

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти на тему
«Дослідження впливу вогнища деформації
на енергосилові параметри процесу прямого пресування»
«Study of the impact of the deformation center
on the energy parameters of the direct pressing process»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи ПМ(ОТ)-21М1,4
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Зайцев Т. І.

1 грудня 2022 р.

Керівник проекту
канд. техн. наук, доцент

_____ Володимир СВЯЦЬКИЙ

1 грудня 2022 р.

Рецензент
канд. техн. наук, доцент

_____ Віктор ПУКАЛОВ

23 грудня 2022 р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко-технологічний

Кафедра: «Машинобудування, мехатроніка і робототехніка»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма: «Прикладна механіка»

«Затверджую»

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

26 серпня 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

Зайцеву Тарасу Ігоровичу

1. Тема роботи: «Дослідження впливу вогнища деформації на енергосилові параметри процесу прямого пресування»

2. Керівник роботи: Свяцький Володимир Вячеславович

3. Строк подання роботи до захисту: 27 грудня 2022 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи.

Мета: на основі теоретичних і експериментальних досліджень встановити вплив деформаційних умов прямого пресування на енергосилові параметри процесу.

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
№ 4 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., канд. техн. наук, ст. викладач	3.09.2022 р.	24.11.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2022 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	1.10.2022 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	15.11.2022 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	1.12.2022 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	21.12.2022 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	23.12.2022 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	27.12.2022 р.	

Дата видачі завдання
29 серпня 2022 р.

Підпис керівника
_____ Свяцький В. В.

Завдання прийнято до виконання
29 серпня 2022 р.

Підпис здобувача
_____ Зайцев Т. І.

АНОТАЦІЯ

Зайцев Т. І. «Дослідження впливу вогнища деформації на енергосилові параметри процесу прямого пресування», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2022 рік.

Метою дослідження є на основі теоретичних і експериментальних досліджень встановити вплив деформаційних умов прямого пресування на енергосилові параметри процесу.

Шляхом комп'ютерного проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу надані рекомендації щодо проектування пресового інструменту для реалізації технологічного процесу прямого пресування металу в залежності від степені деформації. Виявлений вплив різних форм матричних лійок на характер формування вогнища деформації при прямому пресуванні. Для різних форм утворюючих побудовані залежності, що характеризують енергосилові параметри технологічного процесу екструзії. Комп'ютерним моделюванням процесу прямого пресування встановлено розподіл інтенсивностей напружень в залежності від степеней витяжки та картину течії металу у вогнищі деформації за векторним полем швидкостей.

Вирішене практичне завдання по наданню рекомендацій щодо проектування оптимального профілю матриці для прямого пресування виходячи з розрахунку утворюючих матричної лійки відносно деформаційних умов екструзії. Аналізом напруженого стану і режимів прямого пресування намічені шляхи досягнення збільшення стійкості робочих пресових інструментів і, як наслідок, підвищення якості прес-виробів.

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

ANNOTATION

Zaitsev T. " Study of the impact of the deformation center on the energy parameters of the direct pressing process ", specialty 131 "Applied Mechanics", OPP "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2022.

By means of computer design of the dynamics of the deformation focus and the stress-strain state of the metal, recommendations are provided for the design of a press tool for the implementation of the technological process of direct metal pressing depending on the degree of deformation. The influence of different forms of matrix hoppers on the nature of the formation of the deformation center during direct pressing is revealed. Dependencies characterizing the energy parameters of the technological process of extrusion are constructed for various forms of the constituents. Computer modeling of the direct pressing process established the distribution of stress intensities depending on the degrees of extraction and the pattern of metal flow in the center of deformation according to the vector field of velocities.

The practical task of providing recommendations on the design of the optimal profile of the matrix for direct pressing based on the calculation of the forming matrix funnel relative to the deformation conditions of extrusion has been solved. The analysis of the stress state and modes of direct pressing outlines ways to increase the stability of working press tools and, as a result, improve the quality of press products.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1.	
ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ ...	9
1.1. Процес прямого пресування, його недоліки та переваги. ...	9
1.2. Стадії процесу прямого пресування	17
1.3. Напружено-деформований стан процесу пресування	19
1.4. Види інструменту для пресування	20
РОЗДІЛ 2.	
МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	23
2.1. Експериментальне обладнання, оснащення та апаратура ...	23
2.2. Методи визначення зусилля пресування	26
2.2.1. Метод ліній ковзання	26
2.2.2. Метод кінцевих елементів (МКЕ)	26
2.3. Правила безпеки при роботі на штампувальному обладнанні	27
РОЗДІЛ 3.	
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРЯМОГО ПРЕСУВАННЯ	29
3.1. Сутність моделювання процесу пресування в Deform 3D ...	29
3.2. Дослідження впливу конструкції матриці на силові параметри процесу пресування	30
3.3. Аналіз силових параметрів процесу пресування через різні профілі матричних лійок при коефіцієнті витяжки меншим за 4 ...	31
3.4. Аналіз силових параметрів процесу пресування через різні профілі матричних лійок при коефіцієнті витяжки рівним 4 ...	32
3.5. Аналіз силових параметрів процесу пресування через різні профілі матричних лійок при коефіцієнті витяжки більшим за 4 ...	33
3.6. Зусилля пресування через різні типи матричних лійок	42

РОЗДІЛ 4.

ОЧІКУВАНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ	44
5.1. Витрати на виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт	44
5.2. Визначення технологічної собівартості	46
5.2.1. Змінні витрати	47
5.2.2. Постійні витрати	50
5.2.3. Розрахунок технологічної собівартості за базовим варіантом	51
5.3. Запропонований варіант пресування	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТКИ	67
Д1. Сертифікат участі у міжнародній науковій конференції	67

ВСТУП

Актуальність теми

Найбільше поширення процес пресування одержав у сфері виробництв виробів з кольорових металів і сплавів, що пояснюється в основному необхідністю швидкого перенастроювання устаткування для виробництва виробів малими партіями при широкій номенклатурі виробництва. Особливий імпульс для розвитку пресування одержав при залученні в промисловий оберт сплавів на основі легких металів, що обумовлювалося становленням авіації й ракетної техніки. Численні профілі складної конфігурації практично неможливо було одержати іншими методами обробки металів тиском.

Велика увага останнім часом приділяється процесам обробки тиском, у яких можливо досягти високого рівня деформації, їх стали називати процесами інтенсивної деформації.

Такі методи обробки дозволяють суттєво змінити структуру металу і одержати високий рівень споживчих властивостей прес-виробів.

Пресування із цього погляду – унікальний процес, оскільки велику деформацію тут не треба накопичувати, як це робиться при куванні, прокатці, волочінні, – вона задається деформованому матеріалу за один цикл обробки.

Сьогодні такий процес, як пресування, постійно удосконалюється. Можна виділити такі основні напрямки розвитку технології пресування:

- застосування нових сплавів та металів;
- вивчення проблем надійності інструмента;
- визначення дії мастильних матеріалів на параметри процесу пресування.

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 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.

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 деформаційних умов прямого пресування на енергосилові параметри процесу.

Задачі дослідження

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

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є обробка металів тиском методом пресування.

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 № державної реєстрації 0105U005352 «Розробка і дослідження технологічних процесів пресування металів з використанням матриць з повздовжніми криволінійними профілями». Науковий керівник – доцент кафедри машинобудування, мехатроніки та робототехніки Свяцький В. В.

Наукова новизна отриманих результатів

Отримали подальший розвиток порівняльні дослідження енергосилових параметрів процесу прямої пресування екструзії.

З метою інтенсифікації силових параметрів пресування для степеней витяжки більших за величину чотири запропоновано використовувати увігнутий профіль матричної лійки, виконаний по лінії максимальних дотичних напружень (лінії ковзання), що відокремлює «мертву» зону від вогнища деформації сталої стадії пресування.

Практичне значення отриманих результатів

1. Шляхом комп'ютерного проектування динаміки вогнища деформації і напружено-деформованого стану металу надані рекомендації щодо проектування пресового інструменту для реалізації технологічного процесу прямого пресування металу в залежності від степені деформації.
2. Виявлений вплив різних форм матричних лійок на характер формування вогнища деформації при прямому пресуванні. Для різних форм утворюючих побудовані залежності, що характеризують енергосилові параметри технологічного процесу екструзії.

3. Комп'ютерним моделюванням процесу прямого пресування встановлено розподіл інтенсивностей напружень в залежності від степеней витяжки та картину течії металу у вогнищі деформації за векторним полем швидкостей.
4. Вирішене практичне завдання по наданню рекомендацій щодо проектування оптимального профілю матриці для прямого пресування виходячи з розрахунку утворюючих матричної лійки відносно деформаційних умов екструзії.
5. Аналізом напруженого стану і режимів прямого пресування намічені шляхи досягнення збільшення стійкості робочих пресових інструментів і, як наслідок, підвищення якості прес-виробів.

Особистий внесок здобувача

Обґрунтування вибраного напрямку дослідження, постановка мети і задач дослідження, обґрунтування використання і графічні побудови полів ліній ковзання для досліджуваних матриць, комп'ютерне проектування варіантів прямого пресування з використанням різних типів матриць із різними деформаційними умовами, експериментальне підтвердження отриманих теоретичних результатів. Особистий внесок магістранта відображено у наукових працях за його участю.

Апрабація результатів магістерської роботи

Основні результати дослідження доповідалися на LVI науково-технічній конференції студентів ЦНТУ приуроченій Дню науки – 2022, що проходила у м. Кропивницькому в квітні 2022 року, за результатами роботи опубліковано тези конференції.

РОЗДІЛ 1

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБРАНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Процес прямого пресування, його недоліки та переваги

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).

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 зовнішні деформації, ніж центральні шари. Нерівномірність деформації приводить до відмінності структури і властивостей по перерізу виробу; особливо помітно це при пресуванні прутків великого діаметру.

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.

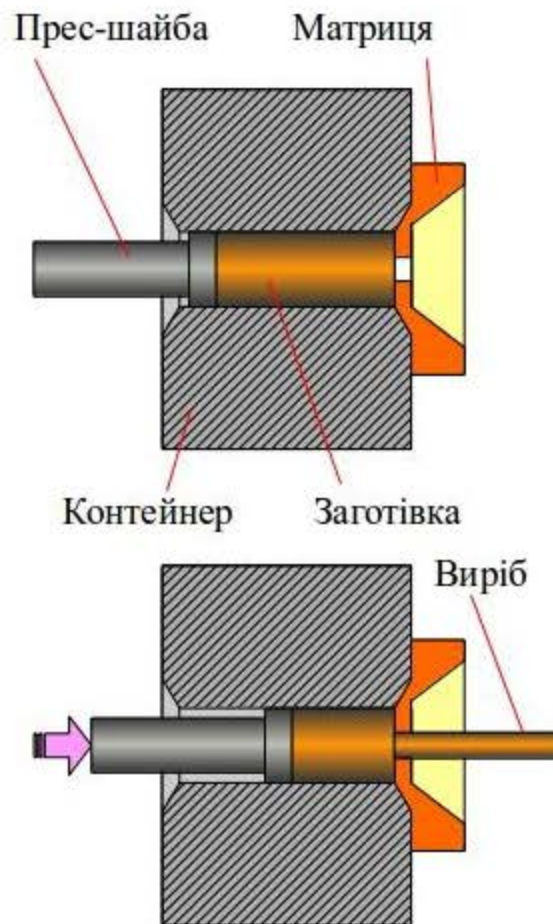


Рис 1. Схема прямого пресування

Пресування металу – це витіснення за допомогою пуансона металу вихідної заготовки (найчастіше циліндричної форми), розміщеної в контейнер, 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 вдавнення 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.

Силкові 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.

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 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.

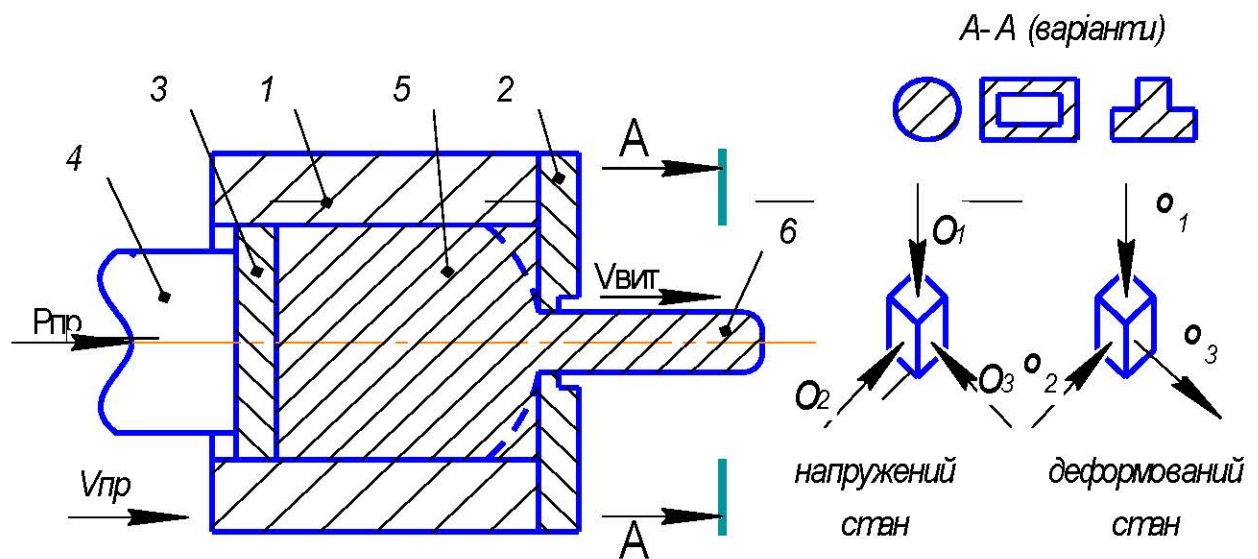
Всі процеси пресування можна умовно розбити на три групи. До першої групи відносяться процеси, при яких весь об'єм заготовки деформується одночасно, наприклад штампування і кування всього виробу. До другої групи відносяться процеси, при яких деформації піддається лише частина об'єму заготовки, при цьому 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. 2.



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

Рис. 2. 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. 3). Максимальна висота цих зон визначає висоту прес-залишку $h_{\text{зал}}$:

$$h_{\text{зал}} = \frac{D_{\text{кон}} - d_{\text{вир}}}{2 \operatorname{tg} \alpha_m}.$$

Однією з найважливіших переваг процесу пресування є те, що канал матриці можна виготовити практично будь-якої конфігурації, переріз пресованих профілів є досить різноманітним.

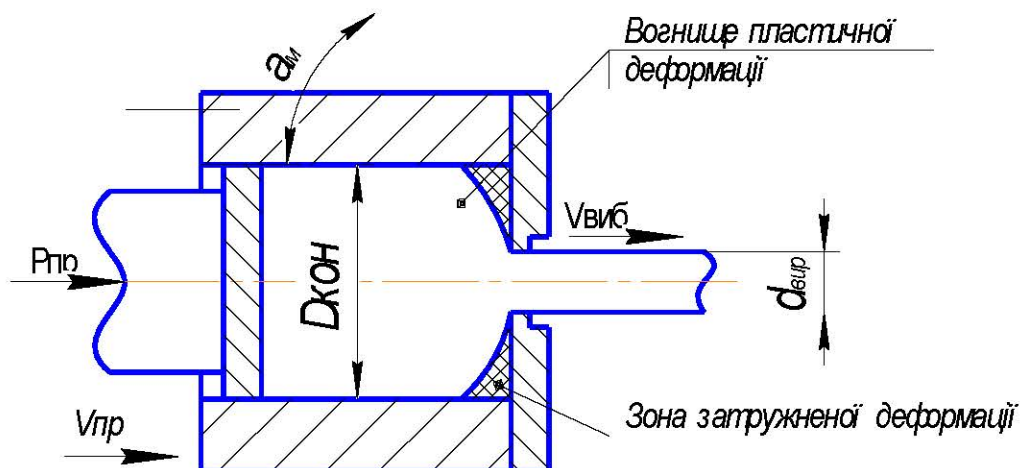


Рис. 3. Співвідношення розмірів вогнища деформації [1]

Іншою, не менш важливою перевагою пресування, є можливість одержання більших степенів деформації за один технологічний перехід.

Така перевага як здійснення більших степенів деформації за один перехід, характеризується коефіцієнтом витяжки λ , який визначається по формулі:

$$\lambda = \frac{F_{\text{кон}}}{f_{\text{вир}}}.$$

Можливість одержання при пресуванні високого коефіцієнта витяжки, обумовлена сприятливою схемою напруженого стану металу в процесі деформації, у результаті чого метал зазнає більших степенів деформації без руйнування.

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 графіть, 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. 2) 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. 4.

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.

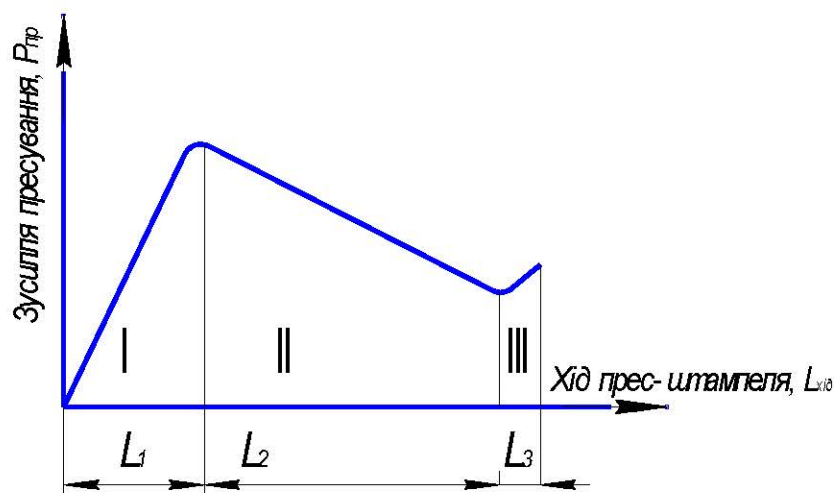


Рис. 4. Стадії пресування [2]

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.

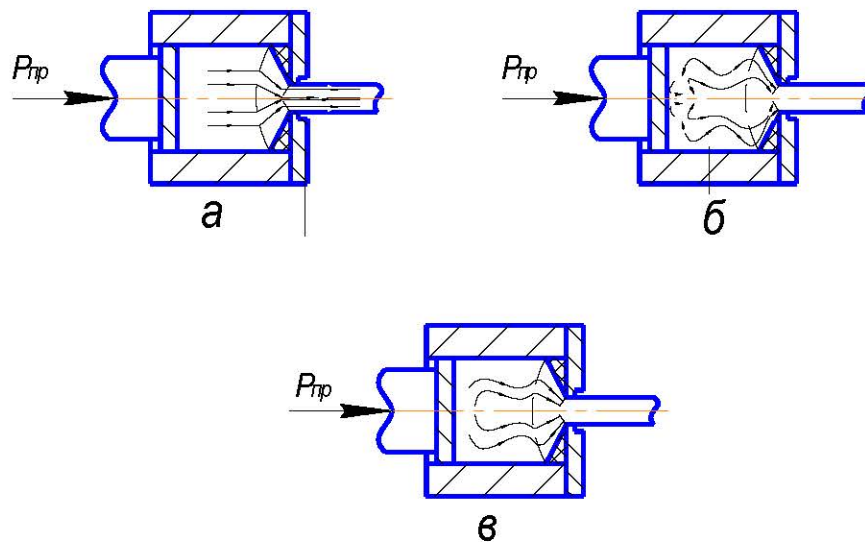


Рис. 5. Види течії металу під час прямого пресування [2]

У сталій стадії процесу пресування спостерігається три види витікання (рис. 5): ламінарне (рис. 5, а) – шари металу не перемішуються; турбулентне (рис. 5, б) – шари металу перемішуються, спостерігається зустрічна течія, центральні шари переміщуються із тертям по прес-шайбі; змішане (рис. 5, в) – без зустрічного руху шарів металу.

У реальних умовах доцільно використовувати змішану течію.

1.4. Види інструменту для пресування

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.

Велика кількість напівфабрикатів із чорних і кольорових металів випускається із застосуванням методу пресування. Продуктивність пресових установок, якість і собівартість готових виробів у значній мірі залежать від працездатності застосовуваного інструмента, вартість якого становить до 25 % вартості переділу пресового цеху.

Працездатність інструмента визначається його конструкцією, міцностними характеристиками, властивостями інструментальних матеріалів, температурно-силовими умовами експлуатації й кількісними характеристиками силових навантажень і теплових, що впливають на пресовий інструмент, при цьому термін служби інструмента може виявитися різним. Так у промисловості пресування титанових сплавів стійкості матриць часто вистачає тільки на здійснення одного циклу пресування. Це говорить про те, що інструмент часто працює на межі своїх можливостей, розрахункові коефіцієнти запасу при його роботі можуть наближатися до одиниці. У свою чергу конструкція пресового інструмента може у значній мірі видозмінюватися залежно від поставлених завдань. Для забезпечення необхідної працездатності конструкцію інструмента піддають аналізу, виконуючи моделювання напруженого стану.

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. 7, а), конічні (рис. 7, б), радіальні (рис. 7, в).

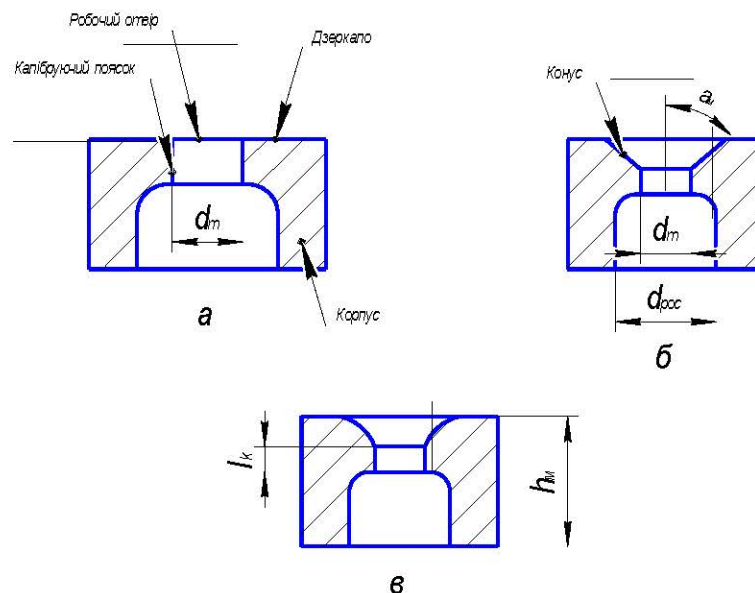


Рис. 7. Елементи матриць для пресування [3]

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. 8, а); зі зворотним конусом (рис. 8, б); із циліндричним буртом (рис. 8, в); із прямим конусом в обоймі (рис. 8, г); зі зворотним конусом в обоймі (рис. 8, д); посилені по корпусу (рис. 8, е).

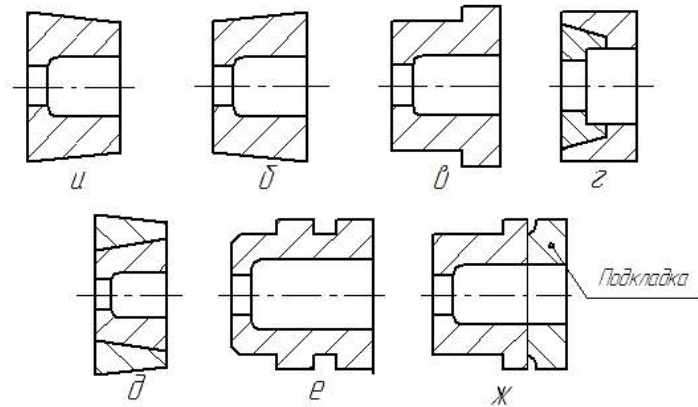


Рис. 8. Групи матриць для пресування [2]

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.

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

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

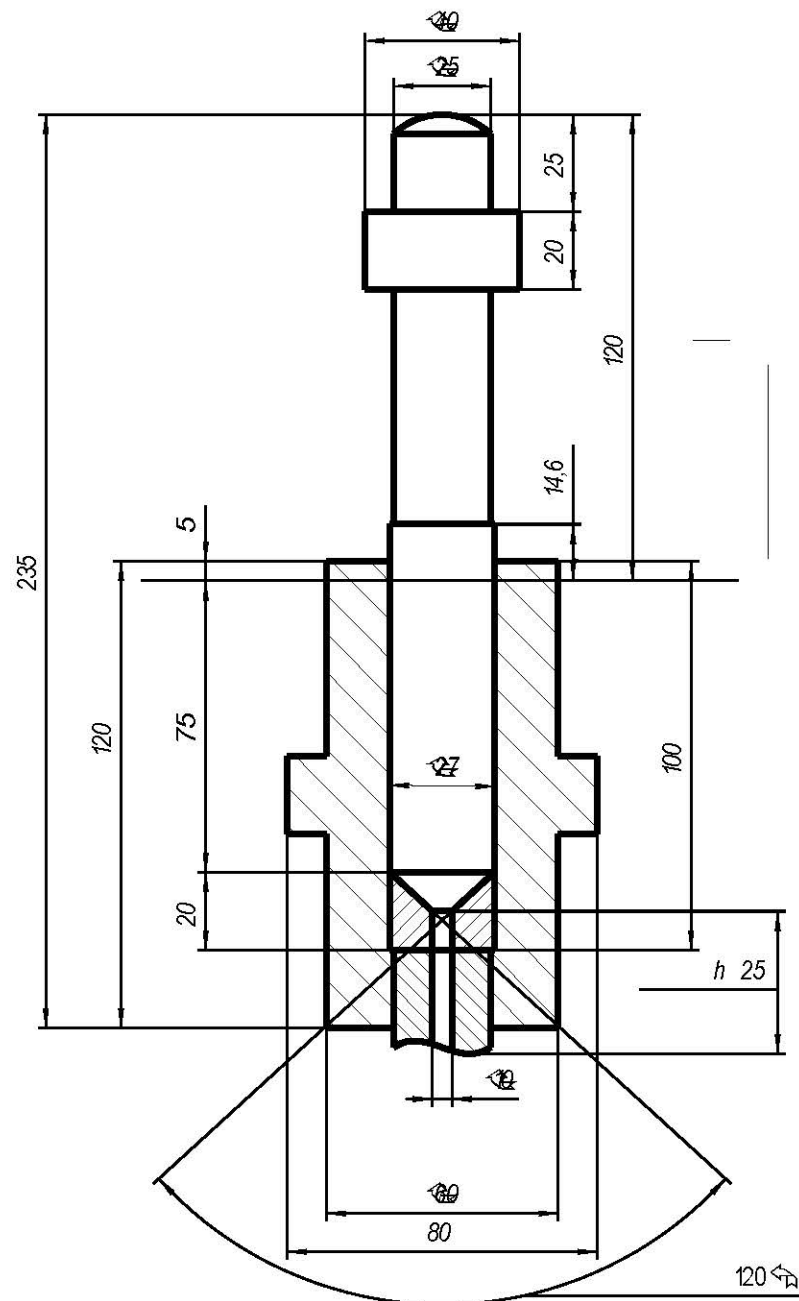


Рис. 10. Експериментальний штамп

Штамп працює таким чином. В робочу порожнину корпус-матриці 2 встановлюється певна змінна (3... 5) матриця 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 роботі на штампувальному обладнанні

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.

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

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

Моделювання процесу прямого пресування

3.1. Сутність моделювання процесу пресування в Deform 3D

Застосування сучасних пакетів програм для проектування технологій різних видів виробництва 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.

3.2. Дослідження впливу конструкції матриці 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].

У більшості випадків при прямому пресуванні застосовують матриці, форма лійки яких відповідає усіченому конусу з кутом утворюючої до осі симетрії φ_3 від 45° до 60° .

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

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.

Нами вже було проаналізовано [24, 25] силові параметри пресування, де було показано суттєву перевагу ввігнутих профілів матриць щодо інших профілів. При пресуванні через матрицю, профіль якої виконаний по лінії ковзання, що відокремлює пластичну зону від пружної [24, 25], відзначені найменші енергосилові витрати в порівнянні із профілем інших матриць. При цьому, побудова лінії ковзання (лінії максимальних зсувних деформацій) теоретично обгрунтована, і для різних степенів витяжки лінія ковзання, яка відокремлює пружні зони від пластичних, буде в кожному окремому випадку різною, а при $\lambda = 4$ лінія ковзання буде мати нахил до осі симетрії кут 45° , і як наслідок, в цьому випадку криволінійний профіль матриці перетвориться в конусний.

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. Аналіз силових параметрів процесу пресування через різні профілі матричних лійок при коефіцієнті витяжки меншим за 4

Нами розглянуті випадки прямого пресування через різні профілі матричних лійок з різними деформаційними умовами.

На рис. 11 наведені кинематично можливе поле ліній ковзання і годограф швидкостей для сталої стадії, що характеризує пресування через плоску симетричну матрицю із гладкого контейнера для коефіцієнта витяжки $\lambda < 4$.

Кинематично можливе поле ліній ковзання (рис. 11) побудоване графічним методом, викладеним в [16, 21, 22].

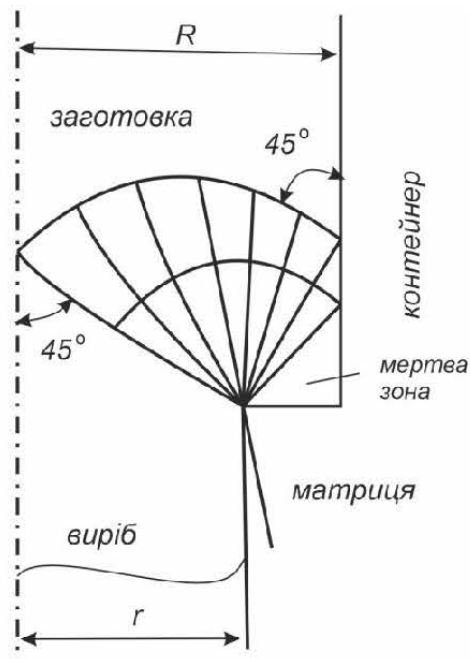


Рис. 11. Кинематично можливе поле ліній ковзання для сталої стадії пресування через плоску симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера $\lambda < 4$

Аналіз поле ліній ковзання (рис. 11) свідчить про те, що форма лінії ковзання, що відокремлює «мертву» зону від пластичною є фактично прямою, тому у випадку прямого пресування із ступеню витяжки меншим за 4 можна використовувати або пряму за типом матрицю, або конічні матриці, як зазвичай у машинобудуванні.

3.4. Аналіз силових параметрів процесу пресування через різні профілі матричних лійок при коефіцієнті витяжки рівним 4

На рис. 12 наведені кинематично можливе поле ліній ковзання і годограф швидкостей для сталої стадії, що характеризує пресування через плоску симетричну матрицю із гладкого контейнера для коефіцієнта витяжки $\lambda = 4$.

Кинематично можливе поле ліній ковзання (рис. 11) побудоване графічним методом, викладеним в [16, 21, 22].

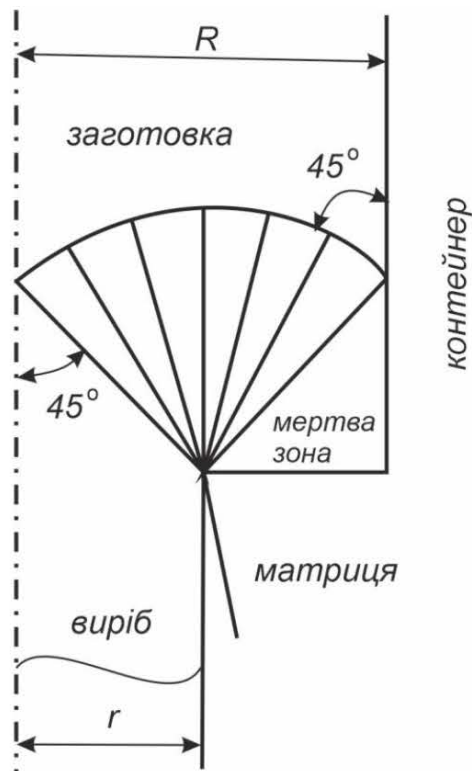


Рис. 12. Кинематично можливе поле ліній ковзання для сталої стадії пресування через плоску симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера $\lambda = 4$

Як і у попередньому випадку випадку (рис. 11) рекомендації про використання типів матриць при прямому пресуванні є аналогічними.

3.5. Аналіз силових параметрів процесу пресування через різні профілі матричних лійок при коефіцієнті витяжки більшим за 4

На рис. 13 наведені кинематично можливе поле ліній ковзання і годограф швидкостей для сталої стадії, що встанов пресування через плоску симетричну матрицю із гладкого контейнера для коефіцієнта витяжки $\lambda = 9$.

Кинематично можливе поле ліній ковзання (рис. 13, а) побудоване графічним методом, викладеним в [16, 21, 22].

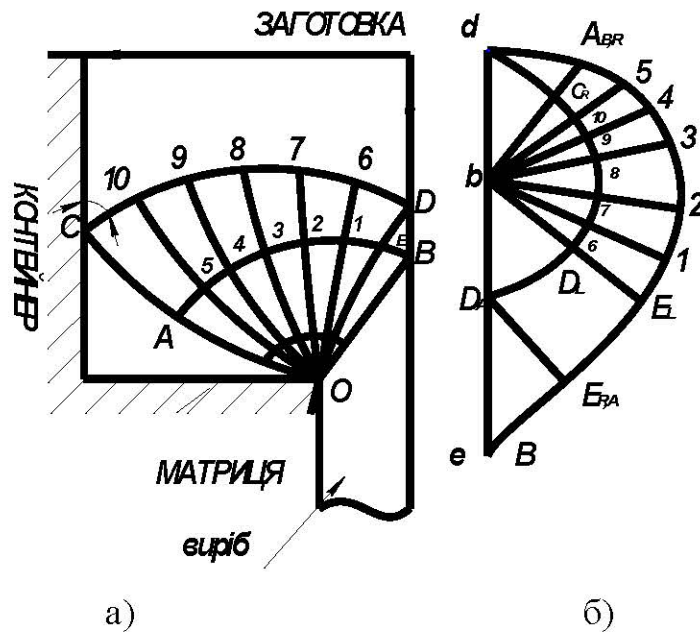
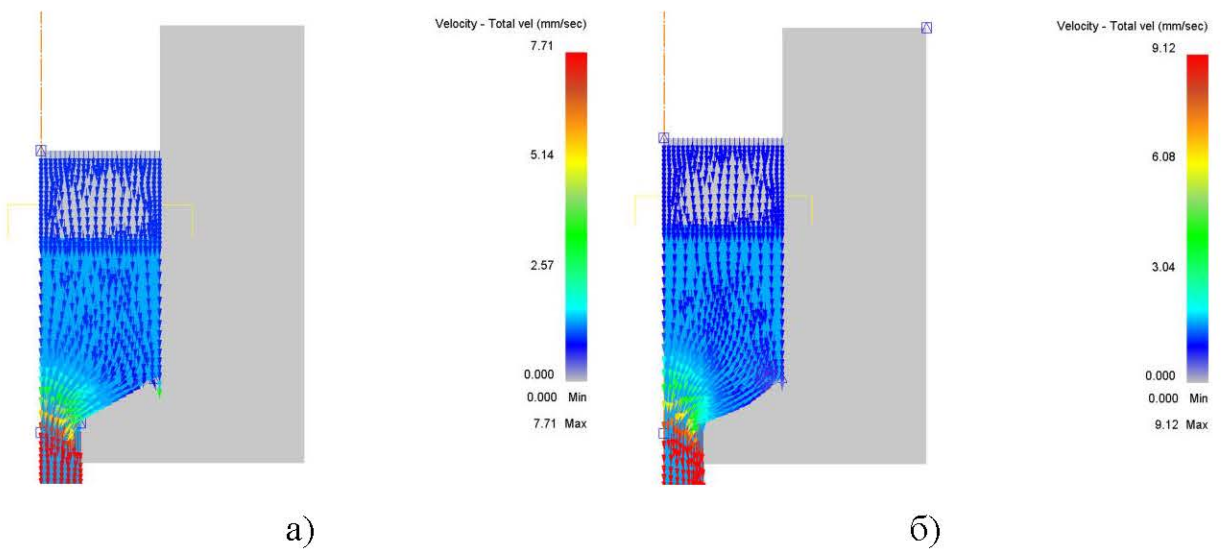
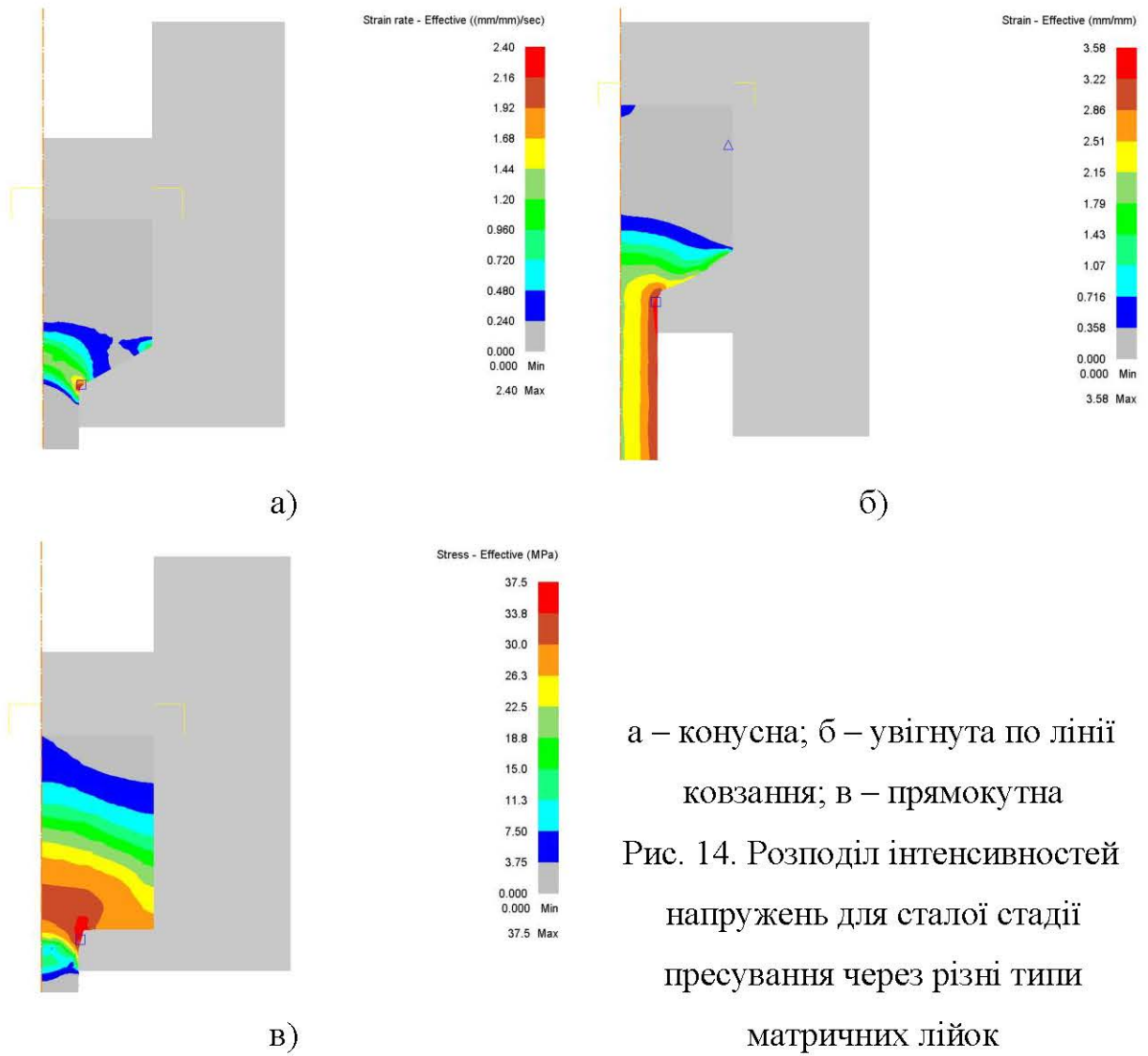


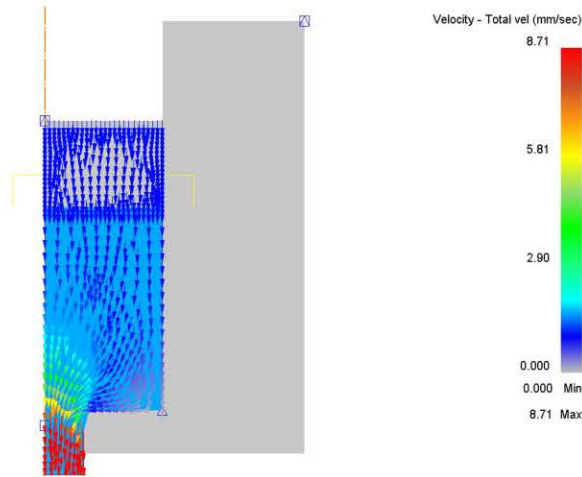
Рис. 13. Кинематично можливе поле ліній ковзання (а) і годограф (б) для сталої стадії пресування через плоску симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера $\lambda = 9$

На рис. 14 – 17 представлені результати моделювання типових процесів прямого 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 зразка діаметром 27 мм, з витяжкою $\lambda = 9$. Хід повзуна гідравлічного преса становив 1 мм/сек.

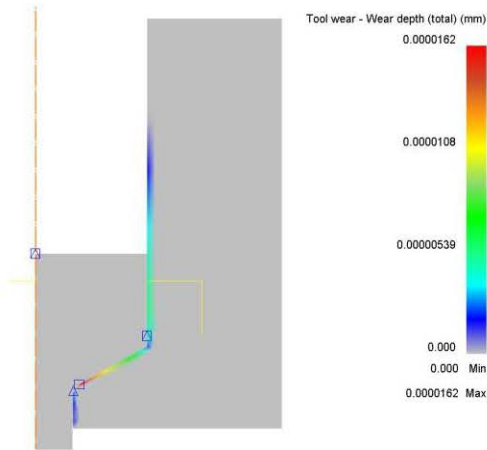
Величину спрацювання інструменту оцінювали за моделлю Рейе-Арчарда-Хрущова, яка заснована на теорії контакту з нерівностями і використовується для опису спрацювання ковзання [23]. Спрацювання контактної поверхні матричної лійки при цьому є функцією від тиску пресування на границі поділу "інструмент –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



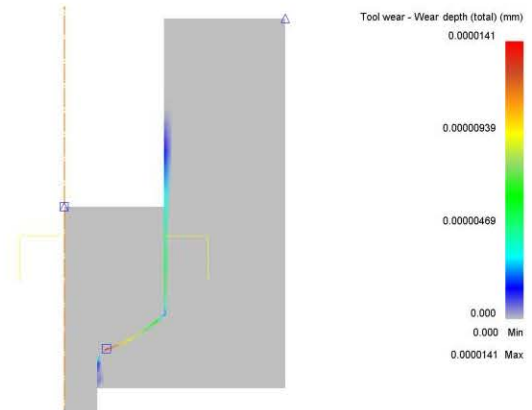


в)

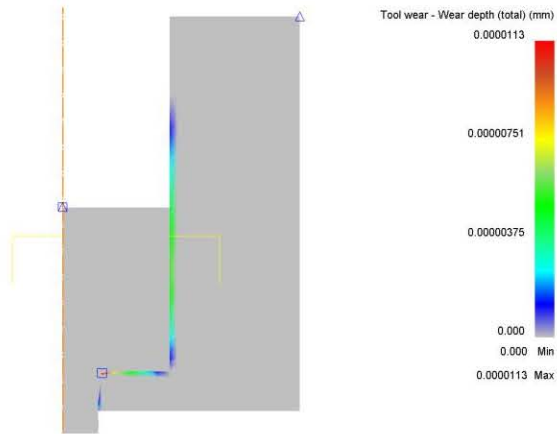
а – конусна; б – увігнута по лінії
ковзання; в – прямокутна
Рис. 15. Векторне поле швидкостей
для сталої стадії пресування через
різні типи матричних лійок



а)

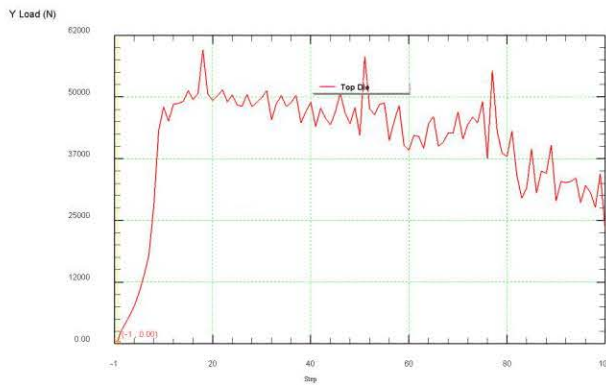


б)

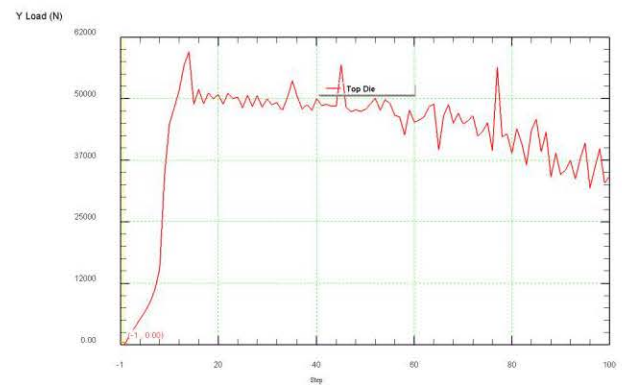


в)

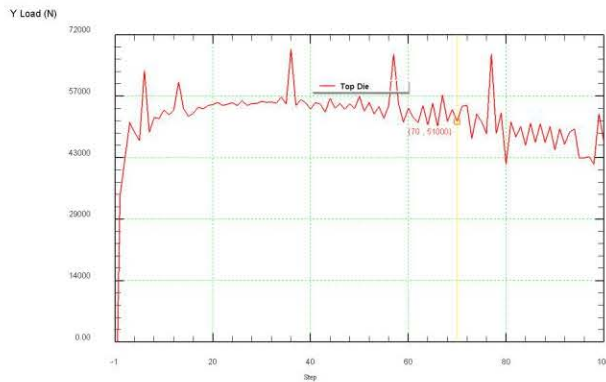
а – конусна; б – увігнута по лінії
ковзання; в – прямокутна
Рис. 16. Викривлення координатної
сітки для сталої стадії пресування
через різні типи матричних лійок



а)



б)



в)

а – конусна; б – увігнута по лінії
ковзання; в – прямокутна

Рис. 17. Графіки зусиль пресування
через різні типи матричних лійок в
залежності від переміщення прес-
шайби

За допомогою комп'ютерного моделювання прямого пресування свинцевих зразків із величиною витяжки $\lambda = 81$ зі швидкістю 1 мм/сек досліджувалися різні типи профілів матричних лійок.

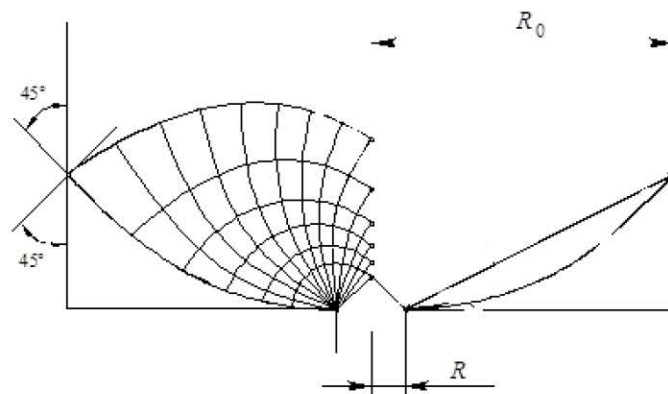
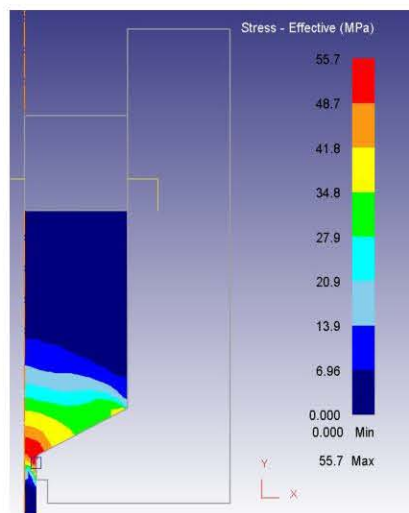


Рис. 18. Кинематично можливе поле ліній ковзання для сталої стадії пресування через плоску симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера $\lambda = 81$

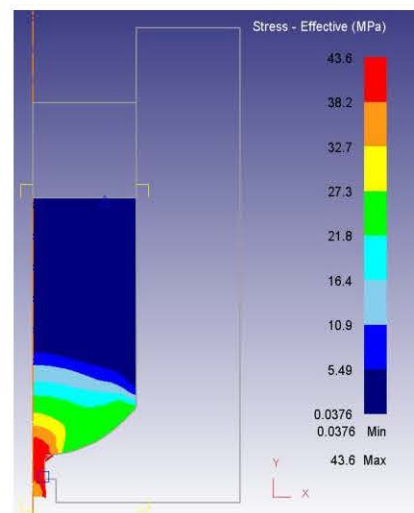
На рис. 19 – 23 представлені результати моделювання типових процесів прямого пресування за допомогою стаціонарного підходу моделювання (розподіл інтенсивностей напружень по стадіям пресування, картина течії металу за викривленням координатної сітки, зусилля пресування та величини спрацювання пресового інструменту) через різні типи матричної воронки.

У всіх випадках виконували пресування алюмінієвого сплаву змащеного циліндричного зразка діаметром 27 мм, з витяжкою $\lambda = 81$. Хід повзуна гідравлічного преса становив 1 мм/сек.

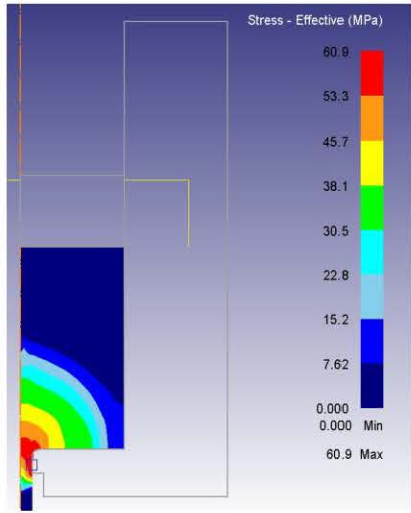
Величину спрацювання інструменту оцінювали за моделлю Рейе-Арчарда-Хрущова, яка заснована на теорії контакту з нерівностями і використовується для опису спрацювання ковзання [23]. Спрацювання контактної поверхні матричної лійки при цьому є функцією від тиску пресування на границі поділу "інструмент –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



а)



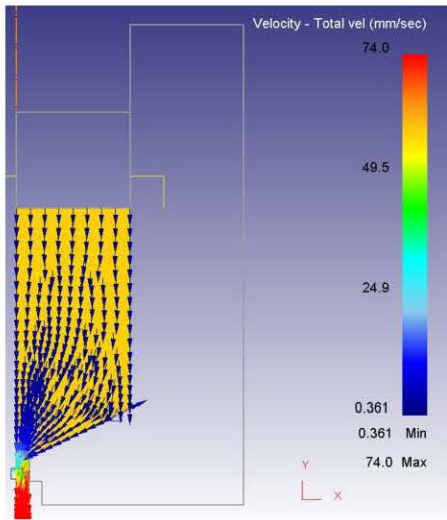
б)



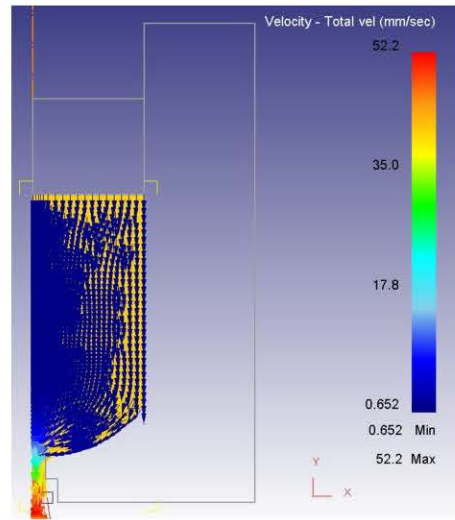
В)

а – конусна; б – увігнута по лінії ковзання; в – прямокутна

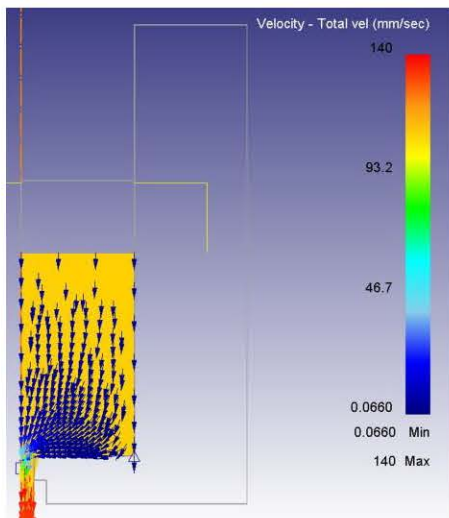
Рис. 19. Розподіл інтенсивностей напружень для сталої стадії пресування через різні типи матричних ліжок



а)



б)



в)

Рис. 20. Векторне поле швидкостей для сталої стадії пресування через різні типи матричних ліжок

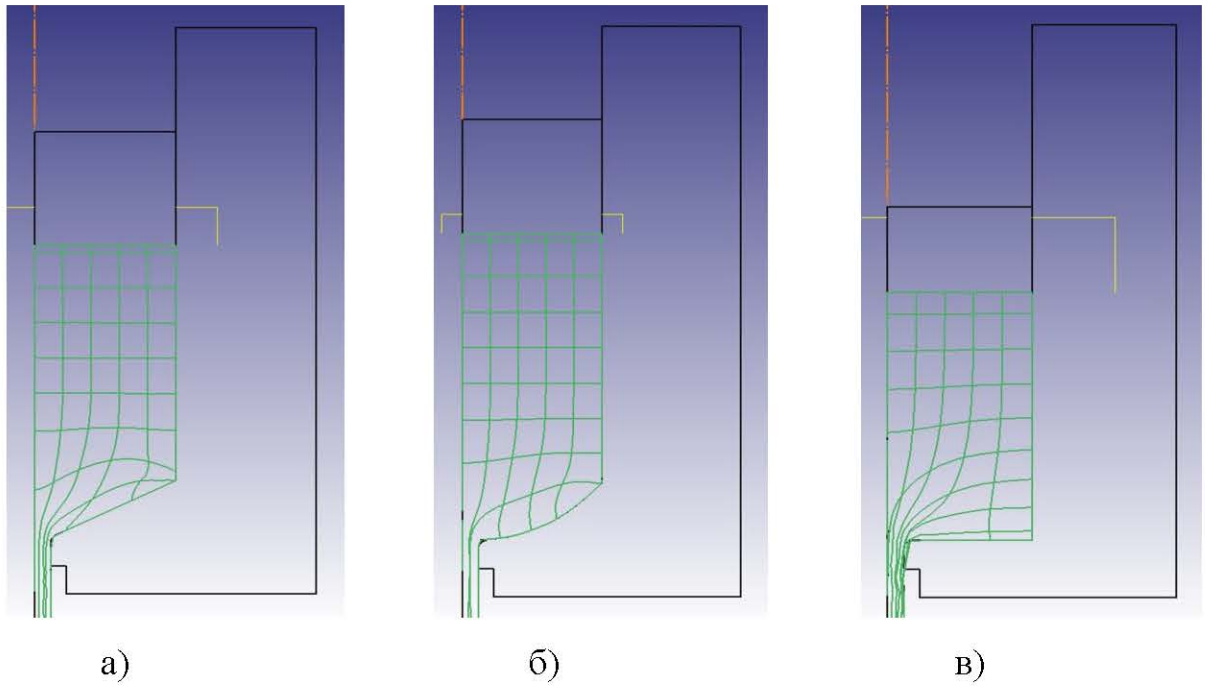


Рис. 21. Викривлення координатної сітки для сталої стадії пресування через різні типи матричних лійок

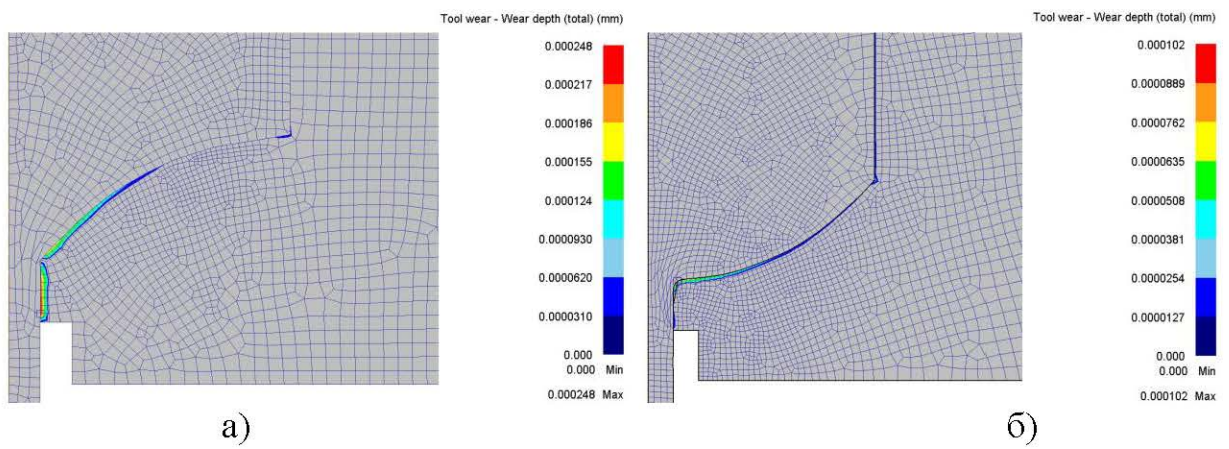
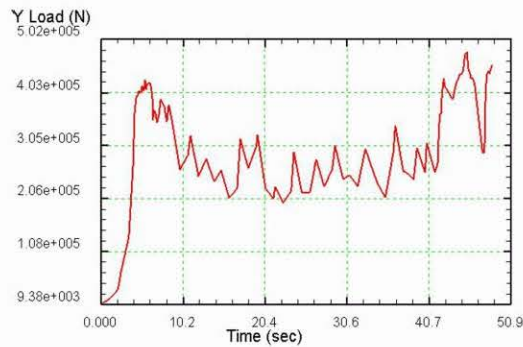
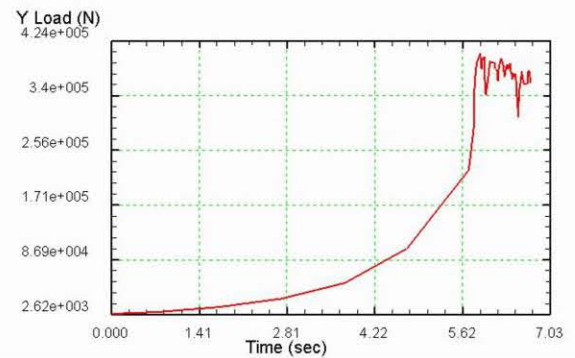


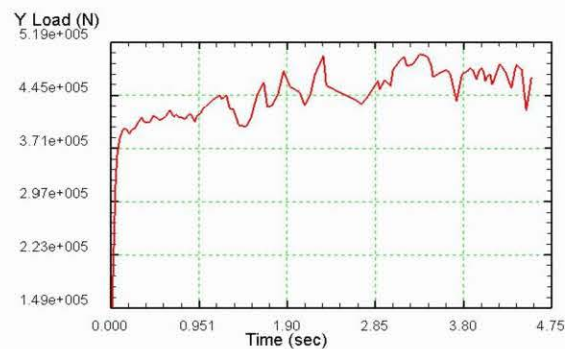
Рис. 22. Характер і величини спрацювання матриць з різними профілями лійки



a)



б)



в)

Рис. 23. Графіки зусиль пресування через різні типи матричних ліжок в залежності від переміщення прес-шайби

Результати експериментального дослідження кінетики течії дискретного середовища (гранул) [10, 11], як і наведеного комп'ютерного моделювання, показали, що форма матричної ліжки впливає на розміри вогнища деформації і розподіл результуючих деформацій у випресовці. З аналізу деформацій гранул визначено, що для ввігнутої ліжки, побудованої по лінії ковзання, характерне скривлення вісесиметричних частинок у напрямку деформації (рис. 4). Ці скривлення зменшуються в міру руху гранул до осі симетрії матриці. Відзначено, що для опуклої ліжки довжина вогнища деформації найбільша; для конічної течія металу є близькою до радіальної в напрямку усіченого конусам (рис. 2).

Аналіз результатів розрахунків і графічних залежностей (див. графічні залежності, що наведені в додатках до кваліфікаційної роботи) визначають однозначну перевагу ввігнутих профілів матриць для одержання виробів щодо інших профілів: крім найменших енергосилових параметрів в увігнутих матриць 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.

3.6. Зусилля пресування через різні типи матричних лійок

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

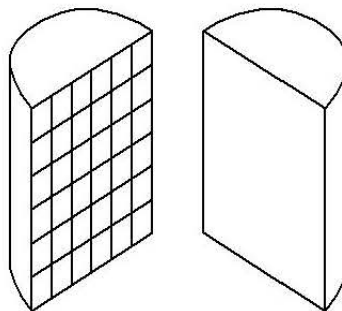


Рис. 15. Вихідний зразок для пресування
(висота – 100 мм, діаметр – 27 мм)

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.

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. Для прикладу наведено прес-залишок (див. рис. 25) для сталюї стадії пресування свинцевих зразків через пряму симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера ($\lambda = 9$).



Рис. 25. Прес-залишок для сталюї стадії пресування свинцевих зразків через пряму симетричну одноканальну матрицю із гладкого контейнера ($\lambda = 9$)

При експериментальному порівнянні 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.

РОЗДІЛ 4

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.

4.1. 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, степені 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	Трудовісткість 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, Тнд	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:

$$З_{нд} = T_{нд} \cdot O_{нд} \cdot (1 + 0.01 \cdot H_d) \cdot (1 + 0.01 \cdot H_c), \quad (4.1)$$

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:

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

4.2. Визначення технологічної собівартості

Витрати, що складають технологічну собівартість:

Змінні – v , величина яких в річній технологічній собівартості змінюється пропорційно зміні програми випуску продукції N_e , 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:

$$C_{річ} = v_i \cdot N_e + p_i. \quad (4.2)$$

Проведемо порівняння собівартості технологічних процесів із застосуванням поелементного розрахунку.

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

– для першого варіанту

$$C_{річ} = (M_o + Z_{o.д.с.} + B_{ел} + B_e + B_{a.об.} + B_{en}) \cdot N_e, \quad (4.3)$$

– для другого варіанту

$$C_{\text{річ}} = (M_o + Z_{\text{о.д.с.}} + B_{\text{ел}} + B_{\text{а.об.}} + B_{\text{еп}} + B_{\text{ел.зр.}} + B_{\text{р.р.}})N_v + Z_{\text{нал}} \quad (4.4)$$

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

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

$B_{\text{ел}}$ – витрати на електроенергію;

$B_{\text{в}}$ – витрати на воду технічну;

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

$B_{\text{еп}}$ – витрати на експлуатацію приміщень;

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

$Z_{\text{нал}}$ – витрати на налагодження;

Розрахунки по зазначених статтях ведуть за наступними формулами.

4.2.1. Змінні витрати

4.2.1.1. Вартість основних матеріалів з відрахуванням повернених відходів:

$$M_o = a_p \cdot C_m \cdot K_{\text{тр}} - q_{\text{відх}} \cdot C_{\text{відх}} \quad (4.5)$$

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

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

$$З_{o.d.c.} = L_{zod.i} \cdot \frac{t_{um.i}}{60} \cdot (1 + K_{np} + K_{\partial} + K'_{\partial} + K_{шк}) \cdot (1 + \frac{K_c}{100}), \quad (4.6)$$

де $L_{zod.i}$ – 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

4.2.1.3. Витрати на силову електроенергію

$$B_{ел} = \frac{N_{уст} \cdot K_{од} \cdot K_N \cdot K_{\partial в} \cdot K_{\omega}}{\eta_m} \cdot \frac{t_{шт.i}}{60} \cdot C_{ел} \quad (4.7)$$

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;

Π_{el} – ціна 1 кВт·год електроенергії, приймається 2,35 грн/ кВт·год.

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

$$B_{рем} = \frac{(W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e) \cdot t_{um.i}}{T_{p.ц.}} \cdot \frac{1}{60}, \quad (4.8)$$

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.

4.2.1.4. Витрати на амортизацію універсального устаткування:

$$B_{ам.об.} = \frac{C_6 \cdot H_{a.відр.}}{\Phi_{\partial.o.} \cdot \lambda_n \cdot 100} \cdot \frac{t_{um.i}}{60}, \quad (4.9)$$

де C_6 – 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 .

4.2.1.6. Витрати на експлуатацію приміщень:

$$B_{en} = \frac{S_{e.m} \cdot K_f \cdot C_{кз}}{\Phi_{\partial.o.} \cdot \lambda_n} \cdot \frac{t_{um.i}}{60}, \quad (4.10)$$

де $S_{e.m}$ – 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

$S_{в.м}, м^2$	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

4.2.1.5. Витрати на стиснене повітря:

$$B_{с.пов} = Q_{с.пов} \cdot \Pi_{с.пов} \cdot K_{тв} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (4.11)$$

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.

4.2.1.6. Витрати на воду:

$$B_{вод} = Q_{вод} \cdot \Pi_{вод} \cdot K_{тв} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (4.12)$$

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

4.2.2. Постійні витрати

4.2.2.1. Витрати на налагодження

$$З_{нал} = A \cdot L_{год.нали} \cdot \frac{t_{н.з.і}}{60} \cdot (1 + K_{np} + K_{\theta} + K'_{\theta}) \cdot (1 + \frac{K_c}{100}), \quad (4.20)$$

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

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

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

4.2.2.2. Витрати на штампи на річну програму

$$З_{ш} = \frac{\Pi_{ш} + p \cdot C_{ш}}{T_{сл}} \cdot (1 + b), \quad (4.21)$$

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

$C_{ш}$ – ціна однієї переточки, грн;

p – кількість переточок;

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

b – кількість дублерів.

4.2.2.3. Витрати на амортизацію засобів механізації та автоматизації

$$B_{a.сп.} = \frac{C_б \cdot H_{a.p.}}{100}, \quad (4.22)$$

де $C_б$ – балансова вартість пристрою, грн. $Q_{p.pід.}$ $C_{p.pід.}$

Визначаємо технологічну собівартість за наведеними вище формулами (4.1-4.22) за базовим та запропонованим варіантами і результати розрахунку зводимо до табл. 7–12.

4.2.3. 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 $t_{шт\ i}$	Підготовчо- заклуч-ний час, хв $t_{п.з.}$	Розряд робітника	Тарифна ставка
1	Пресування	Д2434Б	0,1625	30	IV	52,06

Таблиця 6

Параметри обладнання

Модель	Габарити, м		Площа в плані, м ²	Коеф. додадкової 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 1 УРЕ, грн			Тривалість ремонтного циклу $Tr_{\text{ц}}$, годин	Амортизац. відрахув. $Ha.p$, %
R_m	Re	R_{el}	W_m	We	W_{el}		
14,00	4,50	0	450,00	80,00	0,00	53500,00	0,12

Розрахунок змінних витрат на операції здійснюється за формулами (4.2)...(4.14) і представлений в таблиці 7.

Таблиця 7

Розрахунок перемінних витрат

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
4.1.	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
4.2.	$t_{\text{шт}}$	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
	$K_{\text{д1}}$	Коеф. премій за вик плану	0,08... 0,1	0,09
	K_c	Відрахування на соцстрах	0,5	0,22
4.3.	$N_{\text{уст}}$	Встановлена потужність двигуна	кВт	5
Вел	$K_{\text{КД}}$	$K_{\text{КД}}$ двигуна	-	0,6
0,025662	$\text{Ц}_{\text{ел}}$	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>Kдв</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
4.4.	<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
4.5.	<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
4.6.	<i>Св.пл</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 1м2 площі	грн	284
4.7.	$Q_{с.пов}$	Витрати стисненого повітря	м³/год	0,4
Вс.пов	$Ц_{с.пов}$	Вартість стисненого повітря	грн/м³	0,45
0,00037375	$K_{т.в}$	Коефіцієнт, що враховує тип виробництва		1,15
4.8.	$Q_{вод}$	Витрати води технічної	м³/год	0
Ввод	$Ц_{вод}$	Вартість води	грн/м³	6,75
0	$K_{т.в}$	Коефіцієнт, що враховує тип виробництва	г/мм³	1,15

Розрахунок постійних витрат здійснюється згідно формул (4.20)...(4.22) 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 переналагоджень) на рік	-	12
2.2.	$Ц_{шт}$	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

4.3. 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 $t_{n.z.}$	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. додадкової площі	Потужність двигуна, кВт	ККД двигуна, %	Вар- тість Цб, грн
	L	B					
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 1 УРЕ, грн			Тривалість ремонтного циклу $Tr_{ц}$, годин	Амортизац відрахув $Ha.p$, %
R_m	Re	R_{el}	W_m	We	W_{el}		
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 (4.2)...(4.14) і представлений в таблиці 15.

Таблиця 15

Розрахунок перемінних витрат на пробивання отвору

№ статті витрат	Поз- начка	Найменування	Розмір- ність	Зна- чення
4.1.	a_p	Норма витрати металу	кг	0
M_o	$a_{ч}$	Чиста маса	кг	0
0	$Ц_m$	Ціна 1 кг матеріалу	грн	14,5
	$Ц_{відх}$	Ціна 1 кг відходів	грн	3,4
	$K_{тр}$	Коеф транспортно-заготів. витрат	1,05... 1,08	0,7
4.2.	$t_{шт}$	Штучний час	хв	0,1625
$З_{о.д.с.}$	$L_{год}$	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 відроблений 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
4.3.	$N_{уст}$	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
4.4.	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
4.5.	C_6	Балансова вартість обладнання	грн	99732
$B_{ам.обл}$	$H_{а.р.}$	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
4.6.	$S_{е.пл}$	Виробнича площа в плані	м ²	1,3452
$B_{е.прим}$	K_f	Коефіцієнт додаткової виробничої площі	—	6
0,001658146	$C_{пл}$	Річні витрати, пов'язані з використанням 1м ² площі	грн	284
4.7.	$Q_{с.по в}$	Витрати стисненого повітря	м ³ /год	0,4
$B_{с.пов}$	$\Pi_{с.по в}$	Вартість стисненого повітря	грн/м ³	0,3
0,00037375	$K_{т.в}$	Коефіцієнт, що враховує тип виробництва		1,15
4.8.	$Q_{вод}$	Витрати води технічної	м ³ /год	0
$B_{вод}$	$\Pi_{вод}$	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 (4.20)...(4.22) 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
		<i>Кількість партій (що відповідає кількості переналагоджень)</i>	-	12
415,782	<i>A</i>			
2.2.	<i>Цшт</i>	<i>Первинна вартість штампів</i>	грн	15000
<i>Зш</i>	<i>Сш</i>	<i>Вартість ремонту</i>	грн	4000
	<i>p</i>	<i>Кількість переточок</i>		9
2890	<i>b</i>	<i>Кількість дублерів</i>		0
		<i>Строк експлуатації до повного зносу</i>	років	2
	<i>Тсл</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

$$N_{кр} = \frac{p_1 - p_2}{v_2 - v_1}, \quad (4.23)$$

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 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 надані рекомендації щодо проектування пресового інструменту для реалізації технологічного процесу прямого пресування металу в залежності від степені деформації. Запропоновано для степеней витяжки більших за чотири використовувати матрицю, що має профіль, виконаний по лінії ковзання, яка відокремлює «мертву» зону від пластичної. Відзначено, що у даному випадку отримуємо прес-вироби з найменшими енерговитратами в порівнянні з іншими типами матричних лійок.
3. Для різних форм утворюючих пресового інструменту побудовані залежності, що характеризують енергосилові параметри процесу екструзії. Відзначено, що розрахункові значення зусилля пресування для матриці, форма лійки якої виконана по лінії ковзання, яка поділяє пружну зону від пластичної, є меншими на п'ятнадцять-двадцять відсотків в порівнянні із розрахунковими зусиллями пресування через інші типи матричних лійок.
4. 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.

5. Вирішене практичне завдання по наданню рекомендацій щодо проектування оптимального профілю матриці для прямого пресування виходячи з розрахунку утворюючих матричної лійки відносно деформаційних умов екструзії. Отримані розрахункові та фактичні зусилля пресування зразків на десять-двадцять відсотків є меншими за зусилля пресування через пряму та конічну матрицю відповідно.
6. Аналізом напруженого стану і режимів прямого пресування намічені шляхи досягнення збільшення стійкості робочих пресових інструментів і, як наслідок, підвищення якості прес-виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Перлин И.Л. Теория прессования металлов / И.Л. Перлин, Л.Х. Райтбарг. – М.: Металлургия, 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. Инатович. – 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 15.11.2022 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 15.11.2022 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 15.11.2022 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 15.11.2022 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. Батурин 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.
24. Свяцький В.В. Аналіз моделювання енергосилових параметрів процесу прямого пресування // Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали IV міжнар. наук.-прак. конф., 1 3 квітн. 2020 р., Академія технічних наук України / м. Івано-Франківськ, Україна. – Івано Франківськ: ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», 2020. – С. 72-74.
25. Т.І. Зайцев, В.В. Свяцький. Підвищення ефективності виробництва виробів пресуванням на основі керування умовами процесу // Наука – виробництву. – Кропивницький, 2022. – С. 119-121.

ДОДАТКИ



Довідка *в 24 від 07.11.2022р.*

Видає студенту групи ПМ(ОТ)-21М1,4 Т. Зайцеву про те, що він брав участь у LVI науково-технічній конференції здобувачів вищої освіти приуроченій Дню науки – 2022 з доповіддю на тему «Підвищення ефективності виробництва виробів пересуванням на основі керування умовами процесу» (секція обробки металів тиском та спецтехнологій). За цією темою опубліковані тези доповідей у збірнику «Наука виробництву, 2022», С. 119-121.

Керівник МОВ

Олексій СМІРНОВ