

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра обробки металів тиском та спецтехнологій

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри ОМТ та СТ
канд. техн. наук, доцент

_____ Віталій ШМЕЛЬОВ
20 грудня 2021 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти на тему
«Дослідження процесу пресування
із використанням профільованого інструменту»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ПМ(ОТ)-20МЗ
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Тупаленко Д. С.
26 листопада 2021 р.

Керівник проекту
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир СВЯЦЬКИЙ
26 листопада 2021 р.

Рецензент
канд. техн. наук, доцент

_____ Віктор ПУКАЛОВ
21 грудня 2021 р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко–технологічний

Кафедра: «Обробка металів тиском та спецтехнології»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма: «Прикладна механіка»

«Затверджую»

Зав. кафедри ОМТ та СТ

канд. техн. наук, доцент

_____ Віталій ШМЕЛЬОВ

1 вересня 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

Тупаленку Денису Сергійовичу

1. Тема роботи: «Дослідження процесу пресування із використанням профільованого інструменту»

2. Керівник роботи: Свяцький Володимир Вячеславович

3. Строк подання роботи до захисту: 21 грудня 2021 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: на основі теоретичних і експериментальних досліджень встановити вплив різних профілів матричних лійок на одержання прес-виробів із найменшими енерго-силовими параметрами.

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

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 5 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., канд. техн. наук, ст. викладач	1.09.2021 р.	24.11.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2021 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	1.10.2021 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	15.10.2021 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	1.11.2021 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	15.12.2021 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	21.12.2021 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	29.12.2021 р.	

Дата видачі завдання

1 вересня 2021 р.

Підпис керівника

_____ Свяцький В. В.

Завдання прийнято до виконання

1 вересня 2021 р.

Підпис здобувача

_____ Тупаленко Д. С.

АНОТАЦІЯ

Тупаленко Д. С. «Дослідження процесу пресування із використанням профільованого інструменту», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2021 рік.

Метою дослідження є встановлення впливу різних профілів матричних лійок на основі теоретичних і експериментальних досліджень для одержання виробів із найменшими енерго-силовими параметрами.

Шляхом комп'ютерного проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу встановлені можливості для проектування і реалізації технологічного процесу пресування виробів через матрицю, що має профіль, виконаний по лінії ковзання. Виявлений вплив різних форм утворюючих матриці на характер формування енергосилових параметрів вогнища деформації. Комп'ютерним моделюванням процесу пресування встановлено розподіл інтенсивностей напружень по стадіям пресування та картину течії металу за викривленнями координатної сітки.

Вирішене практичне завдання по визначенню оптимального профілю матриці для прямого та зворотнього пресування виробів виходячи з розрахунку утворюючих матричної лійки на основі аналізу поля ліній ковзання сталої стадії пресування через симетричну одноочкову матрицю. Аналізом напруженого стану і режимів пресування заготовки намічені шляхи інтенсифікації технологічного процесу пресування і підвищення якості виробів, а також досягнення більшої стійкості робочих пресових інструментів.

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

ANNOTATION

Tupalenko D. "Study of the pressing process using profiled tools", specialty 131 "Applied Mechanics", OPP "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2021.

The aim of the study is to establish the influence of different profiles of matrix funnels on the basis of theoretical and experimental studies to obtain products with the lowest energy and power parameters.

By computer design of the dynamics of the deformation center and the stress-strain state of the metal, the possibilities for the design and implementation of the technological process of pressing products through a matrix having a profile made along the sliding line are established. The influence of different forms of matrix forming on the character of formation of power parameters of the deformation center is revealed. Computer modeling of the extrusion process establishes the distribution of stress intensities by pressing stages and the pattern of metal flow according to the curvatures of the coordinate grid.

The practical problem of determining the optimal profile of the matrix for direct and internal extrusion of products based on the calculation of forming the matrix funnel based on the analysis of the field of sliding lines of the constant stage of pressing through a symmetrical one-point matrix. The analysis of the stress state and modes of extrusion the workpiece outlines ways to intensify the technological process of extrusion and improve product quality, as well as to achieve greater stability of working press tools.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1.	
ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ...	9
1.1. Основи процесу пресування, його переваги та недоліки	9
1.2. Стадії процесу прямого пресування	21
1.3. Силкові умови пресування, напружено-деформований стан ..	23
РОЗДІЛ 2.	
МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	24
2.1. Експериментальне обладнання, оснащення та апаратура	24
2.2. Методи визначення зусилля пресування	27
2.2.1. Метод ліній ковзання	27
2.2.2. Метод кінцевих елементів (МКЕ)	27
2.3. Правила безпеки при обслуговуванні ковальсько- штампувального обладнання	28
РОЗДІЛ 3.	
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОГО І ЗВОРОТНОГО ПРЕСУВАННЯ	31
3.1. Інструмент для пресування суцільних профілів: різновиди, умови експлуатації, матеріали	33
3.2. Дослідження впливу геометрії вогнища деформації на силкові параметри процесу пресування	31
3.3. Моделювання процесу пресування в Deform 3D	38
РОЗДІЛ 4.	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ	41
4.1. Характер витікання прутка через різні типи матричних ліжок ..	41
4.2. Зусилля деформації	45

РОЗДІЛ 5.

ОЧІКУВАНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ	47
5.1. Витрати на виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт	47
5.2. Визначення технологічної собівартості	49
5.2.1. Змінні витрати	50
5.2.2. Постійні витрати	53
5.2.3. Розрахунок технологічної собівартості за базовим варіантом	54
5.3. Запропонований варіант пресування	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	70
Д1. Експериментальний штамп	71
Д2. Матриця	72
Д3. Матриця	73
Д4. Матриця	74
Д5. Довідка про участь у конференції ЦНТУ.....	75
Д6. Сертифікат участі у міжнародній науковій конференції	76

ВСТУП

Актуальність теми

На початку та в середині ХХ ст. технологія пресування зайняла одне із провідних місць у металообробці. У зв'язку з розвитком енергетики й електротехнічної промисловості, бурхливим зростанням авто-, авіа- і суднобудування з'явилася велика кількість різновидів процесу пресування, різко зростає кількість сплавів, які піддаються пресуванню.

Сьогодні можна виділити такі основні напрямки розвитку технології пресування:

- освоєння нових сплавів;
- вирішення проблем стійкості інструмента;
- вивчення впливу змащувальних матеріалів на силові параметри процесу.

Виробництво пресуванням профілів складної форми і перерізів часто виявляється більш економічним процесом, ніж штампування їх з наступною механічною обробкою. Це пояснюється тим, що пресуванням можна отримати вироби необхідних розмірів з малими допусками і, отже, скоротити до мінімуму подальшу холодну обробку заготовки. Крім цього, висока пластичність деформівних металів при пресуванні завдяки всебічному стиску дозволяє використовувати цей процес як основний спосіб виробництва виробів з кольорових металів і сплавів – труб, прутків і профілів, що відрізняються дуже великим сортаментом і малими серіями.

До 60-х років ХХ століття у світі була створена потужна промисловість по пресовому виробництву профілів різного технологічного призначення. Необхідність розширення номенклатури виробів, які отримують пресуванням, призвела до появи ряду нових різновидів процесу пресування і зростанню кількості різних конструкцій пресового інструмента.

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

Мета дослідження

На основі теоретичних і експериментальних досліджень встановити вплив різних профілів матричних лійок на одержання прес-виробів із найменшими енерго-силовими параметрами.

Задачі дослідження

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

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є обробка металів тиском методом пресування.

Предмет дослідження

Предметом дослідження є формотворний інструмент для отримання виробів методом пресування.

Методи дослідження:

метод ліній ковзання, 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 ОМТ та СТ ЦНТУ Свяцький В. В.

Наукова новизна отриманих результатів

Отримали подальший розвиток дослідження технологічних параметрів процесу пресування.

З метою інтенсифікації енергосилових параметрів екструзії запропоновано використовувати увігнутий профіль матричної лійки, виконаний по лінії ковзання (максимальних дотичних напружень), яка відокремлює пружну зону від пластичної (вогнища деформації) сталої стадії пресування.

Практичне значення отриманих результатів

1. Шляхом комп'ютерного проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу встановлені можливості для проектування і реалізації технологічного процесу пресування металу через матрицю, що має профіль, виконаний по лінії ковзання.
2. Виявлений вплив різних форм утворюючих матриці на характер формування енергосилових параметрів вогнища деформації. Для різних форм утворюючих матриці побудовані залежності, що характеризують енергосилові параметри вогнища деформації від параметрів технологічного процесу.
3. Комп'ютерним моделюванням процесу пресування встановлено розподіл інтенсивностей напружень по стадіям пресування та картину течії металу за викривленнями координатної сітки.

4. Вирішене практичне завдання по визначенню оптимального профілю матриці для прямого пресування виходячи з розрахунку утворюючих матричної лійки на основі аналізу поля ліній ковзання сталої стадії пресування через симетричну одноочкову матрицю.
5. Аналізом напруженого стану і режимів пресування заготовки намічені шляхи інтенсифікації технологічних процесів і підвищення якості виробів, а також досягнення більшої стійкості робочих пресових інструментів.

Особистий внесок здобувача

Обґрунтування вибраного напрямку дослідження, постановка мети і задач дослідження, обґрунтування використання і графічна побудова матриці із увігнутою утворюючою лійки за лінією ковзання, що відокремлює пружну зону від пластичної, комп'ютерне проектування варіантів прямого та зворотнього пресування з використанням різних типів матриць, експериментальне підтвердження процесу пресування.

Особистий внесок магістранта відображено у наукових працях за його участю.

Апрабація результатів магістерської роботи

Основні результати дослідження доповідалися на LV науково-технічній конференції студентів ЦНТУ та на міжнародній конференції у м. Бостон, США у 2021 році. Результати роботи опубліковано в тезах конференції.

РОЗДІЛ 1

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Основи процесу пресування, його переваги та недоліки

Пресування металу – спосіб обробки тиском, який полягає у видавлюванні (екструдіванні) металу із замкнутої порожнини (контейнера) через отвір матриці, форма і розміри якого визначають переріз пресованого профілю.

При пресуванні створюється високий гідростатичний тиск, внаслідок чого значно підвищується пластичність металу. Пресуванням можна обробляти матеріали, що не піддаються обробці іншими способами (вальцюванням, куванням, волочінням). За схемою прикладання зусилля розрізняють такі види пресування:

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

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

При прямому пресуванні внаслідок тертя металу об поверхню контейнера периферійні шари заготовки зазнають значно вищі зсувні деформації, ніж центральні шари. Нерівномірність деформації приводить до відмінності структури і властивостей по перерізу виробу; особливо помітно це при пресуванні прутків великого діаметру.

При зворотному пресуванні (рис. 2) силовий вплив на заготовку здійснюється через контейнер, який одержує рух у напрямку, вказаному стрілкою, через укорочений прес-штемпель, що замикає контейнер. З іншого

боку контейнер замикається подовженим матрицетримача, в якому закріплена матриця. При переміщенні контейнера разом з ним переміщується заготовка, і метал видавлюється в канал матриці, утворюючи профіль.

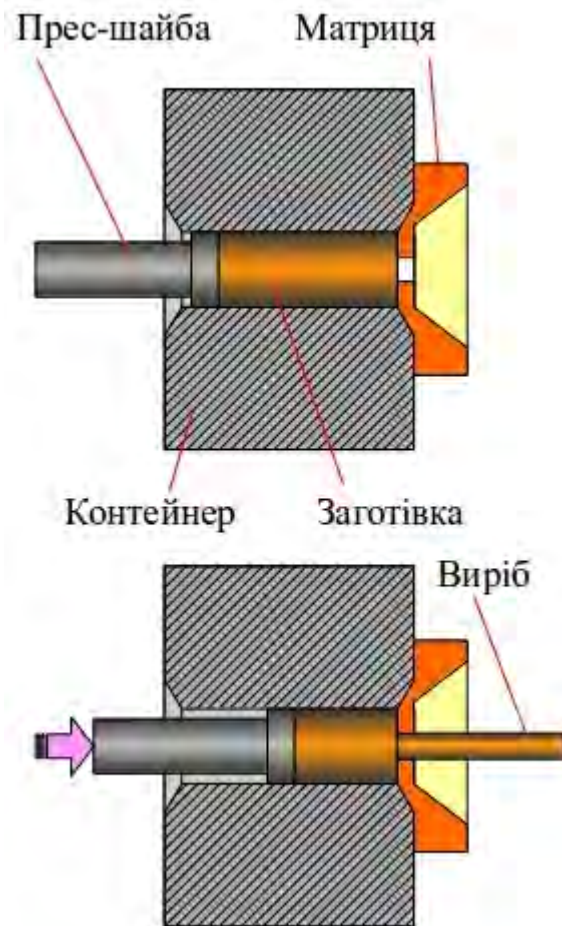


Рис 1. Схема прямого пресування

При зворотному пресуванні тертя металу об поверхню контейнера відсутнє, унаслідок чого нерівномірність структури і властивостей по перерізу виробу значно менша. Крім того, при зворотному пресуванні необхідні значно менші зусилля, завдяки чому потрібні менші температури нагріву і можливе підвищення швидкості процесу.

Щоб виготовити порожнистий виріб (трубу) при прямому пресуванні до прес-шайби прикріплюють сталеву голку (рис. 3). Під час робочого руху прес-шайби метал заготовки витісняється в порожнину між матрицею і голкою, утворюючи трубу. При зворотному пресуванні роль елемента, що

формує отвір виконує пуансон. Щоб зменшити тертя, на поверхню заготовки та прес-форми наносять мастила (графітову пасту, рідке скло тощо).

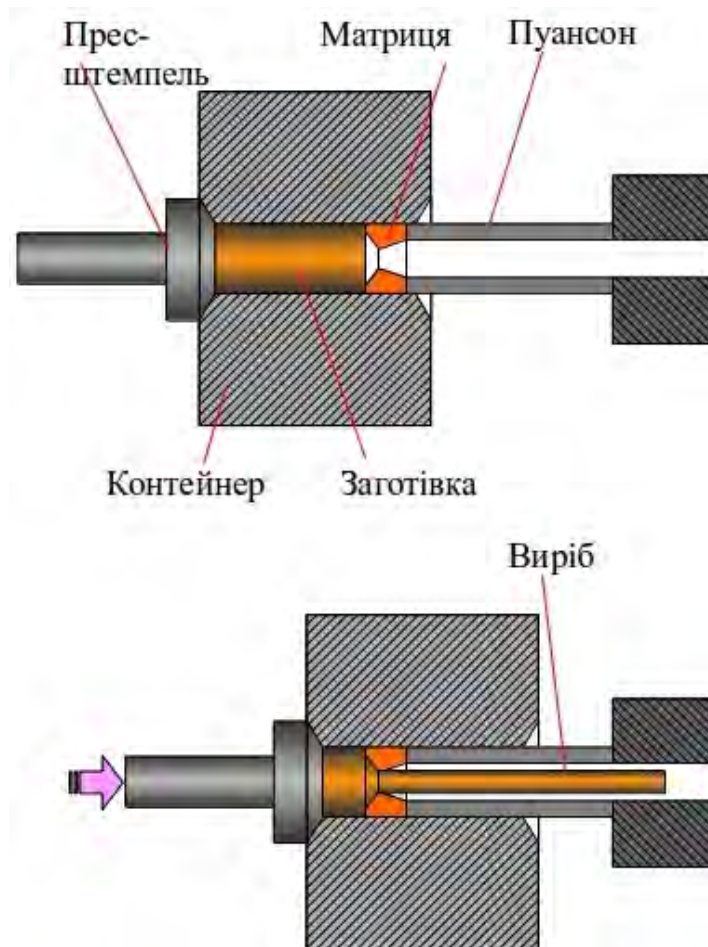


Рис 2. Схема зворотного пресування

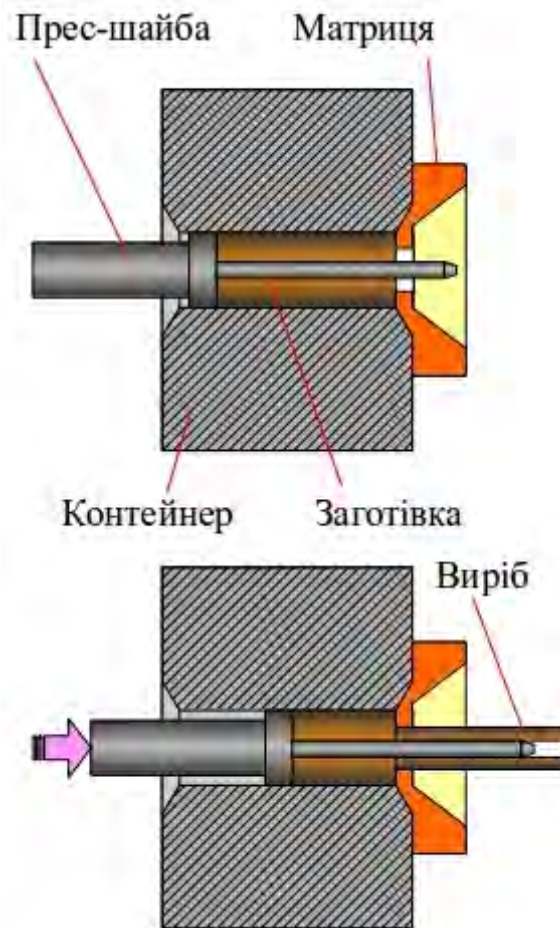


Рис 3. Схема прямого пресування порожнистого профілю

Пресування металів здійснюється як з попереднім нагріванням заготовки та інструменту, так і без нього. Холодне пресування (тобто без попереднього нагрівання) використовують при обробці легкодеформівних металів (олова, свинцю, чистого алюмінію). Холодне гідростатичне пресування (гідроекструзія) унаслідок достатньо високого тиску і відсутності тертя заготовки об поверхню контейнера дозволяє обробляти і інші метали і сплави (дюралюміній, мідні сплави, сталі). Гарячим пресуванням отримують вироби з алюмінієвих, титанових, мідних, нікелевих та інших сплавів. Найвищі температури нагрівання заготовок (до 1600...1800 °С) використовують при пресуванні вольфраму та молібдену.

Пресування металу – це витіснення за допомогою пуансона металу вихідної заготовки (найчастіше циліндричної форми), розміщеної в контейнері, через отвір матриці. Цей спосіб пластичної обробки знаходить

широке застосування при деформації як в гарячому, так і в холодному стані металів, що володіють значною природною жорсткістю, а також в однаковій мірі можна застосувати для обробки металевих порошків і неметалевих матеріалів (пластмас тощо).

Пресуванням виготовляють прутки, труби, порожнисті профілі з декількома каналами складного перетину, з зовнішніми та внутрішніми ребрами, різноманітні профілі з постійним і змінним (плавним або східчастим) перерізом по довжині. Профілі для виготовлення деталей машин, несучих конструкцій та інших виробів, одержувані пресуванням, часто виявляються більш економічними, ніж виготовлені прокаткою, штампуванням або відливанням з наступною механічною обробкою. Крім того, пресуванням одержують вироби досить складної конфігурації, що виключається при інших способах пластичної обробки.

До основних переваг пресування металу відносяться: можливість успішної пластичної обробки з високими витяжками, у тому числі малопластичних металів і сплавів; можливість отримання практично будь-якого поперечного перерізу виробу, що при обробці металу іншими способами не завжди вдається; отримання широкого асортименту виробів на одному і тому ж пресовому обладнанні із заміною тільки матриці; виробництво виробів з високою якістю поверхні і точністю розмірів поперечного перерізу, що в багатьох випадках перевищує прийняту точність при пластичній обробці металу іншими способами (наприклад, при прокатці).

До недоліків отримання виробів пресуванням необхідно віднести: підвищена витрата металу на одиницю виробу через істотні втрати у вигляді прес-залишку; поява в деяких випадках помітної нерівномірності механічних та інших властивостей по довжині і поперечному перетину виробу; порівняно високу вартість пресового інструменту. Основною ознакою різновидів процесу пресування є наявність або відсутність поступального переміщення металу щодо стінок приймача (контейнера), за винятком невеликих ділянок поблизу матриці, званих мертвими зонами, де

переміщення металу відсутні. Поряд з найбільш поширеним методом пресування, з прямим видавленням, яке використовується для отримання суцільних і порожнистих виробів, широке застосування отримав зворотний метод, а також інші схеми обробки металу. Кожен з цих методів має певні переваги. Так, наприклад, при бічному обробітку металу крім зручностей прийому прес-виробу забезпечується мінімальна різниця механічних властивостей виробу в поперечному і поздовжньому напрямках. Процес пресування виконується в умовах нерівномірного всебічного стиснення металу, що позитивно позначається на збільшенні його пластичності. Тому пресуванням можна обробляти метали і сплави з низькою природньою пластичністю. Однак тривісний стиск викликає необхідність значних зусиль при обробці. Тому пресування вимагає підвищеної витрати енергії на одиницю об'єму деформованого тіла. Як зазначалося, при пресуванні в місцях переходу контейнера в матрицю з'являються так звані мертві кути, тобто такі зони, які відчують лише пружну деформацію.

Течія металу в мертвих зонах відсутня, поки розмір прес-залишку не буде достатньо малий. Ці мертві зони при пресуванні прутків великої довжини певною мірою відіграють позитивну роль, так як надають фільтруючий вплив: у мертвих кутах затримуються різні забруднення, що оберігає від вдавлення сторонніх включень у поверхневі шари виробу. При неправильно вибраному розмірі прес-залишку забруднення мертвих кутів можуть потрапити у виріб і викликати помітне зниження його якостей. Все це необхідно враховувати при розробці технологічного процесу пресування. Практикою встановлено, що при нормальних умовах пресування мінімальна висота прес-залишку складає $0,10 \dots 0,30$ діаметра вихідної заготовки.

Силові умови пресування визначаються властивостями деформованого металу, температурним режимом, розмірами заготовки, швидкістю і ступенем деформації, значенням контактного тертя, геометрією інструменту тощо. На жаль, ще не розроблена методика, що дозволяє зв'язати всі ці фактори в математичну залежність для визначення зусиль пресування.

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

При всіх процесах пресування від напруженого стану в осередку деформації визначається трьома головними нормальними напруженнями стиснення, і, іноді (в основному, у контактних поверхнях), двома головними нормальними напруженнями стиснення і одним нормальним напруженням розтягування. Всі процеси пресування протікають при значній нерівномірності деформацій. Пресування через багатоканальну матрицю характеризується більшою нерівномірністю деформацій в порівнянні з пресуванням через одноканальну матрицю без принципових відмінностей у проходженні процесу.

Основною умовою успішного застосування пресування є правильний вибір температурно-швидкісного режиму з урахуванням властивостей пресованих металів і сплавів. В якості основного інструменту при пресуванні застосовують матриці, матрицетримач, пуансони, голки, голкотримачі, прес-шайби, втулки (сорочки-приймачі) і інший інструмент, що працює у винятково важких механічних і температурних умовах. Внаслідок цього для виготовлення робочого інструменту застосовують спеціальні сталі.

Матриці для пресування прутків мають один або кілька отворів. Останні застосовують для пресування виробів невеликого поперечного перерізу. При пресуванні труб для прошивки отвори в заготовці застосовують голки, які встановлюють у голкотримач. Внутрішній діаметр труби визначається діаметром голки. Процес пресування труби проходить в такій послідовності. На початку пресування заготовка розпресовується так, що заповнює контейнер, потім злиток прошивається голкою, причому

видавлені частина металу в момент розпресовування і прошивки виходить з матриці у вигляді прутка-пробки. Розмір пробки залежить від розмірів труб. Так, наприклад, при пресуванні труб діаметром більше 250 мм маса пробки може досягати 40 % маси заготовки. Для зменшення розмірів пробки використовують наступний технологічний прийом. Замість матриці встановлюють глуху пробку, з якою прошивається злиток. При цьому витіснений голкою метал йде на збільшення довжини злитка. В кінці ходу пробку прибирають і в матриці здійснюється остаточна допрошивка злитка.

В кінці операції пресування в контейнері залишається частина металу, звана прес-залишком, величина якого визначається розміром виробів, властивостями пресованого металу або сплаву, а також конструкцією преса. Сталеві труби рекомендується пресувати при максимально високих температурах і швидкостях, так як в цьому випадку менше ймовірність утворення тріщин і розшарувань. Тому швидкості пресування сталевих труб досягають 5 м/с і більше. Сталеві труби пресують з мастилом, так як при відсутності змащення гарячий метал заготовки налипає на інструмент, а в місцях підвищеного розігріву навіть приварюється до нього. За мастила рекомендується застосовувати графітову пасту. При пресуванні труб з низькопластичної сталі використовують металеве мастило у вигляді тонкого шару міді між металом і інструментом. При пресуванні труб з корозійностійкої, жароміцної, жаростійкої та інших високолегованих сталей і спеціальних сплавів за мастило застосовують скло. Застосування скла в два-три рази зменшує коефіцієнт тертя в порівнянні з графітовим мастилом. При цьому скло є ще й теплоізоляційним матеріалом. Мастило, що зменшує зовнішнє тертя, слід наносити на інструмент (контейнер, матрицю) рівномірним шаром, щоб запобігти тісному зіткненню поверхонь і згладити шорсткості на поверхні інструменту. Крім цього, вони повинні витримувати високі температури і зусилля пресування, щоб надійно роз'єднувати третю поверхню. Зазначеним вимогам повністю задовольняють лише тверді мастила. Проте ними важко покрити поверхні контейнера і матриці, тому

порошкоподібні тверді мастила поєднують з легкозаймистими і швидкогорючими рідкими речовинами.

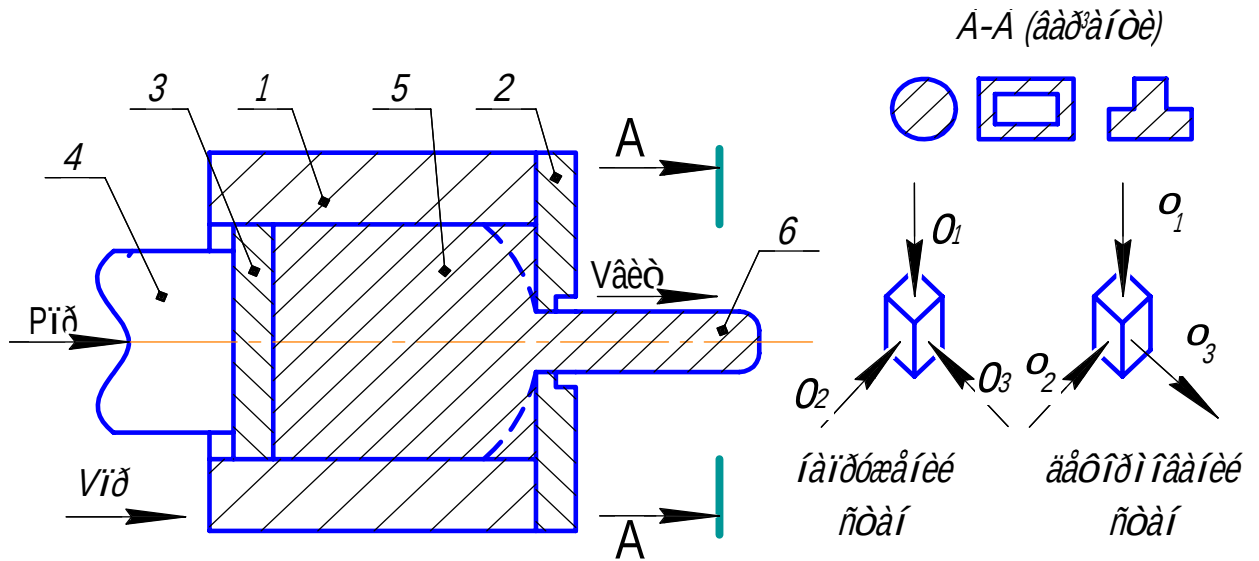
Пресуванням називають процеси обробки металів тиском, при яких деформація відбувається під дією стискаючих сил. Всі процеси пресування можна умовно розбити на три групи. До першої групи відносяться процеси, при яких весь об'єм заготовки деформується одночасно, наприклад штампування і кування всього виробу. До другої групи відносяться процеси, при яких деформації піддається лише частина об'єму заготовки, при цьому метал надходить у вогнище деформації періодично. До цієї групи також відноситься кування і штампування, але з одного кінця заготовки. До третьої групи відносяться процеси деформації частини об'єму заготовки з безперервним надходженням металу у вогнище деформації – процеси видавлювання металу в щілини різного профілю, тобто пресування і волочіння.

Виробництво пресуванням профілів складної форми і перерізів часто виявляється більш економічним процесом, ніж штампування їх з наступною механічною обробкою. Це пояснюється тим, що пресуванням можна отримати вироби необхідних розмірів з малими допусками і, отже, скоротити до мінімуму подальшу холодну обробку заготовки. Крім того, висока пластичність деформівних металів при пресуванні завдяки всебічному стисненню дозволяє використовувати цей процес як основний спосіб виробництва виробів з кольорових металів і сплавів – труб, прутків і профілів, що відрізняються дуже великим сортаментом і малими серіями. Останнім часом у зв'язку з виникненням потреби у широкому сортаменті профілів з малопластичних легованих сталей, а також із титану і його сплавів застосування пресування значно розширилося. Порівняно з прокаткою труб, прутків і профілів пресування має свої переваги і недоліки. До переваг необхідно віднести: тривісне стиснення, завдяки якому підвищується пластичність металу і, отже, деформування можна проводити з великими степенями деформації; швидкий перехід з виготовлення одного розміру

виробів і форм на інші; можливість отримання суцільних і порожнистих профілів найскладніших перерізів.

Метали пресують на горизонтальних гідравлічних пресах; рідше, при пресуванні труб і гідроекструзії, використовують вертикальні гідравлічні преси. За принципом дії вони аналогічні гідравлічним кувальним пресам.

Схема процесу пресування наведена на рис. 4.



1 – контейнер; 2 – матриця; 3 – прес-шайба;

4 – прес-штемпель; 5 – заготовка (злиток); 6 – виріб;

$V_{пр}$ – швидкість пресування; $V_{вит}$ – швидкість витоку

Рис. 4. Пряме пресування [1]

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

У сталому процесі пресування в кутах контейнера біля матриці утворюються зони утрудненої деформації (рис. 5). Максимальна висота цих зон визначає висоту прес-залишку $h_{зал}$:

До недоліків пресування відносяться: більш високі втрати на відходи; велика нерівномірність механічних властивостей по довжині і поперечному перетину виробу, порівняно менші швидкості течії, а отже, і продуктивність.

До недоліків пресування треба також віднести відходи: весь метал не може бути видавлений із контейнера, і в ньому залишається так званий прес-залишок, який після закінчення процесу відрізається від отриманого профілю. Маса прес-залишку може досягати 40 % від маси вихідної заготовки.

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

Пресування, як правило, здійснюють у гарячому стані. Це необхідно для зниження опору деформації і підвищення пластичних властивостей металу, який пресують.

При пресуванні можуть виникати такі дефекти:

- утяжини;
- тріщини;
- йоржі тощо.

Поява утяжин у значній мірі визначається геометрією області течії металу в контейнері і умовами деформування. Утяжина по зовнішньому вигляду нагадує «вирву», яка виникає при зливі води в отвір. Для запобігання влучення утяжини в прес-виріб заготовку не допресовують, при цьому в контейнері залишається частина заготовки (прес-залишок), яка відділяється від прес-виробу після закінчення циклу пресування. Утворення більшості інших дефектів обумовлене певними швидкісними і температурними умовами процесу.

1.2. Стадії процесу прямого пресування

Реалізацію пресування починають із нагрівання заготовки (називають також «злиток»), яку поміщають потім у контейнер преса (див. рис. 4) і розпресовують.

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

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

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

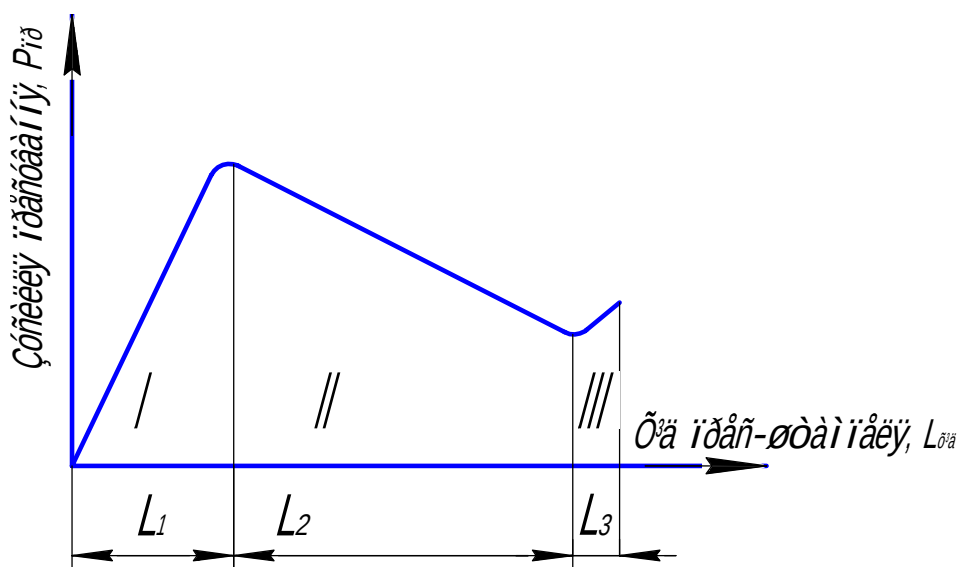


Рис. 6. Стадії пресування [2]

Якщо довжина заготовки не відповідає рекомендованій, ефективність пресування падає: при менших довжинах скорочується вихід продукції, також може відбутися вигин заготовки і запресовування повітря, яке попадає всередину виробу, викликаючи брак.

Після розпресовки під час видавлювання виробу зусилля падає, тому що зменшується довжина злитка і падає сила його тертя об контейнер. Найменше зусилля спостерігається в момент підходу прес-шайби до задньої границі вогнища пластичної деформації. Наприкінці процесу виникає інтенсивне тертя металу на прес-шайбі, тому часто спостерігається невелике зростання зусилля в третій стадії.

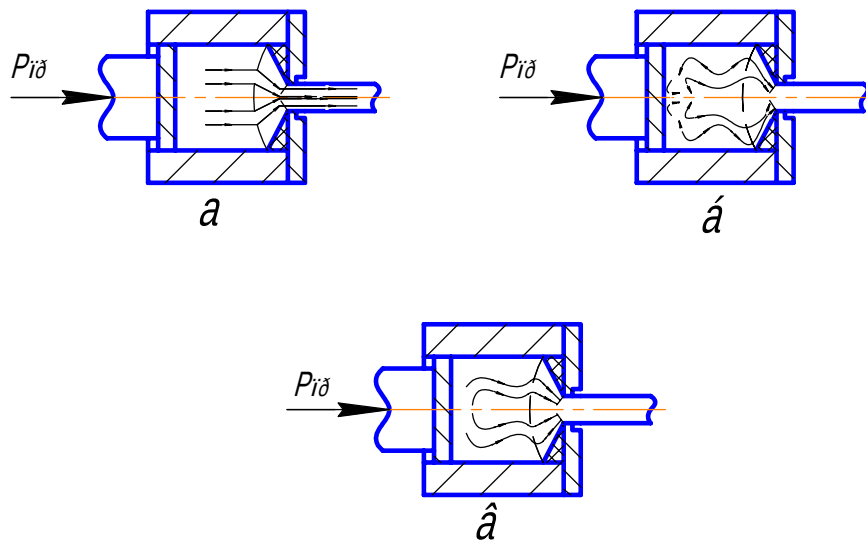


Рис. 7. Види течії металу під час прямого пресування [2]

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

У реальних умовах доцільно використовувати змішану течію.

1.3. Силіві умови пресування, напружено-деформований стан

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

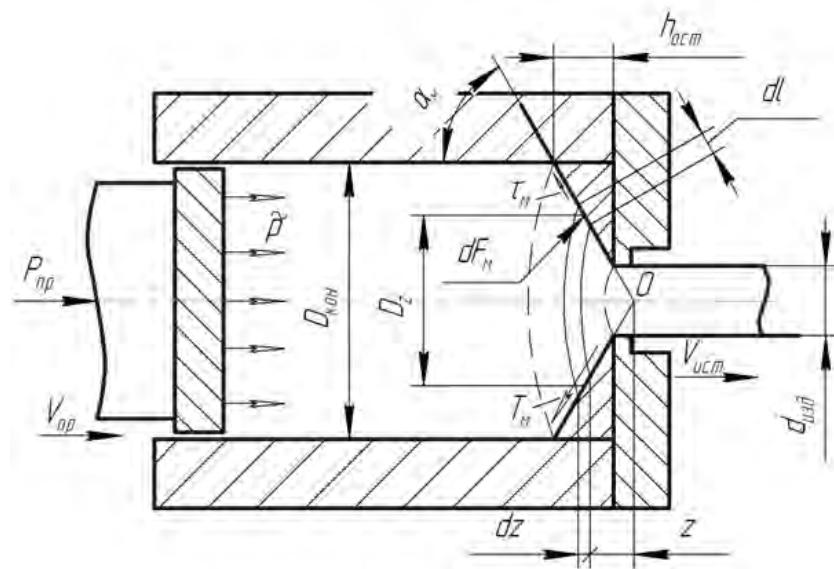


Рис. 8. Вогнище пластичної деформації поблизу матриці [2]

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

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

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. 9), яка дозволяє не тільки деформувати заготовки, але і реєструвати зусилля в процесі деформації.



Рис. 9. 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: додаток 1-4).

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

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

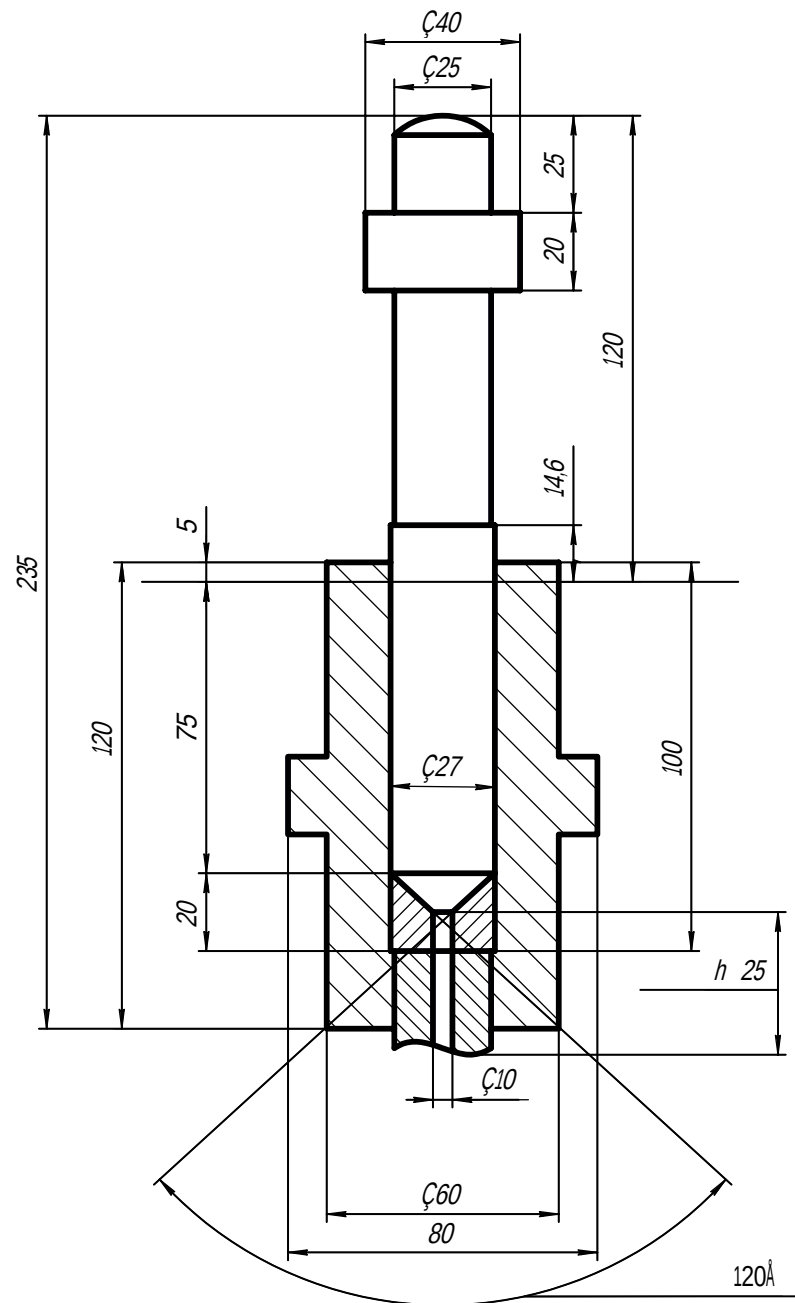


Рис. 10. Експериментальний штамп

Штамп працює таким чином. В робочу порожнину корпус-матриці 2 встановлюється певна змінна (3...5) матриця (див. креслення: додаток 2-4) 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 взаємно перпендикулярних ліній. Лінії ковзання перетинають траєкторії головних нормальних напружень під кутом 45° . Зміна середнього нормального напруження при русі уздовж лінії ковзання пропорційно куту її повороту.

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

2.2.2. Метод кінцевих елементів (МКЕ)

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

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

2.3. Правила безпеки при обслуговуванні ковальсько-штампувального обладнання

Роботодавець повинен забезпечити організацію і безпечне виконання ковальсько-пресових робіт [4, 5, 8] 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».

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.

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.

Ковальсько-пресові цехи по пожежній небезпеці відносяться до категорії *Г* і мають *II* ступінь вогнестійкості будинків [6].

Організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки повинні містити:

- організацію пожежної охорони (профілактичного і оперативного обслуговування об'єктів);
- вид пожежної охорони (воєнізовані, професійна, добровільні формування тощо), порядок профілактичного і оперативного обслуговування об'єктів, необхідність організації підрозділів пожежної охорони і їхня чисельність визначаються у встановленому порядку;
- діяльність різних видів пожежної охорони встановлюється відповідно до положень про їх;
- організацію навчання робітників, службовців і населення правилам пожежної безпеки;
- розробку і реалізацію норм і правил пожежної безпеки, інструкцій про порядок роботи з пожежонебезпечними речовинами і матеріалами, про дотримання протипожежного режиму і про дії людей при виникненні пожежі;
- виготовлення і застосування засобів наочної агітації по забезпеченню пожежної безпеки.

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 3

Комп'ютерне моделювання процесу прямого і зворотного пресування

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

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

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

Умови експлуатації інструмента першої групи характеризуються:

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

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

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

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

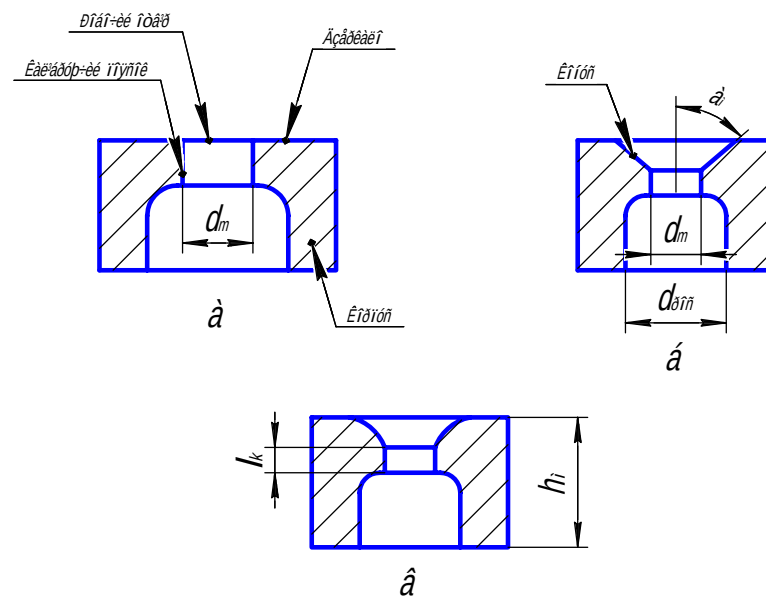


Рис. 11. Елементи матриць для пресування [3]

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

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

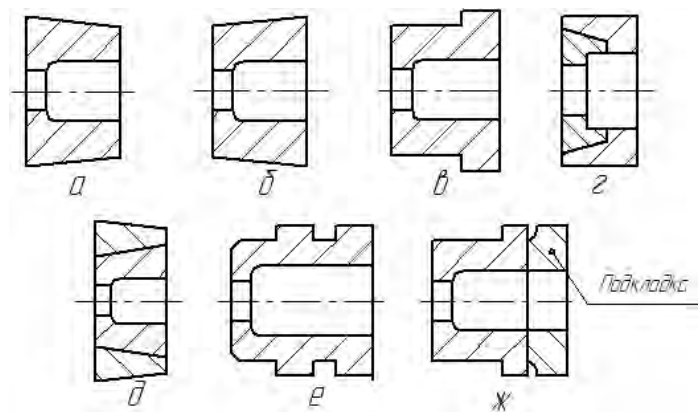
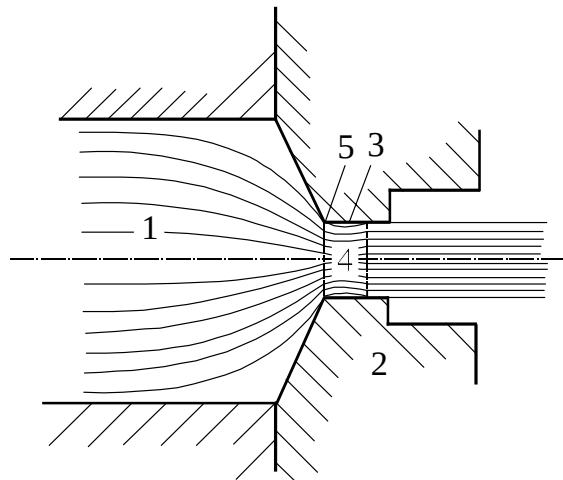


Рис. 12. Группы матриць для пресування [2?]

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

Напружений і деформований стану металу і розміри вогнища деформації при пресуванні суттєво залежать від конструкції інструмента і, зокрема, від форми матричної лійки [9 – 11]. До того ж стан прес-виробів також суттєво залежить від профілю матриці [11, 12].

Іншим фактором, який суттєво впливає на напружений і деформований стан матеріалу, який пресують, є величина паска матриці, що калібрує. Збільшення висоти паска, що калібрує, сприяє росту гідростатичного тиску в пластичній зоні і тим самим зменшує імовірність виникнення тріщин [1]. Сили тертя, що виникають на поверхні паска, хоча відносно і невеликі в порівнянні з іншими реактивними силами, але робота, що витрачається на їхнє подолання, досить значна у зв'язку з більшими швидкостями витікання.



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

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

Рис. 13. Схема позаконтактної деформації при виході із частини, що обжимає, пластичної зони [1]

У більшості випадків при прямому пресуванні застосовують матриці, форма лійки яких відповідає усіченому конусу з кутом утворюючої до осі симетрії φ_z від 45° до 60° .

Однак, немає переконливих підстав вважати, що матричні лійки, виконані по конусу, забезпечують кращі енергосилові показники пресування.

Крім конічних профілів матричних лійок виконуються і інші профілі. Наприклад, увігнутий профіль, побудований по циклоїді з радіусом окружності $R_{\text{ц}}$, що котиться, обґрунтовується умовою найбільшої рівномірності пластичного плину металу в матричній вирві [13]:

$$R_{\text{ц}} = \frac{R_0 - R_{\text{отв}}}{1,741},$$

де R_0 – радіус контейнера;

$R_{\text{отв}}$ – радіус робочого отвору матриці.

У цьому випадку утворююча матриці, побудована по циклоїді, повинна забезпечувати найменший час знаходження периферійних шарів металу у вогнищі деформації, що, у свою чергу, повинно вести і до найменшої нерівномірності металу по поперечному перерізу прес-виробу.

Випуклий профіль, побудований по експоненті, обумовлений умовою сталості логарифмічної деформації λ на одиницю висоти матричної лійки [9]:

$$R_z = R_0 \cdot \exp\left(-0,5\lambda \frac{z}{h_{\text{в}}}\right),$$

де $h_{\text{в}}$ – висота матричної лійки;

R_z – радіус лійки на відстані z від її початку.

Випуклий профіль обґрунтований умовою забезпечення сталості усередненої швидкості деформації по висоті матричної вирви [14]:

$$R_z = R_0 \left(1 + \frac{R_0^2 - R_{\text{отв}}^2}{R_{\text{отв}}^2 \cdot h_B} z \right)^{-0,5}.$$

Відомо, що при пресуванні металів через прямокутну матрицю ($\varphi_3 = 90^\circ$) у контейнері утворюються «загальмовані» зони металу, які формують «природню» матричну лійку, близьку за формою до сфери. При цьому форма сфери, за даними Батуріна А.І. [15], суттєво не залежить від степеня деформації, швидкості пресування, температури заготовки і природи сплаву. І.Л. Перлін [1] показав, що подібна форма «мертвої» зони аналогічна брахістохроні, тобто лінії найшвидшого спуска матеріальної точки з верхнього положення, що перебуває на одній вертикалі, у нижнє положення, що перебуває на іншій вертикалі, рівняння якої визначено Бернуллі. Р. Хілл показав [9], що границі, що розділяють пружні і пластичні зони, є лініями ковзання або лінії, що їх обгинають.

Таким чином, виходячи з нашого завдання, доцільно розглянути крім перерахованих вище профілів матриць профіль матричної лійки, виконаний по лінії ковзання, що відокремлює «мертву» зону від пластичної. Така постановка завдання дослідження підтверджується спостереженнями В. Джонсона і Х. Кудо [17], О. Річмонда й Х.Г. Моррісона [18], Б.А. Друянова й Р.І. Непершина [19, 20]: у сталому процесі прямого пресування поле ліній ковзання залишається фіксованим за формою і не змінюється в часі.

На рис. 14 наведені кинематично можливе поле ліній ковзання і годограф швидкостей для сталої стадії, що встанов пересування через плоску симетричну матрицю із гладкого контейнера для $\lambda = 9$.

Кинематично можливе поле ліній ковзання (рис. 14, а) побудоване графічним методом, викладеним в [16, 21, 22]. У ході побудови поля ліній ковзання і годографа швидкостей виконані такі перевірки:

– лінії ковзання в т. C нахилені до гладкої стінки контейнера під кутом $\pm 45^\circ$, які показують, що граничні умови в напруженнях задовольняються;

– перевірку відповідності граничним умовам у швидкостях робили по годографу швидкостей, отриманому за допомогою кинематически можливого поля ліній ковзання: співвідношення відрізків db й de повинне бути дорівнює співвідношенню r_e й r_m (рис. 14, б)

$$\left. \begin{array}{l} db/de = 3,15; \\ r_m/r_B = 3. \end{array} \right\}.$$

Відносна погрішність $\Delta = \frac{3,15-3}{3,15} \cdot 100\% = 5\%$ підтверджує для даного

масштабу задовільність побудови поля ліній ковзання;

– перевірку виконання умови позитивності потужності пластичної деформації в будь-якій точці пластично деформуємої області виконували по методу Р. Хілла [16, 21], що передбачає порівняння напрямків дотичних напружень і швидкостей деформації зрушення, обумовлених безпосередньо з поля ліній ковзання й годографа.

Поле ліній ковзання відповідає умові позитивності потужності пластичної деформації в області формозміни, тому що швидкості течії уздовж ліній течії на годографі (рис. 14, б) безупинно зростають;

– перевірку забезпечення того, щоб напруження в недеформуємій області не перевищували границі текучості проводили за критеріями Р. Хілла, згідно з якими [9]:

а) клин, обмежений лініями ковзання α і β , повинен мати кут, рівний або більше 90° ;

б) клин, обмежений лінією ковзання, на якій тиск рівний гідростатичному p , і поверхнею, вільної від напруг, повинен мати кут більше або рівний 45° .

Перша умова виконується, наприклад, у точках B і D (рис. 14, а). Друга умова виконується у твердих областях, розташованих вище вихідної лінії ковзання, а також нижче вільної поверхні у всіх полях ліній ковзання.

Так як графічний метод побудови ліній ковзання по суті є методом послідовних наближень, то поле ліній ковзання (рис. 14, а) згодом підтверджене експериментальним шляхом.

На рис. 16–18 (розділ 4) наведені прес-залишок для сталої стадії, що встановився, пресування свинцевих зразків через плоску симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера $\lambda = 9$, змащення – окис цинку, з нанесеною сіткою лінії ковзання, згідно рис. 14, а. Аналіз кінетики плину ґраток, а також положення лінії ковзання, що відокремлює пружні зони від пластичних, свідчать про задовільність побудованого поля ліній ковзання.

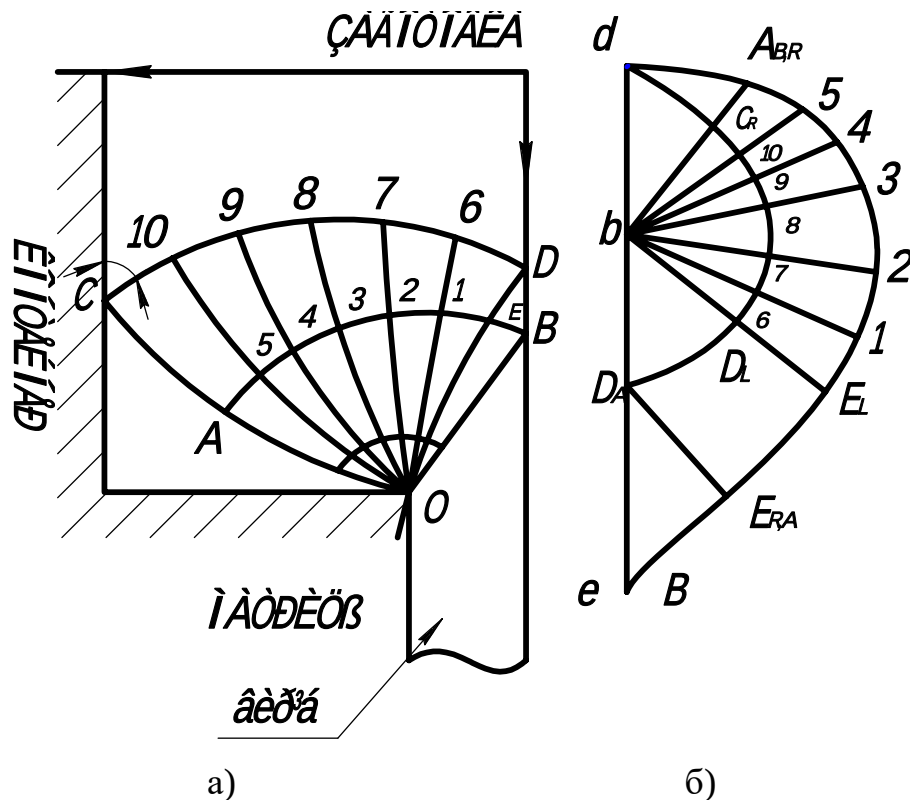


Рис. 14. Кинематично можливе поле ліній ковзання (а) і годограф (б) для сталої стадії пресування через плоску симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера $\lambda = 9$

Таким чином, для подальшого аналітичного дослідження визначені такі типи профілів матричних лійок: пряма, конусна і увігнута, побудована по лінії ковзання, що відокремлює пружні зони від пластичних у процесі пресування.

3.3. Моделювання процесу пресування в Deform 3D

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

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

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

DEFORM застосовується по всьому світу, як на промислових підприємствах, так і в науково-дослідних інститутах та технічних

університетах, є найпоширенішим програмним комплексом для моделювання процесів обробки металів тиском.

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

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

Довільний підхід Лагранжа-Ейлера (Arbitrary Lagrangian Eulerian або ALE) – метод базується на розширеному підході Лагранжа для несталою процесу, при цьому не потрібно перестроювання сітки кінцевих елементів. Вихідною заготівлею для аналізу є вже частково деформована заготовка. Результатом такого моделювання може стати потрібна сила деформування, кінцева форма заготовки та її відхилення від номінальної, накопичена деформація і інші змінні стану заготовки на сталій стадії пресування.

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

В додатках до роботи представлені результати моделювання типових процесів прямого та зворотного пресування за допомогою стаціонарного підходу моделювання (розподіл інтенсивностей напружень по стадіям пресування, картина течії металу за викривленням координатної сітки, зусилля пресування та величини спрацювання пресового інструменту) через різні типи матричної воронки.

У всіх випадках виконували пресування алюмінієвого сплаву змащеного циліндричного зазка діаметром 27 мм, з витяжкою $\lambda = 9$. Хід повзуна гідравлічного преса становив 1 мм/сек.

Величину спрацювання інструменту оцінювали за моделлю Рейе-Арчарда-Хрущова, яка заснована на теорії контакту з нерівностями і використовується для опису спрацювання ковзання [23]. Спрацювання контактної поверхні матричної лійки при цьому є функцією від тиску пресування на границі поділу "інструмент – заготовка", швидкості ковзання, твердості матеріалу матриці та часу технологічної операції.

Аналіз результатів розрахунків і графічних залежностей (див. графічні залежності, що наведені в додатках до кваліфікаційної роботи) визначають однозначну перевагу увігнутих профілів матриць для одержання виробів щодо інших профілів: крім найменших енергосилових параметрів в увігнутих матрицях відносні питомі роботи зрушення максимальних зсувних напружень збільшуються в міру руху деформованих комірок до виходу з вогнища деформації.

Відзначено, що найбільше значення спрацювання є характерним для опуклих профілів інструменту, мінімальних – для увігнутої по лінії ковзання матричну лійку.

Подальша експериментальна перевірка теоретичних викладень проводилися на трьох матрицях: матриці із профілем, побудованим по лінії ковзання, що відокремлює пружні зони від пластичних, і для порівняння з нею на прямій матриці, а також на конусній. Матриці виконувалися з висотою паска, що калібрує, рівним 5,0 мм.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ

4.1. Характер витікання прутка через різні типи матричних ліжок

Деформований стан при витіканні прутка вивчали по координатній сітці, нанесеної на діаметральну площину заготовки, складеної із двох напівциліндрів (рис. 24).

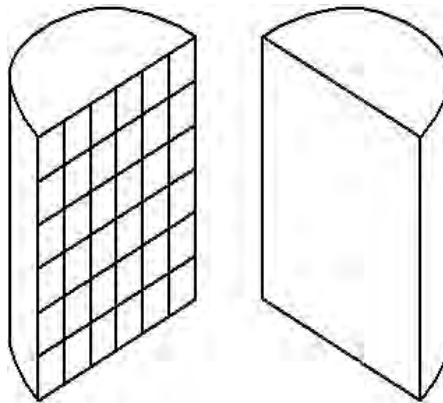


Рис. 15. Вихідний зразок для пресування
(висота – 100 мм, діаметр – 27 мм)

На рис. 16-18 наведені прес-залишок для сталої стадії, що встановився, пресування свинцевих зразків через різні профілі симетричних одноканальних матриц із гладкого контейнера $\lambda = 9$.

З деформації координатної сітки визначали особливості процесу пресування (рис. 19). Комірки координатної сітки з базою «а» (у лівій, недеформованій частині на рис. 19) змінюються в розмірах нерівно розмірно по діаметру і довжині. У зоні матриці формується вогнище пластичної деформації. Бічні границі відповідають конусу границі входу і виходу, мають сліди на діаметральному розніманні, є близькі до дуг окружностей.



Рис. 16. Прес-залишок для сталої стадії пресування свинцевих зразків через пряму симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера ($\lambda = 9$)

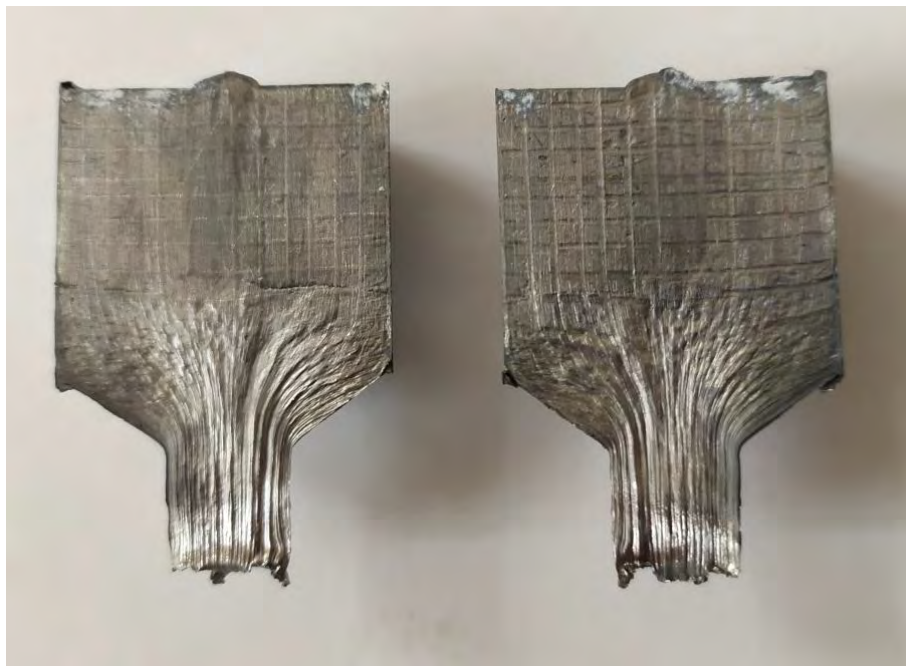


Рис. 17. Прес-залишок для сталої стадії пресування свинцевих зразків через конічну симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера ($\lambda = 9$)



Рис. 18. Прес-залишок для сталої стадії пресування свинцевих зразків через увігнуту по лінії ковзання симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера ($\lambda = 9$)

Поздовжні лінії до деформації залишаються поздовжніми й після неї. Поперечні лінії викривляються, скривлення починається до входу у вогнище деформації. Це говорить про те, що центральні шари течуть швидше периферійних. На це ж указує опуклість переднього торця A_1B_1 .

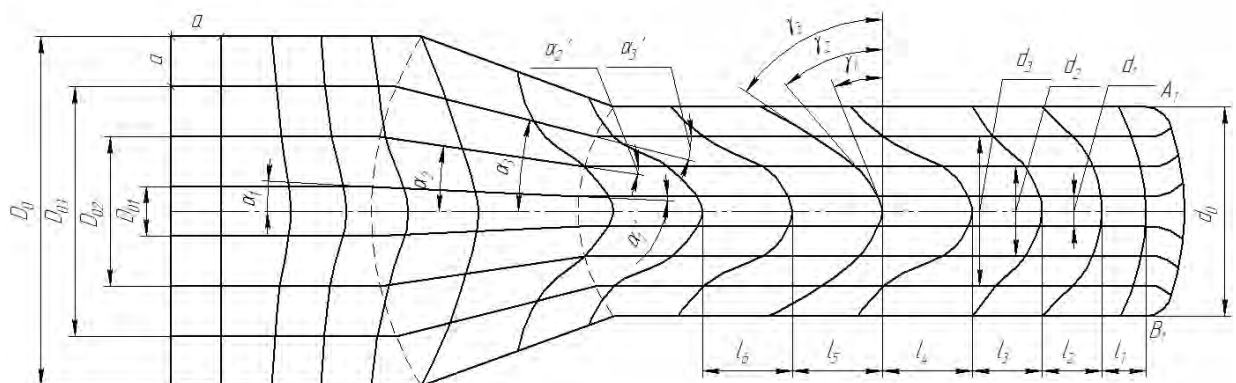


Рис. 19. Деформація координатної сітки при прямому пресуванні

Поздовжні лінії відхиляються у вогнищі деформації до центру, а по виходу з вогнища деформації – від центру: кути відхилення і повернення є рівними за величиною, але протилежні по напрямку. Це характеризує процес пресування як немонотонний.

Поворот поздовжніх ліній від центру до периферії збільшується: $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$, що говорить про нерівномірність деформації по діаметру вогнища. У випресованій частині поздовжні розміри комірок «а» подовжуються, утворюючи величини $l_1, l_2, \dots, l_6$. Поблизу торця A_1B_1 спостерігається нерівномірність деформації $l_1 < l_2 < l_3$, що вказує про несталий процес пресування.

Поперечні лінії координатної сітки, прямі до деформації, звиваються після деформації, отримуючи вид парабол. Інтенсивність скривлення збільшується від центру до периферії і характеризується зростанням кутів між дотичними до парабол і перпендикуляром до осі симетрії.

У місцях переходу від контейнера до матричної лійки у всіх випадках є зони з осьовою швидкістю, меншою, ніж швидкість деформування. Найменші значення осьових швидкостей і найбільші області з їхніми зниженими значеннями характерні для ввігнутих лійок.

Радіальні швидкості в горизонтальних перетинах лійок змінюються від певного значення на поверхні лійок до нульового по осі симетрії, тобто в напрямку, зворотному збільшенню осьових швидкостей. У напрямку плину ґраток радіальні швидкості спочатку збільшуються до найбільшого значення, а потім швидко зменшуються в очковій частині.

Найбільш рівномірне збільшення осьових і зменшення радіальних швидкостей спостерігається в опуклих вирв. Співвідношення між осьовими і радіальними швидкостями зсуву точок металу визначають зсувну деформацію.

4.2. Зусилля деформації

У процесі пресування, особливо при прямому пресуванні зі змащенням, внаслідок зміни об'єму заготовки, стискання, контактної поверхні тертя, зміни температури металу і швидкості його витікання силові умови помітно змінюються в часі. Відповідно змінюється повне зусилля пресування, що передається на метал через прес-штемпель. Залежність між величиною зусилля пресування і ходом прес-штемпеля, виражена у вигляді графіка, називається індикаторною діаграмою. Така залежність – одна з найважливіших характеристик процесу.

На зусилля пресування впливає ряд технологічних параметрів: опір деформації, степінь деформації, довжина заготовки (найбільш помітно такий вплив виявляється при прямому пресуванні без змащення), умови контактного тертя, способу пресування (із прямим або зворотним витіканням, через язичкову матрицю, із плоского контейнера), форма поперечного перерізу прес-виробу, поздовжній профіль каналу матриці тощо. Поздовжній профіль каналу матриці помітно впливає на необхідне зусилля пресування.

При цьому демонотонність індикаторної залежності пояснюється тим, що з одного боку, зі зменшенням кута заходу матриці знижуються витрати енергії на зміну напрямку течії металу, а з іншого – збільшується поверхня тертя в зоні матриці. Як правило в умовах виробництва вибирають кут заходу матриці від 45 до 60 градусів.

У практиці пресування цю залежність беруть до уваги при виборі форми матриці: відомо, що конічні матриці вимагають знижених тисків у порівнянні із плоскими, однак останні застосовують частіше, тому що вони забезпечують при пресуванні, наприклад алюмінієвих сплавів, більш високу якість поверхні прес-виробів.

Форма паска, що калібрує, матриці і його довжина, які є характеристиками поздовжньої форми каналу матриці в його вихідній частині, також можуть змінити необхідний тиск.

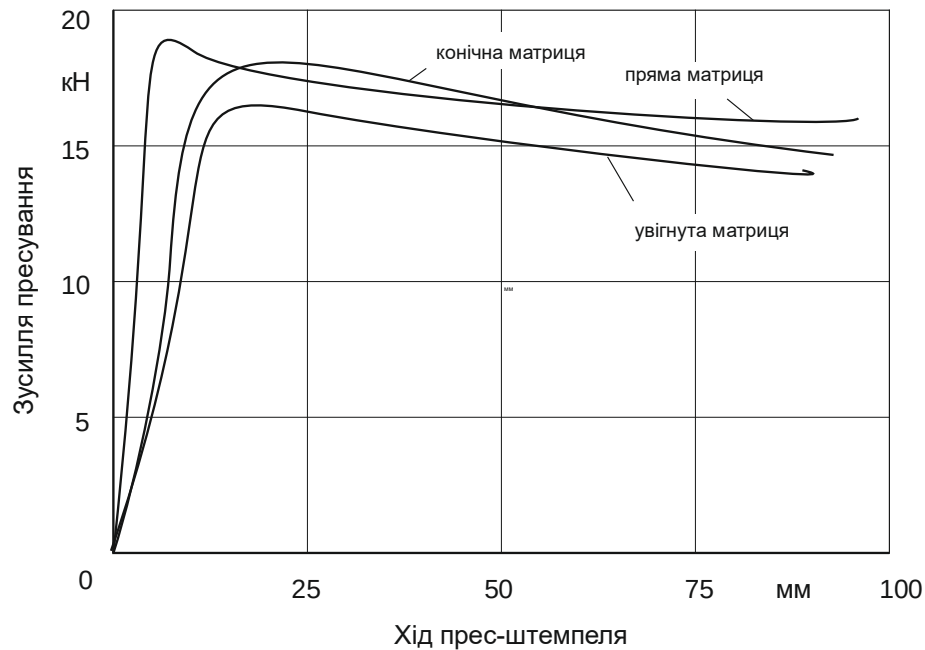


Рис. 20. Індикаторні діаграми процесів пресування через різні матричні лійки

На рис. 20 для порівняння показані одночасно три індикаторні діаграми прямого пресування, пресування через конічну матрицю та пресування через увігнуту матрицю по лінії ковзання незмінного профілю деталі у всіх випадках. З діаграм визначено, що пряме пресування профілю зі змащенням оксидом цинку вимагає значно більшого зусилля, ніж за пресування через конічну матрицю (різниця біля 5 %), і суттєво є більшим за пресування через увігнуту матрицю, профіль якої виконано за лінією ковзання, що відокремлює пружну зону від пластичної, різниця в останньому випадку становить біля 15 %. При цьому вплив прямої та конічної матриці проявляється в підсиленні нерівномірності деформації.

В процесі зворотного пресування виявили, що фактичне зусилля, яке необхідне для здійснення операції, є меншим на 10...15 % порівняно з прямим методом пресування заготовки.

РОЗДІЛ 5

ОЧІКУВАНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

В розділі наведений порівняльний аналіз варіантів виготовлення деталі пресуванням за двома різними технологічними процесами. Згідно базового варіанту (пресування через плоску матрицю) використовується гідравлічний прес Д2434Б зусиллям 250 т., а за запропонованим варіантом (пресування через матрицю, твірна якої виконана по лінії ковзання, що відокремлює пластичну зону від пружної) використовується прес гідравлічний Д2430Б зусиллям 100 т. Зменшення зусилля досягається завдяки спеціально спроектованій штамповій оснастці. Економію планується отримати за рахунок зменшення питомих витрат енергії на операцію, а також за рахунок збільшення ресурсу пресового інструмента.

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

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

Таблиця 1

Трудомісткість виконання НДДКР

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

Продовження табл. 1

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

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

Таблиця 2

Кошторис витрат на виконання НДДКР

Найменування статей	Позначення	Величина, грн.
Заробітна плата науково-виробничого персоналу	З _{нд}	32256
Витрати на наукові відрядження	В _{нд}	12902
Загальногосподарські витрати	Н _{ак}	6451
Всього	К _{нд}	51609

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

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

де $H_d = 20\%$ – процент додаткової зарплати;

$H_c = 22\%$ – норматив відрахування у соціальні фонди.

$O_{нд} = 700$ грн. – середньоденний оклад конструктора;

$$З_{нд} = 32 \cdot 700 \cdot (1 + 0.01 \cdot 20) \cdot (1 + 0.01 \cdot 22) = 32256 \text{ грн.}$$

Витрати на наукові відрядження становлять 40% від заробітної плати:

$$В_{нд} = 32256 \cdot 0,4 = 12902 \text{ грн.}$$

Загальногосподарські витрати становлять 20% від заробітної плати:

$$H_{ак} = 32256 \cdot 0,2 = 6451 \text{ грн.}$$

5.2. Визначення технологічної собівартості

Витрати, що складають технологічну собівартість:

Змінні – v , величина яких в річній технологічній собівартості змінюється пропорційно зміні програми випуску продукції N_{ϵ} , грн./дет.;

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

Технологічна вартість продукції в обсязі річного випуску визначається за формулою:

$$C_{річ} = v_i \cdot N_{\epsilon} + p_i. \quad (5.2)$$

Проведемо порівняння собівартості технологічних процесів із застосуванням поелементного розрахунку.

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

– для першого варіанту

$$C_{річ} = (M_o + Z_{o.d.c.} + B_{ел} + B_{\epsilon} + B_{a.ob.} + B_{en}) \cdot N_{\epsilon}, \quad (5.3)$$

– для другого варіанту

$$C_{річ} = (M_o + З_{о.д.с.} + B_{ел} + B_{а.об.} + B_{ен} + B_{ел.зр.} + B_{р.р.})N_v + З_{нал} \quad (5.4)$$

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

$З_{о.д.с.}$ – заробітна плата основна і додаткова виробничих робітників з відрахуванням на соцстрах;

$B_{ел}$ – витрати на електроенергію;

B_v – витрати на воду технічну;

$B_{а.об.}$ – витрати на амортизацію обладнання;

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

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

$З_{нал}$ – витрати на налагодження;

Розрахунки по зазначених статтях ведуть за наступними формулами.

5.2.1. Змінні витрати

5.2.1.1. Вартість основних матеріалів з відрахуванням повернених відходів:

$$M_o = a_p \cdot Ц_m \cdot K_{тр} - q_{відх} \cdot Ц_{відх} \quad (5.5)$$

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

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

$$З_{o.д.с.} = L_{зод.i} \cdot \frac{t_{шт.i}}{60} \cdot (1 + K_{np} + K_{\partial} + K'_{\partial} + K_{шк}) \cdot (1 + \frac{K_c}{100}), \quad (5.6)$$

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 3

Годинна тарифна ставка

Розряд	II	III	IV
Ставка	43,03	47,00	52,06

5.2.1.3. Витрати на силову електроенергію

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

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

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

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

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

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

η_m – ККД електродвигунів;

$\mathcal{C}_{el}$ – ціна 1 кВт·год електроенергії, приймається 2,35 грн/ кВт·год.

6.2.1.4. Витрати на ремонт устаткування, *грн.*:

$$B_{рем} = \frac{(W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e) \cdot t_{um.i}}{T_{p.ц.}} \cdot \frac{1}{60}, \quad (5.8)$$

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

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

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

5.2.1.4. Витрати на амортизацію універсального устаткування:

$$B_{ам.об.} = \frac{C_{\delta} \cdot H_{a.відр.}}{\Phi_{\partial.o.} \cdot \lambda_n \cdot 100} \cdot \frac{t_{um.i}}{60}, \quad (5.9)$$

де C_{δ} – балансова вартість обладнання, *грн.*;

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

$\Phi_{\partial.o.}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання ;

λ_n – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання за часом .

6.2.1.6. Витрати на експлуатацію приміщень:

$$B_{en} = \frac{S_{в.пл} \cdot K_f \cdot C_{кз}}{\Phi_{\partial.o.} \cdot \lambda_n} \cdot \frac{t_{um.i}}{60}, \quad (5.10)$$

де $S_{в.пл}$ – виробнича площа в плані, що зайнята одиницею устаткування, m^2 ,

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

$C_{кз}$ – річні витрати, пов'язані з використанням 1 m^2 виробничої площі.

Таблиця 4

Коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу

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

5.2.1.5. Витрати на стиснене повітря:

$$B_{с.пов} = Q_{с.пов} \cdot \Pi_{с.пов} \cdot K_{тв} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.11)$$

де $Q_{с.пов}$ – витрати стисненого повітря, м³/год; $\Pi_{с.пов}$ – ціна 1 м³ стисненого повітря, прийнято 0,45 грн/м³; $K_{тв}$ – коефіцієнт, що враховує тип виробництва, для ДС – 0,85; для М – 1,15.

5.2.1.6. Витрати на воду:

$$B_{вод} = Q_{вод} \cdot \Pi_{вод} \cdot K_{тв} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.12)$$

де $Q_{вод}$ – витрата води, м³/год; $\Pi_{вод}$ – ціна 1 м³ води, прийнято 19,56 грн/м³.

5.2.2. Постійні витрати

5.2.2.1. Витрати на налагодження

$$З_{нал} = A \cdot L_{год.нал і} \cdot \frac{t_{н.з.і}}{60} \cdot (1 + K_{пр} + K_o + K'_o) \cdot (1 + \frac{K_c}{100}), \quad (5.20)$$

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

$L_{год.нал і}$ – годинна тарифна ставка наладчика, грн/год;

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

5.2.2.2. Витрати на штампи на річну програму

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

де $\Pi_{ш}$ – первинна вартість штампа, грн;

$C_{ш}$ – ціна однієї переточки, грн;

p – кількість переточок;

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

b – кількість дублерів.

6.2.2.3. Витрати на амортизацію засобів механізації та автоматизації

$$B_{a.cn.} = \frac{C_{\bar{o}} \cdot H_{a.p.}}{100}, \quad (5.22)$$

де $C_{\bar{o}}$ – балансова вартість пристрою, грн. $Q_{p.pid.}$ $C_{p.pid.}$

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

5.2.3. Розрахунок технологічної собівартості за базовим варіантом

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

Таблиця 5

Базовий технологічний процес

№ п/п	Операція	Модель обладнання	Штуч- ний час, хв $t_{шт i}$	Підго-товчо- заключ-ний час, хв $t_{n.з.}$	Розряд робіт-ника	Тарифна ставка
1	Пресування	Д2434Б	0,1625	30	IV	52,06

Таблиця 6

Параметри обладнання

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

Продовження табл. 6

Умовна ремонтна складність, УРЕ			Витрати на 1УРЕ, грн			Тривалість ремонтного циклу $Tr.ц$, годин	Амортизац відрахув $Ha.p$, %
R_m	Re	Rel	W_m	We	Wel		
14,00	4,50	0	450,00	80,00	0,00	53500,00	0,12

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

Таблиця 7

Розрахунок перемінних витрат

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
5.1.	a_p	Норма витрати металу	кг	0
M_o	$a_{\text{ч}}$	Чиста маса	кг	0
0	Ц_m	Ціна 1 кг матеріалу	грн	14,5
	$\text{Ц}_{\text{відх}}$	Ціна 1 кг відходів	грн	3,4
	$K_{\text{тр}}$	Коеф транспортно-заготів. витрат	1,05...1,08	0,7
5.2.	$t_{\text{шт}}$	Штучний час	хв	0,1625
Зо.д.с.	$L_{\text{год}}$	Годинна тарифна ставка	грн	52,06
0,18767931	$K_{\text{пр}}$	Коеф премій за виконання плану	0,3...0,32	0,3
	$K_{\text{д}}$	Коеф. доплат за фактично відроблений час	0,075..0,08	0,08
	$K_{\text{д}1}$	Коеф. премій за вик плану	0,08...0,1	0,09
	$K_{\text{с}}$	Відрахування на соцстрах	0,5	0,22
5.3.	$N_{\text{уст}}$	Встановлена потужність двигуна	кВт	5
Вел	$KKД$	ККД двигуна	-	0,6
0,025662	Цел	Ціна 1 кВт.год електроенергії	грн	2,35
	$K_{\text{од}}$	Коеф одночасної роботи двигунів	0,6...1,3	0,7

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
	<i>KN</i>	<i>Коеф завантаження за потужністю</i>	<i>BC-0,8;ДС-0,5</i>	0,8
	<i>Кдв</i>	<i>Коеф завантаження за часом</i>	<i>BC-0,8;ДС-0,6</i>	0,8
	<i>Kw</i>	<i>Коеф втрат ел енергії в мережі</i>	<i>BC-1,04;ДС-1,08</i>	1,08
5.4.	<i>Wм</i>	<i>Витрати на ремонт механічної частини</i>	грн/УРЕ	450
Врем	<i>We</i>	<i>Витрати на ремонт електричної частини</i>	грн/УРЕ	80
0,00033715	<i>Wel</i>	<i>Витрати на ремонт електронної частини</i>	грн/УРЕ	0
	<i>Rм</i>	<i>Умовна ремонт. складність механічної частини</i>	УРЕ	14
	<i>Re</i>	<i>Умовна ремонтна складність електр. частини</i>	УРЕ	4,5
	<i>Rел</i>	<i>Умовна ремонтна складність електрон. частини</i>	УРЕ	0
	<i>Тр.ц.</i>	<i>Тривалість міжремонтного циклу</i>	год	53500
5.5.	<i>Сб</i>	<i>Балансова вартість обладнання</i>	грн	98000
Вам.обл	<i>На.р.</i>	<i>Норма амортизаційних відрахувань</i>	%/100%	0,12
0,008506944	<i>Фд.о.</i>	<i>Дійсний річний фонд часу роботи обладнання</i>	год	4680
	<i>λн</i>	<i>Коефіцієнт завантаження обладнання за часом</i>	—	0,8
5.6.	<i>Св.пп</i>	<i>Виробнича площа в плані</i>	м ²	1,6965

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
Вел.прим	K_f	Коефіцієнт додаткової виробничої площі	—	6
0,002091172	$C_{пл}$	Річні витрати, пов'язані з використанням 1м ² площі	грн	284
5.7.	$Q_{с.пов}$	Витрати стисненого повітря	м ³ /год	0,4
Вс.пов	$C_{с.пов}$	Вартість стисненого повітря	грн/м ³	0,45
0,00037375	$K_{т.в}$	Коефіцієнт, що враховує тип виробництва		1,15
5.8.	$Q_{вод}$	Витрати води технічної	м ³ /год	0
Ввод	$C_{вод}$	Вартість води	грн/м ³	6,75
0	$K_{т.в}$	Коефіцієнт, що враховує тип виробництва	г/мм ³	1,15

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

Таблиця 8

Розрахунок постійних витрат на пробивання отвору

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
2.1.	$t_{п.з.}$	Підготовчо-заклучний час	хв	30
$З_{нал}$	$L_{год.нал}$	Годинна тарифна ставка наладчика	грн/год	52,06
415,782	A	Кількість партій (що відповідає кількості переналаджень) на рік	-	12
2.2.	$C_{шт}$	Первинна вартість штамп	грн	15000
$З_{ш}$	$C_{ш}$	Вартість ремонту	грн	4000
2750	p	Кількість переточок	раз	10
	b	Кількість дублерів	шт	0
	$T_{сл}$	Строк експлуатації до повного зносу	років	2

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

Таблиця 9

Розрахунок транспортних витрат

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

6.3. Запропонований варіант пресування

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

Таблиця 13

Запропонований технологічний процес

№ п/п	Операція	Модель обладнання	Штучний час, хв $t_{шт\ i}$	Підготовчо- заклучний час, хв $t_{п.з.}$	Розряд робіт- ника	Тарифна ставка
1	Пресування	Д2434Б	0,1625	30	IV	52,06

Таблиця 14

Параметри обладнання

Модель	Габарити, м		Площа в плані, м ²	Коеф. додаткової площі	Потужність двигуна, кВт	ККД двигуна, %	Вар- тість Цб, грн
	<i>L</i>	<i>B</i>					
Д2430Б	1,18	1,14	1,3452	6	3,00	0,60	66000
Витрати НДДКР			0				51609

Продовження табл. 14

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

Розрахунок змінних витрат на операції здійснюється за формулами (5.2)...(5.14) і представлений в таблиці 15.

Таблиця 15

Розрахунок перемінних витрат на пробивання отвору

№ статті витрат	Поз- начка	Найменування	Розмір- ність	Зна- чення
5.1.	<i>a_p</i>	Норма витрати металу	кг	0
<i>M_o</i>	<i>a_ч</i>	Чиста маса	кг	0
0	<i>Ц_м</i>	Ціна 1 кг матеріалу	грн	14,5
	<i>Ц_{відх}</i>	Ціна 1 кг відходів	грн	3,4
	<i>K_{тр}</i>	Коеф транспортно-заготів. витрат	1,05...1,08	0,7
5.2.	<i>t_{шт}</i>	Штучний час	хв	0,1625
<i>З_{о.д.с.}</i>	<i>L_{год}</i>	Годинна тарифна ставка	грн	52,06

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
0,18767931	K_{np}	Коеф премій за виконання плану	0,3...0,32	0,3
	K_{∂}	Коеф. доплат за фактично відрахований час	0,075..0,08	0,08
	$K_{\partial 1}$	Коеф. премій за вик плану	0,08...0,1	0,09
	K_c	Відрахування на соцстрах	0,22	0,22
5.3.	$N_{уст}$	Встановлена потужність двигуна	кВт	20
$B_{ел}$	ККД	ККД двигуна	-	0,8
0,0153972	$\Pi_{ел}$	Ціна 1 кВт.год електроенергії	грн	2,35
	$K_{од}$	Коеф одночасної роботи двигунів	0,6...1,3	0,7
	K_N	Коеф завантаження за потужністю	BC-0,8;ДС-0,5	0,5
	$K_{\partial в}$	Коеф завантаження за часом	BC-0,8;ДС-0,6	0,6
	K_w	Коеф втрат ел енергії в мережі	BC-1,04;ДС-1,08	1,08
5.4.	W_m	Витрати на ремонт механічної частини	грн/УРЕ	450,00
$B_{рем}$	W_e	Витрати на ремонт електричної частини	грн/УРЕ	0,00
0,000318925	$W_{ел}$	Витрати на ремонт електронної частини	грн/УРЕ	0,00
	R_m	Умовна ремонт. складність механічної частини	УРЕ	14,00
	R_e	Умовна ремонтна складність електр. частини	УРЕ	4,50

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
	$R_{ел}$	Умовна ремонтна складність електрон. частини	УРЕ	0,00
	$T_{р.ц.}$	Тривалість міжремонтного циклу	год	53500
5.5.	$C_б$	Балансова вартість обладнання	грн	99732
$V_{ам.обл}$	$H_{а.р.}$	Норма амортизаційних відрахувань	%/100%	0,12
0,008657292	$\Phi_{д.о.}$	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	год	4680
	λ_n	Коефіцієнт завантаження обладнання за часом	—	0,8
5.6.	$S_{в.пл}$	Виробнича площа в плані	м ²	1,3452
$V_{е.прим}$	K_f	Коефіцієнт додаткової виробничої площі	—	6
0,001658146	$C_{пл}$	Річні витрати, пов'язані з використанням 1м ² площі	грн	284
5.7.	$Q_{с.по в}$	Витрати стисненого повітря	м ³ /год	0,4
Вс.пов	$Ц_{с.по в}$	Вартість стисненого повітря	грн/м ³	0,3
0,00037375	$K_{т.в}$	Коефіцієнт, що враховує тип виробництва		1,15
5.8.	$Q_{вод}$	Витрати води технічної	м ³ /год	0
Ввод	$Ц_{вод}$	Вартість води	грн/м ³	6,75
0	$K_{т.в}$	Коефіцієнт, що враховує тип виробництва	г/мм ³	1,15

Розрахунок постійних витрат здійснюється згідно формул (5.20)...(5.22) і представлений в таблиці 16.

Таблиця 16

Розрахунок постійних витрат

№ п/п статті	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
2.1.	<i>tn.з.</i>	<i>Підготовчо-заключний час</i>	хв	30
<i>Знал</i>	<i>Lгод.нал</i>	<i>Годинна тарифна ставка наладчика</i>	грн/год	52,06
415,782	<i>A</i>	<i>Кількість партій (що відповідає кількості переналагоджень)</i>	-	12
2.2.	<i>Цшт</i>	<i>Первинна вартість штамп</i>	грн	15000
<i>Сш</i>		<i>Вартість ремонту</i>	грн	4000
<i>Зш</i>	<i>p</i>	<i>Кількість переточок</i>		9
		<i>Кількість дублерів</i>		0
2890	<i>b</i>	<i>Строк експлуатації до повного зносу</i>	років	2
	<i>Tсл</i>			

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

Критична програма випуску визначається за формулою, шт

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

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

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

Таблиця 17

Розрахунок технологічної собівартості

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

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

Розрахунки таблиць зведені в порівняльну калькуляцію витрат (табл. 18).

Економічний ефект від впровадження при програмі випуску 50000 шт:

$$E = (C_{баз} - C_{проект}) N,$$

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

Строк окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{E},$$

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

Порівняльна калькуляція витрат

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено комп'ютерне моделювання та експериментальні дослідження процесу прямого та зворотного пресування. Показано, що напружений і деформований стану металу і розміри вогнища деформації при пресуванні суттєво залежать від конструкції інструмента і, зокрема, від форми матричної лійки. В результаті теоретичних досліджень з метою отримання пресових виробів з мінімальними силовими параметрами екструзії запропоновано розглянути крім найбільш вживаних в промисловості профілів матриць (прямий, конічний) профіль матричної лійки, виконаний по лінії ковзання, що відокремлює “мертву” зону від пластичної.
2. Шляхом комп'ютерного проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу встановлені можливості для проектування і реалізації технологічного процесу пресування металу через матрицю, що має профіль, виконаний по лінії ковзання. Відзначено, що вогнище деформації такої матричної лійки має найменшу площу серед розглянутих. Для випадку пресування через пряму матрицю вогнище деформації має найбільшу площу.
3. За допомогою програмного комплексу Deform 3D виявлений вплив різних форм утворюючих матриці на характер формування енергосилових параметрів вогнища деформації. Для різних форм утворюючих матриці побудовані залежності, що характеризують енергосилові параметри вогнища деформації від параметрів технологічного процесу. Відзначено, що розрахункові значення зусилля пресування для матриці, форма лійки якої виконана по лінії ковзання, яка поділяє пружну зону від пластичної, є меншими на 5...7 відсотків в порівнянні із розрахунковим зусиллям пресування через пряму та конічну матрицю відповідно.
4. Комп'ютерним моделюванням процесу прямого та зворотного пресування встановлено розподіл інтенсивностей напружень по стадіям пресування та картину течії металу за викривленнями координатної сітки.

5. Експериментально підтверджено практичне завдання по визначенню оптимального профілю матриці для прямого пресування виходячи з розрахунку утворюючих матричної лійки на основі аналізу поля ліній ковзання сталої стадії пресування через симетричну одноочкову матрицю. Отримані зусилля пресування зразків на 10...15 відсотків є меншими за зусилля пресування через пряму та конічну матрицю відповідно, а фактичне зусилля, яке необхідне для здійснення операції процесу зворотного пресування, є меншим на 10...15 % порівняно з прямим методом пресування заготовки.
6. Аналізом напруженого стану і режимів пресування заготовки намічені шляхи інтенсифікації технологічних процесів і підвищення якості виробів, а також досягнення більшої стійкості робочих пресових інструментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

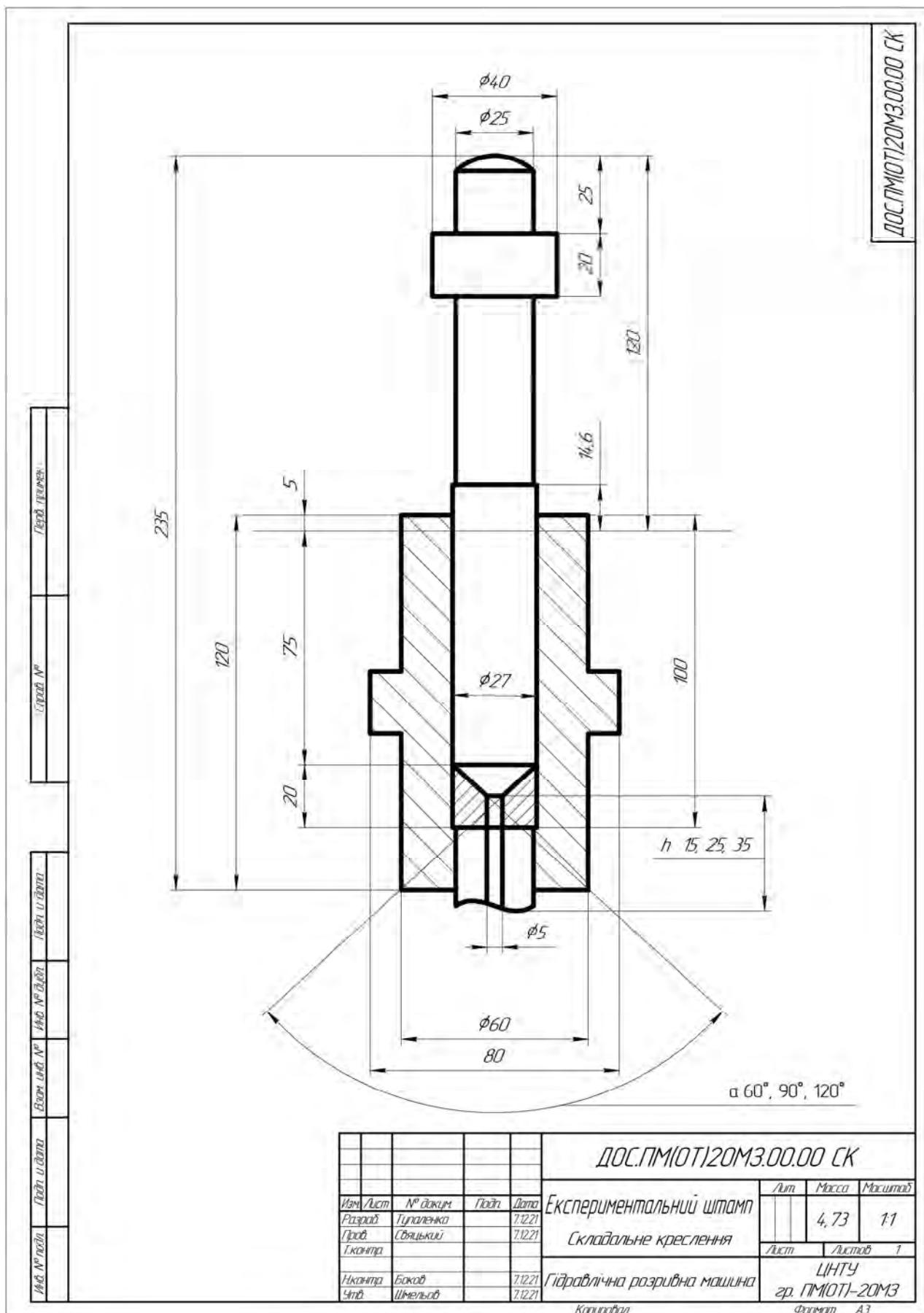
1. Перлин И.Л. Теория прессования металлов / И.Л. Перлин, Л.Х. Райтбарг. – М.: Metallurgy, 1975. – 448 с.
2. Логинов Ю.Н. Прессование как метод интенсивной деформации металлов и сплавов. Учебное пособие. – Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2016. – 158 с.
3. Логинов Ю.Н. Инструмент для прессования металлов: учебное пособие: 2-е изд. / Ю.Н. Логинов, Ю.В. Инарович. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 224 с.
4. 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 15.11.2021 р.). — Назва з екрана.
5. 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 15.11.2021 р.). — Назва з екрана.
6. Закон України. Про охорону праці [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення 15.11.2021 р.). — Назва з екрана.
7. 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 15.11.2021 р.). — Назва з екрана.

8. Охорона праці в ковальсько–пресовому виробництві: навчальний посібник / І.Л. Марченко, О.М. Бакланов. – Краматорськ: ДДМА. 2009. – 208 с.
9. Норицын И.А., Акаро И.Л., Перфилов А.А. Влияние профиля матричной воронки на параметры процесса прямого прессования // Кузнечно-штамповочное производство. – 1971. – №12. – С. 1 – 8.
10. Сафаров Ю.С., Геращенко В.И. К вопросу о выборе оптимальной геометрии инструмента при прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. – 1971. – №12. – С. 8 – 11.
11. Степанский Л.Г. О разрушении малопластичных материалов при прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. – 1966. – №11. – С. 1 – 4.
12. Степанский Л.Г. Об оценке разрушения металла при прессовании // Кузнечно-штамповочное производство. – 1968. – №1. – С. 14 – 18.
13. Глебов Ю.П., Перлин И.М. О форме упругой зоны матрицы при прессовании через одноканальную матрицу // Известия вузов. Цветная металлургия. – 1961. – №2. – С. 27 – 30.
14. Норицын И.А. Анализ скоростных параметров прямого прессования и волочения // Процессы штамповки и их технологические параметры. Сб. МАМИ. – М.: Машгиз, 1959. – С. 117 – 127.
15. Батулин А.И. Влияние технологических параметров на размеры и форму очага деформации при прямом способе прессования алюминиевых сплавов через плоскую матрицу // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – №1. – С. 6 – 8.
16. Хилл Р. Математическая теория пластичности. – М.: ГИТТЛ, 1956. – 407 с.
17. Джонсон В., Кудо Х. Механика процесса выдавливания металла. – М.: Металлургия, 1965. – 174 с.
18. Richmond O., Morrison H.L. Streamlines wire drawing dies of minimum length // J. Mech. Phys. Solids. – 1967. – v. 15. – P. 195 – 203.

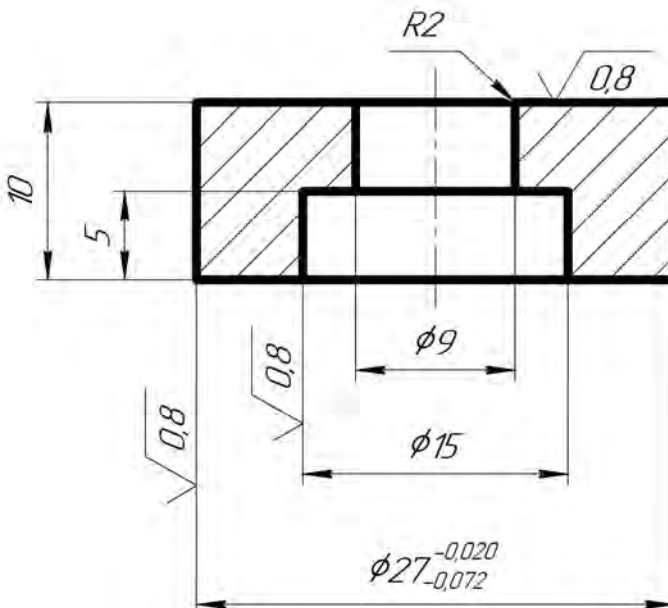
19. Друянов Б.А., Непершин Р.И. Теория технологической пластичности. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
20. Непершин Р.И. Оптимальный профиль матрицы для прессования // Исследование процессов пластического течения металлов / Под. ред. А.Д. Томленова. – М.: Наука, 1971. – С 46 – 53.
21. Теоретические основыковки и горячей штамповки / Макушок Е.М., Матусевич А.С., Северденко В.П. и др. – Минск: Наука и техника, 1974. – 256 с.
22. Шофман Л.А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1964. – 376 с.
23. Kato K. Classification of wear mechanisms/models // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. – 2002. – № 216(6). – P. 349-355.

ДОДАТКИ

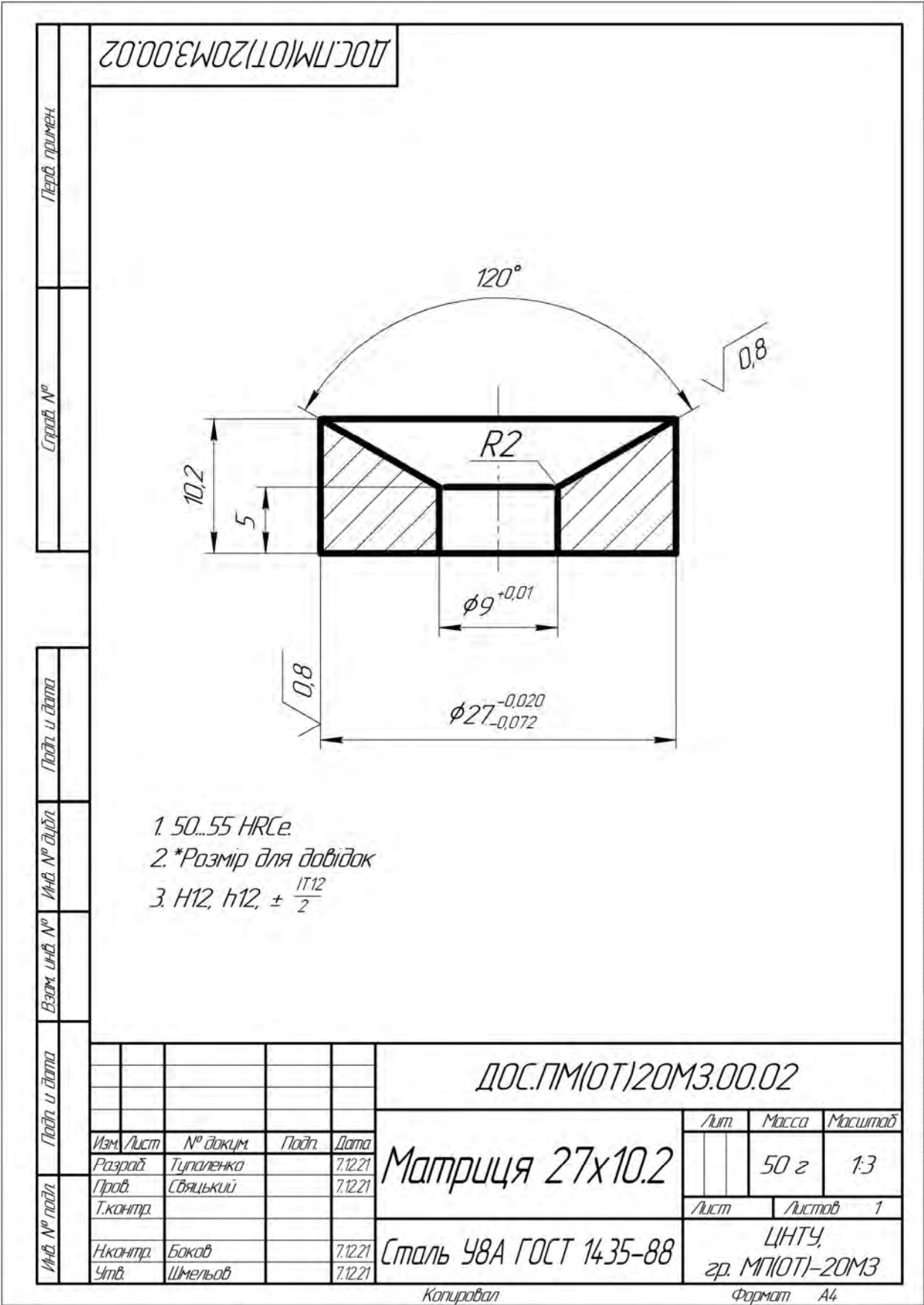
Д1. Експериментальний штамп



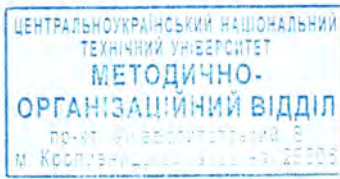
Д2. Матриця

Перед. примеч.		Сторінка №		Подп. и дата		Взам. инв. №		Инв. № докл.		Подп. и дата																																					
ДОС.ПМ(ОТ)20М3.00.01  1. 50...55 HRCe. 2. *Размір для довідок 3. H12, h12, $\pm \frac{IT_{12}}{2}$ ДОС.ПМ(ОТ)20М3.00.01 <table border="1"><thead><tr><th>Изм.</th><th>Лист</th><th>№ докум.</th><th>Подп.</th><th>Дата</th></tr></thead><tbody><tr><td>Разраб.</td><td></td><td>Тупаленко</td><td></td><td>7.12.21</td></tr><tr><td>Пров.</td><td></td><td>Свяцкий</td><td></td><td>7.12.21</td></tr><tr><td>Т.контр.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Н.контр.</td><td></td><td>Баков</td><td></td><td>7.12.21</td></tr><tr><td>Утв.</td><td></td><td>Шмельов</td><td></td><td>7.12.21</td></tr></tbody></table> Матриця 27x10 Сталь У8А ГОСТ 1435-88 <table border="1"><thead><tr><th>Лист</th><th>Масса</th><th>Масштаб</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td>55 г</td><td>1:1</td></tr></tbody></table> Лист 1 ЦНТУ зр. ПМ(ОТ)-20М3 Копировал Формат А4												Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разраб.		Тупаленко		7.12.21	Пров.		Свяцкий		7.12.21	Т.контр.					Н.контр.		Баков		7.12.21	Утв.		Шмельов		7.12.21	Лист	Масса	Масштаб		55 г	1:1
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата																																											
Разраб.		Тупаленко		7.12.21																																											
Пров.		Свяцкий		7.12.21																																											
Т.контр.																																															
Н.контр.		Баков		7.12.21																																											
Утв.		Шмельов		7.12.21																																											
Лист	Масса	Масштаб																																													
	55 г	1:1																																													

ДЗ. Матриця



Д5. Довідка про участь у конференції ЦНТУ

Довідка № *73* від *16.12.2021 р.*

Видана здобувачу вищої освіти групи ПМ(ОТ)20М3 Тупаленку Д. про те, що він 14 травня 2021 р. брав участь у науково-технічній online конференції «Наука в ЦНТУ: основні досягнення та перспективи розвитку» приуроченій «Дню науки – 2021» на секції обробки металів тиском та спецтехнологій з доповіддю на тему: «Порівняння різних схем пресування металів за допомогою комп'ютерного моделювання».

Фахівець I кат. МОВ

Лілія РЕЗНІК

Д6. Сертифікат участі у міжнародній науковій конференції

