

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:
«Моделювання процесу екструзії труб конічно-ступінчастими голками»
«Simulation of the process of pipe extrusion with conical-stage needles»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ПМ-23М-2
спеціальності 131
«Прикладна механіка»
_____ Гончаренко А. С.

Керівник проекту
канд. техн. наук, доцент
_____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

Рецензент
канд. техн. наук, ст. викладач
_____ Любов ОЛІЙНИЧЕНКО

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 Гончаренку Артуру Сергійовичу

1. Тема роботи: «Моделювання процесу екструзії труб конічно-ступінчастими голками»

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 різних деформаційних умов, що регламентують технологічні можливості пресування труб з конічно-ступінчастими голками.

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
_____ А. С. Гончаренко

АНОТАЦІЯ

Гончаренко А. С. «Моделювання процесу екструзії труб конічно-ступінчастими голками», 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 різних деформаційних умов, що регламентують технологічні можливості пресування труб з конічно-ступінчастими голками.

Шляхом комп'ютерного проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу встановлені можливості для проектування і реалізації технологічного процесу пресування труб з конічно-ступінчастими голками. Виявлений вплив різних форм утворюючих пресового інструменту на характер формування енергосилових параметрів процесу деформації. Комп'ютерним моделюванням процесу пресування труб з конічно-ступінчастими голками встановлено розподіл інтенсивностей напружень по стадіям пресування та картину течії металу за викривленнями координатної сітки. Аналізом напруженого стану і режимів пресування заготовки дано рекомендації щодо технологічного процесу пресування труб з конічно-ступінчастими голками і підвищення якості виробів, а також досягнення більшої стійкості робочих пресових інструментів.

комп'ютерне моделювання, пресування, труба, інструмент, матриця, профіль, зусилля, ефективність

ANNOTATION

Artur Honcharenko. "Modeling the process of pipe extrusion with conical-stepped needles", 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 various deformation conditions, which regulate the technological possibilities of pressing pipes with conical-stepped needles, on the basis of theoretical and experimental studies.

By means of computer design of the dynamics of the deformation center and the stress-strain state of the metal, the possibilities for the design and implementation of the technological process of pressing pipes with conical-stepped needles have been established. The influence of different forms of the forming press tool on the nature of the formation of energy parameters of the deformation process is revealed. Computer modeling of the process of pressing pipes with conical-stepped needles established the distribution of stress intensities by stages of pressing and the pattern of metal flow according to the curvatures of the coordinate grid. The analysis of the stress state and modes of pressing the workpiece provides recommendations on the technological process of pressing pipes with conical-stepped needles and improving the quality of products, as well as achieving greater stability of working press tools.

computer 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 . .	26
1.4. Сили тертя при пресуванні	29
РОЗДІЛ 2.	
МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	40
2.1. Експериментальне обладнання, оснащення та апаратура ...	40
2.2. Методи визначення зусилля пресування	43
2.2.1. Метод ліній ковзання	43
2.2.2. Метод кінцевих елементів (МКЕ)	43
РОЗДІЛ 3.	
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОГО	
ПРЕСУВАННЯ ТРУБ З КОНІЧНО-СТУПІНЧАСТИМИ ГОЛКАМИ .	46
3.1. Інструмент для пресування профілів: різновиди, умови	
експлуатації, матеріали	46
3.2. Дослідження впливу геометрії вогнища деформації на силкові	
параметри процесу пресування труб	49
3.3. Моделювання процесу пресування труб в Deform 3D	50
РОЗДІЛ 4.	
ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1. Правила безпеки при обслуговуванні ковальсько-штампувального	
обладнання	57
4.2. Правила пожежної безпеки в цехах штампувального	
виробництва	60

РОЗДІЛ 5.

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	64
5.1. Опис головної ідеї стартап-проекту	65
5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.	66
5.3. 5.3. Технологічний аудит проекту	67
5.4. Аналіз ринкових можливостей запуск стартап-проекту	67
5.5. Розроблення ринкової стратегії	75
5.6. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту ...	77
Висновки по розділу 5	80
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82
ДОДАТКИ	84

ВСТУП

Актуальність теми

На початку та в середині ХХ століття технологія пресування здобула важливу роль у металообробці. З розвитком енергетики та електротехнічної промисловості, а також зростанням автомобільної, авіаційної та суднобудівної галузей з'явилося багато нових варіантів пресувальних процесів, що супроводжувалося значним збільшенням кількості сплавів, які підлягають пресуванню.

Сьогодні виділяються такі основні напрями розвитку технології пресування: освоєння нових сплавів, розв'язання проблем стійкості інструментів, дослідження впливу змащувальних матеріалів на силові параметри процесу.

Виготовлення труб, втулок, профілів складної форми та перерізів пресуванням часто є економічнішим, ніж їх штампування з подальшою механічною обробкою. Це зумовлено тим, що пресування дозволяє отримувати вироби з точними розмірами і малими допусками, що значно зменшує необхідність у подальшій холодній обробці. Окрім того, висока пластичність металів під час пресування завдяки рівномірному стисненню робить цей процес основним для виготовлення виробів з кольорових металів і сплавів – труб, прутків і профілів, які мають великий асортимент і малу серійність.

До 60-х років ХХ століття була створена потужна промисловість, що займалася пресовим виробництвом профілів різного технологічного призначення. Розширення асортименту виробів, які виготовляються пресуванням, призвело до появи нових варіантів пресування та збільшення різноманіття 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 основі теоретичних і експериментальних досліджень встановити вплив різних деформаційних умов, що регламентують технологічні можливості пресування труб з конічно-ступінчастими голками.

Задачі дослідження

Вивчення впливу геометричних параметрів пресового інструменту на силові умови процесу пресування труб з конічно-ступінчастими голками. 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 з конічно-ступінчастими голками.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є формотворний інструмент для отримання труб методом пресування з конічно-ступінчастими голками.

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 з конічно-ступінчастими голками.

Отримано розподіл нормальних та дотичних напруг на контактних поверхнях деформуючого інструменту, що визначає надійність та стійкість перебігу процесу пресування труб з конічно-ступінчастою голкою.

Практичне значення отриманих результатів

1. Шляхом комп'ютерного проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу встановлені можливості для проектування і реалізації технологічного процесу пресування труб з конічно-ступінчастою голкою.
2. Встановлено характер зміни зовнішніх сил, що діють на прес-шайбу, контейнер, матрицю та конічно-ступінчасту голку на початковій, основній та заключній стадіях процесу пресування труб із алюмінієвих сплавів із конічно-ступінчастою голкою.
3. Отримано розподіл нормальних та дотичних напруг на контактних поверхнях деформуючого інструменту, що визначає надійність та стійкість перебігу процесу пресування труб з конічно-ступінчастою голкою.

4. Визначено оптимальні параметри геометрії конічно-ступінчастої голки, які забезпечують зниження енергоємності процесу та покращення рівномірності закінчення металу при пресуванні труб з алюмінієвих сплавів.
5. Комп'ютерним моделюванням процесу пресування труб встановлено розподіл інтенсивностей напружень по стадіям пресування та картину течії металу за викривленнями координатної сітки.
6. Аналізом напруженого стану і режимів пресування заготовки намічені шляхи інтенсифікації технологічного процесу пресування труб і підвищення якості виробів, а також досягнення більшої стійкості робочих пресових інструментів.

Особистий внесок здобувача

Обґрунтування вибраного напрямку дослідження, постановка мети і задач дослідження, обґрунтування формотворного інструменту для отримання труб методом пресування з конічно-ступінчастими голками, комп'ютерне проектування варіантів прямого пресування труб з конічно-ступінчастими голками та його аналіз. 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 активно застосовується метод гарячого пресування порожнистих злитків на голці, що дозволяє виробляти різноманітні труби, зокрема з важкопластичних сплавів, які не піддаються обробці іншими методами. Ефективність цього процесу значною мірою залежить від умов контактного тертя між металом, інструментом і контейнером, що впливає на необхідне зусилля пресування та якість отриманих виробів.

У зв'язку з цим останнім часом активно розробляються методи оптимізації пресування труб для зменшення впливу тертя, що досягається завдяки покращенню властивостей технологічних мастил, необхідних для нормального перебігу процесу. Особливу увагу приділяють взаємодії металу, що пресується, з голкою, оскільки тертя на голці значно впливає на якість внутрішньої поверхні труби, дефекти якої неможливо усунути традиційними методами обробки. Іноді саме тертя на голці визначає можливість отримання продукції методом пресування. Також використовуються методи пресування з застосуванням мастила для контейнера та матриці.

Розвиток технологій пресування труб на даний момент обмежений відсутністю ефективних та екологічно безпечних мастил. Тому важливим завданням є розробка нових технологічних мастил, підвищення їх ефективності та створення методів для дослідження їх властивостей.

Пресування (видавлювання) є одним із найбільш поширених методів виготовлення профілів, панелей та труб з металів і сплавів з наступних причин:

дрібносерійне виробництво, що потребує частих змін інструментів, що зручно реалізується під час пресування;

необхідність підвищення точності розмірів пресованих виробів;

низька в'язкість багатьох сплавів при високих температурах, що вимагає застосування процесу, у якому напружений стан деформаційної зони знижує ризик виникнення великих розтягуючих напруг;

виготовлення складних форм поперечних перерізів.

Ці фактори часто роблять пресування єдиною можливим методом деформації для отримання виробів заданої форми. Пресування — це процес, при якому заготовка видавлюється з замкнутого об'єму через канал (отвір) матриці. Перед початком пресування заготовку (литу або попередньо деформовану) поміщають у порожнину приймача преса (контейнера). Одна зі сторін цієї порожнини закрита матрицею з каналом, форма якого відповідає перерізу майбутнього прес-виробу. З іншого боку, на заготовку діє тиск преса через прес-штемпель.

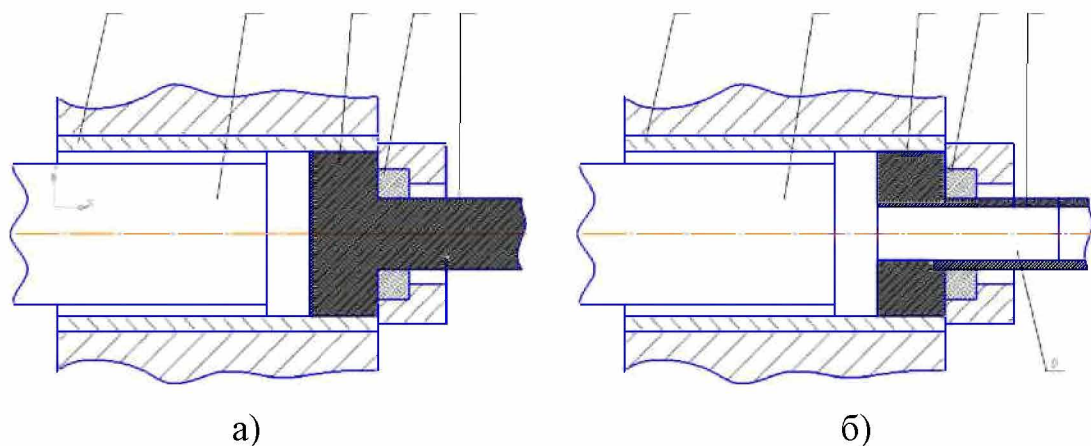
Однією з головних переваг пресування є можливість досягнення значних ступенів деформації за один прохід. При пресуванні створюється високий гідростатичний тиск, що значно підвищує пластичність металу. Пресування дозволяє обробляти матеріали, які не піддаються обробці іншими методами (вальцюванням, куванням, волочінням). Залежно від схеми прикладання зусилля, розрізняють два основні види пресування:

- пряме пресування металу (напрямок руху металу збігається з напрямком руху прес-шайби);

- зворотне пресування (метал тече проти руху матриці, яка виконує функцію прес-шайби).

При прямому пресуванні прес-шайба передає тиск на заготовку, що розташована в контейнері. В результаті цього метал заготовки видавлюється через отвір матриці, закріпленої в матрицетримачі, формуючи бажаний профіль. Однак, при прямому пресуванні через тертя металу об поверхню контейнера периферійні шари заготовки зазнають значно більших зсувних деформацій порівняно з центральними шарами. Така нерівномірність деформації призводить до різниці в структурі і властивостях по перерізу виробу, що особливо помітно при пресуванні великих прутків.

При зворотному пресуванні (рис. 2) силовий вплив на заготовку здійснюється через контейнер, який рухається у напрямку, вказаному стрілкою, завдяки укороченому прес-штемпелю, що замикає контейнер. З іншого боку контейнер замикається подовженим матрицетримачем, в якому закріплена матриця. При переміщенні контейнера разом з ним переміщається і заготовка, в результаті чого метал видавлюється в канал матриці, формуючи 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, через що нерівномірність структури і властивостей по перерізу виробу значно зменшується. Крім того, зворотне пресування потребує значно менших зусиль, що дозволяє використовувати нижчі температури нагріву і збільшити швидкість процесу.

Для виготовлення порожнистих виробів (труб, втулок, профілів) при прямому пресуванні до прес-шайби кріпиться сталеві голка (рис. 3). Під час руху прес-шайби метал заготовки витісняється в порожнину між матрицею і голкою, утворюючи трубу. При зворотному пресуванні роль елемента, що формує отвір, виконує пуансон. Для зменшення тертя на поверхню заготовки та прес-форми наносять мастила (графітову пасту, рідке скло тощо).

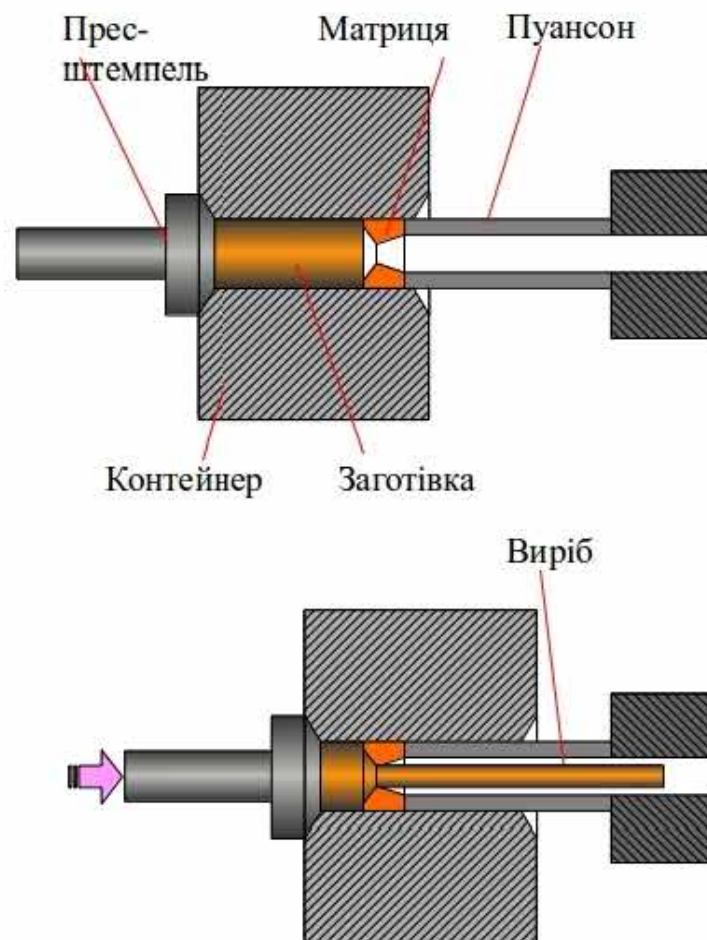


Рис 2. Схема зворотного пресування

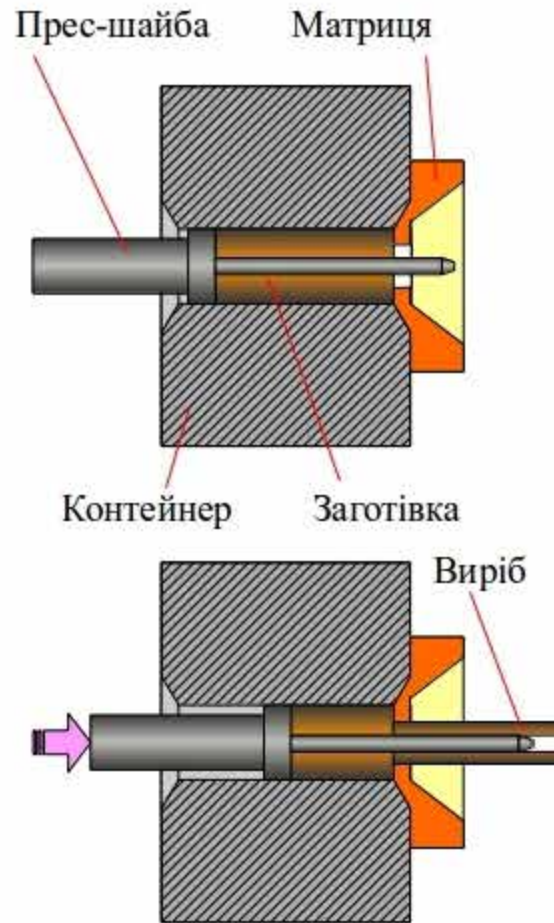


Рис 3. Схема прямого пресування порожнистого профілю

Високий коефіцієнт витяжки при пресуванні пояснюється сприятливою схемою напруженого стану металу, що дає можливість витримувати значні ступені деформації без руйнування. Для зменшення тертя використовують різні мастильні матеріали, такі як графіт, скло та інші.

Пресування, як правило, здійснюється в гарячому стані, що 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 прес-виробі заготівлю недопресовують, залишаючи частину матеріалу в контейнері (прес-залишок), яку відокремлюють після завершення пресування. Інші дефекти часто виникають через неправильні швидкісні та температурні режими процесу.

Окрім пресування, труби, прутки та профілі можуть бути виготовлені також методом прокатки. Однак цей метод має кілька недоліків:

- значно більші втрати металу через необхідність видалення прес-залишку через утяжки;
- велика нерівномірність механічних властивостей по довжині та поперечному перерізу виробу;
- менша продуктивність процесу через нижчі швидкості формування металу.

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

Особливістю цього методу є те, що він дає змогу обробляти матеріали з високою міцністю і значною природною жорсткістю, а також використовувати металеві порошки та неметалеві матеріали, такі як пластмаси. Пресування дозволяє створювати вироби зі складною формою, які неможливо отримати іншими методами пластичної обробки, такими як прокатка, штампування чи лиття з подальшою механічною обробкою.

Виготовлення виробів за допомогою пресування часто є більш економічним методом, ніж інші способи обробки, оскільки він дозволяє зменшити витрати на матеріал і знизити кількість етапів додаткової обробки, забезпечуючи високу точність розмірів і форму виробів. Тому пресування є важливим і ефективним процесом в сучасному виробництві металевих та неметалевих виробів для машинобудування, будівництва та інших галузей промисловості. Основними перевагами пресування металу є: можливість успішної пластичної обробки з високими витяжками, включаючи малопластичні метали та сплави; здатність отримувати практично будь-який

поперечний переріз виробу, що не завжди можливо при обробці металу іншими методами; виробництво широкого асортименту виробів на одному пресовому обладнанні з заміною тільки матриці; виготовлення виробів з високою якістю поверхні та точністю розмірів поперечного перерізу, що часто перевищує точність при інших методах пластичної обробки (наприклад, при прокатці).

Проте, процес пресування має деякі недоліки:

1. **Підвищена витрата металу на одиницю виробу** — утворення прес-залишку, який часто займає значну частину металу, що не використовується в готовому виробі, знижує ефективність використання матеріалу і збільшує витрати на виготовлення кожного виробу.
2. **Нерівномірність механічних та інших властивостей** — іноді спостерігається нерівномірний розподіл механічних властивостей по довжині та поперечному перерізу виробу, що може погіршити 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 підвищити загальну вартість процесу.

Основною характеристикою різних варіантів пресування є наявність або відсутність поступального переміщення металу відносно стінок контейнера (приймача). Наприклад, при методі прямого пресування метал переміщується вперед через матрицю, тоді як при зворотному пресуванні метал переміщується назад, що дозволяє знизити деформацію та зменшити втрати металу.

До інших варіантів пресування належать:

- **Бічне закінчення металу**, що забезпечує рівномірний розподіл механічних властивостей по всьому перерізу і зменшує різницю

властивостей у поперечному та поздовжньому напрямках. Це знижує ймовірність виникнення внутрішніх напруг і покращує якість виробів.

- **Нерівномірне всебічне стиснення металу**, що покращує пластичність металу, дозволяючи обробляти матеріали з низькою природною пластичністю, наприклад, сплави з високою міцністю. Проте такі процеси потребують значних зусиль і енергії для деформації, що збільшує витрати на енергозабезпечення.

Один із важливих аспектів пресування — **наявність мертвих зон**, які виникають у місцях переходу контейнера в матрицю. Ці зони зазнають лише пружної деформації і не беруть участі в основному процесі деформації, що може обмежити ефективність використання матеріалу і знизити загальну продуктивність процесу.

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

Плин металу в мертвих зонах відсутній, поки розмір прес-залишку не стане достатньо малим. Ці мертві зони під час пресування прутків великої довжини можуть відігравати певну позитивну роль, оскільки виконують фільтруючу функцію: у мертвих кутах затримуються забруднення, що допомагає запобігти вдавненню сторонніх включень у поверхневі шари виробу. Однак при неправильно вибраному розмірі прес-залишку забруднення з мертвих зон можуть потрапити в сам виріб і призвести до помітного зниження його якості. Цей аспект необхідно враховувати при розробці технологічного процесу пресування.

Практика показує, що за нормальних умов пресування мінімальна висота прес-залишку становить 0,10...0,30 діаметра вихідної заготовки. Силкові умови пресування визначаються такими факторами, як властивості деформованого металу, температурний режим, розміри заготовки, швидкість та ступінь деформації, значення контактного тертя, геометрія інструменту та

інші. На жаль, ще не розроблена методика, що дозволяє зв'язати всі ці фактори в математичну залежність для визначення зусиль пресування.

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 протікають при значній нерівномірності деформацій. Пресування через багатоканальну матрицю характеризується більшою нерівномірністю деформацій в порівнянні з пресуванням через одноканальну матрицю без принципових відмінностей у проходженні процесу. Основною умовою успішного застосування пресування є правильний вибір температурно-швидкісного режиму з урахуванням властивостей пресованих металів і сплавів. В якості основного інструменту при пресуванні застосовують матриці, матрицетримач, пуансони, голки, голкотримачі, пресшайбой, втулки (сорочки-приймачі) і інший інструмент, що працює у винятково важких механічних і температурних умовах. Внаслідок цього для виготовлення робочого інструменту застосовують спеціальні сталі. Матриці для пресування прутків мають один або кілька отворів. Останні застосовують для пресування виробів невеликого поперечного перерізу. При пресуванні труб для прошивки отвори в заготівлі застосовують голки, які встановлюють у голкотримач. Внутрішній діаметр труби визначається діаметром голки.

Процес пресування труби проходить в такій послідовності. На початку пресування заготовка распрессовивається 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 розшарувань. 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 графітовою 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:

1. **Перша група** включає процеси, при яких деформується весь об'єм заготівлі одночасно. До цієї групи належать, наприклад, штампування і кування всього виробу.
2. **Друга група** охоплює процеси, при яких деформації піддається лише частина об'єму заготівлі, і метал надходить у вогнище деформації періодично. Це, наприклад, кування та штампування з одного кінця заготовки.
3. **Третя група** включає процеси деформації частини об'єму заготівлі з безперервним надходженням металу у вогнище деформації. Сюди належать процеси видавлювання металу в щілини різного профілю, зокрема пресування та волочіння.

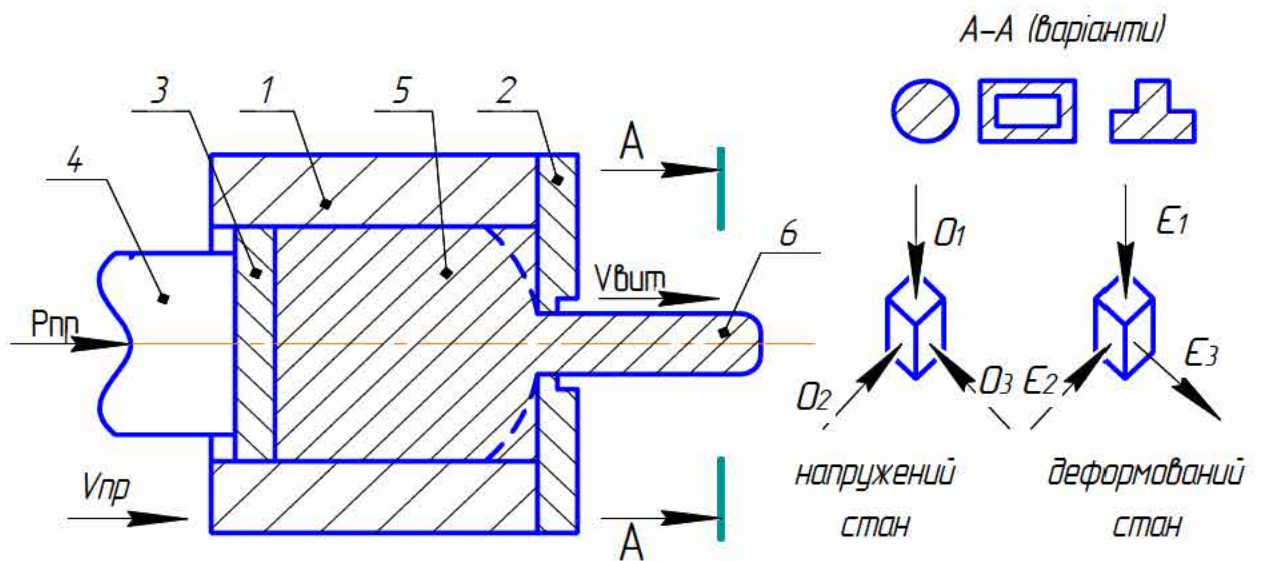
Виробництво профілів складної форми і перерізів за допомогою пресування часто є більш економічним методом, ніж штампування з подальшою механічною обробкою. Це пояснюється тим, що пресування дозволяє отримати вироби необхідних розмірів з малими допусками, що значно знижує потребу в подальшій холодній обробці заготовок.

Висока пластичність деформованих металів під час пресування завдяки всебічному стисненню дозволяє використовувати цей процес як основний метод виробництва виробів з кольорових металів і сплавів — труб, прутків і профілів, які мають великий асортимент і малу серію. Останнім часом, з появою потреби у великому асортименті профілів з малопластичних легованих сталей, а також титану та його сплавів, застосування пресування стало набагато ширшим.

У порівнянні з прокаткою труб, прутків і профілів, пресування має свої переваги та недоліки. До переваг можна віднести:

- Тривісне стиснення, що підвищує пластичність металу і дозволяє проводити деформацію з великими ступенями деформації.
- Швидкий перехід між виготовленням виробів різних розмірів та форм.
- Можливість отримання як суцільних, так і порожнистих профілів складної форми.

Метали пресують на горизонтальних гідравлічних пресах, а для пресування труб і гідроекструзії рідше використовують вертикальні гідравлічні преси. За принципом дії вони подібні до гідравлічних кувальних пресів. Схема процесу пресування наведена на рис. 4.



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

Рис. 4. 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.

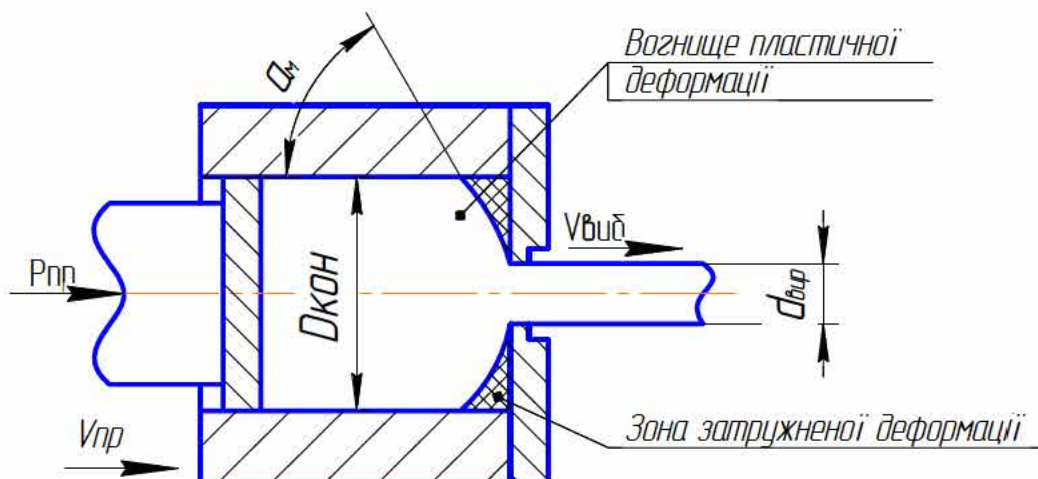


Рис. 5. Співвідношення розмірів вогнища деформації

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 λ , який визначається по формулі:

$$\lambda = \frac{F_{кон}}{f_{вир}}$$

Пресування металу є процесом, що дозволяє отримувати високий коефіцієнт витяжки, завдяки сприятливій схемі напруженого стану металу під час деформації. Це дозволяє металу витримувати значні степені деформації без руйнування, що робить цей метод ефективним для отримання виробів з великою витяжкою. Однак, як і будь-який технологічний процес, пресування має свої недоліки.

Недоліки пресування:

1. **Великі втрати металу:** Один з основних недоліків пресування полягає у значних витратах на відходи. Метал не може бути повністю видавлений з контейнера, внаслідок чого залишається так званий прес-залишок. Маса цього залишку може досягати до 40% від маси вихідної заготовки, що призводить до зниження ефективності використання матеріалу.
2. **Нерівномірність механічних властивостей:** Порівняно з іншими методами обробки металу, пресування може призвести до значної нерівномірності механічних властивостей виробу по довжині та поперечному перерізу. Це може впливати на якість готового виробу, зокрема його експлуатаційні характеристики.
3. **Низька продуктивність:** У порівнянні з іншими процесами, такими як прокатка, пресування має менші швидкості витікання металу, що знижує загальну продуктивність процесу. Це зумовлено більш тривалим часом, необхідним для здійснення деформації.
4. **Наявність дефектів:** В процесі пресування можуть виникати різні дефекти, такі як утяжини, тріщини та йоржі. Утяжини утворюються в результаті нерівномірного потоку металу, коли метал не може рівномірно заповнити простір, утворюючи "вирви" на поверхні виробу. Для уникнення утяжин часто застосовують недопресування заготовки, залишаючи прес-залишок, який після завершення процесу відокремлюється від готового виробу.

5. **Великі зусилля для зниження тертя:** Для досягнення великих витяжок необхідно застосовувати високий тиск, що зумовлено опором металу пластичній деформації і значною силою тертя на границі контакту металу з інструментом. Для зменшення сили тертя використовують мастильні матеріали, такі як графіт, скло та інші.

Переваги пресування:

1. **Висока пластичність металу:** Процес пресування, завдяки всебічному стисненню, дозволяє працювати з металами, які мають високу пластичність, і отримувати вироби з великою витяжкою.
2. **Можливість виготовлення складних форм:** Пресування дає можливість отримувати вироби складної форми, які складно чи неможливо виготовити іншими методами, такими як штампування або кування.
3. **Економія на обробці:** Висока точність розмірів та форми виробу дозволяє значно знизити потребу в подальшій механічній обробці після пресування.

У підсумку, хоча пресування має певні недоліки, такі як високі витрати на відходи, нерівномірність механічних властивостей та менша продуктивність, цей метод залишається важливим і ефективним для виробництва складних виробів з металів, особливо у випадку з кольоровими металами, титановими сплавами та іншими матеріалами з низькою пластичністю.

1.2. Стадії процесу прямого пресування труб

Реалізацію пресування починають із нагрівання заготовки (називаної також «злиток»), яку поміщають потім у контейнер преса (рис. 6) і розпресовують.

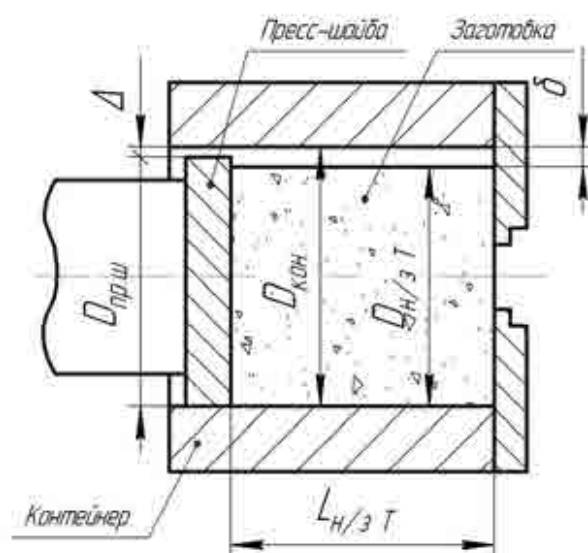


Рис. 6. Контейнер преса

При розпресовці злитка зусилля пресування зростає від нуля до максимального значення. Стадії пресування відображені на діаграмі «зусилля пресування – хід прес-штемплеля» ($P_{\text{пр}} \sim L_{\text{ход}}$), представленої на рис. 7.

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.

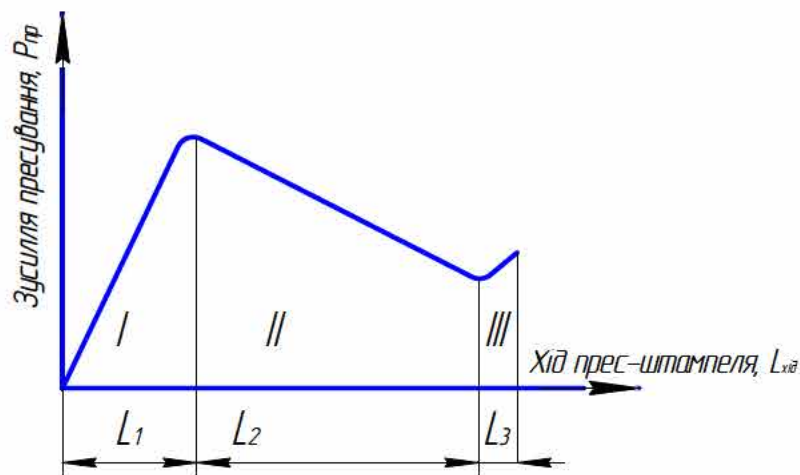


Рис. 7. Стадії пресування

Описана ситуація відображає важливі аспекти процесу пресування і її оптимізацію, зокрема взаємозв'язок між довжиною заготовки та ефективністю процесу.

1. Вплив довжини заготовки на ефективність пресування:

- **Малі довжини:** Якщо заготовка занадто коротка, то це може призвести до скорочення виходу продукції. Оскільки метал не встигає пройти через весь інструмент, можна отримати менший обсяг продукції, що знижує ефективність процесу.
- **Великі довжини:** Якщо заготовка занадто довга, можуть виникнути проблеми, пов'язані з **охолодженням металу**. Занадто довгий злиток може охолоджуватися ще до того, як повністю пройде через вогнище деформації, що знижує пластичність матеріалу і ускладнює процес пресування. Крім того, така заготовка може бути схильною до **вигину**, що призведе до деформацій і утворення бракованих виробів.
- **Вигин заготовки та запресовування повітря:** Якщо заготовка надмірно довга і неправильно сформована, може виникнути **вигин** під дією сил пресування, що порушує рівномірність деформації. Крім того, у такій заготовці може утворитися **повітряна кишеня**, яка призведе до запресовування повітря всередині виробу, що також викликає дефекти.

2. Зміна зусилля під час пресування:

- **Розпресовка:** На початкових етапах процесу, коли метал ще не повністю видавлений з контейнера, зусилля високе, тому що метал зустрічає значний опір через тертя об стінки контейнера та матрицю. Після того як частина металу вже видавлена, **зусилля зменшується**, оскільки залишковий метал має менший контакт з контейнером і сили тертя зменшуються.
- **Під кінець процесу:** Коли прес-шайба наближається до кінця вогнища деформації, **тертя металу зростає**, особливо в момент, коли метал вже на великій відстані від початкової точки, і виведення металу стає складнішим. Це може призвести до **збільшення зусилля** на фінальному етапі, що потрібно враховувати для оптимізації процесу.

Отже, для забезпечення максимальної ефективності пресування важливо правильно вибирати довжину заготовки та параметри процесу, щоб уникнути проблем з охолодженням, вигином чи утворенням повітряних включень.

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 спуска» – 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.

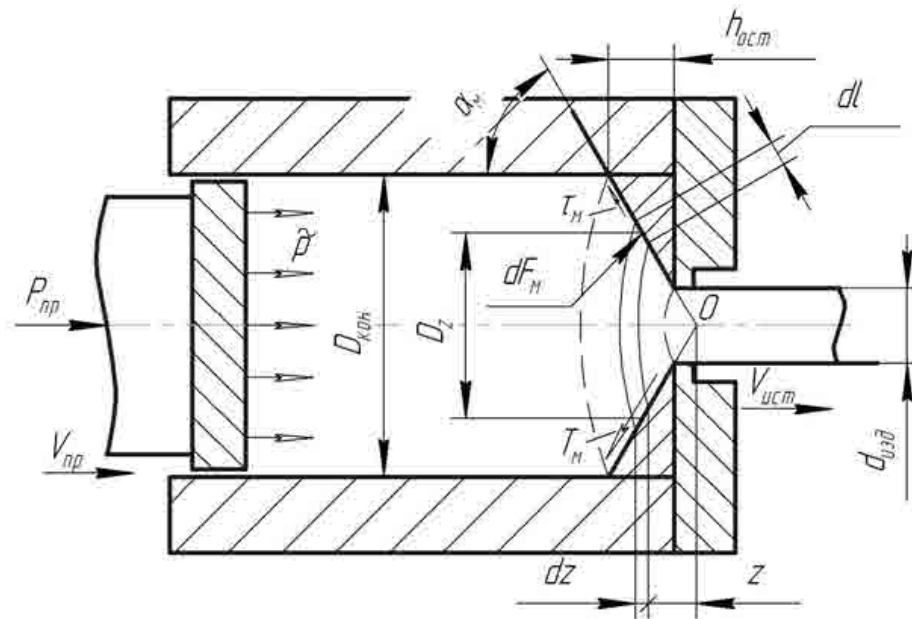


Рис. 8. Вогнище пластичної деформації поблизу матриці

В описаному деформованому стані металу при пресуванні виявляються важливі аспекти, які визначають поведінку металу під час деформації та формування виробів. Давайте розглянемо ключові моменти:

1. Типи деформацій:

- **Радіальна деформація:** Це деформація, що відбувається в напрямку радіусу заготовки, тобто в напрямку від центра до країв. Вона є важливою для вирівнювання металу під час пресування та зменшення його неоднорідності.
- **Окружна деформація:** Вона спрямована уздовж окружності заготовки і також відіграє важливу роль в оптимальному розподілі матеріалу під час деформації.
- **Подовжувальна деформація (деформація в осьовому напрямку):** Це деформація, яка відбувається уздовж осі заготовки. Вона є найбільшою, оскільки метал прагне подовжуватися під дією стиснення в радіальному та окружному напрямках. Подовжувальна деформація вважається **пасивною**, оскільки вона відбувається через перерозподіл металу в процесі стиснення.

2. Напруження в процесі пресування:

У процесі пресування в металі виникає трьохосне стиснення, що дозволяє здійснювати ефективну деформацію:

- **Радіальне стиснення** (напрямок від центру до країв).
- **Окружне стиснення** (напрямок по окружності).
- **Осьове стиснення** (напрямок вздовж осі заготовки).

Ці три типи стиснення працюють разом для досягнення бажаної форми виробу.

3. Переваги такого деформованого стану:

- **Цілісність структури:** Такий режим деформації дозволяє зменшити ймовірність виникнення тріщин або дефектів, оскільки метал рівномірно розтягується і стискається в усіх напрямках.
- **Бездефектна внутрішня структура:** Оскільки деформація відбувається в умовах трьохосного стиснення, це сприяє утворенню матеріалу без внутрішніх порожнин або включень. Внутрішня структура виробу залишається без дефектів, що є важливим для забезпечення високої міцності і надійності готового виробу.

4. Важливість такого напруженого стану:

- **Сприяє пластичності:** Напружений стан, при якому метал піддається одночасно радіальному, окружному та осьовому стисненню, дозволяє досягти високої пластичності матеріалу.
- **Зниження ймовірності утворення дефектів:** Завдяки таким умовам, знижується ймовірність утворення дефектів, таких як тріщини чи пори, оскільки деформація розподіляється рівномірно.

Висновок:

Такий деформований стан є дуже ефективним для забезпечення високої якості виробів при пресуванні. Вони здобувають **стійку та цілісну внутрішню структуру**, що важливо для отримання деталей без дефектів, що можуть вплинути на їх експлуатаційні характеристики.

1.4. Сили тертя при пресуванні

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 заготівлі, 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.

Тертя в процесі пресування труб із 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.

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-штемплем, 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-штемплем. 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 також перешкоджає збільшенню швидкості закінчення пресування алюмінієвих сплавів, оскільки воно викликає значне підвищення температури в зоні контакту металу та інструменту. Це може посилити адгезію алюмінієвих сплавів до матеріалу інструменту, і у разі недостатнього мастила призводить до утворення намінів на поверхні інструменту, що знижує якість поверхні труб.

Тепловий ефект, що виникає під час пресування, багато в чому залежить від умов тертя в області контакту контейнера з металом. Чим вище тертя, тим більше тепла виділяється. Зниження тертя в контейнері досягається за допомогою мастил. Використання мастила при пресуванні контейнера дозволяє значно збільшити швидкість закінчення, проте застосування цього методу обмежене через відсутність ефективних мастильних матеріалів.

Тертя також негативно впливає на стійкість пресового інструменту. Особливо це стосується голок, які в ряді випадків можуть стати фактором, що обмежує можливість застосування пресування для отримання труб. Незважаючи на це, в деяких випадках даний спосіб пресування єдино можливим для виробництва труб і порожнистих профілів.

При пресуванні порожнистих профілів і труб зі сплавів виникає ряд складних напруг, спричинених тертям між металом та інструментом. Це тертя викликає подовжньо-розтягувальні напруги в тілі голки, які, у поєднанні з поперечним стисненням, створюють складну схему напруженого стану. Коли процес пресування здійснюється за високих температур (до 500 °C), це може призвести до зниження міцності голки, її пластичної деформації і, як наслідок, до обриву голки. Особливо це виражено при використанні голок діаметром менше ніж 30 мм. В голках діаметром 50 мм і більше центральні шари не встигають прогрітися до високих температур і

зберігають свою міцність, в той час як голки діаметром менше 30 мм прогріваються по всьому перерізу, що знижує їх характеристики міцності.

Таким чином, зниження тертя між металом, що деформується, і поверхнями голки і контейнера є ефективним способом не тільки зменшити зусилля пресування та енерговитрати, а й підвищити якість продукції. Для цього на поверхню голки наносять різні мастила, а в деяких випадках також змащують поверхню контейнера та зливка. Мастило голки має особливе значення, оскільки налипання металу на її поверхню погіршує якість внутрішньої поверхні труб, що призводить до утворення дефектів, таких як надирі та ризики. Ці дефекти неможливо усунути за допомогою механічної обробки, що робить їх непоправними.

У сучасній виробничій практиці при пресуванні труб з алюмінієвих сплавів застосовуються змащення на основі лускатого графіту, з рідкою основою з важких масел (наприклад, "Вапор Т"), що обмежує можливості для збільшення швидкості пресування. ефективними виявилися мастила, що містять свинцевий сурик, стеарат свинцю і олеат олова. Серед них найкращими антифрикційними властивостями володіє змащення з додаванням свинцевого сурика. для екології.

Крім того, важливим аспектом є механізація процесів нанесення мастил, оскільки в даний час цей процес здійснюється вручну, що збільшує трудомісткість операцій.

Метою даного дослідження було вивчення можливостей удосконалення процесів пресування труб з алюмінієвих сплавів через використання більш ефективних технологічних мастил, які відповідають як технічним вимогам, так і екологічним нормам.

Для класифікації тертя в таких процесах прийнято виділяти три основні режими: сухе тертя, граничне тертя та рідинне тертя.

Сухе тертя виникає, коли поверхні тіл, що труться, повністю вільні від сторонніх речовин, таких як гази, мастила або забруднення. Теорія сухого тертя найбільш повно розроблена І.В. Крагельським, Ф.П. Боуденом та

Д. Тейбор. Відповідно до цієї теорії, сила тертя виникає через механічне зачеплення мікронерівностей, утворення зварювальних містків і молекулярних сил тяжіння між поверхнями, що труться. Ідеальне сухе тертя рідко зустрічається у реальних умовах.

Коли на контактних поверхнях присутні тонкі плівки адсорбованих газів, оксидів або мастил, тертя називають граничним. А.С. Ахматов розглядає граничне тертя як процес, у якому тверді поверхні розділені тонкими шарами, незалежно від своєї природи чи походження. Дослідження І.В. Крагельського, А.С. Ахматова та Б.В. Дерягіна показали, що граничні шари мастила на твердих поверхнях мають особливі властивості, що відрізняються від об'ємних властивостей мастила та залежать від природи та стану поверхонь. Ці граничні шари можуть бути впорядкованими та пружними, протидіючи нормальному тиску, як тверді речовини. Ліхтман В.І., Щукін О.Д. та Ребіндер П.А. вважають, що граничне тертя у процесах обробки металів тиском пов'язане з пластичним перебігом поверхневих шарів металу, прилеглих до інструменту. Мастило створює м'який пластифікований шар, проникнувши в мікрощілини поверхні металу.

Прихильники цієї теорії припускають, що адсорбція мастила на поверхні металу знижує його міцність у мікроскопічних дефектах, які діють як «ворота», через які мастило проникає в метал, полегшуючи його деформацію. Цей процес сприяє зменшенню опору деформації, створюючи тиск адсорбційного шару, який допомагає дії, що розклинює, і сприяє деформації металу. У присутності мастила деформація зосереджується у тонкому високопластичному шарі, розташованому поза металом.

Рідинне (або гідродинамічне) тертя виникає, коли розділовий шар мастила досить великий, щоб запобігти безпосередньому зачепленню нерівностей поверхонь. Теорія гідродинамічного тертя пов'язує дію мастильного шару з його в'язкістю, товщиною та швидкістю ковзання поверхонь. Умовою застосування гідродинамічного тертя є наявність гідродинамічного клина, який перешкоджає прямому контакту поверхонь, що

труться під навантаженням. Цей режим тертя може бути реалізований у процесах обробки металів тиском при створенні відповідних кінематичних та силових умов, а також виборі відповідного мастила.

Деякі дослідження, наприклад роботи Ісаченкова Є.І., виділяють окремий режим тертя через шар частинок твердого мастила або тверде мастильне покриття, яке екранує поверхні, що труться від прямого контакту. У цьому випадку виникає сприятливий режим тертя, коли опір зсуву в мастилi мінімально.

На практиці часто спостерігається змішаний режим тертя, при якому між поверхнями, що контактують, є шар мастила, але він не повністю розділяє їх, і в процесі зсуву відбувається зачеплення нерівностей поверхонь. Це призводить до одночасного існування ділянок сухого, граничного та рідинного тертя.

Основні джерела сил тертя включають:

1. Механічне зачеплення нерівностей поверхонь.
2. Молекулярне схоплення 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 схоплення 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.

Роль мастил у процесі ЗМД:

Для зменшення впливу негативних факторів тертя важливо використовувати технологічні мастила, які знижують сили тертя та знос інструменту. Мастило виконує кілька важливих функцій:

1. Зниження сил тертя та загального зусилля деформування.

2. Запобігання схоплюванню та налипанню металу на інструмент, що покращує якість поверхні виробів.

3. Охолодження інструменту та зниження теплопередачі, що сприяє зменшенню зносу інструменту.

4. Рівномірний розподіл деформації за обсягом металу, що є важливим для забезпечення високої якості виробів.

Функціональні вимоги до мастил:

- Зниження сили тертя та зносу інструменту.
- Запобігання налипанню металу.
- Забезпечення заданої чистоти поверхні.
- Охолодження та зниження теплопередачі.
- Підтримка стабільності складу та властивостей.
- Зручність нанесення та видалення з поверхні.
- Нетоксичність та мінімізація забруднення робочих місць.

Технічні та економічні вимоги:

- Мастило має бути стабільним, недефіцитним та економічним.
- Вона повинна бути легко видаленою з поверхні виробів і не мати шкідливого впливу на метал та обладнання.

- Мастило повинно не забруднювати робочий простір та довкілля.

Мета оптимізації процесу пресування труб:

Для підвищення якості та збільшення виходу придатних виробів важливо зменшити величину прес-залишку. Це досягається шляхом:

1. Оптимізації параметрів пресування: вибір оптимальних значень тиску, температури та швидкості.

2. Використання різних конструкцій прес-форм: для забезпечення рівномірного розподілу матеріалу та зменшення зусиль деформування.

3. Застосування високоефективних мастил з фізико-хімічними властивостями, які зменшують тертя та знос.

4. Правильного способу нанесення мастила: для досягнення рівномірного покриття та запобігання дефектам на поверхні виробів.

Таким чином, оптимізація процесів пресування та вибір ефективних мастил відіграють ключову роль у зниженні тертя, покращенні якості продукції та збільшенні виходу придатних виробів.

Основні моменти:

1. Вплив тертя на ЗМД:

о Тертя в процесах обробки металів тиском збільшує зусилля, необхідні для деформації, знижує ефективність процесу, погіршує якість виробів та прискорює зношування інструментів.

о Воно також викликає нерівномірність деформації, що впливає на мікроструктуру металу та механічні властивості виробів, а також на їхню поверхню.

2. Тертя в процесі пресування труб:

о Тертя при пресуванні труб з алюмінієвих сплавів дуже впливає на якість продукту. Зокрема, воно пов'язане з контактами між металом, що деформується, і інструментом (голкою і контейнером), впливаючи на процес деформації і приводячи до додаткових зсувних деформацій.

о Залежно від типу пресування (пряме чи зворотне) інтенсивність тертя може змінюватися, що впливає загальне зусилля пресування і характеристики кінцевого продукту.

о При пресуванні з прямим закінченням тертя між зливком і контейнером викликає додаткові деформації, у той час як при зворотному закінченні тертя між ними мінімізоване.

3. Змащення:

о Мастила відіграють ключову роль у зменшенні тертя та підвищенні ефективності пресування. Для поліпшення якості труб з алюмінієвих сплавів важливо використовувати мастила, які знижують адгезію металу до інструменту, запобігають зносу та сприяють рівномірному розподілу деформацій.

о Найбільш ефективними мастилами є ті, які мають хороші антифрикційні властивості (наприклад, мастила з додаванням свинцевого сурика).

о Однак існуючі мастила мають свої обмеження, включаючи токсичність, горючість та низьку ефективність при високих температурах пресування.

4. Режими тертя:

о У процесі пресування виділяються три основних режими тертя: сухе (сухое), граничне та рідинне. Кожен із них має свої особливості:

□ Сухе тертя – відбувається за відсутності мастила та забруднень.

□ Граничне тертя виникає, коли між контактуючими поверхнями є тонкий шар мастила або окисли.

□ Рідке (гідродинамічне) тертя проявляється, коли мастило має достатню товщину і запобігає прямому контакту поверхонь.

о Мастило впливає на перехід між цими режимами, що сприяє зниженню сили тертя та зносу.

5. Технічні та екологічні вимоги:

о Важливим аспектом є використання мастил, які відповідають як технічним, так і екологічним стандартам. Це особливо важливо у світлі сучасних вимог щодо безпеки праці та захисту навколишнього середовища.

о Механізація процесів нанесення мастил також є важливим елементом, що підвищує ефективність та знижує трудовитрати.

Висновок:

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.

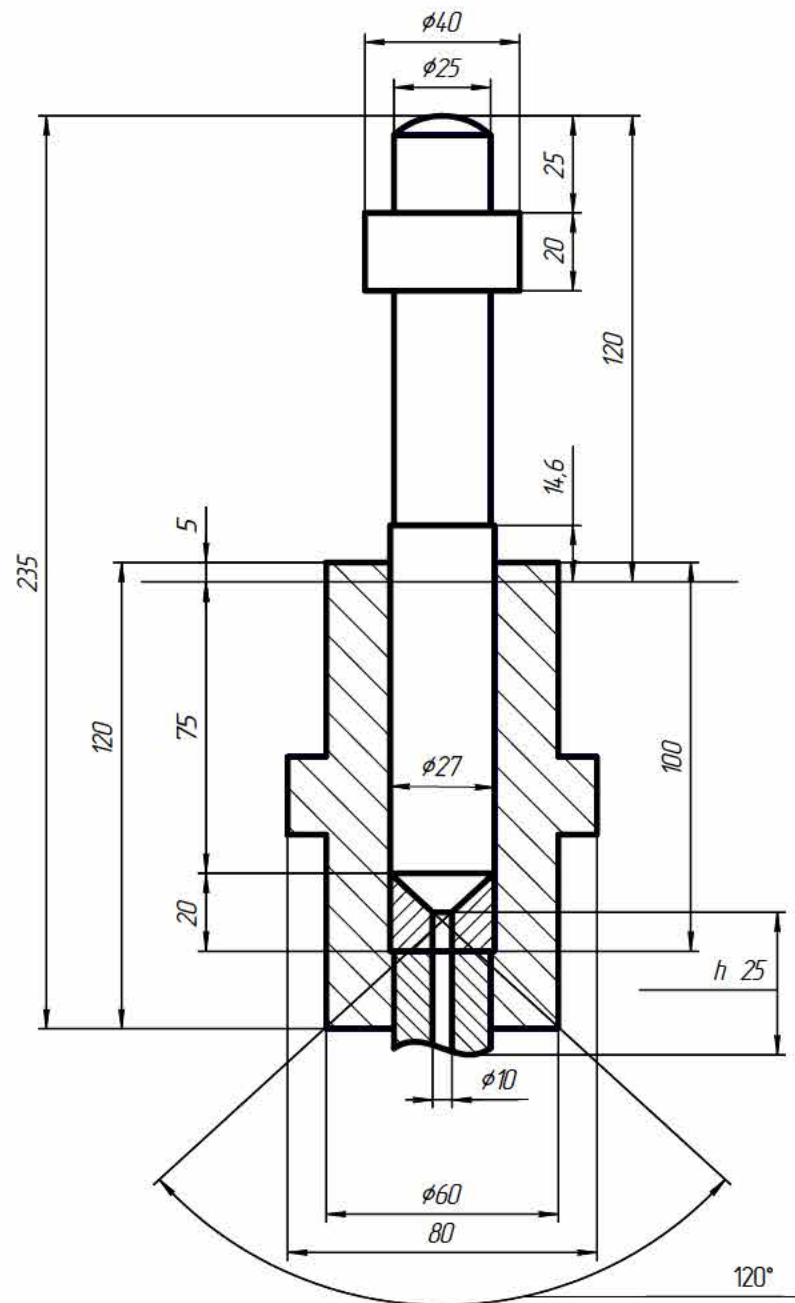


Рис. 10. Експериментальний штамп

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° . 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, про який йдеться, є основою **методу кінцевих елементів (МКЕ)**, який є потужним інструментом для розв'язку складних інженерних завдань, зокрема у галузі **механіки деформації** та **теорії пресування**. Ось основні принципи і особливості цього методу:

1. Основи методу кінцевих елементів (МКЕ):

- **Варіаційні принципи** механіки суцільного середовища лежать в основі методу кінцевих елементів. Варіаційні принципи, зокрема **принцип найменшої потенційної енергії**, дозволяють описати механічні процеси, такі як деформація, з використанням математичних рівнянь.

- Вони дозволяють замінити складні рівняння, що описують поведінку суцільного середовища, на спрощений варіант, застосовуючи дискретизацію середовища, тобто поділ його на елементи.

2. Дискретизація середовища:

- **Дискретний опис середовища** полягає в тому, що безперервне суцільне середовище розбивається на кінцеву кількість елементів (звичайно, трикутних або тетраедричних), кожен з яких має свої параметри, такі як **напруження, деформація, температура** тощо.
- Це дозволяє замінити складні рівняння диференціального типу на систему алгебраїчних рівнянь, які простіше розв'язати чисельно.

3. Умови спільності на границях:

- Один з ключових аспектів МКЕ — це **умови спільності на межах** між елементами. Вони забезпечують коректний опис переходу між елементами і правильно описують граничні умови, наприклад, контакти між тілами, рухи, деформації і напруження в точках взаємодії.
- Це дає змогу моделювати складні геометричні форми та умови, що виникають під час процесів деформації, таких як **пресування, штампування, екструзія** тощо.

4. Застосування МКЕ для теорії пресування:

- **Комп'ютерне моделювання** з використанням МКЕ дозволяє отримати точні результати для процесів пресування, враховуючи складні деталі, такі як **температурні ефекти, напруження тертя, пластичні деформації, контактні умови**.
- Це дозволяє **оптимізувати технологічні процеси**, знижувати витрати матеріалів, покращувати якість продукції та забезпечувати точність процесів обробки металів тиском.

5. Переваги МКЕ:

- **Комп'ютерні потужності**: з розвитком комп'ютерних технологій та великих обсягів пам'яті, метод кінцевих елементів дозволяє здійснювати моделювання навіть для складних задач у реальному часі.

- **Гнучкість:** метод МКЕ дає можливість розв'язувати задачі для будь-яких типів геометрії та умов, а також дозволяє адаптувати моделі до конкретних умов (температури, матеріалу, навантажень).
- **Аналіз складних процесів:** МКЕ дає можливість точно описувати багато важливих аспектів процесу пресування, таких як **перерозподіл напружень, формування виробу і утворення дефектів.**

6. Математичне забезпечення МКЕ:

- Стандартне математичне забезпечення для розв'язку задач методом кінцевих елементів дозволяє ефективно використовувати метод у різних програмних продуктах. Це може включати такі програми, як **ANSYS, ABAQUS, COMSOL** і інші, які є загальноприйнятими в інженерному середовищі для моделювання і оптимізації процесів.

Висновок:

Метод кінцевих елементів (МКЕ) є надзвичайно потужним і ефективним інструментом для вивчення та оптимізації процесів пресування. Завдяки дискретизації середовища, варіаційним принципам та чисельним розв'язкам, МКЕ дозволяє точно моделювати складні деформаційні процеси, оптимізувати технології та досягати високої точності в прогнозуванні результатів. Це робить метод незамінним інструментом для сучасних інженерних задач, особливо у сфері обробки металів тиском.

РОЗДІЛ 3

Комп'ютерне моделювання процесу прямого пресування труб з конічно-ступінчастими голками

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

Для пресування використовуються такі різновиди інструмента: матриці, контейнери, прес-шайби, голки, прошивники, прес-штемпелі, 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).

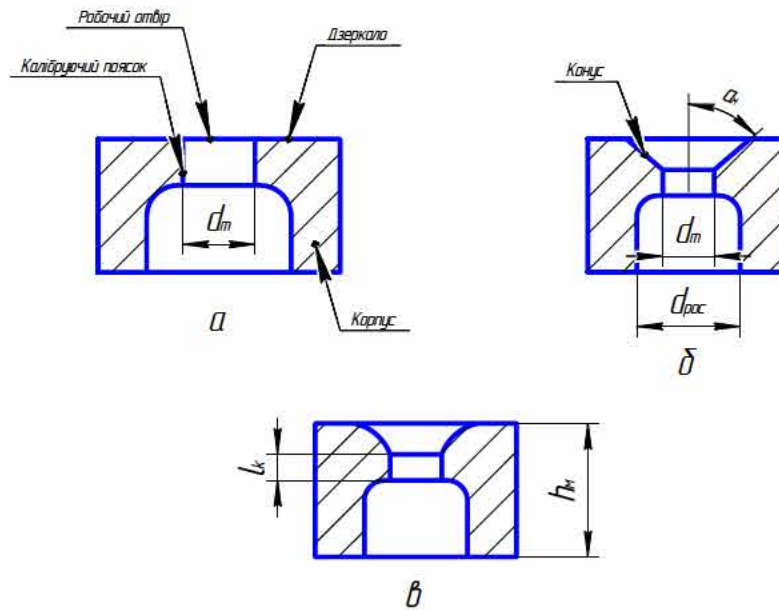


Рис. 11. Елементи матриць для пресування

Плоскі та конічні матриці відіграють важливу роль у процесі пресування, оскільки вони безпосередньо впливають на якість кінцевого виробу, його форму та поверхню. Зазначені групи матриць застосовуються в залежності від типу виробу та умов процесу, зокрема для виробництва труб та інших металевих профілів.

Ось детальний опис зазначених груп матриць:

1. Плоскі матриці:

- **Плоскі матриці** є найбільш поширеними для процесів пресування, оскільки вони забезпечують рівномірний розподіл напружень по всій площі поверхні пресованого виробу. Це важливо для досягнення **високої якості поверхні**, що є особливо важливим для декоративних або технічних виробів, де поверхнева чистота має критичне значення.

2. Конічні матриці:

- Для **труб** та інших виробів, які потребують спеціальних профілів, застосовують **конічні матриці**. Вони дозволяють здійснити поступову

деформацію металу, що підвищує ефективність процесу видавлювання і забезпечує необхідну геометрію виробу.

3. Матриці за типом зовнішньої поверхні і монтажу:

- **Матриці з прямим конусом** (рис. 12а): У таких матрицях зберігається стабільний кут нахилу стінок, що забезпечує рівномірний процес деформації металу при пресуванні. Вони часто використовуються для створення виробів з однаковим діаметром по всій довжині.
- **Матриці з зворотним конусом** (рис. 12б): У цих матрицях стінки мають зворотний кут нахилу, що може бути корисно для деяких виробів, де кінцева форма має бути ширшою або зі зменшеним діаметром на виході. Зворотний конус дозволяє отримувати профілі зі специфічними характеристиками, зокрема для деформаційних процесів зі зниженим тертям.
- **Матриці з циліндричним буртом** (рис. 12в): Такі матриці зазвичай мають рівну частину для затискання заготовки або для забезпечення більш стабільного пресування з високою точністю. Бурт допомагає в рівномірному розподілі напружень і контролює подачу металу через матрицю.
- **Матриці з прямим конусом в обоймі** (рис. 12г): Це конструкція, яка поєднує прямий конус із зовнішнім корпусом (обоймою), що забезпечує додаткову підтримку та стабільність при пресуванні. Така матриця зменшує ймовірність пошкоджень інструменту, підвищує точність і запобігає деформаціям матеріалу в області контакту.
- **Матриці з зворотним конусом в обоймі** (рис. 12д): Схожа на попередній тип, але із зворотним конусом, що дозволяє змінювати кут деформації на виході. Цей тип часто використовується для більш складних виробів, де потрібен контроль за формою і параметрами після видавлювання.
- **Цільні посилені матриці** (рис. 12е): Ці матриці мають посилений корпус, що дозволяє витримувати більші навантаження і зберігати

стабільність форми навіть при великих силах пресування. Вони зазвичай застосовуються для роботи з матеріалами, що мають високу твердість або для великих обсягів виробництва.

Висновок:

Залежно від характеру пресованого виробу та специфікацій процесу, вибір матриці визначається такими факторами, як тип деформації, напруження, форма і розміри виробу, а також необхідна якість поверхні. Тому правильний вибір типу матриці є критично важливим для досягнення оптимальних результатів у пресуванні металів та сплавів.

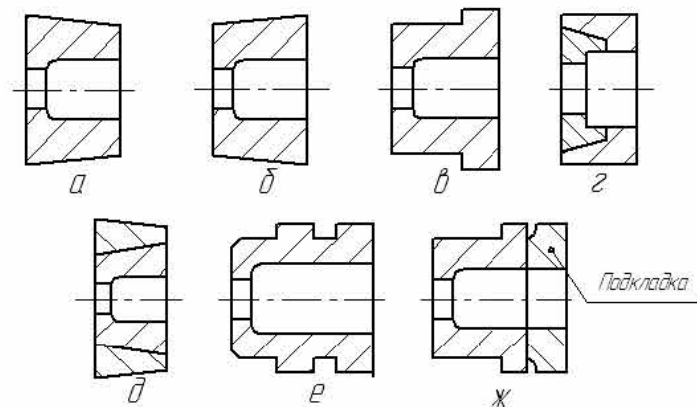


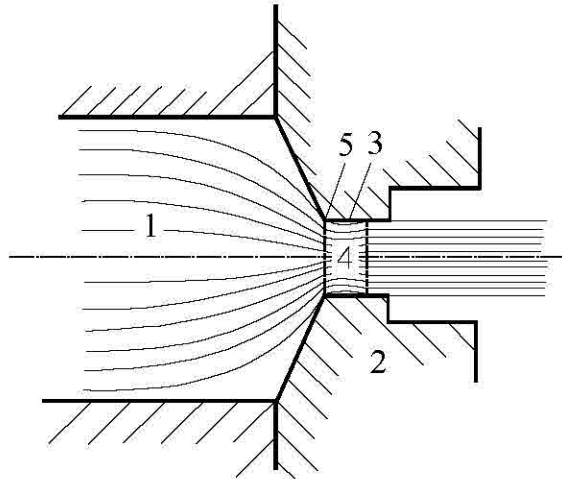
Рис. 12. Групи матриць для пресування

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]

3.3. Моделювання процесу пресування труб в Deform 3D

Застосування сучасних пакетів програм для проектування технологій різних видів виробництв в основному орієнтовано на зменшення термінів підготовки виробництва, налагодження технології, а так само мінімізації фінансових затрат. Проектування технологічних процесів в сучасних CAD/CAM/CAE системах дозволяє так само скоротити витрати, які можуть з'явитися в процесі виробництва, тому що зараз можливо більш точно прогнозувати дефекти різного роду пов'язані з недоробкою технології.

DEFORM TM – спеціалізований інженерний програмний комплекс, призначений для аналізу процесів обробки металів тиском, термічної і

механічної обробки. DEFORM дозволяє перевірити, відпрацювати і оптимізувати технологічні процеси безпосередньо за комп'ютером, а не в ході експериментів на виробництві методом спроб і помилок. Завдяки цьому суттєво скорочуються терміни випуску продукції, підвищується її якість і знижується собівартість. Розроблений американською компанією Scientific Forming Technologies Corporation (SFTC), що є лідером в області моделювання процесів обробки металів тиском.

DEFORM дозволяє моделювати практично всі процеси, застосовувані в обробці металів тиском (кування, штампування, прокатка, пресування тощо), А також операції термічної обробки (загартування, старіння, відпустка тощо) і механообработки (фрезерування, свердління та ін.).

DEFORM застосовується по всьому світу, як на промислових підприємствах, так і в науково-дослідних інститутах та технічних університетах, є найпоширенішим програмним комплексом для моделювання процесів обробки металів тиском.

На сьогоднішній день в DEFORM реалізовано три підходи до моделювання процесів пресування:

Розширений підхід Лагранжа (Updated Lagrangian або UL) – це аналіз несталий стану заготовки, де моделюється вихідний пункт процесу пресування, тобто початкове проникнення заготовки в інструмент. Результатом такого моделювання може стати потрібна сила деформування, заповнення порожнини інструменту, можливість виникнення утяжин, поведінка зон самоконтакта заготовки. Після заповнення порожнини інструменту і почала власне пресування, процес розрахунку ускладнюється у зв'язку з частими перестроюваннями сітки кінцевих елементів.

Довільний підхід Лагранжа-Ейлера (Arbitrary Lagrangian Eulerian або ALE) – метод базується на розширеному підході Лагранжа для несталою процесу, при цьому не потрібно перестроювання сітки кінцевих елементів. Вихідною заготовлею для аналізу є вже частково деформована заготовка. Результатом такого моделювання може стати потрібна сила деформування,

кінцева форма заготовки та її відхилення від номінальної, накопичена деформація і інші змінні стану заготовки на сталій стадії пресування.

Стаціонарний підхід (Steady-State або SS) – однокроковий метод аналізу (без залежності від часу) який аналізує тільки сталу фазу пресування. Результатом такого моделювання може стати потрібна сила деформування, кінцева форма заготовки та її відхилення від номінальної на сталій стадії пресування.

При пресуванні труб часто використовують два типи голок: циліндричні та конічно-ступінчасті [1-3]. Застосування останніх розширюється, так як вони дозволяють отримувати труби з різними внутрішніми діаметрами із злитків із заданим внутрішнім діаметром, що неможливо при використанні циліндричної голки [1]. Крім того, конічно-ступінчаста голка незамінна при пресуванні труб зі змінним перерізом, а також труб з великим зовнішнім і малим внутрішнім діаметром [1], оскільки використання циліндричних голок у таких випадках може призвести до їх витягування та поломки особливо при пресуванні при високих температурах. У теоретичних та експериментальних дослідженнях процесу пресування труб із конічно-ступінчастими голками основна увага приділяється розрахунку зусиль деформування [3], калібрування інструменту, а також аналізу течії металу.

Проведення чисельних досліджень енергетичних та деформаційних умов, що визначають технологічні можливості пресування, з основним акцентом на навантаження на робочий інструмент, що деформує, та інтенсивність деформацій у початковій стадії пресування, коли зусилля деформування досягає максимуму.

Для чисельного моделювання використано комп'ютерну модель процесу прямого методу пресування труби розміром $\text{Ø}30 \times 10$ мм із алюмінієвого сплаву АД31 у конічну матрицю з кутом 75° із контейнера з діаметром внутрішньої втулки 75 мм. Кут конусної частини нерухомої конічно-ступінчастої голки становить 45° . Температура нагрівання

контейнера, прес-шайби та матриці – 350 °С, зливка – 400 °С. Пресування здійснювалося з використанням мастила поверхні конічно-ступінчастої голки. Швидкість пресування становила 10 мм/сек. Розрахунки були здійснені з використанням ліцензійного програмного пакету DEFORM 2D/3D.

На рис. 14 показано динаміку зміни геометрії злитка на початковій стадії гарячого пресування труби. Першим відбувається осадка переднього торця порожнистої заготовки на конусній частині матриці. При подальшому переміщенні прес-шайби спостерігається втрата стійкості порожнистої заготовки. Зовнішня та внутрішня поверхні заготовки набувають бочкоподібної форми з опуклістю в радіальному напрямку. В результаті зовнішня поверхня заготовки в середній частині прилягає до контейнера, а внутрішня відходить від голки тіла. У зоні контейнера, що прилягає до матриці, утворюється повітряний мішок, що може призвести до запресування повітря у виріб при подальшому пресуванні. Потім відбувається деформація заготовки внутрішньої поверхні від торця, прилеглого до прес-шайби, до матриці, що забезпечує спрямоване видавлювання повітря між тілом голки і заготовкою. На заключній стадії розпресування метал порожнистої заготовки повністю заповнює порожнину між контейнером, матрицею та конічно-ступінчастою голкою, після чого починає видавлюватися через кільцевий канал у формі готової труби (рис. 14).

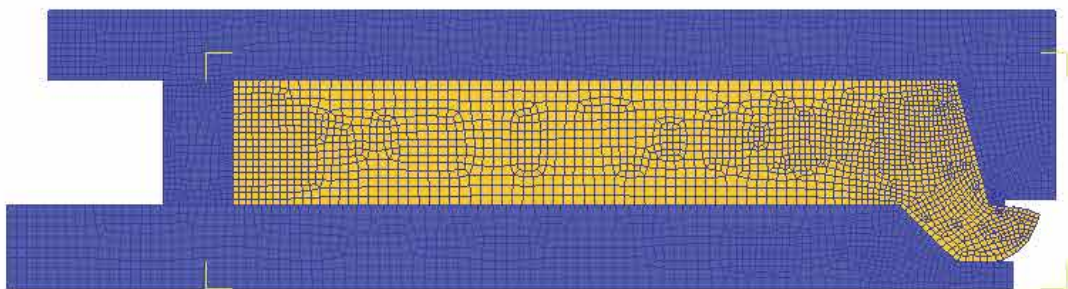


Рис. 14. Модель пресування труб з конічно-ступінчастою голкою

На стадії пресування на графіках (рис. 15) спостерігаються стрибки зусиль. Перший стрибок зусиль на прес-шайбі та матриці відбувається в момент осідання порожнистої заготовки до її контакту із зовнішньою поверхнею конічно-ступінчастої голки. Зусилля на прес-шайбі і матриці досягають екстремальних значень на фінальній стадії розпресування, коли метал заготовки заповнює простір, що примикає до робочої частини конічно-ступінчастої голки і каналу, що калібрує матриці, і починає видавлюватися через кільцевий канал у формі труби.

На основній стадії пресування зусилля, що діє на прес-шайбу, поступово зменшується через зниження тертя між розпресованою заготовкою, контейнером і конічно-ступінчастою голкою, досягаючи мінімуму, коли прес-шайба знаходиться в зоні переходу основної частини голки в конус. Після цього починається заключна стадія пресування, що спричиняє різке підвищення зусилля.

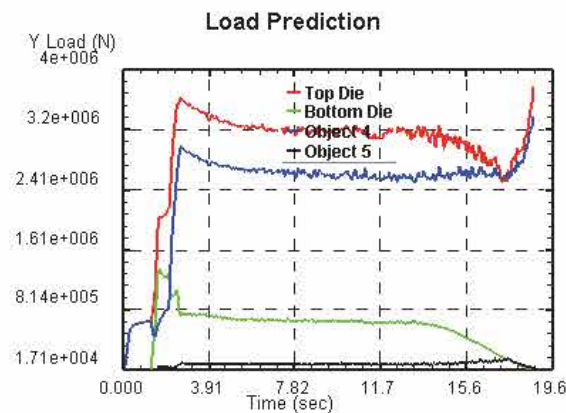


Рис. 15. Графіки зміни зусиль на від часу пресування

З рис. 15 видно, що у напрямку осі пресування найбільш сильно навантаженими є прес-шайба і матриця, в той час як контейнер і конічно-ступінчаста голка зазнають менших навантажень. Контейнер, матриця та прес-шайба зазнають найбільших навантажень на стадії розпресування, а голка – на межі переходу основної стадії в заключну стадію пресування. При цьому матриця менш навантажена в осьовому напрямку ніж прес-шайба.

Нормальні та дотичні напруги, що діють на контактних поверхнях в момент початку основної стадії пресування, оскільки вони визначають надійність роботи інструменту, що деформує, показано на рис. 16. Відносна напруга на початковій стадії різко зростає від кромки матриці і досягає екстремальних значень у сфері переходу тіла голки в конусну ділянку. Потім воно плавно зменшується до нульових значень біля кромки прес-шайби. Практика показує, що найбільше зношування внутрішньої робочої втулки контейнера відбувається в області, що примикає до матриці.

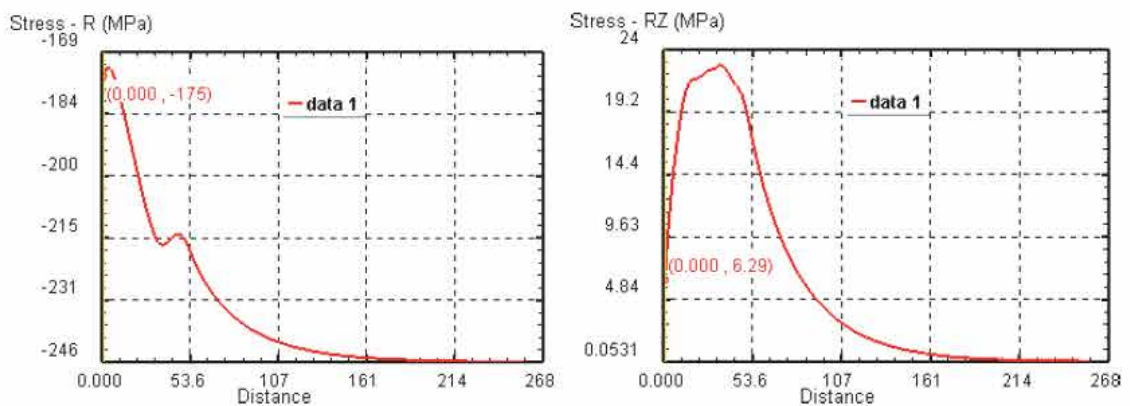


Рис. 16. Нормальні та дотичні напруги по довжині контейнера

З рис. 16 слідує, що на поверхні тіла голки діють стискаючі радіальні напруги, рівні за величиною тиску на прес-шайбі. Розподіл напруг різко змінюється на робочій ділянці конічно-ступінчастої голки.

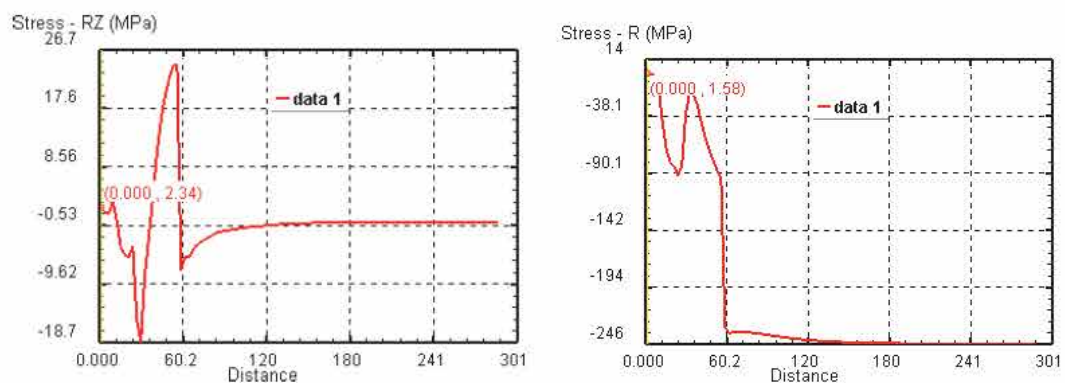


Рис. 17. Нормальні та дотичні напруги по довжині по дліне конічно-ступінчастої голки

Контактна нормальна напруга на матриці (рис. 17) стрибкоподібно збільшується по абсолютній величині в ділянці, що прилягає до калібруючого паска матриці, а потім плавно зростає у напрямку до контейнера. У кромки пояска осьові напруги розтягують, що може привести при великих швидкостях закінчення утворення поперечних тріщин на виході труби з каналу матриці.

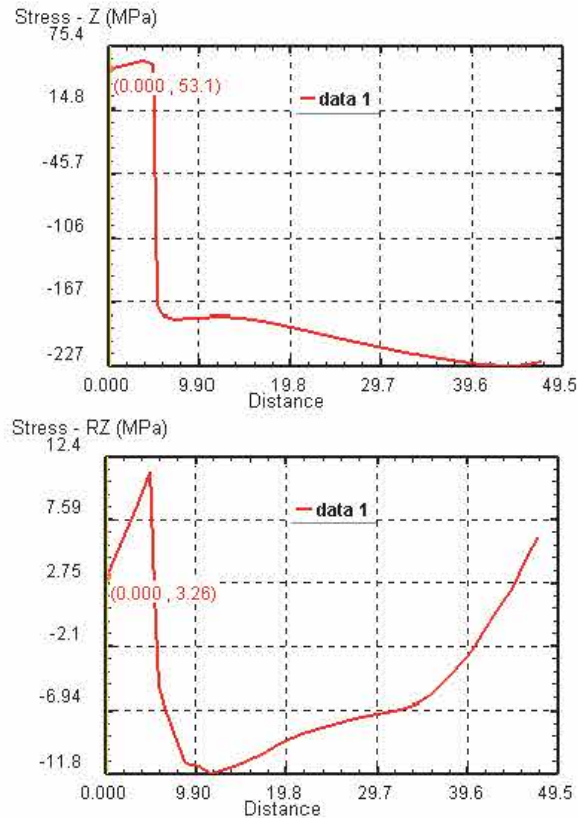


Рис. 18. Нормальні та дотичні напруги по довжині на контактній поверхні матриці

Аналіз графіків показує, що збільшення кута конуса голки щодо осі сполучення конусного уступу та калібрувальної ділянки сприяє зниженню нерівномірності закінчення металу.

Розділ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Правила безпеки при обслуговуванні ковальсько-штампувального обладнання

Роботодавець повинен забезпечити організацію і безпечне виконання ковальсько-пресових робіт [1, 2, 5] відповідно до вимог ГОСТ 12.3.002-75 «ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности».

Працівники під час виконання робіт повинні дотримуватися вимог Інструкції з охорони праці під час виконання монтажних робіт інструментами і пристроями, затвердженої наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 05 червня 2001 року № 254.

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

Вантажопідіймальні механізми повинні відповідати вимогам Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007 року № 132.

Завантаження, розвантаження, транспортування вихідних матеріалів, готової продукції повинно здійснюватися відповідно до вимог ГОСТ 12.3.020-80 «ССБТ. Процессы перемещения грузов на предприятиях. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.022-80 «ССБТ. Конвейеры. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.3.009-76 «ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.3.010-82 «ССБТ. Тара производственная. Требования безопасности при эксплуатации».

Нанесення змащувальних матеріалів, визначених технічною документацією на устаткування, на заготовки і штампи необхідно виконувати розпилювальними пристроями або щіткою після зупинення рухомих частин устаткування. Під час роботи устаткування в автоматичному режимі необхідно використовувати спеціальні пристрої пістолетного типу для розпилення змащувальних матеріалів.

Гільйотинні ножиці з похилим верхнім ножем для розрізання листового матеріалу повинні бути обладнані: пристосуванням і пристроями для подавання, укладання і підтримання листів (столи, рольганги, кронштейни, підставки) на рівні нерухомого ножа та механізмами для виведення заготовок з робочої зони ножиць; 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.

Заміна інструмента під час розкроювання металу на гільйотинних ножицях повинна виконуватися за допомогою спеціальних пристосувань, зазначених у технологічній документації.

Під час роботи на гільйотинних ножицях не дозволяється пересувати матеріал на столі ножиць після натискання на педаль та різати матеріал, не притиснутий притискними пристроями.

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.

Під час розкроювання тонколистового матеріалу із застосуванням заднього упора необхідно застосовувати підтримувальні пристрої.

Не дозволяється працівникам приймати, підтримувати відрізані кінці заготовки та скидати заготовки на підлогу.

Під час обрізання великогабаритних довгомірних деталей на дводискових і висікних ножицях та деталей масою понад 15 кг необхідно застосовувати спеціальні стійки, підставки, столи висотою на рівні ножів.

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

Відходи і обрізки металу необхідно прибирати від ножиць і пилок при вимкненому двигуні і повному зупиненні приводного механізму.

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.

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

Під час штампування на гідропресах з висувними столами контроль положення оснастки на робочому столі необхідно виконувати перед кожним ходом робочого столу і під час його переміщення в робочу зону.

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

Листоправильні багатовалкові верстати повинні мати столи (рольганги) для подавання і приймання листів та 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.

Не дозволяється працювати на згинальному верстаті в разі: випередження одного кінця траверси або нерівномірного її переміщення; невідповідності ходу траверси (верхнього вала) показанням індикатора; значного провисання верхнього вальця при прокатуванні.

Під час прокатування на згинальному верстаті металевих листів із застосуванням полотнини або паперу не дозволяється розправляти утворені складки на полотнині або папері, протирати опорні ролики і вальці під час їх обертання.

Заготовки, які подаються до профілезгинальних машин, повинні мати випрямлені і зачищені торці для забезпечення вільного заправлення їх у затискний інструмент.

Під час роботи профілезгинальних верстатів не дозволяється проводити вимірювання і звільняти заготовки під час повороту згинальних важелів.

4.2. Правила пожежної безпеки в цехах штампувального виробництва

Ковальсько-пресові цехи по пожежній небезпеці відносяться до категорії *Г* і мають *II* ступінь вогнестійкості будинків [3].

Небезпечними факторами пожежі, що впливають на людей, є: відкритий вогонь і іскри; підвищена температура з, предметів; токсичні продукти горіння; дим; знижена концентрація кисню; вибух.

Для видалення пилу і газів, що утворюються в процесі виробництва, має бути передбачена і постійно утримуватись в справному стані витяжна вентиляція. Особливу обережність необхідно проявляти при зберіганні, транспортуванні і експлуатації балонів з горючим газом.

Запобігання пожежі повинне досягатися:

- запобіганням утворення горючого середовища;
- запобіганням утворення в горючому середовищі (або внесення в неї) джерел запалювання;
- підтримкою температури горючого середовища нижче максимально допустимої до горючості;
- підтримкою тиску в горючому середовищі нижче максимально допустимого по горючості;
- зменшенням визначального розміру горючого середовища нижче максимально допустимого по горючості.

Пожежний захист штампувальних цехів забезпечується:

- максимально можливим застосуванням негорючих і трудногорючих речовин і матеріалів замість пожароопасных;
- обмеженням кількості горючих речовин і їхнього розміщення;
- ізоляцією горючого середовища;
- застосуванням засобів пожежогасіння;
- застосуванням конструкцій об'єктів з регламентованими межами вогнестійкості і горючості;
- системою противодимного захисту;
- застосуванням засобів пожежної сигналізації і засобів повідомлення про пожежу;
- організацією пожежної охорони об'єкта.

Застосовувані засоби пожежогасіння повинні максимально обмежувати розміри пожежі і забезпечувати його гасіння. При цьому повинні бути визначені:

- види засобів пожежогасіння, припустимі і неприпустимі для застосування при пожежі;
- види, кількість, розміщення і зміст первинних засобів пожежогасіння (вогнегасники, азбестові і грубошерсті полотна, ящики з піском, бочки з водою тощо) відповідно до ГОСТ 12.4.009-75;
- порядок зберігання речовин, гасіння яких неприпустимо тими самими засобами;
- джерела і засоби подачі води для пожежогасіння;
- мінімально припустимий запас спеціальних засобів пожежогасіння (порошкових, газових, пінних, комбінованих);
- необхідна швидкість нарощування подачі засобів пожежогасіння привізною технікою;
- види, кількість, швидкодія і продуктивність установок пожежогасіння;
- приміщення для розміщення стаціонарних установок пожежогасіння і зберігання запасу засобів гасіння;
- порядок обслуговування установок пожежогасіння і зберігання засобів гасіння.

Межі вогнестійкості конструкцій об'єкта повинні бути такими, щоб конструкції зберігали несучі і огорожувальні функції протягом всієї тривалості евакуації людей або перебування їх у місцях колективного захисту. При цьому межі вогнестійкості повинні призначатися без обліку впливу засобів гасіння на розвиток пожежі. Крім того, з метою обмеження розмірів можливої пожежі, межі вогнестійкості конструкцій повинні призначатися з обліком пожежонебезпечності виробничих процесів.

Система протидимного захисту повинна забезпечувати незадимлення шляхів евакуації протягом часу, достатнього для евакуації людей, і колективний захист людей.

Кожен об'єкт народного господарства повинен бути забезпечений надійними засобами повідомлення або сигналізації про пожежу в його початковій стадії.

Для забезпечення можливості гасіння пожежі і безпеки людей, що беруть участь у його ліквідації, на об'єктах необхідно передбачати технічні засоби (сходові клітки, захищені ліфти, зовнішні пожежні сходи, аварійні люки тощо), які повинні зберігати свої функції протягом розрахункового часу, необхідного для гасіння пожежі.

Організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки повинні запечувати:

- організацію пожежної охорони (профілактичного і оперативного обслуговування об'єктів);

- вид пожежної охорони (воєнізовані, професійна, добровільні формування тощо), порядок профілактичного і оперативного обслуговування об'єктів, необхідність організації підрозділів пожежної охорони і їхня чисельність визначаються у встановленому порядку;

- діяльність різних видів пожежної охорони встановлюється відповідно до положень про їх;

- організацію навчання робітників, службовців і населення правилам пожежної безпеки;

- розробку і реалізацію норм і правил пожежної безпеки, інструкцій про порядок роботи з пожароопасними речовинами і матеріалами, про дотримання протипожежного режиму і про дії людей при виникненні пожежі;

- виготовлення і застосування засобів наочної агітації по забезпеченню пожежної безпеки.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартап – це новостворена компанія (іноді навіть офіційно не зареєстрована), що знаходиться на стадії розвитку, творці якої мають новаторську бізнес-ідею і потребують інвестицій для реалізації своєї бізнес-ідеї в новий унікальний продукт на ринку. Ідеї стартапу утворюються на основі новаторських технологій та інноваційних ідей.

Причиною розвитку стартапів є те, що великі міжнародні компанії не можуть справлятися з швидким розвитком ринку. Більшість компаній не можуть йти в ногу з сучасним розвитком технологій, так як розробка і впровадження власних нових продуктів може займати велику частку часу і часто є не вигідним. Тож стартапи мають більшу мобільність та ефективність втілення нових ідей в порівнянні з великими компаніями.

Основним кроком для створення життєздатного стартап-проекту є інноваційна, новаторська ідея. Чим унікальніша ідея стартапу тим більша його комерційна цінність. Ще одним важливим фактором є ринковий попит на ваш майбутній продукт, адже іноді абсолютно унікальна ідея може не приносити найбільшу користь на виробництві. Тому стартап вважається доволі ризикованою інвестицією.

В Україні ситуація з знаходженням фінансування для стартапів була доволі важкою. Іноземні інвестори неохоче заходили в країну, а власна банківська система надає жорсткі умови кредитування, що призводить до того, що багато цікавих ідей помирають ще на зачатку. Але в останні роки держава почала активно створювати програми підтримки для стартапів, але поки, що лише в окремих галузях (оборона, кібербезпека, енергетика).

5.1. Опис головної ідеї стартап-проекту

Головною ідеєю стартап-проекту є реалізація представленого процесу пресування трубчастої заготовки для сучасного виробництва. Можливість моделювання поопераційних переходів формозмінюючих операцій при отриманні пресування трубчастих заготовок, використання математичних моделей для розрахунку технологічних та конструктивних особливостей формоутворення воронки різного профілю з попередньо профільованої трубчастої заготовки, використовуючи метод скінчених елементів. Також програма Deform 2D/3D має широке поле для вдосконалення та модифікацій процесів пресування трубних заготовок, наприклад із застосування іншої схеми базування, допомагає визначати оптимальні режими деформування, за яких вся система буде залишатися сталою.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Правильне оцінювання сталості пресування трубчастої заготовки	Оптимізація режимів пресування трубчастої заготовки	Підвищення продуктивності пресування трубчастої заготовки
	Моделювання і конструювання інструменту для пресування трубчастої заготовки	Зменшення бракованих виробів за рахунок підбору оптимальних режимів пресування

Даний програмний продукт орієнтований для машинобудівного виробництва, що використовує процеси пластичної деформації, і яке прагне досягти максимальної продуктивності при обробці зменшивши енерговитрати шляхом попереднього моделювання процесу обробки.

5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

На цьому етапі потрібно визначити слабкі, сильні та нейтральні характеристики та властивості ідей проекту для формування його конкурентоспроможності (табл. 5.2). Для нашого проекту визначаємо основні техніко-економічні характеристики ідеї такі, як клієнтоорієнтованість, можливість продукту встановлювати та пропонувати оптимальні режими різання, контроль вібрацій та ціна кінцевого продукту.

Таблиця 5.2 Визначення слабких, сильних та нейтральних сторін стартап- проекту

№ п/п	Технічно- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні)			W (слабка сторона)	S (сильна сторона)	N (ней- тральна сторона)
		товари/концепції конкурентів	Мій проект	Компас			
1.	Клієнто- орієтова- ність	+	+	+	Обмеже- ність в деяких функціях	Орієтовн ість на обробку деформув анням	-
2.	Можливість встановлю- вати оптимальні обробки	+	+	-	Ручний підбір оптим. режимів	Визнач. відбув. з врахува- нням впливу на інструмент	Визнач. відбув. перед процесом обробки

5.3. Технологічний аудит проекту

Для реалізації проекту необхідно провести технологічний аудит проекту. Наша головна ідея – це моделювання процесу режимів пресування трубчастої заготовки, а тому, будемо шукати подібні технології, які дозволяють вирішувати цю задачу.

Проаналізувавши дані з табл. 5.3 обираємо наступні технологічні рішення: реалізація кінцевої продукції у вигляді програмного продукту для підприємств з додатковим наданням користувачам інструкції для визначення вихідних даних.

Таблиця 5.3 Технологічний аудит проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології та їх реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Реалізація програмного забезпечення моделювання процесу режимів пресування трубчастої заготовки	Продаж продукту підприємству з інструкцією користувача для визначення вихідних даних	Так	Так

5.4. Аналіз ринкових можливостей запуск стартап-проекту

Для ефективного планування напрямку розвитку стартап-проекту необхідно проаналізувати ринкові можливості, для визначення ринкових загроз, які можуть перешкоджати реалізації проекту, а також для ефективного впровадження продукту на ринок.

Спершу проводимо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміку розвитку ринку (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 Характеристика потенційного ринку стартап проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість основних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, у.о/місяць	30.000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Постійна
4	Наявність обмежень для входу (характер обмежень)	Обмеження за прогресом готовності проекту до ринку
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Не встановлено

Наступний крок – визначення потенційних груп клієнтів. На його основі формується орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Наступний крок – аналіз ринкового середовища за допомогою аналітичних схем. Для цього складаємо таблиці факторів, що сприяють та перешкоджають впровадженню проекту на ринок (табл. 5.6-5.7).

Таблиця 5.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба в забезпеченні сталості процесу пресування	Виробництва	Вимоги до сталості процесу обробки тиском	Моделювання процесів обробки тиском
2	Потреба в розрахунках режимів пресування	Виробництва	Вимоги до точності визначення	Надання оптимальних режимів обробки
3	Потреба в конструюванні пресового інструменту	Виробництва	Вимоги до конструювання інструменту пресового	Надання оптимальних енергоефективних процесів

Таблиця 5.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Спад машинобудівного виробництва	Відсутність потреби у продукції	Переформатування роботи компанії на створення продукції для інших галузей

2	Неможливість розробити ПЗ	Поява проблеми, яку не можливо вирішити на даному етапі роботи компанії	Пошук додаткових (або нових) кадрів в компанію. Згортання поточного проекту. Відкриття нового проекту
3	Ринкова конкуренція	Стартап не витримав конкуренції на ринку і не отримав достатньої популярності для продажів	Зміна цінової політики. Покращення маркетингу, реклами продукції
4	Інфляція	Падіння платоспроможності покупців	Гнучке ціноутворення

Таблиця 5.7 Фактор можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Підтримка держави	Політика протекціонізму від держави з метою захисту національного виробника	Зайняття більшої частини ринку
2	Попит на продукт	Високий попит на продукцію на ринку	Розширення виробничих потужностей
3	Впровадження технології в уже існуючі продукти	Інтеграція продукту в більш відомі системи	Обмін технологіями

Таблиця 5.8 Аналіз конкуренції ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції: чиста	Конкуренція на рівних умовах без впливу на ситуацію на ринку	Створення переваги над конкурентами за рахунок якіснішого товару
Рівень конкурентної боротьби: регіональна	Відсутність єдиного постачальника продуктів	Індивідуальний підхід до кожного окремого сегменту
Галузева ознака: внутрішньогалузева	Конкуренція з підприємствами в межах однієї галузі	Концентрація на якісному задоволенні потреб лише декількох галузей машинобудування
Конкуренція за видами товарів: товарно-видова конкуренція	Застосування стандартизованих технологій	Використання загальноновживаних апаратних та програмних засобів
За характером конкурентних переваг: цінова	Використання доступних технологій	Гнучке ціноутворення
За інтенсивністю: немарочна	Перевага надається покращенню якості продукту, а не його маркетингу	Покращення якості продукту

Визначаємо та обґрунтовуємо фактор конкурентоспроможності (табл. 5.9) та проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції за моделлю п'яти сил М. Портера (табл. 5.10).

Таблиця 5.9 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Раціональна політика ціноутворення	
2	Сервісні послуги	Надання консультацій, навчальних уроків користування продуктом
3	Розвиток технології	Можливості для вдосконалення продукту
4	Оновлення продукту	Підтримка продукту на рівні розвитку технологій
5	Темп росту попиту	Можливість розширення компанії, збільшення об'ємів продажу
6	Рівень конкуренції	Можливість аналізу хороших і помилкових рішень на основі продуктів конкурентів

Таблиця 5.10 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Компас; Solidworks; Конкурент 3		Постачальники відсутні	Вплив на ціноутворення	Прихильність споживачів до сформованих та відомих компаній

Висновки:	Інтенсивність конкуренції – середня	Можливість входу на ринок та створення додаткової конкуренції є	Постачальники не мають впливу на ринок	Клієнти можуть вимагати зменшення ціни, збільшення функціоналу	Зменшення кількості потенційних покупців
-----------	-------------------------------------	---	--	--	--

Наступний крок – аналіз слабких та сильних сторін стартапу (табл. 5.11) на основі визначених вище факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 5.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали	Рейтингу товарів-конкурентів в порівнянні з нашим проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Раціональна політика ціноутворення	2						+	
2	Сервісні послуги	3					+		
3	Розвиток технологій	5						+	
4	Оновлення продукту	7						+	
5	Темпи росту попиту	6			+				
6	Рівень конкуренції	5			+				
7	Розширення ринку	5				+			

Кінцевий етап аналізу можливостей впровадження стартап-проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (S – Strength) та слабких (W – Weak) сторін, можливостей (O – Opportunities) та загроз (T - Troubles) (табл. 5.12).

Таблиця 5.12 SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> – новизна товару; – простота використання; – раціональна цінова політика; – сервісні послуги 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> – невідома торгова марка; – маркетинг та реклама продукту
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вдосконалення функціоналу новими додатками; – використання продукту разом із відомі САПР 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> – активність конкурентів на ринку; – нестабільна економічна ситуація в країні; – проблеми на ринку

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартапу на ринок та орієнтовний оптимальний час їх реалізації на ринку з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Альтернативи ринкового впровадження стартапу показані в табл. 5.13.

Таблиця 5.13 Альтернативи ринкового впровадження стартапу

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Попередній пошук клієнтів, для створення початкової бази клієнтів	Середня	1 рік
2	Заклучення довгострокових договорів на використання продукту з підприємцями	Висока	1 роки

З представлених альтернатив ринкової поведінки обираємо альтернативу № 2 за рахунок більш ймовірного та простого отримання ресурсу для її реалізації.

5.5. Розроблення ринкової стратегії

Першим кроком розробки ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових потенційних споживачів (табл. 5.14).

Таблиця 5.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність сприйняття продукту споживачами	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Технологи	Висока	Високий	Висока	Низька
2	Конструктори	Середня	Середня	Висока	Низька
3	Машинобудівні виробництва	Висока	Висока	Висока	Низька

На основі обраних цільових груп клієнтів визначаємо базову стратегію розвитку та охоплення ринку. Так як компанія працює в одному сегменті, то вибираємо стратегію концентрованого маркетингу.

Визначення базової стратегії розвитку наведено в табл. 5.15.

Наступний крок – вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.15 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива	Стратегія охоплення ринку	Ключові позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Бюджетність проекту	Концентрований маркетинг	Використання загальнодоступних паратних рішень	Стратегія лідерства повитратах
2	Розвиток власної торгової марки	Концентрований маркетинг	Активний розвиток та реклама власної торгової марки, продукту.	Стратегія спеціалізації

Таблиця 5.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «перпроходьцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Так	Ні	Стратегію заняття конкурентної ніші

Обираємо в якості базової стратегії конкурентної поведінки – стратегію заняття конкурентної ніші. Основним завданням при даній стратегії для компанії є постійна підтримка і розвиток власної конкурентної переваги.

Фінальним кроком розробки ринкової стратегії є розробка стратегії позиціонування (табл. 5.17). Розробка базується на формуванні ринкової позиції, за якими споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект. Розробка здійснюється на основі визначених попередньо сегментів до постачальника та до продукту (табл. 5.4), обраної базової стратегії розвитку (табл. 5.16) та стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 5.17 Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги цільової аудиторії до товару	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартапу	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позиціовласного проекту (три ключових)
1	Простота використання	Стратегія спеціалізації	Можливість користування на системах з низькою потужністю. Швидкодія роботи. Тривала підтримка продукту	Підвищення ефективності процесу пресування. Використання інформаційних технологій для моделювання процесів в обробці тиском. Доступність продукту
2	Адекватністю триманих результатів			
3	Простий, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс			
4	Простота отримання вихідних даних для моделювання			

5.6. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком розробки маркетингової програми є формування маркетингової концепції товару. В табл. 5.18 внесемо підсумовані результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі аботакі, що треба створити)
1	Технології моделювання пресування трубних заготовок	Моделювання пресування трубних заготовок. Забезпечення сталості процесу за рахунок визначення оптимальних режимів пресування. Підвищення якості продукції	Моделювання проводиться з врахуванням пресового інструменту та визначеної схеми базування

Таблиця 5.19 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
Товар за задумом	Система моделювання ТОС при розточуванні. Визначення оптимальних режимів різання.		
Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/О р
	1). Вартість	М	Вр
	Якість: стандарти, постійне обслуговування та оновлення продукту		
	Поширення через мережу Інтернет		
Товар із підкріпленням	До продажу: надання консультацій, інструкцій по користуванню		
	Після продажу: надання якісного пост-продажного сервісу		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент; захист інтелектуальної власності			

На наступному етапі розробляється трирівнева маркетингова модель товару. На цьому етапі уточнюється ідея товару, його фізичні складові, особливості процесу надання товару (табл. 5.19).

Наступний крок – визначення оптимальної системи збуту товару (табл. 5.20)

Таблиця 5.20 Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Одинична купівля продукту; купівля ліцензії на певний термін	Потребує реклами серед металообробних підприємств	Глибокий канал	Система складається з виробника, який продає товар споживачу он-лайн через веб-сайт.

Фінальний етап розробки маркетингової програми – розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 5.21).

Таблиця 4.21 Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідом- лення	Концепція рекламного звернення
Купівля одиничного товару або купівля ліцензії для тимчасового доступу до продукту	Мережа Інтернет, сайт виробника.	Позиціонування на основі демонстрації переваг продукту над конкурентними товарами	Збільшення числа покупців, обсягу продажу	Демонстрація можливостей продукту

Висновки по розділу 5

В процесі створення стартап-проекту було проведено аналіз ринкових можливостей для запуску стартап-проекту. Було встановлено технологічну можливість реалізувати даний проект. Визначено сильні та слабкі сторони стартапу, розроблено стратегії ринкового впровадження продукту, вигоду для покупців товару та було створено маркетингову програму для поширення продукту.

В якості стратегії реалізації проекту було обрано стратегію концентрованого маркетингу для окремої цільової групи на ринку, з якими взаємодіятиме стартап, а саме галузь машинобудування.

Стартап-проект є перспективним для реалізації та інвестування, але його розвиток напряму пов'язаний з розвитком машинобудівної промисловості в країні та дотичних секторів виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено комп'ютерне моделювання та експериментальні дослідження процесу прямого пресування труб конічно-ступінчастими голками. Показано, що напружений і деформований стану металу і розміри вогнища деформації при пресуванні суттєво залежать від конструкції інструмента.
2. Шляхом комп'ютерного проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу встановлені можливості для проектування і реалізації технологічного процесу пресування труб з конічно-ступінчастими голками.
3. Комп'ютерним моделюванням процесу пресування встановлено розподіл інтенсивностей напружень по стадіям пресування труб з конічно-ступінчастими голками.
4. Встановлено характер зміни зовнішніх сил, що діють на прес-шайбу, контейнер, матрицю та конічно-ступінчасту голку на початковій, основній та заключній стадіях процесу пресування труб із алюмінієвих сплавів із конічно-ступінчастою голкою.
5. Отримано розподіл нормальних та дотичних напруг на контактних поверхнях деформуючого інструменту, що визначає надійність та стійкість перебігу процесу пресування труб з конічно-ступінчастою голкою.
6. Визначено оптимальні параметри геометрії конічно-ступінчастої голки, які забезпечують зниження енергоємності процесу та покращення рівномірності закінчення металу при пресуванні труб з алюмінієвих сплавів.
7. Аналізом напруженого стану і режимів пресування заготовки намічені шляхи інтенсифікації технологічних процесів і підвищення якості виробів, а також досягнення більшої стійкості робочих пресових інструментів.