

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

«Допущено до захисту»  
Зав. кафедри ММР  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти  
на тему:  
**«Використання розрахункових та графічних модулів САПР при  
проектуванні штампового оснащення»**  
**« Use of calculation and graphic CAD modules  
in the design of stamping equipment »**

Виконав здобувач вищої освіти  
II курсу, групи ПМ-23М-2  
спеціальності 131  
«Прикладна механіка»,  
\_\_\_\_\_ Калашник О. П.

Керівник проекту  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Володимир МІРЗАК

Рецензент  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_

м. Кропивницький  
2024

**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Факультет: *Механіко-технологічний*

Кафедра: *«Машинобудування, мехатроніка і робототехніка»*

Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*

Галузь знань: *13 «Механічна інженерія»*

Спеціальність: *131 «Прикладна механіка»*

Освітньо-професійна програма: *«Прикладна механіка»*

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри ММР

канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ Андрій Гречка

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
*Калашнику Олександрю Петровичу***

1. Тема роботи: *«Використання розрахункових та графічних модулів САПР при проектуванні штампового оснащення».*

2. Керівник роботи: *Мірзак Володимир Якович, к. т. н., доцент.*

3. Строк подання роботи до захисту: *30 листопада 2024 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: скорочення термінів підготовки виробництва шляхом використання розрахункових та графічних модулів САПР при проектуванні штампового оснащення.

Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; визначити найбільш трудомісткі етапи проектування штампового оснащення; проаналізувати можливість застосування існуючого програмного забезпечення

при проектуванні штампового оснащення, розробити розрахункові модулі у відповідних програмних середовищах; виконати розрахунки з економічної частини.

5. Консультант по роботі, із зазначенням розділу роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 5 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., к. т. н., доцент.	2.09.2024 р.	24.11.2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2024 р.	
2	Обґрунтування застосування відповідного програмного забезпечення, розробка відповідних розрахункових модулів.	05.11.2024 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові.	15.11.2024 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту.	25.11.2024 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат.	26.11.2024 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи.	29.01.2024 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	15.12.2024 р.– 30.12.2024 р.	

Дата видачі завдання  
30 серпня 2024 р.

Підпис керівника  
\_\_\_\_\_ Мірзак В. Я.

Завдання прийнято до виконання  
30 серпня 2024 р.

Підпис здобувача  
\_\_\_\_\_ Калашник О. П.

Завдання прийняв до виконання

О. П. Калашник

## АНОТАЦІЯ

Калашник О. П. «Використання розрахункових та графічних модулів САПР при проектуванні штампового оснащення, ОПП – «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Метою дослідження є скорочення термінів підготовки виробництва шляхом використання розрахункових та графічних модулів САПР при проектуванні штампового оснащення. Проаналізовано технологічні та конструкторські розрахунки при проектуванні штампового оснащення та виявлено найбільш трудомісткі з них. Розроблена методика застосування програмного забезпечення при підготовці розрахунково-пояснювальної записки до проекту штампового оснащення у вигляді структурної схеми;

Розроблено фрагменти шаблонів розрахункових модулів проектування штампів гарячого штампування з використанням математичної програми MathCad, Microsoft Excel та САПР SolidWorks;

Розроблено фрагменти шаблонів розрахункових модулів проектування штампів холодного листового штампування з використанням математичної програми MathCad та САПР SolidWorks та шаблон модуля розрахунку кінематичних параметрів кривошипного пресу з використанням математичної програми MathCad та САПР SolidWorks;

Розроблено рекомендації до системного застосування доступного програмного забезпечення фаховими спеціалістами при проектуванні штампового оснащення в умовах підготовки виробництва промислових виробів.

Ключові слова: **підготовка виробництва, розрахункові модулі, проектування штампів, структурна схема, шаблони розрахунків**

## ANNOTATION

Kalashnyk O. P. "Use of computational and graphical CAD modules in the design of die equipment, OPP – "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The purpose of the study is to reduce the time for production preparation by using computational and graphical CAD modules in the design of die equipment. Technological and design calculations in the design of die equipment were analyzed and the most labor-intensive of them were identified. A methodology for using software in the preparation of a calculation and explanatory note to the design of die equipment in the form of a structural diagram was developed.

Fragments of templates for the calculation modules for the design of hot stamping dies were developed using the mathematical program MathCad, Microsoft Excel and SolidWorks CAD.

Fragments of templates of calculation modules for the design of cold sheet stamping dies using the mathematical program MathCad and SolidWorks CAD and a template of the module for calculating the kinematic parameters of a crank press using the mathematical program MathCad and SolidWorks CAD have been developed;

Recommendations have been developed for the systematic use of available software by specialists when designing die equipment in the conditions of preparing the production of industrial products.

Keywords: **production preparation, calculation modules, die design, structural diagram, calculation templates**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	
Розділ 1. ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМУ РОБОТИ.....	
1.1 Типові розрахунки, які виконуються при проектуванні штампів для гарячого штампування .....	
Висновки .....	
Розділ 2. МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ	
2.1. Методи дослідження та інструменти для виконання роботи	
2.2 Розробка структурної схеми взаємодії програмного забезпечення при створенні шаблону розрахунково-пояснювальної записки .....	
Розділ 3. РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВИХ ТА ГРАФІЧНИХ МОДУЛІВ САПР ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ".....	
3.1 Розробка шаблону розрахунково-пояснювальної записки до проекту молотового штамп в середовищі математичної програми MathCAD.....	
3.2 Розробка шаблону розрахунково-пояснювальної записки до проекту штамп холодно листового штампування в середовищі математичної програми MathCAD .....	
3.3 Розробка шаблону розрахунково-пояснювальної записки розрахунку кінематичних параметрів кривошипного пресу в середовищі математичної програми MathCAD.....	
3.4 Рекомендації до системного застосування розрахункових та графічних модулів САПР при проектуванні штампового оснащення.....	
Розділ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	
5.1 Розрахунок витрат на виконання госпрозрахункової науково-дослідної роботи.....	
5.2 Розрахунок договірної ціни та прибутку НДР.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	

## ВСТУП

### Актуальність теми

Підготовка виробництва будь-якого виробу підвищеної складності на підприємстві складається з трьох основних стадій: конструкторської, технологічної та, власне, самого виробництва. Від того, наскільки швидко така підготовка буде здійснена, залежить конкурентоспроможність підприємства. Узагальнені витрати часу на підготовку виробництва зазначених вище стадій можна оцінити наступним чином: конструкторська – від 20 % до 30 %; технологічна – від 45 % до 55 % і виробництво від 15 % до 35 %. З наведених даних видно, що найбільш трудомісткою стадією є стадія технологічної підготовки виробництва. До цієї стадії, окрім розробки технологічних процесів виготовлення деталей і складання, відноситься проектування і виготовлення різного роду інструменту і технологічного оснащення. Велику частку робіт в цьому напрямку складають роботи по проектуванню штампового оснащення (штампи для холодного і гарячого штампування). Штампи, в більшості випадків, є складними конструкціями, на проектування яких витрачається від двох тижнів до двох і навіть трьох місяців. Під час проектування штампового оснащення виконується великий обсяг розрахункових робіт як технологічного так і конструкторського характеру з обґрунтуванням його роботоздатності. Існує багато різних методик розрахунку як самої технології виготовлення деталей виробу так і конструктивних так і конструювання штампів. Але в більшості випадків такі розрахунки виконуються вручну з застосуванням звичайних офісних калькуляторів. Для розробників сучасних систем автоматизованого проектування (САПР) такі дрібні роботи лишаються поза їх увагою через низьку рентабельність. Вирішити це питання можливо за рахунок використання вже існуючих на ринку програмного забезпечення продуктів. До таких продуктів можна віднести: звичайні офісні програми на кшталт Microsoft Excel, Microsoft Access, Microsoft Word; математичні програми MathCad, MathLab, креслярськографічні редактори типу SolidWorks, AutoCAD. Ці

програми можна використовувати як окремо, так і в комбінації одна з одною, що дозволяє вирішувати широке коло задач і різко скорочує витрати часу на проектні роботи.

Дана робота є спробою продемонструвати деякі можливості використання зазначеного програмного забезпечення при проектуванні штампового оснащення, може мати практичну цінність для проектувальників інструменту відповідних технологічних служб і відділків, направлена на скорочення термінів підготовки виробництва, що підтверджує її актуальність.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дослідження виконувалися на підставі внутрішньовузівської науково-дослідної роботи «Підвищення якості тонколистового розділового штампування механічним компенсатором похибок системи прес-штамп» (№ ДР 0113u003618), в якій автор брав участь як виконавець.

### **Мета і задачі дослідження**

Мета дослідження – скорочення термінів підготовки виробництва шляхом використання розрахункових та графічних модулів САПР при проектуванні штампового оснащення».

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані наступні задачі:

- проаналізувати технологічні та конструкторські розрахунки при проектуванні штампового оснащення та виявити найбільш трудомісткі;
- розробити шаблони розрахункових модулів проектування штампів гарячого штампування з використанням математичної програми MathCad, Microsoft Excel та САПР SolidWorks;
- розробити шаблони розрахункових модулів проектування штампів холодного штампування з використанням математичної програми MathCad та САПР SolidWorks;

– розробити шаблон модуля розрахунку кінематичних параметрів кривошипного пресу з використанням математичної програми MathCad та САПР SolidWorks;

– розробити рекомендації до системного застосування доступного програмного забезпечення фаховими спеціалістами при проектуванні штампового оснащення в умовах підготовки виробництва промислових виробів.

*Об'єкт дослідження* – технологічна підготовка виробництва.

*Предмет дослідження* – розрахункові модулі проектування штампового оснащення.

*Методи дослідження:* використовувались емпірико-теоретичні (комплексні) та теоретичні методи дослідження.

### **Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:**

1. Запропоновано універсальні розрахункові і графічні модулі на базі існуючого програмного забезпечення для застосування при проектуванні штампового оснащення різного технологічного призначення. Дані модулі та методика їх створення можуть бути корисні для фахівців інженерних служб і відділків машинобудівних підприємств різної форми власності, які займаються проектуванням штампів для гарячого та холодного штампування.

### **Апробація результатів магістерської роботи**

Основні результати дослідження доповідалися на науково-технічній конференції студентів ЦНТУ у 2024 році. Були опубліковані тези доповіді: О. Калашник, В. Мірзак. Використання САПР Solidworks при проектуванні штампового оснащення. Збірник тез доповідей здобувачів вищої освіти LVIII науково-технічної конференції, «Наука в ЦНТУ: основні досягнення та

перспективи розвитку» за підсумками проведення «Дня науки – 2024» 16 травня 2024 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2024. С. 30 – 31.

### **Структура та обсяг роботи**

Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаних джерел із 24 найменувань. Повний обсяг роботи становить сторінок, включаючи рисунки та таблиці.

## ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМУ РОБОТИ

### 1.1 Типові розрахунки, які виконуються при проектуванні штампів для гарячого штампування.

Проектування будь якого штампу для гарячого штампування починається з розробки технологічного процесу виготовлення деталі виробу, для якої призначений даний штамп [1, 2]. В свою чергу розробка технологічного процесу починається з робочого креслення деталі, де повинен бути вказаний матеріал або сортамент, проставлені всі розміри з допусками, відхиленнями форми і положення та наведені технічні вимоги.

Технологічний процес гарячого об'ємного штампування розробляється у наступній послідовності [1, 3]:

- а) вибирається та обґрунтовується спосіб штампування;
- б) розробляється креслення поковки;
- в) вибираються переходи штампування;
- г) вибирається вид та визначаються розміри вихідної заготовки, вибирається обладнання для різання метала на мірні заготовки;
- д) вибирається спосіб, режими нагрівання заготовок та охолодження поковок, нагрівальне обладнання;
- е) вибирається штампувальне обладнання;
- ж) вибирається вид обрізання облою та прошивання отворів в поковках, вибирається обрізний прес;
- з) вибирається режим термообробки поковок;
- и) вибирається спосіб та обладнання для очистки поковок від окалини;
- к) вибирається спосіб та обладнання для правки поковок;
- л) вибирається спосіб та обладнання для калібрування поковок;
- м) вибираються методи контролю та вимірювального інструменту;
- н) розробляється план штампувальної дільниці;

о) вибирається склад робочої бригади та виконуються розрахунки норм часу на штампування;

п) складається карта технологічного процесу штампування.

Відповідно до 1.1.1, а) способи об'ємного гарячого штампування класифікуються залежно від застосованого обладнання:

- штампування на молотах;
- штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП);
- штампування на гідравлічних пресах;
- штампування на фрикційних пресах;
- штампування на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ);
- штампування на машинах вузького призначення (кувальні вальці, горизонтально-гнуттєві машини, ротаційно-кувальні машини і т. і.);
- спеціалізовані процеси (накатування, розкочування).

З наведених способів штампування найбільш поширеними є штампування на молотах і штампування на КГШП, які надалі і будуть предметом нашого дослідження. Вибір з цих двох способів залежить від типу виробництва: при дрібносерійному та серійному типах виробництва рекомендується спосіб штампування на молоті; при крупносерійному та масовому типу виробництва – штампування на КГШП.

Структурно технологічні процеси штампування на молотах та КГШП схожі, але є певні відмінності в розрахунках по деяких позиціях та в конструкціях штампів.

### **1.1.1 Розробка технологічного процесу штампування на молотах**

Розглянемо більш докладно послідовну розробку технологічного процесу штампування на молоті.

Вихідними даними для проектування технологічного процесу гарячого штампування є: креслення деталі, характер виробництва, технічні умови на поковку, умови роботи деталі [1, 2].

Перед розробкою креслення поковки перевіряються можливості: зміни конструкції деталі без втрати її працездатності, уніфікації поковок для різних деталей, отримання поковок з двох і більше деталей зварюванням, штампування декількох деталей в одній поковці з наступним її розрізанням, одержання поковки способами безоблойного штампування, заміни операцій подальшої обробки різанням, карбуванням або калібруванням, заміна штампування на молоті більш прогресивними процесами (штампування на КГШП або ГKM).

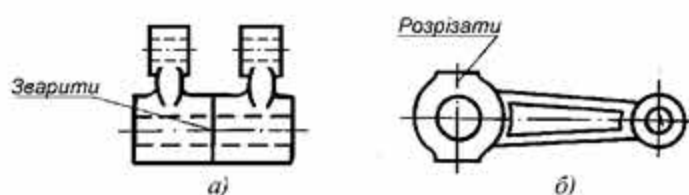


Рисунок 1.1 – Деталі, які отримують зварюванням а)  
або розрізанням б) поковок (приклади)

*Джерело: [1]*

Розглядаються також питання забезпечення технологічності виготовлення поковки (найбільш просте і економічне її виготовлення). Наприклад, відношення ширини до товщини поковок з тонкими полотнами і перемичками рекомендується виконувати так, як наведено на рис. 1.2.

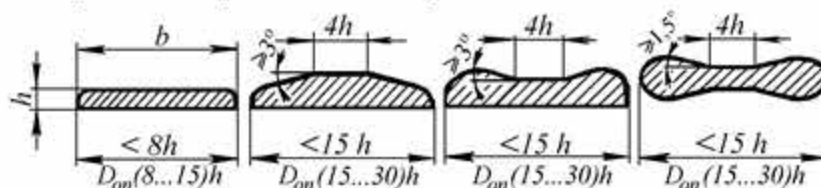


Рисунок 1.2 – Рекомендації до призначення тонких полотен і перемичок

*Джерело: [1]*

### 1.1.1.1 Розроблення креслення поковки

Розробка креслення поковки відбувається у наступному порядку:

а) приймається необхідний напрям волокон (якщо заготовкою є прокат) з

врахуванням експлуатаційних вимог до деталі;

- б) призначається база першої операції механічної обробки;
- в) призначається лінія розняття та приймається рішення щодо того, яка частина поковки буде розміщена в верхній або нижній половині штампа;
- г) призначаються припуски на механічну обробку та допуски;
- д) призначаються штампувальні уклони і радіуси закруглень;
- е) проектуються намітки отворів та перемички під прошивку;
- ж) оформлюється креслення поковки.

По пункту 1.1.1, а) рекомендується розробляти технологічні процеси штампування так, щоб напрямок волокон співпадав із напрямком найбільших нормальних напружень і був перпендикулярним напрямку максимальних дотичних напружень, які мають місце при експлуатації деталі; необхідно також щоб волокна розташовувались за контуром деталі і не були перерізані [1]. Як приклад можна розглянути виготовлення болта висаджуванням (рис. 1.3).

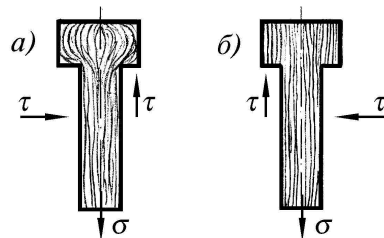


Рисунок 1.3 – Розміщення волокон в болтах отриманих після штампування – а) і після обробки різанням – б)

*Дж ерело: [1]*

З малюнку видно, що болт отриманий висаджуванням має більш якісну структуру волокон.

**Лінія розняття (п.п. 1.1.1, в).** Поверхня по якій контактують між собою верхня та нижня половини штампа називається поверхнею розняття. Лінія на поковці, через яку проходить поверхня розняття, називається лінією

розняття. Лінія розняття суттєво впливає на конструкцію та працездатність штампа. Її призначають з врахуванням наступних умов (рис. 1.4):

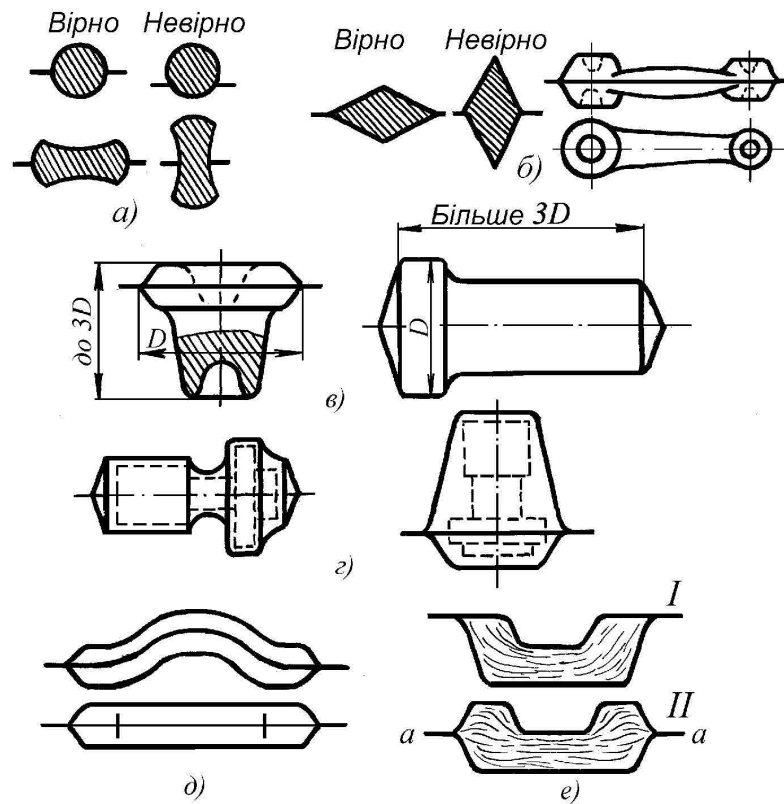


Рисунок 1.4 – Лінії розняття поковок отриманих штампуванням на молоті  
Дж ерело: [1]

– поковка повинна вільно вийматись з ривчака, тобто лінія розняття повинна проходити через вісь симетрії поковки (рис. 1.4, а);

– виїмки та заглиблення в поковці можна отримати тільки в напрямку руху баби молота;

– лінія розняття повинна знаходитись в площині найбільших габаритних розмірів поковки (рис. 1.4, б). Це дає змогу краще забезпечувати заповнення ривчака та можливість призначати найменші напуски для створення штампувальних уклонів. Виключенням з цього правила є поковки типу тіл обертання довжиною менше трьох діаметрів, які доцільно штампувати в торець. При цьому витрати металу в облой зменшуються, а виготовлення молотового та обрізного штампів спрощується (рис. 1.4, в);

– штамп для простої фігури має більш високу стійкість (рис. 1.4, г) і його легше виготовити;

– лінія розняття повинна забезпечувати мінімальну кількість штампувальних переходів (рис. 1.4, д);

– пряма лінія розняття суттєво спрощує конструювання та виготовлення штампів (рис. 1.4, д);

– лінія розняття повинна дозволяти здійснювати контроль зсуву половинок штампа між собою (рис. 1.4, е);

– в деяких випадках положення лінії розняття визначається розташуванням волокон. Так, наприклад, якщо деталь працює на зріз по лінії *a-a* (рис. 1.4, е), то волокна повинні бути перпендикулярними до неї і тому потрібно приймати лінію розняття по варіанту І;

– порожнини штампа які важко заповнюються. рекомендується розміщувати у його верхній половинці.

**Припуски на механічну обробку та допуски ((п.п. 1.1.1, г).** Допуски на розмір та припуски номінальні, одnobічні на штамповані сталеві поковки призначаються по ДСТУ (ГОСТ 7505-89), залежно від маси, розмірів та категорії поковки (точності виготовлення, групи сталі, ступеню складності, конфігурації лінії розняття тощо).

Стандарт припусків та допусків не враховує всіх особливостей поковок різної конфігурації та варіанти їх обробки. Тому в окремих випадках можуть бути відхилення від рекомендованих значень [2], наприклад:

– підвищений припуск встановлюють в тих місцях поковки, які зазнають значного короблення при термообробці чи там, де неминуче накопичується окалина;

– занижений припуск призначається на базових поверхнях першої операції обробки різанням, оскільки вони є точно центрованими відносно поверхні, отриманої в результаті першої операції, і тому можуть надалі бути

оброблені з меншими втратами металу в стружку.

**Штампувальні уклони.** Призначаються на бічних стінках штампувальних рівчаків для полегшення виймання поковок із рівчаків. Збільшення штампувальних уклонів полегшує виймання поковок з рівчака, але веде до небажаного зростання витрат на обробку різанням. Малі штампувальні уклони ускладнюють виймання поковок з рівчака. Нормативна величина штампувальних уклонів визначається:

- формою та співвідношенням розмірів окремих елементів поковки;
- чистотою поверхні рівчака;
- технологічними властивостями сплавів, які штамнуються.

Необхідно розрізняти зовнішні ( $\alpha_1$ ) та внутрішні ( $\alpha_2$ ) штампувальні уклони (рис. 1.5). Внутрішні уклони повинні бути більшими, оскільки зовнішні стінки поковки при її охолодженні в штампі в результаті усадки металу відходять від стінок штампа, наразі внутрішні стінки поковок, навпаки, ще більше охоплюють виступи штампа.

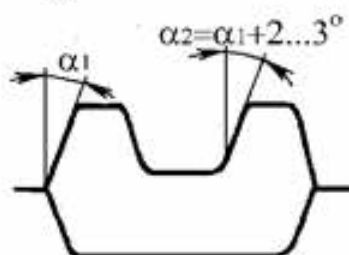


Рисунок 1.5 – Зовнішні і внутрішні штампувальні уклони

*Джерело: [1]*

З метою спрощення виготовлення рівчаків та уніфікації ріжучого та вимірювального інструменту штампувальні уклони приймають по можливості однаковими із такого нормального ряду штампувальних уклонів:  $3^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $7^\circ$ ,  $10^\circ$ .

Штампувальні уклони призначають по ДСТУ (ГОСТ 7505-89). При штампуванні на молотах вони складають: зовнішні  $-7^\circ$ , внутрішні  $-10^\circ$ .

**Радіуси закруглень.** Розрізняють зовнішні  $r$  та внутрішні  $R$  радіуси закруглень (рис. 1.6, а). Зовнішні радіуси  $r$  не можуть бути надто малими,

оскільки важко забезпечити їх заповнення металом і, до того ж, це буде впливати на стійкість штампів (рис. 1.6, б). Внутрішні радіуси  $R$  також не можна призначати малими, оскільки в штампі такі радіуси змінюються і утворюються піднутрення (рис. 1.6, б), внаслідок чого виймання поковки вимагає додаткових зусиль; крім того можлива неправильна теча металу та утворення затисків (рис. 6.19, в).

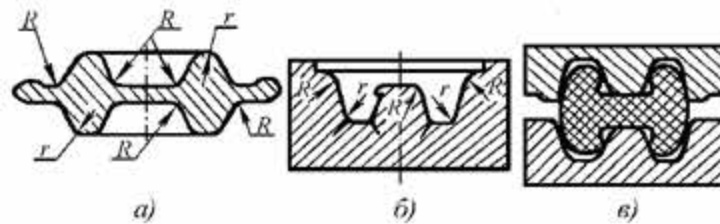


Рисунок 1.6 – Розташування радіусів закруглень на поковках

*Джерело: [1]*

Отже радіуси закруглень на поковках треба призначати по можливості більшими. При цьому орієнтовно  $R = (3 \dots 4)r$  де  $r$  призначають по ДСТУ (ГОСТ 7505-89) залежно від маси поковки та глибини порожнини рівчака.

З метою спрощення виготовлення рівчаків та уніфікації ріжучого та вимірювального інструменту радіуси закруглень приймаються по можливості однаковими з такого нормального ряду радіусів: 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30.

Рекомендується узгоджувати радіуси закруглень з припусками. Для зовнішніх радіусів закруглення правильно коли  $r_{\text{пок}} = r_{\text{дет}} + \Delta$  (рис.1.6, а), неправильно коли  $r_{\text{пок}} < r_{\text{дет}} + \Delta$  (рис.1.6, б) і при  $r_{\text{пок}} > r_{\text{дет}} + \Delta$  треба приймати більше значення (рис.1.6, в).

Для внутрішніх радіусів закруглення правильно коли  $R_{\text{пок}} = R_{\text{дет}} - \Delta$  (рис.1.6, г); неправильно коли  $R_{\text{пок}} < R_{\text{дет}} - \Delta$  (рис.1.6, д) і при  $R_{\text{пок}} > R_{\text{дет}} - \Delta$  треба приймати більше значення (рис.1.6, е).

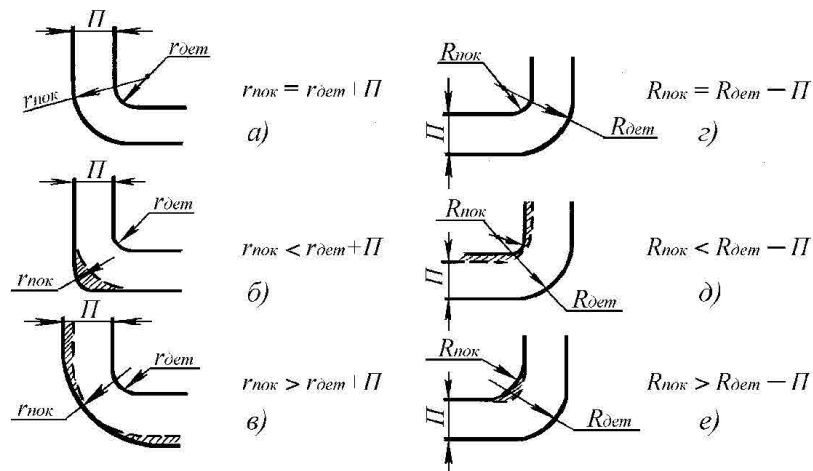


Рисунок 1.7 – Корегування радіусів закруглень і припусків

Джерело: [1]

**Намітка отворів та перемички під прошивання.** При штампуванні на молотах неможливо отримання поковок з наскрізними отворами є неможливим. Тому в таких поковках спершу з двох сторін отримують порожнини (намітки) максимального об'єму, а між ними передбачають тонку перемичку (рис. 1.8, а), яка надалі підлягає видаленню в прошивних штампах, які встановлюють на обрізних пресах.

Якщо поковка має значну висоту, то в ній спершу отримують глухі намітки можливо більшого об'єму. Але глибина цих наміток не повинна перевищувати  $0,8 d$  (що визначається стійкістю виступів штампа) і виявляється недостатньою для отримання досить тонкої для пробивання перемички і тому в таких випадках наскрізний отвір одержують на металорізальних верстатах (рис. 1.8, б).

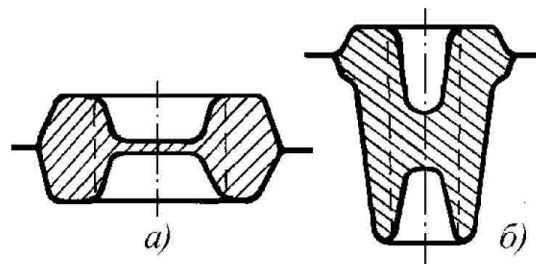


Рисунок 1.8 – Намітки отворів під прошивку або обробку на металорізальних верстатах

Джерело: [1]

Намітки отворів та перемичок під прошивку проектують за такими рекомендаціями:

– по ДСТУ (ГОСТ 7505-89) намітки отворів в поковках отримують, якщо їх осі співпадають із напрямком руху повзуна преса або баби молота, а їх поперечні розміри не менші 30 мм. Глибина наміток повинна бути не більше  $0,8 d$ ;

– положення перемички по висоті має бути таким, щоб забезпечити простоту виготовлення штампа, зручність вкладання заготовки в штамп та зручність прошивання перемички;

– перемичку розміщують посередині висоти поковки з метою мінімальних втрат металу в напуски (на штампувальні уклони).

Товщину звичайної плоскої перемички (рис. 1.9, а) визначають за формулою, мм

$$S = 0,45 \cdot \sqrt{d - 0,25 \cdot h - 5} + 0,6\sqrt{h}, \quad (1.1)$$

при  $h/d < 0,4$  рекомендують перемички з розкосом (рис. 1.9, б) і при цьому  $d_1 = 0,12 \cdot d + 3 \text{ мм}$   $S_{\min} = 0,65S$ ,  $S_{\max} = 1,35S$ .

де  $S$  – визначають як для плоскої перемички.

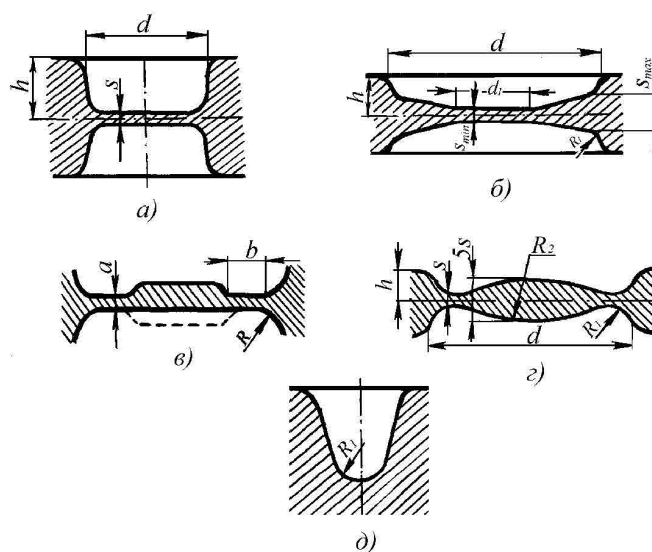


Рисунок 1.9 – Форми перемичок для прошивання отворів

Джерело: [1]

При наявності чорнового рівчака, в якому є перемичка, що виконана з розкосом, в чистовому рівчаку роблять перемички з магазином (рис. 1.9, *в*), що збільшує стійкість штампів. Розміри перемички “*a*” та “*в*” приймають як для нормальної облойної канавки.

Для низьких поковок при  $h/d < 0,07$  рекомендують перемички з карманом (рис. 1.9, *з*). При цьому товщина перемички  $S = 0,4\sqrt{d}$ , радіус закруглення  $R_1 = 5h$ , радіус  $R_2$  підбирають графічно;

При висоті поковки  $H > 1,7 \cdot d$ , де  $d$  – діаметр отвору, треба обмежитись застосуванням глухих наміток (рис. 1.9, *д*).

**Облойні канавки та облой.** При штампуванні на молотах застосовують шість типів облойних канавок [1–2].

**I тип** (рис. 1.10, *а*) – найбільш поширений. Застосовують в усіх випадках, крім обумовлених нижче. Облойна канавка складається з двох елементів: містка – (ділянка “*в*”) та магазина – (ділянка “*в<sub>1</sub>*”). Цей тип облойної канавки забезпечує високу стійкість містка, що пояснюється меншим прогріванням верхньої половинки штампа порівняно з нижньою.

**II тип** (рис. 1.10, *б*) застосовують, коли обрізання облою здійснюють з поворотом поковки, тобто в зворотному положенні відносно положення поковки в чистовому рівчаку. Це доцільно в тому випадку, коли одна частина фігури поковки має складну форму і тому розміщується в верхній половині штампа, а друга частина фігури поковки має більш просту форму і по ній простіше і дешевше виготовити та підганяти обрізний пуансон.

**II-а тип** (рис. 1.10, *в*) застосовується для простих і невисоких поковок, які повністю розміщуються в нижній половині штампа. При застосуванні канавок такої форми не потрібно точного співпадання половинок штампа. Проте обрізання облою, який розміщується на торці поковки, дещо ускладнюється.

**III тип** (рис. 1.10, *г*) застосовують для великих поковок складної форми, коли в облой видаляється велика кількість металу. Допускається використання

такого типу канавок на окремих ділянках периметру поковки.

**IV тип** (рис. 1.10, д) застосовують в тих же випадках, що і тип III з метою підвищення стійкості містка нижнього штампа, а також для зручності вкладання поковки на поясok обрізної матриці.

**V тип** (рис. 1.10, е) застосовується на окремих ділянках контуру фігури рівчака з метою заповнення глибоких та складних порожнин штампа за рахунок різкого підвищення опору витікання металу в облой.

**VI тип** (рис. 1.10, ж) застосовують при малооблойному штампуванні. В такій канавці розміщується можливий надлишок металу та створюється опір, який сприяє заповненню важкозаповнюваних ділянок порожнини рівчака.

Розміри облойної канавки визначаються за таблицями залежно від товщини облою на містку та характеру деформації, а саме: заповнення порожнини рівчака може здійснюватись осаджуванням, видавлюванням та комбінацією осаджування з видавлюванням.

Оптимальну товщину облою на містку визначають за формулою, мм

$$a = 0,015\sqrt{F_{\Pi}}, \quad (1.2)$$

де  $F_{\Pi}$  – площа плану поковки, мм<sup>2</sup> (проекція поковки в стані штампування на площину розняття).

Надмірне збільшення розміру “а” приводить до більш вільного витікання металу в облой і рівчак може виявитись незаповненим. Надто зменшений розмір “а” приводить до підвищення опору витіканню металу в облой і, як наслідок, збільшується кількість ударів, необхідних для штампування поковки, знижується продуктивність штампування, підвищується знос штампа, збільшується імовірність недоштампування.

Об’єм облою визначають за такою наближеною формулою, мм<sup>3</sup>:

$$v = \xi \cdot S_{\text{ок}} \cdot P_{\Pi}, \quad (1.3)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт, що враховує заповнення облойної канавки, (визначається залежно від ваги та складності поковки,  $\xi = 0,3 \dots 0,8$ );

$S_{ок}$  – площа поперечного перерізу облойної канавки,  $мм^2$ ;

$P_{п}$  – периметр поковки,  $мм$ .

Звичайно втрати металу в облой складають 12...20 % маси вихідної заготовки.

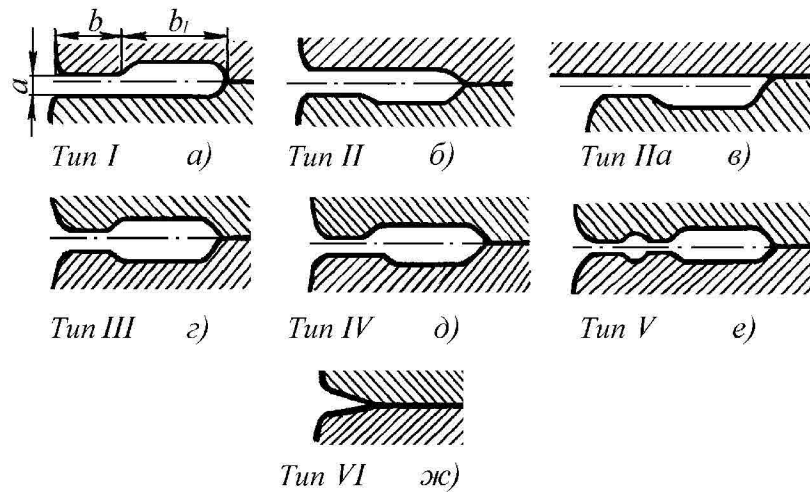


Рисунок 1.10 – Типи облойних канавок

*Джерело: [1]*

Після виконання всіх процедур по проектуванню поковки оформлюють її креслення згідно рекомендацій [1, с. 118].

### 1.1.1.2 Вибір переходів штампування [1–6]

При виборі переходів штампування доцільно використати класифікатор молотових штампованих поковок (рис. 1.11), в основу якого покладено схожість таких характерних ознак як форми плану поковки, форми лінії розняття, форми головної осі поковки.

№ групи	№ підгрупи	Характеристика поковок групи	Ескізи поковок	Переходи штампування
I		<u>Поковки з прямолінійною віссю.</u> Мають пряму лінію роз'єму та пряму видовжену головну вісь		Протяжка, підкатка, пережим, формовка, розплющування, чорнове та чистове штампування
	2	<u>Поковки з вигнутою віссю.</u> Мають вигнуту лінію розняття або вигнуту головну вісь, або вигнуте і те й інше		Те ж, що і для підгр. № 1 та гнуття
	3	<u>Поковки з відростками.</u> Мають відростки незначної довжини, що призводить до значного викривлення головної осі		Те ж, що і для підгр. № 2, але частіше замість чорнового рівчака засто-совують заготівельно-чорновий рівчак
	4	<u>Поковки з розвилками.</u> Головна вісь на деякій ділянці поковки проходить не по тілу поковки, а між окремими елементами, що складають розвилку		Те ж, що і для підгр. № 3, але заготівельно-чорновий рівчак має розсікач для розгону металу
II	1	<u>Поковки круглі в плані</u>		Торцева осадка, що супроводжується осаджуванням, видавлюванням та прошиванням
	2	Поковки квадратні в плані		Те ж, що і для підгр. № 1
	3	Поковки типу хрестовин та з відростками		Те ж, що і для підгр. № 1 та формовка
I		Поковки проміжної та змішаної конфігурації		Можуть мати місце всі вищезазначені переходи

Рисунок 1.11 – Класифікатор молотових штампованих поковок

Джерело: [1]

Згідно класифікатору молотів поковки поділяють на три основні групи.

Розглянемо вибір переходів штампування для поковок I-ої групи, як найбільш складних. Для таких поковок попередньо потрібно побудувати розрахункову заготовку та епюру її поперечних перерізів.

**Розрахункова заготовка.** Розрахунковою заготовкою називають умовну заготовку з круглими поперечними перерізами, площі яких дорівнюють сумі площ відповідних поперечних перерізів поковки та облою. Тобто площа поперечного перерізу розрахункової заготовки в довільному місці визначається за формулою,  $мм^2$

$$S_{p.z.} = S_{пок.} + S_{обл.} = S_{пок.} + 2\xi S_{о.к.} = \frac{\pi \cdot d_{p.z.}^2}{4} \quad (1.4)$$

де  $d_{p.z.}$  – діаметр розрахункової заготовки в довільному місці,  $мм$ ;

$S_{о.к.}$  – площа поперечного перерізу облойної канавки,  $мм^2$ ,

звідки

$$d_{p.z.} = 1,13 \sqrt{S_{p.z.}} \quad (1.5)$$

Довжина розрахункової заготовки дорівнює довжині поковки або довжині розгортки головної осі поковки, якщо поковка вигнута.

$$h = \frac{S_{p.z.}}{M} \quad (1.6)$$

де  $M$  – масштаб в  $мм^2/мм$ .

Розбивши поковку довільно на ряд перерізів (більше перерізів робиться в місцях де відбувається зміна форми поковки) розраховують для кожного з них діаметр  $d_{p.z.}$  відкладають їх в масштабі  $M$  1:1 симетрично відносно деякої осі  $x$  (рис. 1.11, б) в точках, що відповідають характерним перерізам поковки.

З'єднавши кінці одержаних відрізків, одержують креслення розрахункової заготовки, або інакше епюру приведених діаметрів.

Епюра перерізів розрахункової заготовки являє собою діаграму (рис. 1.11, в), кожна ордината якої відповідає в масштабі М певній площі поперечного перерізу розрахункової заготовки.

Тому висота ординати в довільному місці діаграми визначається за формулою:

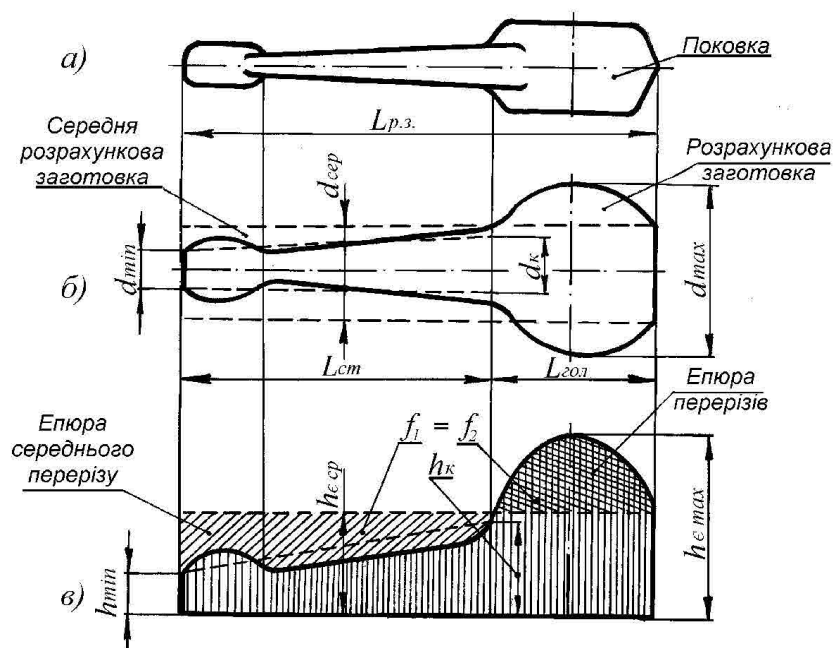


Рисунок 1.12 – Побудова розрахункової заготовки і епюри перерізів

Джерело: [1]

За допомогою епюри перерізів можна визначити об'єм розрахункової заготовки або її окремих елементів

$$v_{р.з.} = F_e \cdot M \quad (1.7)$$

$$v_{iр.з.} = F_{ie} \cdot M \quad (1.8)$$

де  $F_e$  та  $F_{ie}$  – відповідно площі епюри перерізів розрахункової заготовки та її окремих елементів.

Існує також поняття “середня розрахункова заготовка” та “епюра середнього перерізу”.

Середньою розрахунковою заготовкою називають циліндр довжиною та об’ємом рівними відповідно довжині та об’єму розрахункової заготовки. Тоді площа поперечного перерізу середньої розрахункової заготовки:

:

$$S_{cp} = \frac{V_{p.z.}}{L_{p.z.}} = \frac{F_e \cdot M}{L_{p.z.}} = \frac{\pi \cdot d_{cp}^2}{4}, \quad (1.9)$$

діаметр середньої розрахункової заготовки

$$d_{cp} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{cp}} \quad (1.10)$$

Висота ординати епюри середнього перерізу, яка відповідає площі поперечного перерізу середньої розрахункової заготовки, визначається за формулою:

$$h_{cp} = \frac{S_{cp}}{M} = \frac{F_e}{L_{p.z.}} \quad (1.10)$$

Ділянка розрахункової заготовки, в межах якої  $d_{pз} > d_{cp}$  зветься головою. Ділянка, в межах якої  $d_{pз} < d_{cp}$  зветься стержнем. Відповідно розрізняють головку та стержень епюри перерізів. Розрахункова заготовка, що має одну головку та один стержень зветься елементарною розрахунковою заготовкою. Розрахункова заготовка, що має головку з двома стержнями або дві і більше головок зветься складною розрахунковою заготовкою. Відповідно розрізняють елементарну та складну епюри перерізів.

Отже враховуючи вищенаведене можна зробити висновок, що розрахункова заготовка і епюра перерізів мають важливе практичне застосування.

У підсумку розрахункова заготовка та еюра перерізів дають наочне уявлення про об'єми металу, що підлягають переміщенню вздовж осі в заготівельних рівчачах I-го виду, а співвідношення розмірів розрахункової заготовки – (так звані геометричні показники  $\alpha, \beta, \kappa$ ) дозволяють по діаграмі Ребельського (рис. 1.13), що складена за експериментальними даними, вибрати заготівельні рівчачи I-го виду. Основна ідея цієї діаграми полягає в тому, що при збільшенні труднощів переміщення металу вздовж осі заготовки заготівельні рівчачи I виду застосовують в певній послідовності:

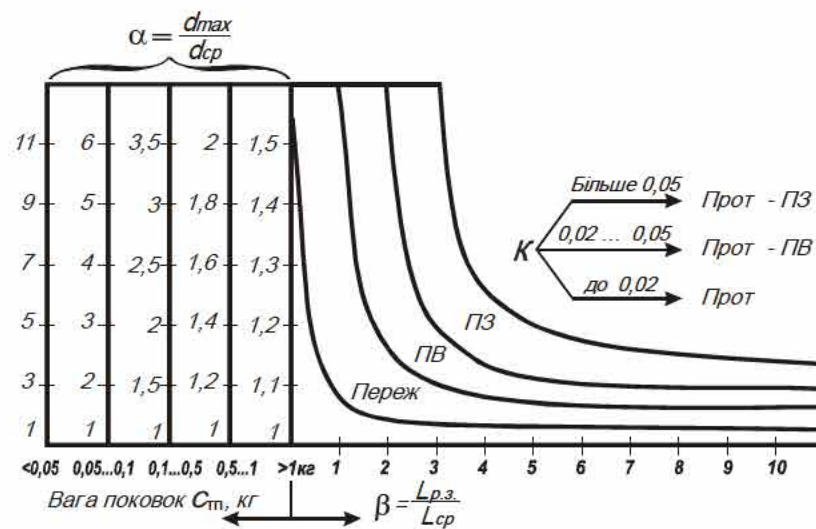


Рисунок 1.13 – Діаграма меж застосування заготівельних рівчаків I-го виду

Джерело: [1]

1. Штампування без заготівельних рівчаків (БЗ)
2. Пережимний (Переж)
3. Підкатувальний відкритий (ПВ)
4. Підкатувальний закритий (ПЗ)
5. Протягувальний (Прот)
6. Протягувальний та підкатувальний відкритий (Прот – ПВ)
7. Протягувальний та підкатувальний закритий (Прот – ПЗ)

По цій діаграмі заготівельні рівчаки I-го виду вибираються залежно від маси поковки і від геометричних показників розрахункової заготовки:

$$\alpha = \frac{d_{\max}}{d_{\text{cp}}} \quad (1.11)$$

$$\beta = \frac{L_{\text{п.з.}}}{d_{\text{ф}}} \quad (1.12)$$

$$K = \frac{d_{\kappa} - d_{\min}}{L_{\text{ф}}} \quad (1.13)$$

де  $K$  – конусність стержня; якщо контур стержня являє собою ламану чи криву лінії, то стержень приводиться до виду зрізаного конуса, причому

$$d_{\kappa} = \sqrt{3,82 \frac{V_{\text{cm}}}{L_{\text{cm}}} - 0,75d_{\min}^2} - 0,5d_{\min} \quad (1.14)$$

Діаграма (рис. 1.13) складена для елементарних розрахункових заготовок. Якщо поковка характеризується складною розрахунковою заготовкою, то спершу необхідно привести її до ряду елементарних, потім визначити, які рівчаки треба використати для кожної з цих елементарних заготовок і вибрати найскладніший варіант

Якщо розрахункова заготовка та її епюра перерізів являє собою головку із двостороннім стержнем (рис. 1.14 а), чи стержень з двома головками (рис. 1.14, б), то треба знайти таку відстань  $x$  на епюрі перерізів, яка забезпечувала б рівність площ  $f_1 = f_2$ .

Тоді визначена таким чином лінія поділу  $a - a$  поділить дану складну розрахункову заготовку на дві елементарних.

Лінія поділу  $a - a$  характеризується відсутністю переміщення через неї об'єму метала, що деформується при перетворенні заготовки середнього перерізу в розрахункову.

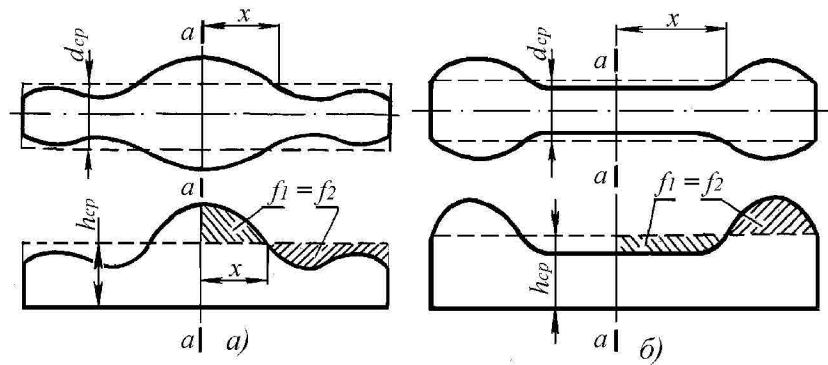


Рисунок 1.14 – Схема приведення складних розрахункових заготовок до двох елементарних

Джерело: [1]

### 1.1.1.3 Вибір виду вихідної заготовки та способів штампування [1–2]

При штампуванні на молотах вихідною заготовкою може бути:

- а) прокат круглого та квадратного поперечних перерізів;
- б) прокат періодичного профілю;
- в) фасонні заготовки, отримані на інших штампувальних агрегатах (ГКМ, кувальних вальцях);
- г) заготовки, отримані литтям;
- д) заготовки, отримані куванням.

Найчастіше використовують сортовий прокат квадратного та круглого поперечних перерізів. Прокат квадратного перерізу дешевший. Прокат круглого поперечного перерізу необхідно застосувати, коли використання квадратного недоцільне чи неможливе, наприклад у випадку різкого гнуття, що веде до затисків при штампуванні із квадратного профілю.

При використанні заготовок круглого чи квадратного поперечного перерізу застосовують такі способи штампування:

- багатоштучне штампування;
- штампування від прутка;
- штампування із поворотом заготовки;
- штампування із штучної заготовки.

Багатоштучне штампування (рис. 1.15, а, б) полягає в тому, що дрібні поковки штамнують одночасно по кілька штук з однієї заготовки в одному штампі із спільним об'ємом. Цим способом виготовляють поковки, які при штампуванні потребують молотів з масою падаючих частин менше 0,5 т. А штампувальні молоти з масою падаючих частин менше 0,5 т не виготовляють зовсім.

При багатоштучному штампуванні залежно від форми та розмірів поковок штампувальні ривчачки розміщують “в лінію” (рис. 1.15, а) або “валетом” (рис. 1.15, б) з тим, щоб загальна довжина таких об'єднаних поковок не перевищувала 350...400 мм.

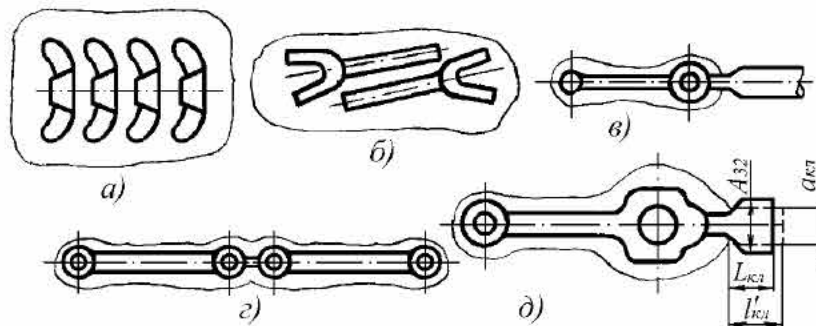


Рисунок 1.15 – Приклади способів штампування: а), б) – багатоштучне; в) – від прутка; г) – з поворотом заготовки; д) – зі штучної заготовки  
Джерело: [1]

При виборі різновиду штампування рекомендується використовувати діаграму (рис. 1.16), яка залежно від маси поковки та її довжини дозволяє вибрати спосіб штампування.



Рисунок 1.16 – Діаграма видів заготовок із сортового прокату

Джерело: [1]

#### 1.1.1.4 Визначення розмірів вихідної заготовки [1–5]

Об'єм заготовки складається з суми об'ємів поковки, облою, перемички під пробивання, кліщовини та втрат металу на вигар:

$$V_{\text{заг}} = (V_{\text{пок}} + V_{\text{обл}} + V_{\text{пер}} + V_{\text{кліщ}}) \cdot \left(1 + \frac{\delta}{100}\right) \quad (1.15)$$

де  $\delta$  – втрати металу на вигар, %

Для поковок I-ої групи площа поперечного перерізу заготовки визначається за формулами:

1. Штампування здійснюють без заготівельних рівчаків

$$S_{\text{заг}} = (1,0 \dots 1,05) S_{\text{ср}} \quad (1.16)$$

де  $S_{\text{ср}}$  – площа поперечного перерізу середньої розрахункової заготовки.

Менші значення коефіцієнта приймають для довгих заготовок, більші – для коротких.

2. Штампування із застосуванням пережиму чи формовки

$$S_{\text{заг}} = (1,05 \dots 1,2) S_{\text{ср}} \quad (1.17)$$

Менші значення приймають для довгих заготовок, більші – для коротких.

3. Штампування із застосуванням підкатування

$$S_{\text{заг}} = (1,05 \dots 1,3) \cdot S_{\text{ср}} \quad (1.18)$$

Менші значення застосовують, якщо заготовку закладають до кінця рівчака, більші – якщо не до кінця.

4. Штампування здійснюють із застосуванням протягування

$$S_{\text{заг}} = V_{\text{гол}} / L_{\text{гол}} \quad (1.19)$$

де  $V_{\text{гол}}$  та  $L_{\text{гол}}$  – відповідно об'єм та довжина головки розрахункової заготовки.

5. Штампування здійснюють із застосуванням протягування та підкатування

$$S_{\text{заг}} = \frac{S_{\text{пр}} + S_{\text{пд}}}{2} \quad (1.20)$$

де  $S_{\text{пр}}$  та  $S_{\text{пд}}$  – площі поперечних перерізів заготовки, що розраховані відповідно для випадків протягування та підкатування

Довжина заготовки

$$L_{\text{заг}} = V_{\text{заг}} / S_{\text{заг}} \quad (1.21)$$

### 1.1.1.5 Вибір молота [1–2]

Маса падаючих частин молота визначається за досвідом штампування аналогічних поковок або за емпіричними формулами.

Для поковок круглих в плані, кг:

$$M = 10(1 - 0,005D_{\text{п}})(1,1 + \frac{2}{D_{\text{п}}})^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_{\text{п}}^2) \cdot D_{\text{п}} \cdot \sigma \quad (1.22)$$

Для поковок некруглих в плані, кг:

$$M = 10(1 - 0,005D_{\text{пр}})(1,1 + \frac{2}{D_{\text{пр}}})^2 \cdot (0,75 + 0,001D_{\text{пр}}^2) \times (1 + 0,1\sqrt{L_{\text{п}}/B_{\text{п.ср}}}) \cdot D_{\text{пр}} \cdot \sigma \quad (1.22)$$

де  $D_{\text{п}}$  – діаметр круглої в плані поковки, см;

$D_{\text{пр}}$  – приведений діаметр некруглої в плані поковки, см

$$D_{\text{пр}} = 1,13\sqrt{F_{\text{п}}} \quad (1.23)$$

$F_{\text{п}}$  – площа некруглої в плані поковки, см<sup>2</sup>;

$L_{\text{п}}$  – довжина некруглої в плані поковки, см;

$B_{\text{п.ср.}}$  – середня ширина некруглої в плані поковки, см.

$$B_{\text{п.ср.}} = F_{\text{п}} / L_{\text{п}} \quad (1.24)$$

$\sigma_{\text{в}}$  – межа міцності металу при температурі кінця штампування, кгс/мм<sup>2</sup>.

Маса падаючих частин молота може бути визначена і за іншими методиками [2].

### 1.1.1.6 Конструювання молотових штамів [1–2]

Молотові штампи конструюють в наступній послідовності:

- а) конструюють штампувальні рівчаки, для чого попередньо розробляють креслення поковки для виготовлення штампа;
- б) конструюють заготівельні рівчаки;
- в) приймають розташування рівчаків на дзеркалі штампа;
- г) конструюють замки, контрзамки, вставки;
- д) визначають відстані між рівчачками, товщину стінок та дна штампа;
- е) визначають габарити штампа;
- ж) оформлюють креслення штампа.

### 1.1.2 Розробка технологічного процесу штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах [1–4]

КГШП виготовляють зусиллями від 6,3 до 100 *МН*. Порівнюючи потужності КГШП і пароповітряного молота, виходять з того, що 1000 *тс* зусилля преса еквівалентна 1 *т* маси падаючих частин молота. При цьому вартість КГШП в 3...4 рази вища.

Штампування на КГШП прогресивне і рентабельне та має широке застосування, витісняючи штампування на молотах, що пояснюється рядом переваг КГШП порівняно з молотом, а саме:

- КГШП мають більш високий ККД (8 % проти 3 %), а енергоносії (електроенергія проти пари чи стисненого повітря) більш зручний і дешевший; будівлі і споруди застосовуються звичайні, а не стійкі до струсів;

- штампи КГШП виготовляються складеними, а не суцільними. Це зменшує витрати штампової сталі та підвищує стійкість штамів за рахунок більш якісної термообробки рівчачкових вставок;

– штампи КГШП мають напрямні колонки і втулки, що забезпечує високу точність поковок в площині розняття і значно полегшує налагодження штамсів.

– при відповідному налагодженні штамсів виключається недоштамування поковок по висоті завдяки постійності величини ходу повзуна

– наявність виштовхувачів в повзуні та столі преса дозволяє зменшити штампувальні уклони до  $1 \dots 3^\circ$ ;

– продуктивність штампування від 20 % до 40 % вища, що пояснюється зменшенням числа ходів повзуна при штампуванні, порівняно з кількістю ударів молота;

– кращі санітарно-гігієнічні умови праці (відсутність струсів та шуму, легше керування);

– нижча кваліфікація штампувальників;

– можлива повна автоматизація процесу штампування.

Розробка технологічного процесу штампування на КГШП здійснюється аналогічно, як і при штампуванні на молотах, але з деякими особливостями.

**Вибір переходів штампування.** Поковки, що отримують на КГШП, можна звести до трьох груп:

I група – поковки видовженої форми:

а) поковки з прямолінійною віссю і незначною різницею в площах поперечних перерізів (рис. 1.17, а) штампують за 1, 2, рідше – 3 переходи;

б) поковки з прямолінійною віссю і значною різницею в площах поперечних перерізів (рис. 1.17, б) штампують за 1, 2, 3 переходи із використанням фасонованих заготовок, які отримують на кувальних вальцях, ГKM та станах періодичного прокатування; такі поковки рекомендується штампувати застосовуючи багатоштучне штампування “валетом”;

в) поковки з вигнутою віссю (рис. 1.17, в) штамнують за 1, 2, 3 переходи, частіше із застосуванням гнуття, при необхідності використовують фасоновані заготовки.

II група – поковки круглі та квадратні в плані та близькі до них (рис. 1.17, з) штамнують за 1, 2, 3 переходи осаджуванням в торець, яке може супроводжуватись видавлюванням та прошиванням.

III група – поковки, які отримують видавлюванням з мірних заготовок (рис. 1.17, д) штамнують за 1, 2, 3 переходи.

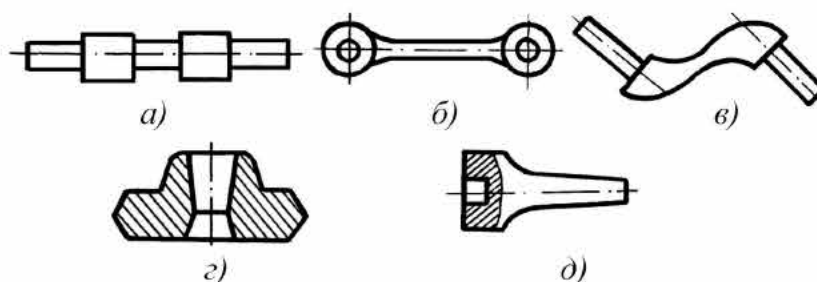


Рисунок 1.17 – Поковки, що штамнують на КГШП

Джерело: [1]

**Вибір КГШП.** Необхідне для штампування зусилля КГШП може бути визначене за формулами:

– для поковок круглих в плані, кгс

$$P = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_{\text{п}}) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_{\text{п}}}\right)^2 \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot F_{\text{п}} \quad (1.25)$$

– для поковок некруглих в плані, кгс

$$P = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_{\text{пр}}) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_{\text{пр}}}\right)^2 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_{\text{п}}}{B_{\text{п.сп}}}}\right) \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot F_{\text{п}} \quad (1.26)$$

де  $D_{\text{п}}$  – діаметр круглої в плані поковки, мм;

$F_{\text{п}}$  – площа плану поковки, мм<sup>2</sup>;

$D_{\text{пр}} = 1,13 \cdot \sqrt{F_{\text{п}}}$  – приведений діаметр поковки, мм;

$L_{\text{п}}$  – максимальний габаритний розмір поковки, мм;

$$B = \frac{F_n}{L_n} - \text{середня ширина поковки в плані, мм.}$$

Необхідні для штампування зусилля КГШП можуть бути визначені і за іншими формулами [2].

### **1.1.3 Проектування розділових штамів холодного листового штампування [7–10]**

При проектуванні штамів холодного листового штампування проблема з проектними розрахунками стає ще більш критичною внаслідок значно більшій різноманітності операцій і методик розрахунку. Є велика група штамів різної ступені складності (прості, послідовної дії, суміщеної дії, штампі-автомати) для здійснення розділових операцій (відрізування, пробивання-вирубання, чистове вирубання, зачищення тощо). Ще більш різноманітною є група штамів для формозмінних операцій з таким самим набором складності (гнуття, витягування, відбортування, обтискування, роздавання, рельєфне формування, правлення, загортання, завивання, калібрування). Також достатньо поширена група комбінованих штамів, де об'єднуються розділові і формозмінні операції, які мають свої особливості проектування. Із-за обмеженості обсягу даної роботи

В даній роботі буде вибірково розглянуто окремі методики розрахунків при проектуванні саме штамів для розділового штампування, як найбільш поширених на машинобудівних підприємствах.

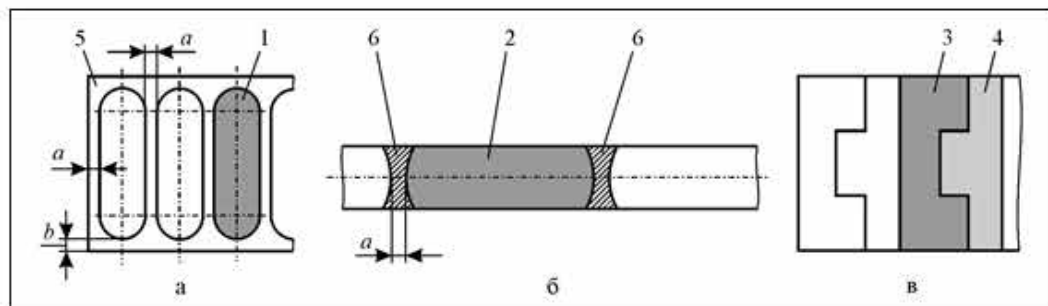
Порядок проектування розділових штамів для холодного листового штампування принципово не відрізняється від проектування штамів для гарячого штампування. Тобто спочатку потрібно розробити технологічний процес виготовлення конкретної деталі і тільки після цього можна починати конструювання відповідного штампу.

Розробка технологічного процесу холодного листового штампування, так само як і гарячого об'ємного штампування, починається з креслення деталі.

Далі починається достатньо відповідальний і трудомісткий етап проектування – розкрій матеріалу, який передбачає велику кількість оптимізаційних розрахунків. Вибирається вид прокату (лист, штаба, стрічка, фасонний прокат), виконується розкрій матеріалу [9] (вибираються типи і основні види розкрою, розраховується коефіцієнт використання матеріалу і норма витрати матеріалу для різних варіантів, вибирається оптимальний варіант).

Відомі три типи розкрою листового прокату (рис. 1.18):

- з відходами;
- маловідходний;
- безвідходний.



1, 2, 3, 4 – деталі, що штамнуються;

5, 6 – відходи

Рисунок 1.18 – Типи розкрою прокату: а – з відходами;

б – маловідходний; в – безвідходний

*Джерело: [9]*

Серед видів розкрою матеріалу на штабі розрізняють шість основних видів (рис. 1.19):

- прямий розкрій;
- похилий розкрій;
- зустрічний розкрій;
- комбінований розкрій;
- багаторядний розкрій;
- розкрій з вирубуванням перемичок

Тип розкрою	З відходами	Маловідхідний та безвідхідний	Тип деталі (заготовки)
<i>a</i> - прямий			З витягнутою віссю
<i>b</i> - похилий			Г-подібні
<i>в</i> - зустрічний			Т- та Ш-подібні
<i>г</i> - комбінований			Різної форми, однакової товщини
<i>д</i> - багаторядний			Круглі, шестикутні тощо
<i>е</i> - з вирубуванням перемичок			Вузькі (стрілки тощо), подовжені

Рисунок 1.19 – Основні види розкрою штаби

Джерело: [9]

Види розкрою листового прокату наступні (рис. 1.20): поперечний, поздовжній, комбінований, косий.

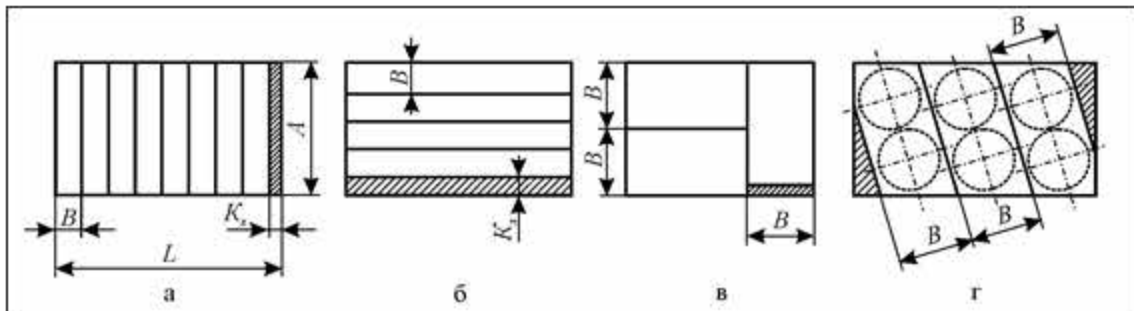


Рисунок 1.20 – Види розкрою листового прокату: а – поперечний; б – поздовжній; в – комбінований; г – косий

Джерело: [9]

Послідовність розкрою наступна:

уточнюються розміри вибраного листа (довжина та ширина) і вибирається вид розкрою. Виконується схема розкрою листа (наприклад, рис. 1.20, а);

– вибирається тип розкрою штаби в залежності від конфігурації та габаритних розмірів деталі;

– виконується схема розкрою штаби з урахуванням послідовності переходів штампування. Як приклад показано однорядну схему розкрою штаби для деталі типу «шайба» (рис. 1.21), яка штампується в штампі послідовної дії (спочатку пробивання, потім вирубування);

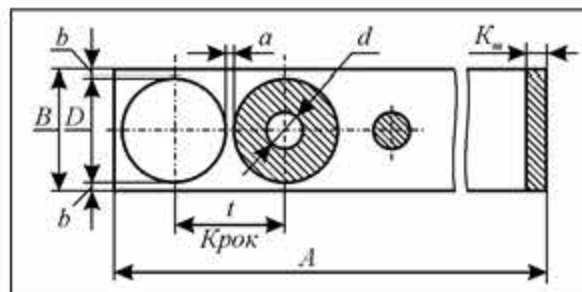


Рисунок 1.21 – Схема однорядного розкрою штаби

Джерело: [9]

– визначають ширину штаби при різних умовах роботи за формулами:

1) з бічним притиском,

$$B = B_p + \Delta_{ш}; \quad (1.27)$$

2) при умові роботи без бічного притиску

$$B = B_p + 2\Delta_{ш} + Z, \quad (1.28)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр деталі;

$b$  – величина бічної перемички, мм;

$\Delta_{ш}$  – однобічний (мінусовий) допуск на ширину штаби, мм;

$Z$  – гарантований зазор між напрямними штаби та штабою при її максимально можливій ширині, мм;

– визначається крок штампування

$$t = D + a, \quad (1.29)$$

де  $a$  – величина перемички, мм;

– розраховується кількість деталей (або заготовок), що штамнуються із штаби:

$$n = \frac{A}{t} \text{ шт.} + K_n, \quad (1.30)$$

де  $K_n$  – кінцевий залишок з листа, мм;

– розраховується кількість деталей з листа:

$$q = n m, \quad (1.31)$$

– розраховують коефіцієнт використання матеріалу, %:

$$\eta = \frac{F_d \cdot q \cdot 100}{F_n}, \quad (1.32)$$

де  $F_d$  – площа деталі, мм<sup>2</sup>;

$F_n$  – площа листа, мм<sup>2</sup> ( $F_n = L \cdot A$ );

– визначають норму витрати матеріалу на одну деталь, г:

$$H = \frac{G_n}{q}, \quad (1.33)$$

де  $G_n$  – маса листа, г ( $G_n = L \cdot A \cdot S \cdot \rho$ );

$\rho$  – густина матеріалу, г/см<sup>3</sup>;

$L$  – довжина листа, см;

$A$  – ширина листа, см;

$S$  – товщина листа, см.

Інші етапи розрахунків (розрахунок зусиль штампування, вибір обладнання, розрахунок виконавчих розмірів інструменту, розрахунки на міцність окремих деталей штапа) не розглядаємо із-за обмеженості обсягів даної роботи. Трудомісткість таких розрахунків не перевищує попередній розрахунок.

#### 1.1.4 Розрахунок кінематичних параметрів пресового обладнання [11]

При проектуванні штампового оснащення обов'язковою процедурою є вибір пресового обладнання. В більшості випадків обмежуються його паспортними даними (номінальне зусилля, закрита висота преса, габарити стола преса тощо). Але в деяких випадках потрібна інформація про кінематичні параметри головного виконавчого механізму (хід, швидкість та прискорення повзуна). Така інформація, в першу чергу, потрібна при проектуванні вбудованих в штамп засобів механізації і автоматизації, кінематика яких синхронізована з кінематикою преса. Потрібна вона також і при проектуванні технологічних процесів (швидкість деформації в зоні контакту робочих деталей штампа з заготовкою).

Розрахунок кінематичних параметрів відбувається в наступному порядку:

– встановлюють вихідні дані по паспортним характеристикам преса (номінальне зусилля преса, кількість ходів повзуна в хвилину, хід повзуна).  
приймають значення коефіцієнта довжини шатуна –  $\lambda$ ;

– по формулам, які зв'язують кут повороту головного валу і переміщення повзуна розраховують шлях ( $S$ ), швидкість ( $V$ ) і прискорення ( $a$ ) повзуна:

$$S = R \cdot [(1 - \cos \alpha) + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\alpha)] \text{ м}, \quad (1.34)$$

$$V = \omega \times R (\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha), \text{ м / с}, \quad (1.35)$$

$$a = -\omega^2 R (\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha) \text{ м / с}^2 \quad (1.36)$$

де  $S$  – хід повзуна;

$R$  – радіус кривошипа;

$\alpha$  – кут повороту головного валу;

$\omega$  – кутова швидкість головного валу.

– будують графіки шляху, швидкості і переміщення повзуна в залежності від кута повороту головного валу.

## **Висновки і постановка задач**

Отже на основі аналізу вище наведеного матеріалу можна зробити наступні висновки:

Проектування штампового оснащення на стадії технологічної підготовки виробництва є достатньо трудомісткою процедурою, яка включає проектування технологічного процесу виготовлення поковки або деталі з конструюванням штампового оснащення.

При проектуванні оснащення виконується великий обсяг розрахункових робіт різної ступені складності, які потім зводяться у розрахунково-пояснювальну записку. Більшість розрахунків виконується з використанням різноманітної обчислювальної техніки у чорновому варіанті безсистемно і тільки в кінці текстову, розрахункову і графічну частину зводять в один документ.

Штампове оснащення поділяється на штампи гарячого об'ємного штампування (молотові штампи та штампи КГШП) та штампи холодного листового штампування. Розрахунки при проектуванні всіх видів штамсів в більшості випадків носять формалізований характер і потребують автоматизації з використанням сучасного недорогого програмного забезпечення і системності в його застосуванні. Розрахунково-пояснювальна записка повинна мати форму шаблону, в якому вже є згенерований текст і діючі («живі») формули розрахунку і який легко адаптувати під різноманітні проектні задачі.

Отже, на підставі вище викладеного матеріалу, головним напрямком даної роботи є скорочення термінів підготовки технологічної стадії виробництва за рахунок скорочення часу на проектування штампового оснащення з використанням розрахункових та графічних модулів САПР.

З цією метою необхідно вирішити наступні задачі:

– проаналізувати технологічні та конструкторські розрахунки при проектуванні штампового оснащення та виявити найбільш трудомісткі;

– розробити шаблони розрахункових модулів проектування штампів гарячого штампування з використанням математичної програми MathCad, Microsoft Excel та САПР SolidWorks;

– розробити шаблони розрахункових модулів проектування штампів холодного штампування з використанням математичної програми MathCad та САПР SolidWorks;

– розробити шаблон модуля розрахунку кінематичних параметрів кривошипного пресу з використанням математичної програми MathCad та САПР SolidWorks;

– розробити рекомендації до системного застосування доступного програмного забезпечення фаховими спеціалістами при проектуванні штампового оснащення в умовах підготовки виробництва промислових виробів.

## МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

### 2.1. Методи дослідження та інструменти для виконання роботи

Під час виконання роботи по використанню розрахункових та графічних модулів САПР при проектуванні штампового оснащення використовувались емпірико-теоретичні (комплексні) та теоретичні методи дослідження.

В якості інструментів по рішення поставлених задач в роботі було обрано відносно просте і доступне програмне забезпечення з підтримкою технології Object Linking and Embedding (OLE) та удосконаленої технології ActiveX. Ця технологія дозволяє зв'язувати та впроваджувати об'єкти різного програмного забезпечення в інші документи та об'єкти.

У цей набір інструментів увійшли:

- математична програма MathCAD;
- офісна програма Microsoft Word;
- офісна програма Microsoft Excel;
- САПР SolidWorks;
- САПР AutoCAD.

#### 2.1.1 Коротка характеристика зазначених програм

**Математична програма MathCAD [12–13].** Mathcad – це середовище обчислень з класу систем автоматизованого проектування, орієнтоване на підготовку інтерактивних документів з обчисленнями та візуальним супроводом, вирізняється легкістю використання та може бути застосована для колективної роботи.

Призначення:

- виконання інженерних розрахунків із візуалізацією формул та чисел у єдиному форматі;
- розв'язання систем математичних рівнянь, інтегралів, диференціальних рівнянь;
- складання професійних звітів із текстами, графіками та розрахунками;

– аналіз даних, моделювання та оптимізація.

До особливостей даного програмного забезпечення слід віднести:

- пряме введення математичних формул та їхнє наочне рішення;
- можливість роботи зі станціями вимірювання;
- інтеграція з іншими інженерними та офісними програмами, наприклад SolidWorks.

**Офісна програма Microsoft Word.** Microsoft Word – текстовий редактор для створення, редагування, форматування та оформлення текстових документів. Він широко використовується для підготовки документів різних типів, від особистих нотаток до професійних звітів та публікацій.

Призначення:

- складання звітів, службових записок, листів, інструкцій;
- розробка різного роду шаблонів для узгодження;
- підготовка лекцій, конспектів, наукових праць, дисертацій;
- оформлення навчальних посібників, методичних матеріалів;
- розробка комерційних пропозицій, контрактів, угод;
- автоматизація задач.

До особливостей даного програмного забезпечення слід віднести:

- форматування тексту;
- інтеграція мультимедіа;
- інструменти редагування;
- таблиці та графіки;
- сумісність (експорт, імпорт даних).

**Офісна програма Microsoft Excel [14].** Microsoft Excel – програма для роботи з електронними таблицями. Вони призначені для організації, аналізу, візуалізації даних та виконання розрахунків.

Призначення:

- обробка та аналіз великих обсягів даних;
- побудова зведених таблиць для підсумовування, фільтрації та групування інформації;

– використання функцій для аналізу, таких як SUM, AVERAGE, IF, VLOOKUP;

- управління проектами;
- створення різного роду графіків, діаграм;
- наукові і інженерні розрахунки;
- автоматизація процесів тощо.

До особливостей даного програмного забезпечення слід віднести:

- формули та функції;
- зведені таблиці;
- сумісність (експорт, імпорт даних);
- робота з хмарними технологіями.

**САПР SolidWorks [15–17].** SolidWorks – програмний комплекс САПР для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Забезпечує розробку виробів будь-якого ступеня складності і призначення.

Призначення:

- 3D-моделювання;
- розробка креслеників;
- моделювання і аналіз;
- проектування для виробництва (CAM);
- створення анімацій і візуалізацій;
- моделювання в конкретних галузях;

До особливостей даного програмного забезпечення слід віднести:

- параметричне проектування;
- модулі для аналізу;
- підтримка інтеграції;
- компоненти відкритих бібліотек;
- сумісна роботає.

**САПР AutoCAD [18].** AutoCAD – система автоматизованого проектування (САПР), призначена для створення 2D- та 3D-креслень, моделей

та проектної документації. Програма широко використовується в архітектурі, будівництві, машинобудуванні, електроенергетиці та інших галузях.

Призначення:

- розробка точних креслень, схем та планів;
- використання шарів в організацію елементів креслення;
- додавання розмірів, міток, допусків та інших позначень;
- побудова тривимірних моделей деталей, збирання та конструкцій;
- попередній перегляд об'ємних об'єктів та створення рендерів;
- генерація проєкцій та розрізів із 3D-моделей;
- розробка генеральних планів, фасадів та розрізів будівель;
- створення детальних планів приміщень та інженерних мереж;
- підготовка будівельної документації;
- машинобудування та промислове проектування;
- розробка креслень машин та орієнтирів;
- створення складальних креслень та специфікацій;
- Інженерні розрахунки та моделювання;
- електротехнічне проектування;
- складання схем електропроводки та монтажних схем;
- проектування систем автоматизації та управління;
- складання плану розміщення електроустаткування;
- розробка плану водопостачання, вентиляції, каналізації;
- проектування транспортної зайнятості: дороги, мости, колії;
- створення карт та схем геодезії;
- графічний дизайн та візуалізація.
- створення макетів та технічних малюнків;
- підготовка презентаційних матеріалів.

## 2.2 Розробка структурної схеми взаємодії програмного забезпечення при створенні шаблону розрахунково-пояснювальної записки

Для створення шаблонів документів по проектуванню штампового оснащення за базову програму взято математичну програму Mathcad. Все інше програмне забезпечення виконує функції доповнення та розширення можливостей Mathcad. Тобто створена достатньо потужна інтегрована система з доступних програмних продуктів, яка може вирішувати будь-які проблеми проектування штампового оснащення на стадії технологічної підготовки виробництва. Структурна схема взаємодії програмного забезпечення наведена на рис.2.1).

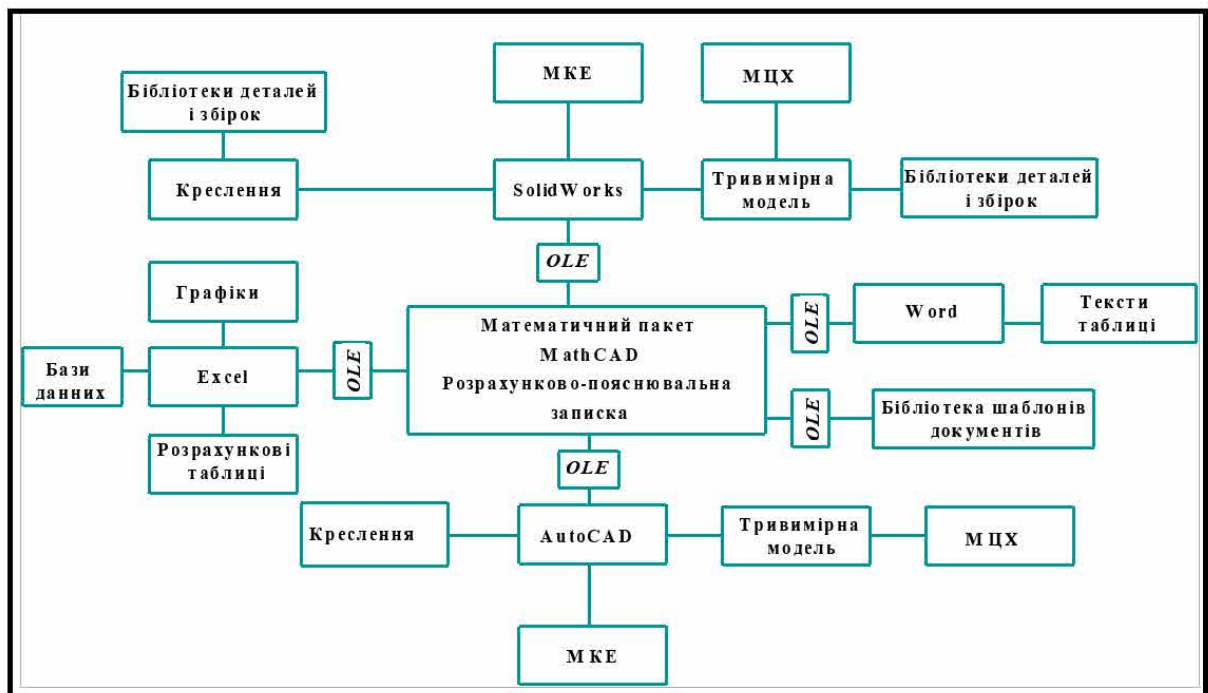


Рисунок 2.1 – Структурна схема взаємодії програмного забезпечення при створенні шаблону розрахунково-пояснювальної записки

*Джерело: розробка автора*

Для подальшої роботи по створенню шаблонів розрахунково-пояснювальної записки проектувальнику потрібно мати на робочому місці зазначене програмне забезпечення та звичайний офісний персональний комп'ютер з операційною системою не нижче Windows 10. Працювати рекомендується в багатівіконному режимі. Можна застосовувати паралельний інжиніринг при колективній роботі.

## РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВИХ ТА ГРАФІЧНИХ МОДУЛІВ САПР ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ШТАМПОВОГО ОСНАЩЕННЯ

### 3.1 Розробка шаблону розрахунково-пояснювальної записки до проекту молотового штампу в середовищі математичної програми MathCAD

В проектування молотового штампу входить розробка технологічного процесу виготовлення поковки та конструювання на його основі молотового штампу. Проектування здійснюємо в середовищі математичної програми MathCAD (див. розділ 2).

Вихідними даними для проектування є креслення деталі з технічними вимогами та маркою матеріалу (рис. 3.1)

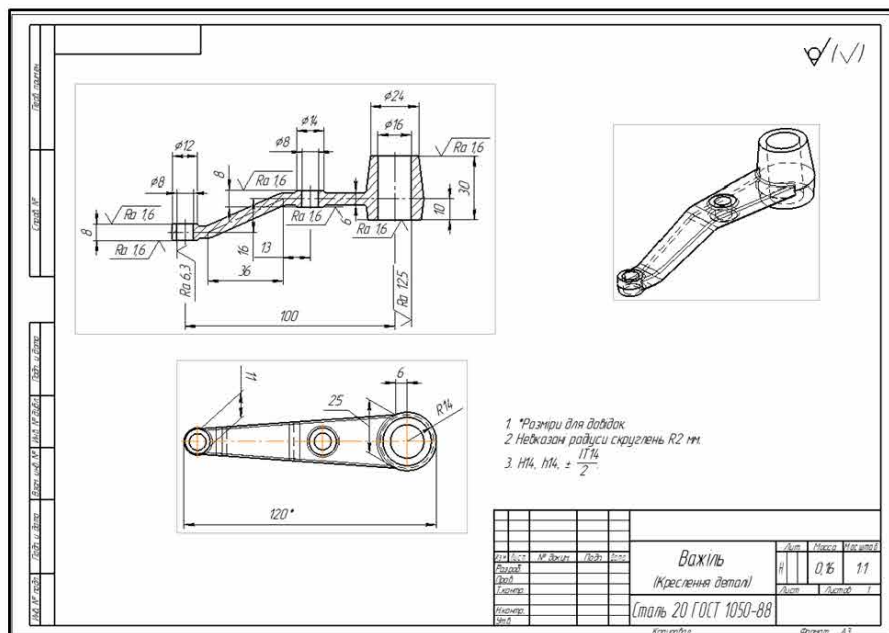


Рисунок 3.1 – Креслення деталі «Вахіль»

*Джерело: розробка автора*

Далі робиться опис і дається технічна характеристика деталі. Цю інформацію можна надавати безпосередньо в MathCAD, використовуючи його власний редактор, а можна вставляти фрагменти з Word з можливістю редагувати текст безпосередньо з MathCAD (рис. 3.2).

**1.1.1. Призначення та область застосування деталі. Складання креслення поковки**

Деталь "Важіль" призначена для передачі неспіввісних зусиль в механічних системах. Застосовується в коробках передач вантажних автомобілів, тракторів, самохідних установках. Працює в умовах середнього циклічного навантаження.

**1.1.2. Конструктивно-технологічний аналіз деталі.**

Деталь має достатню складну просторову форму, елементи деталі розташовані в різних координатних площинах, що обумовлює підвищену складність оснащення для її виготовлення. В деталі є отвори діаметрами 12, 14, 16 мм. Інші конструктивні елементи деталі (радіуси закруглень, ухили) виконані по існуючим нормативам. Характер діючих зусиль вимагає розташування волокон вздовж осі деталі.

**1.1.3. Короткі відомості про матеріал деталі.**

Важіль виготовляється із сталі 20 ГОСТ 1050-74. Сталь 20 відноситься до вуглецевої якісної конструкційної сталі. Хімічний склад сталі наведений в таблиці 1.1., а механічні характеристики в таблиці 1.2.

Хімічний склад сталі 20

Таблиця 1.1.

Хімічний склад, %								
C	Mn	Si	Cu	Ni	Cr	As	P	S
0,17-0,24	0,35-0,65	0,17-0,37	≤0,25	≤0,25	≤0,25	≤0,8	≤0,035	≤0,04

Механічні характеристики матеріалу

Таблиця 1.2.

Марка матеріалу	Механічні характеристики			
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_{sp}$ , МПа	$\delta_5$ , %
Сталь 20	420 (91)	250	360	20

Примітка: у дужках позначені характеристики при температурі кінця штампування - 750°C.

Рисунок 3.2 – Фрагмент опису деталі в MathCAD

*Джерело: розробка автора*

Визначаємось з базуванням деталі під час механічної обробки та оптимальним способом штампування (рис.3.3).

**1.1.4. Прийняття установчих баз**  
За укладенням з замовником приймаємо вихідні установчі бази. [2, с. 8, рис.3].

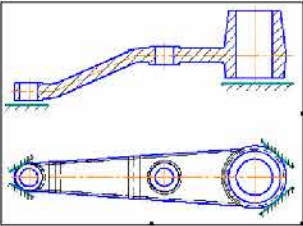


Рис. 1.1. Розташування установчих баз

**1.2. Вибір та обгрунтування оптимального способу штампування.**

На основі вимог до деталі та програми випуску поковок встановлюємо середній тип виробництва. За таких умов доцільно вибрати спосіб штампування на молоті, як такий, що забезпечує достатню продуктивність та точність штампування.

Рисунок 3.3 – Фрагмент вибору установчих баз

*Джерело: розробка автора*

Як видно з фрагменту в MathCAD вставлений графічний об'єкт з SolidWorks, який при активації запускає інтерфейс базової програми з можливістю редагування об'єкта.

Наступний етап – розробка креслення поковки. Перед розробкою креслення поковки рекомендується на основі плоского креслення деталі зробити її тривимірну модель (рис. 3.4), яка буде неодноразово використовуватись в подальших розрахунках. За допомогою інструментарію графічного редактора SolidWorks можна отримати масо-центровочні характеристики моделі (масу, центр ваги, об'єм, моменти інерції тощо). Окрім того, на основі моделі деталі значно простіше і швидше побудувати тривимірну модель поковки.



Рисунок 3.4 – Тривимірна модель деталі «Важіль»

*Джерело: розробка автора*

Для призначення припусків і допусків попередньо визначаємо ступінь складності поковки, використовуючи тривимірну модель деталі (рис. 3.5).

### 1.3. Розробка креслення поковки .

Поковка відноситься до другого класу точності, група сталі М1(вуглецева) з вигнутою поверхнею роз'єму. Маса деталі - 156,8 гр. (визначена засобами графічного редактора SolidWorks по побудованій твердотільній моделі (рис. 1.2.) на основі креслення деталі). Перед штампуванням поковку нагрівають в установці індукційного нагріву.

#### 1.3.1. Визначення ступеню складності поковки.

Ступінь складності поковки  $C$  розраховуємо по формулі (1).

$G_d := 156.8$  - маса деталі, гр (визначена засобами графічного редактора SolidWorks).

$G_p := 1.25 \cdot G_d$  - маса поковки, гр.  $G_p = 196$

$G_f := 1052.3$  - маса фігури, в яку вписується поковка, гр (визначена засобами графічного редактора SolidWorks).

$$C := \frac{G_p}{G_f} \quad C = 0.186$$

Приймаємо складність поковки  $C3$  [1, стор.7.]

Рисунок 3.5 – Фрагмент визначення ступеню складності поковки в MathCAD

*Джерело: розробка автора*

Призначаємо припуски і допуски згідно ДСТУ (ГОСТ7505-89). Припуски призначаємо тільки на поверхні поковки які обробляються, допуски призначаємо на всі розміри, які є на кресленні деталі. Фрагмент призначення припусків і допусків наведено на рис. 3.6. Таблиця сформована у редакторі Microsoft Word. Так само можна було сформувати таблицю і в офісній програмі Microsoft Excel.

### 1.3.2. Визначення припусків і допусків.

Припуски і допуски на обробку різанням призначаємо з врахуванням класу точності поковки, групи сталі, ступені складності, маси поковки, шорсткості і розмірів поверхонь і розмірів деталі [1, табл. 2.] Припуски і допуски на поковку "Важіль" наведені в табл. 1.3.

Намітки під прошивку в поковці не виконуємо, оскільки діаметр отворів менше 30 мм.

Таблиця 1.3.

Припуски та допуски

Розмір деталі, мм	Припуск на сторону, мм [2, табл. 2, с. 10...11]	Допуск, мм [2, табл. 5, с.16...17; табл. 7, с. 20]	Кінцевий розмір, мм
30	1.6	$\begin{matrix} +0,8 \\ -0,4 \end{matrix}$	$34_{-0,4}^{+0,8}$
8	1.6	$\begin{matrix} +0,8 \\ -0,4 \end{matrix}$	$12_{-0,4}^{+0,8}$
Ш12	-	$\begin{matrix} +0,8 \\ -0,4 \end{matrix}$	$Ш12_{-0,7}^{+1,5}$
Ш14	-	$\begin{matrix} +0,8 \\ -0,4 \end{matrix}$	$Ш14_{-0,8}^{+1,6}$
Ш24	-	$\begin{matrix} +0,8 \\ -0,4 \end{matrix}$	$Ш24_{-0,8}^{+1,6}$
25	-	$\begin{matrix} +0,8 \\ -0,4 \end{matrix}$	$25_{-0,7}^{+1,5}$
36	-	$\pm 0.30$	$36 \pm 0.30$
R14	-	$\begin{matrix} +0,8 \\ -0,4 \end{matrix}$	$R14_{-0,7}^{+1,5}$
100	-	$\pm 0.50$	$100 \pm 0.50$
13	*	$\pm 0.30$	$13 \pm 0.30$

Найменші радіуси зовнішніх закруглень - 1,5 мм.

Штампувальні ухили зовнішні -  $7^{\circ}$

Допуски на кутові відхилення -  $3.00'$ .

Зміщення - 0,4 мм.

Задирка - 0.6 мм.

Рисунок 3.6 – Фрагмент визначення припусків і допусків поковки в

MathCAD

*Джерело: розробка автора*

Намітки під прошивку не проектуємо, оскільки діаметри отворів на деталі менше 30 мм.

Будуємо тривимірну модель поковки з врахуванням призначених припусків і допусків у графічному середовищі програми SolidWorks (рис. 3.7). Інструментами програми визначаємо масо-центровочні характеристики поковки. Маса поковки з врахуванням призначених припусків і допусків складає 230,9 гр., що вписується в раніше вибраний діапазон 0,0-0,25 кг. Перераховувати ступінь складності поковки і припуски не потрібно.



Рисунок 3.7 – Тривимірна модель поковки «Важіль»

*Джерело: розробка автора*

Наступний крок розробки технології – вибір переходів штампування, що включає побудову розрахункової заготовки та епюри перерізів (рис. 3.8).

**1.4. Вибір переходів штампування**

**1.4.1. Побудова розрахункової заготовки та епюри перерізів.**

Розрахунковою заготовкою називається умовна заготовка з круглими перерізами, площі яких дорівнюють сумі площин відповідних перерізів поковки і задирки.

$$S_e = S_p + 2S_z = S_p + 2\xi S_{z.k.}$$

де  
 $S_e$  - площа перерізу розрахункової заготовки у будь якому місці;  
 $S_p$  - площа перерізу поковки у будь якому місці, яка розрахована по номінальним розмірам з додатком до вертикальних розмірів половини позитивного відхилення;  
 $S_z$  - площа перерізу облою;  
 $S_{z.k.}$  - площа перерізу канавки для облою;  
 $\xi$  - коефіцієнт заповнення канавки [1, табл. 8, ст. 67.]

Вибираємо перший тип облойної канавки [1, стор. 65]. Схема облойної канавки та її параметри наведені на рис. 1.4.

Рисунок 3.8 – Фрагмент пояснення побудови розрахункової заготовки та епюри перерізів поковки в MathCAD

*Джерело: розробка автора*

Вибираємо перший тип облойної канавки [1]. Схема облойної канавки та її параметри наведені на рис. 3.9.

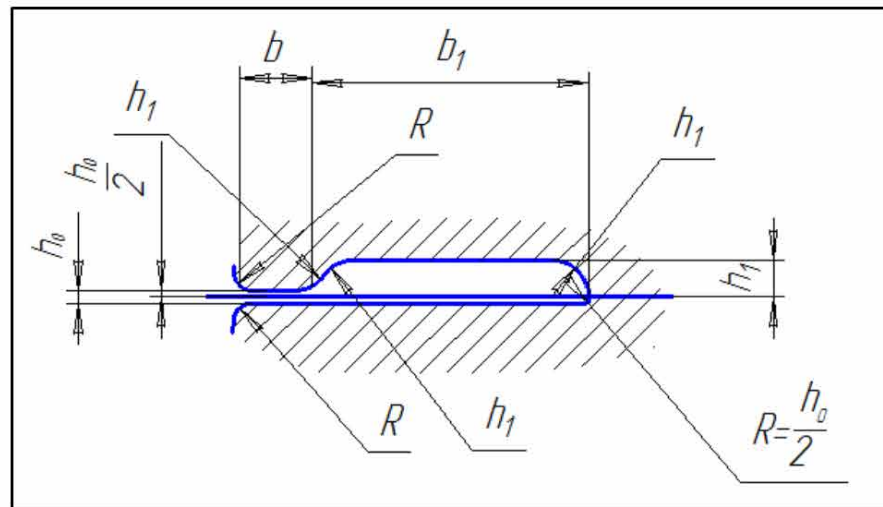


Рисунок 3.9 – Схема облойної канавки

*Джерело: розробка автора*

Розрахунок площі перерізу облою наведено на рис. 3.10.

Товщину облою на містку визначаємо в залежності від форми поковки в плані.

Для поковок довільної форми

$F_{\Pi} := 2290 \text{ мм}^2$  (визначається засобами SolidWorks по кресленню поковки)

$h_0 := 0.015 \sqrt{F_{\Pi}}$

$h_0 = 0.718 \text{ мм}$

Приймаємо  $h_3 := 0.8 \text{ мм}$

Розміри облойної канавки вибираємо по [1, табл. 7, стор. 65].

$h_1 := 3 \quad R := 1.0 \quad b := 6 \quad b_1 := 20 \quad S_{обк} := 69 \text{ мм}^2$

$\xi := 0.4$  - коефіцієнт заповнення рівчака

Площа перерізу облою

$S_{об} := \xi \cdot S_{обк} \quad S_{об} = 27.6 \text{ мм}^2$

Рисунок 3.10 – Фрагмент розрахунку площі перерізу облою в MathCAD

*Джерело: розробка автора*

Далі через поковку робляться перерізи в характерних точках і визначаються площини перерізів ( $\text{мм}^2$ ) засобами SolidWorks (рис. 3.11). Перед цим поковку виправляють по середній лінії, довжину якої визначають в редакторі.



№ перерізу	$S_{x1}, \text{мм}^2$	$S_{x2}, \text{мм}^2$	$r$	$S_e, \text{мм}^2$	$M, \text{мм}^2/\text{мм}$	$h_e, \text{мм}$	$d_e, \text{мм}$
1	0,00	69,00	0,80	110,40	10,00	11,04	11,87307
2	732,00	69,00	0,80	842,40	10,00	84,24	32,79726
3	873,00	69,00	0,80	983,40	10,00	98,34	35,43591
4	741,00	69,00	0,80	851,40	10,00	85,14	32,972
5	147,00	69,00	0,80	257,40	10,00	25,74	18,12937
6	132,00	69,00	0,80	242,40	10,00	24,24	17,5932
7	188,00	69,00	0,80	298,40	10,00	29,84	19,51991
8	202,00	69,00	0,80	312,40	10,00	31,24	19,97257
9	182,00	69,00	0,80	292,40	10,00	29,24	19,32267
10	122,00	69,00	0,80	232,40	10,00	23,24	17,22648
11	76,00	69,00	0,80	186,40	10,00	18,64	15,42771
12	138,00	69,00	0,80	248,40	10,00	24,84	17,8096
13	145,00	69,00	0,80	255,40	10,00	25,54	18,0588
14	118,00	69,00	0,80	228,40	10,00	22,84	17,07759
15	0,00	69,00	0,80	110,40	10,00	11,04	11,87307

Рисунок 3.13 – Розрахункова таблиця перерізів поковки (Microsoft Excel)  
Джерело: розробка автора

Будується еюра перерізів засобами SolidWorks для спарених поволок (рис.3.14.) на якій відкладаються в масштабі  $M=10$  величини площин характерних перерізів  $S_e$  в вигляді відрізків  $h_e$ , (рис. 3.13), мм.

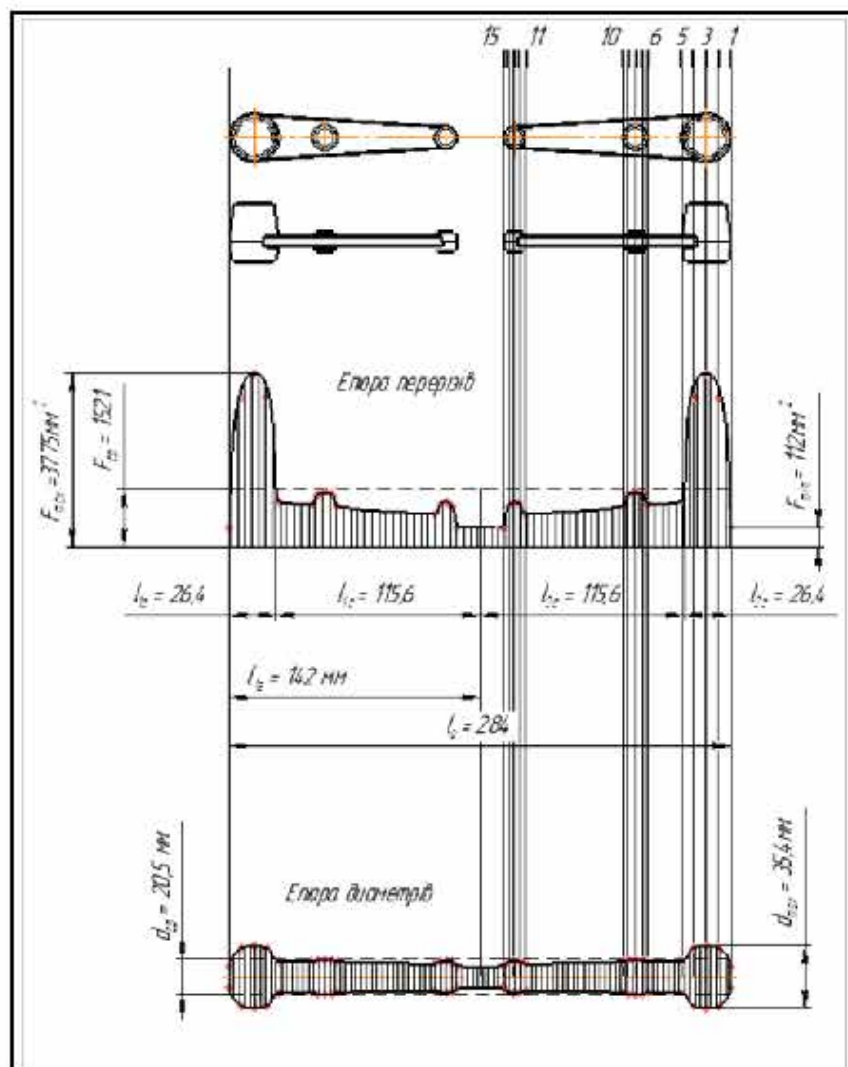


Рисунок 3.14 – Еюра перерізів і діаметрів  
Джерело: розробка автора

Розраховуємо об'єм і середній діаметр всієї розрахункової заготовки в MathCAD (рис. 3.15)

```
Об'єм всієї розрахункової заготовки дорівнює:  
M := 10  
Fe := 9349.1 - площа епюри розрахункової заготовки, мм2  
(визначається засобами Компас-Графік).  
  
Ve := Fe · M      Ve = 9.349 × 104 мм3  
  
Середньою розрахунковою заготовкою називають циліндр  
діаметром dcp, довжиною, яка дорівнює довжині поковки (le=ln) і  
об'ємом, який дорівнює сумі об'ємів поковки Vп і об'єму Vo.  
Площина перерізу середньої розрахункової заготовки:  
le := 284 мм  
  
Scp :=  $\frac{Ve}{le}$       Scp = 329.194 мм2  
  
Діаметр середньої розрахункової заготовки, dcp:  
  
dcp := 1.13 ·  $\sqrt{Scp}$       dcp = 20.502 мм
```

Рисунок 3.15 – Фрагмент розрахунку об'єму і діаметру середньої розрахункової заготовки в MathCAD

*Джерело: розробка автора*

Згідно виконаних розрахунків та графічних побудов (див. епюру перерізів, рис. 3.14) визначаємо, що розрахункова заготовка відноситься до складних, тому що має дві головки і один стрижень. В результаті отримуємо елементарну заготовку з параметрами наведеними на епюрах діаметрів та перерізів.

З'ясуємо необхідність застосування заготівельних операцій. Враховуючи тип виробництва та групу поковки (І гр., 1 підгрупа) рекомендується застосувати заготівельні операції [1]. Для остаточного визначення необхідності заготівельних операцій виконаємо наступні розрахунки (рис. 3.16)

Визначаємо коефіцієнти  $\alpha$  і  $\beta$  для кожної елементарної заготовки і вибираємо найбільші.

$$d1_{\max} := 35.4 \quad l_{\text{е}} := 142.0$$

$$\alpha_1 := \frac{d1_{\max}}{d_{\text{ср}}} \quad \beta_1 := \frac{l_{\text{е}}}{d_{\text{ср}}}$$

$$\alpha_1 = 1.727 \quad \beta_1 = 6.926$$

Рисунок 3.16 – До вибору заготівельних рівчаків (MathCAD)

По діаграмі Ребельського (див. розділ 1, рис. 1.13) елементарна заготовка попадає в зону вибору протягувального та підкатного закритого рівчака. Вибираємо в якості заготівельних рівчаків протягувальний та підкатний закритий.

Наступний крок – визначення розмірів вихідної заготовки. Розраховуємо інструментами математичної програми MathCAD об'єм заготовки (рис. 3.17).

Об'єм заготовки

$$V_{\text{по}} := 9.349 \times 10^4 \quad \text{-об'єм поковки разом з об'ємом, визначається засобами КОМПАС-ГРАФІК, мм}^3$$

$$V_{\text{уг}} := 0.02 \cdot V_{\text{по}} \quad \text{- втраги на випал, мм}^3$$

$$V_{\text{зг}} := V_{\text{по}} + V_{\text{уг}}$$

$$V_{\text{зг}} = 9.536 \times 10^4 \quad \text{мм}^3$$

Рисунок 3.17 – Розрахунок об'єму заготовки

*Джерело: розробка автора*

Розраховуємо площу перерізу вихідної заготовки (рис. 3.18).

$$S_{\text{пд}} := 1.2 \cdot S_{\text{ср}} \quad \text{-з підкатуванням, мм}^2$$

$$V_{\text{г}} := 13500 \quad \text{-об'єм металу у гнотині поковки, мм}^3$$

$$l_{\text{г}} := 26.4 \quad \text{-довжина поковки, мм}$$

$$K := 0.07 \quad \text{-конусність, визначається по розрахунковій заготовці засобами SolidWorks}$$

$$S_{\text{пр}} := \frac{V_{\text{г}}}{l_{\text{г}}} \quad \text{-з протягуванням, мм}^2$$

$$S_{\text{пр}} = 511.364 \quad \text{мм}^2$$

$$S_{\text{зг}} := S_{\text{пр}} - K \cdot (S_{\text{пр}} - S_{\text{пд}}) \quad S_{\text{зг}} = 503.22 \quad \text{мм}^2$$

Довжина заготовки

$$l_{\text{з}} := \frac{V_{\text{зг}}}{S_{\text{зг}}} \quad l_{\text{з}} = 189.499 \quad \text{мм}$$

Сторона квадрата  $S_{\text{з}}$

$$C_{\text{з}} := \sqrt{S_{\text{з}}} \quad C_{\text{з}} = 22.433 \quad \text{мм}$$

Рисунок 3.18 – Розрахунок площі перерізу вихідної заготовки (MathCAD)

Приймаємо найбільший ближчий стандартний квадратний профіль висотою 23 мм по ДСТУ (ГОСТ 2591-71).

Тоді скоригована довжина заготовки буде 180.5 мм.

Наступні кроки – розкрій металу та розрахунок відходів, необхідне для різання зусилля сортових ножиць, вибір сортових ножиць, температурний режим штампування, вибір нагрівального обладнання виконується по стандартній методиці з використанням власного текстового редактора та редактора Microsoft Word згідно [1].

До розрахунків підвищеної складності можна віднести розрахунок зусилля штампування. Спочатку виконується підготовча робота по визначенню складових розрахунку (рис. 3.19)

**1.7. Визначення зусилля штампування**

$\sigma_t := 91$  - межа текучості металу при температурі штампування, МПа;

$\mu_o := 0.5$  - коефіцієнт зовнішнього тертя на містку облою;

$F_o := 3700.8$  - площа проекції містка облою, мм<sup>2</sup> (визначається засобами SolidWorks);

$F_{п} := 4900.3$  - площина проекції поковки на площину роз'єму, мм<sup>2</sup> (визначається засобами SolidWorks);

$D_{пр} := 1.13\sqrt{F_{п}} \quad D_{пр} = 79.102$

$l_{п} := 284$  - максимальний габаритний розмір поковки в плані, мм;

$b_{ср} := \frac{F_{п}}{l_{п}}$  - середня ширина поковки в плані, мм;

$b_{ср} = 17.255$

Рисунок 3.19 – Визначення складових компонентів розрахунку (MathCAD)

*Джерело: розробка автора*

Оскільки підсумкова формула розрахунку достатньо велика і не вміщується в робоче розрахункове поле програми MathCAD її розбито на три компоненти (А, В, С) з якими виконується подальший розрахунок (рис. 3.20).

$$\begin{aligned}
 A &:= 5.6 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_t \cdot (1 - 0.0005 \cdot D_{np}) \\
 B &:= 3.75 \cdot \left( b + \frac{D_{np}}{4} \right) \cdot (75 + 0.001 \cdot D_{np}^2) \\
 C &:= D_{np} \cdot \left( \frac{D_{np}^2}{50} + \frac{b \cdot D_{np}}{4} + \frac{b^2}{2} \right) \\
 D &:= \ln \left[ 1 + \frac{2.5 \cdot (75 + 0.001 \cdot D_{np}^2)}{D_{np} \cdot h_0} \right] \\
 E &:= \left( 1 + 0.1 \sqrt{\frac{\ln}{bcp}} \right) \\
 P &:= A \cdot (B + C \cdot D) \cdot E \quad P = 2.708 \times 10^3 \text{ кг}
 \end{aligned}$$

Рисунок 3.20 – Розрахунок маси падаючих частин молота (MathCAD)

*Джерело: розробка автора*

По результатам розрахунку вибираємо молот з найближчою більшою масою падаючих частин – 3,15 тони.

Наступний крок – вибір виду обрізання облою в поковках, визначення зусилля та вибір обрізного пресу.

За рекомендаціями [1] вибираємо холодне обрізання облою

Необхідне для обрізання облою зусилля обрізного пресу визначається за формулою у наведеному фрагменті розрахунку (рис. 3.21).

$$\begin{aligned}
 S &:= 568.8 \text{ мм} - \text{периметр різь (визначається засобами SolidWorks)} \\
 z &- \text{розмір явний визначається графічно по лінії різь облою (визначається засобами КОМПАС-ГРАФІК)} \\
 n &- \text{можливе недоштампування, яке приймають рівним позитивному допуску на розмір поковки по висоті.} \\
 z &:= 3.8 \text{ мм} \\
 n &:= 1.6 \text{ мм} \\
 t_0 &:= z + n \text{ мм} - \text{товщина облою} \\
 t_0 &= 5.4 \text{ мм} \\
 \sigma_b &:= 420 \\
 P_{об} &:= 1.8 \cdot 10^{-5} \cdot S \cdot t_0 \cdot \sigma_b \quad P_{об} = 2.322 \text{ МН}
 \end{aligned}$$

Рисунок 3.21 – Розрахунок зусилля обрізного пресу (MathCAD)

*Джерело: розробка автора*

За розрахованим зусиллям вибираємо обрізний прес (рис. 3.22)

Прес вибираємо із врахуванням того, що будуть застосовані матриці зі скошеними крайками.  
 $R_{ск} = (0,4 \dots 0,6) P_{об}$   
де  $P_{об}$  - зусилля обрізки облою в матрицях з плоскими ріжучими крайками  
 $R_{ск} := 0,6 \cdot P_{об} \quad R_{ск} = 1,393 \text{ МН}$   
Приймаємо прес зусиллям 2,5 МН.

Рисунок 3.22 – Вибір преса для обрізання облою

*Джерело: розробка автора*

Наступні етапи розробки технологічного процесу мають, в основному, характер опису і враховуючи обмеженість по обсягу даної роботи, надалі не наводяться.

Конструювання молотового штампу також може відбуватись у комбінованому використанні вищезгаданих програмних продуктів.

Рівчак молотового штампу конструюється по кресленню гарячої поковки, тобто з врахуванням усадки. Тут також доцільно застосовувати математичну програму MathCAD. Профілі рівчаків конструюються по певним рекомендаціям і нормам, які доцільно зводити до інформаційних бібліотек з відповідними гіперпосилками по тексту розрахунково-пояснювальної записки в середовищі MathCAD. При конструюванні підкатувальних відкритих і закритих рівчаків та формувальних рівчаків використовується розрахункова заготовка для отримання їх профілю по довжині і в поперечних перерізах. Розміри облойної канавки беруться з технологічних розрахунків. В даній роботі конструкторські розрахунки молотового штампу не наводяться із за обмеженості в обсязі роботи. Кінцевий результат проектування молотового штампу для поковки «Важіль» наведений на рис. 3.23. На дзеркалі молотового штампу розташовано наступні рівчакі: протягувальний, підкатний закритий, попередній рівчак, кінцевий рівчак та відрубний ніж. В кінцевому рівчаку відбувається також гнуття спареної поковки.



### 3.2 Розробка шаблону розрахунково-пояснювальної записки до проекту штампу холодного листового штампування в середовищі математичної програми MathCAD

В проектування розділового штампу листового штампування входить розробка технологічного процесу виготовлення деталі та конструювання на його основі розділового штампу. Проектування здійснюємо в середовищі математичної програми MathCAD (див. розділ 2).

Вихідними даними для проектування є креслення деталі з технічними вимогами та маркою матеріалу (рис. 3.23). Бажаною також є наявність тривимірної моделі деталі з масоцентровочними характеристиками (рис. 3.24).

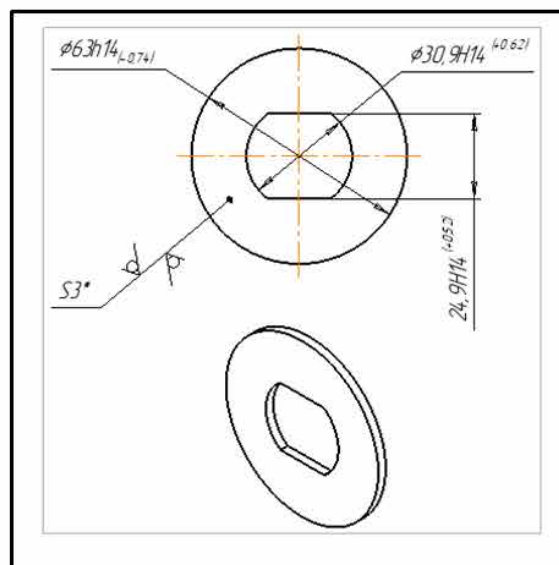


Рисунок 3.23 – Ескіз кресленика деталі «Шайба»

*Джерело: розробка автора*

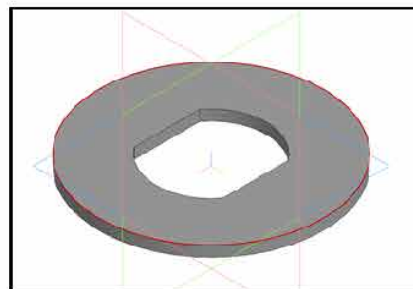


Рисунок 3.24 – Тривимірна модель деталі «Шайба» (SolidWorks)

*Джерело: розробка автора*

Далі робиться опис і дається технічна характеристика деталі «Шайба». Цю інформацію можна надавати безпосередньо в MathCAD, використовуючи

його власний редактор, а можна вставляти фрагменти з Word з можливістю редагувати текст безпосередньо з MathCAD (рис. 3.24).

**2.4.1. Креслення деталі, умови її роботи і технічні вимоги**

Деталь «Шайба» (див. креслення) застосовується в вузлах та комплектуючих зернових сівалок як опорний елемент в різного типу з'єднаннях. Деталь працює в умовах великого навантаження. Технічні вимоги на деталь наведені на кресленні деталі.

**2.4.2. Короткі відомості про матеріал деталі**

Шайба виготовляється із листового прокату за умовним позначенням  $\text{Лист} \frac{B - \text{ПН} - 3 \times B \times L \text{ ГОСТ19903} - 74}{4 - \text{IV} - 45 \text{ ГОСТ16523} - 70}$

Сталь 45 відноситься до вуглецевої якісної конструкційної сталі по ГОСТ 1050-74. Хімічний склад сталі наведений в таблиці 1.1, а механічні характеристики в таблиці 2.7, 2.8.

Таблиця 2.7

Хімічний склад сталі 45

Хімічний склад, %							
C	Mn	Si	Cu	Ni	Cr	P	S
0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	≤0,25	≤0,25	≤0,25	≤0,035	≤0,04

Таблиця 2.8

Механічні характеристики матеріалу

Марка матеріалу	Механічні характеристики			
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_{зр}$ , МПа	$\delta_1$ , %
Сталь 45	610...630	360...365	520...535	15

Рисунок 3.25 – Фрагмент до опису деталі «Шайба»

Надалі виконується конструктивно-технологічний аналіз деталі «Шайба» у вигляді опису в редакторі Microsoft Word, вставленому як об'єкт в MathCAD.

**2.4.3. Конструктивно-технологічний аналіз деталі**

По площині поверхні деталь відноситься до дрібних. 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. Діаметр отвору, що пробивається (30,9 мм) значно більше ніж товщина матеріалу ( $s=3$  мм).

Рисунок 3.26 – Фрагмент конструктивно-технологічного аналізу деталі

*Джерело: розробка автора*

При проектуванні технологічного процесу холодного листового штампування може бути достатньо велика кількість варіантів, з яких потрібно вибрати оптимальний, тобто з найменшою собівартістю, підтвердженою відповідними техніко-економічними розрахунками. Це досягається різними способами: скороченням кількості операцій, вибором матеріалу, більш раціональним варіантом розкрою матеріалу, більш сучасним обладнанням, високостійким штамповим інструментом тощо. Приклад найпростішого вибору варіанту наведено на рис. 3.27.

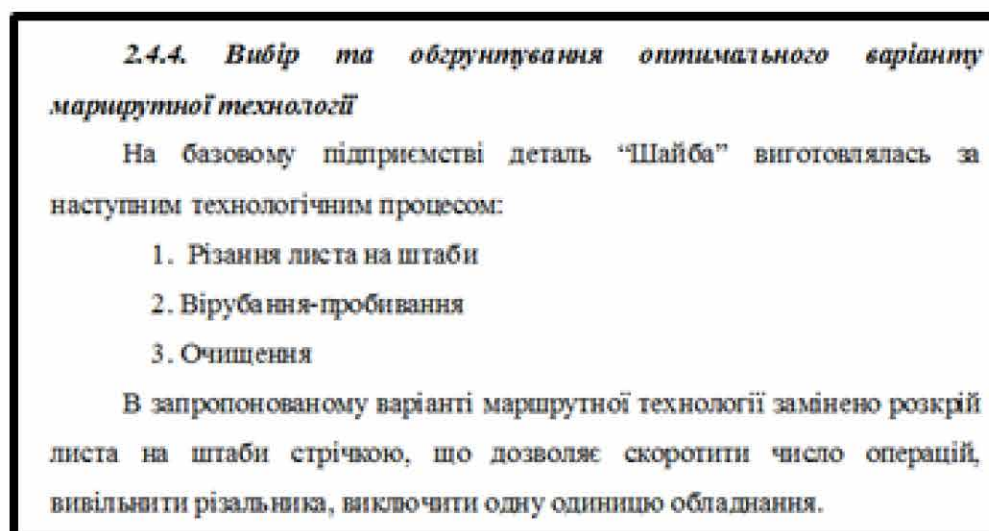


Рисунок 3.27 – Фрагмент вибору оптимального варіанту маршрутної технології (MathCAD)

*Джерело: розробка автора*

Наступним кроком розробки технологічного процесу холодного листового штампування є процес розкрою металопродукату, який є важливим не тільки з економічної сторони але і з прийняттям рішень по конструкції штампового оснащення. Процедура розкрою в технології листового штампування є ледь не самою трудомісткою процедурою із усіх інших, оскільки багатоваріантна. В різних САПР пропонується програмне забезпечення для оптимального розкрою, але воно є, в більшості випадків, спеціалізованим і дорогим. Використання таких програм як MathCAD дозволяє проектантам позитивно вирішувати різноманітні проблеми, пов'язані з розкромом матеріалу і не маючи відповідних професійних навичок. Приклад

шаблону звичайної методики розкрою листового матеріалу в MathCAD наведено нижче.

Спочатку розробляється схема розкрою (рис. 3.28).

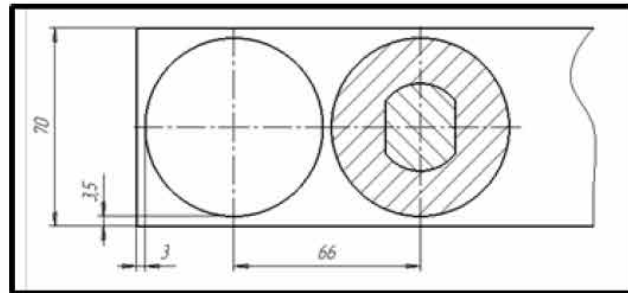


Рисунок 3.28 – Схема розкрою металопрокату

Розраховується ширина штаби (рис. 3.29).

Визначення ширину штаби (для випадку вільного переміщення штаби в напрямних)

$$B = [D + 2(a + \delta)z_n + \delta']_{-\delta}$$

$D$  - розмір деталі, що вирізається, мм;  
 $a$  - найменша величина бокової перемички, мм;  
 $\delta$  - допуск на ширину штаби для випадку розкрою листів на штаби, мм.  
 $z_n$  - гарантований найменший зазор між напрямними, мм;  
 $\delta'$  - допуск на відстань між напрямними планками

Дано:

$D := 63$      $a := 2.8$      $z_n := 1$      $\delta := 0.4$      $\delta_1 := 0.30$      $b := 2.5$

$$B := [D + 2(a + \delta)z_n + \delta_1]_{-\delta} \qquad B = 70.700$$

Приймаємо  $B = 70$  мм.  
 $B := 70$

Рисунок 3.29 – Фрагмент розрахунку ширини штаби

Визначаємо відстань між напрямними планками (рис. 3.30).

$B := 70$

Відстань між напрямними планками

$$B_{пл} := (B + z_n)^{+\delta_1} \qquad B_{пл} = 71.000^{+0.35}$$

Приймаємо  $B_{пл} = 71^{+0.35}$  мм.

Рисунок 3.30 – Фрагмент розрахунку відстані між напрямними планками

Визначаємо техніко-економічні показники розкрою матеріалу (рис. 3.31, 3.32)

Визначаємо крок подачі стрічки  
 $t = D + b$

Кількість деталей з стрічки  
 $n = Lc/t + Kn$   
де  $Kn$  - кінцевий залишок з стрічки, мм

Кількість деталей з стрічки  
 $q = n \cdot m$

Коефіцієнт використання матеріалу  
 $\eta = (F_d \times q \times 100) / F_c$

де  $F_d$  - площа деталі, мм<sup>2</sup>;  
 $F_l$  - площа стрічки

Маса готового виробу, кг  
 $M_d = 0,058$  (визначається засобами SolidWorks по твердотільній моделі деталі)

$H$  - норма витрати матеріалу на одну деталь, кг

---

$H = M_c / n$

де  $M_c$  - маса стрічки, г

Рисунок 3.31 – Фрагмент пояснень до розрахунку техніко-економічних показників розкрою матеріалу (редактор MathCAD)

Маса стрічки  $M_c = 220$  кг

$M_c := 220$

$t := D + b$        $t = 65.500$        $L_c := 150000$

$n1 := \frac{L_c}{t}$        $n1 = 2.290 \times 10^3$

Приймаємо  $n1 = 2290$  шт.

Площу деталі визначаємо з допомогою інструментарію графічного редактора "КОМПАС-ГРАФІК 5.9"

$F_d := 2442.08$      $P := 0.0079$  - густина матеріалу, г/мм<sup>3</sup>

$F_c := L_c \cdot B$        $F_c = 1.050 \times 10^7$  мм<sup>2</sup>

$\eta1 := F_d \cdot n1 \cdot \frac{100}{F_c}$  - коефіцієнт використання матеріалу, %.

$\eta1 = 53.262$  %.

$H1 := \frac{M_c}{n1}$  - норма витрати матеріалу, кг/дет

$H1 = 0.096$  кг/дет

Рисунок 3.32 – Розрахунок техніко-економічних показників розкрою матеріалу (MathCAD)

### 3.3 Розробка шаблону розрахунково-пояснювальної записки розрахунку кінематичних параметрів кривошипного пресу в середовищі математичної програми MathCAD

При проектуванні штамів холодного листового штампування доволі часто виникають питання до визначення деяких параметрів обладнання, з яким буде працювати зпроектований і виготовлений штамп. Найчастіше це можуть бути кривошипні преса відкритого або закритого типу. І це стосується не тільки робочого простору преса (закрита висота преса, габарити стола), а і кінематичних параметрів головного механізму (хід повзуна, швидкість повзуна та прискорення повзуна). Ці дані потрібні при проектуванні вбудованих у штамп засобів механізації і автоматизації і визначенні деяких технологічних параметрів. Ці розрахунки достатньо трудомісткі. До того, потрібно ще і побудувати графіки, з певним кроком повороту кривошипно-шатунного механізму преса. В середовищі Mathcad це реалізовується доволі швидко. Приклад такого шаблону для кривошипного відкритого пресу номінальним зусиллям 0,5 МН наведено нижче.

Спочатку в робоче поле сторінки Mathcad вносимо вихідні дані, необхідні для розрахунку (рис.3.33).

<b>Початкові дані преса</b>	
Номінальне зусилля преса, МН	$P_n := 0.5$
Хід повзуна преса, мм	$S := 85$
Кількість ходів повзуна преса в хвилину, $\text{хвил}^{-1}$	$n_x := 95$
Коефіцієнт довжини шатуна преса	$\lambda := 0.1$

Рисунок 3.33 – Початкові дані до розрахунку кінематичних параметрів кривошипного пресу

*Джерело: розробка автора*

Далі з бази кінематичних схем будь-якого графічного редактора вибираємо потрібну кінематичну схему (рис.3.34).

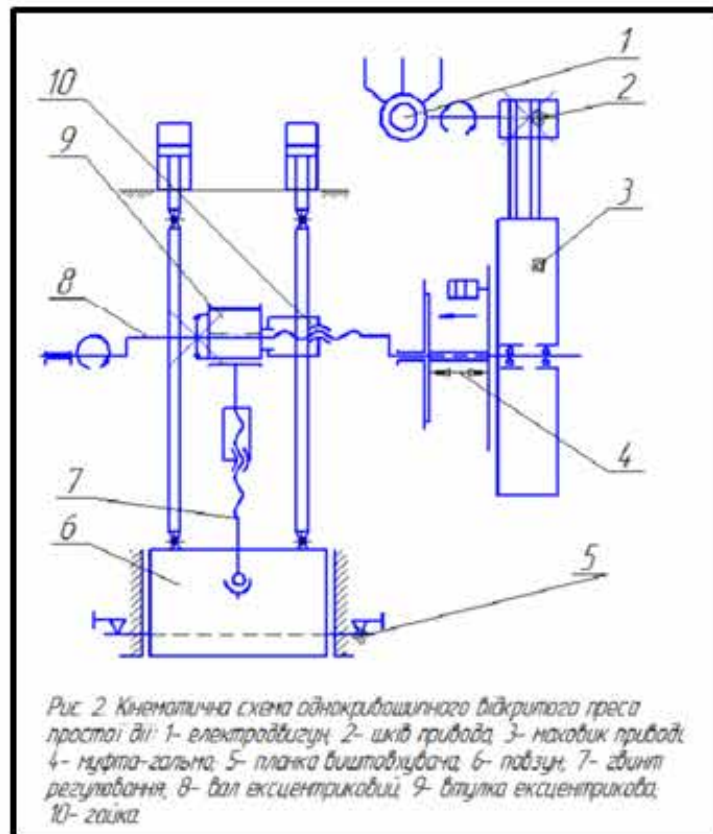


Рисунок 3.34 – Кінематична схема кривошипного пресу

Джерело: розробка автора

Наступний крок – розрахунок кінематичних параметрів по формулам з кроком повороту кривошипа один градус (рис.3.35).

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 псвороту головного валу, град		$\alpha := 0..360$
Кутова швидкість головного валу, рад <sup>-1</sup>	$\omega := \frac{\pi \cdot \text{шк}}{30}$	$\omega = 9.948$
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 <sup>2</sup>	$J_{\alpha} := -\omega^2 \cdot R \cdot (\cos(\alpha \cdot r) + \lambda \cdot \cos(2 \cdot \alpha \cdot r))$	

Рисунок 3.35 – Розрахунок кінематичних параметрів преса (Mathcad)

Отримуємо результати розрахунку у вигляді таблиці з кроком через один градус. Фрагмент наведено на рис.3.36.

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	$4.371 \cdot 10^3$

Рисунок 3.36 – Фрагмент таблиці результатів розрахунку

*Джерело: розробка автора*

По результатам розрахунку будуюмо графіки шляху, швидкості та прискорення повзуна пресу за повний хід преса ( $360^\circ$ ) з застосуванням інструментарію Mathcad (рис.3.37, 3.38, 3.39).

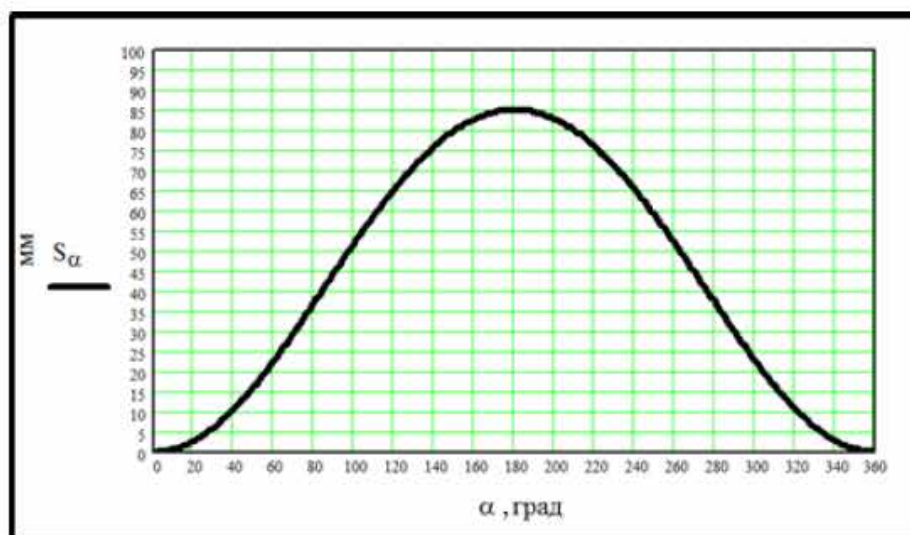


Рисунок 3.37 – Графік залежності шляху повзуна пресу від кута повороту головного валу (Mathcad)

*Джерело: розробка автора*

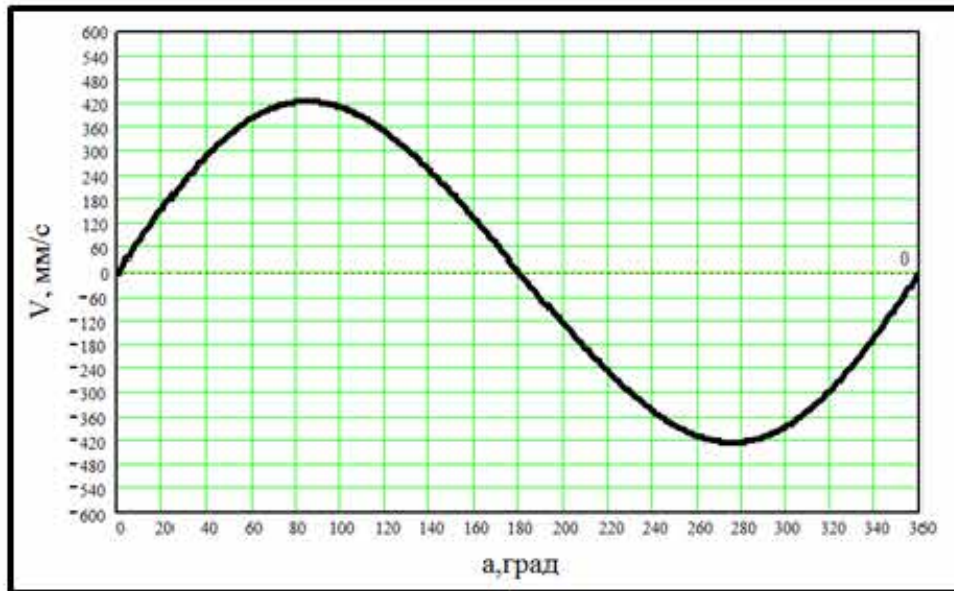


Рисунок 3.38 – Графік залежності швидкості повзуна пресу від кута повороту головного валу (Mathcad)

*Джерело: розробка автора*

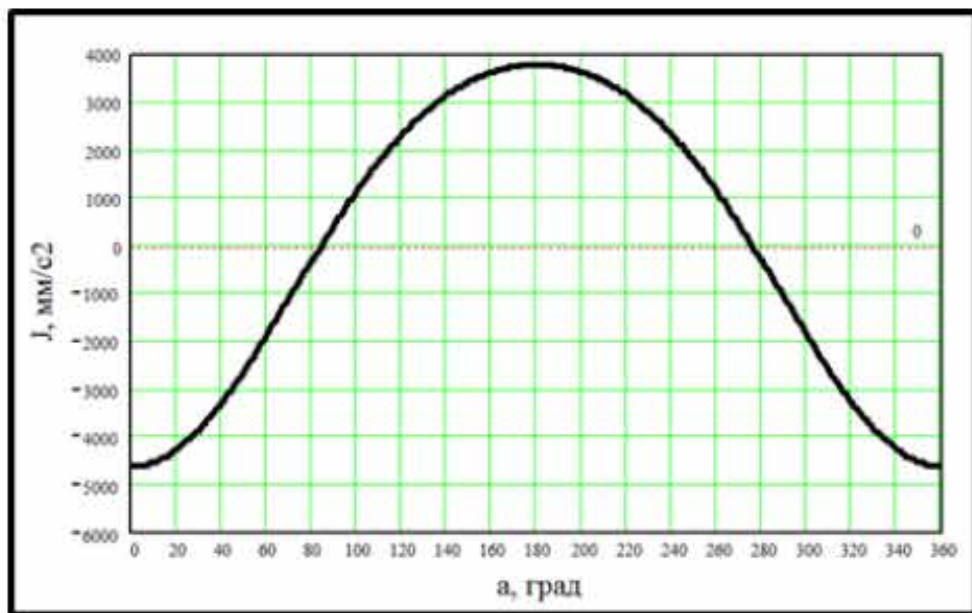


Рисунок 3.39 – Графік залежності прискорення повзуна пресу від кута повороту головного валу (Mathcad)

*Джерело: розробка автора*

Найбільша перевага в таких розрахункових модулях полягає в тому, що будь-які зміни в вихідних даних приводять до миттєвого перерахунку результатів і перебудові графіків.

### **3.4 Рекомендації до системного застосування розрахункових та графічних модулів САПР при проектуванні штампового оснащення**

Проектні роботи по створенню і використанню шаблонів розрахункове пояснювальні записки рекомендується проводити в наступній послідовності:

1. Сформувати інтегровану систему програмного забезпечення згідно структурної схеми наведеної у розділі 2 даної роботи (рис. 2.1).

Впевнитись у технічних можливостях вашої комп'ютерної техніки підтримувати роботу запропонованого програмного забезпечення і, в разі необхідності, провести її модернізацію (підвищити продуктивність процесора, збільшити оперативну пам'ять тощо).

2. Розробити класифікатори штампового оснащення по типам штампів, ступеню їх складності, видам деталей і заготовок, які використовуються на підприємстві.

3. Рекомендується починати роботу по створенню шаблонів розрахунково-пояснювальної записки з проектування штампів для простих деталей, поступово нарощуючи їх складність.

4. При створенні шаблону перший раз повинна бути взята за основу вже готова розрахунково-пояснювальна записка на вже попередньо виконаний проект.

5. Рекомендується створювати у графічних редакторах (SolidWorks, AutoCad) тривимірні моделі деталей, на які проектується штампове оснащення навіть якщо на них вже є двовимірні креслення. Це значно спрощує процедуру отримання масоцентровочних характеристик.

6. Рекомендується створювати бібліотеки довідкових матеріалів, які використовуються при проведенні розрахунків з метою підключення їх до відповідного програмного забезпечення це стосується і створення шаблонів різного роду таблиць, схем, рисунків.

7. При роботі в MathCAD рекомендується активно використовувати інструменти копіювання (текст, формули, рисунки).

## ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Розрахунок витрат на виконання госпрозрахункової науково-дослідної роботи

Витрати на виконання НДР щодо дослідження силової взаємодії штампового інструменту і обладнання під час здійснення технологічної операції розраховуються шляхом складання калькуляції кошторисної вартості НДР за наступними статтями [19]:

- витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні заходи;
- витрати на матеріали;
- витрати на використання комп'ютерної техніки;
- витрати на використання спеціального обладнання для наукових (експериментальних) робіт;
- накладні витрати;
- інші витрати.

##### 4.1.1 Розрахунок витрат на оплату праці

Вихідні дані наводяться у таблиці 4.1., розрахунок витрат у таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – До розрахунку витрат на оплату праці

№ п/п	Посада виконавців	Місячний оклад, грн.	Середньоденна ставка, грн/дн
1	Керівник МКР, головний науковий співробітник	11630,00	484,58
2	Старший науковий співробітник, 0,5 ставки	10256	427,33
3	Науковий співробітник 0,5 ставки	8243	343,46
4	Провідний фахівець 0,5 ставки	7732	322,17
5	Технік I кат. 0,5 ставки	5527	230,29

Таблиця 4.2 – Витрати на оплату праці

№ п/п	Посада виконавців	Час розробки, дні	Денна заробітна плата, грн	Витрати на розробку, грн
1	Керівник МКР, головний науковий співробітник	150	484,58	72687,50
2	Старший науковий співробітник, 0,5 ставки	150	213,67	32050,00
3	Науковий співробітник 0,5 ставки	150	171,73	25759,38
4	Провідний фахівець 0,5 ставки	150	161,08	24162,50
5	Технік I кат. 0,5 ставки	150	115,15	17271,88
Разом				171931,25

#### **4.1.2 Відрахування у єдиний соціальний внесок**

Відрахування у єдиний соціальний внесок складають 22 % від суми заробітної плати.

$$\Phi_{\text{есв}} = 171931,25 \times 0,22 = 37824,88 \text{ грн}$$

#### **5.1.3 Розрахунок витрат на матеріали**

У таблиці 4.3 наведено куплені матеріали і розраховані витрати на них.

#### **4.1.4 Витрати на використання комп'ютерної техніки**

Витрати складаються з наступних компонентів:

- амортизації комп'ютерної техніки;
- користування програмним забезпеченням;
- витрати на електроенергію.

Приймаємо середню вартість години роботи комп'ютера – 16 грн. Згідно діючих норм з охорони праці, середній щоденний час роботи на комп'ютері – 4 години. Розраховані дані зводимо у таблицю 4.4.

Таблиця 4.3 – Розрахунок витрат на матеріали

№ п/п	Найменування купованих виробів	Одиниця виміру	Ціна на одиницю виміру, грн	Кількість купованих виробів	Сума, грн	Транспортні витрати (10% від суми)	Загальна сума, грн
1	Папір (формат А4)	уп	234	5	1170,00	117,00	1287,00
2	Ручка кулькова	шт	10,98	10	109,80	10,98	120,78
3	Олівець простий	шт	6	10	60,00	6,0	66,00
4	Флеш-пам'ять	шт	245	4	980,00	98,00	1078,00
5	Зошит, 48 арк	шт	180	4	720,00	72,00	792,00
6	Тонер для принтера	уп	459	1	459,00	45,90	504,90
7	Штангенциркуль	шт	847	1	847,00	84,70	931,70
8	Магніт канцелярський (набір)	шт	115	1	115	115,00	230,00
9	Ніж канцелярський	шт	260	2	520	52,00	572,00
Разом							5582,38

#### **4.1.5. Витрати за статтею “Спеціальне обладнання”**

В даній НДР не передбачається використання спеціального обладнання.

#### **4.1.6 Накладні витрати**

Накладні витрати проектних організацій включають три групи видатків: витрати на управління, загальногосподарські витрати, невиробничі витрати. Приймаємо 15% від заробітної плати.

$$171931,25 \times 0,15 = 25789,69 \text{ грн.}$$

#### **4.1.7 Інші витрати**

Приймаємо в розмірі 7000 грн.

#### **4.1.8 Податок на додану вартість (ПДВ)**

За українським законодавством, оподаткування податком на додану вартість здійснюється за ставкою 20 відсотків від загальної суми витрат.

#### **4.1.9 Кошторис витрат на виконання НДР**

Складається калькуляція планової собівартості НДР і зводиться в таблицю 4.5.

Таблиця 4.4 – Розрахунок витрат на використання комп'ютерної техніки

№ п/п	Назва етапів робіт, при виконанні яких використовується комп'ютер	Час використання комп'ютера		Витрати на використання комп'ютера, грн.
		днів	годин	
1	Проведення досліджень та оформлення їх результатів	110	440	7040
2	Розробка проекту	20	80	1280
3	Оформлення технічної документації	10	40	640
4	Підготовка презентації	10	40	640
Разом		150	600	9600

Таблиця 4.5 – Кошторис витрат на виконання НДР

№ п/п	Найменування елементів витрат	Сума витрат, грн
1	Витрати на оплату праці	171931,25
2	Нарахування єдиного соціального внеску	37824,88
3	Витрати на матеріали	5582,38
4	Витрати на використання комп'ютерної техніки	9600,00
5	Накладні витрати	25789,69
6	Інші витрати	7000,00
Всього		257728,20
ПДВ (20 %)		51545,64
Всього з ПДВ		309273,84

Оскільки ЦНТУ, де передбачається виконання госпрозрахункової науково-дослідної роботи, є неприбутковою організацією, рівень рентабельності і очікуваний прибуток дорівнюють нулю. Таким чином договірна ціна буде дорівнювати собівартості виконаних робіт разом з ПДВ.

$$Ц = 309274,00 \text{ грн.}$$

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основні результати магістерської роботи полягають у наступному:

1. Підготовка виробництва будь-якого виробу підвищеної складності на підприємстві складається з трьох основних стадій: конструкторської, технологічної та, власне, самого виробництва. Від того, наскільки швидко така підготовка буде здійснена, залежить конкурентоспроможність підприємства. Найбільш трудомісткою стадією є стадія технологічної підготовки виробництва. До цієї стадії, окрім розробки технологічних процесів виготовлення деталей і складання, відноситься проектування і виготовлення різного роду інструменту і технологічного оснащення. Велику частку робіт в цьому напрямку складають роботи по проектуванню штампового оснащення (штампи для холодного і гарячого штампування). Під час проектування штампового оснащення виконується великий обсяг розрахункових робіт як технологічного так і конструкторського характеру. Існує багато різних методик розрахунку як самої технології виготовлення деталей виробу так і конструювання штампів. Але в більшості випадків такі розрахунки виконуються вручну з застосуванням звичайних офісних калькуляторів. Для розробників сучасних систем автоматизованого проектування (САПР) такі дрібні роботи лишаються поза їх увагою через низьку рентабельність. Вирішити це питання можливо за рахунок використання вже існуючих на ринку програмного забезпечення продуктів. До таких продуктів можна віднести: звичайні офісні програми на кшталт Microsoft Excel, Microsoft Access, Microsoft Word; математичні програми MathCad, MathLab, креслярськографічні редактори типу SolidWorks, AutoCAD. Ці програми можна використовувати як окремо, так і в комбінації одна з одною. Це дозволяє вирішувати широке коло проблем і різко скорочує витрати часу на проектні роботи, що є актуальною задачею;

2. Проаналізовано технологічні та конструкторські розрахунки при проектуванні штампового оснащення та виявлено найбільш трудомісткі з них. Розроблена методика застосування програмного забезпечення при підготовці

розрахунково-пояснювальної записки до проекту штампового оснащення у вигляді структурної схеми;

3. Розроблено фрагменти шаблонів розрахункових модулів проектування штампів гарячого штампування з використанням математичної програми MathCad, Microsoft Excel та САПР SolidWorks;

4. Розроблено шаблони розрахункових модулів проектування штампів холодного листового штампування з використанням математичної програми MathCad та САПР SolidWorks;

5. Розроблено шаблон модуля розрахунку кінематичних параметрів кривошипного пресу з використанням математичної програми MathCad та САПР SolidWorks;

6. Розроблено рекомендації до системного застосування доступного програмного забезпечення фаховими спеціалістами при проектуванні штампового оснащення в умовах підготовки виробництва промислових виробів.

7. Основні результати дослідження доповідалися на науково-технічній конференції студентів ЦНТУ у 2024 році. Були опубліковані тези доповіді: О. Калашник, В. Мірзак. Використання САПР Solidworks при проектуванні штампового оснащення. Збірник тез доповідей здобувачів вищої освіти LVIII науково-технічної конференції, «Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку» за підсумками проведення «Дня науки – 2024» 16 травня 2024 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2024. С. 30 – 31.