

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
«Технологічна надійність інструменту при отриманні осесиметричних
деталей поздовжньо-поперечним видавлюванням»
«Technological reliability of the tool when obtaining osesymmetrical parts by
longitudinal-transverse extrusion»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ПМ-24Мз-2
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Лагода О.М.

Керівник проекту
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

Рецензент
канд. техн. наук, доцент

_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко–технологічний

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма: «Прикладна механіка»

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

30 серпня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ за другим (магістерським) рівнем вищої освіти Лагоді

1. Тема роботи: «Технологічна надійність інструменту при отриманні осесиметричних деталей поздовжньо-поперечним видавлюванням»

2. Керівник роботи: Свяцький Володимир Вячеславович

3. Строк подання роботи до захисту: 26 грудня 2025 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: підвищення ефективності технологічних процесів холодного об'ємного штампування шляхом розроблення та впровадження нових способів комбінованого видавлювання, що забезпечують зниження енергосилових параметрів деформування.

Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; виконати моделювання процесу холодного об'ємного штампування 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
№ 4 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., канд. техн. наук, доцент	4.09.2025 р.	20.12.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2025 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	20.10.2025 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	25.11.2025 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	10.12.2025 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	20.12.2025 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	24.12.2025 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	26.12.2025 р.	

Дата видачі завдання
01 вересня 2025 р.

Підпис керівника
_____ Свяцький В. В.

Завдання прийнято до виконання
01 вересня 2025 р.

Підпис здобувача
_____ Лагода . . .

АНОТАЦІЯ

Лагода О. М. «Технологічна надійність інструменту при отриманні осесиметричних деталей поздовжньо-поперечним видавлюванням», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічних процесів холодного об'ємного штампування шляхом розроблення та впровадження нових способів комбінованого видавлювання, що забезпечують зниження енергосилових параметрів деформування.

Основним завданням машинобудівного виробництва в умовах сучасної конкуренції є забезпечення випуску високоякісної продукції за мінімальних витрат; вирішенню цього завдання сприяє впровадження ресурсозберігаючих технологій у заготівельному виробництві, зокрема технологій точного об'ємного штампування. Для цих процесів характерними є високі питомі навантаження на інструмент, а також технологічні обмеження щодо номенклатури виробів. Здійснено огляд шляхів розвитку процесів холодного видавлювання, штампів і оснащення для процесів комбінованого видавлювання; виконано дослідження силового режиму процесу комбінованого тристороннього видавлювання; здійснено моделювання поетапного видавлювання порожнистих деталей з фланцем, оцінка величини використаного ресурсу пластичності та дослідження формозміни при комбінованому тристоронньому видавлюванні.

комбіноване видавлювання, ресурс пластичності, метод кінцевих елементів, енергетичний метод, силовий режим

ANNOTATION

Oleksandr LAHODA. "Technological reliability of the tool when obtaining osesymmetrical parts by longitudinal-transverse extrusion", OPP "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The aim of the work is to enhance the efficiency of technological processes in cold bulk forming through the development and implementation of new methods for combined extrusion, which ensure a reduction in the energy-force parameters of deformation.

The primary task of machine-building production under conditions of modern competition is to ensure the output of high-quality products at minimal costs; the resolution of this task is facilitated by the implementation of resource-saving technologies in blank production, particularly technologies for precise bulk forming. These processes are characterized by high specific loads on the tooling, as well as technological constraints regarding the range of products. A review of the development pathways for cold extrusion processes, dies, and equipment for combined extrusion processes has been conducted; an investigation of the force regime in the combined three-sided extrusion process has been performed; modeling of stepwise extrusion for hollow parts with a flange has been carried out, along with an assessment of the magnitude of the utilized plasticity resource and a study of shape change during combined three-sided extrusion.

combined extrusion, plasticity resource, finite element method, energy method, force regime

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ.....	7
1.1 Шляхи розвитку процесів холодного видавлювання.....	7
1.2 Теоретичне дослідження процесів комбінованого видавлювання.....	13
1.3 Штampi і оснащення для процесів комбінованого видавлювання.....	20
2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ФЛАНЦЕМ.....	28
2.1 Дослідження силового режиму процесу комбінованого тристороннього видавлювання енергетичним методом з прямолінійними блоками.....	28
2.2 Моделювання поетапного видавлювання порожнистих деталей з фланцем	34
2.3 Оцінка величини використаного ресурсу пластичності	38
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	43
3.1 Правила безпеки при обслуговуванні ковальсько-штампувального обладнання	43
3.2 Правила пожежної безпеки в цехах штампувального виробництва	46
3.3 Засоби індивідуального захисту штампувальника.....	49

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	51
4.1. Вступ до розробки стартап-проекту	51
4.2. Опис головної ідеї стартап-проекту	52
4.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту	53
4.4. Технологічний аудит проекту	54
4.5. Аналіз ринкових можливостей запуск стартап-проекту	54
4.6. Розроблення ринкової стратегії	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

ВСТУП

Актуальність теми

Основним завданням машинобудівного виробництва в умовах сучасної конкуренції є забезпечення випуску високоякісної продукції за мінімальних витрат. Вирішенню цього завдання сприяє впровадження ресурсозберігаючих технологій у заготівельному виробництві, зокрема технологій точного об'ємного штампування. Фасонні заготовки складної форми є поширеним видом продукції у промисловості та здебільшого виготовляються поетапними методами точного об'ємного штампування, включно з процесами видавлювання.

Для цих процесів характерними є високі питомі навантаження на інструмент, а також технологічні обмеження щодо номенклатури виробів. Зменшення зусиль деформування під час простого видавлювання досягається збільшенням кількості переходів, зниженням коефіцієнта тертя та мінімізацією площі контакту інструмента із заготовкою. У зв'язку з цим дослідження, спрямовані на вдосконалення технологічних процесів холодного об'ємного штампування фасонних деталей із фланцем та відростком на основі застосування способів комбінованого тристороннього видавлювання, є безперечно актуальними.

Мета і завдання роботи

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності технологічних процесів холодного об'ємного штампування шляхом розроблення та впровадження нових способів комбінованого видавлювання, що забезпечують зниження енергосилових параметрів деформування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

Проаналізувати сучасні тенденції та напрями розвитку процесів видавлювання деталей різної конфігурації, а також методи та оснащення для холодного видавлювання.

Провести теоретичний аналіз силового режиму процесів комбінованого тристороннього видавлювання деталей із фланцем і відростком з урахуванням впливу геометричних параметрів; отримати аналітичні залежності основних енергосилових характеристик.

Виконати експериментальні дослідження технологічних режимів тристороннього видавлювання з метою перевірки адекватності математичних моделей та припущень, сформульованих у теоретичній частині; встановити можливості запропонованих технологічних схем штампування.

Розробити методики та рекомендації щодо проектування технологічних процесів комбінованого тристороннього видавлювання та конструктивного оформлення штампового оснащення.

Створити технологічні процеси точного об'ємного штампування деталей із фланцем і відростком, основані на використанні способу радіально-зворотно-прямого видавлювання.

Об'єкт дослідження

Процеси точного об'ємного штампування з використанням операцій видавлювання.

Предмет дослідження

Закономірності формозміни та технологічні режими отримання деталей із фланцем та відростком під час комбінованого тристороннього видавлювання.

Переваги процесів видавлювання

Процеси видавлювання дозволяють формувати заготовки, максимально наближені до форми та розмірів готової деталі. Завдяки цьому: коефіцієнт використання металу може досягати 0,98; обсяг механічної обробки значно скорочується або повністю відпадає; забезпечується можливість отримання порожнистих і суцільних заготовок складної симетричної та асиметричної конфігурації; зовнішні та внутрішні поверхні можуть мати циліндричну, багатогранну, шліцьову чи зубчасту форму [2].

Обмеження та проблеми процесів холодного штампування

Попри численні переваги, холодне об'ємне штампування має й низку технологічних обмежень. До ключових належать: високий опір пластичній деформації металу за кімнатної температури; низька пластичність більшості металів у холодному стані; інтенсивне деформаційне зміцнення, що призводить до зростання питомих зусиль деформування; підвищене навантаження на інструмент, яке спричиняє його прискорений знос.

Класифікація формозмінних операцій

Для найбільш повного уявлення про механізм формоутворення заготовок у холодному об'ємному штампуванні використовують класифікацію за кінематикою відносного руху металу та інструменту. За цим критерієм операції поділяють на:

Прості операції. У цих процесах напрям переміщення металу однозначно визначається кінематикою руху інструменту. Метал може деформуватися лише в одному напрямку.

Комбіновані операції. Метал має дві або більше ступенів свободи течії. Такі операції дозволяють отримувати складні фасонні деталі завдяки варіативності напрямків деформування.

Прості операції додатково поділяють на:

відкриті (вільні) – переміщення металу не обмежене бічними поверхнями інструмента, форма деталі визначається анізотропією металу, тертям та правилом найменшого опору;

закриті – радіальні переміщення металу обмежені стінками інструмента; в багатьох процесах етап відкритої деформації плавно переходить у закриту схему течії металу.

Серед простих процесів холодного об'ємного штампування виокремлюють чотири основні способи видавлювання, що відрізняються схемами напружено-деформованого стану та областями їх практичного застосування. У роботі [3] наведено таблицю структурно-морфологічного аналізу та базові принципові схеми поздовжнього, поперечного та комбінованого видавлювання.

Пряме видавлювання

При прямому видавлюванні (рис. 1.1, а) течія металу відбувається у напрямку прикладання зусилля та збігається з напрямком руху пуансона. Цей спосіб застосовується для виготовлення стрижневих деталей з фланцями, а також трубчастих або стаканних заготовок з фланцями чи без них, якщо операція здійснюється «на прохід».

Зворотне видавлювання

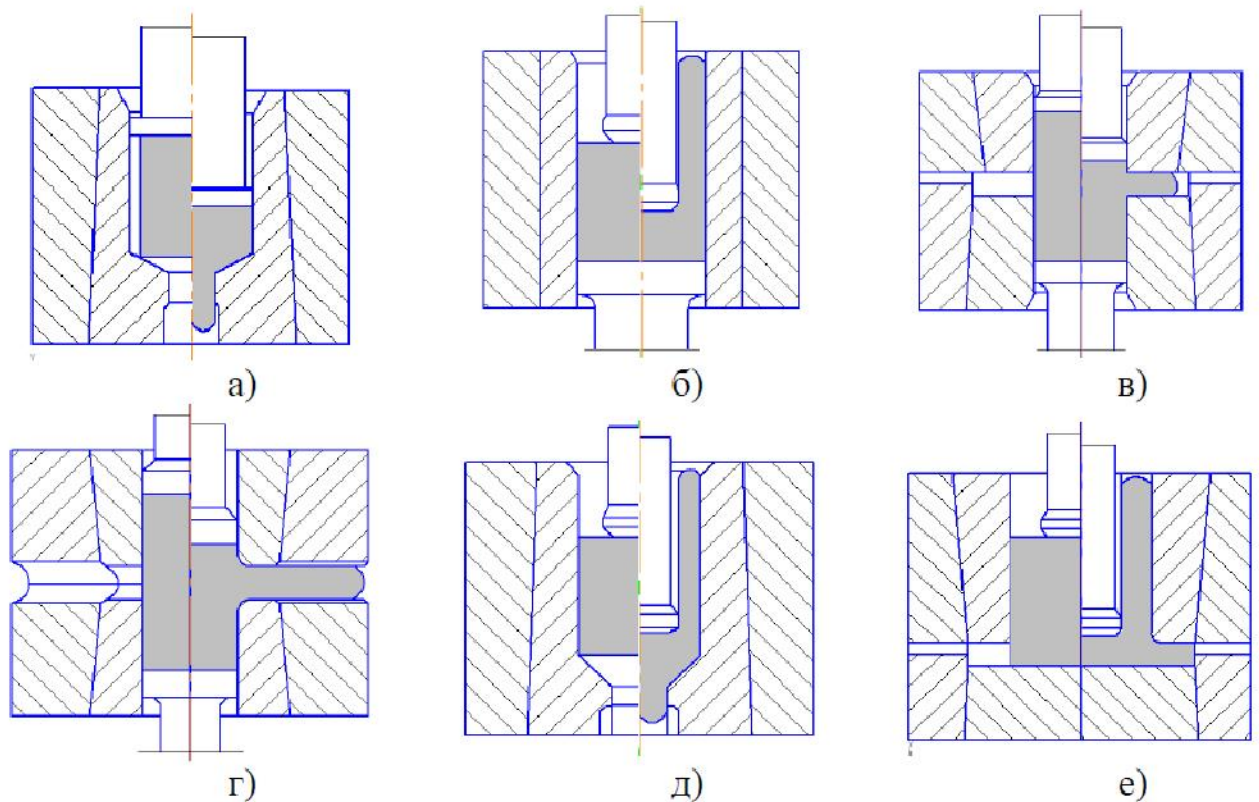
У разі зворотного видавлювання (рис. 1.1, б) течія металу відбувається у напрямку, протилежному руху пуансона. Даний спосіб дозволяє отримувати заготовки типу стаканів, коробчастих елементів та інших порожнистих деталей.

Поперечне видавлювання

Спосіб поперечного (бічного або радіального) видавлювання характеризується тим, що метал переміщується у напрямку, перпендикулярному до руху пуансона. Його поділяють на два різновиди:

Поперечне радіальне видавлювання – метал переміщується в кругову порожнину (рис. 1.1, в), що приводить до утворення осесиметричних деталей із локальними потовщеннями, зокрема фланцями.

Бічне видавлювання – течія металу відбувається в одну або кілька канальних порожнин, у результаті чого формуються деталі з відростками різної конфігурації (рис. 1.1, г) [4].



а – пряме; б – зворотне; в – поперечне (радіальне); г – поперечне (бічне); д - комбіноване (зворотно-пряме); е – комбіноване (радіально-зворотне)

Рисунок 1.1 - Способи холодного видавлювання

Розширення технологічних можливостей процесів холодного видавлювання може бути досягнуто шляхом зміни типу середовища, що забезпечує навантаження, а також шляхом модифікації схем прикладання деформуючих сил. Основним напрямом інтенсифікації процесів холодної об'ємно-пластичної течії є регулювання сил контактного тертя (зокрема шляхом застосування мастил оптимальної в'язкості), формування сприятливого напружено-деформованого стану та вибір енергетично раціональних схем формозміни деталей.

Важливим резервом удосконалення технології холодного об'ємного штампування є створення процесів, які дозволяють значно зменшити силові параметри деформування. Це можливо за рахунок цілеспрямованого регулювання кінематики течії металу та його напруженого стану в порожнині штампа – як у рамках традиційних схем холодного штампування, так і у поєднанні з процесами, що забезпечують примусову локалізацію осередку деформації [5].

Подальше розширення номенклатури штампованих деталей і сфери застосування видавлювання пов'язане з дослідженням процесів, які поєднують пряме, зворотне та поперечне видавлювання. Для реалізації процесів штампування складних фасонних заготовок необхідно розробляти та впроваджувати комбіновані процеси, що дозволяють регулювати кінематику течії металу й напружений стан у штампі шляхом використання спеціальних інструментальних схем і пристроїв.

Комбіноване поздовжньо-поперечне видавлювання суцільної заготовки характеризується різноманіттям можливих технологічних варіантів. Процеси поперечно-прямого видавлювання відзначаються ще більшою варіативністю комбінацій простих схем, що дозволяє отримувати заготовки значної конструктивної складності. Поперечно-пряме видавлювання може здійснюватися за схемами суміщеного деформування (коли течія металу відбувається одночасно у кількох напрямках) або за схемами послідовного

деформування (із поділом осередків деформації в просторі або часі). На рис. 1.2 верхній ряд ілюструє схеми суміщеного, а нижній – схеми послідовного комбінованого видавлювання.

Для поєднаних процесів, що містять елемент прямого видавлювання, характерним є те, що напрямки інтенсивної течії металу розділяються вже на початку деформування. Це обмежує максимально можливий ступінь деформації матеріалу [14].

На рис. 1.3 наведено приклади технологічних рішень, що відображають основні напрями вдосконалення традиційних схем поздовжнього видавлювання порожнистих деталей.

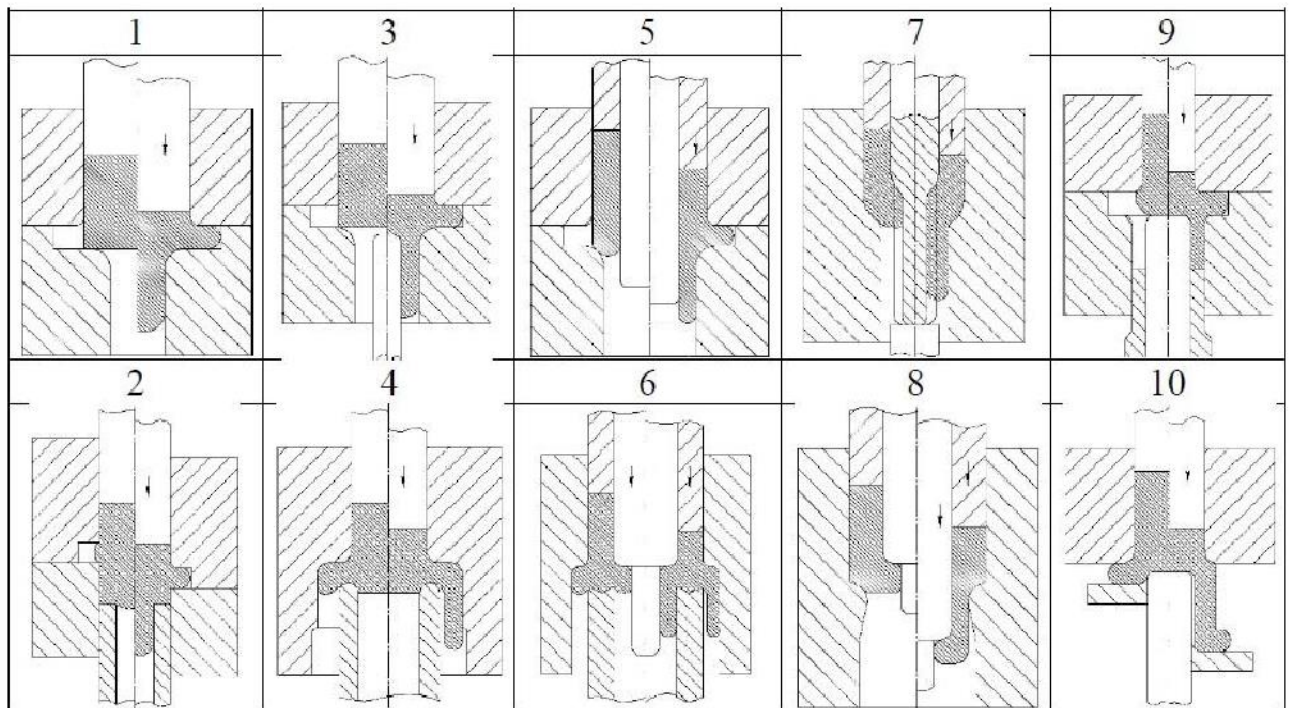


Рисунок 1.2 - Класифікація технологічних схем поперечно- прямого видавлювання

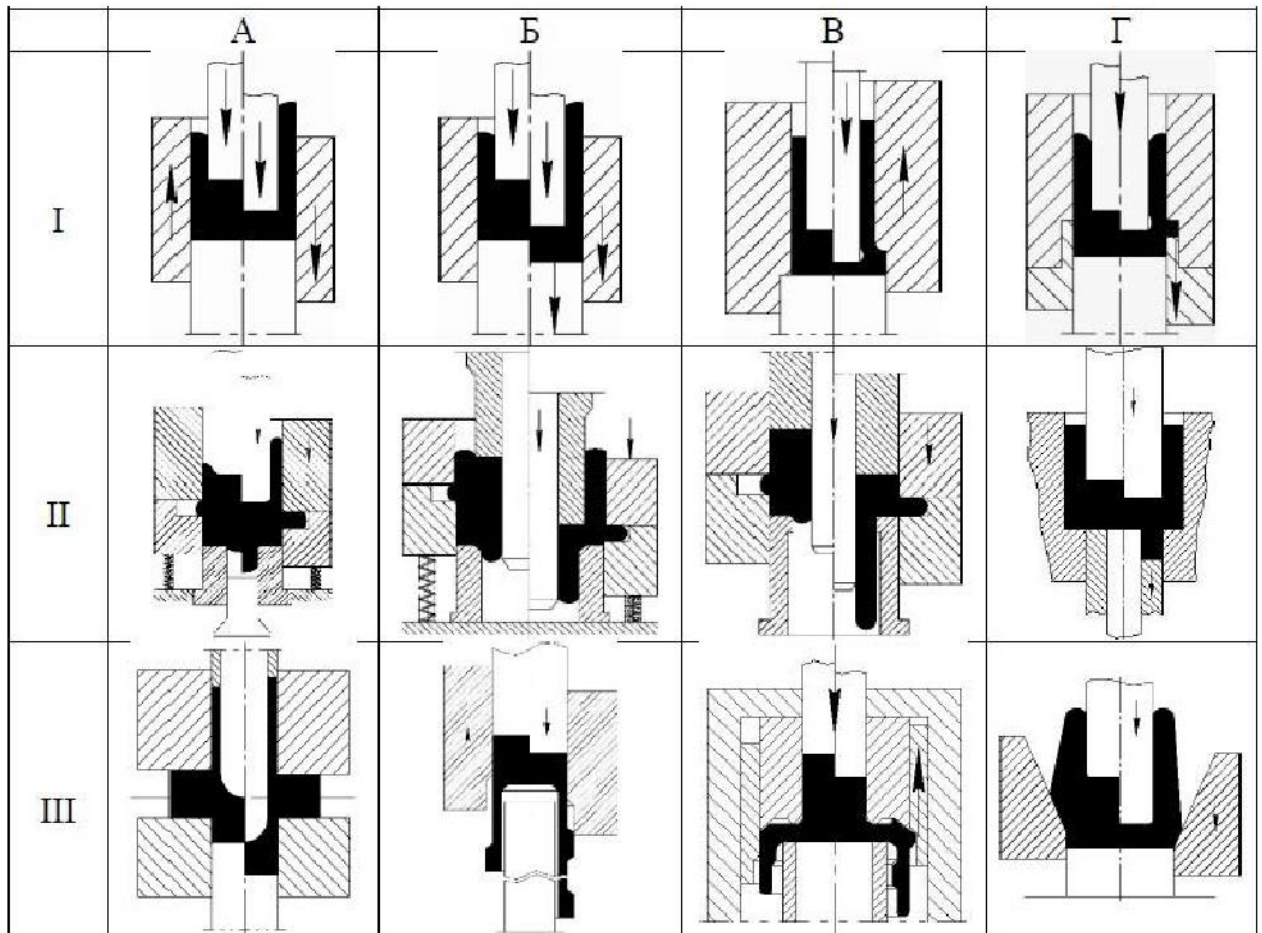


Рисунок 1.3 - Способи видавлювання порожнистих деталей

1.2 Теоретичне дослідження процесів комбінованого видавлювання

Аналіз наукових джерел і виробничого досвіду застосування методів холодного об'ємного штампування сталевих заготовок свідчить, що якість готових виробів формується під впливом комплексу взаємопов'язаних показників. Ці характеристики доцільно згрупувати у чотири основні категорії:

механічні властивості та структура металу, що визначають міцність, пластичність і можливість отримання рівномірної деформації;

геометричні параметри, до яких належать точність розмірів, форма та відповідність геометрії вимогам креслення;

показники якості поверхні, включно зі шорсткістю, відсутністю дефектів та рівномірністю структури поверхневого шару;

залишкові напруження, що впливають на експлуатаційну надійність і довговічність виробу.

Одним із перспективних, однак недостатньо вивчених напрямів холодного об'ємного штампування є комбіновані процеси видавлювання, зокрема комбіноване радіально-пряме видавлювання (рис. 1.4). Порівняно з ним, процес радіально-зворотного видавлювання отримав істотно ширше промислове застосування, що пояснюється його технологічною надійністю та можливістю ефективного формування порожнистих деталей складної конфігурації.

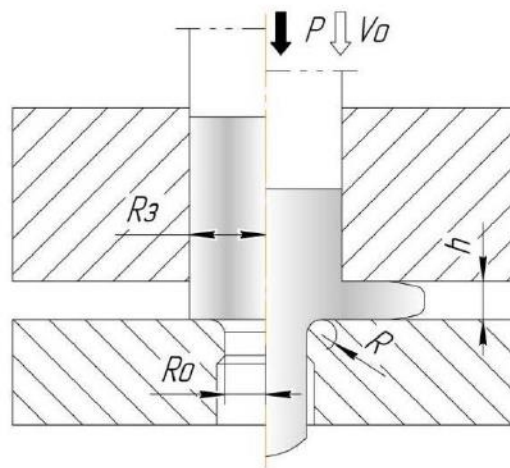


Рисунок 1.4 - Схема комбінованого радіально-прямого видавлювання

У процесі дослідження силових характеристик комбінованого видавлювання стрижневих деталей із фланцем було встановлено, що радіально-зворотне видавлювання має низку технологічних обмежень. До них належать значні енергетичні витрати, обмежена придатність процесу переважно для виготовлення порожнистих деталей, а також підвищена ймовірність формування дефектів. У зв'язку з цим виникла потреба у дослідженні можливостей радіально-прямого видавлювання для формування виробів із фланцем [6].

Застосування методу кінцевих елементів для моделювання процесу комбінованого видавлювання деталі з фланцем дало змогу встановити розташування осередку деформації та визначити величини логарифмічних ступенів деформації у різних зонах заготовки. Отримані результати свідчать, що: зі збільшенням відносного радіуса закруглення матриці R та відносної висоти фланця h значення приведенного тиску зменшується; збільшення відносної величини плеча b призводить до зростання приведенного тиску.

До перспективних способів штампування порожнистих деталей типу стакану з фланцем, які забезпечують зниження величини зусилля видавлювання порівняно з традиційними поздовжніми та поперечними схемами, належить комбіноване радіально-зворотне видавлювання. Зменшення силового навантаження в цьому процесі зумовлене появою додаткових напрямків течії металу та більш раціональним розподілом напружено-деформованого стану.

Однак застосування комбінованих схем може супроводжуватися формуванням специфічних дефектів. Зокрема: під час інтенсивної течії металу у вертикальному напрямку можлива поява вертикальної утяжини у зоні дна стакану; за умови підвищеної течії металу у зону фланця може виникати радіальна утяжина або неприлягання фланця до поверхні інструмента [7]. Ці фактори необхідно враховувати при проектуванні технологічних схем та виборі параметрів штампування, особливо для деталей складної конфігурації.

Дослідженням було визначено закономірності формозміни деталі під час комбінованого радіально-зворотного видавлювання. Виявлено, що усадка в нижній частині деталі виникає на заключній стадії видавлювання, коли радіальний потік металу практично відсутній, а основна маса металу заготовки переміщується вертикально вгору. Крім того, встановлено вплив розмірів комірки деформації при радіально-зворотному видавлюванні на енергосилові характеристики.

Перевагами методу балансу потужностей для теоретичного вивчення комбінованого процесу радіального та зворотного видавлювання в конічній матриці є наочність, швидкість, можливість ефективного використання комп'ютерних засобів, а також застосування експериментальних даних для уточнення граничних умов, кінематичних полів швидкостей, розмірів і форм зон інтенсивної деформації (див. рис. 1.5).

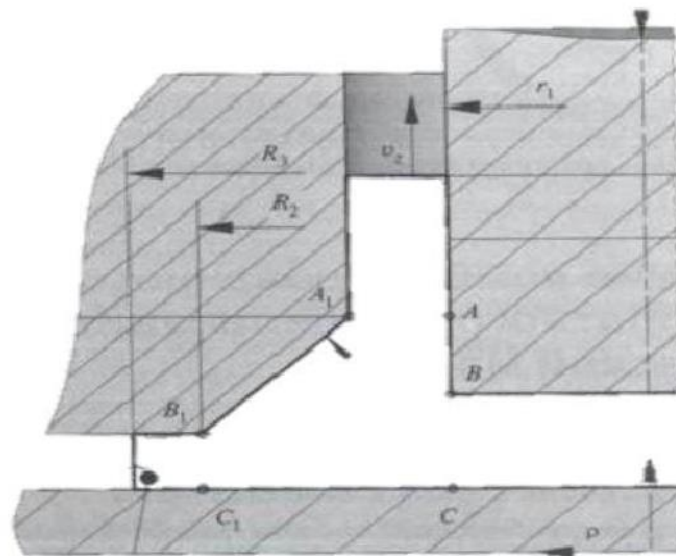


Рисунок 1.5 - Ескіз конічної матриці для радіально-зворотного видавлювання

Попередні експериментальні дослідження продемонстрували, що в процесі видавлювання поперечний переріз заготовки можна поділити на характерні зони з різними швидкостями течії металу [8].

Типовим недоліком комбінованого видавлювання з протитиском є нестабільність швидкостей течії матеріалу в різних напрямках. У промисловому виробництві це призводить до необхідності встановлення значних припусків на обрізку технологом, а в разі їх невиконання деталей вважається безповоротним браком, що істотно знижує коефіцієнт використання металу.

Для запобігання утворенню дефектів у комбінованому прямому-

зворотному холодному видавлюванні поршня було розроблено новий технологічний процес (див. рис. 1.6). Це дослідження пропонує інноваційні процеси, здатні усунути дефекти шляхом видалення мертвих зон металу. Сутність дослідження полягає в тому, що для запобігання дефектам необхідно модифікувати структуру матриці та забезпечити рух у осьовому напрямку видавлювання в контейнері, аби досягти одночасного заповнення та ліквідації дефекту.

Штампувальні характеристики радіально-прямого видавлювання залежать від таких конструктивних параметрів, як діаметр оправки, радіус матриці та коефіцієнт тертя (див. рис. 1.9). Для підтвердження достовірності дослідження результати моделювання, проведеного за ідентичних умов, порівнюються з експериментальними даними щодо формування навантаження.

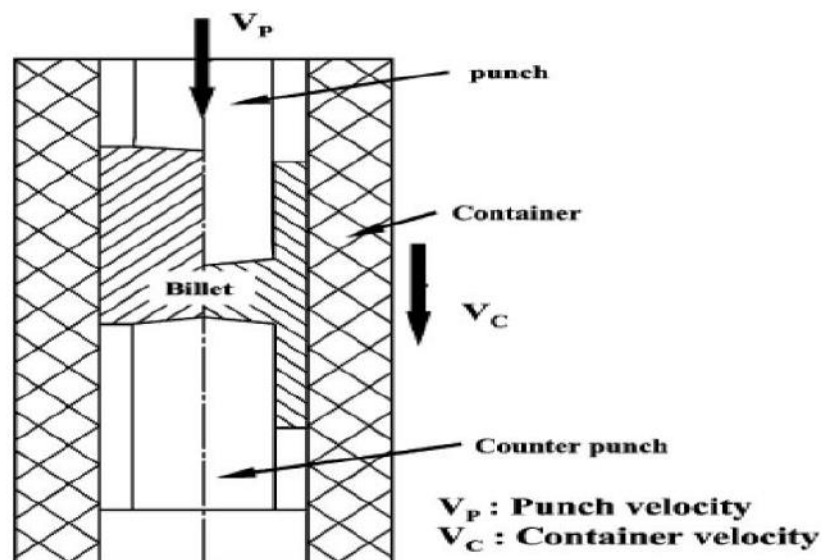


Рисунок 1.6 - Процес прямо-зворотного видавлювання поршня

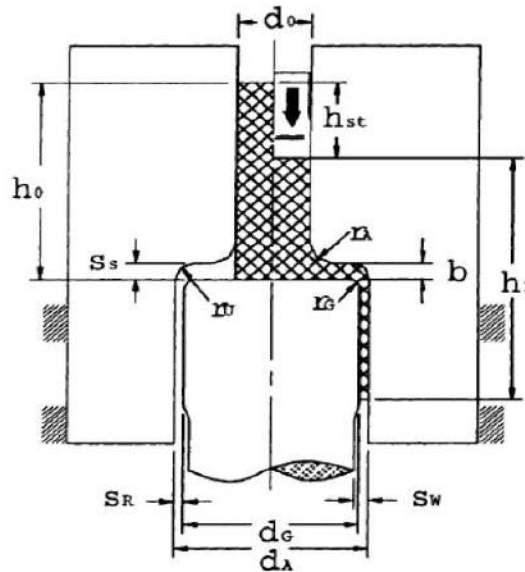


Рисунок 1.9 - Геометрія матриці, що використовується під час аналізу

Методом верхньої оцінки несиметричних процесів комбінованого вичавлювання проводився аналіз полів швидкостей, які визначають штампувальні навантаження, довжину, що видавлюється, і швидкість розподілу металу по ходу течії в процесі комбінованого видавлювання (рис. 1.10).

Аналітичний підхід для радіально-прямого процесу видавлювання використовується для отримання сумарної деформації, яка досягається в компоненті при радіальному видавлюванні. Аналіз ґрунтується на визначенні компонентів полів швидкостей та швидкостях деформації (рис. 1.11). Визначається тиск видавлювання у радіальному напрямку у вигляді функції властивостей матеріалу та конструктивних параметрів. Використовуючи метод верхньої оцінки, аналіз підтверджується ґрунтуючись на експериментальних даних [9].

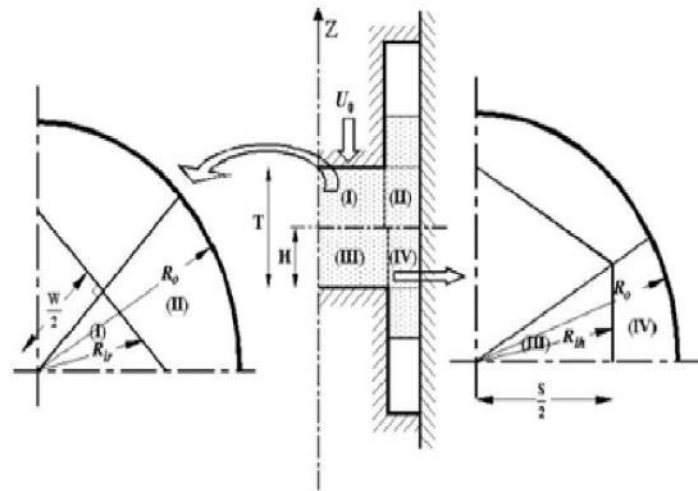


Рисунок 1.10 - Поле швидкостей при видавлюванні

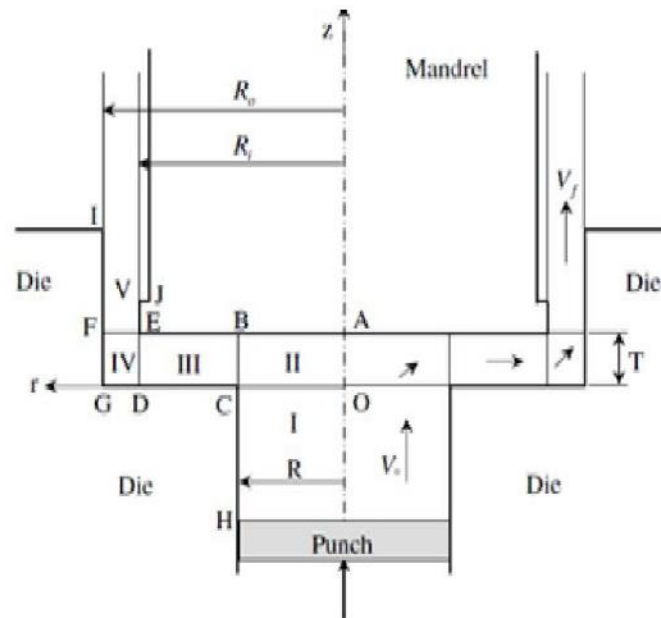


Рисунок 1.11 - Поля швидкостей при радіально-прямому видавлюванні

Окрім чисельного моделювання процесу комбінованого видавлювання, виконуються розрахунки для процесів прямого та зворотного видавлювання (див. рис. 1.12). На базі енергетичного методу створено математичну модель комбінованого видавлювання, яка дає змогу обчислити енергосилові характеристики процесу як функції ключових параметрів. У рамках вивчення комбінованого двостороннього видавлювання, а також аналізу прямого та зворотного видавлювання для шестикутних і трохоїдально-подібних

скручених болтів, передбачено поділ процесу видавлювання на два етапи. На першому етапі осесиметричне пряме видавлювання та неосесиметричне зворотне видавлювання відбуваються паралельно, аж до завершення зворотного видавлювання інвертованого заглиблення. На другому етапі здійснюється виключно трубчастий процес прямого видавлювання. Запропоновано нові кінематично припустимі поля швидкостей для оцінки формувального зусилля, довжини видавленої частини та характеру деформації залежно від ходу пуансона.

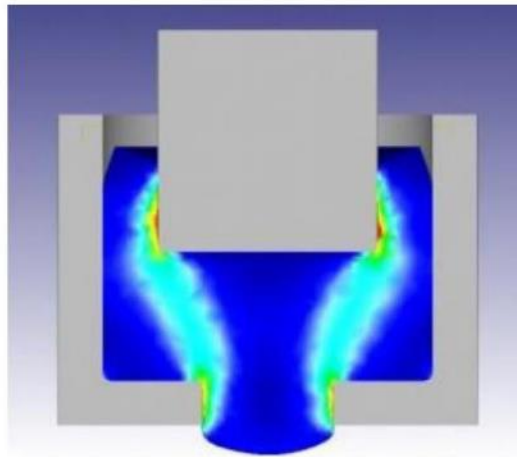


Рисунок 1.12 - Схема циклічного комбінованого видавлювання

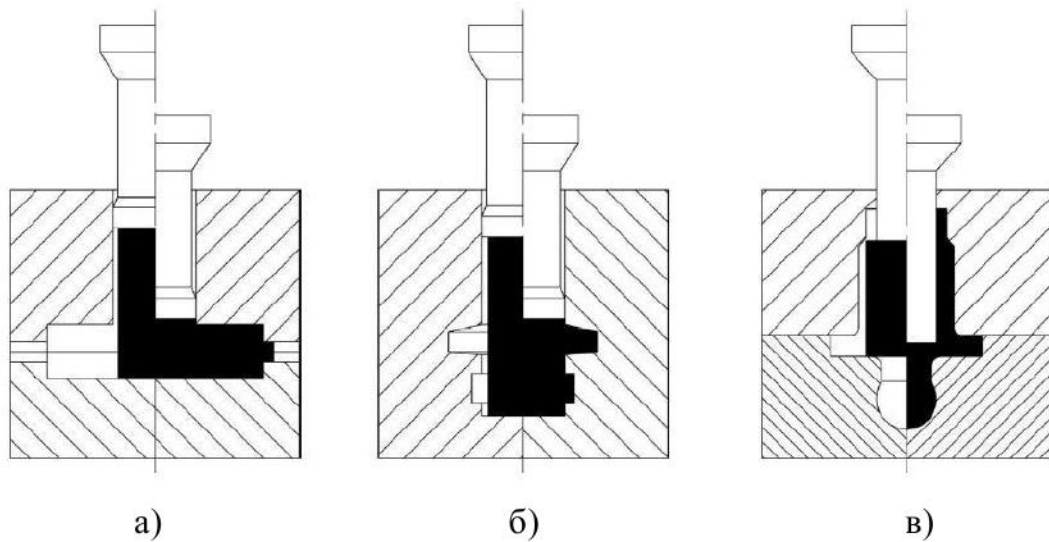
1.3 Штампи і оснащення для процесів комбінованого видавлювання

Стабільність і ефективність процесу видавлювання значною мірою визначаються конструкцією застосовуваного штампа.

Штампи з роз'ємними матрицями, які є необхідними для поперечного та комбінованого видавлювання, недостатньо поширені через складність їхньої конструкції, а також через брак рекомендацій щодо вибору та проектування. Водночас приклади впровадження таких штампів вказують на їхню перспективність і конкурентоспроможність [10].

Завдяки посиленню процесів формозміни, що призводить до

скорочення кількості штампувальних операцій, використання штампів з роз'ємною матрицею є вигідним навіть для осесиметричних поволок простої форми (див. рис. 1.13).



а)

б)

в)

а - поперечний; б - подовжній; в - змішаний

Рисунок 1.13 - Основні варіанти роз'єму матриці

Штампи з подовжнім роз'ємом напівматриць широко застосовуються у гарячому об'ємному штампуванні, зокрема на гвинтових пресах, тоді як штампи з поперечним роз'ємом напівматриць переважно використовують у маловідходних процесах штампування складнопрофільованих деталей. Такі штампи можуть мати одну або декілька поверхонь роз'єму, розташованих на різних рівнях і з різною просторовою орієнтацією.

Конструктивною особливістю штампів для поперечного видавлювання у роз'ємних матрицях є необхідність забезпечення надійного замикання складових матриці зусиллям, яке гарантовано перевищує зусилля розпору порожнини, що виникає під дією деформованого металу [11]. Традиційним способом вирішення цього завдання є жорстке замикання напівматриць, яке забезпечує стабільність геометричних розмірів штампованих виробів.

Нові конструктивні рішення штампів, розроблені на основі систематизації технологічних завдань, підтвердили можливість істотного

розширення технологічних можливостей процесів штампування без суттєвого ускладнення оснастки. З усього різноманіття існуючих і потенційно можливих схем штампів із роз'ємними матрицями можна виокремити окремі групи, що відрізняються положенням роз'ємної матриці та площини роз'єму, кількістю площин роз'єму, реалізованою кінематичною схемою та ступенем рухливості матриці. Додатковими класифікаційними ознаками можуть слугувати принцип дії системи замикання роз'ємної матриці, характер замикання силової системи та особливості формування силового режиму.

Положення площини роз'єму напівматриць має істотне значення для конструктивного виконання затискного вузла штампа. Разом із тим, серед усього різноманіття конструкцій можна виділити низку загальних типів затискних пристроїв [12]:

пристрої з активним затискачем;

пристрої з реактивним затискачем;

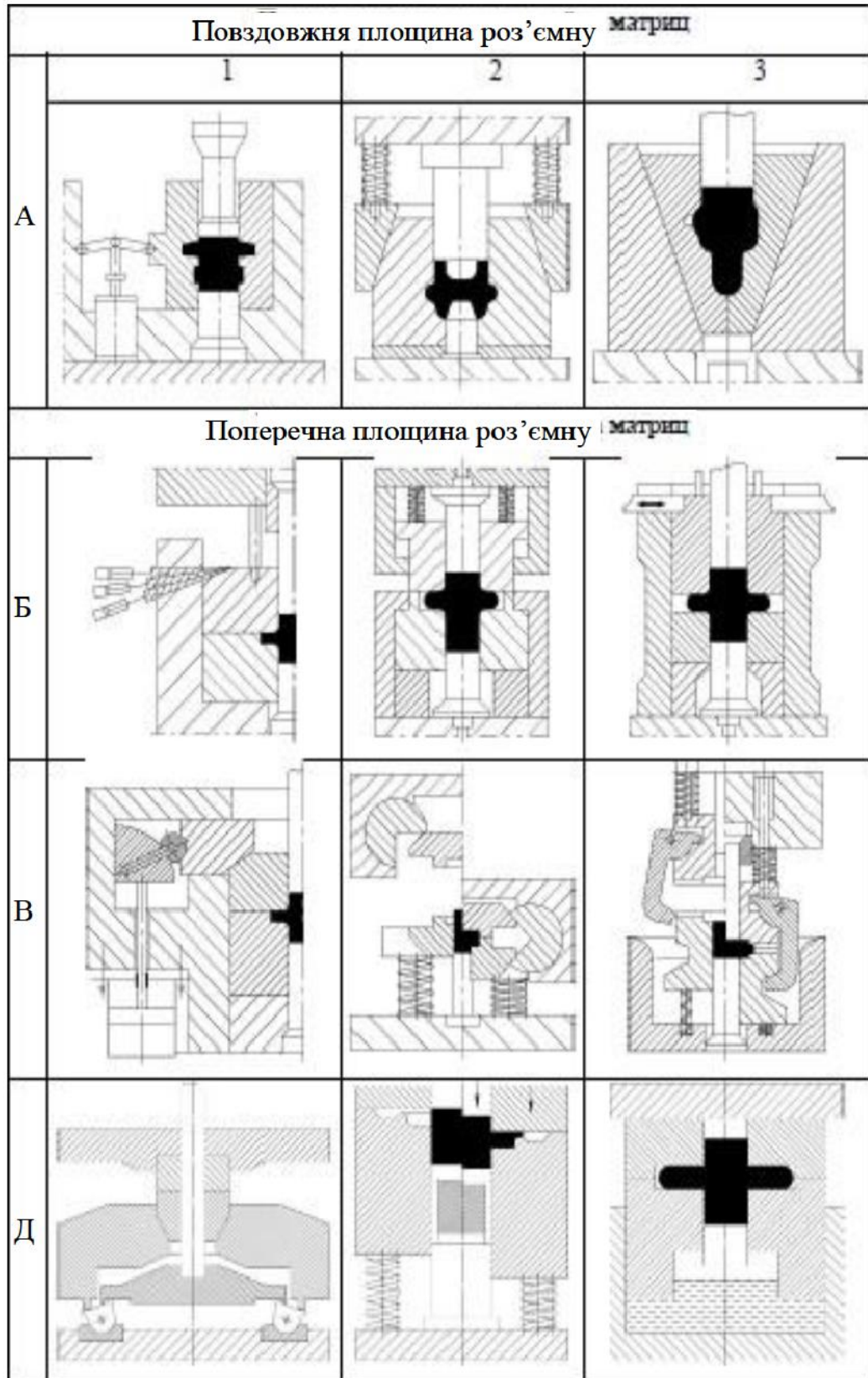
пристрої з пасивним затискачем.

Пристрої з активним затискачем застосовують для замикання та утримання напівматриць у зімкнутому стані за допомогою додаткових механізмів з автономним приводом. До таких рішень належить, зокрема, оригінальний клиновий механізм зі змінним кутом розкриття (табл. 1.1, схема В2). Для штампів із поздовжньою площиною роз'єму характерним є використання проміжних, найчастіше важільних механізмів з автономним приводом (табл. 1.1, схеми А1, В1). У штампах із поперечною площиною роз'єму, як правило, застосовують клинові або кулачково-клинові приводні пристрої затискання напівматриць (табл. 1.1, схеми Б1, В1).

Характерною особливістю пристроїв з активним затискачем є відсутність передавання зусилля розкриття матриць на повзун преса, оскільки воно повністю сприймається замикаючим механізмом. Водночас недоліком таких систем є необхідність застосування додаткового приводу,

що ускладнює конструкцію та налагодження штампа, потребує використання спеціальних приводних пристроїв для виконавчих органів замикання та узгодження їх переміщень у процесі роботи.

Таблиця 1.1 - Конструкції замикаючих пристроїв



Характерною особливістю пристроїв з реактивним затискачем (табл. 1.1, Б2) є повна або часткова передача зусилля розкриття напівматриць на повзун преса. До найпростіших конструкцій цього типу належать пружинні та гідравлічні буферні пристрої, у яких усе зусилля розкриття сприймається повзуном преса. Це, у свою чергу, зумовлює необхідність застосування пресів значно більшої потужності, ніж та, що безпосередньо потрібна для процесу деформування.

У групі штампів із поздовжньою площиною роз'єму напівматриць типовими представниками пристроїв з реактивним затискачем є конструкції з конічною підпружиненою запірною обоймою, а також пристрої, що реалізують принцип самозатиску напівматриць (табл. 1.1, А2, А3). Для штампів із поперечною площиною роз'єму характерним є застосування буферно-пружинних затискачів (табл. 1.1, Б2).

Суттєве зростання зусилля розкриття наприкінці робочого ходу негативно впливає на працездатність штампа та може призводити до заклинювання преса. Відповідно до запропонованої класифікації, штампи з буферним затискачем належать до групи пристроїв із наростаючим зусиллям розкриття. Натомість схема, наведена в табл. 1.1, А2, відноситься до групи пристроїв зі зниженням зусилля розкриття. Досить широке застосування отримали пристрої самозатиску матриць важільного типу, а також конструкції, у яких блок роз'ємних матриць розміщується в контейнері з конічною порожниною (табл. 1.1, А3).

У пристроях з пасивним затискачем зусилля розкриття напівматриць замикаються безпосередньо в штамповому блоці, унаслідок чого вони не передаються ані на повзун преса, ані на додаткові привідні механізми. Найбільшого поширення такі схеми набули в штампах із поперечною площиною роз'єму. Серед характерних конструктивних рішень слід відзначити ригельні затискачі (табл. 1.1, Б3), автоматично замикаючі кулачкові пристрої (табл. 1.1, В2), а також затискачі з поворотною скобою,

що забезпечують автоматичне замикання та розмикання (табл. 1.1, В3). Застосування пристроїв цього типу дає змогу використовувати штампи на будь-яких універсальних пресах, однак до їх недоліків слід віднести ускладнення процесу розмикання замикаючих елементів [13].

У пристроях із компаундним затискачем реалізується принцип використання технологічного зусилля деформування для замикання напівматриць. Подібні пристрої та відповідні технологічні схеми деформування мають обмежене поширення. Серед відомих рішень можна виокремити конструкції, у яких затиск здійснюється силами тертя (табл. 1.1, Д2), а також схеми, де співвідношення між зусиллям розкриття та технологічним зусиллям визначається особливостями конструктивного виконання затискача (табл. 1.1, Д1, Д3).

Штамп для комбінованого видавлювання стакану з фланцем містить пуансон (рис. 1.14), протипуансон, матрицю, контейнер, верхню та нижню плити. Додатково конструкція включає центрувальні штифти для орієнтації заготовки відносно верхньої напівматриці, а також систему важелів і притиск. Зазначений штамп призначений переважно для експериментальної оцінки процесів формозміни металу. Він не забезпечує достатньої точності встановлення заготовки відносно матриці та не придатний для великосерійного виробництва через інтенсивне зношування пружного елемента конструкції [14].

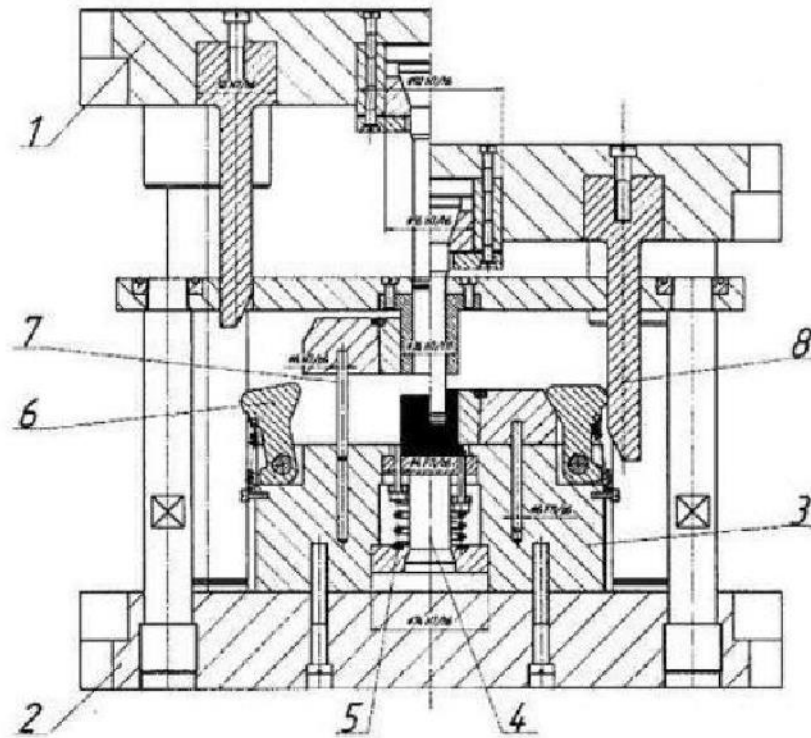


Рисунок 1.14 - Штамп для комбінованого видавлювання

Штамп для холодного зворотного видавлювання (рис. 1.15) функціонує за такою схемою. Під час робочого ходу повзуна преса вниз відбувається входження напрямної частини пуансона в порожнину матриці, що забезпечує самоналагодження та центрування плаваючого пуансона.

При зворотному ході повзуна преса здійснюється вихід пуансона з матриці, що є необхідною умовою для подальшого видалення відштампованої поковки з порожнини матриці шляхом її виштовхування. Зазначена особливість конструкції зумовлює необхідність передбачення технологічного зазору між напрямною частиною пуансона та матрицею. Величина цього зазору має гарантувати відсутність їхнього контакту під час входження пуансона в матрицю на початковій стадії робочого ходу повзуна преса.

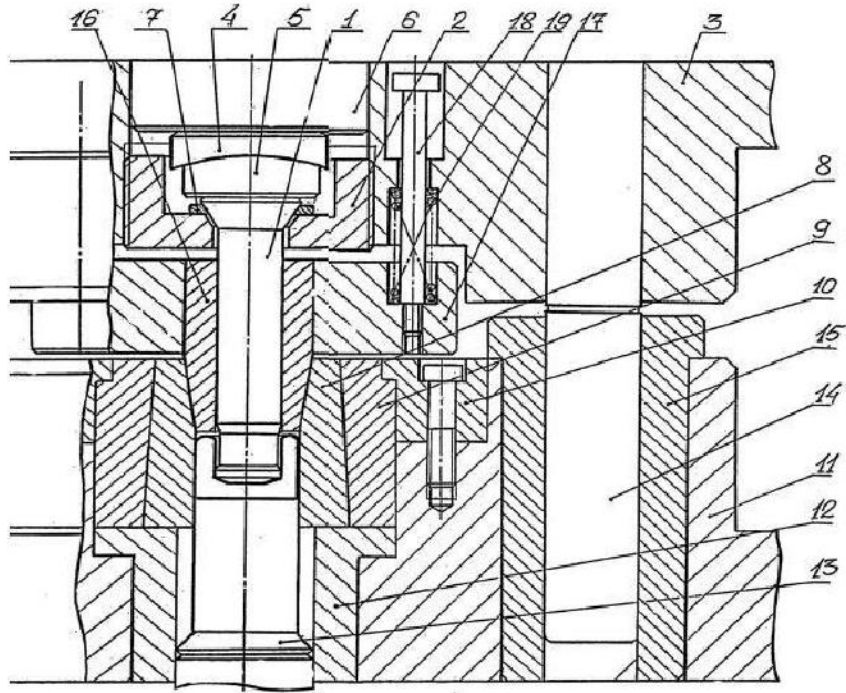


Рисунок 1.15 - Штамп для холодного зворотного видавлювання

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ФЛАНЦЕМ

2.1 Дослідження силового режиму процесу комбінованого тристороннього видавлювання енергетичним методом з прямолінійними блоками

Для аналізу силового режиму деформування при комбінованому тристоронньому видавлюванні використовуємо енергетичний метод [15]. Об'єм металу, що деформується, умовно розбиваємо на низку кінематично-елементарних зон (рис. 2.1). Приймаємо, що деформований матеріал жорстко-пластичний та незміцнюваний ($\sigma_i = \sigma_s$).

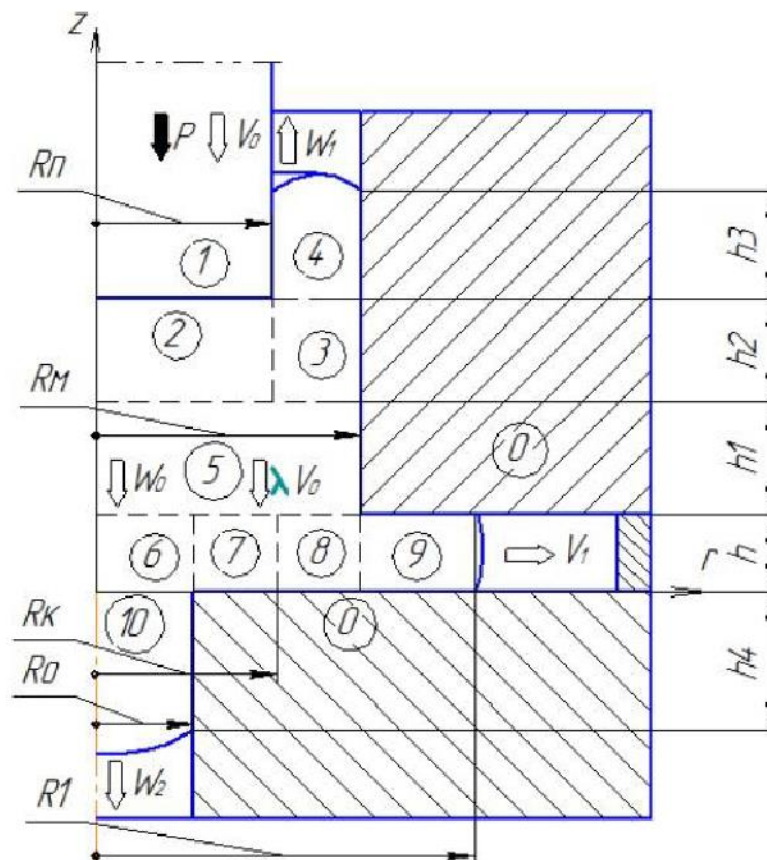


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема комбінованого тристороннього видавлювання

При комбінованому тристоронньому видавлюванні спостерігається наявність двох осередків деформації з жорсткою зоною між ними, яка врівноважується показником, що залежить від геометричних параметрів і ступеня деформації λ . Верхній осередок деформації, сформований зворотною течією матеріалу, а нижній осередок деформації - радіально-прямою течією [16]. Особливістю радіально-прямого видавлювання є наявність межі поділу течії матеріалу у двох напрямках, яка описується параметром, що варіюється - радіусом R_k .

Розрахунок ведемо для кожного осередку окремо наприкінці приводячи до загального рівняння балансу потужностей. Для верхнього осередку деформації зону 5 приймаємо жорсткою, а для нижнього осередку деформації – як вхідну зону зі швидкістю переміщення – W_0 . Встановлюємо граничні умови всім елементарних зон.

Кінематичні граничні умови для зон в осередках деформації представлені у табл. 2.1. Кінематично можливі поля швидкостей для осесиметричної задачі у загальному вигляді мають вид

$$v_z = c_1 \cdot z + c_2$$

$$v_r = -\frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot r + \frac{c_3}{r},$$

де c_1, c_2, c_3 – постійні, що знаходяться із обумовлених кінематичних граничних умов.

Отримані кінематично можливі поля швидкостей для цієї схеми представлені в табл. 2.2.

$$\dot{\epsilon}_i = \sqrt{\frac{2}{3}(\dot{\epsilon}_r^2 + \dot{\epsilon}_\theta^2 + \dot{\epsilon}_z^2) + \frac{1}{2}\dot{\gamma}_{rz}^2},$$

Для розрахунку компонентів швидкостей та інтенсивності швидкостей деформацій використовуємо рівняння

$$\dot{\epsilon}_z = \frac{dV_z}{dz}, \quad \dot{\epsilon}_r = \frac{dV_r}{dr}, \quad \dot{\epsilon}_\theta = \frac{V_r}{r}, \quad \dot{\gamma}_{rz} = \frac{dV_r}{dz} + \frac{dV_z}{dr}.$$

Таблиця 2.1 - Кінематичні граничні умови для осередків деформації

Зона	Координата	Скорість
2	$z = h + h_1$	$v_z = 0$
	$z = h + h_1 + h_2$	$v_z = -V_0$
	$r = R_n$	$v_r = \frac{V_0 \cdot R_n}{2h_2}$
3	$z = h + h_1$	$v_z = 0$
	$z = h + h_1 + h_2$	$v_z = W_1 = \frac{-R_n^2 \cdot V_0}{(R_n^2 - R_m^2)}$
	$r = R_n$	$v_r = \frac{V_0 \cdot R_n}{2h_2}$
	$r = R_m$	$v_r = 0$
6	$z = h$	$v_z = -W_0$
	$z = 0$	$v_z = -W_2 = -\frac{W_0 \cdot R_0^2}{R_0^2}$
	$r = R_0$	$v_r = \frac{W_0 \cdot (R_n^2 - R_0^2)}{2 \cdot R_0 \cdot h}$
7	$z = h$	$v_z = -W_0$
	$r = R_0$	$v_r = \frac{W_0 \cdot (R_n^2 - R_0^2)}{2 \cdot R_0 \cdot h}$
	$r = R_n$	$v_r = 0$
8	$z = h$	$v_z = -W_0$
	$r = R_n$	$v_r = 0$
	$r = R_m$	$v_r = \frac{W_0 \cdot (R_m^2 - R_n^2)}{2 \cdot R_m \cdot h}$
9	$z = h$	$v_z = 0$
	$r = R_m$	$v_r = \frac{W_0 \cdot (R_m^2 - R_n^2)}{2 \cdot R_m \cdot h}$
	$r = R_1$	$v_r = V_1 = \frac{W_0 \cdot (R_m^2 - R_n^2)}{2 \cdot R_1 \cdot h}$

Таблиця 2.2 - Кінематично можливі поля швидкостей для осередків деформації

Зона	v_z	v_r
2	$-\frac{V_0}{h_2} \cdot z + \frac{V_0 \cdot (h_1 + h)}{h_2}$	$\frac{V_0}{2 \cdot h_2} \cdot r$
3	$\frac{V_0}{h_2} \cdot \frac{R_n^2}{(R_M^2 - R_n^2)} \cdot (z - h_1 + h)$	$\frac{V_0}{2 \cdot h_2} \cdot \frac{R_n^2}{(R_M^2 - R_n^2)} \cdot \left(\frac{R_M^2}{r} - r \right)$
6	$-\frac{W_0}{h} \cdot z + \frac{W_0 \cdot (R_K^2 - R_0^2)}{R_0^2 \cdot h} \cdot z - W_0$	$\frac{W_0}{2 \cdot h} \cdot r - \frac{W_0 \cdot (R_K^2 - R_0^2)}{2 \cdot R_0^2 \cdot h} \cdot r$
7	$-\frac{W_0}{h} \cdot z$	$\frac{W_0}{2 \cdot h} \cdot r - \frac{W_0 \cdot R_K^2}{2 \cdot h \cdot r}$
8	$-\frac{W_0}{h} \cdot z$	$\frac{W_0}{2 \cdot h} \cdot r - \frac{W_0 \cdot R_K^2}{2 \cdot h \cdot r}$
9	0	$-\frac{W_0 \cdot (R_M^2 - R_K^2)}{2 \cdot h \cdot r}$

Таблиця 2.3 - Значення компонентів швидкостей деформації

Зона	$\dot{\varepsilon}_z$	$\dot{\varepsilon}_r$	$\dot{\varepsilon}_\theta$
2	$\frac{V_0}{h_2}$	$\frac{V_0}{2 \cdot h_2}$	$\frac{V_0}{2 \cdot h_2}$
3	$\frac{V_0 \cdot R_n^2}{h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2)}$	$-\frac{V_0 \cdot R_n^2}{2 \cdot h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2)} - \frac{V_0 \cdot R_n^2 \cdot R_M^2}{2 \cdot h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2) \cdot r^2}$	$-\frac{V_0 \cdot R_n^2}{2 \cdot h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2)} + \frac{V_0 \cdot R_n^2 \cdot R_M^2}{2 \cdot h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2) \cdot r^2}$
6	$-\frac{W_0}{h} + \frac{W_0 \cdot (R_K^2 - R_0^2)}{R_0^2 \cdot h}$	$\frac{W_0}{2 \cdot h} - \frac{W_0 \cdot (R_K^2 - R_0^2)}{2 \cdot R_0^2 \cdot h}$	$\frac{W_0}{2 \cdot h} - \frac{W_0 \cdot (R_K^2 - R_0^2)}{2 \cdot R_0^2 \cdot h}$
7, 8	$-\frac{W_0}{h}$	$\frac{W_0}{2 \cdot h} + \frac{W_0 \cdot R_K^2}{2 \cdot h \cdot r^2}$	$\frac{W_0}{2 \cdot h} - \frac{W_0 \cdot R_K^2}{2 \cdot h \cdot r^2}$
9	0	$\frac{W_0 \cdot (R_M^2 - R_K^2)}{2 \cdot h \cdot r^2}$	$-\frac{W_0 \cdot (R_M^2 - R_K^2)}{2 \cdot h \cdot r^2}$

Таблиця 2.4 - Значення інтенсивності швидкостей деформацій

Зона	$\dot{\varepsilon}_i$
2	$\frac{V_0}{h_2}$
3	$-\frac{V_0 \cdot R_n^2}{2 \cdot h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2)} - \frac{V_0 \cdot R_n^2 \cdot R_M^2}{2 \cdot h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2) \cdot r^2}$
6	$-\frac{W_0}{h} + \frac{W_0 \cdot (R_K^2 - R_0^2)}{R_0^2 \cdot h}$
7, 8	$\frac{W_0}{2 \cdot h} + \frac{W_0 \cdot R_K^2}{2 \cdot h \cdot r^2}$
9	$\frac{W_0 \cdot (R_M^2 - R_K^2)}{2 \cdot h \cdot r^2}$

Значення тиску деформування p визначаємо з рівняння балансу потужностей зовнішніх та внутрішніх сил на кінематично можливих швидкостях переміщень

$$N_a = N_d + N_c + N_t,$$

$$N_a, N_d, N_c, N_t$$

де - потужності активних, деформуючих сил та сил зрізу та тертя.

Які в даному випадку набувають вид

$$N_a = N_{\partial 2} + N_{\partial 3} + N_{c2-3} + N_{c2-5} + N_{c3-4} + N_{m3-0} + N_{m1-4} + N_{m1-2} + N_{m4-0}$$

для верхнього осередку деформації та для нижнього осередку,

$$N_a = N_{\partial 6} + N_{\partial 7} + N_{\partial 8} + N_{\partial 9} + N_{c5-6} + N_{c6-10} + N_{c5-8} + N_{c6-7} + N_{c7-8} + N_{c8-9} + \\ + N_{m10-0} + N_{m7-0} + N_{m8-0} + N_{m9-0}$$

де N_a – потужність активних сил;

$N_{\partial i}$ – потужність сил деформування;

N_{ci} – потужність сил зрізу; N_{ti} – потужність сил тертя.

Тоді загальний вигляд рівняння енергетичного балансу для тристороннього комбінованого видавлювання матиме вигляд [17]

$$\bar{p} = (1 - \lambda) \cdot \bar{p}_1 - G \cdot \frac{R_M}{R_n} \cdot \lambda + \lambda \cdot \bar{p}_2 \cdot \frac{R_M}{R_n}.$$

Рівняння балансу для тристороннього видавлювання має вигляд

$$\begin{aligned} \bar{p} = (1 - \lambda) \cdot & \left[1 + \left(-\frac{h+h_2}{2 \cdot h_2} - \frac{R_M^2}{(R_M^2 - R_n^2)} \cdot \frac{h+h_2}{h_2} \cdot \ln \left| \frac{R_M}{R_n} \right| \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{h_1}{R_n} - \frac{(h_1+h_2)^2 - h_1^2}{2 \cdot h_2 \cdot R_n} \right) + \right. \\ & + \frac{R_n}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot h_2} + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(-\frac{(R_M^3 - R_n^3)}{3 \cdot h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2)} + \frac{R_M^2 \cdot (R_M - R_n)}{h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2)} \right) + \\ & + \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot \mu_s \cdot \frac{R_n \cdot h_3}{(R_M^2 - R_n^2)} + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \mu_s + \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot \mu_s \cdot \frac{R_M \cdot h_3}{(R_M^2 - R_n^2)} + \\ & \left. + \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot \mu_s \cdot \left[\frac{h_1 \cdot R_M}{(R_M^2 - R_n^2)} - \frac{R_M \cdot [(h_1+h_2)^2 - h_1^2]}{2 \cdot h_2 \cdot (R_M^2 - R_n^2)} \right] \right] - G \cdot \frac{R_M}{R_n} \cdot \lambda + \\ & + \lambda \cdot \frac{R_M}{R_n} \cdot \left[\left(\frac{(R_K^2 - 2 \cdot R_0^2)}{R_M^2} \right) + \left(\frac{(R_K^2 - R_0^2)}{2 \cdot R_M^2} + \frac{R_K^2}{R_M^2} \cdot \ln \left| \frac{R_K}{R_0} \right| \right) + \left(\frac{(R_M^2 - R_K^2)}{2 \cdot R_M^2} + \frac{R_K^2}{R_M^2} \cdot \ln \left| \frac{R_M}{R_K} \right| \right) + \right. \\ & + \ln \left| \frac{R_1}{R_M} \right| \cdot \frac{(R_M^2 - R_K^2)}{R_M^2} + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{R_0^3}{3 \cdot h \cdot R_M^2} - \frac{R_0 \cdot (R_K^2 - R_0^2)}{R_M^2 \cdot h} \right) + \\ & + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{(R_M^3 - R_K^3)}{3 \cdot h \cdot R_M^2} - \frac{R_K^2 \cdot (R_M - R_K)}{R_M^2 \cdot h} \right) + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left(-\frac{R_K \cdot h}{R_M^2} \right) + \\ & + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{(R_K^2 - R_0^2) \cdot h}{R_0^2 \cdot R_M^2} - \frac{3 \cdot R_0 \cdot h}{R_M^2} \right) + \frac{h}{\sqrt{3} \cdot R_M} + \frac{4}{\sqrt{3}} \cdot \mu_s \cdot \frac{h_4}{R_0} + \\ & + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \mu_s \cdot \left(\frac{(R_K^3 - R_M^3)}{3 \cdot h \cdot R_M^2} - \frac{R_K^2 \cdot (R_K - R_0)}{R_M^2 \cdot h} \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \mu_s \cdot \left(\frac{(R_M^3 - R_K^3)}{3 \cdot h \cdot R_M^2} - \frac{(R_M - R_K)}{h} \right) + \\ & \left. + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \mu_s \cdot \left(\frac{(R_1 - R_M)}{h} \cdot \frac{(R_M^2 - R_K^2)}{R_M^2} \right) \right]. \end{aligned}$$

2.2 Моделювання поетапного видавлювання порожнистих деталей з фланцем

Поетапна зміна деформованого стану при видавлюванні порожнистих деталей з фланцем та осьовим відростком у пакеті QForm наведено на рис. 2.2. З рисунка видно, що найбільша деформація виникає у кромки нижньої напівматриці при отриманні відростка.

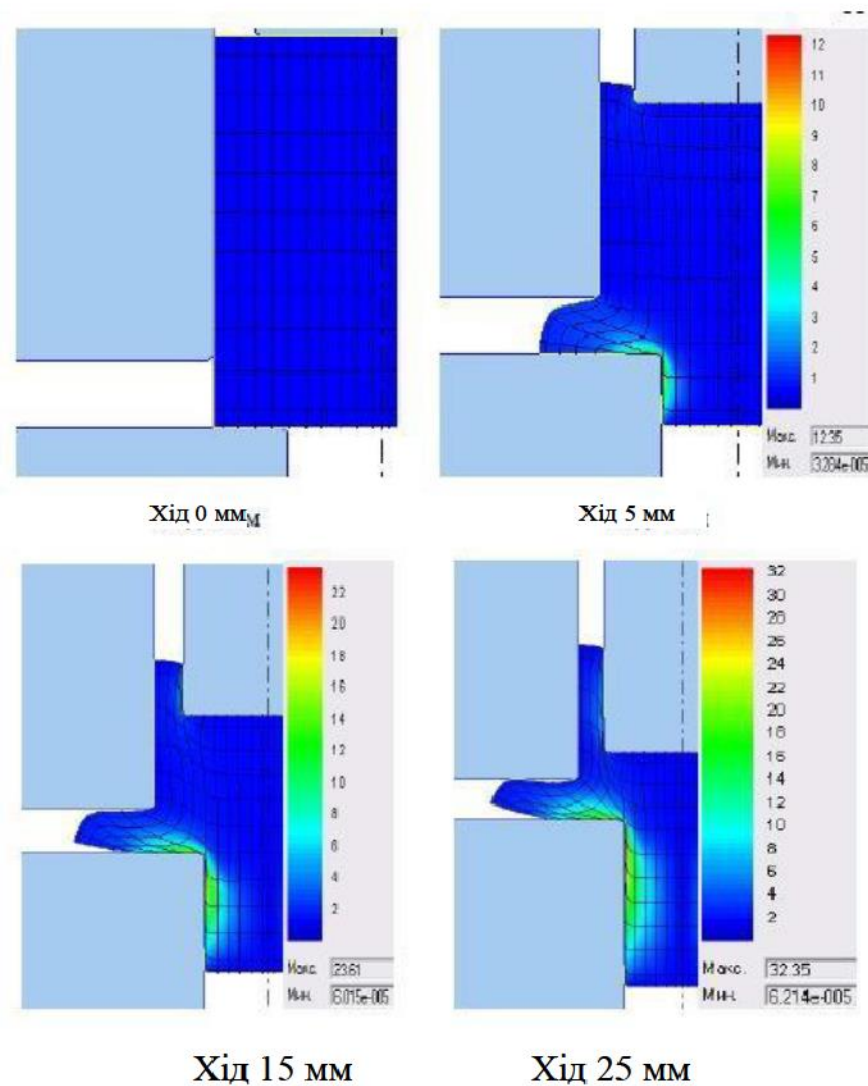


Рисунок 2.2 - Поетапна зміна деформованого стану при комбіноване тристороннє видавлювання деталей з фланцем і осьовим відростком у пакеті Qform

На рис. 2.3 показана залежність зусилля деформування залежно від ходу пуансона. Зниження зусилля пов'язане із зменшенням поверхні тертя при течії металу в радіальному напрямку, а також із розшаруванням металу на периферійних ділянках фланця. На рис. 2.4 показано зменшення поверхні тертя. Можна відзначити, що в міру руху пуансона, поверхня контакту між заготовкою, що видавлюється, та нижньою напівматрицею зменшується.

В результаті математичного моделювання в пакеті QForm також отримані графіки залежності приведенного тиску, тиску та зусилля деформування в залежності від геометричних параметрів деталі при коефіцієнтах тертя 0,14; 0,2 та 0,4, які наведені на рис. 2.3-2.7.

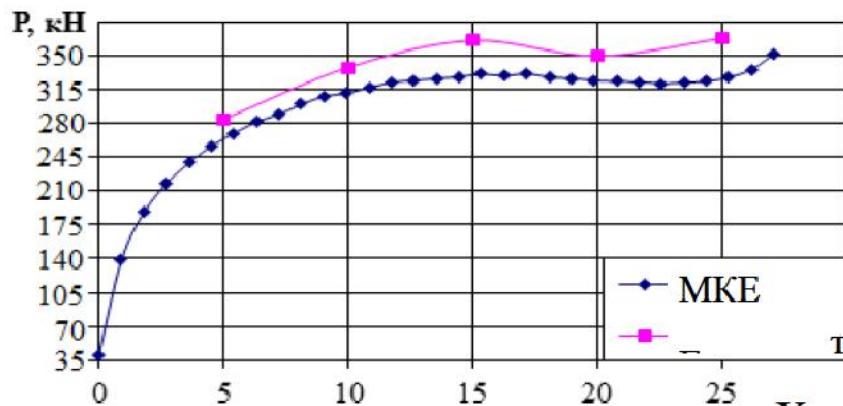
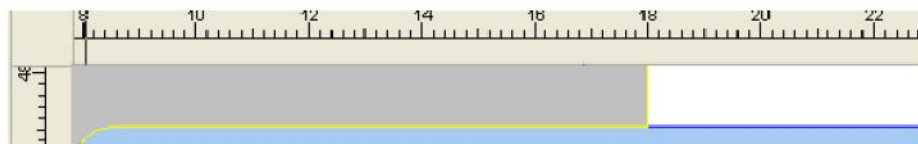
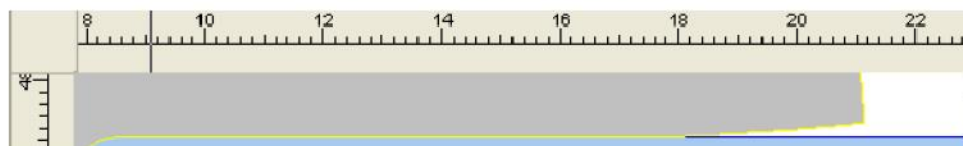


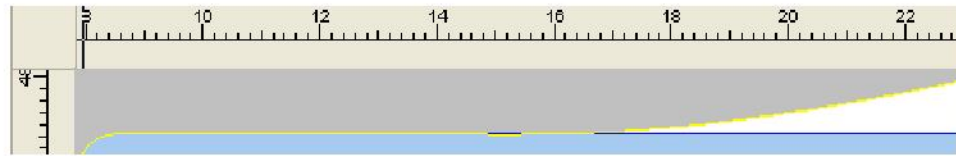
Рисунок 2.3 - Графік залежності зусилля деформування від ходу пуансона



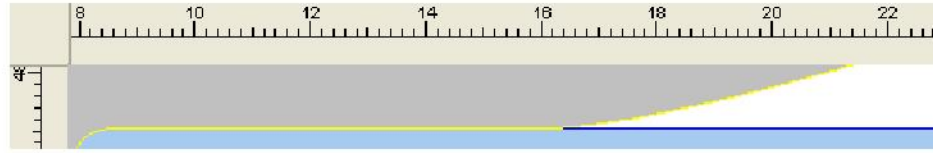
Хід=5 мм; Зусилля=270 кН



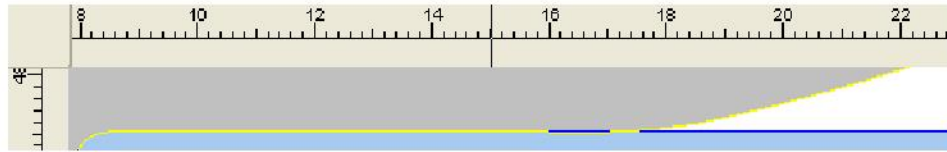
Хід=10 мм; Зусилля=313 кН



Хід=15 мм; Зусилля=334 кН



Хід=20 мм; Зусилля=326 кН



Хід=25 мм; Зусилля=319 кН

Рисунок 2.4 - Відхилення форми фланця в процесі деформування

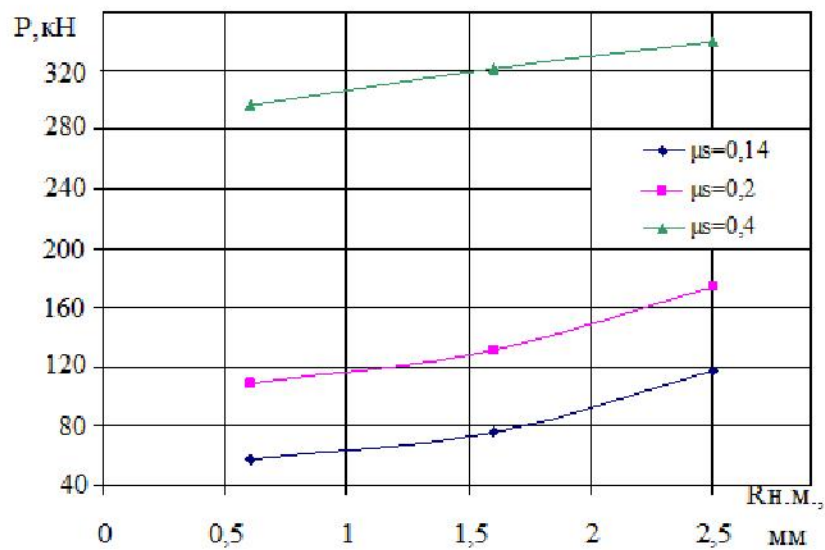


Рисунок 2.5 - Графік залежності зусилля деформування від радіуса заокруглення кромки отвору нижньої напівматриці при різних коефіцієнтах тертя

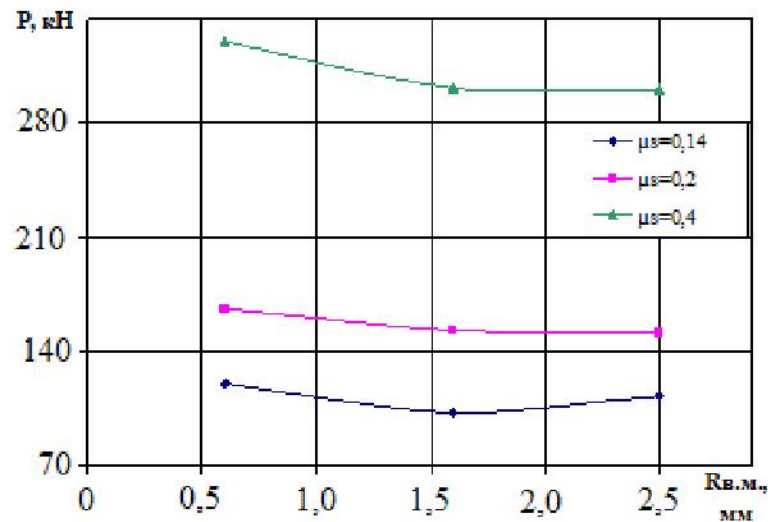


Рисунок 2.6 - Графік залежності зусилля деформування від радіуса заокруглення кромки отвору верхньої напівматриці при різних коефіцієнтах тертя

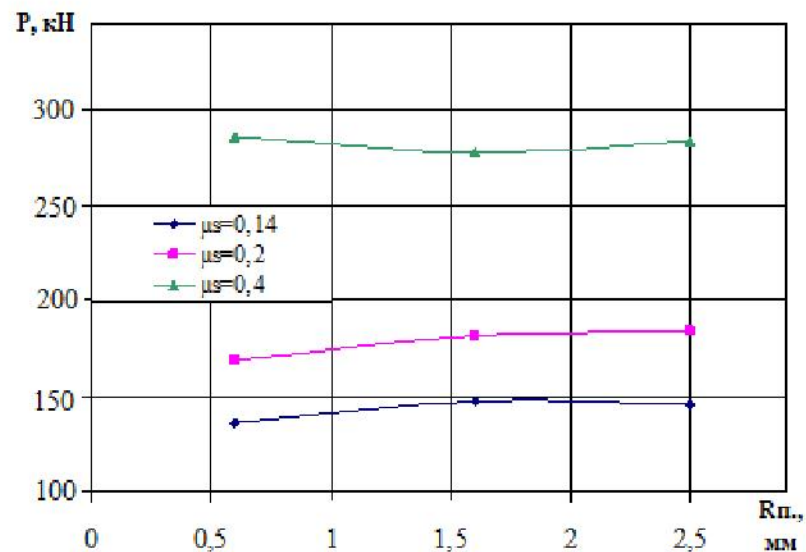


Рисунок 2.7 - Графік залежності зусилля деформування від радіуса заокруглення пуансону при різних коефіцієнтах тертя

Графік залежності зусилля деформування від радіуса заокруглення верхній напівматриці при переході до фланця (рис. 2.8) показує, що із збільшенням радіуса заокруглення кромки верхньої напівматриці зусилля деформування зменшується на початковій стадії, оскільки при цьому видавлюється як би більш «товстий» фланець, тобто з меншим ступенем деформації.

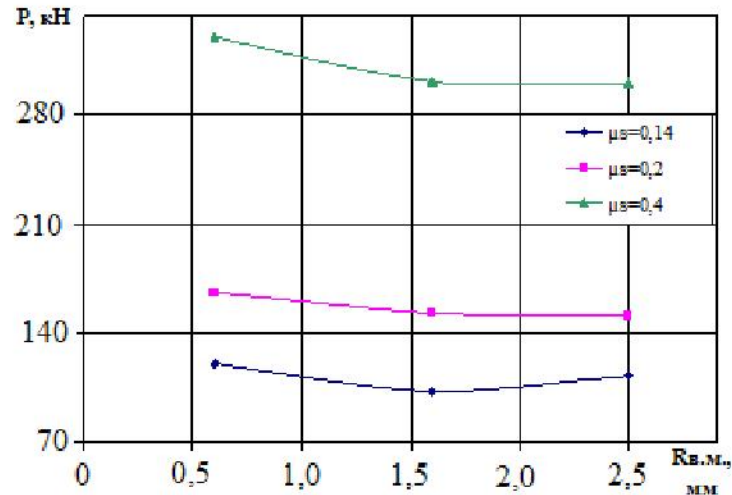


Рисунок 2.8 - Графік залежності зусилля деформування від радіуса заокруглення кромки отвору верхньої напівматриці при різних коефіцієнтах тертя

2.3 Оцінка величини використаного ресурсу пластичності

Оцінка величини використаного ресурсу пластичності проводилась за критерієм [30]

$$\Psi = \int_0^{\epsilon_u} \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)},$$

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,1 \cdot e^{(0,42 \cdot \mu_\sigma - 0,51 \cdot \eta)}$$

Для розрахунку використаного ресурсу пластичності в кінцево елементній моделі, задавалося поле трасувальних точок на заготовці (по висоті - 20 точок, по діаметру - 50 точок). Розглядалися криві побудовані по трасованих точках (рис. 2.9), розташованих по контуру зовнішнього фланця (лінія I), і за межами зрізу при радіально-прямій (лінія II) та зворотній (лінія III) течії матеріалу. Компоненти тензора головних напружень, отримані рішенням характеристичного рівняння, використовувалися для розрахунку параметру Надаї-Лоді та показника напружено-деформованого стану. Поверхня граничних деформацій для матеріалу АД1 задавалася як [13, 14].

Інтенсивність деформації на лініях, розташованих у нижньому осередку деформації, монотонно зменшується (лінія I, II), а для лінії III, розташованої від кромки нижньої матриці до кромки пуансона

спостерігається стрибок деформацій у зоні верхнього осередку деформації (рис. 2.10).

Розподіл значень опору деформування (рис. 2.11) відповідає розподілу значень інтенсивності деформацій. Значення середнього (гідростатичного) напруження (рис. 4.14) збільшуються. Для лінії I розташованої на периферії фланця зміна напруження незначна, близько 5%. Зростання значення напруження, на лініях I і II можна пояснити впливом контактного тиску у кромки інструменту. Максимальні значення параметра Надаї-Лоді спостерігаються на лінії II, яка розташована між кромки двох напівматриць, мінімальні у зоні периферії фланця (рис. 2.12).

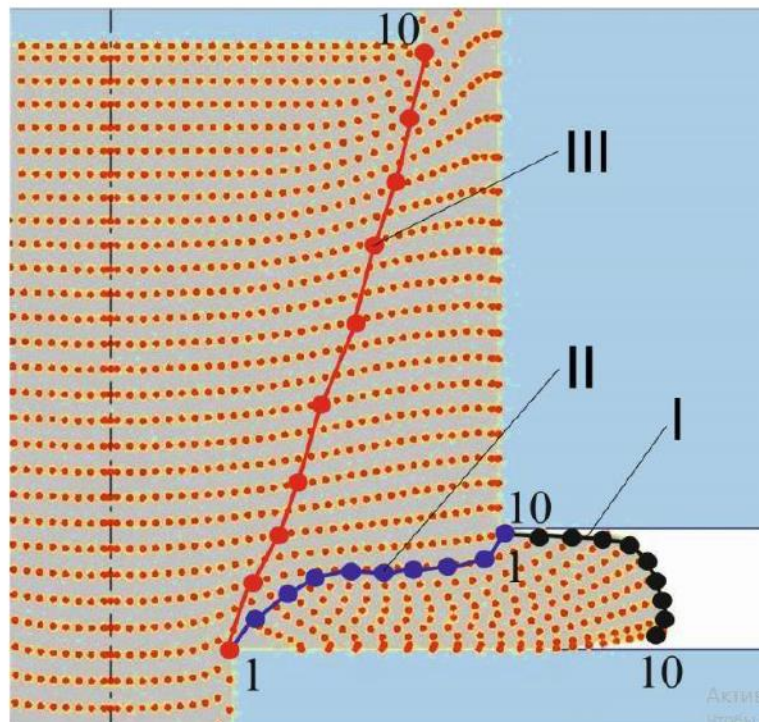


Рисунок 2.9 - Схема із прийнятими кривими для дослідження вичерпання ресурсу пластичності

Показник жорсткості напруженого стану має максимальні значення на зовнішній поверхні фланця (рис. 2.13).

Проведена оцінка вичерпання ресурсу пластичності показала, що найбільш небезпечною зоною є периферія фланця. Відповідно до аналізу

найбільш небезпечною з погляду руйнування є точка 1 розташована на лінії I, що відповідає фланцю (рис. 2.14).

Подальший аналіз показав, що при досягненні у процесі деформування значення максимальної інтенсивності деформації $\epsilon_{\max}=0,75$ настає розвиток тріщин (рис. 2.15).

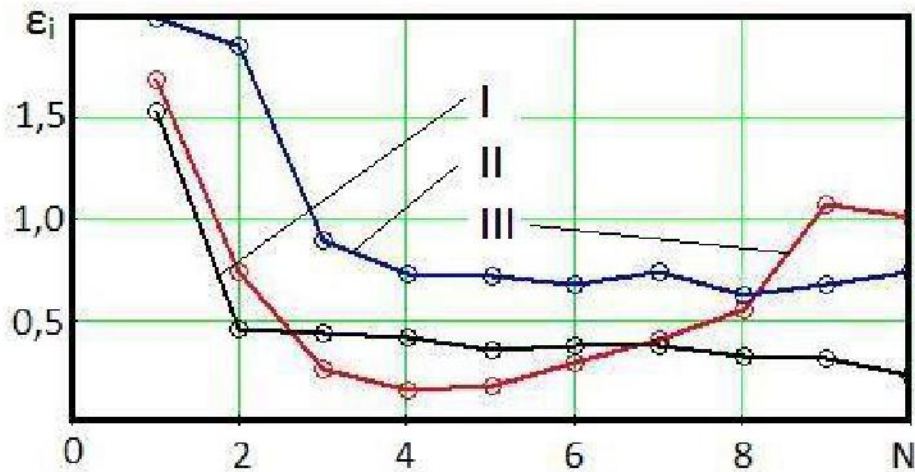


Рисунок 2.10 - Графік розподілу інтенсивності деформації залежно від номера трасованої точки по перерізу заготовки

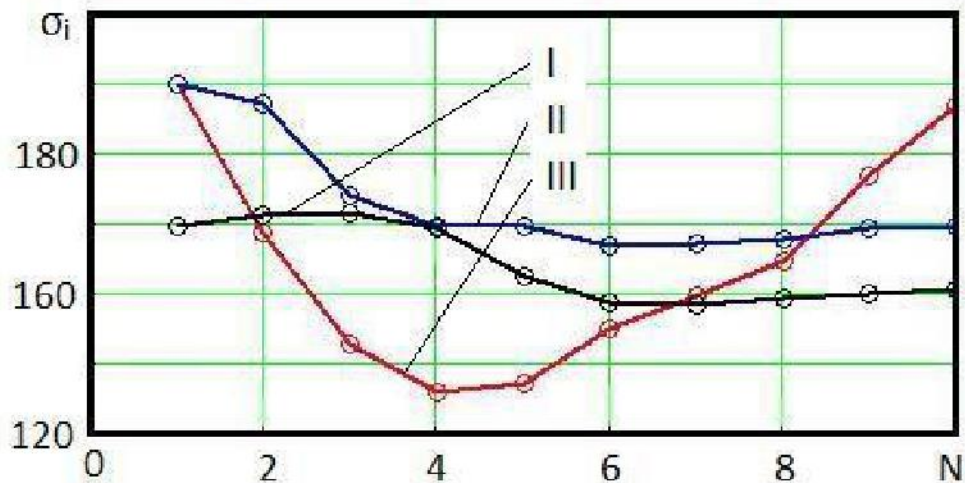


Рисунок 2.11 - Графік розподілу опору деформування залежно від номера трасованої точки по перерізу заготовки

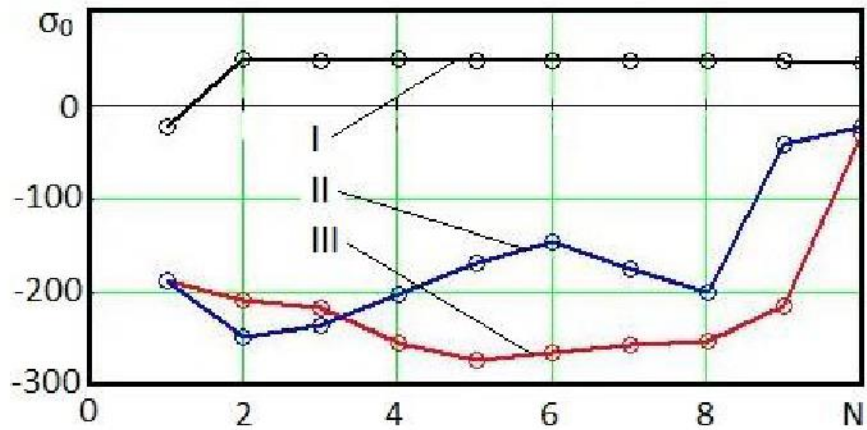


Рисунок 2.12 - Графік розподілу гідростатичного тиску залежно від номера трасованої точки по перерізу заготовки

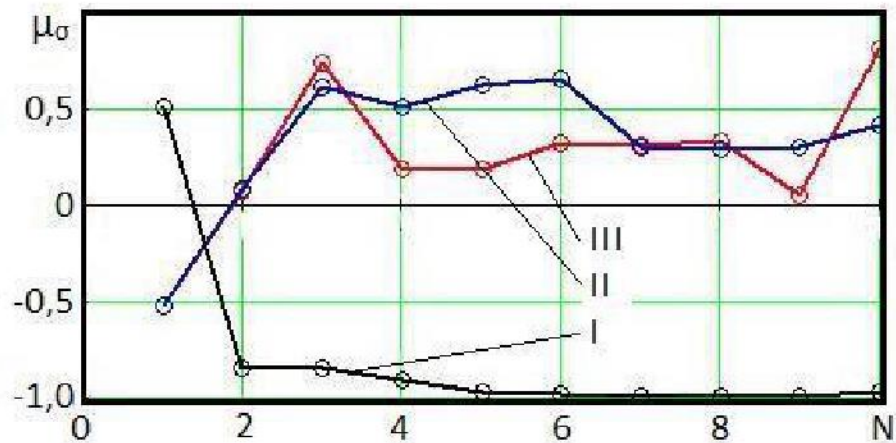


Рисунок 2.13 - Графік розподілу параметра Надаї-Лоде залежно від номера трасованої точки по перерізу заготовки

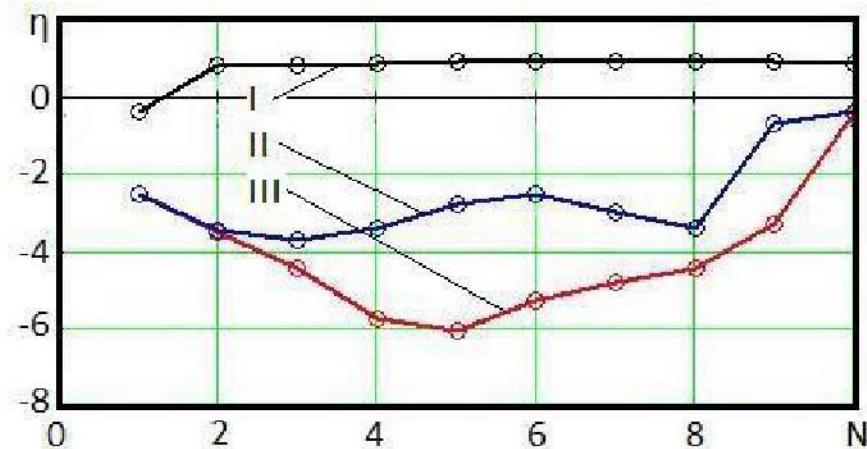


Рисунок 2.14 - Графік розподілу показника жорсткості напруженого стану в залежності від номера трасованої точки по перерізу заготовки

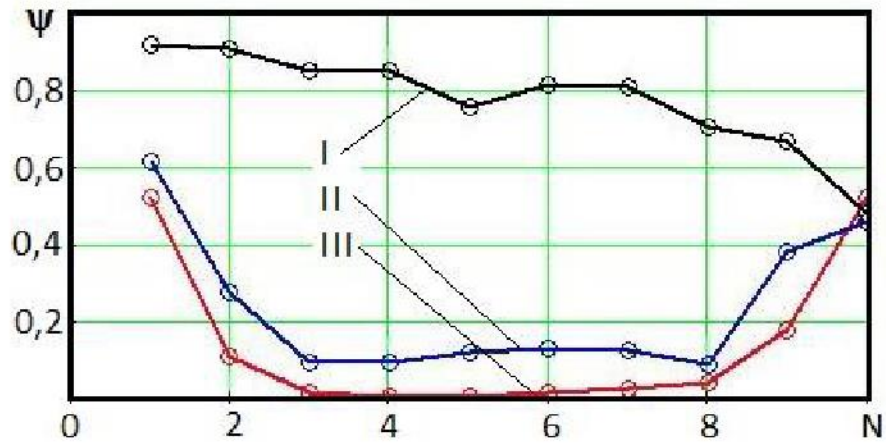


Рисунок 2.15 - Графік розподілу ресурсу пластичності залежно від номера трасованої точки по перерізу заготовки

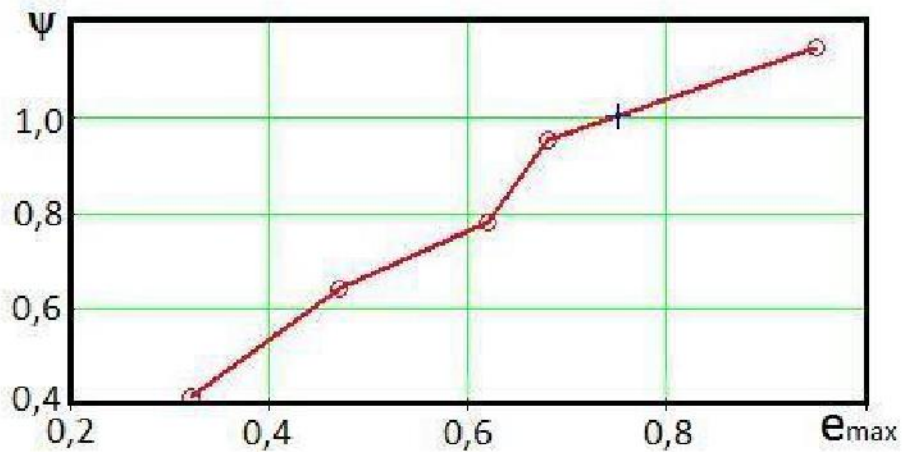


Рисунок 2.16 - Графік розподілу ресурсу пластичності залежно від максимальної інтенсивності деформації

Таким чином, можна відзначити доцільність використання тристороннього комбінованого видавлювання та перевагу даного виду над процесами з двома ступенями течії матеріалу.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Правила безпеки при обслуговуванні ковальсько-штампувального обладнання

Роботодавець повинен забезпечити організацію і безпечне виконання ковальсько-пресових робіт [17, 18, 21] 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 ножом 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 розкрюювання 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 пилках, 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 прямої 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, мультиплікаторів, 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.

3.2 Правила пожежної безпеки в цехах штампувального виробництва

Ковальсько-пресові цехи по пожежній небезпеці відносяться до категорії *Г* і мають *II* ступінь вогнестійкості будинків [19].

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 припустимої до горючості;
- підтримкою тиску в горючому середовищі нижче максимально припустимого по горючості;
- зменшенням визначального розміру горючого середовища нижче максимально припустимого 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 горючістю;
- 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 пожаровибухонебезпечності 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 запечатувати:

- 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.

3.3 Засоби індивідуального захисту штампувальника

Роботодавець повинен забезпечити працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до вимог Положення про порядок забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту, затвердженого

наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 24 березня 2008 року № 53, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 21 травня 2008 року за № 446/15137 (НПАОП 0.00-4.01-08).

Працівники повинні бути забезпечені спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до Норм безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам загальних професій різних галузей промисловості, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 16 квітня 2009 року № 62, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 12 травня 2009 року за № 424/16440 (НПАОП 0.00-3.07-09).

Засоби індивідуального захисту працівників повинні відповідати вимогам Технічного регламенту засобів індивідуального захисту, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2008 року № 761, та вимогам чинного законодавства.

Вибір засобів індивідуального захисту органів дихання необхідно здійснювати відповідно до вимог Правил вибору та застосування засобів індивідуального захисту органів дихання, затверджених наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 28 грудня 2007 року № 331, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 04 квітня 2008 року за № 285/14976 (НПАОП 0.00-1.04-07).

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

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Вступ до розробки 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).

4.2 Опис головної ідеї стартап-проекту

Головною ідеєю стартап-проекту є реалізація представленого процесу отримання осесиметричних деталей поздовжньо-поперечним видавлюванням.

Можливість моделювання поопераційних переходів формозмінюючих операцій при отриманні отримання осесиметричних деталей поздовжньо-поперечним видавлюванням, використання математичних моделей для розрахунку технологічних та конструктивних особливостей формоутворення виробів різного профілю заготовки, використовуючи метод скінчених елементів.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Правильне оцінювання сталості отримання осесиметричних деталей поздовжньо-поперечним видавлюванням	Оптимізація режимів отримання видавлюванням заготовки	Підвищення продуктивності
	Моделювання і конструювання інструменту для видавлювання заготовки	Зменшення бракованих виробів за рахунок підбору оптимальних режимів видавлювання

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 пластичної обробки.

4.3 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. 4.2). 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 4.2 – Визначення слабких, сильних та нейтральних сторін стартап- проекту

№ п/п	Технічно-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	S (сильна сторона)	N (ней- тральна сторона)
		Мій проект	Компас	Solid- works			
1.	Клієнто-орієтова-ність	+	+	+	Обмеже-ність в деяких функціях	Орієнтовн 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

4.4 Технологічний аудит проекту

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

Проаналізувавши дані з табл .4.3 обираємо наступні технологічні рішення: реалізація кінцевої продукції у вигляді програмного продукту для підприємств з додатковим наданням користувачам інструкції для визначення вихідних даних.

Таблиця 4.3 – Технологічний аудит проекту

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

4.5 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. 4.4).

Таблиця 4.4 – 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. 4.5).

Наступний крок – аналіз ринкового середовища за допомогою аналітичних схем. Для цього складаємо таблиці факторів, що сприяють та перешкоджають впровадженню проекту на ринок (табл. 4.6-4.7).

Таблиця 4.5 – 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 видавлювання	Виробництва	Вимоги до сталості процесу обробки тиском	Моделювання процесів обробки тиском
2	Потреба в розрахунках режимів видавлювання	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 4.6 – 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 4.7 – 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 технологій в уже існуючі продукти	Інтеграція продукту в більш відомі системи	Обмін технологіями

Таблиця 4.8 –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. 4.9) та проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції за моделлю п'яти сил М. Портера (табл. 4.10).

Таблиця 4.9 – 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 4.10 – 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. 4.11) на основі визначених вище факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.11 – 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. 4.12).

Таблиця 4.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> – новизна товару; – простота використання; – раціональна цінова політика 	<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. 4.13.

Таблиця 4.13 – 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.

4.6 Розроблення ринкової стратегії

Першим кроком розробки ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових потенційних споживачів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – 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. 4.15.

Наступний крок – вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

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

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопроходець» 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. 4.17). 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. 4.4), обраної базової стратегії розвитку (табл. 4.16) та стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 4.17 – 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 позиціювласного проекту (три ключових)
1	Простота використання	Стратегія спеціалізації	Можливість користування на системах з низькою потужністю. Швидкодія роботи. Тривала підтримка продукту	Підвищення ефективності процесу роздачі. Використання інформаційних технологій для моделювання процесів в обробці тиском. Доступність продукту
2	Адекватність триманих результатів			
3	Простий, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс			
4	Простота отримання вихідних даних для моделювання			

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Процеси точного об'ємного штампування є ресурсозберігаючими технологіями, які забезпечують мінімальні витрати та високу точність готових виробів. Для виготовлення деталей складної форми з високим ступенем точності і з меншими робочими навантаженнями перспективним є використання процесів, заснованих на нових способах комбінованого видавлювання в роз'ємних та рухомих матрицях. Незважаючи на наявність рішень щодо визначення силового режиму та напружено-деформованого стану заготовки у процесах видавлювання деталей складної конфігурації залишається актуальним питання уточнення цих рішень стосовно процесів комбінованої течії.

2. Енергетичним методом балансу потужностей отримано аналітичні залежності приведенного тиску деформування від геометричних параметрів процесу для схеми з прямокутними модулями та схеми, що враховує наявність фасок на інструмент (з трапецеїдальними модулями).

3. З використанням методу кінцевих елементів проведено оцінку вичерпання ресурсу пластичності заготовок. Визначено небезпечні зони з погляду руйнування, що знаходяться між перехідними кромками інструменту та на периферії фланця. Встановлено, що найбільш небезпечною з точки зору руйнування є периферія фланця і при досягненні ступеня деформації $\epsilon_{\max}=0,75$ настає руйнування фланця.

4. Визначено правила безпеки при обслуговуванні ковальсько-штампувального обладнання при здійсненні операцій видавлювання.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Solovei, V. D., Kolmogorov, V. L. A method for calculating the plastic anisotropy constants of the Hill theory. AIP Conference Proceedings. 2017, 1915, 040053. DOI:10.1063/1.5017401.
2. Ogorodnikov, V. A., Dereven'ko, I. A., Sivak, R. I. On the Influence of Curvature of the Trajectories of Deformation of a Volume of the Material by Pressing on Its Plasticity Under the Conditions of Complex Loading. Materials Science, 2018, 54(3), pp. 326–332. DOI 10.1007/s11003-018-0188-x.
3. Hrudkina, N., Levchenko, V., Aliiev, I., Sivak, R., Sukhovirska, L. Estimating the initial stage in the process of radial-reverse extrusion using a triangular kinematic module / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2022, 2(7-116), pp. 51–59.
4. Aliiev, I. S., Sivak, R. I., Markov, O. E., Levchenko, V. N. The evaluation of workpiece deformability for the process of two-stage extrusion of hollow hull / International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2023, 129(3-4), pp. 1345–1353.
5. Hrudkina, N. S., Markov, O. E., Shapoval, A. A., Abhari, P., Malii, K. V. Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion / FME Transactions, 2022, 50(1), pp. 90–98.
6. Aliieva, L. I., Markov, O. E., Aliiev, I. S., Levchenko, V. N., Malii, K. V. Analysis of Power Parameters of Combined Three-Direction Deformation of Parts with Flange / FME Transactions, 2021, 49(2), pp. 344–355.
7. Hrudkina, N., Aliiev, I., Markov, O., Sukhovirska, L., Tahan, L. Designing a kinematic module with rounding to model the processes of combined radial-longitudinal extrusion involving a tool whose configuration is complex / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2021, 2(1-110), pp. 81– 89.
8. Markov, O. E., Aliiev, I. S., Aliieva, L. I., Hrudkina, N. S. Computerized and physical modeling of upsetting operation by combined dies / Journal of

Chemical Technology and Metallurgy, 2020, 55(3), pp. 640–648.

9. Allieva, L., Hrudkina, N., Aliiev, I., Zhbakov, I., Markov, O. Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 2(1-104), pp. 15–22.

10. Kukhar, V., Hrushko, O., Markov, O., Anishchenko, O., Prysiashnyi, A. Bypass Bends Deformability of CuZn5 Brass, X10CrNiTi18-9 and C22 Steel at Forming by Euler-Mode Buckling / Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, 510, pp. 1533–1542.

11. Kukhar, V., Povazhnyi, O., Grushko, O. Analysis of CuZn5 Tube Buckling During Producing of the Crossover Bend for Metallurgical Unit / Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2023, pp. 444–454.

12. Sheykin, S. Y., Grushko, O. V., Melnichenko, V. V., Iefrosinin, D. V., Melnichenko, Y. V. On the Contact Interaction between Hard-Alloy Deforming Broaches and a Workpiece during the Shaping of Grooves in the Holes of Tubular Products / Journal of Superhard Materials, 2021, 43(3), pp. 222–230.

13. Lin, L., Peng, W., Zhu, S., Oleksandr, M., Titov, V. Cross wedge roll bonding process for laminated shafts forming: Interface microstructure, bonding mechanism, and parameter influence / Journal of Materials Processing Technology, 2023, 317, 117971.

14. Lin, L., Peng, W., Titov, V., Wu, X., Li, H. Interface phenomena and bonding mechanism in the new method of cross wedge rolling bimetallic shaft / Journal of Materials Research and Technology, 2023, 24, pp. 1132–1149.

15. Titov, A. V., Balushok, K. B., Ostash, O. P., Polyvoda, S. L., Chepil, R. V. Pressing of Semi-Finished Al–Mg–Sc Alloy Products in Isothermal Conditions / Materials Science, 2023, 58(5), pp. 636–642.

16. Titov, V., Mozghovyi, O., Borys, R., Amirgaliyev, Y., Aitkulov, Z. Theoretical and experimental substantiation of the extraction process with thinning bimetallic tubular elements of dissimilar metals and alloys / Informatyka,

Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 2023, 13(2), pp. 44–49.

17. Shao, Y., Peng, W., Cao, F., Oleksandr, M., Titov, V. Effect of process parameters on AA6061/Q345 bimetal composite for hot stamping / Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 2022, 236(6), pp. 2515–2525.

18. Zhu, S., Peng, W., Chen, Z., Oleksandr, M., Titov, V. The effect of the pre-rolling high-rolling curve of the ring rolling on the forming quality of large ring / International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2022, 121(1-2), pp. 1081–1089.

19. Ostash, O. P., Polyvoda, S. L., Chepil, R. V., Voron, M. M., Holovchuk, M. Y. Influence of Rare-Earth Metals on the Structure and Properties of Cast and Deformed Alloys of the Al-Mg-Cr-Sc-Zr System Materials Science, 2022, 57(6), pp. 846–857.

20. Yu, Z.-M., Peng, W.-F., Zhang, X., Oleksandr, M., Titov, V. Evolution of microstructure of aluminum alloy hollow shaft in cross wedge rolling without mandrel / Journal of Central South University, 2022, 29(3), pp. 807–820.

21. Savchenko, I., Shapoval, O., Chupilko, T., Titov, V., Shchepetov, V. Computer Simulation of Safety Processes of Composite Structures Rheological Properties / Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022, 2022.

22. Shtern, M. B., Mikhailov, O. V., Mikhailov, A. O. Generalized Continuum Model of Plasticity of Powder and Porous Materials. Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis, 2021, 60(1-2), pp. 20–34.

23. Skorokhod, V. V., Shtern, M. B. Rheological Model of Sintering and Viscous Flow of Porous Materials with 2D Defects. Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis, 2019, 58(7-8), pp. 399–405.

24. Shtern, M. B., Kartuzov, E. V. Formation and Propagation of Shock Waves in Highly Porous Materials. Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis,

2016, 55(3-4), pp. 134–140.

25. Kuzmov, A. V., Shtern, M. B., Kirkova, O. G. The Effect of Additional Shear Strains Induced by Die Rotation on the Radial Pressing of Metal Powder Billets. *Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis*, 2020, 59(3-4), pp. 127–133.

26. Gogaev, K. A., Voropaev, V. S., Podrezov, Y. N., Koval, A. Y., Yevych, Y. I. Mechanical and fatigue properties of powder titanium strips, obtained by asymmetric rolling. *Powder Metallurgy and Metal Ceramicsthis*, 2017, 56(1-2), pp. 69–77.

27. Maslov, A., Savielov, D., Salenko, Y., Puzyr, R. Research process of vibration platform movement for compacting polymer concrete mixtures. *AIP Conference Proceedings*, 2022, 2522, 040005.

28. Yelistratov, V., Pavlenko, O., Kharkov, O., Chernysh, A., Puzyr, R. Peculiarities of the of Engineering Disciplines Teaching Process Organization Using Three-Dimensional Computer Modeling Methods. *Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022*, 2022.

29. Puzyr, R., Savielov, D., Dolhikh, O., Kulynych, V., Baikova, M. Theoretical Study of the Extending Electric Cable Operation. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2022 - Conference Proceedings*, 2022.

1 СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

1.1 Шляхи розвитку процесів холодного видавлювання

Розвиток сучасної науки нерозривно пов'язаний із зростанням рівня практичного використання її результатів у промисловому та господарському виробництві. Вирішальним чинником у підвищенні ефективності виробництва є створення та впровадження нових технологічних процесів, які забезпечують отримання високоякісних виробів із заданими експлуатаційними характеристиками за мінімальних витрат [1].

У машинобудуванні та приладобудуванні широко застосовуються порожнисті деталі з фланцями, буртами та відростками різної геометричної форми. Для їх виготовлення використовуються матеріали з різними механічними властивостями – від високопластичних металів (мідь, мідні сплави, алюмінієві сплави) до вуглецевих сталей, які характеризуються вищою міцністю та меншим коефіцієнтом пластичності.

Одним із найбільш ефективних способів отримання високоякісних заготовок є холодне об'ємне штампування. Цей метод забезпечує: високу продуктивність та точність геометричних параметрів виробів, підвищену якість поверхні, раціональне використання металу, зміцнення матеріалу внаслідок деформаційного наклепу, значне скорочення трудомісткості виробництва.

Рівень механізації та автоматизації процесів холодного штампування є досить високим. Застосування багатопозиційних штампувальних автоматів та автоматизованих штамсів дозволяє підвищувати продуктивність у 5–10 разів і більше порівняно з традиційною обробкою різанням.