

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 роздачі трубчастої заготовки
по вісесиметричному пуансону»
«Simulation of the process of distributing a tubular workpiece along an
axisymmetric punch»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ПМ-22М-2
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Колесник О. С.

Керівник проекту
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

Рецензент
канд. техн. наук, доцент

_____ Віктор ПУКАЛОВ

АНОТАЦІЯ

Колесник О. С. «Моделювання процесу роздачі трубчастої заготовки по вісесиметричному пуансону», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2024 рік.

Метою дослідження є дослідження операції роздачі трубної заготовки на основі аналізу напружено-деформованого стану заготовки при пластичній формозміні для обґрунтованого вибору основних технологічних параметрів процесу деформування.

Проведено аналіз процесу роздачі трубної заготовки та особливостей існуючих методів отримання таких виробів.

Визначена математична модель роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном. Проведено чисельне моделювання роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном. Проведено графічний аналіз оцінки впливу технологічних параметрів, кута конусності пуансона, умов тертя на контактній поверхні робочого інструмента і заготовки, анізотропії механічних властивостей заготовки на напружений і деформований стан, силові режими і граничні можливості формозміни операції роздачі трубних заготовок.

За допомогою комп'ютерного моделювання в програмному комплексі DEFORM 2D/3D проведено аналіз операційного переходу технологічного процесу роздачі трубної заготовки. Встановлені розподіли напружень та деформацій в zdeформованому напівфабрикаті та виявлено кінцеву форму і розміри напівфабрикату після роздачі.

комп'ютерне моделювання, роздача, інструмент, матриця, профіль, зусилля, ефективність

ANNOTATION

Kolesnyk O. "Simulation of the process of distributing a tubular workpiece along an axisymmetric punch", OPP "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2024.

The purpose of the study is to study the operation of distributing the cut billet based on the analysis of the stress-strain state of the billet during plastic deformation for a reasonable choice of the main technological parameters of the deformation process.

An analysis of the process of distributing pipe blanks and the features of existing methods of obtaining such products was carried out.

A mathematical model of distribution of an anisotropic pipe billet by an axisymmetric conical punch was determined. Numerical modeling of distribution of an anisotropic pipe billet by an axisymmetric conical punch was carried out. A graphical analysis of the influence of technological parameters, the taper angle of the punch, the conditions of friction on the contact surface of the working tool and the workpiece, anisotropy of the mechanical properties of the workpiece on the stressed and deformed state, force modes and the limit possibilities of shape change in the operation of distributing pipe blanks was carried out.

With the help of computer modeling in the DEFORM 2D/3D software complex, an analysis of the operational transition of the technological process of distributing the pipe billet was carried out. The distributions of stresses and strains in the deformed semi-finished product were established, and the final shape and dimensions of the semi-finished product after distribution were revealed.

computer modeling, distribution, tool, matrix, profile, force, efficiency

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 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ за другим (магістерським) рівнем вищої освіти Колеснику Олександрю Сергійовичу

1. Тема роботи: «Моделювання процесу роздачі трубчастої заготовки по вісесиметричному пуансону»

2. Керівник роботи: Свяцький Володимир Вячеславович

3. Строк подання роботи до захисту: 22 січня 2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: дослідження операції роздачі трубної заготовки на основі аналізу напружено-деформованого стану заготовки при пластичній формозміні для обґрунтованого вибору основних технологічних параметрів процесу деформування.

Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; виконати моделювання процесу роздачі трубної заготовки та провести аналіз отриманих результатів; опрацювати питання з охорони праці та виконати розрахунки з економічної частини.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 5 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., канд. техн. наук, доцент	4.09.2023 р.	20.12.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2023 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	1.10.2023 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	15.10.2023 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	15.12.2023 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	20.12.2023 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	22.01.2024 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	29.12.2024 р.	

Дата видачі завдання
30 серпня 2023 р.

Підпис керівника
_____ Свяцький В. В.

Завдання прийнято до виконання
1 вересня 2021 р.

Підпис здобувача
_____ Колесник О. С.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1.	
ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ...	9
1.1. Основи процесу роздачі, його переваги та недоліки	9
1.2. Огляд теоретичних та експериментальних досліджень процесу роздачі	13
РОЗДІЛ 2.	
МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	18
2.1. Експериментальне обладнання, оснащення та апаратура ...	18
2.2. Методи визначення зусилля пресування	21
2.2.1. Метод ліній ковзання	21
2.2.2. Метод кінцевих елементів (МКЕ)	21
2.3. Правила безпеки при обслуговуванні ковальсько-штампувального обладнання	22
РОЗДІЛ 3.	
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗДАЧІ ТРУБНОЇ ЗАГОТОВКИ ПО ВІСЕСИМЕТРИЧНОМУ ПУАНСОНУ	25
3.1. Роздача трубної заготовки без утворення циліндричної частини	25
3.2. Роздача трубної заготовки з утворенням циліндричної частини.	28
3.3. Чисельне моделювання роздачі трубної заготовки вісесиметричним пуансоном.	29
3.4. Комп'ютерне моделювання роздачі трубної заготовки вісесиметричним пуансоном	32

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	39
4.1. Вступ до розробки стартап-проекту	39
4.2. Опис головної ідеї стартап-проекту	40
4.3 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту	41
4.4 Технологічний аудит проекту	42
4.5 Аналіз ринкових можливостей запуск стартап-проекту	42
4.6 Розроблення ринкової стратегії	50
4.7 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	52
Висновки по розділу 4	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
ДОДАТКИ	60
Д1. Довідка про участь у конференції ЦНТУ	61

ВСТУП

Актуальність теми

Тенденція, що намітилась в останні роки, розукрупнення машинобудівних підприємств і розвиток малого бізнесу приводять до того, що основним типом виробництва стає виробництво продукції дрібними серіями під вимоги конкретного замовника. Досить швидка змінюваність номенклатури об'єктів виробництва приводить до необхідності скорочення строків їх проектування, підготовки виробництва і виготовлення. Крім того, в умовах, що створилися, необхідно освоювати нові інноваційні технологічні процеси, що відповідають вимогам енерго- і ресурсозбереження, а також екологічності і безпеки. І ковальсько-штампувальне виробництво не є виключенням.

Так наприклад, однією з галузей, що розбудовуються в нових умовах, є арматуробудівництво, що постачає конкурентоспроможною продукцією ряд галузей, при цьому чималий внесок у підвищення якості виробів і скорочення витрат на їхнє виробництво вносять технології пластичного деформування.

Збільшення потреби в штампованих деталях трубопровідної арматур пов'язане з нарощуванням обсягів розбудови газогонів і необхідністю транспортування цих продуктів по магістральних трубопроводах. Іншою галуззю споживання деталей трубопровідної арматур є будівельна індустрія, що досяглася останнім часом небувалого розмаху. Більша номенклатура порожніх деталей, що виготовляються із трубних заготовок, використовується і у машинобудуванні. Прикладами такої продукції є приварні конічні перехідники, соплові пристрої та вироби із плоскими фланцями.

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

Мета дослідження

Дослідження операції роздачі трубної заготовки на основі аналізу напружено-деформованого стану заготовки при пластичній формозміні для обґрунтованого вибору основних технологічних параметрів процесу деформування.

Задачі дослідження

1. Провести аналіз процесу роздачі трубної заготовки та особливостей існуючих методів отримання таких виробів.
2. Провести огляд теоретичних та експериментальних досліджень процесів роздачі трубної заготовки.
3. Визначити математичну модель роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном для оцінки напруженого і деформованого станів заготовки, силових режимів і граничних можливостей формозміни операції роздачі.
4. Провести чисельне моделювання роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном.
5. За допомогою комп'ютерного моделювання в програмному комплексі DEFORM 2D/3D операційного переходу технологічного процесу роздачі трубної заготовки.

Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження є обробка металів тиском методом роздачі трубної заготовки. Предметом дослідження є формотворний інструмент для отримання виробів методом роздачі.

Методи дослідження:

метод кінцевих елементів, візіопластичний метод.

Науковий напрямок досліджень

Робота виконана в межах НДКР № держ.реєстрації 0105U005352 «Розробка і дослідження технологічних процесів пресування металів з використанням матриць з повздовжніми криволінійними профілями». Науковий керівник – доцент кафедри ММР Свяцький В. В.

Наукова новизна отриманих результатів

Отримали подальший розвиток дослідження технологічних параметрів процесу роздачі труб вісесиметричним конічним пуансоном.

На основі аналізу математичної моделі роздачі трубної заготовки, а також комп'ютерного моделювання намічені шляхи інтенсифікації технологічного процесу роздачі та обґрунтованого вибору основних технологічних параметрів процесу деформування.

Практичне значення отриманих результатів

Проведено аналіз процесу роздачі трубної заготовки та особливостей існуючих методів отримання таких виробів.

Визначена математична модель роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном. Наведені співвідношення можуть бути використані для оцінки напруженого і деформованого станів заготовки, силових режимів і граничних можливостей формозміни операції роздачі трубної заготовки з анізотропного матеріалу.

Проведено чисельне моделювання роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном. Проведено графічний аналіз оцінки впливу технологічних параметрів, кута конусності пуансона,

умов тертя на контактній поверхні робочого інструмента і заготовки, анізотропії механічних властивостей заготовки на напружений і деформований стан, силові режими і граничні можливості формозміни операції роздачі трубних заготовок.

За допомогою комп'ютерного моделювання в програмному комплексі DEFORM 2D/3D проведено аналіз операційного переходу технологічного процесу роздачі трубної заготовки.

За допомогою метода скінчених елементів проведено комп'ютерне моделювання процесу роздачі трубчастої заготовки. Визначено залежність зусилля роздачі від переміщення пуансону. Встановлені розподіли напружень та деформацій в здеформованому напівфабрикаті та виявлено кінцеву форму і розміри напівфабрикату після роздачі.

Особистий внесок здобувача

Обґрунтування вибраного напрямку дослідження, постановка мети і задач дослідження, математичне моделювання процесу роздачі трубної заготовки по вісесиметричному конічному пуансону та обґрунтування технологічних особливостей процесу, комп'ютерне проектування варіанту прямої моделі роздачі трубної заготовки, аналіз результатів чисельних експериментів.

Особистий внесок магістранта відображено у наукових працях за його участю.

Апрабація результатів магістерської роботи

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

РОЗДІЛ 1

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Основи процесу роздачі, його переваги та недоліки

Серед формотворних операцій в обробці металів тиском широке поширення знайшли операції роздачі. У якості заготовок для цих операцій виступають заготовки типу склянка або трубні.

Роздача – технологічний процес, при якому збільшуються розміри поперечного переріза крайової частини трубного напівфабрикату шляхом формозміни за рахунок впровадження пуансона. Схема процесу роздачі представлено на рис. 1.

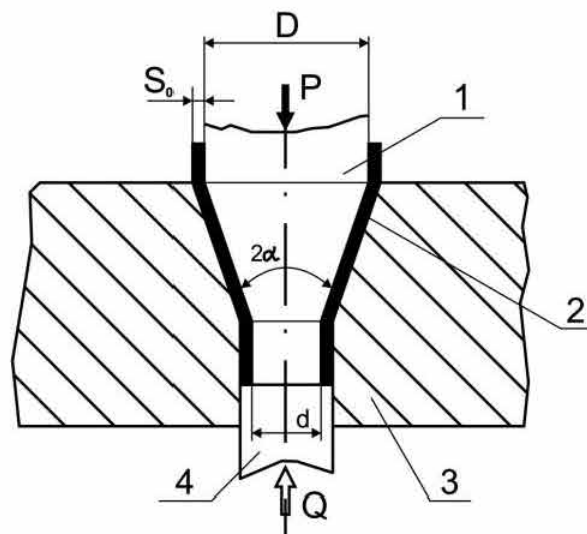


Рис. 1.1 – Схема процесу роздачі:

1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матриця; 4 – виштовхувач

Залежно від діаметра до і після роздачі можна визначити необхідну кількість операцій для здійснення формозміни, у якості умови служить критерій роздачі.

Між операціями роздачі рекомендується провести відпад з метою зняття внутрішніх напружень.

Для підвищення продуктивності процесів найчастіше при необхідності проведення в одній заготовці і обтиску і роздачі застосовується об'єднання цих операцій в одному штампі.

Виробництво елементів трубопроводів становить 10-15% від загальної трудомісткості заготівельно-штампувальних робіт. Трубопровідні системи відносяться до конструкцій відповідального призначення, від надійності яких залежить безвідмовність і ресурс виробу. Трубопроводи працюють в умовах складного навантаження. Вони випробовують дії високих тисків, пульсуючих навантажень і гідравлічних ударів, тому до них пред'являють високі вимоги по механічних властивостях матеріалу, якості зовнішньої і внутрішньої поверхонь, збереженню форми перетину, а також максимальному утоненню стінок труби з метою зниження ваги виробу.

Деталі, одержувані формоутворенням з тонкостінних трубних заготовок (патрубки, перехідники, фланці, муфти, закінцівки) використовуються практично у всіх гідрогазових системах. У зв'язку із цим важливе значення має розробка і впровадження перспективних технологічних процесів, що підвищують ступінь формозміни, що знижують трудомісткість виготовлення деталей. Одним зі способів інтенсифікації при обробці металів тиском, що виключають нагрівання заготовки, що і забезпечують пластифікацію матеріалу, є силова інтенсифікація.

Силова інтенсифікація полягає в додатковому навантаженні заготовки, що дозволяє розвантажити її небезпечний переріз, підвищити ресурс пластичності матеріалу за рахунок зміни схеми напружено-деформованого стану.

Особливе місце в гідрогазових системах займають трубопровідні комунікації, на які впливає комплекс навантажень: підвищена вібрація, гідравлічні удари, температурні перепади, коливання і пульсації високих тисків [1].

Значно знижують якість трубопроводів явища, викликані технологічним процесом їх формоутворення, наприклад хвилеподібне відхилення поверхні стінок, разнотовщинність стінок, надмірна еліпсність, відхилення від радіусів переходу від одного діаметра до іншого.

У трубопровідних комунікаціях широко застосовують деталі типу «перехідник», «фітинг», «муфта» тощо, виготовлені із трубчастих заготовок. Багато з них одержують роздачею по твердій матриці з використанням внутрішнього тиску рідинного, газоподібного або еластичного наповнювача.

Тому розробка технологічних процесів, що дозволяють знизити енергетичні і матеріальні витрати на технологічне оснащення та підвищити продуктивність при виготовленні деталей із трубчастих заготовок для різних сфер застосування має практичну цінність.

Для вдосконалення гідрогазових систем потрібна безперервна модернізація технологічних процесів, у яких використовуються універсальні елементи штампового оснащення. Щодо цього великий інтерес представляють процеси роздачі трубчастих заготовок робочими тілами [3], які складаються зі стрижнів з еластомерів і їх комбінації з льодом (рис. 1.2).

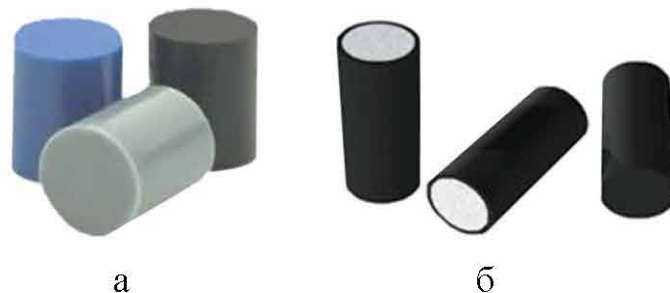


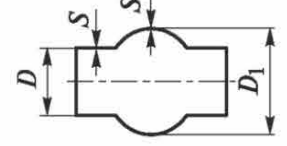
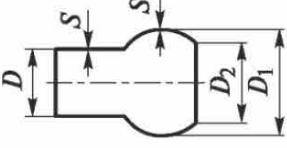
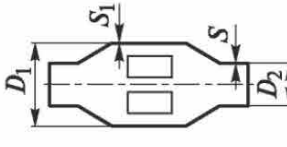
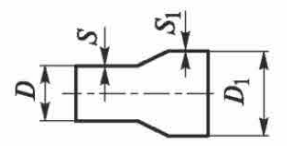
Рис. 1.2 – Робочі тіла для роздачі середньої частини трубчастої заготовки:

а – еластичні стрижні; б – крижаний стрижень в еластичній оболонці

У результаті проведеного аналізу номенклатури деталей трубопровідних комунікацій літальних апаратів визначені деталі, виготовлені роздачею (таблиця).

Таблиця 1.1

Классификатор деталей трубопроводных коммуникаций,
изготавливаемых из трубчатых заготовок давлением наполнителя

Тип	Назва	Ескіз елемента	Характеристика деталі	Можлива технологія
1	Перехідник		$D = 16 \dots 70 \text{ мм}$	Роздача середньої частини
2	Законцовка		$D = 16 \dots 70 \text{ мм}$ $D_1 / D_2 \leq 1,8$	Роздача еластичним середовищем
3	Муфта		$D_1 / D_2 \leq 1,3$	Роздача з пробивкою отворів
4	Перехідник		$D = 10 \dots 100 \text{ мм}$ $D = D_1 \leq 2$	Роздача еластичним середовищем

Як робочі інструменти для роздачі трубчастих заготовок, як правило, вибирають поліуретани з умови їх простоти і невисокої вартості. При пластичному формоутворенні еластичними середовищами поведінка матеріалу визначається температурою нагрівання заготовки, а можливість деформування при кімнатній температурі є невеликою. Суттєво підвищити ступінь формозміни в процесі роздачі дозволяє введення підпору протитиску. Зниження розтягувальних напруж, що відбувається при створенні підпору, приводить до збільшення коефіцієнта роздачі на 7.. 15 % [4].

1.2 Огляд теоретичних та експериментальних досліджень процесу роздачі

Авторами в роботі [5] наведено результати моделювання в комплексі ANSYS результати моделювання напружено-деформованого стану тонкостінної трубчастої заготовки з алюмінієвого сплаву в процесі виготовлення сполучного патрубку шляхом роздачі по сталевому пуансону. Розглядається осесиметричний пуансон у вигляді тіла обертання з криволінійною твірною, що має ділянки різного напрямку опуклості. Завдання вирішується в осесиметричній квазістаціонарній постановці. Звичайно-елементна модель включає пуансон і трубчасту заготовку, верхній торець якої піддається переміщенню у вертикальному напрямку вниз, імітуючи вплив оснастки преса, що передає зусилля на деталь, що деформується (рис. 1.3). Фрикційна взаємодія відбувається згідно із законом Кулона. Проведено аналіз напружено-деформованого стану у системі заготівля-пуансон. Досліджено вплив товщини заготівлі та її механічних властивостей на розподіл залишкових напружень, пружне пружинення після зняття навантаження та потонання стінок.

Для заготівлі з алюмінієвого сплаву Д16 заданого внутрішнього радіусу 10 мм і сталевому пуансону осесиметричної форми з криволінійною утворює визначене потонання стінки труби, висота патрубка після формозміни, коефіцієнти пружного пружинення в осьовому та радіальному напрямках. Визначено залишкові напруження та незворотні деформації.

Встановлено, що чим більша товщина стінки при фіксованих висоті та внутрішньому діаметрі, тим більше залишкові напруження та пружиніння в радіальному напрямку після зняття оснащення – і тим менше коефіцієнт запасу міцності в процесі формозміни. При цьому на відносну величину потоншення товщина стінки впливу не показує. В таблиці 1.2 показані характерні значення деформаційного процесу.

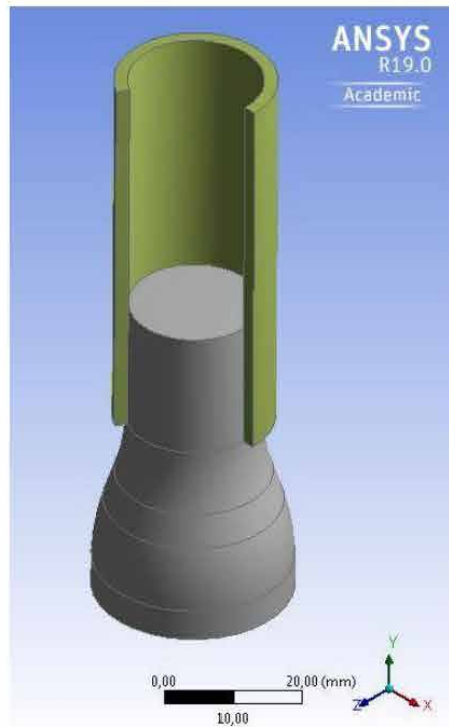


Рис. 1.3 Геометрична модель пуансон та трубчастої заготовки (в розрізі)

Таблиця 1.2

Характерні значення деформаційного процесу

Товщина стінки труби, мм	0,5	1,0	1,5	2,0
Максимальне потоншення, %	8,39	8,40	8,40	8,45
Максимальне напруження (еквівалентне), МПа	429,7	432,27	439,68	447,12
Максимальне залишкове напруження (еквівалентне), МПа	197,22	214,05	224,43	265,88
Переміщення верхнього торця, мм	32,066	31,95	31,85	31,754
Висота патрубку після зняття оснащення, мм	58,061	58,17	58,27	58,37
Відношення висоти патрубка до висоти заготовки, %	96,779	96,95	97,12	97,28

Пружиніння у вертикальному напрямку, %	0,455	0,428	0,426	0,439
Пружиніння у радіальному напрямку, %	0,658	0,733	0,783	0,808
Коефіцієнт запасу міцності по дотичним напруженням в процесі роздачі / після зняття оснащення	1,0804/ 2,3739	1,0518/ 2,1553	1,0251/ 2,0383	1,0157/ 1,9524
Коефіцієнт запасу міцності по еквівалентним напруженням в процесі роздачі / після зняття оснащення	1,2101/ 2,6367	1,2103/ 2,4293	1,1827/ 2,317	1,163/ 1,9558

В роботі [6] авторами наведено математичну модель операції роздачі трубних заготовок, що мають циліндричну анізотропію механічних властивостей. Встановлено вплив технологічних параметрів на напружений та деформований стан заготовки, геометричні розміри заготовки, силові режими та граничні можливості формоутворення роздачі трубних заготовок..

Результати розрахунків показали, що граничні можливості формоутворення при роздачі трубних анізотропних заготовок можуть обмежуватися як максимальною величиною стискаючого напруження по абсолютній величині на вході в осередок пластичної деформації, так і локальною втратою стійкості трубної заготовки, умовою стійкості трубної заготовки у вигляді утворення складок та феноменологічним критерієм руйнування анізотропного матеріалу. В кожному конкретному випадку варто перевіряти кожен із перерахованих вище критеріїв.

Автори в роботі [7] розглянули технологічні процеси виготовлення деталей гідрогазових систем літальних апаратів. Проведені дослідження по роздачі середньої частини тонкостінних трубчастих заготовок холодним пластичним деформуванням показали, що найбільш небезпечною є центральна частина розглядаємої частини заготовки, де є значні

розтягувальні напруження. Зниження цих напружень, що відбувається при створенні підпору, дозволяє збільшити коефіцієнт роздачі. Запропоновано використання нових типів робочих тіл для передачі тиску в зону деформування.

В статті [8] представлені результати моделювання в програмному комплексі ANSYS процесу роздачі торця тонкостінної трубчастої заготовки по жорсткому пуансону сідловидної форми. Задача вирішується в квазістатичній постановці без врахування температурних ефектів. Пуансон моделюється як абсолютно жорстке тіло, заготовка рахується виконаною із алюмінієвого сплаву АМг6М. Проведений аналіз НДС трубчастої заготовки, досліджено потоншення стінок в залежності від геометричних параметрів пуансона. Результати проведених розрахунків демонструють можливість створення з'єднувальних патрубків із трубчастих заготовок, виконаних із алюмінієвого сплаву АМг6М, способом роздачі по жорсткому пуансону сідловидної форми. Напруження в деталі не перевищують межі міцності матеріалу. Зазор між патрубком та стінкою отвору в магістральній трубі не перевищує 0,5 мм, відповідно, повністю перекриється зварним швом. Зварювальний шов при цьому, у випадку дефекту, не зменшить поперечний переріз відповідної труби. Таким чином, показана можливість створення з'єднувальних патрубків для відповідних труб у трубопроводах, що не потребують додаткової механічної обробки, за одну технологічну операцію.

Авторами в роботі [9] було проведено математичне моделювання за допомогою МСЕ процесу роздачі (рис. 1.4) трубчастих заготовок різними пуансонами: традиційним конусним пуансоном та зпрофільованим пуансоном. Поверхня зпрофільованого пуансону (рис. 1.5, б) утворена перетином кіл, центри яких розташовані під кутом з відповідним кроком. Крок їх розташування забезпечує рівну по довжині zdeформовану частину заготовки після процесу роздачі. Його застосування приводить до зменшення площі контакту з заготовкою та зниження впливу сил тертя на роздачу. В роботі також встановлено вплив форми пуансона на зусилля процесу, НДС,

ресурс пластичності здеформованого металу та визначено кінцеві форму і розміри виробів. За результатами розрахунків було спроектовано та виготовлене експериментальне оснащення для реалізації процесу відкритої роздачі. Проведено експериментальні дослідження, за результатами яких, отримані дані по зусиллю процесу роздачі конусним пуансоном та зпрофільованим пуансоном. Авторами виконано порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень. Встановлено, що використання зпрофільованого пуансону приводить до зменшення зусилля деформування та збільшення коефіцієнта роздачі.

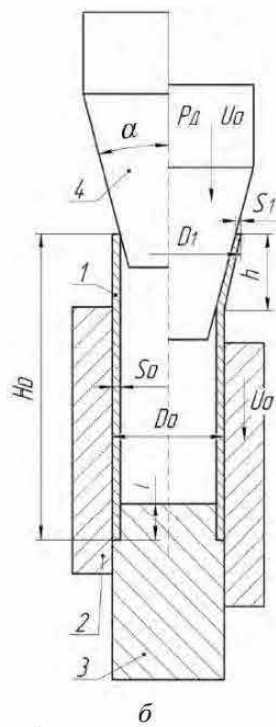
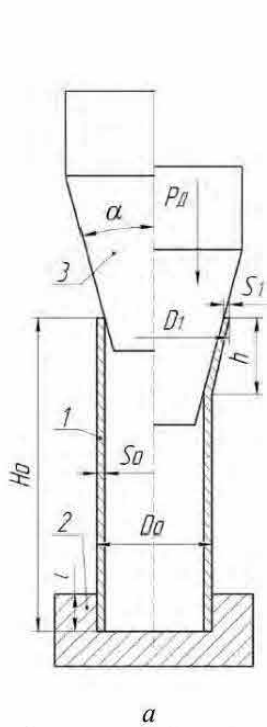


Рис. 1.4 – Технолічні схеми роздачі пуансоном трубчастих заготовок:
а – відкрита; б – закрита

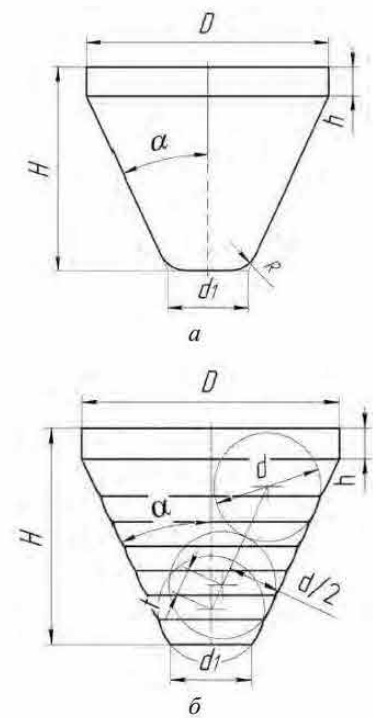


Рис. 1.5 – Конструкції пуансонів:
а – основний;
б – профільний

Таким чином, розробка технологічних процесів, що дозволяють знизити енергетичні і матеріальні витрати на технологічне оснащення та підвищити продуктивність при виготовленні деталей із трубчастих заготовок для різних сфер застосування має практичну цінність.

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Експериментальне обладнання, оснащення та апаратура

Отримання деталей методом прямого видавлювання здійснювали з використанням універсальної випробувальної машини УИМ-50 (рис. 2.1), яка дозволяє не тільки деформувати заготовки, але і реєструвати зусилля в процесі деформації.



Рис. 2.1 – Експериментальна універсальна випробувальна машина УИМ-50

Технічна характеристика

Потужність електродвигуна насосу, кВт	2,8
Максимальний робочий тиск насосу, МПа	23,5
Діапазон навантажень, що заміряються, кН	0 – 50
	0 – 100
	0 – 250
	0 – 500

Ціна поділки шкали силовимірювача при діапазоні навантажень, що заміряються, кН:

від 0 до 50 кН	0,1
від 0 до 100 кН	0,2
від 0 до 250 кН	0,5
від 0 до 500 кН	1,0

Габарити машини, що встановлена на фундаменті, мм:

розмір спереду - назад	288
розмір справа - наліво	1180
висота	5330

Вага машини складає 2668 кг та складається з ваги, кг:

насоса	288
преса.	2160
силовимірювача	220

В якості інструмента використовувався експериментальний штамп (див. креслення: рис. 2.1).

Експериментальний штамп складається з таких основних деталей (рис. 2.2):

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

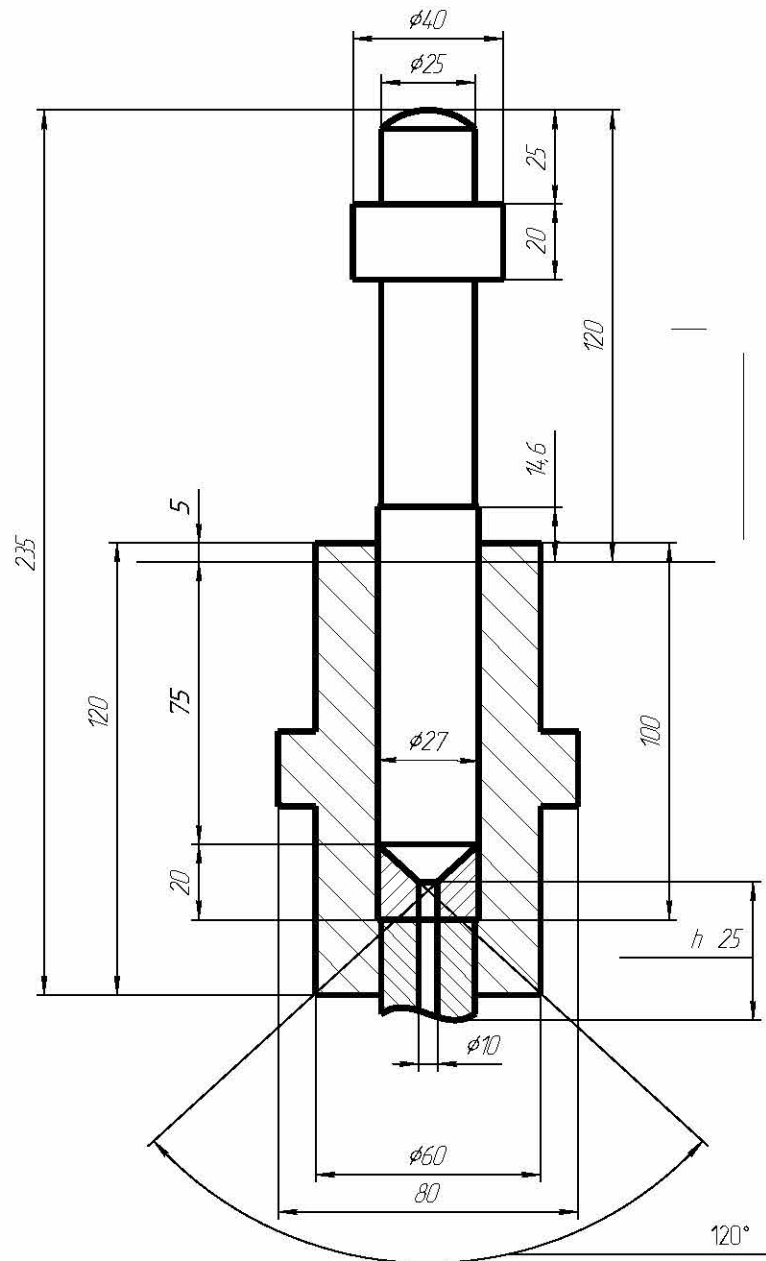


Рис. 2.2 – Експериментальний штамп

Штамп працює таким чином. В робочу порожнину корпус-матриці 2 встановлюється певна змінна (3...5) матриця (див. креслення, рис. 2.2) та вкладається заготовка. Далі в цю ж порожнину вставляється пуансон 1. В такому вигляді штамп встановлюється на розривну машину та навантажується.

Зусилля видавлювання записується на паперовий носій.

2.2. Методи визначення зусилля пресування

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

2.2.1. Метод ліній ковзання

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

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

2.2.2. Метод кінцевих елементів (МКЕ)

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

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

2.3. Правила безпеки при обслуговуванні ковальсько-штампувального обладнання

Роботодавець повинен забезпечити організацію і безпечне виконання ковальсько-пресових робіт [10 – 12] 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 [13].

Гільйотинні ножиці з похилим верхнім ножом для розрізання листового матеріалу повинні бути обладнані: пристосуванням і пристроями для подавання, укладання і підтримання листів (столи, рольганги, кронштейни, підставки) на рівні нерухомого ножа та механізмами для виведення заготовок з робочої зони ножиць; напрямними і запобіжними лінійками для позначення місця різання; запобіжними пристроями, зблокованими 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 [13].

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

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

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

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

Не дозволяється працювати на стрічкових 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 на 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 [14].

Не дозволяється працювати на гідропресі за відсутності сигналізації щодо положення робочих столів, базового столу, повзуна, мультиплікаторів, покажчика тиску на кожному столі преса. Листоправильні багатовалкові верстати повинні мати столи (рольганги) для подавання і приймання листів та пристрої для направлення листів під час подавання їх у вальці [14].

Роликові верстати для згинання і вальцювання профілів повинні мати захисні пристрої від попадання пальців працівників між роликами і матеріалом. Не дозволяється працювати на згинальному верстаті в разі: випередження одного кінця траверси або нерівномірного її переміщення; невідповідності ходу траверси (верхнього вала) показанням індикатора; значного провисання верхнього вальця при прокатуванні. Під час прокатування на згинальному верстаті металевих листів із застосуванням полотна або паперу не дозволяється розправляти утворені складки на полотні або папері, протирати опорні ролики і вальці під час їх обертання.

Заготовки, які подаються до профілезгинальних машин, повинні мати випрямлені і зачищені торці для забезпечення вільного заправлення їх у затискний інструмент. Під час роботи профілезгинальних верстатів не дозволяється проводити вимірювання і звільняти заготовки під час повороту згинальних важелів [14].

Припускаємо, що процес роздачі трубної заготовки протікає в умовах плоского напруженого стану ($\sigma_z = 0$), на контактній границі реалізується закон тертя Кулона. Матеріал є нестисливим, ізотропним, що володіє циліндричною анізотропією механічних властивостей, для якого слушна умова плинності Мізеса-Хілла [2]

$$2f(\sigma_{ij}) \equiv F\sigma_\theta^2 + G\sigma_\rho^2 + H(\sigma_\rho - \sigma_\theta)^2 = 1 \quad (3.1)$$

і асоційований закон пластичної течії

$$\begin{aligned} d\varepsilon_\rho &= d\lambda[H(\sigma_\rho - \sigma_\theta) + G\sigma_\rho]; & d\gamma_{\theta z} &= 0; \\ d\varepsilon_\theta &= d\lambda[F\sigma_\theta + H(\sigma_\theta - \sigma_\rho)]; & d\gamma_{z\rho} &= 0; \\ d\varepsilon_z &= -d\lambda[G\sigma_\rho + F\sigma_\theta]; & d\gamma_{\rho\theta} &= 0, \end{aligned} \quad (3.2)$$

де F, G, H – параметри, що характеризують поточне стан анізотропії;

σ_{ij} – компоненти тензора напружень у головних осях анізотропії;

$d\varepsilon_x, d\varepsilon_y, d\varepsilon_z, d\gamma_{yz}, d\gamma_{xy}, d\gamma_{zx}$ – компоненти збільшення тензора деформацій;

$d\lambda$ – коефіцієнт пропорційності;

x, y, z – головні осі анізотропії.

Враховуючи зв'язок параметрів анізотропії F, G, H з величинами коефіцієнтів анізотропії R_ρ і R_θ виду [16] умова течії для матеріалу, що володіє циліндричною анізотропією механічних властивостей, у головних напругах прийме вид

$$\sigma_\rho^2 + \frac{R_\rho(1+R_\theta)}{R_\theta(1+R_\rho)}\sigma_\theta^2 - 2\frac{R_\rho}{(1+R_\rho)}\sigma_\rho\sigma_\theta = \frac{R_\rho(1+R_\theta)}{R_\theta(1+R_\rho)}\sigma_{s\theta}^2, \quad (3.3)$$

де $\sigma_{s\theta}$ – величина опору матеріала пластичному деформуванню в напрямку вісі θ , яку можна виразити через

$$\sigma_{s\theta} = \sigma_i \sqrt{\frac{2(R_\rho + R_\rho R_\theta + R_\theta)}{3R_\rho(R_\theta + 1)}}. \quad (3.4)$$

Використовуючи вираз для визначення інтенсивності деформації ε_i для вказаної схеми деформування визначаємо, що

$$d\varepsilon_i = \sqrt{\frac{2}{3}(F+G+H)} \left[F \left(\frac{Gd\varepsilon_\theta - Hd\varepsilon_z}{FG+GH+HF} \right)^2 + G \left(\frac{Hd\varepsilon_z - Fd\varepsilon_\rho}{FG+GH+HF} \right)^2 + H \left(\frac{Fd\varepsilon_\rho - Gd\varepsilon_\theta}{FG+GH+HF} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (3.5)$$

Меридіанальне σ_ρ та окружні σ_θ напруження визначають рішенням приближеного рівняння рівноваги

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \left(1 + \frac{\rho}{s} \frac{ds}{d\rho} \right) - \sigma_\theta - \frac{\mu\sigma_\theta}{\operatorname{tg}\alpha} = 0 \quad (3.5)$$

спільно із умовою пластичності при граничних умовах

$$\text{при } \rho = \rho_K = r_K / \sin \alpha, \quad \sigma_\rho \Big|_{\rho=\rho_K} = 0, \quad (3.6)$$

де μ – коефіцієнт тертя по Кулону на поверхні контакту пуансона та заготовки.

Гранична умова дозволяє визначити величину окружного напруження σ_θ з умови текучесті таким чином:

$$\sigma_\theta = \sigma_i \sqrt{\frac{2(R_\rho + R_\rho R_\theta + R_\theta)}{3R_\rho(1 + R_\theta)}}. \quad (3.7)$$

Інтегруванням рівня рівноваги чисельним методом кінцевих різностей від крайової частини заготовки отримуємо рівняння

$$\sigma_{\rho_n} = \sigma_{\rho_{n-1}} + \frac{\rho_n - \rho_{n-1}}{\rho_n} \left[\sigma_{\theta_{n-1}} \left(1 + \frac{\mu}{\operatorname{tg}\alpha} \right) - \sigma_{\rho_{n-1}} (1 + f_{n-1}) \right]. \quad (3.8)$$

При цьому визначаємо, що стискаючі меридіанальні напруження σ_ρ мають найбільше за абсолютною величиною значення при $\rho = r_0$. Цю величину визначаємо як суму напружень відповідно із (3.8) та прирістом напруження $2\Delta\sigma_\rho$ від вигину та спрямлення таким чином:

$$\begin{aligned} \left. \sigma_{\rho} \right|_{\max} &= \left. \sigma_{\rho} \right|_{\rho=\rho_{zp}} + 2\Delta\sigma_{\rho} \Big|_{\rho=\rho_{zp}} = \left. \sigma_{\rho} \right|_{\rho=\rho_{zp}} + 2\sigma_{\rho} \Big|_{\rho=\rho_{zp}} (1 - \cos \alpha) = \\ &= \left. \sigma_{\rho} \right|_{\rho=\rho_{zp}} (3 - 2 \cos \alpha), \end{aligned} \quad (3.9)$$

Де коефіцієнт $(3 - 2\cos\alpha)$ враховує вигин та спрямлення заготовки при переході від конічної ділянки до недеформованого циліндричного.

3.2. Роздача трубної заготовки з утворенням циліндричної частини

У випадку, коли при роздачі утворюється циліндрична частина нового діаметра, визначаючи напруження в конічній ділянці, необхідно враховувати вплив вигину та спрямлення між цими участками.

Приймають вигин та спрямлення елементів на границях ділянок відного вигину збільшують меридіанальне напруження σ_{ρ} на величину $2\Delta\sigma_{\rho}$, яку визначають як

$$\Delta\sigma_{\rho} = \frac{\sigma_{s\theta}s}{4r_2}, \quad (3.10)$$

де r_2 – радіус кривизни,

$$r_2 = \sqrt{r_k s} / (\sqrt{2} \sin \alpha). \quad (3.11)$$

Величина меридіанальних напружень σ_{ρ} визначається за формулою

$$\sigma_{\rho} = 2\Delta\sigma_{\rho} \Big|_{\rho=r_k} = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\sigma_{s\theta} s \sin \alpha}{\sqrt{r_k s}}.$$

Меридіанальні напруження σ_{ρ} і окружні напруження σ_{θ} визначають рішенням приближеного рівняння рівноваги (3.5) відповідно з умовою пластичності (3.1), при граничних умовах

$$\text{при } \rho = \rho_k, \quad \left. \sigma_{\rho} \right|_{\rho=\rho_k} = 2\Delta\sigma_{\rho} \Big|_{\rho=\rho_k} = \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\sigma_{s\theta} s \sin \alpha}{\sqrt{r_k s}},$$

Де визначається з умови (3.4) при $\rho = r_k$.

Зміну товщини труби в процесі роздачі заготовки визначаємо за відношенням

$$s = s_0 e^{\int_0^{\rho} f \frac{d\rho}{\rho}}$$

Силу процесу роздачі трубної заготовки визначаємо виразом

$$P = 2\pi r_0 s_0 |\theta_{\rho_{\max}}|.$$

3.3. Чисельне моделювання роздачі трубної заготовки вісесиметричним пуансоном

Отримані при розробці математичної моделі роздачі трубної заготовки співвідношення дозволили оцінити вплив технологічних параметрів, кута конусності пуансона α , умов тертя на контактній поверхні робочого інструмента і заготовки μ , анізотропії механічних властивостей заготовки на напружений і деформований стан, силові режими і граничні можливості формозміни операції роздачі трубних заготовок.

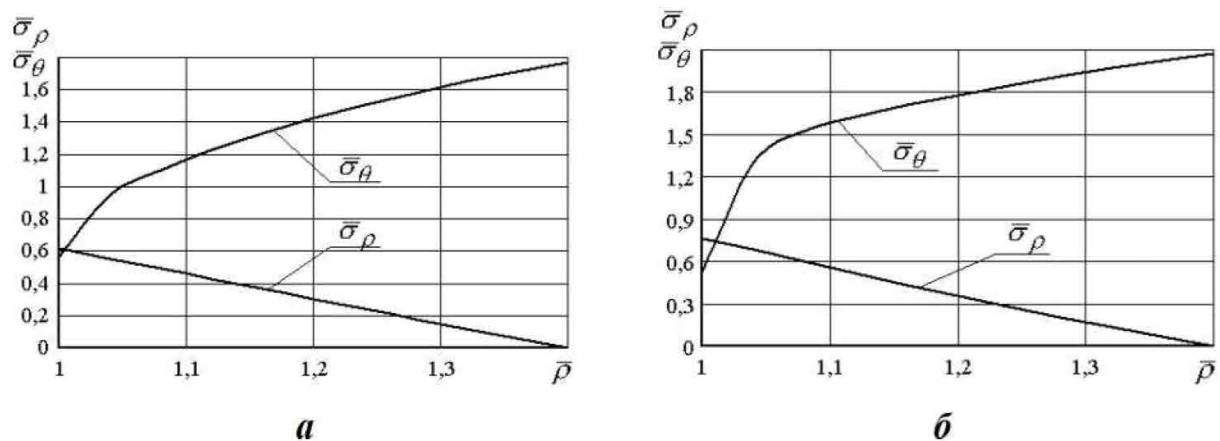


Рис. 3.2 – Залежності зміни σ від $\bar{\rho}$ ($K\rho = 1,4$; $\alpha = 20^\circ$):
а – сталь 08кп; б – алюмінієвий сплав АМгб

Аналіз графічних залежностей показує, що зі збільшенням відносного радіуса \bar{r} відносна окружна напружка σ_θ збільшується. Меридіональна напружка σ_ρ збільшується від найбільшого значення при $r/r_0 = 1$ до нуля на крайці заготовки.

Графічні залежності зміни відносної величини сили процесу \bar{P} від кута конусності пуансона α ($Kp = 1,4$; $\mu = 0,05$) для трубних заготовок зі сталі 08кп і алюмінієвого сплаву АМгб представлені на рис. 3.3.

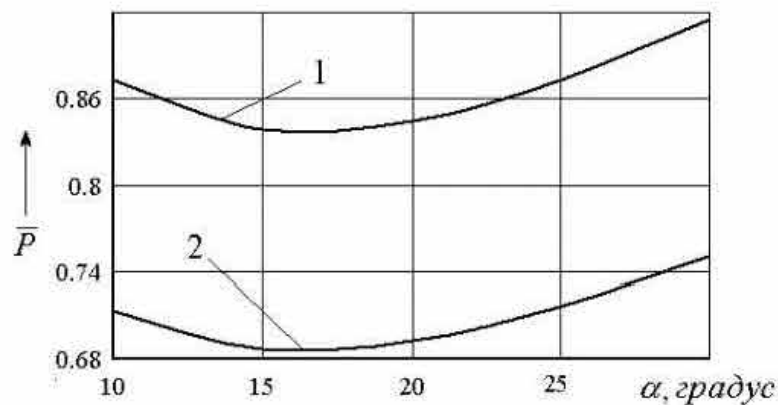


Рис. 3.3 – Залежності зміни \bar{P} від α :

крива 1 - алюмінієвий сплав АМгб; крива 2 - сталь 08кп

Аналіз результатів розрахунків і графічних залежностей, наведених на рис. 3.3, показує, що виявлені оптимальні кути конусності пуансона в межах від 12° до 18° , що відповідають найменшій величині сили. Встановлено, що з ростом коефіцієнта роздачі Kp і коефіцієнта тертя μ величина відносної сили \bar{P} зростає.

На рис. 3.4 наведені графічні залежності зміни відносної товщини крайки трубної заготовки $s_k = s / s_0$ від коефіцієнта роздачі Kp при роздачі трубних заготовок зі сталі 08кп і алюмінієвого сплаву АМгб.

Із графічних залежностей (рис. 3.4) видно, що зі збільшенням коефіцієнта роздачі Kp відносна товщина крайки трубної заготовки s_k суттєво зменшується.

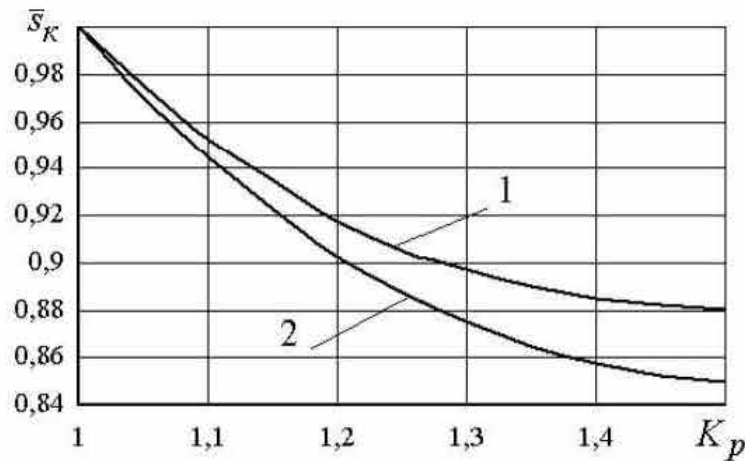


Рис. 3.4 – Залежності зміни s_k від K_p ($\alpha = 20^\circ$; $\mu = 0,05$):
крива 1 - сталь 08кп; крива 2 - алюмінієвий сплав АМг6

Результати розрахунків граничних можливостей формозміни по наведених вище умовах деформування представлені на рис. 3.5, звідки випливає, що граничні можливості формозміни при роздачі трубних анізотропних заготовок обмежуються першою умовою деформування. Тут криві 1 і 2 відповідають величинам коефіцієнтів роздачі K_p , обчисленим за критерієм локальної втрати стійкості і максимальній величині осьової напруги.

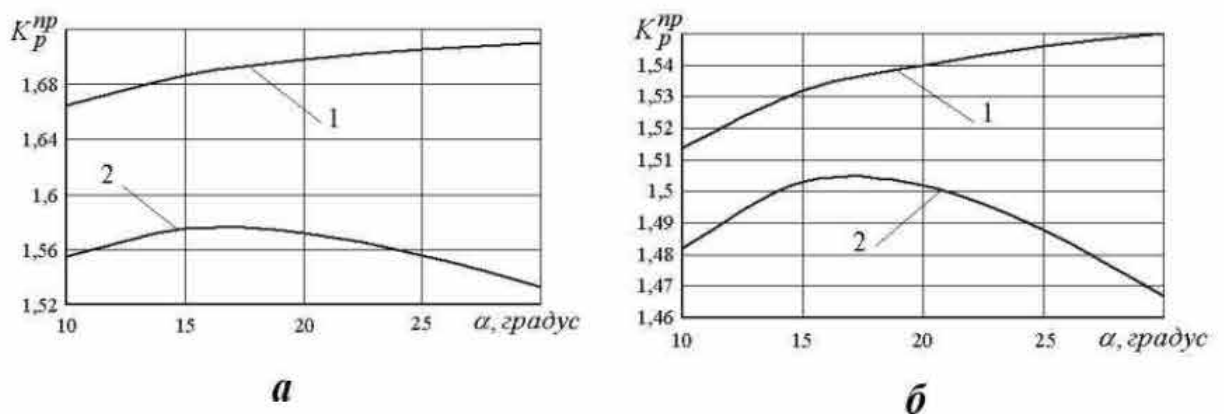


Рис. 3.5 – Залежності зміни K_p^{np} від α :

а - сталь 08кп; б - алюмінієвий сплав АМг6

Наведені вище співвідношення для визначення деформованого і напруженого стану трубної заготовки дозволяють установити граничні можливості процесу. Граничні величини коефіцієнта роздачі K_r при роздачі трубних заготовок конічним пуансоном можуть обмежитися припустимою зміною товщини стінки заготовки (по технічних умовах) і локальною втратою стійкості заготовки.

3.4. Комп'ютерне моделювання роздачі трубної заготовки вісесиметричним пуансоном

Комп'ютерне моделювання виконували в програмному середовищі DEFORM.

Вихідними даними для комп'ютерного моделювання є розміри вихідної трубчастої заготовки, які коригувалися по ходу виконання чисельного розрахунку. Моделювання процесу роздачі трубчастої заготовки вісесиметричним пуансоном відбувалось за таких умов:

- матеріал заготовки – М0 (аналог в програмі – С10100);
- ізотропний пластичний матеріал заготовки;
- всі інструменти є жорсткими;
- швидкість пуансона та матриці є однаковими $V_0 = 1$ мм/с;
- коефіцієнт тертя приймався по закону Кулона ($\mu = 0,1$).

На рис. 3.6 наведено розрахункову схему процесу роздачі трубчастої заготовки вісесиметричним пуансоном в залежності від стадії процесу деформування. Трубчаста заготовка 1 у вихідному положенні опирається на виштовхувач 2 в рухомій матриці 4. Зусилля деформування передається на заготовку за допомогою пуансону 3. При цьому при русі пуансона із швидкістю $V_M = V_{\Pi} = 1$ мм/с також опускається рухома матриця 4, яка діє як протитиск.

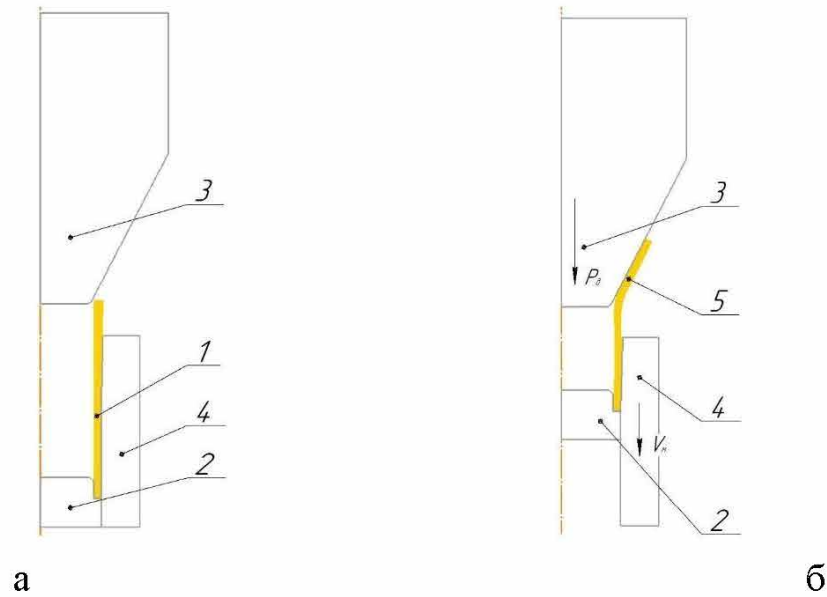


Рис. 3.6 – Схема процесу роздачі трубної заготовки:
а – початку деформації; б – кінець деформації

В результаті комп'ютерного моделювання були отримані графіки залежності зусиль, що виникають на пуансоні і на рухомій матриці в залежності від переміщення. На рис. 3.7 показані графіки залежності зусиль, які виникають на пуансоні (рис. 3.7, а) та матриці (рис. 3.7, б) в залежності від їх переміщення. З графіків, які майже ідентичні видно, що максимальне зусилля як на пуансоні, так і на матриці досягає 9,8 кН в кінці процесу після переміщення на 12 мм.

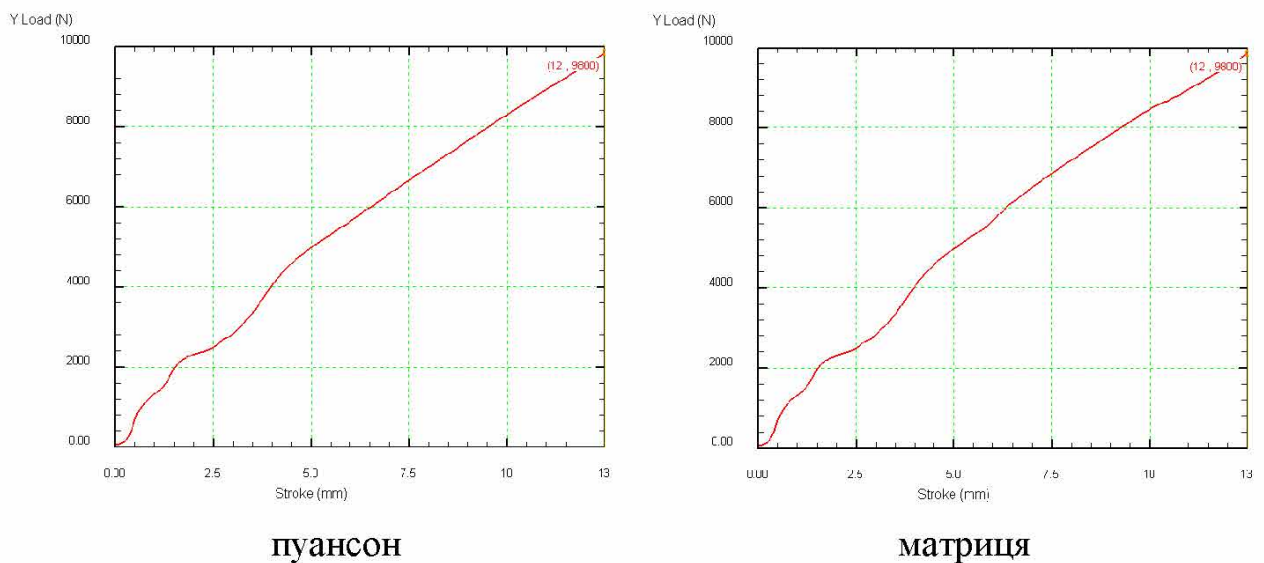


Рис. 3.7 – Зміна зусиль в залежності від переміщення

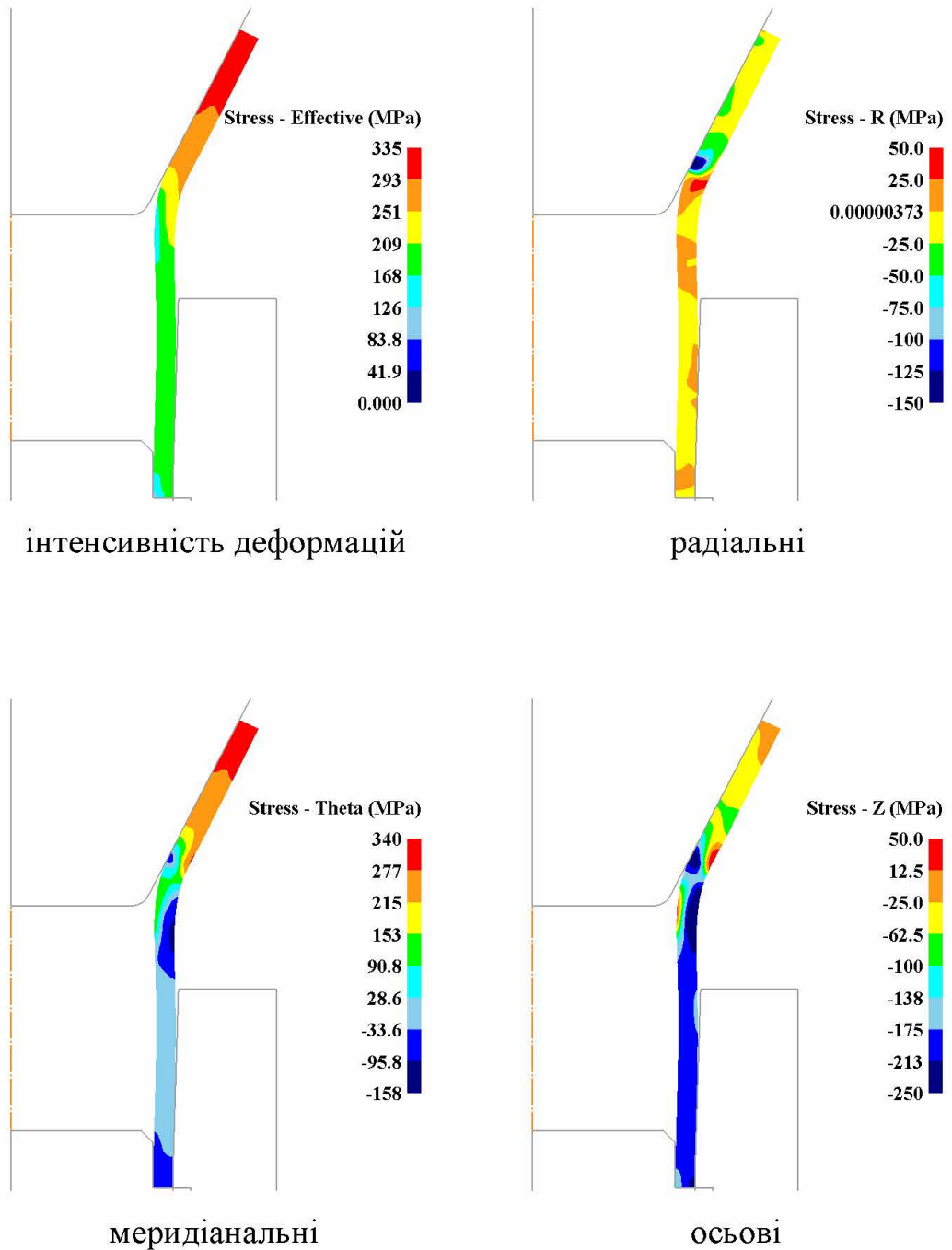


Рис. 3.8 – Розподіли компонент напружень

Розподіл компонент напружень після процесу роздачі у здеформованій трубчастій заготовці при максимальному зусиллі показано на рис. 3.8.

На рис. 3.8, а показано інтенсивність напружень у здеформованому трубчастому напівфабрикаті, яка переважно знаходиться в межах $\sigma_i = 168 \div 335$ МПа. Найменші значення інтенсивності напружень $\sigma_i = 168 \div 209$ МПа виникають вздовж циліндричної напівфабрикату, найбільші $\sigma_i = 251 \div 335$ МПа – в розданій стінці.

Радіальні напруження, які показано на рис. 3.7, б знаходяться в межах $\sigma_r = -150 \div 50$ МПа. У стінці виробу виникають стискаючі радіальні напруження. На внутрішній частині трубчастої заготовки в місці радіусу переходу від циліндричної до конусної частини напівфабрикату виникають найбільші стискаючі радіальні напруження, які складають $\sigma_r = -150 \div -100$ МПа. На зовнішній частині в місці радіусу виникають розтягувальні напруження в межах $\sigma_r = 0 \div 50$ МПа.

Тангенціальні напруження знаходяться в межах $\sigma_\theta = -158 \div 340$ МПа (рис. 3.8, в). Найбільші стискаючі тангенціальні напруження виникають в зовнішній частині трубчастої заготовки в місці радіусу переходу від конусної до циліндричної частини й становлять $\sigma_\theta = -158 \div -33$ МПа. У розданій конусній стінці заготовки переважають розтягувальні тангенціальні напруження в межах $\sigma_\theta = 215 \div 340$ МПа.

Осьові напруження, які показані на рис. 3.8, г знаходяться в межах $\sigma_z = -250 \div 50$ МПа. Стискаючі осьові напруження виникають в циліндричній стінці розданої заготовки і досягають величини $\sigma_z = -250$ МПа. Невеликі значення розтягуючих осьових напружень виникають у конусній стінці.

Розподіл компонент деформацій після процесу роздачі у zdeформованому напівфабрикаті показано на рис. 3.9.

Інтенсивність деформацій (рис. 3.9, а) знаходиться в межах $\varepsilon_i = 0 \div 0,5$. Найменша інтенсивність виникає в циліндричній стінці напівфабрикату та сягає $\varepsilon_i = 0,06$. Найбільша величина знаходиться конусній частині стінки та знаходиться в межах $\varepsilon_i = 0,19 \div 0,5$.

Радіальні деформації, які показані на рис. 3.8б знаходяться в межах $\varepsilon_r = -0,25 \div 0,09$. Найбільшої величини стискаючі радіальні деформації сягають у торцях конусної стінки zdeформованого напівфабрикату, де знаходяться в межах $\varepsilon_r = -0,25 \div -0,16$.

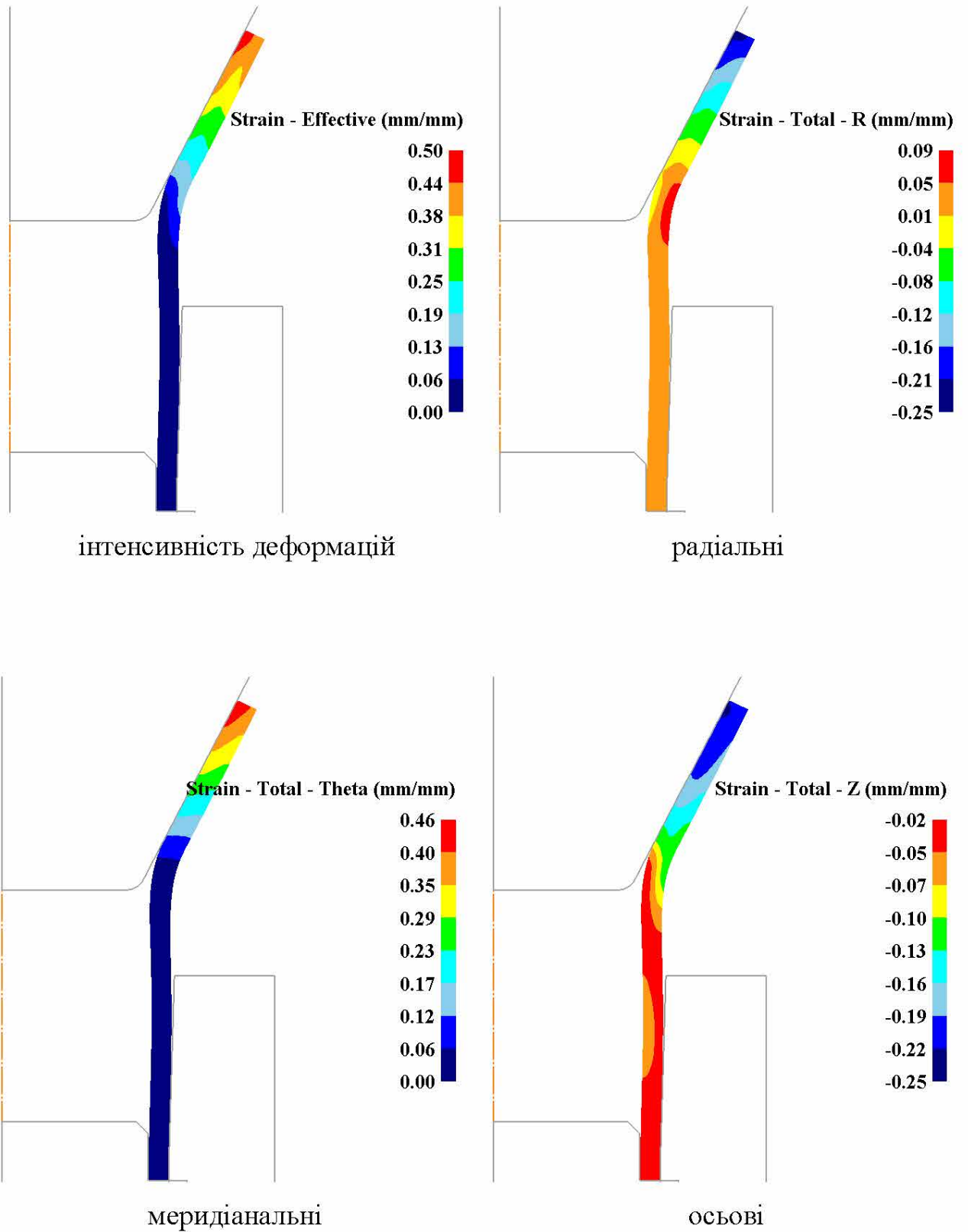


Рис. 3.9 – Інтенсивність деформацій в виробі, отриманому за допомогою роздачі трубної заготовки

По всьому об'єму zdeформованого виробу виникають розтягувальні тангенціальні деформації, які показано на рис. 3.9, в. Вони знаходяться в межах $\varepsilon_\theta = 0 \div 0,46$. Найбільшої величини $\varepsilon_\theta = 0,38 \div 0,5$ розтягувальні тангенціальні деформації сягають в торцях конусної стінки виробу, далі поступово зменшуючись до переходу в циліндричну стінку.

Осьові деформації (рис. 3.8г) знаходяться в межах $\varepsilon_z = -0,25 \div -0,02$.

По всій стінці виробу виникають стискаючі осьові деформації.

На рис. 3.10 показано значення критерію руйнування в zdeформованому трубчастому напівфабрикаті в кінці роздачі. Найбільше значення критерію становить 0,4 на кромках розданої частини напівфабрикату, поступово зменшуючись до переходу в циліндричну стінку.

На рис. 3.11 показані розміри отриманого напівфабрикату.

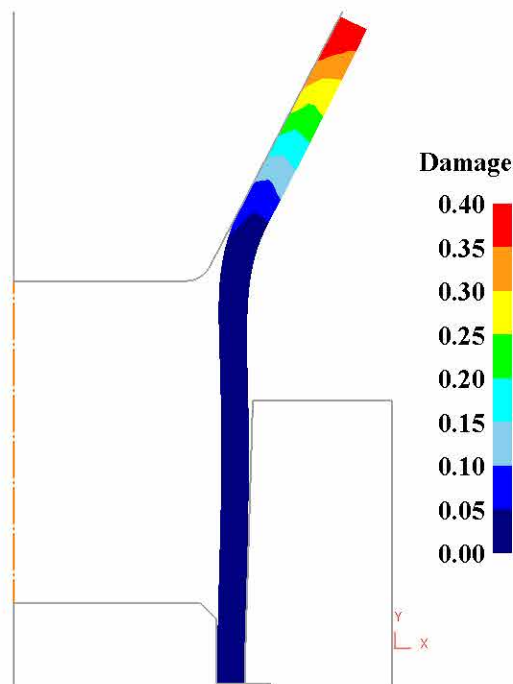


Рис. 3.10 – Показники величини руйнування в виробі після обробки

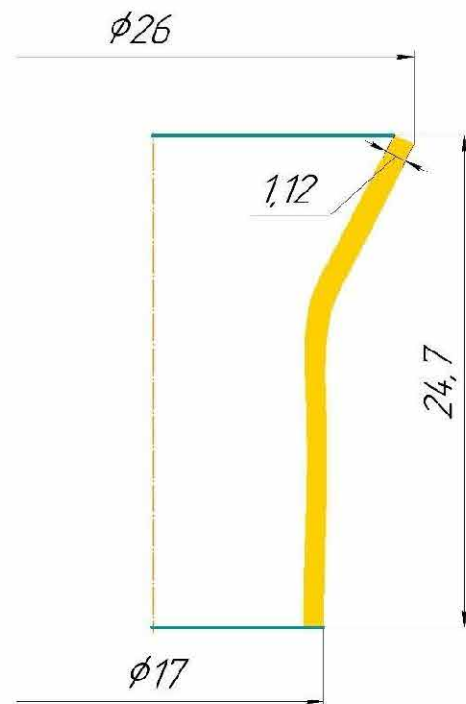


Рис. 3.11 – Отриманий виріб після деформування

Висновки по розділу 3

В даному розділі було отримано наступні результати:

1. Визначена математична модель роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном.
2. Проведено чисельне моделювання роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном. Проведено графічний аналіз оцінки впливу технологічних параметрів, кута конусності пуансона, умов тертя на контактній поверхні робочого інструмента і заготовки, анізотропії механічних властивостей заготовки на напружений і деформований стан, силові режими і граничні можливості формозміни операції роздачі трубних заготовок.
3. За допомогою комп'ютерного моделювання в програмному комплексі DEFORM 2D/3D проведено аналіз операційного переходу технологічного процесу роздачі трубної заготовки.
4. Встановлені залежності зусиль операцій від переміщення пуансона.
5. Встановлений НДС заготовок та кінцеві розміри та форми виробів отриманих роздачею.

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 роздачі трубчастої заготовки для сучасного виробництва.

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

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

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

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	Орієтовн ість на обробку деформув анням	-
2.	Можливість встановлю-вати оптимальні обробки	+	+	-	Ручний підбір оптим. режимів	Визнач. відбув. з врахува-нням впливу на інструмент	Визнач. відбув. перед процесом обробки

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 режимів роздачі трубчастої заготовки	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 роздачі	Виробництва	Вимоги до сталості процесу обробки тиском	Моделювання процесів обробки тиском
2	Потреба в розрахунках режимів роздачі	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 технології 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 загальноживаних апаратних та програмних засобів
За характером конкурентних переваг: цінова	Використання доступних технологій	Гнучке ціноутворення
За інтенсивністю: немарочна	Перевага надається покращенню якості продукту, а не його маркетингу	Покращення якості продукту

Визначаємо та обґрунтовуємо фактор конкурентоспроможності (табл. 4.9) та проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції за моделлю п'яти сил М. Портера (табл. 4.10).

Таблиця 4.9 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

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

Таблиця 4.10 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

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

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

Наступний крок – аналіз слабких та сильних сторін стартапу (табл. 4.11) на основі визначених вище факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

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

Кінцевий етап аналізу можливостей впровадження стартап-проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (S – Strength) та слабких (W – Weak) сторін, можливостей (O – Opportunities) та загроз (T - Troubles) (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 SWOT-аналіз стартап-проекту

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

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

Альтернативи ринкового впровадження стартапу показані в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 Альтернативи ринкового впровадження стартапу

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

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

4.6 Розроблення ринкової стратегії

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

Таблиця 4.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

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

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

Визначення базової стратегії розвитку наведено в табл. 4.15.

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

Таблиця 6.15 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 повитратах
2	Розвиток власної торгової марки	Концентрований маркетинг	Активний розвиток та реклама власної торгової марки, продукту.	Стратегія спеціалізації

Таблиця 4.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

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

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

Фінальним кроком розробки ринкової стратегії є розробка стратегії позиціонування (табл. 4.17). Розробка базується на формуванні ринкової позиції, за якими споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект. Розробка здійснюється на основі визначених попередньо сегментів до

постачальника та до продукту (табл. 4.4), обраної базової стратегії розвитку (табл. 4.16) та стратегії конкурентної поведінки.

Таблиця 4.17 Визначення стратегії позиціонування

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

4.7 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком розробки маркетингової програми є формування маркетингової концепції товару. В табл. 4.18 внесемо підсумовані результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

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

Таблиця 4.19 Опис трьох рівнів моделі товару

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

На наступному етапі розробляється трирівнева маркетингова модель товару. На цьому етапі уточнюється ідея товару, його фізичні складові, особливості процесу надання товару (табл. 4.19).

Наступний крок – визначення оптимальної системи збуту товару (табл. 4.20)

Таблиця 4.20 Формування системи збуту

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

Фінальний етап розробки маркетингової програми – розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 4.21).

Таблиця 4.21 Концепція маркетингових комунікацій

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

Висновки по розділу 4

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

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

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз процесу роздачі трубної заготовки та особливостей існуючих методів отримання таких виробів. Проведений огляд теоретичних та експериментальних досліджень процесів роздачі трубної заготовки.
2. Визначена математична модель роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном. Наведені співвідношення можуть бути використані для оцінки напруженого і деформованого станів заготовки, силових режимів і граничних можливостей формозміни операції роздачі трубної заготовки з анізотропного матеріалу.
3. Проведено чисельне моделювання роздачі трубної анізотропічної заготовки вісесиметричним конічним пуансоном. Проведено графічний аналіз оцінки впливу технологічних параметрів, кута конусності пуансона, умов тертя на контактній поверхні робочого інструмента і заготовки, анізотропії механічних властивостей заготовки на напружений і деформований стан, силові режими і граничні можливості формозміни операції роздачі трубних заготовок.
4. За допомогою комп'ютерного моделювання в програмному комплексі DEFORM 2D/3D проведено аналіз операційного переходу технологічного процесу роздачі трубної заготовки.
5. За допомогою метода скінчених елементів проведено комп'ютерне моделювання процесу роздачі трубчастої заготовки. Визначено залежність зусилля роздачі від переміщення пуансону. Встановлені розподіли напружень та деформацій в zdeформованому напівфабрикаті та виявлено кінцеву форму і розміри напівфабрикату після роздачі.
6. На основі аналізу математичної моделі роздачі трубної заготовки, а також комп'ютерного моделювання намічені шляхи інтенсифікації технологічного процесу та обґрунтованого вибору основних технологічних параметрів процесу деформування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Koistinen D. Mechanics of Sheet Metal Forming: Material Behavior and Deformation Analysis. 1 изд. Springer, 1978. 416 с.
2. Теория обработки металлов давлением: учебник для вузов / В.А. Голенков [и др.]; под ред. В.А. Голенкова, С.П. Яковлева. М.: Машиностроение, 2009. 442 с.
3. Яковлев С.П., Яковлев С.С., Андрейченко В.А. Обработка давлением анизотропных материалов. Кишинев: Квант. 1997. 331 с.
4. Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / под общ. ред. С.С. Яковлева; ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2010. 732 с.
5. Потянихин Д. А. Моделирование в ANSYS напряженно-деформированного состояния трубчатой заготовки при раздаче по осесимметричному пуансону / Д.А. Потянин, Б.Н. Марьин // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, (4(37)), 2018, С. 3-15.
6. Яковлев С.С. Математическая модель операции раздачи трубных заготовок из анизотропных материалов. / С.С. Яковлев, Д.В. Крылов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №1, 2011, С. 79-88.
7. Марьин С. Б. Сравнительный анализ технологических методов раздачи трубчатой заготовки. / С.Б. Марьин, Д.А. Потянихин, В.А. Пхью, М.К. Хлайнг // Инженерный журнал: наука и инновации, № 10 (106), 2020, С. 4.
8. Веселов А.А. Определение размеров концов труб после раздачи методом пластического деформирования // Морской вестник. 2012. № 1. С. 15-16.
9. Калюжний В. Л. Розрахунково-експериментальний аналіз відкритої роздачі трубчастих заготовок / Калюжний В. Л., Олександренко Я. С.,

- Куліков І. П. // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування : збірник наукових праць. – 2014. – № 1(70). – С. 63–68. – Бібліогр.: 5 назв.
10. Наказ Державного Комітету України з нагляду за охороною праці від 15.11.2004 № 255. Про затвердження Типового положення про службу охорони праці [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z1526-04> (дата звернення 15.11.2023 р.). — Назва з екрана.
 11. Наказ Державного Комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 22.02.2008 № 35. Про Рекомендації щодо побудови та впровадження системи управління охороною праці [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://www.uazakon.com/documents/date_bu/pg_gwwuxm.htm (дата звернення 15.11.2023 р.). — Назва з екрана.
 12. Закон України. Про охорону праці [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення 15.11.2023 р.). — Назва з екрана.
 13. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 19.12.2013 № 968. Правила охорони праці під час ковальсько-пресових робіт [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0017-14> (дата звернення 15.11.2023 р.). — Назва з екрана.
 14. Охорона праці в ковальсько–пресовому виробництві: навчальний посібник / І.Л. Марченко, О.М. Бакланов. – Краматорськ: ДЦМА. 2009. – 208 с.
 15. Яковлев С.С., Кухарь В.Д., Трегубов В.И. Теория и технология штамповки анизотропных материалов / под ред. С.С. Яковлева. М.: Машиностроение, 2012. 400 с.
 16. Яковлев С.П., Кухарь В.Д. Штамповка анизотропных заготовок. М.: Машиностроение, 1986. 136 с.

17. Min Ko Hlaing, Phone Htet Kyaw, Maryn B.N. Defect Analysis of Operating Hydro-Gasified Piping System. Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2019, vol. 1, pp. 885
18. Maryin S.B., Phyo Wai Aung. Working Body for Deformation of Thin-Walled Pipe Billets. Materials Science Forum, 2019, vol. 945, pp. 628-633.
19. Харсеев В. Е. Макроскопические феноменологические модели и теории разрушения обработки металлов давлением / В. Е. Харсеев // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 3 (36). – С. 90–96.
20. Guntram Ruf. Modeling ductile damage of a Ni-base alloy considering the microstructure evolution during hot working / Ruf Guntram, Sommitsch Christof, Bruno Buchmayr // Steel Grips. Journal of Steel and Related Materials. – 2006. – № 4. – S. 56–63.
ISSN 2076-2151. Обработка материалов давлением. 2017. № 2 (45)
29
21. Бень І. В. Вплив параметрів сітки скінчених елементів при моделюванні процесу вирубування деталей в середовищі DEFORM 3D / І. В. Бень, М. В. Орлюк // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 47(1166). – С. 11–14.

ДОДАТКИ

Д1. Довідка про участь у конференції ЦНТУ



Довідка № 1004 від 18.12.2023 р.

Видана студенту групи ПМ22-М2-2 Колеснику Олександрю про те, що він 20 квітня 2023 р. брав участь у засіданні секції І.VІІ науково-технічної конференції здобувачів вищої освіти приуроченій «Дню науки – 2023» на секції машинобудування, мехатроніки і роботехніки з доповіддю на тему: «Оптимізація температурно-швидкісних умов процесу екструзії» (наук. кер.: доц. В.Шмельов).

Керівник МОВ

Олексій СМІРНОВ