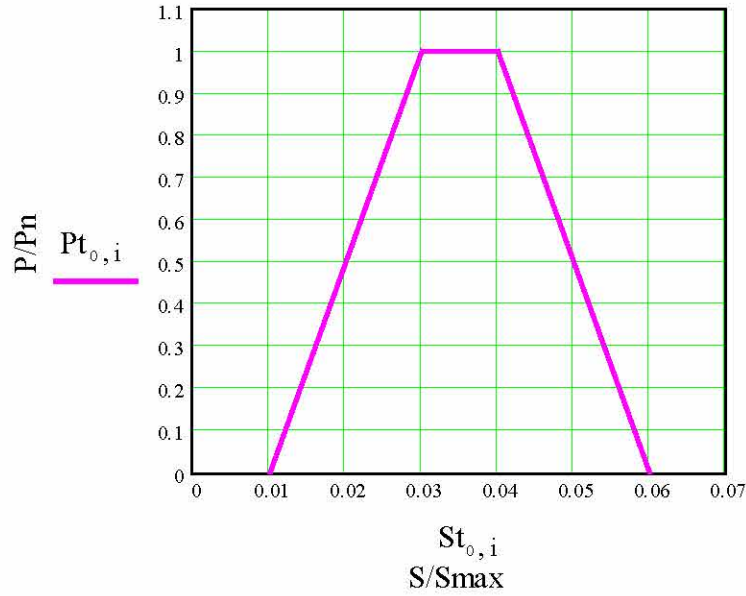
Результати розрахунку

$\alpha =$	$Pd3_{\alpha} =$
0	$4.83 \cdot 10^6$
5	$4.269 \cdot 10^6$
10	$3.824 \cdot 10^6$
15	$3.464 \cdot 10^6$
20	$3.166 \cdot 10^6$
25	$2.916 \cdot 10^6$
30	$2.702 \cdot 10^6$
35	$2.519 \cdot 10^6$
40	$2.359 \cdot 10^6$
45	$2.218 \cdot 10^6$
50	$2.094 \cdot 10^6$
55	$1.983 \cdot 10^6$
60	$1.884 \cdot 10^6$
65	$1.795 \cdot 10^6$
70	$1.714 \cdot 10^6$
75	$1.641 \cdot 10^6$

Технологічні графіки навантажень для операції вирубки:

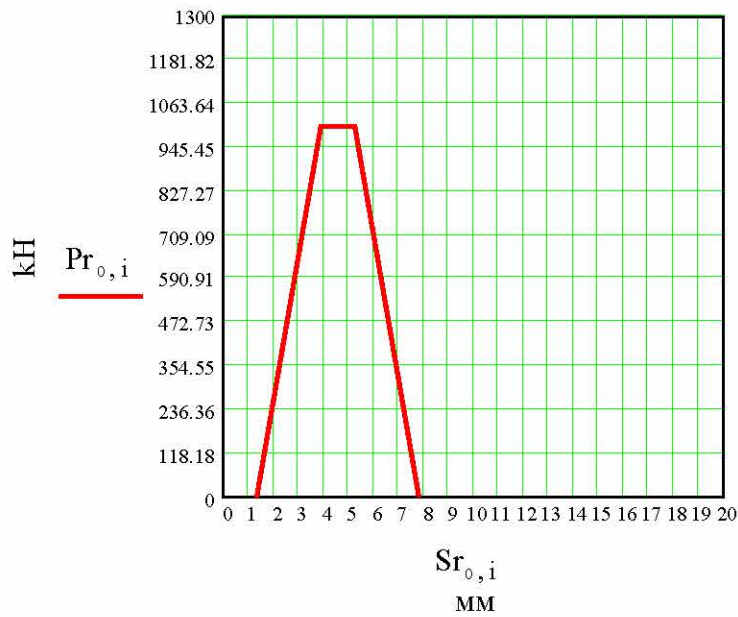
Типовий графік залежності зусилля від деформації

для операції "Вирубка"
 $i := 0..3$ $Pt := (0 \ 1 \ 1 \ 0)$ $St := (0.01 \ 0.03 \ 0.04 \ 0.06)$



Реальний графік залежності зусилля від деформації для операції "Вирубка"

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



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

0	1.3
$1 \cdot 10^3$	3.9
$1 \cdot 10^3$	5.2
0	7.8

Графік залежності зусилля преса від пружної деформації

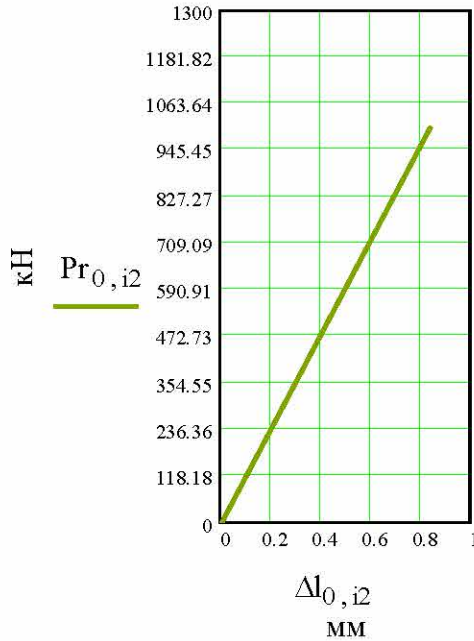
Жорсткість пресу, МН/м

$C := 1200$

Пружня деформація деталей и вузлів преса, мм

$\Delta := \frac{Pn}{C} \quad \Delta = 0.833$

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

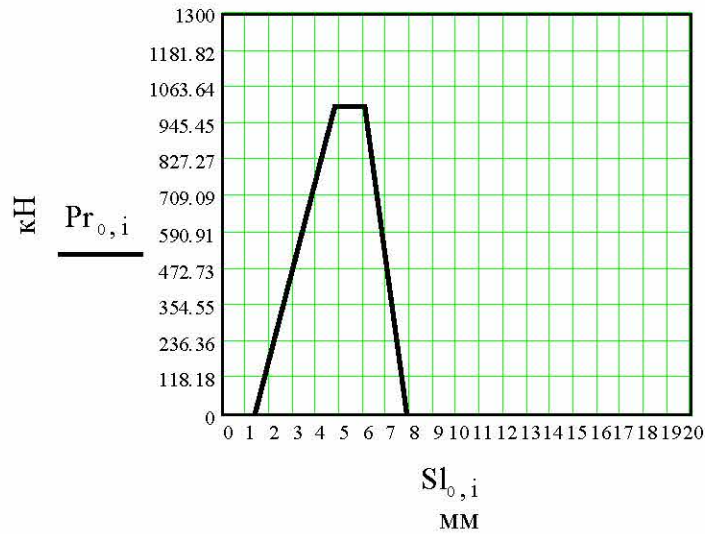


$Pr_{0,i2} \quad \Delta l_{0,i2} =$

0	0
$1 \cdot 10^3$	0.833

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

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

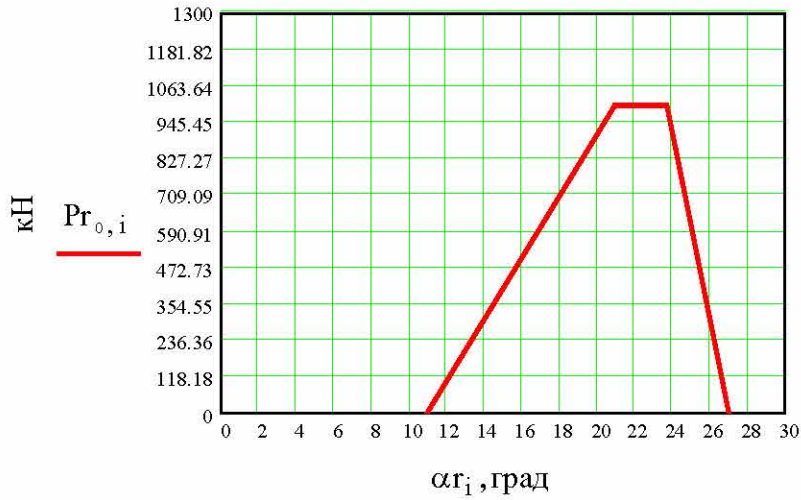


$Sl_{0,i} = \quad Pr_{0,i} =$

1.3	0
4.733	$1 \cdot 10^3$
6.033	$1 \cdot 10^3$
7.8	0

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

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



$\alpha_{r_i} =$	$Pr_{0,i} =$
10.894	0
20.902	$1 \cdot 10^3$
23.643	$1 \cdot 10^3$
26.961	0

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

Графік залежності крутного моменту на
головному валу від кута повороту

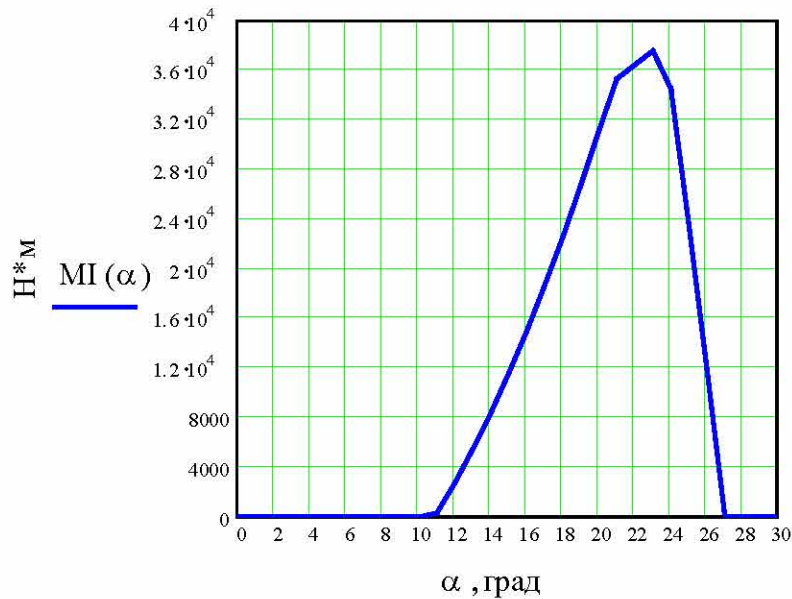
Поточне значення зусилля деформації, кН

$$Pw_{\alpha} := \text{if} (\text{linterp} (\alpha_r, Pr2, \alpha) < 0, 0, \text{linterp} (\alpha_r, Pr2, \alpha))$$

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, Н *м

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

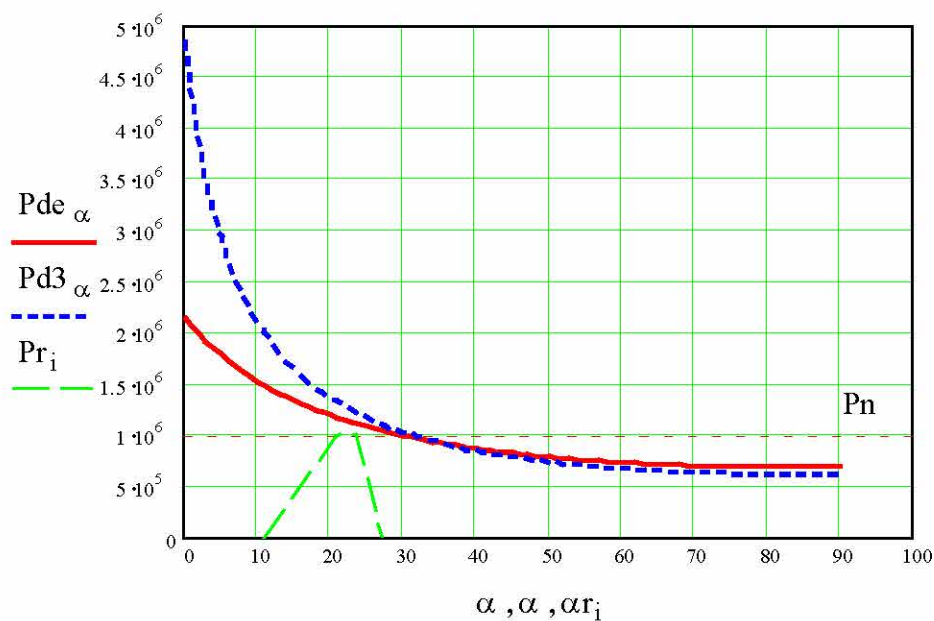
$$M_{\max} = 37542$$

Площина графіка, мм²

$$F := \int_0^{30} M_I(\alpha) d\alpha$$

$$F = 321166.068$$

Графік зусиль на повзуні



Енергетичний розрахунок

Витрата енергії за час робочого ходу, Дж $A_p := 0.0175 \cdot F$ $A_p = 5620.406$

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

● Витрата енергії на включення муфти, Дж $A_m := 3000$

Загальна витрата енергії, Дж $A_s := A_p + A_x + A_m$ $A_s = 11070.406$

Коефіцієнт запаса потужності електродвигуна Довідка $k := 1.3$

Коефіцієнт використання ходів $p := 0.3$

Час циклу, с $t := \frac{60}{n \cdot p}$ $t = 2.222$

Розрахункова потужність електродвигуна, кВт $N := \frac{k \cdot A_s}{1000 \cdot t}$ $N = 6.476$

Вибір електродвигуна

4A132M6У3

потужність, кВт

кількість обертів, об/мин

Довідка

$N_d := 7.5$

$n := 860$

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 $\omega_m = 25.579$

Кут повороту головного валу при максимальному навантаженні, рад $\alpha_n := \alpha r_3 \cdot \frac{\pi}{180}$ $\alpha_n = 0.471$

Коефіцієнт, що враховує форму графіка навантаження $k_f := 1 - \frac{\alpha_n}{2 \cdot \pi}$ $k_f = 0.925$

Момент інерції махових мас привода, кг * м² $I := k_f \cdot \frac{A_p}{\omega_m^2 \cdot \delta}$ $I = 30.874$

Момент інерції маховика, кг * м² $I_m := I - I_{MS}$ $I_m = 25.195$

Час розгону маховика, с $t_p := \frac{1.2 \cdot I_m \cdot \omega_m^2}{1000 \cdot N_d}$ $t_p = 2.638$

