

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 зворотної екструзії гільз  
з рухомим контейнером»  
«Simulation of the reverse extrusion process of  
sleeves with a moving container»

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

\_\_\_\_\_ Рабушенко В.В.

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 Рабушенку Віктору Віталійовичу

1. Тема роботи: «Моделювання процесу зворотної екструзії гільз з рухомим контейнером»

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 штампування пустотілих деталей на основі розвитку методик розрахунку і розробки нових способів комбінованого видавлювання, що дозволяють розширити технологічні можливості процесів штампування.

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  
\_\_\_\_\_ Рабушенко В. В.

## АНОТАЦІЯ

Рабушенко В. В. «Моделювання процесу зворотної екструзії гільз з рухомим контейнером», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025 рік.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічних процесів штампування пустотілих деталей на основі розвитку методик розрахунку і розробки нових способів комбінованого видавлювання, що дозволяють розширити технологічні можливості процесів штампування.

Виконано аналіз процесу комбінованого зворотного видавлювання деталей з рухомим контейнером, що дозволяє прогнозувати формозміну заготовок і визначати силовий режим деформування з урахуванням впливу геометрії інструменту, схеми і форми осередку деформування, а також умов контактної тертя; встановлено особливості силового режиму та деформованого стану заготовки при комбінованому видавлюванні деталей, які спрямовані на розширення можливостей видавлювання за рахунок підвищення якості та складності форми деталей; розроблені рекомендації по проектуванню процесів і штампового оснащення холодного об'ємного видавлювання деталей з рухомим контейнером.

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

## ANNOTATION

Viktor RABUSHENKO. "Simulation of the reverse extrusion process of sleeves with a moving container", OPP "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025.

The objective of this work is to enhance the efficiency of technological processes for stamping hollow parts by advancing calculation methodologies and developing new methods of combined extrusion, which make it possible to expand the technological capabilities of stamping processes.

An analysis of the combined backward extrusion process of parts with a movable container has been carried out. This analysis enables the prediction of billet shape transformation and the determination of the force regime of deformation, taking into account the influence of tool geometry, the scheme and shape of the deformation zone, as well as contact friction conditions. The features of the force regime and the deformed state of the billet during combined extrusion have been identified, aimed at expanding extrusion capabilities by improving the quality and complexity of part geometry. Recommendations have been developed for the design of processes and die tooling for cold bulk extrusion of parts using a movable container.

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

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1	
ВИДАВЛЮВАННЯ ПУСТОТІЛИХ ДЕТАЛЕЙ .....	8
1.1 Способи виготовлення пустотілих деталей .....	8
1.2 Штампова оснастка та обладнання для видавлювання пустотілих деталей .....	14
1.3 Вибір напрямку досліджень .....	18
1.4 Застосування метода кінцевих елементів для дослідження технологічних режимів холодного видавлювання .....	19
РОЗДІЛ 2	
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА СХЕМОЮ РУХОМОГО КОНТЕЙНЕРА .....	25
2.1 Сучасне пресове обладнання для здійснення пресування з активною дією сил тертя .....	25
2.2 Дослідження сили деформування процесу зворотного видавлювання деталей за схемою рухомого контейнера .....	32
РОЗДІЛ 2	
ОХОРОНА ПРАЦІ .....	39
3.1 Правила безпеки при обслуговуванні ковальсько-штампувального обладнання .....	43
3.2 Правила пожежної безпеки в цехах штампувального виробництва .....	42
3.3 Засоби індивідуального захисту штампувальника.....	44

## РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	45
4.1. Вступ до розробки стартап-проекту .....	45
4.2. Опис головної ідеї стартап-проекту .....	46
4.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту .....	47
4.4. Технологічний аудит проекту .....	48
4.5. Аналіз ринкових можливостей запуск стартап-проекту .....	48
4.6. Розроблення ринкової стратегії .....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	59

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасному машинобудуванні дедалі більшого поширення набувають наукомісткі технології, спрямовані на отримання високоякісних заготовок і деталей за мінімальних виробничих витрат. До таких технологій належать методи обробки металів тиском, які забезпечують раціональне використання матеріалів і водночас сприяють підвищенню механічних властивостей виробів.

Це зумовлює зростання ролі ресурсозберігаючих способів обробки тиском, переваги яких у багатьох випадках дозволяють ефективно замінювати традиційні технології лиття та механічної обробки різанням. Серед таких способів особливе місце посідає точне об'ємне штампування видавлюванням. Подальший розвиток процесів штампування значною мірою пов'язаний із впровадженням комбінованих способів видавлювання вісесиметричних деталей, що дає змогу розширити номенклатуру виробів за рахунок ускладнення їх конфігурації, зменшити кількість технологічних переходів і знизити навантаження на інструмент.

У виробництві труб і трубних заготовок складної форми застосовуються схеми комбінованого видавлювання з рухомим формоутворювальним інструментом, які реалізуються, як правило, на спеціалізованих пресових установках. Особливо перспективним є використання таких схем для виготовлення виробів зі змінною товщиною стінки, що відкриває нові можливості для підвищення функціональності та експлуатаційних характеристик деталей.

Водночас, незважаючи на очевидні переваги процесів комбінованого видавлювання з рухомим формоутворювальним інструментом, їх практичне застосування для виготовлення деталей типу втулок зі змінною товщиною стінки залишається вкрай обмеженим. Це зумовлено недостатністю науково обґрунтованої інформації щодо технологічних можливостей відповідних

схем видавлювання, відсутністю узагальнених рекомендацій з розрахунку силових і деформаційних режимів, а також недосконалістю методів проектування штампового оснащення.

Розв'язання зазначеної проблеми нерозривно пов'язане з проведенням комплексних теоретичних і експериментальних досліджень ефективних схем комбінованого деформування з рухомим формоутворювальним інструментом, розробленням аналітичних залежностей і створенням на їх основі методик проектування технологічних процесів видавлювання та відповідного штампового оснащення.

З огляду на викладене, тема магістерської роботи, присвячена вдосконаленню процесів видавлювання порожнистих деталей на основі моделювання технологічних режимів і застосування маловідходних способів видавлювання, є актуальною та має важливе наукове й практичне значення.

**Мета і завдання дослідження.** Мета магістерської роботи - підвищення ефективності технологічних процесів штампування пустотілих деталей на основі розвитку методик розрахунку і розробки нових способів комбінованого видавлювання, що дозволяють розширити технологічні можливості процесів штампування за рахунок ускладнення конфігурацій видавлюємих деталей.

Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені і вирішені такі основні завдання:

- виконати аналіз існуючих способів видавлювання, схем штампового оснащення та теоретичних рішень процесів штампування пустотілих деталей і визначити їх основні переваги та недоліки;
- виконати теоретичний аналіз процесу формозміни заготовки при радіально-прямому видавлюванні при рухомому контейнері, визначити фактори, що впливають на параметри формозміни і отримати залежності, що описують цей вплив.

**Об'єкт дослідження.** Процеси видавлювання порожнистих деталей з рухомим контейнером.

**Предмет дослідження.** Закономірності формозміни і технологічні режими видавлювання порожнистих деталей рухомим контейнером в процесі прямого видавлювання на рухомий оправці.

**Методи дослідження.** В основу теоретичних досліджень покладено енергетичний метод верхньої оцінки (МВО) і метод кінцевих елементів (МКЕ).

Дослідження процесу проводилися з використанням методу математичного моделювання технологічних зусиль і методу координатних сіток для визначення деформованого стану заготовок.

#### **Практична цінність отриманих результатів.**

Запропоновано спосіб маловідходного видавлювання порожнистих деталей рухомим контейнером.

Виконано аналіз процесу комбінованого зворотного видавлювання деталей з рухомим контейнером, що дозволяє прогнозувати формозміну заготовок і визначати силовий режим деформування з урахуванням впливу геометрії інструменту, схеми і форми осередку деформування, а також умов контактної тертя; встановлено особливості силового режиму та деформованого стану заготовки при комбінованому видавлюванні деталей, які спрямовані на розширення можливостей видавлювання за рахунок підвищення якості та складності форми деталей; розроблені рекомендації по проектуванню процесів і штампового оснащення холодного об'ємного видавлювання деталей з рухомим контейнером.

## **РОЗДІЛ 1**

### **ВИДАВЛЮВАННЯ ПУСТОТІЛИХ ДЕТАЛЕЙ**

#### **1.1 Способи виготовлення пустотілих деталей**

Для підвищення конкурентоспроможності продукції необхідною умовою є її виготовлення з мінімально можливими витратами, що безпосередньо зумовлює зниження собівартості. Одним із найбільш ефективних шляхів розв'язання цієї проблеми є впровадження ресурсозберігаючих та високопродуктивних технологій у виробничі процеси [1–5].

Значну частку деталей, що виготовляються на машинобудівних підприємствах, становлять порожнисті вироби зі змінною товщиною стінки, зокрема деталі типу перехідників, корпусів і втулок [6]. У переважній більшості випадків такі деталі отримують методами механічної обробки різанням. Процеси штампування порожнистих деталей простої конфігурації є достатньо вивченими й, як правило, не викликають суттєвих труднощів при впровадженні у виробництво. Водночас інтенсифікація виробництва шляхом ускладнення форми штампованих виробів потребує дослідження та розроблення нових способів видавлювання [7–11].

Незважаючи на різноманіття відомих способів виготовлення порожнистих деталей зі змінною товщиною стінки, їх технологічні можливості залишаються обмеженими. У більшості випадків такі процеси не дозволяють отримувати вироби з більш ніж одним–двома потовщеннями або характеризуються несприятливою схемою напружено-деформованого стану (НДС) заготовки під час видавлювання, що істотно обмежує можливості формозміни. У зв'язку з цим актуальною є потреба у створенні технологічних схем видавлювання порожнистих деталей зі змінною товщиною стінки, позбавлених зазначених недоліків.

Проведений аналіз свідчить, що до перспективних слід віднести схеми видавлювання, які передбачають наявність компонент внутрішньої течії металу, що формує сприятливий НДС заготовки, а також використання рухомого формоутворювального інструменту, що забезпечує отримання виробів складної геометричної форми.

Отже, одним із найбільш перспективних шляхів підвищення ефективності процесів точного об'ємного штампування шляхом розширення їх технологічних можливостей є розроблення, дослідження та впровадження нових ефективних технологічних схем видавлювання. У зв'язку з цим доцільно детально розглянути кінематичні різновиди, особливості реалізації та технологічні можливості сучасних способів видавлювання.

Класифікацію способів видавлювання, як правило, здійснюють на основі поділу їх на два основні класи [3–9, 82–84]:

- а) базові (прості) способи;
- б) комбіновані способи, отримані шляхом поєднання базових.

Залежно від співвідношення напрямків руху інструменту та течії металу заготовки процеси видавлювання поділяють на поздовжні (пряме та зворотне) і поперечні (радіальне та бічне).

Характерною особливістю технології поперечного видавлювання є можливість регулювання деформаційних і силових параметрів процесу шляхом зміни кінематики руху формоутворювального інструменту. На рис. 1.1 наведено класифікацію кінематичних варіантів радіального видавлювання [81, 83], модифіковану з урахуванням особливостей формування порожнистих деталей.

Найпростіші кінематичні варіанти (1 і 2) реалізуються при радіальному видавлюванні з односторонньою подачею металу в робочу порожнину нерухомої матриці. Поперечне видавлювання з поєднаною двосторонньою подачею металу здійснюється або за рахунок зустрічного руху пуансона (варіант 3), або шляхом примусового переміщення матриці зі швидкістю,

приблизно вдвічі меншою за швидкість руху пуансона (варіант 4) [83].

За п'ятим кінематичним варіантом для формування стрижневої частини передбачене прискорене, відносно пуансона, переміщення матриці. Шостий варіант характеризується послідовною двосторонньою подачею металу, що забезпечує найбільш повне та рівномірне заповнення радіальної порожнини [83].

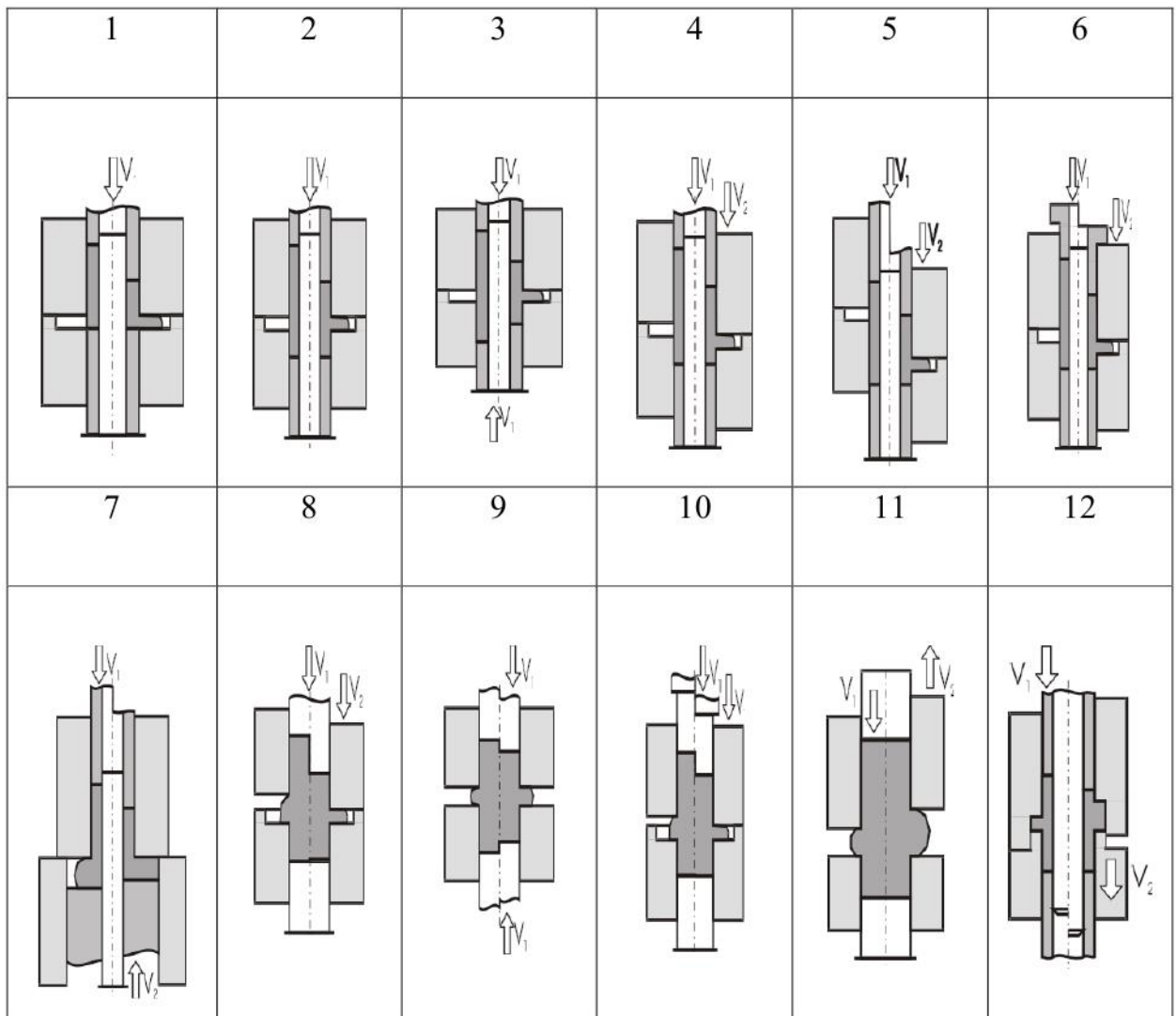


Рис.1.1. Кінематичні варіанти радіального видавлювання

Найпростіші кінематичні варіанти 1 та 2 реалізуються під час радіального видавлювання з односторонньою подачею металу в робочу

порожнину нерухомої матриці. Поперечне видавлювання з поєднаною двосторонньою подачею металу здійснюється за рахунок зустрічного руху пуансона (варіант 3) або шляхом примусового переміщення матриці зі швидкістю, приблизно вдвічі меншою за швидкість руху пуансона (варіант 4) [83].

У п'ятому варіанті для формування стрижневої частини деталі передбачено прискорене, відносно пуансона, переміщення матриці. Шостий варіант характеризується послідовною двосторонньою подачею металу, що забезпечує найбільш повне та рівномірне заповнення радіальної порожнини [83].

Кінематичні варіанти 7–12 передбачають зміну висоти приймальної радіальної порожнини, що створює умови для інтенсивної формозміни в зоні видавлювання фланця та є доцільним для коригування його геометрії. Так, у сьомому варіанті одночасно з радіальним видавлюванням здійснюється висадка фланця зустрічним рухом протипуансона, що дозволяє формувати фланці зі складним зовнішнім контуром, зокрема із зубчастим профілем [85].

За восьмим варіантом одночасно зі зближенням пуансонів відбувається зближення напівматриць. Кероване реверсивне переміщення напівматриць у процесі видавлювання (дев'ятий варіант) забезпечує можливість отримання в матрицях з плоскими торцями різноманітних деталей зі ступінчастими фланцями [86]. Десятий варіант реалізує послідовне двостадійне комбінування процесів радіального видавлювання та висадки [87].

Під час виготовлення деталей з масивними фланцями ефективним є одинадцятий варіант, за якого метал видавлюється в кругову порожнину з безперервним збільшенням її висоти. Для забезпечення стійкості тонкостінних порожнистих заготовок також рекомендується поступове збільшення висоти приймальної кругової порожнини (дванадцятий варіант) шляхом керованого переміщення однієї або двох напівматриць [88, 89].

На рис. 1.2 наведено варіанти виготовлення порожнистих деталей

способами комбінованого поздовжньо-поперечного видавлювання. Усі розглянуті схеми передбачають видавлювання вихідних порожнистих заготовок і, як правило, подальше профілювання бічної поверхні – зовнішньої або внутрішньої.

Найбільшою конструктивною та технологічною простотою характеризуються схеми отримання втулок шляхом поєднання радіальної та прямої течії металу під час висадки фланця на порожнистих заготовках (схеми 1). Операція висадки сприяє інтенсивному перерозподілу металу та формуванню фланців, зовнішній діаметр яких може у 3–4 рази перевищувати діаметр стрижневої частини деталі [108].

Поєднання схем поздовжнього зворотного та прямого видавлювання є ефективним для деформування потовщених кільцевих заготовок на оправці зі зниженими деформуючими навантаженнями (схеми 2) [3, 67].

Втулки з фланцями (потовщеннями) як на зовнішній, так і на внутрішній поверхнях можуть бути отримані шляхом поєданого поперечного радіального видавлювання (схема А3). Для розширення технологічних можливостей процесу доцільним є застосування поперечного видавлювання з додатково рухомими напівматрицями, що забезпечує керування течією металу, формоутворенням фланця та усунення дефектів типу утяжин (схема В3). Слід також зазначити, що науковий і практичний інтерес становлять схеми видавлювання з раціональним використанням утяжин, які виникають у процесі деформації [94].

Остаточне формування фланців, отриманих радіальним видавлюванням, здійснюється з метою усунення спотворень грибоподібної форми та збільшення їх граничного діаметра шляхом зближення напівматриць і додаткового підсаджування фланця [83].

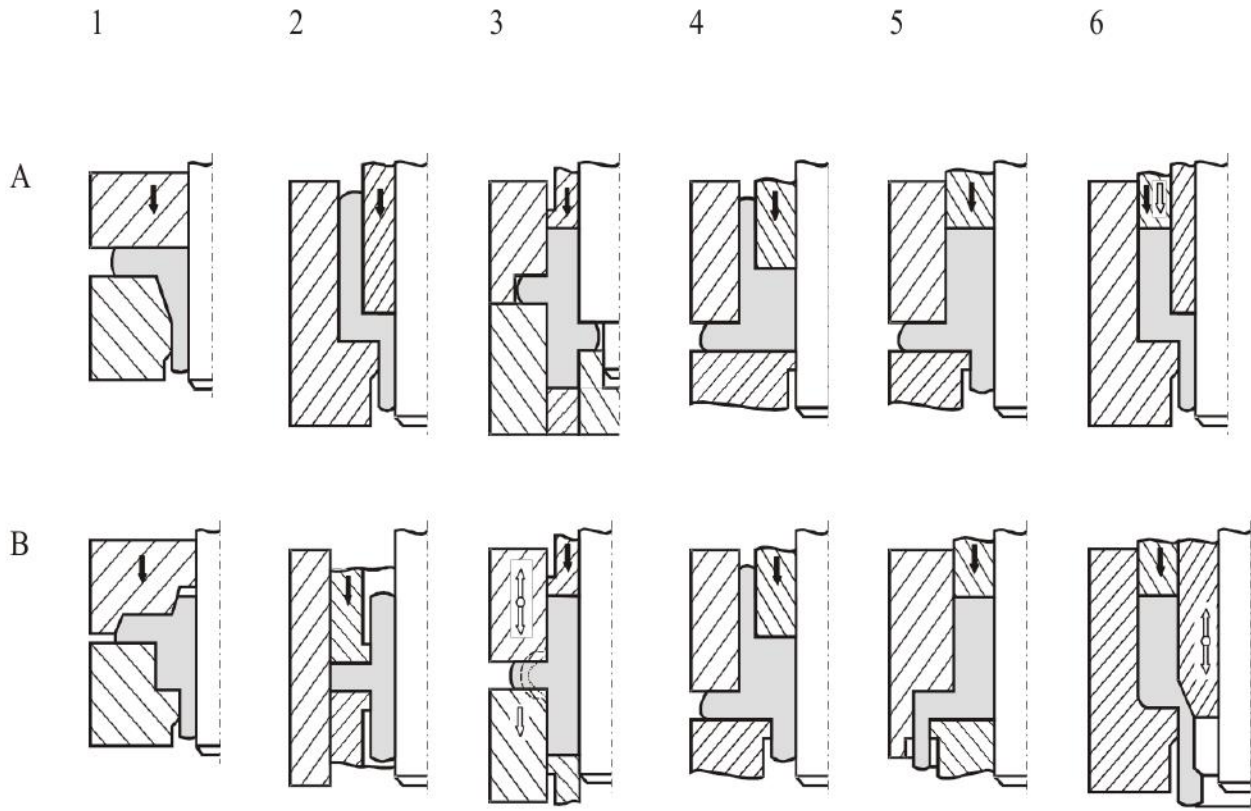


Рис.1.2. Способи комбінованого видавлювання пустотілих деталей

Способи комбінованого радіально-зворотного (поздовжнього) видавлювання (схема 4) посідають провідне місце серед розглянутих процесів з огляду на порівняно низькі робочі навантаження, що виникають під час деформування. Завдяки цьому такі схеми можуть бути рекомендовані для обробки матеріалів із підвищеним опором пластичній деформації [84].

Поєднання поперечного видавлювання зі схемами поздовжньої течії металу, як зазначалося вище, є ефективним інструментом для ускладнення конфігурації порожнистих деталей і забезпечення якісної формозміни стінки вихідної заготовки (схеми 5 і 6). Водночас найбільш складною з точки зору практичної реалізації є схема радіально-прямого видавлювання, суміщеного в часі та в осередку деформації (схема А5). У цьому випадку на межах розділу потоків металу виникають значні зсувні деформації, які

можуть спричиняти поділ окремих частин заготовки [84].

Разом із тим, послідовне радіально-пряме видавлювання (схеми В5, А6 і В6) є ефективним для формоутворення подовжених трубчастих деталей із суттєвим перепадом діаметрів ступінчастих ділянок та змінною товщиною стінки [71, 73, 76].

Загалом, способи комбінованого видавлювання, що поєднують поперечні схеми з традиційними поздовжніми процесами прямого та зворотного видавлювання, слід віднести до перспективних напрямів холодного об'ємного штампування. Це зумовлено їх здатністю забезпечувати отримання деталей складної геометричної форми за одну технологічну операцію [4, 9, 60, 67, 81, 84, 93–95]. Комбіноване поздовжньо-поперечне видавлювання суцільних заготовок, у свою чергу, характеризується значною кількістю можливих варіантів реалізації, що розширює його технологічні можливості та сфери практичного застосування [4, 84].

### **1.3. Штампова оснастка та обладнання для видавлювання пустотілих деталей**

Як зазначалося раніше, порожнисті деталі є широко розповсюдженими в машинобудуванні й присутні практично в усіх сільськогосподарських машинах і механізмах. Значна частина виробів цього типу виготовляється методами обробки тиском, що зумовлює велику різноманітність штампового оснащення, призначеного для процесів видавлювання таких деталей.

Для виготовлення деталей типу втулок зі змінною товщиною стінки застосовують як штампи з роз'ємними матрицями (рис. 1.8, 1.9) [67–72], так і штампи з матрицями для поздовжнього видавлювання (рис. 1.10) [49]. Штампи з роз'ємними матрицями забезпечують можливість отримання деталей складної геометричної форми завдяки ускладненій конфігурації інструмента. Водночас штампи з матрицями для поздовжнього видавлювання

відзначаються простотою конструкції та виготовлення, а отримані в них поковки характеризуються високою якістю, проте мають відносно просту форму.

Основна відмінність штампів з роз'ємними матрицями від штампів для поздовжньої течії металу полягає в наявності спеціальних замикаючих вузлів, призначених для затиску напівматриць, які при змиканні утворюють робочу порожнину штампа [73].

У роботах [3, 4] на основі аналізу форм поковок виділено основні схеми штампування в роз'ємних матрицях. Як класифікаційну ознаку прийнято орієнтацію площини роз'єму відносно осі деформуючого пуансона – коли площина роз'єму розташована вздовж напрямку його руху або перпендикулярно до нього [68]. Відповідно до цього в роботі [74] штампи поділено на штампи з поперечним роз'ємом, з поздовжнім роз'ємом і зі змішаним поздовжньо-поперечним роз'ємом.

Штампи з поперечною площиною роз'єму застосовують переважно для штампування деталей з відростками або потовщеннями, розташованими перпендикулярно до осі ковки. У таких штампах реалізуються процеси видавлювання хрестовин карданних шарнірів, фланців карданних валів і диференціалів [68, 78, 79]. Штампи з поздовжнім роз'ємом, у свою чергу, призначені для виготовлення поковок типу косинців з відростками під прямим або непрямым кутом до осі стрижня [67–75], вилок карданних шарнірів, а також втулок зі змінною товщиною стінки [76, 77].

Подальше ускладнення форми штампованих деталей зумовлює застосування штампів зі змішаним роз'ємом, що мають додаткові площини роз'єму, часто взаємно перпендикулярні. Прикладом такої конструкції є штамп для виготовлення велосипедної втулки [80].

Разом із тим штампи з роз'ємними матрицями мають суттєвий недолік, пов'язаний із труднощами одночасного забезпечення надійного затиску напівматриць під час видавлювання. Передача зусилля затиску матриці на

повзун преса призводить до значного, інколи багаторазового, збільшення енерговитрат, необхідних для здійснення пластичної деформації [73, 77].

У разі використання матриць для поздовжньої течії металу ускладнення форми видавлюваних деталей може бути досягнуте шляхом застосування штампів послідовної дії (рис. 1.11) [23]. При цьому кількість потовщень на втулці, які можуть бути сформовані в одному штампі, обмежується числом технологічних позицій.

У наукових дослідженнях основна увага приділяється штампам з роз'ємними матрицями та матрицями для поздовжнього видавлювання, тоді як у літературі практично відсутні відомості про штампи з рухомих формоутворювальним інструментом, незважаючи на значні технологічні можливості процесів видавлювання з додатково рухомими елементами інструмента.

До таких конструкцій належать штампи з вузлами приводу формоутворювального інструмента, а також штампи, призначені для пресів подвійної дії. Привідні вузли можуть бути механічними, що працюють від ходу повзуна преса, або гідравлічними, виконаними у вигляді спеціальних гідроциліндрів. Хоча такі рішення ускладнюють штампову оснастку, вони суттєво розширюють її технологічні можливості.

Штампи для пресів подвійної дії характеризуються тим, що основний деформуючий інструмент (пуасон) і допоміжний формоутворювальний інструмент (матриця та/або оправка) замикаються незалежно один від одного на різні повзуни преса. Це дозволяє виготовляти втулки зі змінною товщиною стінки широкої номенклатури.

Застосування спеціалізованих пресів подвійної дії дає змогу суттєво спростити штампову оснастку, а промислові приклади їх використання характеризуються високою ефективністю [10]. Для виробництва поковок складної форми також ефективними є багатоплунжерні преси [81], преси подвійної дії [82, 83], преси, створені на базі обладнання для видавлювання

порожнин [84], а також спеціалізовані преси для видавлювання в режимі активного тертя [85]. Встановлення закономірностей зміни силових і кінематичних параметрів процесів штампування та накопичення даних щодо технологічних режимів є необхідною передумовою для формування технічних вимог до пресового обладнання [86, 87].

Під час вибору типу преса подвійної дії доцільно надавати перевагу гідравлічним пресам порівняно з механічними, оскільки гідравлічні преси забезпечують значно більшу гнучкість у регулюванні ходів повзунів і адаптації режимів роботи до вимог конкретного технологічного процесу.

## **РОЗДІЛ 2**

### **ВИБІР НАПРЯМКУ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

#### **2.1. Вибір напрямку досліджень**

Перспективним напрямом виготовлення високоякісної продукції за мінімальних виробничих витрат є процеси холодного видавлювання, які характеризуються низкою суттєвих переваг. Застосування методів видавлювання замість механічної обробки різанням дозволяє максимально наблизити форму та геометричні розміри заготовок до параметрів готової деталі, забезпечуючи високий коефіцієнт використання матеріалу.

Водночас відомі способи виготовлення порожнистих деталей зі змінною товщиною стінки, незважаючи на їх різноманітність, мають обмежені можливості щодо формозміни, що стримує їх застосування для деталей складної конфігурації.

Проведений у першому розділі аналіз показує, що розширеними можливостями формоутворення володіють схеми видавлювання з додатково рухомим формоутворювальним інструментом. До таких схем належать, зокрема, процеси внутрішнього радіально-прямого видавлювання на рухомій ступінчастій або конічній оправці [88].

Зазначені схеми характеризуються такими перевагами, як значно ширші можливості формозміни та формування сприятливого напружено-деформованого стану заготовки в процесі видавлювання, що позитивно впливає на якість і експлуатаційні характеристики готових виробів.

Під час розроблення технологічних процесів видавлювання виникає низка інженерних завдань, пов'язаних із визначенням зусиль деформування, енергетичних витрат, а також вибором раціональних технологічних параметрів процесу.

## **2.2. Застосування метода кінцевих елементів для дослідження технологічних режимів холодного видавлювання**

Для моделювання процесу видавлювання фланців у даній роботі застосовано метод кінцевих елементів (МКЕ) (рис. 2.2).

Метод кінцевих елементів є універсальним чисельним методом, що набув широкого застосування при розв'язанні задач аналізу пружних деформацій штампового оснащення, пластичної деформації заготовок, визначення напружено-деформованого стану та температурних полів у технологічних процесах обробки металів тиском [153, 155]. МКЕ є узагальненням варіаційного методу, відмінністю якого є використання координатних функцій у вигляді кусочно-лінійних залежностей. Це істотно розширює можливості методу та спрощує розв'язання задач.

Завдяки лінійності координатних функцій задача зводиться до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь замість складних інтегро-диференціальних співвідношень [153–155]. Метод дозволяє аналізувати як плоскі та осесиметричні, так і просторові задачі пластичної течії. Результати чисельного аналізу можуть бути представлені у зручній для інтерпретації формі: лінії струму частинок металу, ізолінії температур, деформацій і напружень, що дає змогу прогнозувати можливість утворення дефектів форми та зон передчасного руйнування [153, 156–161].

В основу МКЕ покладено дискретизацію суцільного тіла шляхом поділу його об'єму на множину простих геометричних елементів (плоских і просторових; лінійних і криволінійних; трикутних, чотирикутних тощо). Кожному елементу та його вузлам надаються певні ступені свободи, а матеріальні властивості деформованого середовища описуються в рамках прийнятої моделі. Для пружно-пластичних матеріалів основними є механічні характеристики, що враховуються відповідно до теорії пластичної течії або деформаційної теорії пластичності [159, 161].

Для моделювання процесів об'ємного штампування у поєднанні з тепловим, динамічним та іншими видами інженерного аналізу доцільно використовувати універсальні кінцево-елементні програмні комплекси, зокрема ANSYS та LS-DYNA. Водночас для задач холодного штампування більш зручними є спеціалізовані пакети, такі як DEFORM, DynaForm, QForm, AutoForm, орієнтовані на моделювання процесів з великими пластичними деформаціями [156, 157, 181].

Для нових схем поперечного та комбінованого видавлювання характерною є складна геометрія деталей і наявність декількох ступенів свободи течії металу. Це істотно ускладнює МКЕ-моделювання при використанні лагранжевого підходу до опису руху матеріалу [155]. У таких випадках у зоні осі симетрії та в областях переходу геометрії елементи зазнають значних спотворень, що призводить до виродження елементів і порушення контактних умов. За таких умов результати розрахунків можуть втрачати достовірність [155, 161].

Одним зі способів усунення зазначених недоліків є адаптивна перебудова сітки, зокрема  $h$ -адаптація зі сталим характерним розміром елементів у зонах очікуваних високих градієнтів деформації [158, 161]. Недоліком цього підходу є перебудова сітки в задані моменти часу, незалежно від реального ступеня спотворення елементів. Удосконалені алгоритми, чутливі до форми елементів, дозволяють усунути цей недолік і оцінювати адекватність МКЕ-моделі за якісними та кількісними критеріями, що відображають втрату стійкості процесу деформування та спотворення форми напівфабрикату за наявності вільних поверхонь [159, 161].

Слід зазначити, що результати МКЕ-моделювання, як і будь-які розрахункові рішення, засновані на спрощених припущеннях, потребують обов'язкової експериментальної перевірки [154, 162].

На сьогодні теорія пластичності пропонує широкий спектр методів

визначення силових і деформаційних параметрів процесів деформування [22–35], серед яких: енергетичний метод, метод верхньої оцінки, метод полів ліній ковзання, метод кінцевих елементів, а також експериментально-аналітичні підходи.

Найбільшого поширення для аналізу процесів видавлювання набули енергетичний метод балансу потужностей [23, 25, 28, 29] та метод верхньої оцінки (жорстких елементів) [22, 23, 29]. Найбільш детально дослідженим процесом залишається поздовжнє видавлювання, для якого розроблено як теоретичні моделі, так і практичні рекомендації щодо розрахунку технологічних режимів. Значний внесок у розвиток цього напрямку зробили А.М. Дмитрієв та А.Л. Воронцов [124–126], а також автори робіт з аналізу нових схем деформування [127–131].

Водночас процеси поперечного та комбінованого поздовжньо-поперечного видавлювання залишаються менш вивченими, що обмежує їх промислове застосування. Моделювання радіального видавлювання фланців виконувалося обмеженою кількістю досліджень із використанням енергетичних методів, методу верхньої оцінки та методів функцій струму [23, 98, 127–131].

Аналіз літературних джерел свідчить, що на сьогодні рекомендації щодо розрахунку енергосилових параметрів холодного поперечного видавлювання порожнистих деталей типу втулок з фланцями, зокрема з внутрішніми фланцями, залишаються вкрай обмеженими. Це обумовлює актуальність подальших теоретичних, чисельних і експериментальних досліджень зазначених процесів.

Як зазначає Л.Г. Степанський, метод кінцевих елементів, попри свою універсальність, ґрунтується на прийнятті низки спрощувальних гіпотез, що зумовлює необхідність обов'язкової верифікації отриманих результатів [162]. З метою кількісної оцінки достовірності застосування МКЕ до аналізу процесів видавлювання було проведено порівняльне дослідження розподілу

параметрів напружено-деформованого стану в меридіональному перерізі деформованих зразків [161]. Порівняння розрахункових і експериментальних даних показало, що їх розбіжність перебуває в межах похибки методу ділильної сітки, що дозволяє зробити висновок про здатність МКЕ забезпечувати не лише якісну, а й кількісну оцінку розподілу параметрів ПДВ у процесах видавлювання.

Застосування методу кінцевих елементів при дослідженні процесів видавлювання дає змогу проаналізувати значну кількість варіантів технологічних схем. Найбільш раціональні з них можуть бути додатково перевірені та відпрацьовані експериментальним шляхом. При цьому налагодження технологічного процесу на комп'ютерній моделі дозволяє суттєво зменшити матеріальні та часові витрати, пов'язані з виготовленням дорогої штампової оснастки та її доведенням, а в окремих випадках – уникнути впровадження неефективних або помилкових технологічних рішень [161].

Важливим чинником, що істотно впливає на напружено-деформований стан заготовки та величину зусиль формозміни при обробці металів тиском, є контактне тертя. Разом із тим у процесах холодного об'ємного штампування коректний облік впливу тертя ускладнений через дію значної кількості взаємопов'язаних факторів [22, 23, 163–167]. У зв'язку з цим при теоретичному аналізі зазвичай використовують спрощені моделі тертя, зокрема закони Кулона або Зібеля. Однак для процесів видавлювання з двома або кількома ступенями свободи течії металу такий підхід істотно знижує точність розрахунків і в ряді випадків призводить до побудови неадекватних математичних моделей, незалежно від застосованого методу аналізу [23, 155, 157, 160].

При поперечному видавлюванні сили тертя в контейнері мають визначену напрямленість і можуть бути зафіксовані під час ковзання металу, що переміщується в зону інтенсивної деформації. У роботі [167] на прикладі

радіального видавлювання показано принципову можливість реєстрації інтегральних сил тертя у вертикальній порожнині матриці, чому значною мірою сприяють специфічні особливості даного процесу.

Окремої уваги потребує проблема оцінки технологічної деформованості на стадії проектування процесів видавлювання, які реалізуються в екстремальних енергосилових і деформаційних режимах. Застосування феноменологічних критеріїв руйнування [149, 168–175] є можливим за умови відомих характеристик пластичності матеріалу та достовірного визначення напружено-деформованого стану в пластичній зоні деформованої заготовки. Надійність оцінки граничних технологічних параметрів при цьому залежить як від точності розрахунку ПДВ, так і від адекватності представлення пластичних властивостей матеріалу у вигляді діаграм або поверхонь пластичності [168, 175].

При побудові діаграм пластичності як параметр, що однозначно характеризує пластичність матеріалу, зазвичай використовується граничне значення накопиченої пластичної деформації [23, 27, 149, 168–170]. Водночас у процесі пластичної формозміни матеріал набуває анізотропних властивостей, у зв'язку з чим таке трактування міри пластичності, за якого всі прирости деформації вважаються рівнозначними, є недостатньо повним. З фізичної точки зору більш обґрунтованим є використання як параметра пластичності величини роботи пластичної деформації до руйнування. Можливість застосування енергетичного аналога діаграми пластичності для формулювання критерію деформації без руйнування зміцнюваного металу відзначена в роботі [171].

У дослідженнях Л.Г. Степанського [176] прогнозування руйнування металу в процесі деформування ґрунтується на припущенні про сталість граничної роботи головних розтягуючих напружень, виконаної ними в одиниці об'єму матеріалу при досягненні критичних деформацій. Запропонований критерій є відносно простим, однак не враховує випадки

деформування в умовах всебічного стиску, коли всі нормальні компоненти тензора напружень мають від'ємні значення. Якщо нехтування впливом історії навантаження не призводить до істотних похибок у прогнозуванні граничного ступеня формозміни, зазначений критерій може знайти широке практичне застосування в розрахунках процесів холодного деформування. Подальший розвиток енергетичних підходів до оцінки деформованості металів потребує розширених експериментальних досліджень впливу умов і параметрів деформування на питому роботу руйнування як за простого, так і за складного навантаження.

Проблеми проектування технологічних процесів значною мірою обумовлені зростанням тривалості та трудомісткості проектних робіт, а також обмеженою кількістю варіантів, що розглядаються і порівнюються. Подолання цих труднощів можливе шляхом використання сучасних електронно-обчислювальних машин і систем автоматизованого проектування, створення та поповнення інформаційних банків даних сучасних технологій, технологічних прийомів і конструкцій штампів [177, 179–180]. Основою сучасних САПР є комп'ютерне моделювання, яке завдяки розвитку засобів візуалізації вийшло на якісно новий рівень, що дозволяє спостерігати процес формозміни заготовки безпосередньо на екрані дисплея [177, 181].

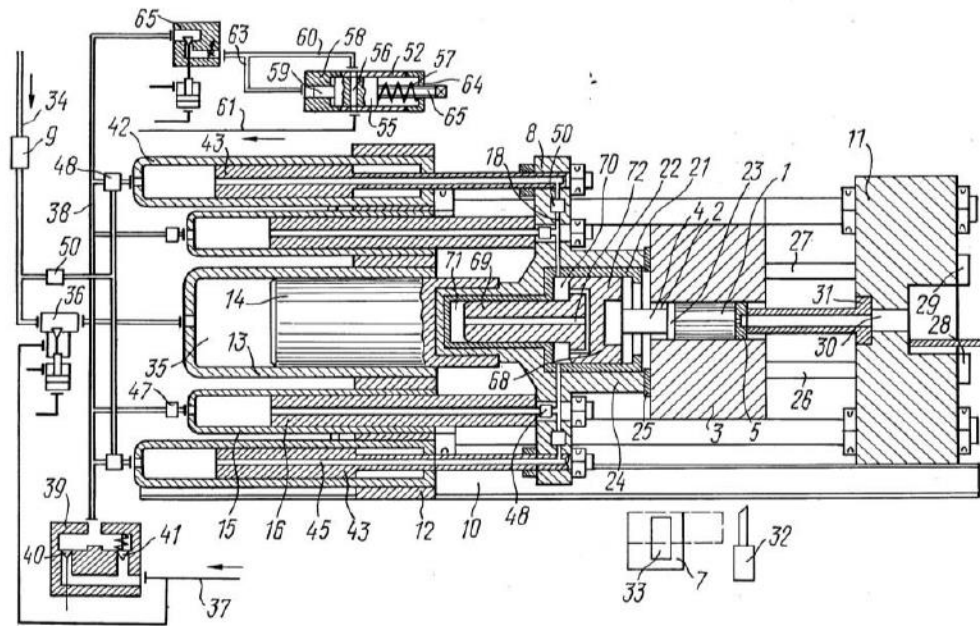
## **РОЗДІЛ 3**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОРОТНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА СХЕМОЮ РУХОМОГО КОНТЕЙНЕРА**

#### **3.1 Сучасне пресове обладнання для здійснення пресування з активною дією сил тертя**

У ході численних досліджень було показано безсумнівну перевагу пресування з активною дією сил тертя (СПАТ) порівняно з традиційними прямим і зворотним способами пресування. Так, при СПАТ швидкості пресування у 3–4 рази вищі, ніж при прямому, і на 25–40 % вищі, ніж при зворотному пресуванні; забезпечуються рівномірні механічні властивості по довжині та перерізу виробів, відсутній крупнокристалічний обідок, вихід придатної продукції зростає до 90 % тощо.

Важливим кроком уперед у пресобудуванні стало розроблення нової конструктивної схеми преса із залежним «жорстким» гідравлічним зв'язком між рухомими елементами преса (рис. 3.1). Такий зв'язок досягається встановленням на пресувальній траверсі 8 циліндра підпору 21 та на задній поперечині – циліндрів стабілізації втоплення плунжера підпору 15, з'єднаних між собою трубопроводами 18. Наявність циліндра підпору 21 забезпечує не лише випереджальний рух контейнера 3 відносно пресштемпеля 4, а й автоматичний перерозподіл зусиль між ними у необхідному співвідношенні. Крім того, встановлення циліндрів стабілізації 15 додає потужності пресу пропорційно їх площі. При цьому переміщення пресштемпеля і контейнера здійснюється одним головним робочим приводом 13. Для холостих ходів і повернення контейнера встановлюється окремий привод 26, 27 на передній поперечині. Виконання плунжера підпору з хвостовиком 69, розміщеним у порожнині плунжера 14 головного циліндра 13, дає змогу істотно скоротити габарити пресувальної траверси з циліндром підпору [4].



1 – заготовка; 2 – втулка контейнера; 3 – контейнер; 4, 23 – короткий пресштемпель; 5 – матриця; 7 – механізм подачі заготовки; 8, 24 – рухома траверса; 9, 19, 20, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 65, 66, 67 – керовані та некеровані клапани; 10 – станина; 11 – передня поперечина; 12 – задня поперечина; 13, 14, 35 – головний силовий циліндр; 15, 16 – стабілізувальні циліндри; 17 – колони; 18, 72 – трубопроводи та канали; 21, 22, 68, 70, 71 – циліндр підпору; 25 – упор; 26, 27, 28, 29 – циліндри переміщення контейнера; 30 – вікно в передній поперечині; 31 – шплінт; 32 – ніж; 33 – притискний пристрій; 34, 38 – трубопровід магістралі високого тиску; 36 – клапан наповнення; 37 – трубопровід магістралі низького тиску; 39, 40, 41 – розподільний пристрій; 42, 43, 44, 45 – форсувальні-зворотні циліндри; 52, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64 – автоматичний дроселювальний пристрій; 69 – центрувальний хвостовик плунжера циліндра підпору; 70, 71 – внутрішня порожнина циліндра підпору; 72 – канали в циліндрі підпору

Рис. 3.1 – Горизонтальний гідравлічний прес із «жорстким» гідравлічним зв'язком його рухомих елементів для пресування з активною дією сил тертя:

Для автоматичного одержання необхідного значення кінематичного коефіцієнта ( $KW=VK/V_{\text{ПР}}$ ) співвідношення швидкостей контейнера  $V_K$  і пресштемпеля  $V_{\text{ПР}}$ , а також для надійної роботи вузлів преса в процесі екструдуювання, необхідне виконання різних конструктивних елементів преса у строгій взаємній відповідності. Так, для виключення мультиплікації тиску у внутрішній порожнині циліндра підпору 21 площа поперечного перерізу плунжера підпору 22 має дорівнювати сумарній площі поперечних перерізів усіх силових циліндрів, що здійснюють робочий хід траверси 8 (рис. 3.1).

Хід траверси 8, плунжерів 14 силових циліндрів і плунжерів 16 циліндрів стабілізації складається з холостого  $H_I$  та робочого  $H_R$  ходів. За умови розчеплення підпору (при максимально можливому висунутому плунжері 22 вправо за рис. 3.1):

$$W_A = W_S; W_A = F_A H_A; F_A H_A = F_S H_R$$

де:  $W_A$  – об'єм робочої порожнини циліндра підпору;  $F_A$  – площа поперечного перерізу циліндра підпору;  $F_S$  – сумарна площа поперечного перерізу всіх циліндрів стабілізації;  $H_A$  – довжина робочої порожнини циліндра підпору;  $H_R$  – величина максимального робочого ходу плунжера циліндрів стабілізації.

Величина  $K_W$  визначається співвідношенням:

$$K_W = V_K/V_{\text{ПР}} = (H_K/\square_w)/(H_{\text{ПР}}/\square_w) = H_K/H_{\text{ПР}},$$

де:  $H_K$  – величина ходу контейнера;  $H_{\text{ПР}}$  – величина ходу пресштемпеля;  $\tau W$  – час робочого ходу.

Робочий хід  $H_K$  контейнера дорівнює робочому ходу  $H_T$  траверси, отже, він дорівнює і робочому ходу  $H_R$  плунжерів циліндрів стабілізації. Тоді:

$$K_W = H_R/(H_R - H_A).$$

Таким чином, для одержання заданого співвідношення  $K_w$  на всій протяжності робочого ходу довжина внутрішньої вільної порожнини 70, 71 циліндра підпору має бути:

$$H_A = H_R / (1 - 1/K_w).$$

Одержуємо необхідне співвідношення між площею  $F_A$  поперечного перерізу циліндра підпору та сумарною площею  $F_s$  поперечного перерізу всіх циліндрів стабілізації.

$$F_s H_R = F_A H_R / (1 - 1/K_w),$$

$$F_s = F_A (1 - 1/K_w).$$

Прес працює таким чином. Нагріта до заданої температури заготовка 1 подається на вісь преса за допомогою спеціального задатчика 7 із затискним механізмом 33. При цьому приблизно 1/3 заготовки звисає з призми задатчика. Холостим ходом контейнер 3 насувається на звисаючу частину заготовки. Далі за допомогою спеціального знімача матриця 5 встановлюється на шплінт 31. Податчик зливків виходить за межі робочої зони. Після цього в дію вступають форсувальні циліндри 42, і пресувальна траверса 8 (діючи на заготовку пресштемпедем) холостим ходом повністю заштовхує заготовку в контейнер. При цьому траверса через спеціальні приливи 25 починає взаємодіяти з контейнером, і система починає рухатися як єдине ціле. Після контакту заготовки з матрицею холостий хід закінчується. У головний циліндр 13 подається робоча рідина високого тиску і починається стадія розпресування. Стадія розпресування плавно переходить у пресування. У цей час відкривається клапан 48, що з'єднує порожнини циліндрів підпору 21 і стабілізації 15. Оскільки плунжери 16 циліндрів стабілізації тягне пресувальна траверса, у них постійно звільняється строго фіксований об'єм, у який починає перетікати робоча рідина з циліндрів підпору. У результаті цього циліндр підпору з установленим на ньому пресштемпедем 4 починає занурюватися і, таким чином, відставати від

контейнера. Цим забезпечується заданий кінематичний коефіцієнт  $KW$ .

На пресі може бути встановлено декілька циліндрів стабілізації; вмикаючи та вимикаючи їх попарно, можна ступінчасто змінювати кінематичний коефіцієнт у ході процесу, підтримуючи його оптимальне значення. Як циліндри стабілізації можуть використовуватися форсувальні циліндри 42 після завершення їх основної функції холостого ходу. Вони з'єднуються з циліндром підпору трубопроводами 18 і додатково встановлюються клапани 50.

Після досягнення заданої величини пресзалишку, який при СПАТ становить приблизно  $(0,1-0,05)D_k$ , процес зупиняється. Далі пресштемпель відводиться у вихідне положення. Ходом циліндра контейнера контейнер переміщується до контакту з упором контейнера. При цьому з контейнера виходить пресзалишок за його межі. Потім ходом ножа 32 пресзалишок відрубують від виробу. Останній по спеціальному жолобу скочується в короб. Виріб спеціальним пристроєм витягується з каналу матриці та транспортером подається на стіл охолодження. Далі контейнер відсувається від упора контейнера і упор прибирається. Після цього контейнер рухається до контакту з передньою поперечиною 11, у результаті чого з нього виходить матриця, яка за допомогою спеціального пристрою захоплюється та підіймається над контейнером. Контейнер повертається у вихідне положення, і цикл може бути повторений.

Сучасне пресобудування вже немислиме без повної автоматизації процесу. Тому в процесі реконструкції преса П8546 були обрані конструктивні рішення, що дали змогу скоротити кількість допоміжних операцій і час їх виконання, що спростило його автоматизацію. Робота контролера передбачала одночасне обслуговування трьох функціональних груп: власне преса, ділянки подачі та нагріву заготовок і вихідної лінії. При використанні програмованого контролера можна одночасно виконувати до п'яти операцій, що дає змогу істотно скоротити допоміжний час.

Система працює таким чином. На контролер надходять сигнали від органів керування з пультів, розташованих біля преса та поблизу допоміжних механізмів, а також сигнали від датчиків, установлених на всіх рухомих елементах пресової установки. Контролер постійно обробляє отриману інформацію і відповідно до закладеної в нього програми видає в необхідній послідовності команди на виконавчі механізми пресової установки. У разі нештатної ситуації подача команд припиняється або повністю зупиняються всі механізми преса, після чого з робочих циліндрів знімається тиск.

Система керування передбачає два режими роботи преса – ручний і автоматичний. В обох випадках діють захисні блокування, що виключають поломки механізмів унаслідок неправильних дій оператора або збою автоматичного циклу. Значно скоротилася кількість релейної апаратури та обсяг її технічного обслуговування, система керування стала гнучкою, легко й швидко переналагоджуваною, з можливістю задавання характеру зміни кінематичного коефіцієнта протягом усього циклу пресування. Так, з метою більш рівномірного пропрацювання пресвиробів по всій довжині доцільно на початковій стадії процесу збільшити кінематичний коефіцієнт до  $KW = 1,6$ , а наприкінці зменшити його до  $KW = 1,1$ . Для забезпечення таких режимів пресування був розроблений спеціальний автоматичний регулятор, що дає змогу додатково стравлювати рідину з циліндра підпору за заданим законом (рис. 3.1, поз. 58).

Зрослі швидкості витікання при СПАТ дають змогу істотно скоротити час пресування. Водночас зростання продуктивності преса стримується великою часткою допоміжного часу, що становить приблизно половину робочого циклу преса. Майже половина допоміжного часу витрачається на передачу матриці через контейнер після операції відділення пресзалишку. В іншому разі, при протягуванні матриці через контейнер (для повернення її у вихідне положення), робочий пояс матриці зачіпатиме за алюмінієву

пресоболонку на контейнері, що в подальшому призведе до дефектів на виробках. Аналіз наявних даних показав, що для розв'язання цієї проблеми найбільш раціональним є застосування конструкцій інструмента з пружними елементами.

Особливістю СПАТ є постійне зростання тиску в циліндрі підпору 21, 70 (рис. 3.1). У результаті цього на плунжер 2 золотника постійно зростає тиск, тому золотник, стискаючи пружини 6, безперервно переміщується вправо за рисунком. При цьому постійно змінюється дроселювальний отвір, що утворюється між отвором 9 у корпусі золотника і отвором 5 у золотнику. Виконавши отвір у золотнику необхідної конфігурації, можна досягти бажаного зливу рідини з циліндра підпору і тим самим забезпечити будь-який закон зміни кінематичного коефіцієнта. За допомогою різних напрямних планок 7 (ходового гвинта) можна надавати золотнику додатковий різний обертальний рух, змінюючи таким чином дроселювальний отвір при одній конфігурації золотника. Додатковим регулюванням може слугувати величина попереднього стискання пружин за допомогою кришки 8.

Переваги, що забезпечуються у процесі СПАТ, досягаються за рахунок прискореної течії периферійних шарів металу заготовки. Така течія металу створюється завдяки прискореному руху контейнера відносно пресштемпеля. У результаті активної дії сил тертя між контейнером і заготовкою виникає прискорений периферійний потік металу (ППМ), однак величина тертя залежить від численних чинників (особливо від співвідношення температур нагрівання заготовки і контейнера) і може змінюватися в широких межах.

Досвід експлуатації пресів П8546 і П1680 підтвердив доцільність створення залежних приводів (із «жорстким» гідравлічним зв'язком) для переміщення контейнера і пресштемпеля. Всебічне дослідження СПАТ підтвердило безсумнівну перевагу цього процесу порівняно з традиційними прямим і зворотним пресуванням, а постачання прутків і профілів з

підвищеною точністю та регламентованою структурою за кордон підтвердило високу конкурентоспроможність цієї продукції на світовому ринку. Використання комплексного математичного моделювання дало змогу істотно розширити можливості керування процесом пресування, створити й оптимізувати конструкції нового інструмента, а також прогнозувати отримання необхідної структури та механічних властивостей пресвиробів.

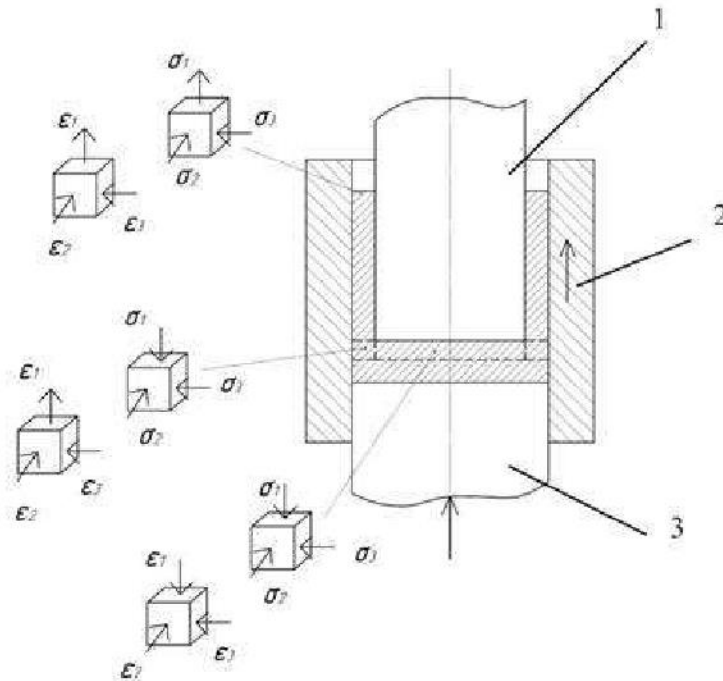
### **3.2 Дослідження сили деформування процесу зворотного видавлювання деталей за схемою рухомого контейнера**

Виникнення активних сил тертя дає змогу отримувати більш якісні вироби шляхом видавлювання. Матеріал заготовки, що видавлюється з-під торця пуансона, тече в зазор між пуансоном і контейнером. Якщо відносна швидкість контейнера зростає, то сили тертя, прикладені до заготовки, також збільшуються. Зворотне видавлювання з активними силами тертя за різних швидкостей контейнера дає змогу знизити сили деформування до 30 %. Якщо ж контейнер не закріплений і під дією сил тертя, зумовлених течією металу деформованої заготовки, переміщується в напрямку течії, то можливе зменшення сили видавлювання лише до 8 % порівняно зі звичайним видавлюванням.

Під час зворотного видавлювання спостерігається складний напружений стан. Напруження змінюються від однойменної схеми всебічного стиску до різнойменної схеми з переважанням напружень розтягу поблизу зони вільної течії металу (рис. 3.2).

Складний характер розподілу за об'ємом заготовки має також і деформація. Найбільшій деформації зазнають зони заготовки, розташовані поблизу поверхні інструмента, який передає тиск на напівфабрикат. Різні зони заготовки зазнають різної деформації як за величиною, так і за напрямом.

Величина нерівномірності деформації по діаметральному перерізу деталі є більшою за малих ступенів обтиснення. У зонах поблизу поверхні інструмента, що передає тиск, а також в осередку інтенсивної деформації спостерігається значна нерівномірність деформації. Решта об'єму заготовки проштовхується у формоутворювальну порожнину інструмента, практично не деформуючись.



1 – пуансон; 2 – контейнер; 3 – виштовхувач

Рис. 3.2 – Механічна схема напружено-деформованого стану процесу зворотного видавлювання за схемою рухомого контейнера

Зі зростанням ступеня деформації зона найбільших деформацій зменшується, проте збільшується величина деформації решти об'єму заготовки. Нерівномірність деформацій по перерізу знижується, а на завершальній стадії процесу практично зникає. Осередком пластичної деформації охоплюється не вся заготовка, а лише зони, прилеглі до формоутворювальних порожнин інструмента.

Застосування закону тертя Амонтона-Кулона під час аналізу процесів видавлювання призводить до незадовільних результатів, особливо при

дослідженні об'ємних процесів деформування. Це пов'язано з наявністю значних нормальних напружень, унаслідок чого відбуваються пластична деформація контактної поверхні та втрата лінійної залежності сили тертя від нормального навантаження. Тому в теоретичних дослідженнях процесів видавлювання доцільно використовувати закон постійного тертя (закон Зібеля).

Згідно з теорією пластичності величина граничного дотичного напруження не може перевищувати  $0,5\beta\sigma_s$ . Із цього випливає, що максимальне значення коефіцієнта тертя дорівнює 0,5, що підтверджує факт прилипання матеріалу до інструмента з подальшим його зрізанням у зоні контакту. Окрім цього, у наведених вище роботах було прийнято низку допущень математичного характеру.

Штампування видавлюванням намагаються застосовувати для виготовлення поковок із важкодеформованих металів і сплавів, напруження текучості яких перевищує 1000 МПа. Питома сила деформування, прикладена до торця пуансона, під час видавлювання таких матеріалів може бути значною. У цьому разі складно очікувати задовільної стійкості робочих елементів штампової оснастки.

У зв'язку з цим доцільно обирати такі схеми деформування при штампуванні видавлюванням, які можуть бути реалізовані за умови прикладання менших питомих сил деформування. Зміна характеру прикладання зовнішніх сил, зокрема сил тертя, призводить до зміни схеми напруженого стану та до зменшення питомих сил деформування на контактних поверхнях заготовки й робочого інструмента.

Отже, можна зробити висновок, що вибір найбільш раціональної схеми деформування сприяє підвищенню стійкості робочого інструмента. Зокрема, за таких зовнішніх сил пластичні деформації будуть рівномірними в об'ємі заготовки. У цьому випадку напрям касальних напружень на бічній поверхні заготовки та течія матеріалу збігаються.

Нижче наведено вирази основних параметрів процесу зворотного видавлювання, а саме питомої сили деформування та відносної висоти осередку пластичної деформації, отримані Л.А. Шофманом і А.Г. Овчинниковим.

У Л.А. Шофмана

$$q = 2\sigma_s \left( 2 + \frac{0,5\mu d}{S} \right),$$

де  $d$  - діаметр пуансона;  $S$  - товщина деталі,  $\mu$  - коефіцієнт тертя.

По Л.А. Шофману сила при зворотному видавлюванні визначається по формулі

$$P = k\sigma_s \ln \frac{F}{F - F_n} \cdot F,$$

де  $F$  и  $F_n$  – площі поперечного перерізу заготовки і пуансона;  $k$  – коефіцієнт зміцнення,  $k = 3,5...4,0$  для алюмінія та  $k = 2,5...3,0$  для міді, латуні и маловуглецевої сталі;  $\sigma_s$  - тимчасовий опір.

У А.Г. Овчинникова

$$q_a = - \left[ \frac{\frac{1}{2} + \mu_{\Pi}}{4\bar{h}_y} + \frac{(1 - 2\mu_k \bar{R})\bar{h}_y}{2(\bar{R}^2 - 1)} + \frac{\bar{R}^2 + 3}{\sqrt{3}\sqrt{\bar{R}^4 + 3}} \right] + 0,82,$$

$$\bar{h}_y = \sqrt{\frac{(\bar{R}^2 - 1)\left(\frac{1}{2} + \mu_{\Pi}\right)}{2(1 - 2\mu_k \bar{R})}} \left[ 1 + k_y (1 - 0,2e^{-\bar{s}} - 0,8e^{-5\bar{s}}) \right] \rightarrow P = \pi r^2 q_a \sigma_s,$$

де

де  $\bar{R} = R/r$  - відносний радіус контейнера;  $e$  - основа натурального логарифма;  $s$  - відносна величина робочого ходу виштовхувача, пропорційна до радіусу пуансона;  $k_y$  - коефіцієнт зміцнення, який враховує вплив середнього кута наклону кривої зміцнення на висоту осередка деформації;  $h_y$  - початкова висота осередка деформації;  $\mu_k$  - коефіцієнт тертя по контейнеру;  $\mu_{\Pi}$  - коефіцієнт тертя по пуансону;  $P$  - сила деформування;  $r$  -

радіус пуансона;  $\sigma_s$  - напруження текучесті деформованого матеріала.

Моделювання процесу видавлювання проводилось для половини деталі, так як стакан є вісесиметричним виробом.

Температура матеріала заготовки і інструмента приймалась 20 °С.

Заготовку в програмі Deform 2D/3D розбили на 20 000 кінцевих елементів (рис. 3.3 та рис. 3.4).

Була прийнята модель переміщення – закон швидкостей:

В качестве модели перемещенія был прийнят закон екоростей: під час здійснення моделювання процесу зворотного видавлювання за схемою рухомого контейнера вважалось, що виштовхувач переміщується зі швидкістю, рівною 4 мм/с, за нерухомого пуансона. Контейнер також переміщується в напрямку течії металу з постійною швидкістю 5 мм/с. Коефіцієнти тертя для всіх варіантів задач і напівфабрикатів заданого діаметра приймалися рівними 0,18. Для порівняння товщина дна напівфабрикату бралася рівною 5 мм.

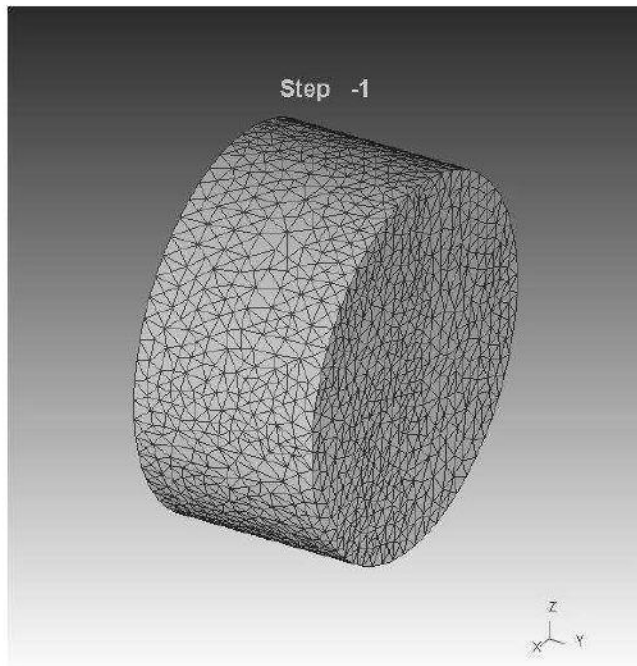


Рис. 3.3 – Розбиття заготовки ( $\varnothing = 36$  мм) на 20 000 кінцевих елементів

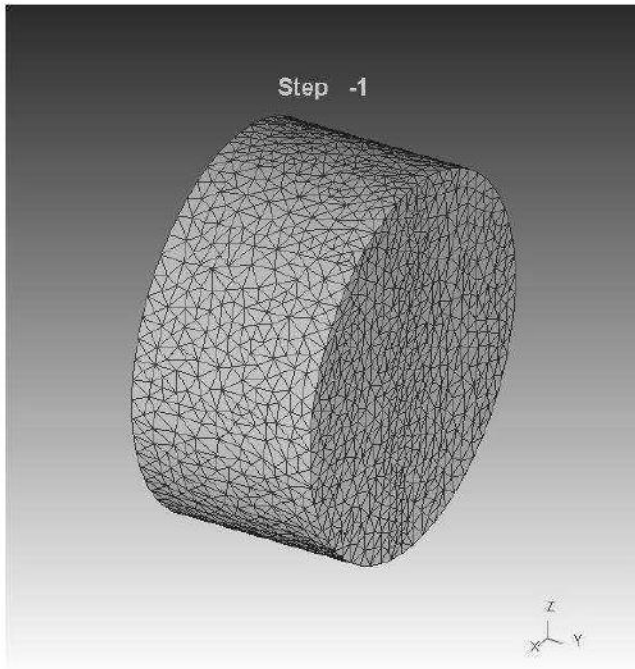


Рис. 3.4 – Розбиття заготовки ( $\varnothing = 60$  мм) на 20 000 кінцевих елементів

Результати розрахунків вибірково подано у вигляді графіків (рис. 3.5–3.6).

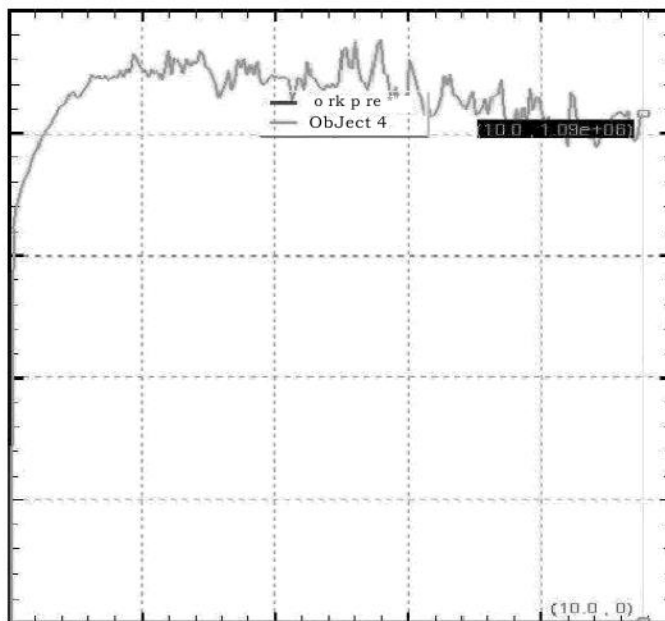


Рис. 3.5 – Графік залежності сили процесу зворотного видавлювання для заготовки діаметром 36 мм

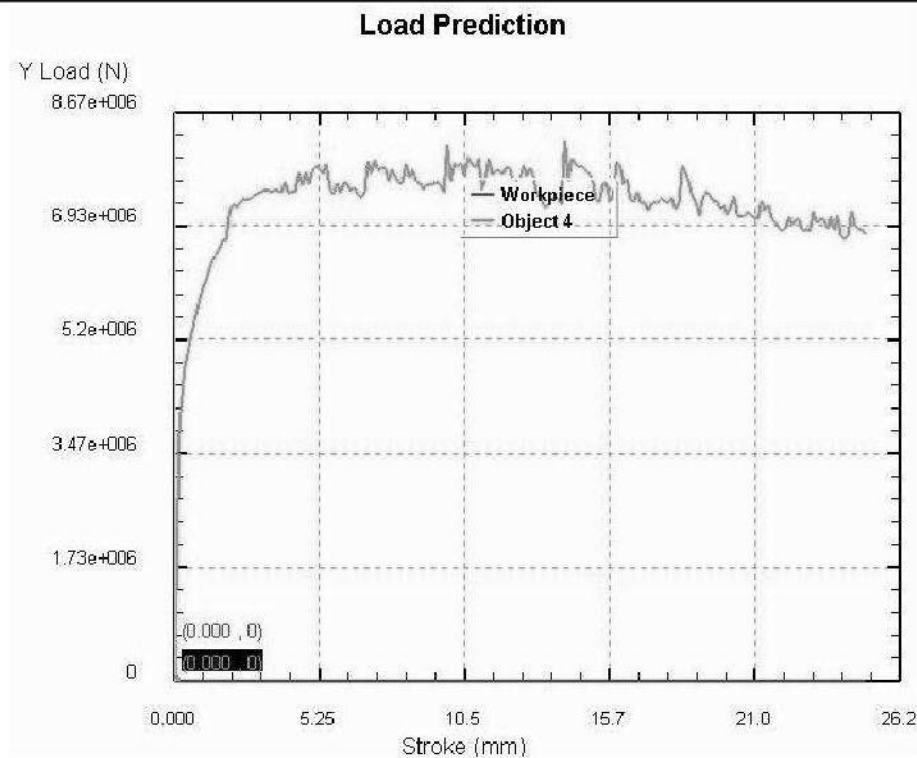


Рис. 3.6 – Графік залежності сили процесу зворотного видавлювання для заготовки діаметром 60 мм

Результати розрахунків, отримані в програмі DEFORM-3D, є близькими до результатів А. Г. Овчинникова у межах 1–6 % залежно від коефіцієнта тертя. Таке зближення результатів розрахунків пов'язане з урахуванням тягнучої сили рухомого контейнера.

Процес зворотного видавлювання з активними силами тертя набув широкого застосування під час виготовлення напівфабрикатів. Активні сили тертя створюються внаслідок руху контейнера в напрямку витікання металу.

Результати розрахунків, отримані в програмі DEFORM-3D дають змогу швидше перейти до налагодження процесу виготовлення стаканів на спеціалізованому пресі з рухомим контейнером та встановити оптимальні силові параметри.

## **РОЗДІЛ 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 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 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.

### 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.

### **5.3. 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).

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

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.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі на підставі проведеного аналізу стану і шляхів розвитку процесів точної об'ємного штампування, існуючих технологій та штампового оснащення можна зробити наступні висновки:

1. Способи видавлювання, завдяки технологічним та економічним перевагам, забезпечують ефективне і все зростаюче використання процесів обробки металів тиском в різних видах металообробних галузей промисловості.

2. На основі теоретичних досліджень підібрані раціональні форма і розміри заготовки, з точки зору мінімуму величини відхилення форми, у вигляді торцева сфера, для схем радіально-прямого видавлювання на конусної оправці з нульовим і позитивним перекриттям. Такою заготовкою є втулка з фаскою на внутрішній поверхні, причому фаска повинна мати розмір 50% від товщини видавлюємої стінки.

3. Метод кінцевих елементів може дозволити провести за допомогою комп'ютерних моделей імітаційний математичний експеримент і, зокрема, за рахунок використання модифікованих програмних пакетів прогнозувати характер формозміни деталей складних конфігурацій в умовах великих і неоднозначних пластичних течій, характерних для процесів поперечного і комбінованого видавлювання.

4. Для дослідження деформованого стану заготовок при радіальному і комбінованому видавлюванні обрано метод сіток, який дозволяє вивчити закономірності формування зон пластичного течії і розподілу ступеня деформації у заготовці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кондо К. Повышение точности поковок, изготавливаемых холодной объемной штамповкой / К. Кондо // Кузнечно-штамповочное производство. - 2000. - № 5.
2. Алиев И.С. Новые технологические процессы холодного выдавливания сложнопрофилированных деталей / И.С. Алиев // Nowe technologie i osiagniecia w metalurgii i inzynierii materialowej: Seria Metalurgia, nr 25. - Czestohowa : Wipmifs. - 2002. - С. 159-162.
3. Каржан В.В. Прогрессивная технология и оборудование для обработки давлением / В.В. Каржан // Кузнечно-штамповочное производство. - 1985. - № 8. - С. 10-13.
4. Новиков В.М. Внедрение металлосберегающей технологии - важнейший резерв экономии металла / В.М. Новиков, И.З. Мансуров, Ю.С. Радюченко // Кузнечно-штамповочное производство. - 1982. - № 5 - С. 2-5.
5. Евстратов В.А. Состояние, направления развития и проблемы холодного и полугорячего выдавливания / В.А. Евстратов // Кузнечноштамповочное производство. - 1985. - № 10. - С. 10-11.
6. Жбанков Я.Г. Радиальное выдавливание полых изделий с применением противодействия / Я.Г. Жбанков, Е.И. Кацюбивская // Збірник тез 9 Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Технологія 2006», Северодонецьк, 2006 - С. 11.
7. Ребельский А.В. Штамповка поковок в разъемных матрицах / А.В. Ребельский, О.В. Протопопов, А.В. Кузнецов, И.С. Поляков, Ю.И. Рыбаков // Кузнечно-штамповочное производство. - 1962. - № 12 - С. 3-8.
8. Алиев И.С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания / И.С. Алиев // Кузнечноштамповочное производство. - 1990. - № 2.
9. Алиев И.С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания. / И.С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. - 1988. - № 6 - С. 1-4.
10. Шibaков В.Г. Технологические возможности установки для управляемого поперечного выдавливания / В.Г. Шibaков // Кузнечноштамповочное производство. - 2002. - № 2 - С. 28-30.
11. Гафуров Р.М. Прогрессивные технологии холодной объемной штамповки ОАО ГАЗ / Р.М. Гафуров, Ф.П. Михайленко // Кузнечноштамповочное производство. - 2000. - № 4. - С. 14-18.
12. Алиев И.С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания / И.С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. - 1988. - № 6. - С. 1-4.
13. Алиев И.С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания / И.С. Алиев // Кузнечноштамповочное производство. - 1990. - № 2.
14. Жогорев Ю.А. Опыт холодного выдавливания цилиндрической детали с полым отрезком и фланцем в его средней части / Ю.А. Жогорев // Кузнечно-штамповочное производство. - № 9. - 1992. - С. 11-12.
15. Исаченков Е.И. Перспективы интенсификации процессов холодного прессования / Е.И. Исаченков, В.А. Мишурич // Кузнечноштамповочное производство. - № 9. - 1965. - С. 1-8.
16. Басюк С.Т. Изготовление поковок сложных форм в штампах с разъемными матрицами / С.Т. Басюк // Кузнечно-штамповочное производство. - № 7. - 1973.
17. Артес А.Э. Совершенствование технологических процессов холодной объемной штамповки деталей из трубных заготовок / А.Э. Артес, Д.Г. Кобзианидзе // Кузнечно-штамповочное производство. - № 10. - 1989.
18. Корнеев Ю.П. Получение внутренних полостей в трубчатых заготовках методом обратного выдавливания / Ю.П. Корнеев, С.С. Яковлев, В.М. Арефьев // Кузнечно-штамповочное производство. - № 10. - 1991.

19. Алиева Л.И. Комбинированное выдавливание полых деталей с фланцем / Л.И. Алиева, Р.С. Борисов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні : зб. наук. пр. - Луганськ : 2004. - С. 47-52.
20. Кирсанов К.А. Одностороннее и двухстороннее выдавливание фланцевых деталей из трубных заготовок / К.А. Кирсанов, В.А. Зимин, Е.А. Ревтова, В.Ю. Абраменко // Кузнечно-штамповочное производство. - № 9. - 1979. - С. 7-9.
21. Чучин О.В. Комбинированное последовательное радиально-прямое выдавливание полых деталей / О.В. Чучин, Л.И. Алиева // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. - Краматорськ : ДДМА, 2002.
22. Носаков А.А. Технологические возможности комбинированного обратно-поперечного выдавливания в подвижных матрицах / А.А. Носаков, В.М. Гридасов, Г.А. Гамзатов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. - Краматорськ : ДДМА, 2002. - С. 348-351.
23. Артес А.Э. Выдавливание на плавающих оправках / А.Э. Артес, Е.С. Серов // Кузнечно-штамповочное производство. - № 9. - 1987. - С. 7-9.
24. Теория прессования металлов / И.Л. Перлин, Л.Х. Райтбарг. - М. : «Металлургия». - 1975.
25. И.Л. Перлин Теория прессования металлов / И.Л. Перлин. - М. : Metallurgiya. - 1964.
26. Холодное прессование металлов / Д. Эверхарт [под ред. М.З. Ерманка]. - М. : Машиностроение. - 1968. - 147 с.
27. Механика процессов выдавливания металла / В. Джонсон, Х. Кудо. - М. : Metallurgiya, 1966. - 317 с.
28. Теорияковки и штамповки / Е.П. Унксов, У. Джонсон, В.Л. Колмогоров [под ред. Е.П. Унксова, А.Г. Овчинникова]. - М. : Машиностроение. - 1999. - 598 с.
29. Овчинников А.Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах / А.Г. Овчинников - М. : Машиностроение, 1983. - 200 с.
30. Степанский Л.Г. Расчёты процессов обработки металлов давлением / Л.Г. Степанский - М. : Машиностроение, 1982. - 217 с.
31. Шофман Л.А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки / Л.А. Шофман - М. : Машиностроение, 1964. - 375 с.
32. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. Учебник для вузов / В.Л. Колмогоров. - М. : Metallurgiya, 1986. - 688 с.
33. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением / В.А. Евстратов - Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. - 248 с.
34. Алюшин Ю.А. Энергетические основы механики. Учеб. пособие для вузов / Ю.А. Алюшин - М.: Машиностроение, 1999. - 192 с.
35. Сопротивление материалов пластическому деформированию в приложениях к процессам обработки металлов давлением / [под ред. А.В. Лясникова]. - СПб. : Внешторгиздат - Петербург, 1995. - 527 с.
36. Теоретические основыковки и горячей объемной штамповки / Е.М. Макушок, А.С. Матусевич, В.П. Северденко, В.М. Сегал. - Мн. : Наука и техника, 1968. - 408 с.
37. Яковченко А.В. Аналитические методы моделирования нестационарных процессов обработки металлов давлением / А.В. Яковченко - Донецк : ДонНИИЧермет, 1997.
38. Андрейченко В.А. Теория ОМД. Часть IV. Теоретические основы экспериментальных исследований пластического формоизменения. Учеб. пособие / Андрейченко В.А. - Тул. гос. ун-т. : Тула, 2002. - 68 с.
39. Some new features in the development of metal forming technology / S.H. Zhang, Z.R. Wang, J. Mater - Process. Technol. - № 1. - 2004. - P. 39-47.
40. Research dedicated to the development of advanced metal-forming technologies / R. Balendra, Y. Qin, J. Mater. Process. Technol. - № 2. - 2004. - P. 144-152.
41. Шофман Л.А. Основы расчета процессов штамповки и прессования / Л.А. Шофман - М. : Машгиз, 1961. - 339 с.

42. Степанский Л.Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением / Л.Г. Степанский - М. : Машиностроение, 1979. - 215 с.
43. Алиев И.С. Исследование процесса выдавливания деталей с утолщениями в разъемной матрице / И.С. Алиев, Ф.Э. Азадов,
44. Савченко О.К. Разработка процессов выдавливания стержневых деталей с утолщением в штампах с разъемными матрицами: дис. ... кандидата тех. наук: 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением / Савченко Олег Константинович. - Краматорск : КИИ, 1990. - 204 с.
45. Алиев И.С. Методика проектирования технологических процессов точной объемной штамповки выдавливанием / И.С. Алиев, В.Г. Бойко, О.К. Савченко // Сб. научн. Статей. Вып. 2. - Краматорск : ДГМА. - 1994. - С. 109-116.
46. Савченко О.К. Силовой режим процесса поперечного выдавливания и оптимизация формы инструмента / О.К. Савченко, Ф.Э. Азадов, С.Л. Черняева // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении. - Краматорськ : ДГМА, 1988. - С. 21-28.
47. Алиев И.С. Методика моделирования силового режима процессов выдавливания в разъемных матрицах / И.С. Алиев // Металлургическая и горнорудная промышленность. - № 8-9. - 2002. - С. 458-462.
48. Алиев И.С. Методика анализа процессов точной объемной штамповки с помощью модульных полей скоростей / И.С. Алиев // Разработка и исследование высокоэффективных технологических процессов, оснастки и оборудования. Обработка металлов давлением. Тематический сборник научных трудов. - Киев : УМК ВО, 1990. - С. 717.
49. Алиева Л.И. Совершенствование процессов холодного выдавливания осесимметричных деталей с фланцем: дис. . кандидата тех. наук: 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением / Алиева Лейла Играмотдиновна. - Луганск : ВНУ им. В. Даля, 2006. - 215 с.
50. Кузнецов Д.П. Напряженно-деформированное состояние заготовки при холодном поперечном выдавливании / Д.П. Кузнецов, Е.Т. Савушкин // Кузнечно-штамповочное производство. - 1974. - № 3. - С. 5-8.
51. Потапов А.И. Об испытании проката на осадку / А.И. Потапов // Кузнечно-штамповочное производство. - 2005. - № 6. - С. 45-48.
52. Ренне И.П. Теоретические основы экспериментальных методов исследования деформаций методом сеток в процессах обработки металлов давлением / Ренне И.П. - Тула : ТПИ, 1979. - 96 с.
53. Дель Г.Д. Технологическая механика / Дель Г.Д. - М. : Машиностроение, 1978.
54. Экспериментальная механика конечных деформаций / Хван Д.В., Томилов Ф.Х., Корольков В.И. - Воронеж : Изд-во «ЭЛИСТ», 1996. - 248 с.
55. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации: Справочник / Кроха В.А. - М. : Машиностроение, 1980. - 157 с.
56. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Зенкевич О. - М. : Мир, 1975.
57. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Численные методы / Данченко В.Н., Миленин А.А., Кузьменко В.И., Гринкевич В.А. - Днепропетровск : Системные технологии, 2005. - 448 с.
58. Метод конечных элементов в технологических задачах: Учебн. пособие / Иванов К.М., Шевченко В.С., Юргенсон Э.Е. - СПб. : Изд-во ПИМаш, 2000. - 224 с.
59. Алиев И.С. Автоматизированный расчет процессов выдавливания [Электронный ресурс] / И.С. Алиев, Я.Г. Жбанков, О.К. Савченко // Вісник ДДМА. 2008. № 3Е (14). - С. 8-13 - Режим доступа : [www.nbuu.gov.ua/e-journals/VDDMA/2008-3e14/pdf/02.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VDDMA/2008-3e14/pdf/02.pdf).
60. Биба Н.В. Применение программы QFORM 2D/3D для разработки

- малоотходной технологии штамповки / Н.В. Биба, С.А. Стебунов // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. - Том 5. Пластична деформація металів. - Дніпропетровськ : Системні технології, 2002. - С. 221-226.
61. Петров П.А. Моделирование выдавливания осесимметричной детали с помощью системы QFORM 2D/3D / П.А. Петров, Д.А. Гневашев, Ю.К. Филиппов // Заготовительные производства в машиностроении. - 2003. - № 12. - С. 26-27.
62. Иванов К.М. Исследование технологических возможностей поперечного выдавливания методом конечных элементов / К.М. Иванов, А.В. Лясников, Ю.И. Гуменюк, С.А. Матвеев // Металлообработка. - 2001. - № 2. - С. 24-27.
63. Матвеев С.А. Возможности конечно-элементного анализа при решении технологических задач обработки металлов давлением / С.А. Матвеев, В. С. Мамутов, К.М. Иванов // Металлообработка. - 2003. - № 1. - С. 23-28.
64. Алиев И.С. Анализ процессов комбинированного выдавливания стержневых деталей / И.С. Алиев, Е.М. Солодун, К. Крюгер, Ф. Йеше // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. - Луганськ : Вид-цтво СУДУ, 2000. - С. 8-13.
65. Гуменюк Ю.И. Применение перестроения сетки при конечноэлементном моделировании процесса холодного продольного выдавливания / Ю.И. Гуменюк, С.В. Даниленко, Д.В. Усманов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. - Краматорськ : ДДМА, 2004. - С. 235-240.
66. Степанский Л.Г. Об опытной проверке результатов компьютерного моделирования процессов пластического деформирования / Л.Г. Степанский // Кузнечно-штамповочное производство - 2001. - № 6. - С. 36-40.
67. Басюк С.Т. Изготовление поковок сложных форм в штампах с разъемными матрицами / С.Т. Басюк // Кузнечно-штамповочное производство. - 1973. - № 7.
68. Горячая штамповка стальных поковок в разъемных матрицах / А.В. Кузнецов, О.В. Протопопов, В.А. Блудов [и др.]. М. : НИИМАШ, 1968. - 80 с.
69. Кузнецов А.В. Безоблойная штамповка латунных отрезковых поковок в разъемных матрицах / А.В. Кузнецов, В.Т. Клочков, В.П. Ашурков, С.А. Сафарян, В.П. Салов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1983. - № 12 - С. 2-3.
70. Демшин А.И. Штамповка корпуса буксы железнодорожного вагона в закрытом разъемном штампе / А.И. Димшин // Кузнечно-штамповочное производство. - № 4.
71. Савченко О.К. Проектирование штампов для комбинированной штамповки стержневых деталей / О.К. Савченко, Е.М. Солодун, А.А. Носаков, А.И. Лобанов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. - Краматорськ : ДДМА, 2002. - С. 343-347.
72. Алиев И.С. Разработка штампов с разъемными матрицами для процессов поперечного выдавливания / И.С. Алиев, А.И. Лобанов, Р.С. Борисов, И.Г. Савчинский // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. - Краматорськ : ДДМА, 2003. - С. 493-498.
73. Савченко О.К. Проектирование штампов с разъемными матрицами / О.К. Савченко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. - Краматорськ : ДДМА, 1998. - С. 407-410.
74. Кузнецов А.В. Штамповка поковок в разъемных матрицах / А.В. Кузнецов, О.В. Протопопов, В.Т. Клочков // Кузнечно-штамповочное производство. - 1980. - № 11.
75. Кузнецов А.В. Безоблойная штамповка латунных отрезковых поковок в разъемных матрицах / А.В. Кузнецов, В.Т. Клочков, В.П. Ашурков, С.А. Сафарян, В.П. Салов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1983. - № 12. - С. 2-3.
76. Морковкин Б.В. Исследование процесса штамповки поковок вилок кардана в штампах с разъемными матрицами / Б.В. Морковкин, И.С. Поляков // Кузнечно-штамповочное производство. - 1970. - № 10. - С. 7-10.

77. Смуров А.М. Из опыта разработки, освоения и внедрения штампов с разъемной матрицей для металлоэкономной штамповки стальных поковок / А.М. Смуров // Кузнечно-штамповочное производство. - 1992. - № 6 - С. 5-8.
78. Поляков И.С. Штамповка поковок типа крестовин в закрытых штампах / И.С. Поляков, В.А. Золотницкий // Кузнечно-штамповочное производство. - 1964. - № 7. - С. 3-6.
79. Иосифов В.Н. Внедрение процессов безоблойной штамповки на Минском автомобильном заводе / В.Н. Иосифов, Л.А. Войналович, И.Н. Терейей // Кузнечно-штамповочное производство. - 1979. - № 7. - С. 7-8.
80. Евстратов В.А. Разработка и экспериментальное исследование технологического процесса выдавливания деталей типа втулок с двумя фланцами и ступицами / В.А. Евстратов, И.В. Куликов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1985. - № 10. - С. 17-18.
81. Артес А.Э. Алюминиевые сплавы в производстве деталей механизмов и машин (Штампованные поковки): Методические указания / Артес А.Э. - М. : МГТУ «Станкин», 2004. - 56 с.
82. Артес А.Э. Холодная объемная штамповка в мелкосерийном и серийном производстве / Артес А.Э. - М. : НИИМАШ, 1982. - 58 с.
83. Пат. 1088649 Япония, МПК<sup>7</sup> В 30 В15/24 Double action hydraulic press/ Kennet R. ; Aida Engineering Co. - № 28122299; Заявлено 02.10.00; Оpubл. 04.04.01.
84. Данилин В.Н. Современное прессовое оборудование для осуществления прессования с активным действием сил трения / В.Н. Данилин // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2002. - № 9. - С. 554-559.
85. Овчинников А.Г. Прессы для холодной объемной штамповки выдавливанием с активными силами трения / А.Г. Овчинников, А.М. Дмитриев // Кузнечно-штамповочное производство. - 1995. - № 12. - С. 7-10.
86. Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. / [под ред. Е.И. Семенова и др.]. - М. : Машиностроение, 1987. - Т. 3. - 384 с.
87. Кузнецу-штамповщику : Справочное пособие / [под ред. Л.Н. Соколова и др.]. - Донецк : Донбас, 1986. - 144 с.
88. Алиева Л.И. Перспективы развития процессов точной объемной штамповки выдавливанием / Л.И. Алиева, Я.Г. Жбанков // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - Краматорськ : ДДМА, 2008. - № 1(11) - С. 13-19.
89. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением / Евстратов В.А. - Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. - 248 с.
90. Грешников В.М. Экспериментально-аналитический метод определения напряжений трения в процессах ОМД / В.М. Грешников, А.В. Боткин, В.Ю. Шолом, А.Н. Абрамов // Известия вузов. Черная металлургия. - 2002. - № 1. - С. 26-29.
91. Теория обработки металлов давлением. Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. / Сторожев М.В., Попов Е.А. - М. : Машиностроение, 1977. - 423 с.
92. Алиев И.С. Измерение сил контактного пластического трения / И.С. Алиев, К. Крюгер // Тематический сборник научных трудов - Краматорск - Хмельницкий : ДГМА, 2002. - С. 22-29.
93. Методы исследования процессов обработки металлов давлением / Чиченев Н.А., Кудрин А.Б., Полухин П.И. - М. : Металлургия, 1977. - 311 с.
94. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений. Справочное пособие / Б.С. Касаткин и др. - Киев : Наукова думка, 1981. - 584 с.

95. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением / Г.А. Смирнов-Аляев, В.П. Чикидовский - Л. : Машиностроение, 1972. - 360 с.
96. Момзиков Ю.Г. К расчету усилия раскрытия штампов с щелевыми компенсаторами / Ю.Г. Момзиков, О.А. Ганаго // Кузнечно-прессовое производство. - 1976. - № 4. - С. 1-5.
97. Кондратенко В.Г. Технологические процессы изготовления поковок с фланцами на прессах для штамповки в разъемных матрицах / В. Г. Кондратенко, М.В. Блинов, М.А. Илинич, Ф.С. Абдуллаев, С. В. Бузинов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1985. - № 4. С.11-14.
98. Барков В.С. Силовые параметры штамповки выдавливанием в разъемных матрицах поковок с фланцем / В.С. Барков, Л.И. Подрабинник // Кузнечно-штамповочное производство. - 1979. - № 12. - С. 1-3.
99. Непершин Р.И. Расчет усилия зажима матриц с вертикальной плоскостью разреза для штамповки шарового пальца автомобиля / Р.И. Непершин // Кузнечно-штамповочное производство. - 1965. - № 4 - С. 1-15.
100. Теоретические основы энергетических методов расчета процессов обработки металлов давлением: Учебное пособие / Ю.А. Алюшин, С.А. Еленев - РИСХМ. Ростов на/Д., 1987. - 106 с.
101. Алюшин Ю.А. Кинематически возможные поля скоростей в процессах пластического деформирования / Ю.А. Алюшин // Кузнечноштамповочное производство. - 1971. - № 1. - С. 9-11.
102. Чудаков П.Д. Нестационарное пластическое течение упрочняющегося материала / П.Д. Чудаков // Исследование в области пластичности и ОМД. - Тула : ТПИ, 1974. - С. 34-41.
103. Теория обработки металлов давлением / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, О.А. Ганаго и др. - М. : Металлургия, 1963. - 672 с.
104. Чучин О.В. Кинематически возможные поля скоростей при выдавливании в разъемных матрицах / О.В. Чучин, В.Г. Бойко, Р.С. Борисов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. - Краматорськ : ДДМА, 2000. - С. 5256.
105. Сосенушкин Е.Н. Формализация процесса принятия технологических решений / Е.Н. Сосенушкин, К.И. Васильев // Кузнечно-штамповочное производство. - 1993. - № 4. - С. 6-9.
106. Жбанков Я.Г. Исследование процесса радиально-прямого выдавливания полых изделий / Я.Г. Жбанков // Студентський вісник ДДМА. - Краматорськ : ДДМА, 2005. - С. 22-28.
107. Алиев И.С. Моделирование процессов радиального выдавливания фланцев с применением противодействия / И.С. Алиев, Я.Г. Жбанков, Е.И. Кацюбивская // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тематичний зб. наук. пр. - Краматорськ : ДДМА, 2006. - С. 53-58.
108. Алиев И.С. Метод кинематических модулей для анализа процессов точной объемной штамповки / И.С. Алиев, А.А. Носаков, К.Д. Махмудов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. - Краматорськ : ДДМА, 2001. - С. 142-146.
109. Додин Ю.С. Прессование алюминиевых баллонов из квадратных заготовок / Ю.С. Додин // Кузнечно-штамповочное производство. - 1989. - № 9 - С. 3-5.
110. Вайсбурд Р.А. Исследование деформаций при осадке дисков на плите с отверстием / Р.А. Вайсбурд, Д.С. Жиров // Изв. вузов. Машиностроение. - 1988. - № 5. - С. 12-15.

111. Дмитриев А.М. Прогнозирование утяжин при штамповке / А.М. Дмитриев, А.Л. Воронцов // *Справ. Инж. ж.* - 2004. - № 11. - С. 29-32.
112. Алиев И.С. Прогнозирование дефектообразования при выдавливании / И.С. Алиев, К. Крюгер // *Теория, технология оборудования и автоматизация обработки металлов давлением, резанием: Сб. науч. тр. Вып. 1.* - Тула : ТулГУ, 1999. - С. 87-90.
113. Алиев И.С. Анализ деформированного состояния при комбинированном выдавливании деталей с фланцем / И.С. Алиев, Е.М. Солодун, К. Крюгер // *Металлургия и горнорудная промышленность. Днепропетровск.* - 2002. - № 8-9. - С. 495-499.
114. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М.. - М. : «Металлургия», 1976. - 488 с.
115. Холодное выдавливание алюминиевых сплавов / И.П. Ренне, Ю.В. Подливаев - Тула : ТГУ, 2000. - 336 с.
116. Рене И.П. Неравномерность деформаций при плоском пластическом течении. Часть 1. Стационарное плоское течение / И.П. Ренне - Тула, Изд-во ТПИ. - 158 с.
117. Aliiev I.S. The analysis of power mode in the radial-forward extrusion on the conical mandrel / I.S. Aliiev, Y.G. Zhbakov // *Nowe technologie i osiagniecia w metalurgii I inzynierii materialowej.* - Czestochowa. - №1. - 2009. - P. 113-120.
118. Алиева Л.И. Выбор кинематических модулей для определения силовых параметров радиального выдавливания / Л.И. Алиева, Я.Г. Жбанков // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. пр.* - Краматорськ : ДДМА. - № 3. - 2006. - С. 108-113.
119. Жбанков Я.Г. Выбор кинематических модулей для определения силовых параметров радиального выдавливания / Я.Г. Жбанков // *Збірник тез 10 Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Технологія 2007.* - Северодонецьк. - 2007. - С. 15.
120. Алиева Л.И. Исследование процесса радиально-прямого выдавливания на оправке / Л.И. Алиева, Я.Г. Жбанков, К.Д. Махмудов // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Зб. наук. пр.* - Краматорськ : ДДМА. - № 3(9). - 2007. - С. 13-18.
121. Лобанов А.И. Расчет силового режима выдавливания в штампах с разъемными матрицами / А.И. Лобанов // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції 1-3 червня 2004 року* - Краматорськ : ДДМА, 2004. - С. 102.
122. Алиева Л.И. Методика расчета и проектирования процессов выдавливания в разъемных матрицах / Л.И. Алиева, Р.С. Борисов, А.И. Лобанов, И.Г. Савчинский // *Nowe technologie i osiagniecia w metalurgii i inzynierii materialowej, V miezzdzynarodowa konferencja naukowa: Seria Metalurgia, nr 39.* - Czestohowa : Wipmifs, 2004. - С. 383391.
123. Солодун Е.М. Анализ формоизменения при обратно-прямом выдавливании / Е.М. Солодун, К.Д. Махмудов, А.И. Лобанов // *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії: зб. наук. пр.* - Краматорськ, 1999. - С. 49-51.