

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

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри машинобудування,  
мехатроніки і робототехніки  
канд. техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти**  
**на тему:**  
**«Дослідження пресування труб змінного перерізу»**  
**«Study of pressing pipes of variable cross-section»**

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

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

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

## Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко–технологічний

Кафедра: «Обробка металів тиском та спецтехнології»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма: «Прикладна механіка»

«Затверджую»

Завідувач кафедри машинобудування,  
мехатроніки і робототехніки

канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

30 серпня 2024 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ за другим (магістерським) рівнем вищої освіти Кареті Віталію Вікторовичу

1. Тема роботи: «Дослідження пресування труб змінного перерізу»
2. Керівник роботи: Свяцький Володимир Вячеславович
3. Строк подання роботи до захисту: 30 грудня 2024 р.
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: на основі теоретичних і експериментальних досліджень встановити вплив параметрів пресового інструменту на зміну геометричних розмірів виробів при пресуванні труб.

Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; виконати експериментальні дослідження та провести аналіз отриманих результатів; опрацювати питання з охорони праці та виконати розрахунки з економічної частини.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 5 «Економічна частина»	Савеленко Г.В., канд. техн. наук, доцент	04.09.2024 р.	20.12.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2024 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	02.10.2024 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	25.11.2024 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	12.12.2024 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	15.12.2024 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	22.12.2024 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	30.12.2024 р.	

Дата видачі завдання  
30 серпня 2024 р.

Підпис керівника  
\_\_\_\_\_ В. В. Свяцький

Завдання прийнято до виконання  
30 серпня 2024 р.

Підпис здобувача  
\_\_\_\_\_ В. В. Карета

## АНОТАЦІЯ

Карета В. В. «Дослідження пресування труб змінного перерізу», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Метою дослідження є на основі теоретичних і експериментальних досліджень встановити вплив параметрів пресового інструменту на зміну геометричних розмірів виробів при пресуванні труб.

Представлена постановка задачі математического дослідження процесу пресування труб змінного сечення. Розроблена математическая модель определения усилий пресования при використанні специфічної профілювання пресового інструменту, що дозволяє спрогнозувати можливість виготовлення труби заданого сортаменту і визначити раціональну форму пресового інструменту.

Представлені результати численного дослідження процесу пресування з використанням отриманої моделі. Аналізом напруженого стану і режимів пресування заготовки дано рекомендації щодо технологічного процесу пресування труб змінного перерізу і підвищення якості виробів, а також досягнення більшої стійкості робочих пресових інструментів.

**модельовання, пресування, труба, інструмент, матриця, профіль, зусилля, ефективність**

## ANNOTATION

Vitaly Kareta. "Study of pressing pipes of variable cross-section", specialty 131 "Applied Mechanics", OPP "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The purpose of the study is to establish the influence of the parameters of the press tool on the change in the geometric dimensions of the products during pipe pressing, based on theoretical and experimental studies.

The formulation of the problem of mathematical research of the process of pressing pipes of variable cross-section is presented. A mathematical model for determining the pressing forces when using specific profiling of the press tool was developed, which allows predicting the possibility of manufacturing a pipe of a given assortment and determining the rational shape of the press tool.

The results of numerous studies of the pressing process using the obtained model are presented. The analysis of the stress state and modes of pressing the workpiece provides recommendations for the technological process of pressing pipes of variable section and improving the quality of products, as well as achieving greater stability of working press tools..

**modeling, pressing, pipe, tool, matrix, profile, force, efficiency**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1.	
ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ...	9
1.1. Основи процесу пресування труб, його переваги та недоліки . .	9
1.2. Стадії процесу прямого пресування труб .....	23
1.3. Силкові умови пресування, напружено-деформований стан . .	25
РОЗДІЛ 2.	
МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ .....	34
2.1. Експериментальне обладнання, оснащення та апаратура . . .	34
2.2. Методи визначення зусилля пресування .....	37
2.2.1. Метод ліній ковзання .....	37
2.2.2. Метод кінцевих елементів (МКЕ) .....	37
РОЗДІЛ 3.	
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОГО ПРЕСУВАННЯ ТРУБ. ....	38
3.1. Інструмент для пресування профілів: різновиди, умови експлуатації, матеріали .....	38
3.2. Дослідження впливу геометрії вогнища деформації на силкові параметри процесу пресування труб .....	31
РОЗДІЛ 4.	
ОХОРОНА ПРАЦІ .....	47
4.1. Вібрація і її вплив на організм людини .....	47
4.2. Захисні пристрої, що запобігають травматизму при роботі на штампувальному обладнанні .....	50
4.3. Повітряне середовище і його роль у створенні сприятливих умов праці .....	54

## РОЗДІЛ 5.

ОЧІКУВАНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ . . . . .	57
5.1. Витрати на виконання науково-дослідних та дослідно- конструкторських робіт . . . . .	57
5.2. Визначення технологічної собівартості . . . . .	59
5.2.1. Змінні витрати . . . . .	60
5.2.2. Постійні витрати . . . . .	65
5.2.3. Розрахунок технологічної собівартості за базовим варіантом . . . . .	66
5.3. Запропонований варіант пресування . . . . .	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ . . . . .	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ . . . . .	80

## **ВСТУП**

### **Актуальність теми**

На початку та в середині ХХ століття технологія пресування стала однією з провідних у металообробці. З розвитком енергетики та електротехнічної промисловості, а також стрімким зростанням автомобілебудування, авіа- та суднобудування, з'явилися нові варіанти пресувальних процесів і значно зросла кількість сплавів, які піддаються пресуванню.

Сьогодні можна виділити кілька основних напрямків розвитку цієї технології: – освоєння нових сплавів; – підвищення стійкості інструментів; – дослідження впливу змащувальних матеріалів на силові параметри процесу. Виготовлення труб, втулок, профілів складної форми і перерізів за допомогою пресування часто є більш економічним, ніж штампування з подальшою механічною обробкою. Це обумовлено тим, що пресування дозволяє отримувати вироби необхідних розмірів з малими допусками, що значно скорочує необхідність подальшої холодної обробки заготовки. Крім того, висока пластичність металів, що деформуються при пресуванні, завдяки всебічному стисненню, робить цей процес основним методом виробництва виробів з кольорових металів і сплавів – труб, прутків і профілів, що мають великий асортимент і виробляються малими серіями.

До 60-х років ХХ століття в світі була створена потужна промисловість, що спеціалізувалася на пресовому виробництві профілів різного призначення. Потреба в розширенні асортименту виробів, що виготовляються методом пресування, призвела до виникнення нових варіантів цього процесу та збільшення кількості різних конструкцій пресового інструменту.

В останні роки в промисловості йде робота з підвищення якості пресової продукції і зниженню енергетичних витрат на її виробництво.

## **Мета дослідження**

На на основі теоретичних і експериментальних досліджень встановити вплив параметрів пресового інструменту на зміну геометричних розмірів виробів при пресуванні труб.

## **Задачі дослідження**

Вивчення впливу поздовжнього профілю матриці на силові умови роботи інструмента. Дослідження виду формотворного інструмента на рівномірність механічних властивостей по перерізу профілю, що деформується.

## **Об'єкт дослідження**

Об'єктом дослідження є обробка металів тиском методом пресування труб.

## **Предмет дослідження**

Предметом дослідження є формотворний інструмент для отримання труб методом пресування.

## **Методи дослідження:**

метод ліній ковзання, метод кінцевих елементів, візіопластичний метод.

## **Науковий напрямок досліджень**

Відповідає НДКР № держ.реєстрації 0105U005352. Тема: Розробка і дослідження технологічних процесів пресування металів з використанням

матриць з повздовжніми криволінійними профілями. Науковий керівник – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри ОМТіСТ ЦНТУ Свяцький В.В.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Отримали подальший розвиток дослідження технологічних параметрів процесу пресування труб.

Розроблена математична модель дозволяє, враховуючи специфічне профілювання пресового інструменту, прогнозувати можливість виготовлення труб заданого сортаменту та визначати раціональну форму пресового інструменту..

### **Практичне значення отриманих результатів**

1. Шляхом проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу встановлені можливості для проектування і реалізації технологічного процесу пресування труб змінного перерізу.
2. Обґрунтовано завдання проведення дослідження процесу пресування труб змінного перерізу. Проведено перевірку коректності та достовірності методики розрахунку профілювання інструменту для пресування труб із зменшенням товщини стінки на задній ділянці.
3. Уточнено особливості перебігу даного процесу, що дозволило здійснювати відповідні розрахунки з мінімальним значенням відносної похибки.
4. Розроблено математичну модель визначення зусилля пресування при використанні специфічного профілювання пресового інструменту, що дозволяє прогнозувати можливість виготовлення труб заданого сортаменту та визначати раціональну форму пресового інструменту.
5. Наведено результати чисельного дослідження процесу пресування з використанням отриманої моделі.

### **Особистий внесок здобувача**

Обґрунтування вибраного напрямку дослідження, постановка мети і задач дослідження, обґрунтування дослідження процесу пресування труб змінного перерізу, проектування варіантів прямого пресування труб з використанням різних деформаційних умов, чисельне експериментальне підтвердження процесу пресування труб. Особистий внесок магістранта відображено у наукових працях за його участю.

### **Апрабація результатів магістерської роботи**

Основні результати дослідження доповідалися на науково-технічній конференції студентів ЦНТУ у 2024.

## РОЗДІЛ 1

### ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1. Основи процесу пресування труб, його переваги та недоліки

У сучасній трубній промисловості широко застосовується метод гарячого пресування порожнистих злитків на голці, що дає змогу виготовляти труби різних типів, зокрема з важкопластичних сплавів, які неможливо обробити іншими способами. Ефективність цього процесу значною мірою залежить від умов контактного тертя між металом, інструментом і контейнером, що, у свою чергу, впливає на необхідне зусилля пресування та якість виготовлених виробів.

У зв'язку з цим, останнім часом важливим напрямком є оптимізація процесів пресування труб для зменшення впливу тертя, що досягається завдяки вдосконаленню властивостей технологічних мастил, необхідних для належного протікання процесу. Особлива увага приділяється взаємодії пресованого металу з голкою, оскільки тертя на голці має значний вплив на якість внутрішньої поверхні труби, дефекти якої не можна виправити традиційними методами обробки. У деяких випадках саме тертя на голці стає вирішальним фактором, який визначає можливість виготовлення продукції методом пресування. Також застосовуються методи пресування з використанням мастила для контейнера та матриці.

Розвиток технологій пресування труб нині обмежений через відсутність ефективних екологічно безпечних мастил. Тому важливим завданням є розробка нових технологічних мастил, підвищення їх ефективності, а також створення методів для дослідження їхніх властивостей.

Пресування (видавлювання) є найбільш поширеним методом для отримання профілів, панелей та труб з металів та сплавів з наступних причин:

1. дрібносерійне виробництво, яке потребує частої зміни інструменту, що легко здійснюється під час пресування;
2. необхідність підвищення точності розмірів пресованих виробів;
3. низька в'язкість багатьох сплавів при високих температурах, що вимагає застосування процесу, в якому напружений стан деформаційної зони знижує ризик виникнення великих напруг, що розтягують;
4. складні форми поперечних перерізів.

Ці чинники часто роблять пресування єдиним підходящим методом деформації отримання виробів заданої форми.

Пресування — це процес, під час якого заготовка видавлюється з замкнутого простору через канал (отвір) матриці. Перед початком пресування заготовлю (литу або попередньо деформовану) розміщують у порожнині приймача преса (контейнера). Одна зі сторін цієї порожнини закрита матрицею з каналом, форма якого відповідає перерізу майбутнього пресованого виробу. З іншого боку, на заготовлю діє тиск преса через прес-штемпель.

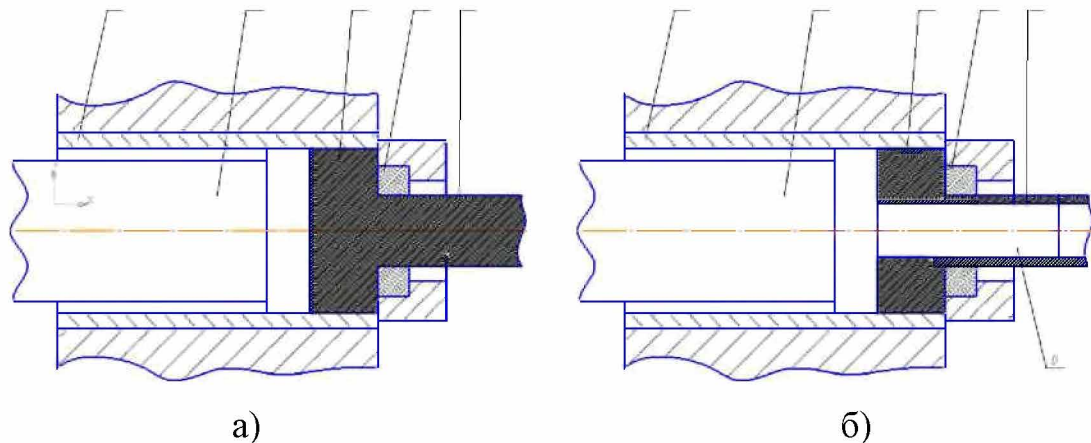
Однією з основних переваг пресування є можливість досягнення значних ступенів деформації за один прохід. Під час пресування створюється високий гідростатичний тиск, що значно підвищує пластичність металу. Цей метод дозволяє обробляти матеріали, які неможливо обробити іншими способами (вальцюванням, куванням, волочінням). Залежно від схеми прикладання зусилля розрізняють різні види пресування:

- *пряме пресування металу (напряму руху металу збігається з напрямом руху прес-шайби);*
- *зворотне пресування (метал тече назустріч руху матриці, яка виконує також функції прес-шайби).*

При прямому пресуванні (рис. 1) прес-шайба передає тиск на заготовку, що знаходиться в контейнері. При цьому метал заготовки видавлюється в отвір матриці, закріпленої в матрицетримачі, і утворює профіль.

При прямому пресуванні через тертя металу об поверхню контейнера периферійні шари заготовки зазнають значно більших зсувних деформацій, ніж центральні шари. Така нерівномірність деформації призводить до різниці в структурі і властивостях по перерізу виробу, що особливо помітно при пресуванні прутків великого діаметру.

При зворотному пресуванні (рис. 2) силовий вплив на заготовку здійснюється через контейнер, який рухається в напрямку, вказаному стрілкою, завдяки укороченому прес-штемпелю, що замикає контейнер. З іншого боку контейнер замикається подовженим матрицетримачем, в якому закріплена матриця. Під час переміщення контейнера разом з ним переміщується і заготовка, а метал видавлюється через канал матриці, утворюючи необхідний профіль.



а – для суцільного профілю; б – для порожнього профілю або труби;  
 1 – контейнер; 2 – прес-штемпель; 3 – заготовка; 4 – матриця; 5 прес-виріб;  
 6 – голка-оправлення

Рис 1. Схема прямого пресування

При зворотному пресуванні тертя металу об поверхню контейнера відсутнє, що призводить до значно меншої нерівномірності структури і властивостей по перерізу виробу. Крім того, внаслідок цього процесу необхідні значно менші зусилля, що дозволяє використовувати нижчі температури нагріву та сприяє підвищенню швидкості процесу.

Щоб виготовити порожнистий виріб (трубу, втулку, профіль) при прямому пресуванні до прес-шайби прикріплюють сталеву голку (рис. 3). Під час робочого руху прес-шайби метал заготовки витісняється в порожнину між матрицею і голкою, утворюючи трубу. При зворотному пресуванні роль елемента, що формує отвір виконує пуансон. Щоб зменшити тертя, на поверхню заготовки та прес-форми наносять мастила (графітову пасту, рідке скло тощо).

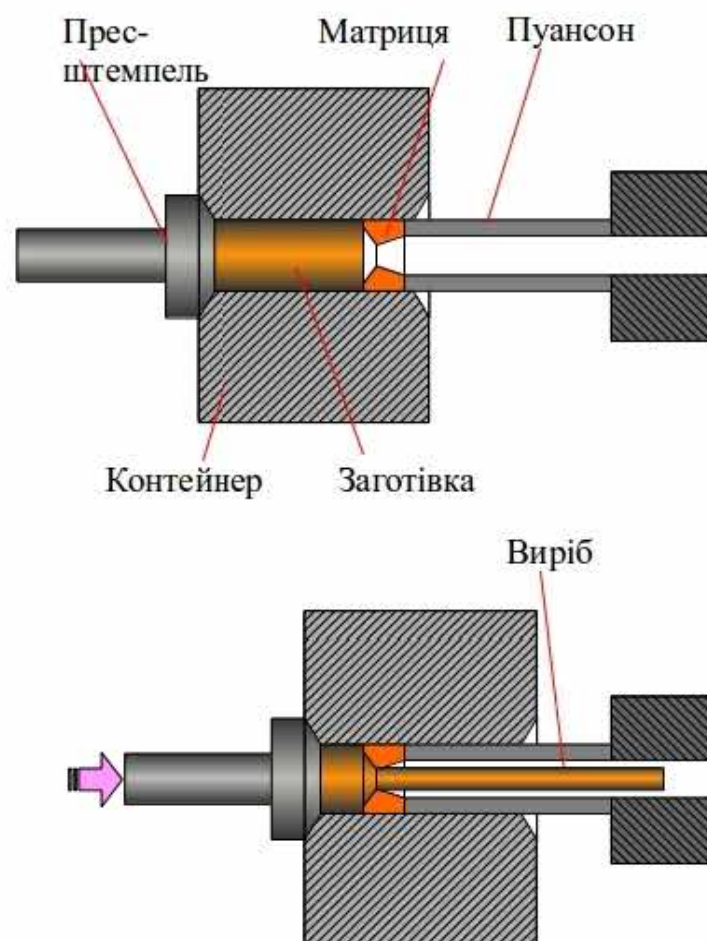


Рис 2. Схема зворотного пресування

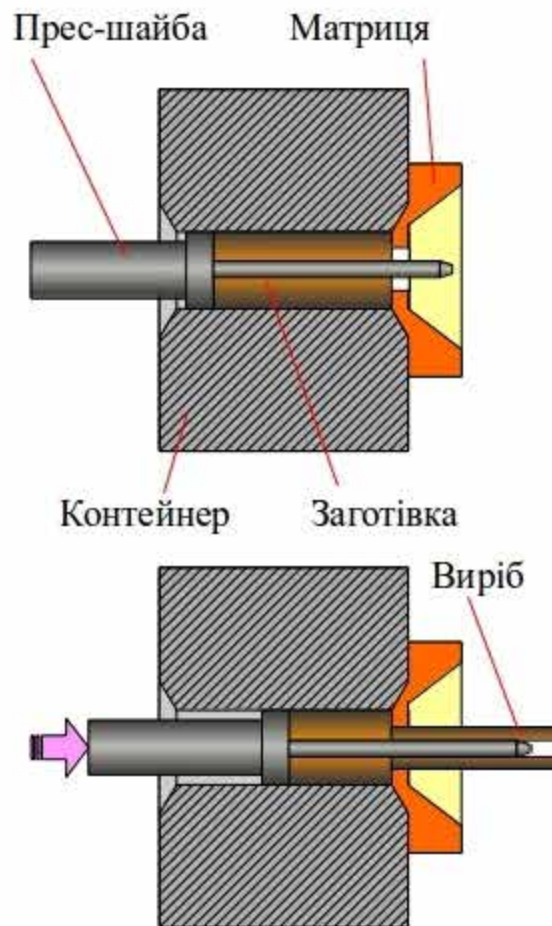


Рис 3. Схема прямого пресування порожнистого профілю

Високий коефіцієнт витяжки при пресуванні пояснюється сприятливою схемою напруженого стану металу, яка дозволяє йому зазнавати значних ступенів деформації без руйнування. Для зменшення тертя використовуються різні мастильні матеріали, такі як графіт, скло та інші.

Пресування зазвичай проводиться в гарячому стані, оскільки це необхідно для зменшення опору деформації та покращення пластичних властивостей матеріалу.

У процесі пресування можуть виникати дефекти, такі як утяжини, тріщини та інші. Для уникнення утяжин у пресованому виробі заготівлю недопресовують, залишаючи частину матеріалу в контейнері (прес-залишок), який потім відокремлюється після завершення процесу пресування. Утворення інших дефектів часто пов'язане з неправильними швидкісними та температурними режимами процесу.

Крім пресування, труби, прутки та профілі можуть бути виготовлені також методом прокатки.

- значно більші втрати металу на відходи, спричинені необхідністю видалення прес-залишку через утяжки;
- велика нерівномірність механічних властивостей за довжиною та поперечним перерізом виробу;
- менша продуктивність процесу, обумовлена нижчими швидкостями закінчення металу.

Пресування металу — це один з основних методів пластичної обробки, який полягає у витісненні металу з вихідної заготовки через отвір матриці за допомогою пуансона. Цей процес дає змогу виготовляти деталі різної геометрії, такі як прутки, труби, порожнисті профілі з кількома каналами складного перерізу, а також профілі з постійним або змінним (плавно або сходинками) перерізом по довжині. Технологія пресування широко використовується як для гарячої, так і для холодної деформації металів.

Особливістю цього способу є те, що він дозволяє обробляти матеріали з високою міцністю та значною природною жорсткістю, а також використовувати металеві порошки та неметалеві матеріали, такі як пластмаси. Пресування дає можливість створювати вироби складної форми, які не можна виготовити за допомогою інших методів пластичної обробки, таких як прокатка, штампування чи лиття з подальшою механічною обробкою.

Виготовлення виробів за допомогою пресування часто є більш економічним методом порівняно з іншими способами обробки, оскільки дозволяє зменшити витрати на матеріал та знизити кількість етапів додаткової обробки, забезпечуючи високу точність розмірів і форму виробів. Тому пресування є важливим і ефективним процесом у сучасному виробництві металевих та неметалевих виробів для машинобудування, будівництва та інших галузей промисловості.

До основних переваг пресування металу можна віднести: можливість успішної пластичної обробки з високими витяжками, включаючи малопластичні метали та сплави; можливість отримання практично будь-якого поперечного перерізу виробу, що не завжди вдається при обробці металу іншими способами; виготовлення широкого асортименту виробів на одному й тому ж пресовому обладнанні за умови заміни лише матриці; виробництво виробів з високою якістю поверхні і точністю розмірів поперечного перерізу, що в багатьох випадках перевищує точність, досягнуту при обробці металу іншими методами пластичної обробки (наприклад, при прокатці).

До основних недоліків процесу пресування можна віднести:

1. Підвищена витрата металу на одиницю виробу — це відбувається через утворення прес-залишку, який зазвичай займає значну частину металу, що не використовуватиметься у готовому виробі. Це знижує ефективність використання матеріалу і збільшує витрати на виготовлення кожного виробу.

2. Нерівномірність механічних та інших властивостей — у деяких випадках спостерігається нерівномірний розподіл механічних властивостей по довжині та поперечному перерізу виробу, що може погіршувати його експлуатаційні характеристики, особливо при виготовленні складних конструкцій.

3. Висока вартість пресового інструменту — виготовлення та обслуговування інструментів для пресування вимагає значних затрат, оскільки вони повинні бути міцними і зносостійкими, що може робити весь процес пресування дорогим.

Основною характеристикою різних варіантів пресування є наявність або відсутність поступального переміщення металу відносно стінок контейнера (приймача). Так, при методі прямого виділення (найбільш поширеному) метал переміщується вперед через матрицю, а в методі зворотного (зверненого) пресування метал переміщується назад, що дозволяє знизити деформацію і зменшити втрати металу.

До інших варіантів належать:

- Бічне закінчення металу, яке забезпечує рівномірний розподіл механічних властивостей по всьому перерізу і дозволяє зменшити різницю властивостей у поперечному і поздовжньому напрямках. Це зменшує ймовірність виникнення внутрішніх напруг і покращує якість виробів.
- Нерівномірне всебічне стиснення металу — цей процес позитивно впливає на збільшення пластичності металу, що дозволяє обробляти матеріали з низькою природною пластичністю, таких як сплави з високою міцністю.

Проте, такі процеси вимагають значних зусиль для обробки і потребують більше енергії для деформації, що підвищує витрати на енергозабезпечення.

Один з важливих аспектів пресування — це наявність мертвих зон, що виникають в місцях переходу контейнера в матрицю. Ці зони відчують лише пружну деформацію і не беруть участі в основному процесі деформації, що може обмежувати ефективність використання всього об'єму матеріалу і знижувати загальну продуктивність процесу.

Таким чином, хоча пресування є ефективним методом отримання виробів з різноманітними формами і властивостями, його недоліки потребують оптимізації процесу та впровадження нових технологічних рішень для зменшення витрат та покращення якості продукції.

В даний час застосовують різні методи і способи пресування, в тому числі пряме пресування труб, прутків і профілів, зворотне пресування прутків і профілів, поєднане пресування труб з прошивкою при закритому контейнері, пресування профілів змінного перерізу, пресування з протитиском, вакуумне пресування. Процес пресування характеризується наступними основними параметрами: коефіцієнтом витяжки, ступенем деформації та швидкістю витікання металу з очка матриці.

При всіх процесах пресування від напруженого стану в осередку деформації визначається трьома головними нормальними напруженнями

стиску і іноді (в основному, у контактних поверхнях) двома головними нормальними напруженнями стиску і одним нормальним напруженням розтягування.

Всі процеси пресування супроводжуються значною нерівномірністю деформацій. Пресування через багатоканальну матрицю характеризується більшою нерівномірністю деформацій порівняно з пресуванням через одноканальну матрицю, хоча принципові відмінності в проходженні процесу відсутні. Основною умовою успішного застосування пресування є правильний вибір температурно-швидкісного режиму з урахуванням властивостей пресованих металів і сплавів.

Основним інструментом при пресуванні є матриці, матрицетримачі, пуансони, голки, голкотримачі, пресшайби, втулки (сорочки-приймачі) та інші елементи, що працюють в умовах високих механічних навантажень і температур. Тому для виготовлення робочого інструменту використовують спеціальні сталі.

Матриці для пресування прутків можуть мати один або кілька отворів, причому багатоотворні матриці зазвичай застосовуються для пресування виробів з невеликим поперечним перерізом. Для пресування труб використовуються голки, які встановлюють у голкотримач, і саме діаметр голки визначає внутрішній діаметр труби.

Процес пресування труби проходить в такій послідовності. На початку пресування заготівля распресовивається так, що заповнює контейнер, потім злиток прошивається голкою, причому видавлена частина металу в момент розпресування і прошивки і прошивки виходить з матриці у вигляді прутка-пробки. Розмір пробки залежить від розмірів труб. Так, наприклад, при пресуванні труб діаметром більше 250 мм маса пробки може досягати 40 % маси заготовки. Для зменшення розмірів пробки використовують наступний технологічний прийом. Замість матриці встановлюють глуху пробку, з якою прошивається злиток. При цьому витісняється голкою метал і він йде на збільшення довжини злитка. В кінці ходу пробку прибирають і в матриці

здійснюється остаточна допрошивка зливка. В кінці операції пресування в контейнері залишається частина металу, звана прессостатком, величина якого визначається розміром виробів, властивостями пресованого металу або сплаву, а також конструкцією преса.

Сталеві труби рекомендується пресувати при максимально високих температурах і швидкостях, так як в цьому випадку менше ймовірність утворення тріщин і розпарувань. Тому швидкості пресування сталевих труб досягає 5 м/с і більше. Сталеві труби пресують з мастилом, так як при відсутності змащення гарячий метал заготовки налипає на інструмент, а в місцях підвищеного розігріву навіть приварюється до нього. Як мастило рекомендується застосовувати графітову пасту. При пресуванні труб з низкопластичної сталі використовують металеве мастило у вигляді тонкого шару міді між металом і інструментом. При пресуванні труб з корозійностійкої, жароміцної, жаростійкої та інших високолегованих сталей і спеціальних сплавів як мастило застосовують скло. Застосування скла в два-три рази зменшує коефіцієнт тертя в порівнянні із графітової мастилом. При цьому скло є ще й теплоізоляційним матеріалом. Мастило, що зменшує зовнішнє тертя, слід наносити на інструмент (контейнер, матрицю) рівномірним шаром, щоб згладити шорсткості на поверхні інструменту. Крім цього, воно повинне витримувати високі температури і зусилля пресування, щоб надійно роз'єднувати поверхні тертя. Зазначеним вимогам повністю задовольняють лише тверді мастила. Проте ними важко покрити поверхні контейнера і матриці, тому порошкоподібне тверде мастило пов'язують легкозаймистими і швидко згоряють рідкими речовинами.

Пресуванням називають процеси обробки металів тиском, при яких деформація відбувається під дією стискаючих сил. Усі процеси пресування можна умовно поділити на три групи. До першої групи належать процеси, під час яких весь об'єм заготівлі деформується одночасно, наприклад, штампування та кування всього виробу. До другої групи відносяться процеси, коли деформації піддається лише частина об'єму заготівлі, при цьому метал

надходить у зону деформації періодично. До цієї групи також належать кування та штампування, але з одного кінця заготовки. До третьої групи відносяться процеси деформації частини об'єму заготівлі з безперервним надходженням металу в зону деформації — процеси видавлювання металу через щілини різного профілю, тобто пресування та волочіння.

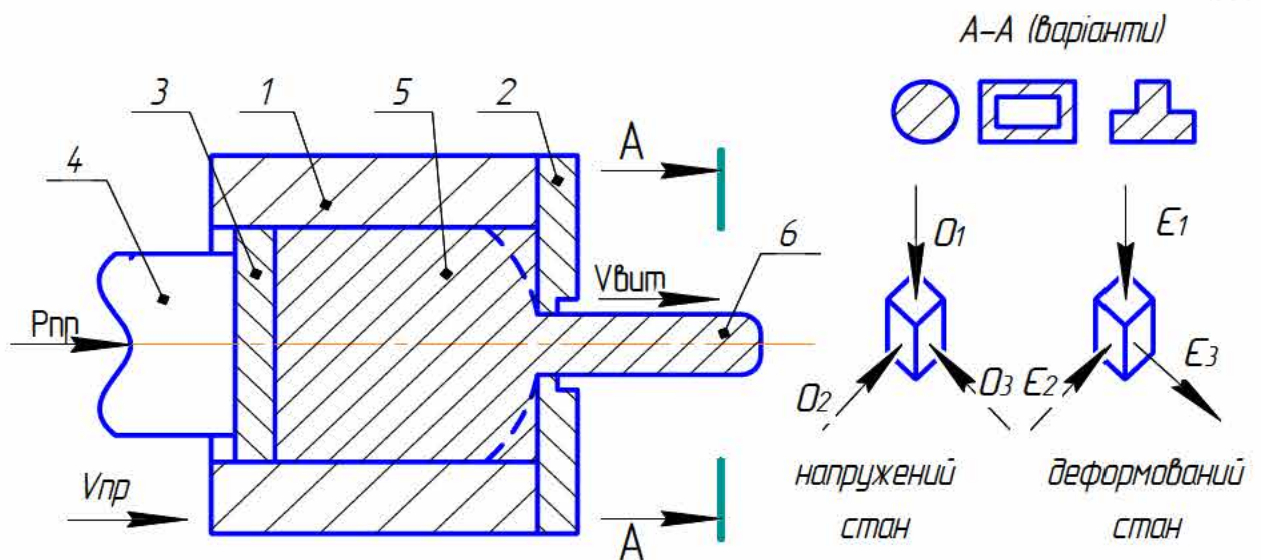
Виробництво профілів складної форми та перерізу за допомогою пресування часто виявляється більш економічним процесом, ніж штампування з подальшою механічною обробкою. Це пояснюється тим, що пресування дозволяє отримати вироби необхідних розмірів з малими допусками, що дозволяє значно скоротити подальшу холодну обробку заготівки.

Крім цього, висока пластичність деформівних металів при пресуванні завдяки всебічному стиску дозволяє використовувати цей процес як основний спосіб виробництва виробів з кольорових металів і сплавів — труб, прутків і профілів, що відрізняються дуже великим сортаментом і малими серіями. Останнім часом, з огляду на потребу у широкому сортаменті профілів з малопластичних легованих сталей, а також з титану і його сплавів, застосування пресування значно розширилося.

Порівняно з прокаткою труб, прутків і профілів, пресування має свої переваги та недоліки. До переваг слід віднести: тривісне стиснення, завдяки якому підвищується пластичність металу, що дозволяє проводити деформування з великими ступенями деформації; швидкий перехід між виготовленням виробів одного розміру та форми на інші; можливість отримання суцільних і порожнистих профілів найскладніших форм.

Метали пресують на горизонтальних гідравлічних пресах, а рідше — на вертикальних гідравлічних пресах, які використовуються переважно при пресуванні труб і гідроекструзії. За принципом дії вони аналогічні гідравлічним кувальним пресам.

Схема процесу пресування наведена на рис. 3.



- 1 – контейнер; 2 – матриця; 3 – прес-шайба;  
 4 – прес-штемпель; 5 – заготовка (злиток); 6 – виріб;  
 $V_{пр}$  – швидкість пресування;  $V_{вит}$  – швидкість витоку

Рис. 3. Пряме пресування

Контейнер являє собою товстостінну втулку, що витримує тиск пресування. Здійснюючи тиск на заготовку 5 через прес-штемпель 4 і прес-шайбу 3, поміщену в контейнер, по всьому обсягу заготовки створюють всебічний нерівномірний стиск із напруженнями.

У процесі, що встановився, пресування в кутах контейнера біля матриці утворюються зони утрудненої деформації (рис. 4). Максимальна висота цих зон визначає висоту прес-залишку  $h_{зал}$ :

$$h_{зал} = \frac{D_{кон} - d_{вир}}{2 \operatorname{tg} \alpha_m}.$$

Однією з найважливіших переваг процесу пресування є те, що канал матриці можна виготовити практично будь-якої конфігурації, переріз пресованих профілів є досить різноманітним.

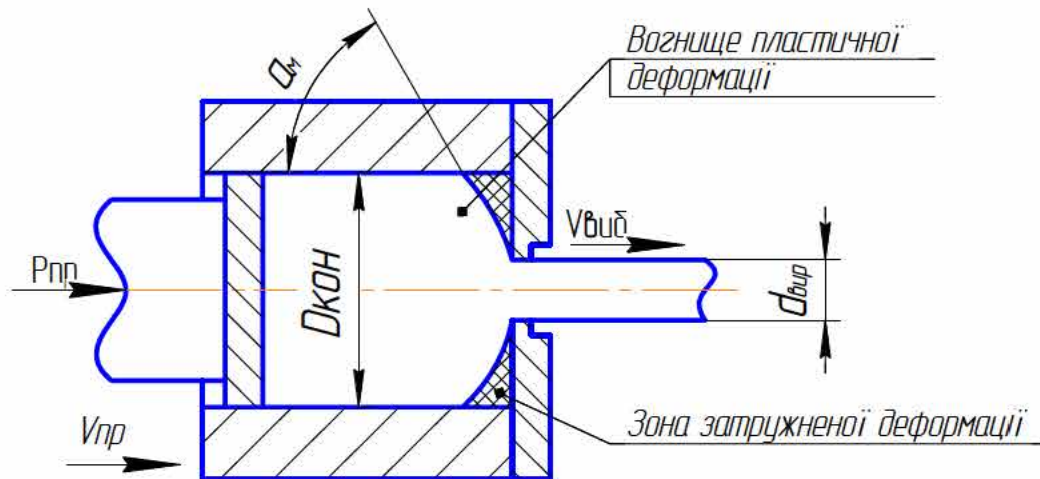


Рис. 4. Співвідношення розмірів вогнища деформації

Іншою, не менш важливою перевагою пресування, є можливість одержання більших степенів деформації за один технологічний перехід. Така перевага як здійснення більших степенів деформації за один перехід, характеризується коефіцієнтом витяжки  $\lambda$ , який визначається по формулі:

$$\lambda = \frac{F_{\text{кон}}}{f_{\text{вир}}}$$

Можливість отримання високого коефіцієнта витяжки при пресуванні обумовлена сприятливою схемою напруженого стану металу в процесі деформації, що дозволяє металу зазнавати великі ступені деформації без руйнування.

До недоліків пресування відносяться: більші втрати на відходи; велика нерівномірність механічних властивостей по довжині та поперечному перерізу виробу; менші швидкості завершення процесу, що веде до зниження продуктивності.

Також до недоліків пресування можна віднести відходи: весь метал не може бути повністю видавлений з контейнера, і в ньому залишається так званий прес-залишок, який після завершення процесу відрізається від отриманого профілю. Маса прес-залишку може досягати 40% від маси вихідної заготовки.

Однак для реалізації процесу пресування з великою величиною витяжки, необхідно прикласти великий тиск, регламентований опором металу пластичній деформації і величиною сили тертя на границі контакту металу, який деформують, з інструментом. Для зниження сил тертя використовують різні мастильні матеріали такі як графіть, скло тощо.

Пресування, як правило, здійснюють у гарячому стані, оскільки це необхідно для зниження опору деформації та підвищення пластичних властивостей металу, що піддається пресуванню.

При пресуванні можуть виникати такі дефекти:

- утяжини;
- тріщини;
- йоржі та інші.

Поява утяжин у значній мірі залежить від геометрії області течії металу в контейнері та умов деформування. Утяжина зовні нагадує «вирву», яка виникає при зливів води в отвір. Для запобігання утворенню утяжин в прес-виробі заготівлю недопресовують, залишаючи частину матеріалу в контейнері (прес-залишок), яка потім відділяється від готового виробу після завершення процесу пресування. Формування більшості інших дефектів часто обумовлене певними швидкісними та температурними умовами процесу.

Основними недоліками процесу пресування, порівняно з іншими способами, є:

- значно більші втрати на відходах металу, оскільки необхідно видаляти прес-залишок через утворення утяжини;
- більша нерівномірність механічних властивостей по довжині та поперечному перерізу виробу;
- менша продуктивність процесу, що обумовлено зменшеними швидкостями витікання металу.

## 1.2. Стадії процесу прямого пресування труб

Реалізацію пресування починають із нагрівання заготовки (називаної також «злиток»), яку поміщають потім у контейнер преса (рис. 5) і розпресовують.

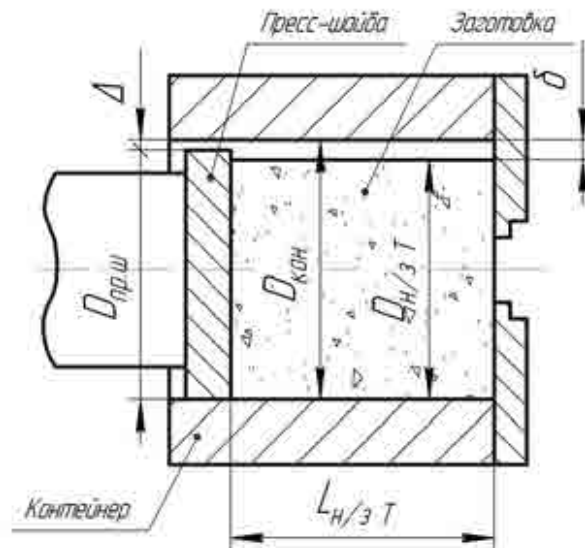


Рис. 5. Контейнер преса

При розпресовці злитка зусилля пресування зростає від нуля до максимального значення. Стадії пресування відображені на діаграмі «зусилля пресування – хід прес-штемплеля» ( $P_{пр} \sim L_{ход}$ ), представленої на рис. 6.

Розрізняють такі стадії процесу пресування: *I* – розпресовка, *II* – сла течія, *III* – випресовка.

У стадії розпресовки в зоні матриці відбувається збільшення діаметра заготовки до діаметра контейнера. Потім зона розпресовки поширюється до прес-шайби. У момент повної розпресовки починається витікання виробу, зусилля пресування при цьому є максимальним, тому що довжина злитка є максимальною.

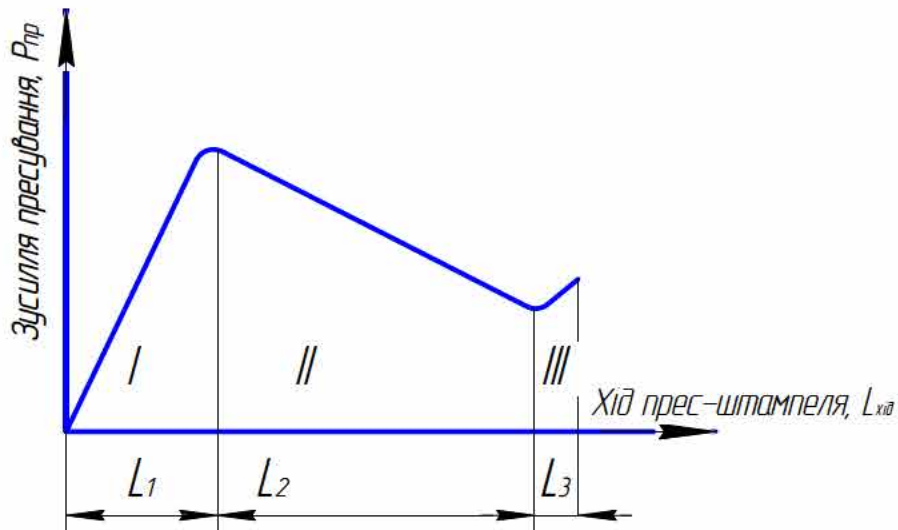


Рис. 6. Стадії пресування

Якщо довжина заготовки не відповідає рекомендованій, ефективність пресування знижується. При меншій довжині зменшується вихід продукції, а при більшій — злиток може охолоджуватись занадто швидко, що призводить до його захолажування. Це також може спричинити вигин заготовки і потрапляння повітря всередину виробу, що викликає брак.

Після розпресовки, під час видавлювання виробу, зусилля зменшується, оскільки зменшується довжина злитка та зменшується сила його тертя про контейнер. Найменше зусилля спостерігається на момент підходу прес-шайби до задньої межі вогнища пластичної деформації. Наприкінці процесу виникає інтенсивне тертя металу на прес-шайбі, що може призвести до невеликого зростання зусилля на третій стадії.

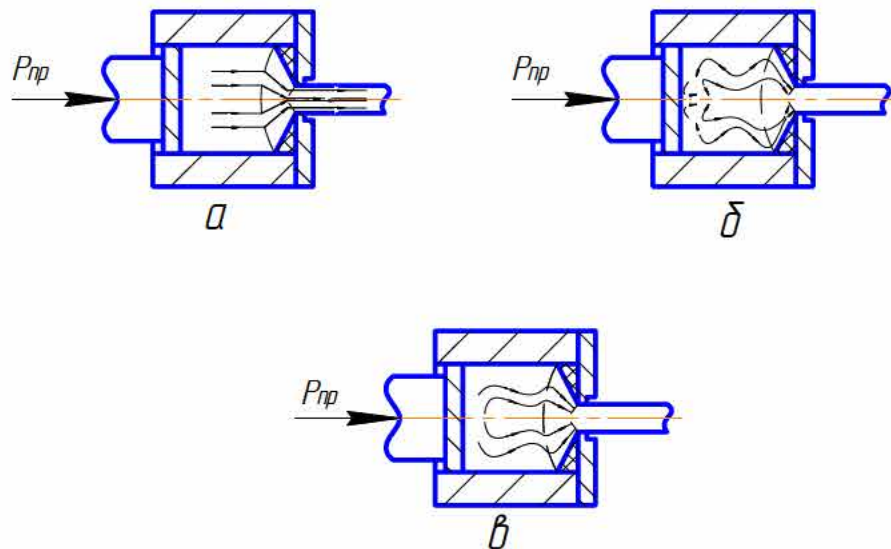


Рис. 7. Види течії металу під час прямого пресування

У стадії процесу, що встановився, спостерігається три види витікання (рис. 7): 1) ламінарне (рис. 7а) – шари металу не перемішуються; 2) турбулентне (рис. 7б) – шари металу перемішуються, спостерігається зустрічна течія, центральні шари переміщуються із тертям по прес-шайбі; 3) змішане (рис. 7в) – без зустрічного руху шарів металу.

У реальних умовах доцільно використовувати змішану течію.

### 1.3. Силкові умови пресування, напружено-деформований стан

Витікання металу при пресуванні починається після створення під дією прес-штемпеля специфічного вогнища пластичної деформації поблизу матриці (рис. 8). Торцеві границі вогнища пластичної деформації в діаметральному перетині  $A_0B_0$  і  $B_1A_1$  є дугами окружностей; бічні границі  $B_0B_1$  і  $A_0A_1$  – «лініями найшвидшого спуску» – брахістохронами. По цих лініях витікання йде з меншими енергетичними витратами, ніж по будь-якому іншому шляху (наприклад,  $B_0D_0B_1$ ), тому зони в кутах «контейнер-матриця» є застійними і витікання металу з них у процесі, що встановився, не відбувається.

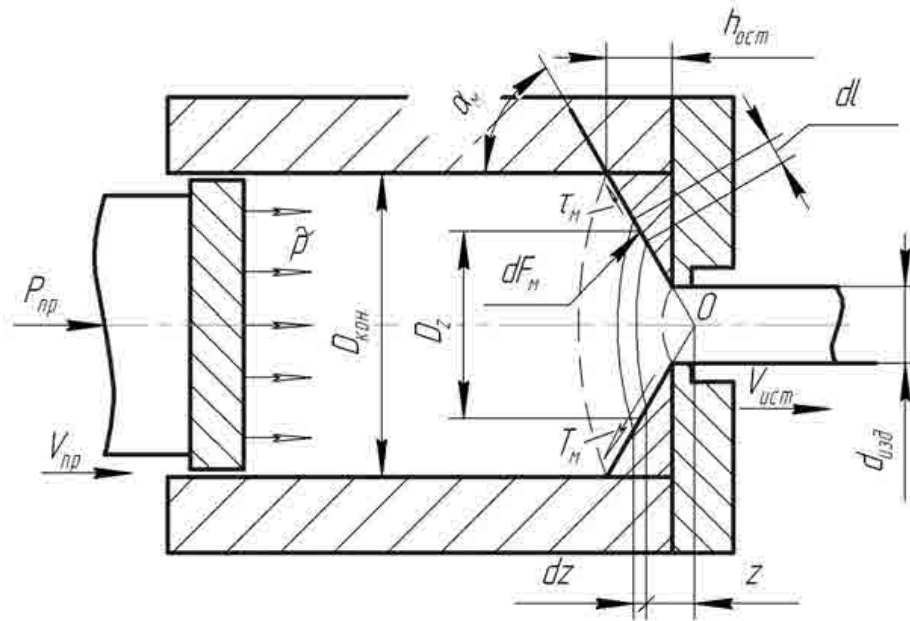


Рис. 8. Вогнище пластичної деформації поблизу матриці

Вивчення деформованого стану показує, що воно характеризується двома рівними деформаціями стиснення: радіальним і окружним, і однією (найбільшою) деформацією подовження. Деформація подовження відбувається за рахунок напружень стиснення и тому є пасивною.

Такий деформований стан сприятливий для забезпечення цілісної бездефектної внутрішньої структури виробів.

Напружений стан характеризується дією трьох стискаючих напружень (рис. 8): радіального, окружного та осьового.

У процесі обробки металів тиском сили тертя, що виникають при взаємодії деформованого металу з інструментом, значно впливають на силовий режим деформування, пластичний перебіг металу, знос інструменту, якість продукції і загальну ефективність процесу. У більшості технологічних процесів обробки металів тиском тертя негативно впливає, що призводить до збільшення загального зусилля, необхідного для деформації заготовки, значної нерівномірності деформації металу, зниження стійкості інструменту, погіршення якості виробів та інших проблем.

Розуміння закономірностей тертя при взаємодії матеріалу, що деформується, з контактною поверхнею інструменту критично важливе для розробки науково обґрунтованих методів розрахунку напруг і деформацій, а також для вирішення безлічі технологічних завдань.

В останні роки актуальними стали завдання покращення процесів обробки металів тиском шляхом управління механікою контактної взаємодії з метою зменшення негативного впливу сил тертя, зокрема із застосуванням технологічних мастил. Одночасно з цим інтенсивна модернізація процесів, підвищення вимог до якості виробів, випуск нових видів продукції, зміни у сировинній базі та модернізація обладнання, а також увага до екологічних проблем вимагають переходу від застарілих мастил до більш ефективних.

Ця робота присвячена дослідженню підвищення ефективності нових технологічних мастил для процесів гарячого пресування труб із алюмінієвих сплавів.

Тертя в процесі пресування труб із алюмінієвих сплавів відіграє важливу роль. У виробничій практиці отримання труб із алюмінієвих сплавів широко використовуються процеси прямого та зворотного пресування труб із порожнистих злитків. У цих процесах голка, поміщена в порожнину зливка, формує внутрішню поверхню труби, а метал, що деформується, випресовується в зазор між калібруючим пояском матриці і поверхнею голки. Тертя між металом, що деформується, і стінками контейнера, а також з поверхнею голки має важливе значення для якості процесу.

Контактна взаємодія пресованого зливка з інструментом і контейнером значно впливає на зусилля пресування і якість прес-виробу. Часто саме ця взаємодія визначає нерівномірність мікро- та макроструктури, а також механічних властивостей труб, якість їхньої поверхні.

Залежно від характеру руху пресованого зливка щодо контейнера виділяють два основні способи пресування:

1. Пресування із прямим закінченням — у разі контейнер залишається нерухомим щодо матриці, а злиток у процесі видавлювання переміщається щодо контейнера. За такого способу виникають значні реактивні сили тертя.

2. Пресування зі зворотним закінченням - тут контейнер рухається щодо матриці, а злиток щодо контейнера не переміщається. Тертя між зливком і контейнером відсутнє, що призводить до зниження загального зусилля пресування алюмінієвих сплавів на 20-50%. Останніми роками розроблено метод пресування із зворотним закінченням, у якому голки тертя грають активну роль. В цьому випадку швидкість руху контейнера щодо матриці вибирається так, що сили тертя між зливком і контейнером створюють додаткове зусилля позитивне. Однак цей метод поки не отримав широкого застосування у промисловості.

Тертя на контактній поверхні контейнера уповільнює рух периферійних шарів металу, і що вище питомі сили тертя, то сильніше це уповільнення. Ці сили можуть бути настільки великими, що призведуть до повного прилипання периферійних шарів, і їхня швидкість переміщення дорівнює нулю. Таке явище використовується в процесі пресування з утворенням прес-сорочки.

Загальмовування периферійних шарів спричиняє інтенсивні деформації зсуву, що потребує додаткових енерговитрат. Чим вищий рівень тертя, тим більше зсувних деформацій у приконтактних шарах і тим більша різниця у ступеню деформації між внутрішніми ділянками зливка та ділянками, що прилягають до контактних поверхонь. Це призводить до різних умов формування вторинної структури кінцевого продукту, включаючи утворення дрібнозернистих та крупнозернистих обідків.

Особливого значення тертя набуває при взаємодії металу, що деформується, з голкою, оскільки ковзання металу по поверхні голки, що супроводжується тертям, має місце як при пресуванні з прямим закінченням, так і зі зворотним. Залежно від інтенсивності ковзання металу щодо голки і, відповідно, від інтенсивності додаткової деформації від тертя голкою, можна

виділити три основні різновиди процесу пресування, які різняться по осьовому переміщенню голки щодо матриці.

При пресуванні металів з використанням голки, взаємодія металу, що деформується, з голкою має важливе значення для процесу. Залежно від типу взаємодії між голкою та прес-штемпелем, розрізняють кілька варіантів конструкції голки:

1. Нерухлива голка - голка залишається нерухомою, а прес-штемпель може переміщатися вздовж неї. У цьому випадку ковзання металу щодо голки та тертя про голку досягають максимальних значень.

2. Рухлива голка – голка рухається разом із прес-штемпелем. Тут ковзання металу в частині голки, що у контейнері, значно нижче, проте у зоні пластичної деформації однаково спостерігається ковзання металу щодо голки.

3. Поздовжньо-плаваюча голка - голка може переміщатися щодо прес-штемпеля по осі. У цьому випадку голка пересувається разом з металом, що пресується, виштовхуючи його до виходу з каналу матриці. При цьому можуть виникати зони з різною швидкістю руху металу щодо голки, такі як зона випередження (де швидкість металу вища) і зона відставання (де швидкість металу нижче).

Контактне тертя на поверхні голки впливає протягом металу в шарах, прилеглих до голки, викликаючи додаткові деформації зсуву. Це призводить до значної нерівномірності деформації перерізу труби, особливо при пресуванні труб з великою товщиною стінки або складним поперечним перерізом, наприклад, ребристих труб.

Нерівномірність деформації, у свою чергу, викликає додаткову напругу, що розтягує, на поверхні труб через уповільнення руху металу в шарах, що контактують з голкою. Це може призвести до утворення поперечних надривів або тріщин на поверхні труб, що пресуються. Для запобігання таким дефектам необхідно обмежувати швидкість закінчення металу.

Тертя, без сумніву, є важливим фактором, що впливає на ефективність пресування, особливо при роботі з алюмінієвими сплавами. Воно не лише

знижує швидкість процесу, але й підвищує температуру в зоні контакту металу з інструментом, що може сприяти збільшенню адгезії сплаву до інструменту. За недостатньої мастила це може призвести до утворення намінів на інструменті, що погіршує якість поверхні виготовлених труб або інших виробів.

Тепловий ефект при пресуванні залежить від рівня тертя: чим більше тертя, тим більше тепла виділяється, що може призвести до перегріву металу та інструменту. Зниження тертя через використання мастил є одним з ефективних способів для підвищення продуктивності та якості процесу. Однак застосування мастил обмежене через їх обмежену ефективність при високих температурах та складність у забезпеченні рівномірного мастила на всіх поверхнях.

Особливо тертя впливає на стійкість інструменту, зокрема на голки, які зазнають значних напруг і деформацій. Високі температури під час пресування можуть призвести до ослаблення матеріалу голок, особливо в разі їх малого діаметра (менше ніж 30 мм), що збільшує ймовірність їхнього обриву. Для голок діаметром 50 мм і більше центральні шари не прогріваються настільки сильно, що дозволяє зберігати їх міцність, але для тонших голок це є проблемою.

Важливим аспектом є зниження тертя між металом і поверхнею інструменту. Це не тільки зменшує зусилля пресування та енерговитрати, але й сприяє підвищенню якості продукції. Для цього поверхню голки змащують різними мастилами, а в деяких випадках мастять також поверхню контейнера та зливка. Мастило є критично важливим для запобігання налипанню металу на поверхню голки, що може призвести до утворення дефектів внутрішньої поверхні труб, таких як надири і ризики. Ці дефекти дуже важко виправити і часто є непоправними.

При змішаному режимі тертя, коли між контактними поверхнями є шар мастила, але він не повністю розділяє ці поверхні, виникають ділянки сухого,

граничного та рідинного тертя, що ускладнює контроль над процесом і може знижувати його ефективність.

Основні джерела сил тертя включають:

1. Механічне зачеплення нерівностей поверхонь.
2. Молекулярне схоплювання та руйнування зварювальних містків.
3. Подолання опору зсуву в шарі розподільчого середовища.

Перші два джерела, що викликають найбільший опір щодо руху, є основними факторами зношування контактних поверхонь. Роль технологічних і конструкційних мастил полягає у зниженні областей сухого та граничного тертя, збільшуючи область рідинного тертя або тертя через шар розділового середовища. Це дозволяє зменшити загальну силу тертя і знизити знос тертьових поверхонь.

У процесах обробки металів тиском (ОМД), особливо при пластичній деформації, тертя між інструментом і металом, що деформується, відіграє важливу роль. На відміну від звичайного тертя твердих тіл, тертя при ЗМД прийнято називати пластичним. Особливості пластичного тертя пояснюються низкою факторів, пов'язаних із процесом деформації металу та його взаємодією з інструментом.

Основні особливості пластичного тертя:

1. Збільшення площі контакту: У процесі пластичної деформації, через великі нормальні тиски, відбувається впровадження нерівностей інструменту в поверхню металу, що деформується. Це призводить до різкого збільшення фактичної площі контакту та утворення великих сил тертя.

2. Оновлення контактної поверхні: При деформації металу відбувається руйнування окисних плівок та вихід на поверхню неокислених частинок. Це також впливає на тертя, збільшуючи сили схоплювання та утворення містків зварювання.

3. Високі нормальні тиски: Ці тиски часто перевищують межу плинності матеріалу, що може призвести до утворення дефектів, таких як містки зварювання, які руйнуються в процесі зсуву та збільшують тертя.

4. Температурні ефекти: При гарячому пресуванні на контактних поверхнях з'являються високі температури, що сприяє інтенсивному окисленню та утруднює деформацію металу.

5. Проблеми зі зношуванням інструменту: При гарячій обробці металів на інструменті можуть утворюватися тріщини, що збільшує зношування інструменту, а також погіршується якість поверхні заготовок через налипання металу.

Механізм впливу зовнішнього тертя:

Тертя суттєво впливає на напружений стан та процеси пластичного перебігу металу, такі як нерівномірність деформації та утворення текстур деформації. Сили зовнішнього тертя безпосередньо пов'язані зі збільшенням загального зусилля деформування та граничним ступенем деформації, що може обмежити можливості отримання складних форм виробів.

Мета оптимізації процесу пресування труб полягає у зменшенні втрат, покращенні якості виробів і підвищенні ефективності виробничого процесу. Зменшення величини прес-залишку та підвищення виходу придатних виробів є важливими завданнями для досягнення цієї мети. Основні шляхи оптимізації процесу включають:

#### 1. Оптимізація параметрів пресування:

- Вибір оптимальних значень тиску, температури та швидкості дозволяє забезпечити ефективну деформацію металу з мінімальними втратами. Збалансовані параметри забезпечують кращу пластичність металу, що зменшує утворення дефектів і дозволяє зменшити прес-залишок.

#### 2. Використання різних конструкцій прес-форм:

- Оновлення конструкцій матриць і прес-форм допомагає досягнути рівномірного розподілу матеріалу по перерізу. Це знижує зусилля деформування, зменшуючи механічні навантаження на інструмент і покращує рівномірність властивостей по довжині та поперечному перерізу труб.

### 3. Застосування високоєфективних мастил:

- Використання спеціальних мастил з унікальними **фізико-хімічними властивостями** дозволяє знизити **тертя** між металом і інструментом. Це зменшує теплові втрати та знос інструменту, знижує температуру в зоні деформації і дозволяє досягти більш рівномірного прогріву металу.

### 4. Правильний спосіб нанесення мастила:

- Для досягнення рівномірного покриття важливо правильно наносити мастило на всі контактні поверхні інструменту та заготовки. Це запобігає появі дефектів на поверхні виробів, таких як **надири** чи **ризи**. Використання ефективних методів нанесення мастила також дозволяє знизити витрати матеріалів.

Загалом, оптимізація процесу пресування та вибір ефективних мастил сприяють зниженню тертя, підвищенню продуктивності, покращенню якості готової продукції та зменшенню відходів, що має безпосередній вплив на економічну ефективність виробництва.

Для підвищення ефективності процесів пресування труб з алюмінієвих сплавів необхідно покращити мастильні матеріали, які знижують тертя та знос інструменту, покращуючи якість виробу та знижуючи енерговитрати. Важливо розробити мастила, які матимуть як високі технічні характеристики (антифрикційні властивості, стійкість до високих температур), так і екологічну безпеку.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1. Еспериментальне обладнання, оснащення та апаратура

Отримання деталей методом прямого видавлювання здійснювали з використанням універсальної випробувальної машини УИМ-50 (рис. 9), яка дозволяє не тільки деформувати заготовки, але і реєструвати зусилля в процесі деформації.

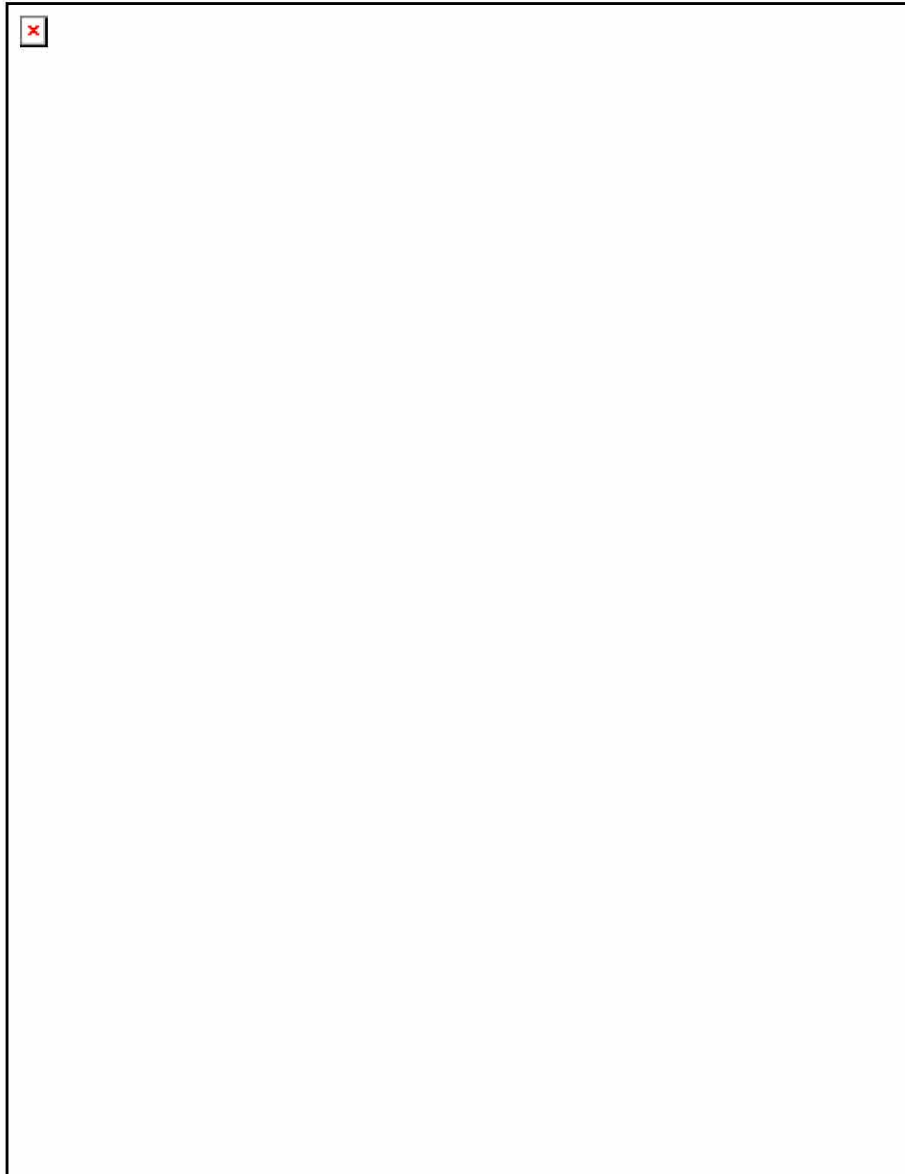


Рис. 9. Еспериментальна універсальна випробувальна машина УИМ-50

## Технічна характеристика

Потужність електродвигуна насосу, кВт	2,8
Максимальний робочий тиск насосу, МПа	23,5
Діапазон навантажень, що заміряються, кН	0 – 50
	0 – 100
	0 – 250
	0 – 500
Ціна поділки шкали силовимірювача при діапазоні навантажень, що заміряються, кН:	
від 0 до 50 кН	0,1
від 0 до 100 кН	0,2
від 0 до 250 кН	0,5
від 0 до 500 кН	1,0
Габарити машини, що встановлена на фундаменті, мм:	
розмір спереду - назад	288
розмір справа - наліво	1180
висота	5330
Вага машини складає 2668 кг та складається з ваги, кг:	
насоса	288
преса.	2160
силовимірювача	220

В якості інструмента використовувався експериментальний штамп (див. креслення: додаток 1-4).

Експериментальний штамп складається з таких основних деталей (рис. 10):

- пуансона 1 для видавлювання та пресування;
- корпус-матриці 2;
- комплекту змінних матриць 3, 4, 5.

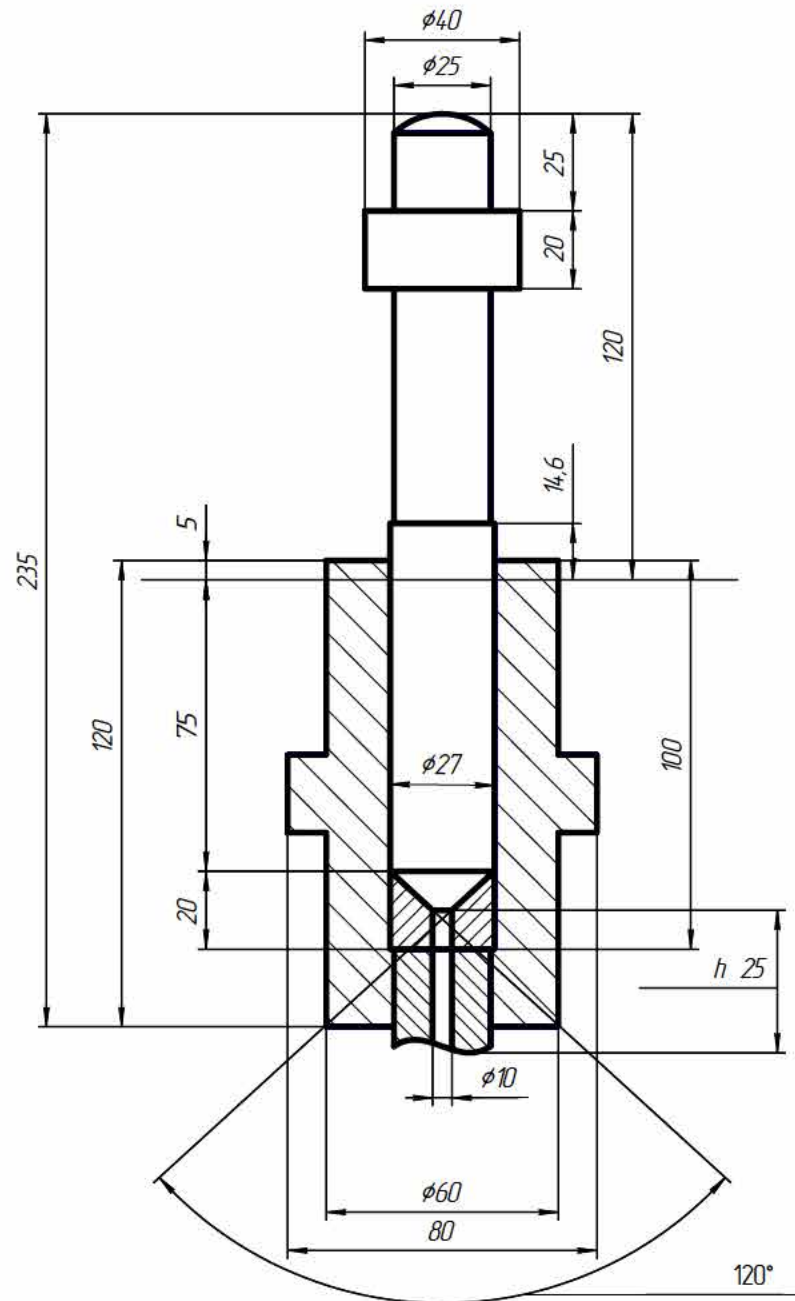


Рис. 10. Експериментальний штамп

Штамп працює таким чином. В робочу порожнину корпус-матриці 2 встановлюється певна змінна (3...5) матриця (рис. 2.5) та вкладається заготовка. Далі в цю ж порожнину ставляється пуансон 1. В такому вигляді штамп встановлюється на розривну машину та навантажується.

Зусилля видавлювання записується на паперовий носій.

## **2.2. Методи визначення зусилля пресування**

Залежно від цілей розрахунків застосовують такі основні методи: ліній ковзання, метод кінцевих елементів і експериментальний метод.

### **2.2.1. Метод ліній ковзання**

Метод заснований на обліку траєкторії найбільших дотичних напружень. Ці траєкторії є лініями ковзання, які безперервні і утворюють два сімейства взаємно перпендикулярних ліній. Лінії ковзання перетинають траєкторії головних нормальних напружень під кутом  $45^\circ$ . Зміна середнього нормального напруження при русі уздовж лінії ковзання пропорційно куту її повороту.

Використання ліній ковзання дозволяє визначати напруження в будь-якій точці вогнища деформації.

### **2.2.2. Метод кінцевих елементів (МКЕ)**

Метод заснований на використанні варіаційних принципів механіки суцільного середовища. Сутність його зводиться до заміни безперервного суцільного середовища дискретним, що дозволяє спростити розв'язок рівнянь течії. Дискретний опис середовища характеризує середовище як систему з кінцевого числа недеформованих малих елементів, які повинні задовольняти певним умовам спільності на границях.

Використання комп'ютерів з великою пам'яттю і застосування стандартного математичного забезпечення МКЕ дає можливість розв'язку різноманітних завдань теорії пресування.

## РОЗДІЛ 3

### Комп'ютерне моделювання процесу прямого пресування труб

#### 3.1. Інструмент для пресування профілів: різновиди, умови експлуатації, матеріали

Для пресування використовуються такі різновиди інструмента: матриці, контейнери, прес-шайби, голки, прошивники, прес-штемплі, матрицетримачі, голкотримачі, матричні дошки.

Матриця, контейнер, прес-шайба, голка, прошивник є інструментом безпосереднього контакту із металом, який пресують, і відносяться до інструмента першої групи (основного інструменту). Прес-штемпель, матрицетримач, голкотримач, матрична дошка відносяться до другої інструментальної групи.

Умови експлуатації інструмента першої групи характеризуються:

- високою температурою ( для алюмінієвих сплавів – 400÷600 °С; для важких кольорових сплавів – до 1200 °С);
- значними контактними тисками (до 2000 МПа);
- значними силами тертя;
- впливом хімічно активних елементів, що привносяться поверхневими шарами заготовок, які пресують.

Зазначені специфічні умови викликають велике зношування і витрати інструмента першої групи, кошторис на який становлять до 90 % загальних витрат на інструментарій.

У якості матеріалу використовують спеціальні інструментальні сталі, які повинні мати високу тепломіцність і теплостійкість. Найбільше широко застосовують жароміцні сталі аустенітного класу, леговані хромом, вольфрамом, нікелем.

Використовувані матриці по входній частині розділяють на такі види: плоскі (рис. 11а), конічні (рис. 11б), радіальні (рис. 11в).

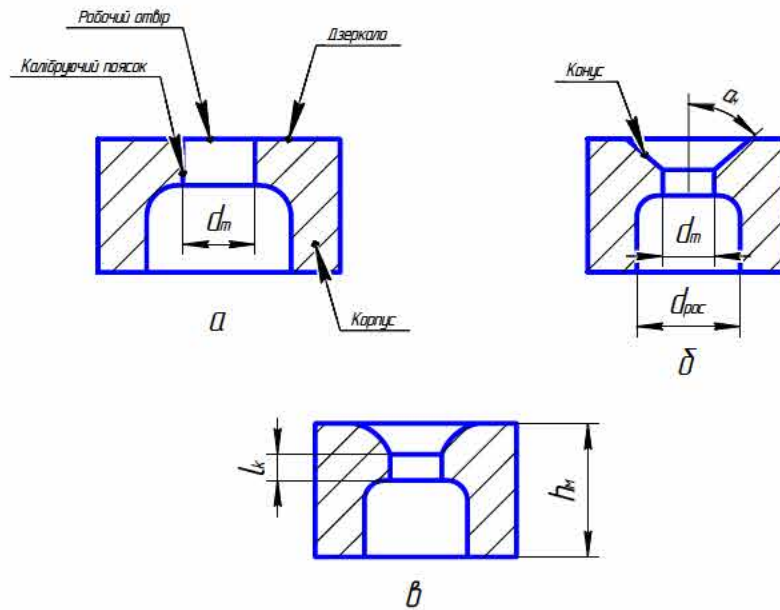


Рис. 11. Елементи матриць для пресування

Найбільше поширення одержали плоскі матриці, що дають кращу якість поверхні відпресованого виробу. Для труб поширені конічні матриці.

З урахуванням зовнішньої поверхні і монтажу матриці ділять на такі групи: із прямим конусом (рис. 12а); зі зворотним конусом (рис. 12б); із циліндричним буртом (рис. 12в); із прямим конусом в обоймі (рис. 12г); зі зворотним конусом в обоймі (рис. 12д); цільні, посилені по корпусу (рис. 12е).

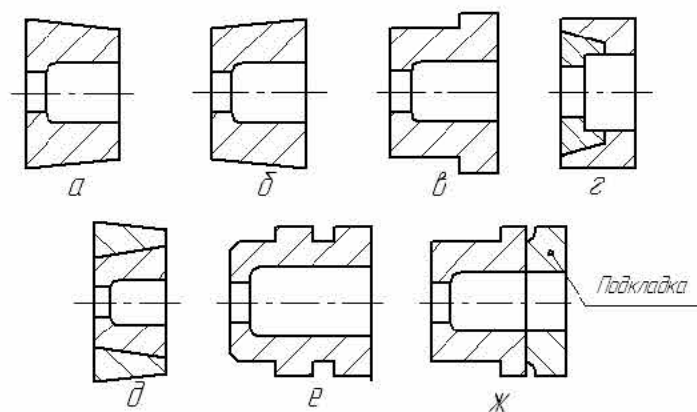
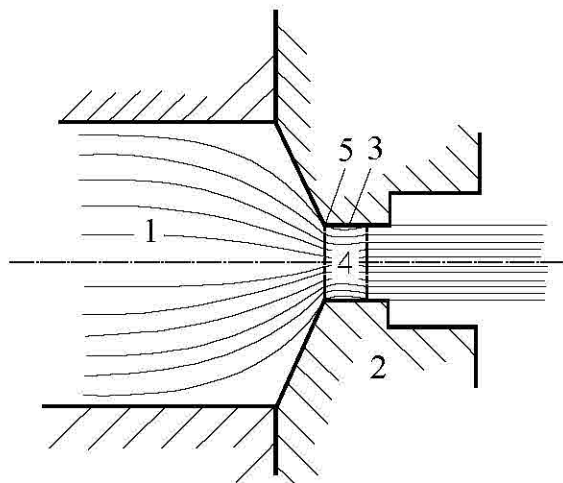


Рис. 12. Групи матриць для пресування

### 3.2. Дослідження впливу геометрії вогнища деформації на силові параметри процесу пресування труб

Напружений і деформований стану металу і розміри вогнища деформації при пресуванні суттєво залежать від конструкції інструмента і, зокрема, від форми матричної лійки [1 – 3]. До того ж стан прес-виробів також суттєво залежить від профілю матриці [3, 4].

Іншим фактором, який суттєво впливає на напружений і деформований стан матеріалу, який пресують, є величина паска матриці, що калібрує. Збільшення висоти паска, що калібрує, сприяє росту гідростатичного тиску в пластичній зоні і тим самим зменшує імовірність виникнення тріщин [5]. Сили тертя, що виникають на поверхні паска, хоча відносно і невеликі в порівнянні з іншими реактивними силами, але робота, що витрачається на їхнє подолання, досить значна у зв'язку з більшими швидкостями витікання.



1 – метал; 2 – матриця; 3 – пасок, що калібрує;

4 – зона позаконтактної деформації; 5 – гостра крайка в початку паска

Рис. 13. Схема позаконтактної деформації при виході із частини, що обжимає, пластичної зони [5]

Основним параметром, що визначає можливість протікання процесу пресування в стабільних умовах, є максимальне зусилля пресування, що виникає в процесі деформації.

При проектуванні нового технологічного режиму пресування труб змінного перетину з стінкою меншого розміру на задній ділянці, найважливішим обмеженням є рівень гранично припустимих навантажень на деформуючий інструмент пресів, що входять у пресову лінію, що пояснюється зміною товщини стінки в процесі пресування від номінального до мінімального значення. Тому дуже важливо точно прогнозувати величину максимального зусилля, що виникає в процесі деформації металу.

Характер плину металу при пресуванні визначається рядом факторів, головними з яких є: калібрування матриці ( $H_M, H_{TM}, \omega$ ) та прес-голки ( $D_{ИГmax}, D_P, L_{ИГmax}, L_{Ц}, L_P$ ), положення і форма границь пластичного вогнища деформації ( $R_1, R, r_1, r, \theta, \beta, \gamma$ ), режими пресування ( $v_{II}, \lambda_i$ ), умови тертя на контактних поверхнях ( $\tau_s, \mu$ ), механічні властивості досліджуваного металу ( $\sigma_s$ ) тощо.

Дії цих факторів визначають структуру моделі системи, властивості її елементів і наслідкові зв'язки, що властиві системі і істотні для досягнення мети моделювання. Відповідно до основного закону теорії пластичних деформацій про течію металу в напрямках найменшого опору в процесі розпресовки заготовка ( $\bar{D}_0, d_0, h_0$ ) під впливом силового впливу  $P$  прес-шайби осаджується і збільшується в діаметрі ( $D_K$ ).

Одночасно або трохи пізніше залежно від відношення величини поперечних перерізів заготовки і прес-виробу, довжини заготовки й інших деформаційних умов починається заповнення металом каналу матриці. Безпосередньо із цього моменту починається процес видавлювання труби в отвір одноканальної конічної матриці – стадія пресування труби.

Для математичного опису процесу пресування й розв'язку відповідного завдання прийняті наступні основні допущення: деформований метал ідеально пластичний ( $\tau_s = \sigma_s / \sqrt{3}$ ) і не стискається ( $\xi_{xx} + \xi_{yy} + \xi_{zz} = 0$ ); температура

пластичної гарячої деформації в процесі пресування не змінюється ( $\Delta t = 0$ ); деформація вісесиметрична ( $x_{ij} = y_{ij}$ ); сили контактної тертя постійні й не залежать від нормальних тисків ( $\tau_k = \mu \tau_s$ ); температурні напруження й деформації, сили інерції й інші масові сили зневажливо малі.

Математичний опис процесу пресування труб змінного перетину здійснювався в прямокутній просторовій системі координат. У зв'язку з тим, що протягом основної стадії процесу різні ділянки металу, який випресується, перебувають у різних напружено-деформованих станах, зазнають пружні або пластичні деформації, був зроблений умовний поділ на кілька характерних блоків відповідно до розрахункової схеми, представленої на рис. 14.

Відповідно до рис. 14, границями блоків з відповідними їм параметрами зон пластичної деформації при вісесиметричному пресуванні й виконанні умови нестисливості є сфери.

Слід зазначити, що одними з характерних, що впливають на умови й результати пресування, є зони 6 і 9, що перебувають поблизу матриці. Метал у цих зонах на розглянутій стадії у витіканні не бере участь або майже не бере участь і утворює об'єми пластично недеформованого металу, що перебуває в пружному стані.

У вогнищі деформації, обмеженому блоками 2, 3 і 4, швидкість плинності металу в деякій точці по осі  $z$  залежить не тільки від координати даної крапки  $z$ , але й від її положення по осі  $x$ . Отже, швидкість лінійної деформації не є постійною величиною за обсягом металу. Тому для математичного опису процесу були визначені середні значення швидкості лінійної деформації  $\dot{\epsilon}_{ZZ_{\text{порівн}}}$ , які є середніми між швидкістю лінійної деформації на границях вогнища деформації, тобто на границі контакту металу із прес-голкою й застійною зоною металу:

$$\xi_{zz \text{ cp2}} = \frac{1}{2} v_{\Pi} (\lambda_2 - 1) \times$$

$$\times \left( \frac{\cos \theta}{R \cos \gamma - R_1 \cos \varphi} + \frac{\cos \alpha}{L_{\text{ИГmax}}} \right),$$

$$\xi_{zz \text{ cp3}} = \frac{1}{2} \lambda_2 v_{\Pi} (\lambda_3 - 1) \times$$

$$\times \left( \frac{1}{R \cos \beta - L_{\text{ИГmax}} - \sqrt{r_1^2 - \left(\frac{D_P}{2}\right)^2}} + \right.$$

$$\left. + \frac{\cos \theta}{R_1 \cos \varphi - R \cos \gamma + l_0 - (H_M - H_{\text{TM}})} \right),$$

$$\xi_{zz \text{ cp4}} = \frac{1}{2} \lambda_2 \lambda_3 v_{\Pi} (\lambda_4 - 1) \times$$

$$\times \left( \frac{1}{\sqrt{r_1^2 - \left(\frac{D_P}{2}\right)^2} - \sqrt{r^2 - \left(\frac{D_P}{2}\right)^2}} + \right.$$

$$\left. + \frac{\cos \omega}{R \cos \gamma - l_0 + (H_M - H_{\text{TM}}) - r \cos \gamma} \right).$$

Рівняння балансу потужностей для випадку гарячого пресування труб з використанням прес-голки з конічною ділянкою містить у собі потужність сил деформування  $N_P$  з додатком зусиллям преса, потужності сил формозміни заготовки, потужність  $N_A$ , що розвивається максимальними дотичними напруженнями на всіх поверхнях розривів швидкостей  $S_A$  у заготовці й потужність сил контактного тертя  $N_T$ .

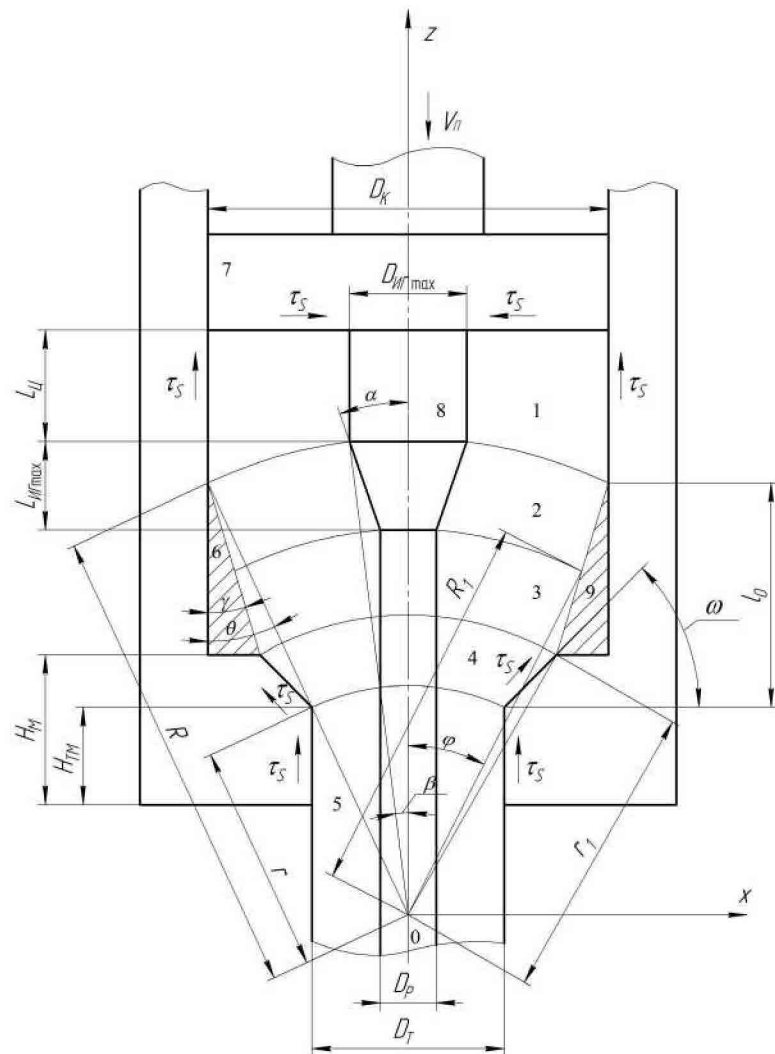


Рис. 14. Розрахункова схема процесу на стадії пресування з геометричними граничними умовами

В загальному вигляді балансу потужностей є рівняння наступного вигляду

$$N_p = \tau_s \left( \iiint_{V_2} H_2 dV_2 + \iiint_{V_3} H_3 dV_3 + \iiint_{V_4} H_4 dV_4 \right) + \iint_{S_\Delta} \tau_s |\Delta v| dS + \iint_{S_K} \tau_k v_c dS ,$$

де  $\tau_s$  – опір металу на зсув;  $\tau_k$  – сили контактного тертя на одиницю поверхні контакту;  $S_K$  - площа контакту;  $v_c$  – середня швидкість ковзання по поверхні контакту;  $H_2, H_3, H_4$  - інтенсивність швидкостей деформацій зрушення у відповідних блоках;  $V_2, V_3$  і  $V_4$  – об’єми металу відповідних блоків;  $\Delta v$  – різниця дотичних швидкостей до поверхні розриву перед поверхнею розриву й за нею;  $\sigma_s$  – опір металу пластичної деформації.

Шляхом перетворень рівняння балансу потужностей, з урахуванням усіх змінних параметрів, отримана залежність для визначення зусилля пресування, що виникає при виготовленні труб зі зменшенням товщини стінки на задній ділянці, представлена в загальному виді:

$$P = \frac{\hat{N}_\Phi}{v_\Pi} + \frac{\pi}{\sqrt{3}} \sigma_s \left( \frac{1}{4} C + \mu B \right),$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання;

$v_\Pi$  – швидкість пресування;

$B$  та  $C$  – змінні параметри потужності сил контактного тертя й потужності, що розвиваються максимальними дотичними напругами на поверхнях розривів швидкостей  $S_A$  у заготовці відповідно.

Представлена математична модель була використана для чисельного дослідження впливу зміни величини максимального діаметра прес-голки на значення величини зусилля пресування. Параметри процесу пресування труб вибирали із застосуванням п'яти різних профілювань прес-голок, при незмінних інших параметрах.

На рис. 15 представлені побудовані в одній системі координат з використанням заданих значень визначальних параметрів і розрахункових значень параметрів відгуку графічні залежності зміни значення максимального зусилля пресування від максимального діаметра прес-голки й мінімальної товщини стінки труби.

Відповідно до графічних залежностей, представлених на рис. 14, наведене підтвердження фундаментального положення теорії пресування [2]. Показане, що значення величини максимального зусилля пресування  $P_5 = 21,9$  МН, що виникає при пресуванні труби з меншою товщиною стінки (7 мм) на задній ділянці, перевищує значення величини максимального зусилля пресування  $P_1 = 20,9$  МН, що виникає при пресуванні труби з більшою товщиною стінки (11 мм). При цьому залежності зміни параметрів відгуку від визначальних параметрів обернено пропорційні.

Таким чином, розроблена математична модель дозволяє, враховуючи специфічне профілювання пресового інструмента, прогнозувати можливість виготовлення труб заданого сортаменту й визначати раціональну форму пресового інструмента.

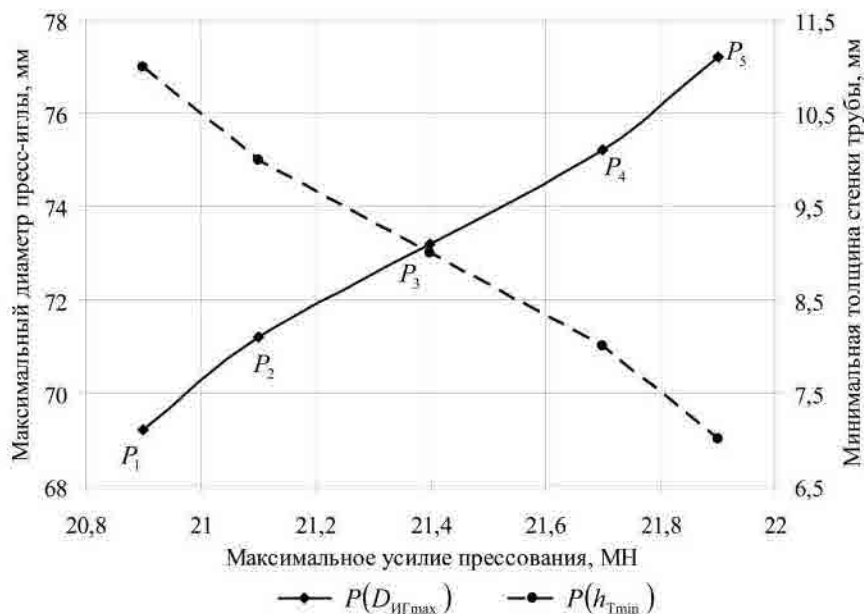


Рис. 15. Залежність максимального зусилля пресування труби змінного перетину від максимального діаметра прес-голки й мінімальної товщини стінки:  $P_1 = 20,9$  МН,  $P_2 = 21,1$  МН,  $P_3 = 21,4$  МН,  $P_4 = 21,7$  МН,  $P_5 = 21,9$  М

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 4.1. Вібрація і її вплив на організм людини

Під впливом вібрації в організмі людини спостерігаються зміни серцевої діяльності, нервової системи, спазми судин, порушення функції суглобів. Тривала дія вібрації викликає професійне захворювання – вібраційну хворобу [1].

Важливе гігієнічне значення має частота вібрації. Частоти порядку від 35 до 250 Гц найбільш характерні при роботі з ручними інструментами і сприяють розвитку вібраційної хвороби зі спазмами судин. Частоти нижче 35 Гц викликають зміни в нервово-м'язовій системі і суглобах.

Найбільш небезпечними є резонансові вібрації, які співпадають з власною частотою коливань людського тіла або окремих органів (від 3 до 6 Гц). При співпаданні власної і зовнішньої частот амплітуда коливань внутрішніх органів зростає. Між ними виникає тертя, яке призводить до порушення їх нормальної роботи. Область резонансу для голови в ортостатичному положенні при вертикальній вібрації знаходиться в зоні між 20...30 Гц, при горизонтальній – 1,5...2 Гц. Розлад функції зорового аналізатора спостерігається при частотному діапазоні вібрації в межах від 60 до 90 Гц, що співпадає з резонансом очних яблук.

Вібраційна патологія займає друге місце після пневмоконікозів серед професійних захворювань. При дії на організм загальної вібрації у першу чергу порушується функції центральної нервової системи і аналізаторів (зорового, слухового, вестибулярного і шкіряного). Вібрація є специфічним подразником для вестибулярного аналізатора, зокрема, лінійні прискорення – для отолітового апарата, а кутові прискорення – для напівкруглих каналів. Під впливом загальної вібрації спостерігається зниження больової, тактильної і теплової чутливості, порушення обміну речовин і енергії. У

водіїв машин під впливом низькочастотної вібрації розвиваються паталогічні зміни у попереково-крижовому відділі хребта, розлади вегетативних функцій, порушень апетиту і сну.

Чималої шкоди здоров'ю працівників в умовах сучасного виробництва завдає локальна вібрація. Вона викликає у людей спазм судин рук, блідість пальців і долонь, зниження тактильної чутливості, відкладання солей у суглобах пальців, деформацію і зменшення рухливості суглобів. Охолодження і зволоження рук значно підвищує ризик розвитку вібраційної хвороби.

Основний нормативний акт з охорони праці стосовно вібрації є ДСН 3.3.6.039-99 [2].

Вібрація може вимірюватись за допомогою абсолютних і відносних параметрів. Абсолютними є віброзміщення і віброприскорення. Основним відносним параметром вібрації є рівень віброшвидкості.

Оскільки діапазон зміни параметрів вібрацій від порогових значень, за яких вона не шкідлива, до дійсних (руйнуючих) є великим, то зручно вимірювати не дійсні значення цих параметрів, а логарифми відношень дійсних значень їх до порогових. Таку величину назвали логарифмічним рівнем параметра, який вимірюється у децибелах (дБ).

Нормованими параметрами є середні квадратичні значення віброшвидкостей, їх логарифмічні рівні або прискорення в октавних смугах частот (для загальної і локальної вібрації) і в 1/3 октавних смугах (для загальної вібрації).

Для вимірювання параметрів вібрації застосовують механічні і електричні прилади. Найбільш поширеними є вимірювальні комплекси ШІВ-1, НВА-1, ШІВК-1, ВШІВ-003. Прилад ШІВ-1 забезпечує вимірювання віброшвидкості від 70 до 160 дБ і віброприскорення від 30 до 130 дБ.

Норми для загальної вібрації встановлені з урахуванням джерел виникнення встановлено окремо для транспортної, транспортно-технологічної і технологічної вібрацій. Гігієнічними нормами передбачені допустимі рівні локальних вібрацій на деталях керування машинами. Загальний час

праці в контактi з ручними машинами, які викликають вібрацію, не повинен перевищувати 2/3 робочої зміни.

Одноразовий безперервний вплив вібрації, включаючи мікропаузи, які містить дана операція, не повинен перевищувати 15...20 хв. Забороняється робота з пневматичними приладами при температурі нижче мінус 16 °С, високій відносній вологості і швидкості руху повітря більше 0,3 м/с.

З метою профілактики захворювань при роботі з віброінструментами маса обладнання, яке утримується руками, не повинна перевищувати 10 кг, а сила натискання працюючого на вібруюче устаткування не повинна перевищувати 200 Н.

Заходи захисту від вібрації поділяються на колективні і індивідуальні [1]. Засоби індивідуального віброзахисту – це спеціальне взуття на вібропоглинаючій платформі, віброзахисні рукавиці, наколінники, нагрудники, пояси, спеціальні костюми.

Колективні методи захисту спрямовані на зниження параметрів вібрації джерелом збудження і на шляхах її поширення. Вони у свою чергу поділяються на організаційні, технічні і лікувально-профілактичні.

Організаційні методи віброзахисту: застосування технологічних процесів з низькими рівнями вібрації і шуму; впровадження дистанційного керування, що виключає постійне перебування працюючого у зоні небезпечних рівнів вібрації; дотримання раціональних режимів праці і відпочинку; огорожувальні засоби, які перешкоджають проникненню людини до зони дії вібрації, тощо.

Технічні методи віброзахисту – це система заходів і засобів з покращення роботи машин, зменшення рівня вібрації технологічних процесів, застосування додаткових пристроїв (віброізоляція, вібропоглинання і віброгасіння).

Віброізоляція забезпечує зниження рівня вібрації між джерелом вібрації і робітником використанням ізолюючих засобів: пружин, ресор,

пневматичних і гумових подушок, прокладок, віброізолюючих опор, конструктивних розривів, заміна ударних навантажень на безударні.

Вібропоглинання використовується з метою трансформації енергії механічних коливань в інші види енергії, переважно в теплову, а також застосування антифазової синхронізації двох або кількох джерел збудження.

Віброгасіння – це зниження рівня вібрації машин і механізмів застосуванням додаткових пристроїв. Віброгасіння може бути статичним (спеціальні фундаменти для молотів, моторів, пневматичні і пружинні підвіски рухомих частин пресів) і динамічним (агрегати з дискретним збурюючим впливом, віброгасіння маятникового, пружинного, плаваючого і камерного типів).

Лікувально-профілактичні заходи віброзахисту – це своєчасне проведення медичних оглядів працівників, які зайняті на роботах з вібродійними установками, контроль за гігієнічними параметрами у виробничих приміщеннях тощо.

#### **4.2. Захисні пристрої, що запобігають травматизму при роботі на штампувальному обладнанні**

Роботодавець повинен забезпечити організацію і безпечне виконання ковальсько-пресових робіт відповідно до вимог ГОСТ 12.3.002-75 «ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности».

Виробниче устаткування повинно відповідати вимогам «Технічного регламенту безпеки машин» [3], ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.017-93 «ССБТ. Оборудование кузнечно-прессовое. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.064-81 «ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности», ДСТУ ГОСТ 12.2.113:2007 «Преси кривошипні. Вимоги щодо безпеки», ГОСТ 12.2.114-86 «ССБТ. Прессы винтовые. Требования безопасности», ДСТУ ГОСТ 12.2.116:2007

«Машини листозгинальні три- і чотиривалкові. Вимоги щодо безпеки», ГОСТ 12.2.117-88 «ССБТ. Прессы гидравлические. Требования безопасности», ДСТУ ГОСТ 12.2.118:2007 «Ножиці. Вимоги щодо безпеки».

Небезпечні виконавчі механізми устаткування повинні мати огороження відповідно до вимог ГОСТ 12.2.062-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные».

Під час роботи устаткування в автоматичному режимі необхідно використовувати спеціальні пристрої пістолетного типу для розпилення змащувальних матеріалів [4].

Подавання пруткового матеріалу до устаткування для розкроювання повинно бути механізованим. Не дозволяється під час розкроювання прутків використовувати прес-ножиці, не обладнані пристроями для захисту пальців працівника від потрапляння під ножі і притискачі (планки, валики, огороження, заблоковані з пусковими механізмами двигунів).

Гільйотинні ножиці з похилим верхнім ножем для розрізання листового матеріалу повинні бути обладнані [4]:

- напрямними і запобіжними лінійками для позначення місця різання;
- запобіжними пристроями, заблокованими з пусковими механізмами;
- роз'єднувальними пристроями для відключення електродвигуна для унеможливлення пуску ножиць сторонніми працівниками;
- противагами для запобігання мимовільному опусканню ножової балки під дією власної ваги і ваги інструмента;
- пристроєм для утримання ножової балки у верхньому положенні під час проведення налагоджувальних робіт.

Циліндричні притиски гільйотинних ножиць повинні мати спеціальні огороження з регулюванням по висоті залежно від товщини матеріалу, що розрізається.

Для різання на гільйотинних ножицях малих за розмірами заготовок необхідно застосовувати спеціальні накладки.

Біля устаткування для розкроювання листового матеріалу повинні бути розміщені пристосування для укладання листів, напрямні елементи і упор для обмеження подавання листів.

Не дозволяється працювати на стрічкових пилах, не обладнаних уловлювачами заготовок. Під час подавання малогабаритних заготовок складної конфігурації необхідно використовувати спеціальні підтримувальні пристосування.

Штампування відкритими штампами на пресах і молотах необхідно виконувати без надлишків металу і не допускати виходу його на робочу поверхню штампа. Роботи необхідно виконувати із застосуванням інструменту достатньої довжини для унеможливлення впливу високих температур.

Під час штампування на горизонтально-кувальних машинах для запобігання розлітання окалини під час її видалення повітрям у приймач необхідно використовувати пневмовідсмоктувач або пневмоздувач.

Для видалення відштампованих заготовок горизонтально-кувальна машина повинна мати похилі жолоби, транспортери і інші транспортні засоби і спеціальну тару

Кривошипні преси повинні мати гальмові пристрої для забезпечення після кожного робочого ходу автоматичного відключення пускового пристосування і зупинки повзуна (траверси) у крайньому вихідному положенні.

Преси кривошипні гарячештампувальні повинні мати пристрій для надійного забезпечення виведення повзуна зі стану заклинювання (зупинка повзуна біля крайнього нижнього положення), виникнення якого можливе внаслідок великих зусиль при деформуванні [4].

Під час штампування на гідравлічних пресах для захисту працівників від падаючих гайок, що відгвинтилися, шпильок і частин сальника, що розірвалися, на траверсі під фланцями необхідно установити металевий кожух для їх уловлення.

Під час роботи на установках з індукційним нагріванням необхідно використовувати кліщі і інші ручні інструменти, виготовлені з немагнітних матеріалів. Індукційне нагрівання півматриць штампа повинно виконуватися за наявності захисного кожуха трансформатора і водоохолодження індуктора.

Укладати заготовки в штамп і витягати їх зі штампа необхідно тільки через спеціальне робоче вікно в нагрівальному блоці.

Обрізання в холодному або гарячому стані штампованої заготовки необхідно виконувати із застосуванням спеціальних кліщів. Після обрізання облой необхідно знімати з пуансона спеціальними кліщами.

Штампи з робочими елементами з твердих сплавів, пружини в штампах, штампи, призначені для відрізання і обрізання по незамкненому контуру, розрізання відходів, повинні мати захисні кожухи [4].

Під час листового штампування на механічних і гідравлічних пресах ручне подавання матеріалу на матрицю під час штампування з листа дозволяється за наявності напрямної лінійки і упорів на штампі. Для довгих листів додатково необхідно застосовувати роликові столи.

Не дозволяється працювати на гідропресі за відсутності сигналізації щодо положення робочих столів, базового столу, повзуна, мультишлікаторів, покажчика тиску на кожному столі преса.

Під час штампування з нагріванням на установках радіаційного типу з електричним джерелом випромінювання нагрівальну панель штампувального устаткування необхідно екранувати відповідно до вимог чинного законодавства.

Установки газокompресійного штампування повинні мати запобіжні клапани відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 12.2.085:2007.

Листоправильні багатовапкові верстати повинні мати столи (рольганги) для подавання і приймання листів і пристрої для направлення листів під час подавання їх у вальці.

Роликові верстати для згинання і вальцювання профілів повинні мати захисні пристрої від попадання пальців працівників між роликами і матеріалом.

Позначення небезпечних зон повинно відповідати вимогам «Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 року № 1262.

Загальні вимоги безпеки до захисту від шуму на робочих місцях, шумових характеристик машин і механізмів повинні відповідати ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

Крім вищезгаданого роботодавець повинен забезпечити працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям і іншими засобами індивідуального захисту відповідно до вимог «Положення про порядок забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям і іншими засобами індивідуального захисту», затвердженого наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці і гірничого нагляду від 24 березня 2008 року № 53, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 21 травня 2008 року за № 446/15137 (НПАОП 0.00-4.01-08).

Вибір спеціального одягу залежно від гарячих методів ковальсько-пресових робіт і умов праці необхідно здійснювати відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 12.4.221:2004 «Система стандартів безпеки праці. Одяг спеціальний для захисту від підвищених температур, теплового випромінювання, конвективної теплоти. Загальні технічні вимоги».

#### **4.3. Повітряне середовище і його роль у створенні сприятливих умов праці**

Повітря є джерелом кисню, який потрібен людині для окислювальних процесів і підтримування життєдіяльності [1]. Доросла людина протягом доби вдихає від 15 до 20 м<sup>3</sup> повітря, що супроводжується поглинанням кисню

і виділенням вуглекислого газу. Згідно з санітарними нормами вміст кисню у робочій зоні має становити не менш 20 % за об'ємом. Різко падає продуктивність праці при зниженні кисню до 16...18 %, настає посилене серцебиття і задишка, а вже при наявності кисню 12...15 % неможливо виконувати фізичну працю, бо настає явище задухи, а при 9 % настає запаморочення і смерть від кисневого голодування (аноксемія).

Гігієнічний стан повітря у виробничих умовах оцінюється за вмістом вуглекислого газу. Вуглекислий газ у незначних кількостях, відіграє роль фізіологічного стимулятора дихання, а у значних кількостях може спричинити смерть.

Вміст вуглекислого газу у робочій зоні не має перевищувати 0,5 % за об'ємом. У великих концентраціях він чинить токсичну дію. При наявності його 10 % і вище може настати непритомний стан, а 20 % може призвести до смертельних наслідків через задуху і порушення окислювального відновлювальних процесів.

Дуже небезпечним є оксид вуглецю, він поглинається організмом утворюючи стійку сполуку карбоксигемоглобін. Допустимий вміст оксиду вуглецю становить 0,0016 % за об'ємом повітря, 0,01 % призводить до хронічних отруень, 0,12 % – до втрати свідомості, паралічу дихання і смерті. Оксид вуглецю має отруйну дію, призводить до набряку легеневої тканини, подразнення бронхів, гранично допустима концентрація його не має перевищувати 0,0001 %.

Азот є основною складовою частиною атмосферного повітря. Проте в умовах підвищеного тиску азот веде себе як наркотична отрута, призводить до галюцинацій і втрати свідомості.

Для створення сприятливих умов праці використовують системи вентиляції приміщень, які повинні відповідати вимогам чинного законодавства. Роботодавець повинен забезпечити організацію і безпечно виконання кувальсько-пресових робіт відповідно до вимог ГОСТ 12.3.002-75 «ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности».

Параметри мікроклімату в межах робочої зони повинні відповідати вимогам «Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень» [5].

У робочій зоні виробничих приміщень вміст шкідливих речовин не повинен перевищувати граничнодопустимих концентрацій, встановлених вимогами ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

На робочих місцях біля печей, молотів і іншого устаткування, де працівник піддається значному впливу променистого тепла, необхідно встановлювати вентиляційні установки стаціонарного або перемінного типу [4].

Вентиляційні установки повинні бути обладнані пристроями, що забезпечують підігрів або охолодження повітря залежно від пори року.

У разі тривалого перебування працівників біля джерел інтенсивного опромінення на робочі місця необхідно подавати зосереджене чисте припливне повітря залежно від інтенсивності опромінення [4].

На постійних робочих місцях біля печей, молотів, пресів для ізотермічного деформування, де працівник піддається підвищеному впливу теплового потоку, необхідно улаштувати повітряне охолодження з можливістю регулювання напрямку і швидкості повітря [4], а також підігріву повітря в холодну пору року і його штучного охолодження в теплу пору року.

## РОЗДІЛ 5

### ОЧІКУВАНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

В розділі наведений порівняльний аналіз варіантів виготовлення деталей штампуванням за двома різними технологічними процесами. Згідно базового варіанту використовується гідравлічний прес Д2434Б (зусилля 250 т), а за запропонованим варіантом використовується прес гідравлічний Д2430Б (зусилля 100 т). Зменшення зусилля досягається завдяки спеціально спроектованій формі штампа.

Економію планується отримати за рахунок зменшення вартості обладнання та питомих витрат електроенергії на операцію, а також за рахунок збільшення ресурсу штампа.

#### 5.1. Витрати на виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт

Витрати на проведення НДДКР являються складовою частиною капітальних вкладень, які передбачаються для виготовлення або модернізації системи. Вартість НДДКР визначаємо шляхом розрахунку за окремими статтями витрат у вигляді кошторису (табл. 1). Трудомісткість робіт по кожній стадії залежить від призначення, ступені новизни, особливостей конструкції виробу.

Таблиця 1

Трудомісткість виконання НДДКР

Статті витрат та зміст робіт	Трудомісткість в людино-днях
Постановка задачі збір інформації, формулювання технічного завдання	4

Продовження табл. 1

Статті витрат та зміст робіт	Трудовіткість в людино-днях
Аналіз діючої системи виявлення недоліків, розробка заходів по її модернізації	7
Розробка ескізного проекту і блок-схем	4
Виготовлення і налагодження макетів, моделей або експериментальних зразків майбутніх виробів, програм і алгоритмів	8
Витрати на виготовлення первісного комплексу спеціального інструменту і пристроїв (штампів, шаблонів, моделей, інструментів, прес-форм і пристроїв цільового призначення)	5
Складання специфікацій та розробка робочої документації	4
Всього витрат часу, Тнд	32

Величина витрат по кожній статті кошторису НДДКР визначається методом прямого розрахунку і заноситься до табл. 2.

Таблиця 2

## Кошторис витрат на виконання НДДКР

Найменування статей	Позначення	Величина, грн.
Заробітна плата науково-виробничого персоналу	З <sub>нд</sub>	21082
Витрати на наукові відрядження	В <sub>нд</sub>	8433
Загальногосподарські витрати	Н <sub>ак</sub>	4217
Всього	К <sub>нд</sub>	33732

На основі трудомісткості НДДКР розраховується плановий фонд заробітної плати для ведення наукових досліджень за формулою:

$$Z_{нд} = T_{нд} \cdot O_{нд} \cdot (1 + 0.01 \cdot H_d) \cdot (1 + 0.01 \cdot H_c) \quad (5.1)$$

де  $H_d$  - 20% - процент додаткової зарплати;

$H_c$  - 22% - норматив відрахування у соціальні фонди.

$O_{нд}$  - 450 грн. - середньоденний оклад конструктора;

$$Z_{нд} = 32 \cdot 450 \cdot (1 + 0.01 \cdot 20) \cdot (1 + 0.01 \cdot 22) = 21082 \text{ грн.}$$

Витрати на наукові відрядження становлять 40% від заробітної плати:

$$V_{нд} = 21082 \cdot 0,4 = 8433 \text{ грн.}$$

Загальногосподарські витрати становлять 20% від заробітної плати:

$$H_{ак} = 21082 \cdot 0,2 = 4217 \text{ грн.}$$

## 5.2. Визначення технологічної собівартості

Витрати, що складають технологічну собівартість:

Змінні –  $v$ , величина яких в річній технологічній собівартості змінюється пропорційно зміні програми випуску продукції  $N_e$ , грн./дет.;

Постійні –  $p$ , величина яких суттєво не змінюється зі зміною обсягу річного випуску продукції, грн./дет.

Технологічна вартість продукції в обсязі річного випуску визначається за формулою:

$$C_{рiч} = v_i \cdot N_e + p_i \quad (5.2)$$

Проведемо порівняння собівартості технологічних процесів із застосуванням поелементного розрахунку.

Формула технологічної собівартості на річну програму випуску має вигляд, грн./дет.:

– для першого варіанту

$$C_{рiч} = (M_o + Z_{o.d.c.} + B_{ел} + B_e + B_{a.об.} + B_{ен}) \cdot N_e, \quad (5.3)$$

– для другого варіанту

$$C_{\text{річ}} = (M_o + Z_{o.d.c.} + B_{el} + B_{a.ob.} + B_{en} + B_{el.zp.} + B_{p.p.})N_v + Z_{нал} \quad (5.4)$$

де  $M_o$  – вартість основних матеріалів. Враховується у випадку коли змінюється спосіб розкрою або марка матеріалу;

$Z_{o.d.c.}$  – заробітна плата основна і додаткова виробничих робітників з відрахуванням на соцстрах;

$B_{el}$  – витрати на електроенергію;

$B_B$  – витрати на воду технічну;

$B_{a.ob.}$  – витрати на амортизацію обладнання;

$B_{en}$  – витрати на експлуатацію приміщень;

$B_{p.p.}$  – витрати на робочу рідину;

$Z_{нал}$  – витрати на налагодження;

Розрахунки по зазначених статтях ведуть за наступними формулами.

### 5.2.1. Змінні витрати

5.2.1.1. Вартість основних матеріалів з відрахуванням повернених відходів:

$$M_o = a_p \cdot C_m \cdot K_{mp} - q_{відх} \cdot C_{відх} \quad (5.5)$$

де  $a_p$  – норма витрат металу, кг;  $q_{відх}$  – маса відходів ( $q_{відх} = a_p - a_q$ ), кг;  $a_q$  – чиста маса деталі, кг;  $C_m$  – ціна 1 кг металу, грн;  $K_{mp}$  – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати (приймається 1,05...1,08);  $C_{відх}$  – ціна 1 кг відходів, грн.

5.2.1.2. Заробітна плата основна і додаткова виробничих робітників з відрахуваннями на соціальне страхування:

$$Z_{o.d.c.} = L_{zod.i} \cdot \frac{t_{um.i}}{60} \cdot (1 + K_{np} + K_o + K_o' + K_{шк}) \cdot (1 + \frac{K_c}{100}), \quad (5.6)$$

де  $L_{год.i}$  – годинна тарифна ставка, грн. (див. табл. 3);

$t_{шт.i}$  – штучний час на операцію, хв;

$K_{пр}$  – коефіцієнт, що враховує премії відрядникам за виконання плану і якість робіт,  $K_{пр} = 0,3...0,32$ ;

$K_{\delta}$  – коефіцієнт, що враховує доплати за фактично відроблений час,  $K_{\delta} = 0,075...0,08$ ;

$K'_{\delta}$  – коефіцієнт, що враховує доплати за не відроблений час,  $K'_{\delta} = 0,08...0,1$ ;

$K_c$  – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування  $K_c = 22\%$ ;

$K_{шк}$  – коефіцієнт, що враховує шкідливість робіт (при плазмовому різанні),  $K_{шк} = 0,08$ .

Таблиця 3

Годинна тарифна ставка

Розряд	II	III	IV
Ставка	30,89	34,00	38,64

### 5.2.1.3. Витрати на силову електроенергію

$$B_{ел} = \frac{N_{уст} \cdot K_{од} \cdot K_N \cdot K_{\delta в} \cdot K_{\omega} \cdot t_{шт.i}}{\eta_M \cdot 60} \cdot C_{ел} \quad (5.7)$$

де  $N_{уст}$  – встановлена потужність електродвигуна, кВт;

$K_{од}$  – коефіцієнт одночасної роботи двигунів устаткування,  $K_{од} = 0,6...1,3$ ;

$K_N$  – середній коефіцієнт завантаження двигуна за потужністю, приймається для М та ВС – 0,8; ДС та О – 0,5;

$K_{\delta в}$  – середній коефіцієнт завантаження двигуна за часом, приймається для М та ВС – 0,8; ДС та О – 0,6;

$K_{\omega}$  – коефіцієнт, що враховує витрати електроенергії в мережі, приймається для М та ВС – 1,04; ДС та О – 1,08;

$\eta_m$  – ККД електродвигунів;

$C_{ел}$  – ціна 1 кВт·год електроенергії, приймається 2,35 грн/кВт·год.

5.2.1.4. Витрати на ремонт устаткування, грн.:

$$B_{рем} = \frac{(W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e) \cdot t_{ум.і}}{T_{р.ц.} \cdot 60}, \quad (5.8)$$

де  $W_m, W_e, W_{ел}$  – витрати на всі види ремонту за ремонтний цикл;

$R_m, R_e, R_{ел}$  – умовна ремонтна складність відповідно механічної, електричної та електронної частини устаткування;

$T_{р.ц.}$  – тривалість міжремонтного циклу.

5.2.1.5. Витрати на амортизацію універсального устаткування:

$$B_{ам.об.} = \frac{C_{б.} \cdot H_{а.відр.}}{\Phi_{д.о.} \cdot \lambda_n \cdot 100} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.9)$$

де  $C_{б.}$  – балансова вартість обладнання, грн;

$H_{а.відр.}$  – норма амортизаційних відрахувань, приймається 15 %;

$\Phi_{д.о.}$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання ;

$\lambda_n$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання за часом .

5.2.1.6. Витрати на експлуатацію приміщень:

$$B_{ен} = \frac{S_{в.м.} \cdot K_f \cdot C_{кз}}{\Phi_{д.о.} \cdot \lambda_n} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.10)$$

де  $S_{в.м.}$  – виробнича площа в плані, що зайнята одиницею устаткування, м<sup>2</sup>,

$K_f$  – коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення), приймають за табл. 4

$C_{кз}$  – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м<sup>2</sup> виробничої площі, грн/м<sup>2</sup>·рік, величина  $C_{кз}$  складає для О та ДС – 1200; для ВС та М – 1500.

Коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу

$S_{в.пт}, м^2$	3,0	6,0	12,0	20	30	40 і більше
$K_f$	6,0	5,0	4,0	2,5	2,0	1,5

5.2.1.7. Витрати на стиснене повітря:

$$B_{с.пов} = Q_{с.пов} \cdot Ц_{с.пов} \cdot K_{те} \cdot \frac{t_{шт.і}}{60}, \quad (5.11)$$

де  $Q_{с.пов}$  – витрати стисненого повітря,  $м^3/год$ ;  $Ц_{с.пов}$  – ціна 1  $м^3$  стисненого повітря, прийнято 0,45  $грн/м^3$ ;  $K_{те}$  – коефіцієнт, що враховує тип виробництва, для ДС – 0,85; для М – 1,15.

5.2.1.8. Витрати на воду:

$$B_{вод} = Q_{вод} \cdot Ц_{вод} \cdot K_{те} \cdot \frac{t_{шт.і}}{60}, \quad (5.12)$$

де  $Q_{вод}$  – витрата води,  $м^3/год$ ;  $Ц_{вод}$  – ціна 1  $м^3$  води, прийнято 9,56  $грн/м^3$ .

5.2.1.9. Витрати на електроди вольфрамові:

$$B_{ел.вфр} = Q_{ел.вфр} \cdot Ц_{ел.вфр} \cdot \frac{t_{шт.і}}{60}, \quad (5.13)$$

де  $Q_{ел.вфр}$  – витрата вольфрамового електрода  $гр/м$ ;  $Ц_{ел.вфр}$  – ціна 1  $гр$  вольфрамового електрода,  $грн/гр$ .

5.2.1.10. Витрати на електроди графітові:

$$B_{ел.гр} = Q_{ел.гр} \cdot Ц_{ел.гр} \cdot h_{ел.гр} \cdot П, \quad (5.14)$$

де  $Q_{ел.гр}$  – витрата графітового електрода  $мм/хв$  (приймається 0,05);

$Ц_{ел.гр}$  – ціна 1  $гр$  графітового електрода,  $грн/гр$ ;

$h_{ел.гр}$  – питома вага графіту,  $гр/мм^3$ ;

$П$  – площа робочої поверхні електрода,  $мм^2$ .

## 5.2.1.11. Витрати на кисень

$$B_{O_2} = Q_{O_2} \cdot C_{O_2} \cdot \frac{t_{\text{ум.і}}}{60}, \quad (5.15)$$

де  $Q_{O_2}$  – витрата кисню (залежить від товщини металу) *кг/год* ;

$C_{O_2}$  – ціна кисню, *грн/кг*.

## 5.2.1.12. Витрати на гелій

$$B_{He} = Q_{He} \cdot C_{He} \cdot \frac{t_{\text{ум.і}}}{60}, \quad (5.16)$$

де  $Q_{He}$  – витрата гелію, *кг/год*;

$C_{He}$  – ціна гелію, *грн/гр*.

## 5.2.1.13. Витрати на азот

$$B_{N_2} = Q_{N_2} \cdot C_{N_2} \cdot \frac{t_{\text{ум.і}}}{60}, \quad (5.17)$$

де  $Q_{N_2}$  – витрата азоту, *кг/год*;

$C_{N_2}$  – ціна азоту, *грн/гр*.

## 5.2.1.14. Витрати на вуглекислоту

$$B_{CO_2} = Q_{CO_2} \cdot C_{CO_2} \cdot \frac{t_{\text{ум.і}}}{60}, \quad (5.18)$$

де  $Q_{CO_2}$  – витрата вуглекислоти, *кг/год*;

$C_{CO_2}$  – ціна азоту, *грн/гр*.

## 5.2.1.15. Витрати на робочу рідину

$$B_{p.\text{рід.}} = Q_{p.\text{рід.}} \cdot C_{p.\text{рід.}} \cdot \frac{t_{\text{ум.і}}}{60}, \quad (5.19)$$

де  $Q_{p.\text{рід.}}$  – витрата робочої рідини, *кг/рік*;

$C_{p.\text{рід.}}$  – ціна робочої рідини, *грн*.

## 5.2.2. Постійні витрати

### 5.2.2.1. Витрати на налагодження

$$Z_{нал} = A \cdot L_{год.налi} \cdot \frac{t_{н.з.i}}{60} \cdot (1 + K_{np} + K_{\delta} + K'_{\delta}) \cdot (1 + \frac{K_c}{100}), \quad (5.20)$$

де  $A$  – кількість партій, що відповідає кількості переналагоджень на рік;

$L_{год.налi}$  – годинна тарифна ставка налагодчика, *грн/год*;

$t_{н.з.i}$  – підготовчо-заключний час на даній операції, *хв*.

### 5.2.2.2. Витрати на штампи на річну програму

$$Z_{ш} = \frac{Ц_{ш} + p \cdot C_{ш}}{T_{сл}} \cdot (1 + b), \quad (5.21)$$

де  $Ц_{ш}$  – первинна вартість штампа, *грн*;

$C_{ш}$  – ціна однієї переточки, *грн*;

$p$  – кількість переточок;

$T_{сл}$  – строк служби, протягом якого штамп повинен бути списаний;

$b$  – кількість дублерів.

### 5.2.2.3. Витрати на амортизацію засобів механізації та автоматизації

$$B_{a.сн.} = \frac{C_{\delta} \cdot H_{a.p.}}{100}, \quad (5.22)$$

де  $C_{\delta}$  – балансова вартість пристрою, *грн*.  $Q_{p.pid.}$   $Ц_{p.pid.}$

Визначаємо технологічну собівартість за наведеними вище формулами (5.1-5.22) за базовим та запропонованим варіантами і результати розрахунку зводимо до табл. 7–12.

### 5.2.3. Розрахунок технологічної собівартості за базовим варіантом

Вихідні дані по трудомісткості операцій базового технологічного процесу та параметрах обладнання для розрахунку технологічної собівартості наведені в таблицях 5 і 6.

Таблиця 5

#### Базовий технологічний процес

№ п/п	Операція	Модель обладнання	Штуч- ний час, <i>xв</i> $t_{шт\ i}$	Підгот овчо- заключ ний час, <i>xв</i> $t_{n\ s}$	Розряд робіт- ника	Тарифна ставка
1	Штампування	Д2434Б	0,1625	30	IV	38,64

Таблиця 6

#### Параметри обладнання

Модель	Габарити, <i>м</i>		Площа в плані, $m^2$	Коеф. додаткової площі	Потужність двигуна, <i>кВт</i>	ККД двигуна, %	Вартість <i>Цб</i> , грн
	<i>L</i>	<i>B</i>					
Д2434Б	1,30	1,31	1,6965	6	5,00	0,60	98000

Продовження табл. 6

Умовна ремонтна складність, УРЕ			Витрати на 1 УРЕ, грн			Тривалість ремонтного циклу <i>Tr.ц</i> , годин	Амортизац відрахув <i>На.р</i> , %
<i>Rm</i>	<i>Re</i>	<i>Rel</i>	<i>Wm</i>	<i>We</i>	<i>Wel</i>		
14,00	4,50	0	450,00	80,00	0,00	53500,00	0,12

Розрахунок змінних витрат на операції здійснюється за формулами (5.2)...(5.14) і представлений в таблиці 7.

Таблиця 7

## Розрахунок перемінних витрат

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
5.1.	$a_p$	Норма витрати металу	кг	0
$M_o$	$a_ч$	Чиста маса	кг	0
0	$Ц_m$	Ціна 1 кг матеріалу	грн	14,5
	$Ц_{відх}$	Ціна 1 кг відходів	грн	3,4
	$K_{тр}$	Коеф транспортно-заготів. витрат	1,05... 1,08	0,7
5.2.	$t_{шт}$	Штучний час	хв	0,1625
Зо.д.с.	$L_{год}$	Годинна тарифна ставка	грн	38,64
0,18767931	$K_{пр}$	Коеф премій за виконання плану	0,3...0,32	0,3
	$K_{д}$	Коеф. доплат за фактично відроблений час	0,075..0,08	0,08
	$K_{д1}$	Коеф. премій за вик плану	0,08... 0,1	0,09
	$K_c$	Відрахування на соцстрах	0,5	0,22
5.3.	$N_{уст}$	Встановлена потужність двигуна	кВт	5
Вел	$ККД$	ККД двигуна	-	0,6
0,025662	$Ц_{ел}$	Ціна 1 кВт.год електроенергії	грн	2,35
	$K_{од}$	Коеф одночасної роботи двигунів	0,6... 1,3	0,7
	$K_N$	Коеф завантаження за потужністю	ВС-0,8;ДС-0,5	0,8
	$K_{дв}$	Коеф завантаження за часом	ВС-0,8;ДС-0,6	0,8
	$K_w$	Коеф втрат ел енергії в мережі	ВС-1,04;ДС-1,08	1,08

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
5.4.	<i>Wм</i>	<i>Витрати на ремонт механічної частини</i>	<i>грн/УРЕ</i>	450
Врем	<i>We</i>	<i>Витрати на ремонт електричної частини</i>	<i>грн/УРЕ</i>	80
0,00033715	<i>Wел</i>	<i>Витрати на ремонт електронної частини</i>	<i>грн/УРЕ</i>	0
	<i>Rм</i>	<i>Умовна ремонт. складність механічної частини</i>	<i>УРЕ</i>	14
	<i>Re</i>	<i>Умовна ремонтна складність електр. частини</i>	<i>УРЕ</i>	4,5
	<i>Rel</i>	<i>Умовна ремонтна складність електрон. частини</i>	<i>УРЕ</i>	0
	<i>Тр.ц.</i>	<i>Тривалість міжремонтного циклу</i>	<i>год</i>	53500
5.5.	<i>Сб</i>	<i>Балансова вартість обладнання</i>	<i>грн</i>	98000
Вам.обл	<i>На.р.</i>	<i>Норма амортизаційних відрахувань</i>	<i>%/100%</i>	0,12
0,008506944	<i>Фд.о.</i>	<i>Дійсний річний фонд часу роботи обладнання</i>	<i>год</i>	4680
	<i>лн</i>	<i>Коефіцієнт завантаження обладнання за часом</i>	–	0,8
5.6.	<i>Св.пл</i>	<i>Виробнича площа в плані</i>	<i>м2</i>	1,6965
Ве.прим	<i>Kf</i>	<i>Коефіцієнт додаткової виробничої площі</i>	–	6
0,002091172	<i>Спл</i>	<i>Річні витрати, пов'язані з використанням 1м2 площі</i>	<i>грн</i>	284
5.7.	<i>Qс.пов</i>	<i>Витрати стисненого повітря</i>	<i>м3/год</i>	0,4
Вс.пов	<i>Цс.пов</i>	<i>Вартість стисненого повітря</i>	<i>грн/м3</i>	0,3

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
0,00037375	<i>Kт.в</i>	<i>Коефіцієнт, що враховує тип виробництва</i>		1,15
<b>5.8.</b>	<i>Qвод</i>	<i>Витрати води технічної</i>	<i>м3/год</i>	0
Ввод	<i>Цвод</i>	<i>Вартість води</i>	<i>грн/м3</i>	6,75
0	<i>Kт.в</i>	<i>Коефіцієнт, що враховує тип виробництва</i>	<i>г/мм^3</i>	1,15

Розрахунок постійних витрат здійснюється згідно формул (5.20)...(5.22) і представлений в таблиці 8.

Таблиця 8

## Розрахунок постійних витрат на пробивання отвору

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
<b>2.1.</b>	<i>t<sub>п.з.</sub></i>	<i>Підготовчо-заклучний час</i>	<i>хв</i>	30
<i>З<sub>нал</sub></i>	<i>L<sub>год.нал</sub></i>	<i>Годинна тарифна ставка наладчика</i>	<i>грн/год</i>	38,64
415,782	<i>A</i>	<i>Кількість партій (що відповідає кількості переналагоджень) на рік</i>	-	12
<b>2.2.</b>	<i>Ц<sub>шт</sub></i>	<i>Первинна вартість штамп</i>	<i>грн</i>	1500
<i>З<sub>ш</sub></i>	<i>C<sub>ш</sub></i>	<i>Вартість ремонту</i>	<i>грн</i>	400
2750	<i>p</i>	<i>Кількість переточок</i>	<i>раз</i>	10
	<i>b</i>	<i>Кількість дублерів</i>	<i>шт</i>	0
	<i>T<sub>сл</sub></i>	<i>Строк експлуатації до повного зносу</i>	<i>років</i>	2

Розрахунок транспортних витрат на перевезення заготовок до механоскладального цеху із застосуванням електрокар приведений в таблиці 9.

Таблиця 9

## Розрахунок транспортних витрат

Параметр	Розмірність	Значення
<i>Маса деталі</i>	<i>кг</i>	0,9
<i>Програма випуску</i>	<i>шт</i>	50000
<i>Вантажопід'ємність електрокари</i>	<i>кг</i>	350
<i>Тривалість 1 перевезення</i>	<i>годин</i>	2
<i>Вартість 1 години експлуатації електрокари</i>	<i>грн/год</i>	16,23
<i>Кількість перевезень</i>	<i>разів</i>	129
<i>Тривалість роботи електрокари</i>	<i>годин</i>	258
<i>Вартість експлуатації електрокари на програму</i>	<i>грн</i>	4187,34

**5.3. Запропонований варіант**

Вихідні дані по трудомісткості та параметрах обладнання для розрахунку технологічної собівартості наведені в таблицях 13 і 14.

Таблиця 5

## Запропонований технологічний процес

№ п/п	Операція	Модель обладнання	Штучний час, хв $t_{шт i}$	Підготовчо-заклучний час, хв $t_{n s}$	Розряд робітника	Тарифна ставка
1	Штампування	Д2434Б	0,1625	30	IV	38,64

Таблиця 6

## Параметри обладнання

Модель	Габарити, м		Площа в плані, м <sup>2</sup>	Коеф. додадкової площі	Потужність двигуна, кВт	ККД двигуна, %	Вар- тість Цб, грн
	L	B					
Д2430Б	1,18	1,14	1,3452	6	3,00	0,60	66000, 00
Витрати НДДКР			0				33732, 00

## Продовження табл. 6

Умовна ремонтна складність, УРЕ			Витрати на 1 УРЕ, грн			Тривалість ремонтного циклу $T_{p.ц}$ , годин	Амортизац відрахув $N_{a.p}$ , %
$R_m$	$R_e$	$R_{el}$	$W_m$	$W_e$	$W_{el}$		
14,00	4,50	0	450,00	80,00	0,00	53500,00	0,12
							0,12

Розрахунок змінних витрат на операції здійснюється за формулами (5.2)...(5.14) і представлений в таблиці 7.

Таблиця 7

## Розрахунок перемінних витрат на пробивання отвору

№ статті витрат	Поз- начка	Найменування	Розмір- ність	Зна- чення
5.1.	$a_p$	Норма витрати металу	кг	0
$M_o$	$a_c$	Чиста маса	кг	0
0	$C_m$	Ціна 1 кг матеріалу	грн	14,5
	$C_{відх}$	Ціна 1 кг відходів	грн	3,4
	$K_{тр}$	Коеф транспортно-заготів. витрат	1,05... 1,08	0,7

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
<b>5.2.</b>	$t_{ум}$	Штучний час	хв	0,1625
$Z_{o.d.c.}$	$L_{год}$	Годинна тарифна ставка	грн	38,64
0,18767931	$K_{пр}$	Коеф премій за виконання плану	0,3...0,32	0,3
	$K_{д}$	Коеф. доплат за фактично відроблений час	0,075..0,08	0,08
	$K_{д1}$	Коеф. премій за вик плану	0,08... 0,1	0,09
	$K_c$	Відрахування на соцстрах	0,22	0,22
<b>5.3.</b>	$N_{уст}$	Встановлена потужність двигуна	кВт	20
$B_{ел}$	ККД	ККД двигуна	-	0,8
0,0153972	$C_{ел}$	Ціна 1 кВт.год електроенергії	грн	2,35
	$K_{од}$	Коеф одночасної роботи двигунів	0,6... 1,3	0,7
	$K_N$	Коеф завантаження за потужністю	BC-0,8;ДС-0,5	0,5
	$K_{дв}$	Коеф завантаження за часом	BC-0,8;ДС-0,6	0,6
	$K_w$	Коеф втрат ел енергії в мережі	BC-1,04;ДС-1,08	1,08
<b>5.4.</b>	$W_m$	Витрати на ремонт механічної частини	грн/УРЕ	450,00
$B_{рем}$	$W_e$	Витрати на ремонт електричної частини	грн/УРЕ	0,00
0,000318925	$W_{ел}$	Витрати на ремонт електронної частини	грн/УРЕ	0,00
	$R_m$	Умовна ремонт. складність механічної частини	УРЕ	14,00

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
	$R_e$	Умовна ремонтна складність електр. частини	УРЕ	4,50
	$R_{ел}$	Умовна ремонтна складність електрон. частини	УРЕ	0,00
	$T_{р.ц.}$	Тривалість міжремонтного циклу	год	53500,00
<b>5.5.</b>	$C_б$	Балансова вартість обладнання	грн	99732,00
$V_{ам.обл}$	$H_{а.р.}$	Норма амортизаційних відрахувань	%/100%	0,12
0,008657292	$\Phi_{д.о.}$	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	год	4680
	$\lambda_n$	Коефіцієнт завантаження обладнання за часом	–	0,8
<b>5.6.</b>	$S_{е.пл}$	Виробнича площа в плані	м <sup>2</sup>	1,3452
$V_{е.прим}$	$K_f$	Коефіцієнт додаткової виробничої площі	–	6
0,001658146	$C_{пл}$	Річні витрати, пов'язані з використанням 1м <sup>2</sup> площі	грн	284
<b>5.7.</b>	$Q_{с.пов}$ $v$	Витрати стисненого повітря	м3/год	0,4
Вс.пов	$\text{Цс.пов}$ $v$	Вартість стисненого повітря	грн/м3	0,3
0,000373 75	$K_{т.в}$	Коефіцієнт, що враховує тип виробництва		1,15
<b>5.8.</b>	$Q_{вод}$	Витрати води технічної	м3/год	0
Ввод	$\text{Цвод}$	Вартість води	грн/м3	6,75
0	$K_{т.в}$	Коефіцієнт, що враховує тип виробництва	г/мм <sup>3</sup>	1,15

Розрахунок постійних витрат здійснюється згідно формул (5.20)...(5.22) і представлений в таблиці 8.

Таблиця 8

## Розрахунок постійних витрат

№ п/п статті	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
<b>2.1.</b>	<i>тн.з.</i>	<i>Підготовчо-заключний час</i>	<i>хв</i>	<i>30</i>
<i>Знал</i>	<i>Лгод.нал</i>	<i>Годинна тарифна ставка наладчика</i>	<i>грн/год</i>	<i>38,64</i>
415,782	<i>A</i>	<i>Кількість партій (що відповідає кількості переналагоджень)</i>	<i>-</i>	<i>12</i>
<b>2.2.</b>	<i>Цшт</i>	<i>Первинна вартість штамп</i>	<i>грн</i>	<i>2000</i>
<i>Зш</i>	<i>Сш</i>	<i>Вартість ремонту</i>	<i>грн</i>	<i>420</i>
	<i>p</i>	<i>Кількість переточок</i>		<i>9</i>
		<i>Кількість дублерів</i>		<i>0</i>
2890	<i>b</i>	<i>Строк експлуатації до повного зносу</i>	<i>років</i>	<i>2</i>
	<i>Тсл</i>			

Для розмежування області ефективного використання варіантів технологічного процесу, розраховуємо критичну програму, при якій варіанти рівноцінні, тобто  $C_{m1} = C_{m2}$ .

Критична програма випуску визначається за формулою, шт

$$N_{кр} = \frac{p_1 - p_2}{v_2 - v_1}, \quad (5.23)$$

де  $p_1$  і  $p_2$  – відповідно, постійні витрати по базовому варіанту ( $p_1 = 3165,7819$  грн) та по запропонованому ( $p_2 = 3305,7819$  грн);

$v_1$  і  $v_2$  – відповідно, перемінні витрати по базовому варіанту ( $v_1 = 0,2247$  грн) та по запропонованому ( $v_2 = 0,2141$  грн).

## Розрахунок технологічної собівартості

<i>№ п/п</i>	<i>Витрати</i>	<i>Розмір витрат, грн</i>
1	<b><i>Змінні</i></b>	0,21408
1.1.	<i>Основні матеріали</i>	0
1.2.	<i>Заробітна плата</i>	0,18768
1.3.	<i>Електроенергія</i>	0,0154
1.4.	<i>Ремонт</i>	0,00032
1.5.	<i>Амортизація</i>	0,00866
1.6.	<i>Експлуатація приміщень</i>	0,00166
1.7.	<i>Стиснене повітря</i>	0,00037
1.8.		
2	<b><i>Постійні</i></b>	3305,782
2.1.	<i>Налагодження</i>	415,782
2.2	<i>Експлуатація штампів</i>	2890,000

При програмі випуску деталей, яка перевищує  $N_{кр}$ , в тому числі, для заданої програми (50000 шт/рік), більш ефективним є запропонований варіант.

Розрахунки таблиць зведені в порівняльну калькуляцію витрат (табл. 5.10).

Економічний ефект від впровадження при програмі випуску 50000 шт:

$$E = (C_{баз} - C_{проект}) N,$$

$$E = (0,287966 - 0,2802)50000 = 388 \text{ грн.}$$

Строк окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{E},$$

$$T_{ок} = (99732 - 98000)/388 = 4,46 \text{ роки.}$$

## Порівняльна калькуляція витрат

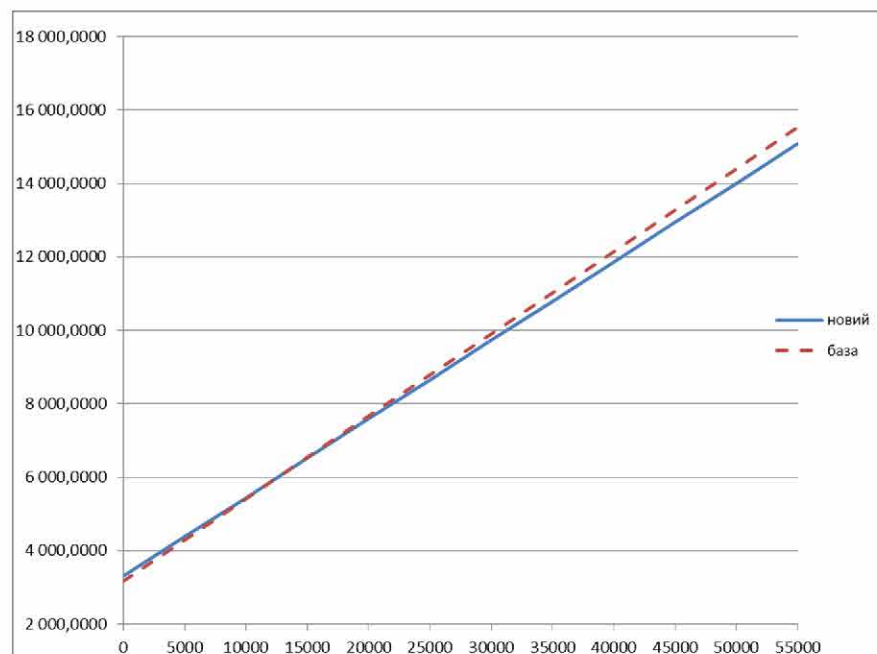
№ п/п	Витрати	Розмір витрат, грн	
		базовий	запропонований
1	<b>Змінні</b>	0,2247	0,2141
1.1.	<i>Основні матеріали</i>	0	0,0000
1.2.	<i>Заробітна плата</i>	11,5495	0,1877
1.3.	<i>Електроенергія</i>	2,3429	0,0257
1.4.	<i>Ремонт</i>	0,1077	0,0003
1.5.	<i>Амортизація</i>	3,2840	0,0085
1.6.	<i>Експлуатація приміщень</i>	2,3403	0,0021
1.7.	<i>Робоча рідина</i>	3,0667	0,0004
2	<b>Постійні (на програму)</b>	3165,7819	3305,7819
	<b>(на одиницю продукції)</b>	0,063315638	0,066115638
2.1.	<i>Налагодження</i>	415,7819	415,7819
2.2.	<i>Вартість пристосувань</i>	2750,0000	2890,0000

Розширені результати розрахунків економічного ефекту та терміну окупності при програмі випуску від 50000 до 100000 шт. виробів зводимо до таблиці 11.

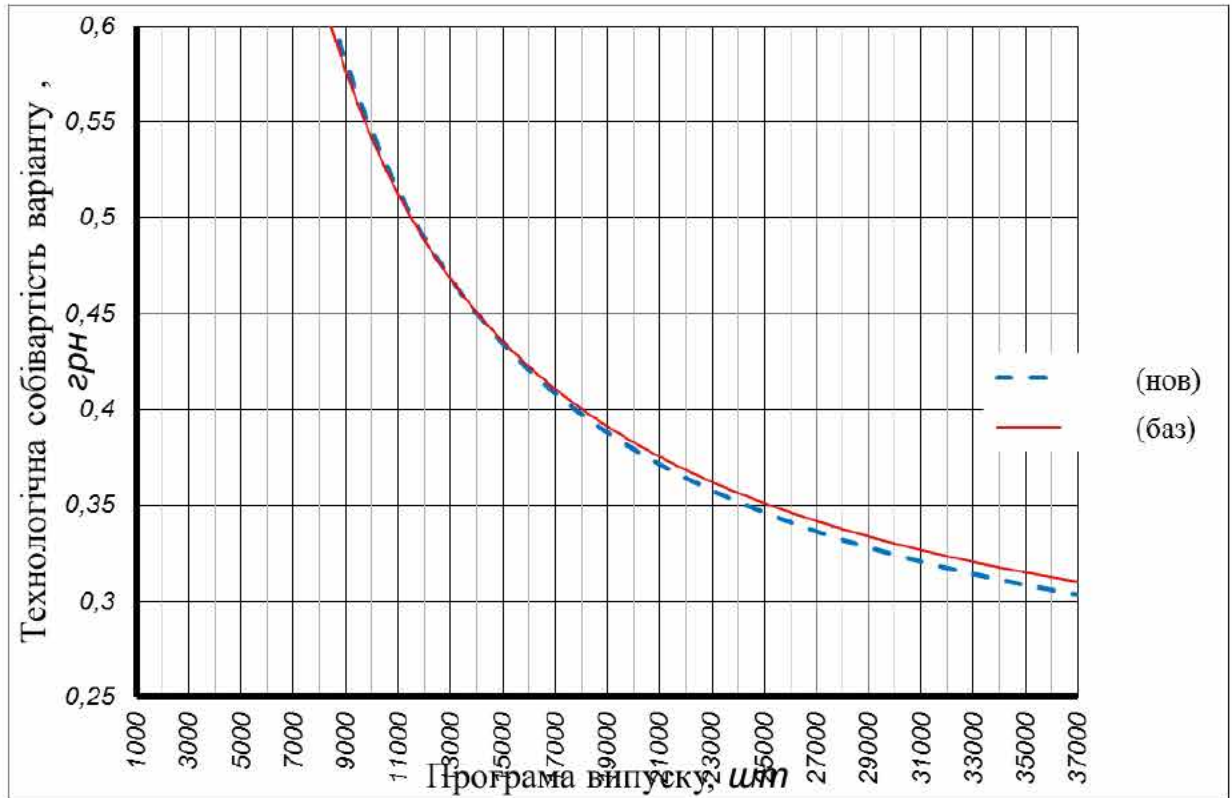
Таблиця 11

## Результати розрахунку економічного ефекту та строку окупності

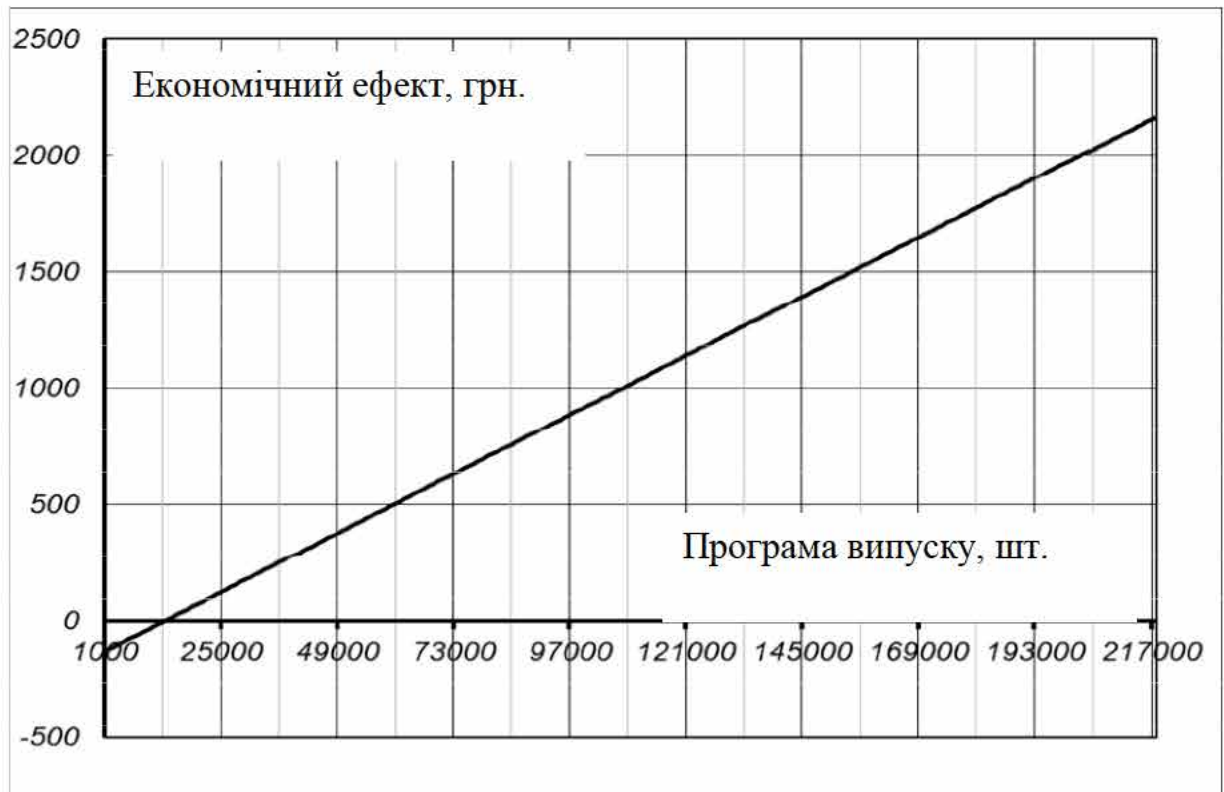
Програма випуску, шт.	Технологічна собівартість		Економічний ефект, грн.	Строк окупності, років
	Базовий варіант	Запропонований варіант		
50000	0,287965963	0,2802	388,2852	4,460639
55000	0,282209996	0,27419	441,1137	3,926426
60000	0,277413357	0,269181	493,9422	3,506483
65000	0,273354662	0,264943	546,7707	3,16769
70000	0,269875781	0,26131	599,5992	2,888596
75000	0,266860751	0,258162	652,4277	2,6547
80000	0,264222599	0,255407	705,2562	2,455845
85000	0,261894818	0,252976	758,0848	2,284705
90000	0,25982568	0,250816	810,9133	2,135863
95000	0,257974345	0,248882	863,7418	2,005229
100000	0,256308144	0,247142	916,5703	1,889653



Розмежування область ефективного використання варіантів технологічного процесу



Графіки технологічної собівартості варіантів в залежності від програми випуску



Графік економічного ефекту в залежності від програми випуску

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Шляхом проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу встановлені можливості для проектування і реалізації технологічного процесу пресування труб змінного перерізу.
2. Обґрунтовано завдання проведення дослідження процесу пресування труб змінного перерізу. Проведено перевірку коректності та достовірності методики розрахунку профілювання інструменту для пресування труб із зменшенням товщини стінки на задній ділянці.
3. Уточнено особливості перебігу даного процесу, що дозволило здійснювати відповідні розрахунки з мінімальним значенням відносної похибки.
4. Розроблено математичну модель визначення зусилля пресування при використанні специфічного профілювання пресового інструменту, що дозволяє прогнозувати можливість виготовлення труб заданого сортаменту та визначати раціональну форму пресового інструменту.
5. Наведено результати чисельного дослідження процесу пресування з використанням отриманої моделі.