

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

**КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА
ВИРОБНИЦТВА ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ
ІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ**

Навчальний посібник до дипломного проектування

Харків «ХАІ» 2018

УДК 621.7.044:004.94:658.5 (075.8)

К65

Колектив авторів:

А. М. Гринченко, В. В. Третяк, Ю. В. Лемешко, А. В. Онопченко

Рецензенти: канд. техн. наук, проф. Ю. В. Дудукалов,
канд. техн. наук, доц. С. О. Дитиненко

Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва листо-
К65 **вих деталей методами імпульсного штампування [Текст] :** навч. посіб.
до дипл. проектування / А. М. Гринченко, В. В. Третяк, Ю. В. Лемешко,
А. В. Онопченко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського
«Харків. авіац. ін-т», 2018. – 80 с.

ISBN 978-966-662-621-2

Наведено розрахунки параметрів технологічного процесу штампування об'ємних деталей на імпульсному пресі в межах дипломного проектування. Подано загальні відомості щодо теми, змісту і порядку виконання конструювання оснащення і розрахунків для штампування об'ємних деталей імпульсними технологіями. Навчальний посібник складено відповідно до програми курсу «Технологія двигунобудування» («Заготівельне виробництво») і спеціального розділу «Імпульсна обробка» з предмета «Наукова і конструкторсько-технологічна підготовка виробництва».

Для студентів механічних факультетів.

Іл. 38. Табл. 13. Бібліогр.: 26 назв

УДК 621.7.044:004.94:658.5 (075.8)

ISBN 978-966-662-621-2

© Колектив авторів, 2018
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2018

ВСТУП

Неухильне підвищення ефективності виробництва є головним завданням розвитку економіки нашої країни на найближчі роки і на тривалу перспективу.

При виконанні поставленої задачі важливе значення надається промисловим підприємствам і вітчизняній науці, перед якими висувуються проблеми, вирішення яких є украй необхідним.

Однією з них є виробництво великогабаритних листових виробів (деталі ракет, літаків, двигунів, кораблів та ін.) з високоміцних матеріалів.

Для виготовлення таких деталей в умовах ковальсько-пресового виробництва потрібне дороге устаткування, а в окремих випадках практично неможливо створити потрібні силові установки, для чого необхідні якісно нові енергоносії, принципово нові технологічні процеси.

У нашій країні у пошуках раціонального вирішення складної технологічної проблеми проводяться дослідження в області використання нових енергоносіїв.

Існує можливість застосування під час оброблення металів тиском як енергоносії горючих сумішей і зріджених газів, електромагнітних і електрогидравлічних сил, а також бризантних вибухових речовин (БВР).

Специфічні умови, в яких відбуваються процеси імпульсної деформації заготовок, накладають відбиток на характер поведінки матеріалу заготовки, а також на вибір основних технологічних параметрів процесу.

Вирішення питань стосовно виготовлення листових деталей штампуванням-витяжкою і роздачею є головною метою цієї роботи, основні завдання якої є:

- проаналізувати існуючі способи деформації металів імпульсними навантаженнями;
- запропонувати класифікацію листових деталей, що виготовляються енергією БВР;
- виконати аналіз існуючих способів притиснення фланця заготовки при штампуванні-витягуванні листових деталей енергією БВР;
- вибрати методику розрахунку роботи деформації заготовки, знайти залежність для визначення інтенсивності деформацій і роботи деформації для випадків циліндричних, конічних і плоских заготовок;
- вибрати методику, розробити програму для визначення величини заряду при вибуховому штампуванні листових деталей, що одержують з плоских заготовок;
- запропонувати пристрій для штампування-витяжки листових деталей;
- розробити ескізний проект пристрою і технологічний процес виготовлення листової деталі авіадвигуна з використанням розробленого пристрою;
- виконати розрахунок економічної ефективності упровадження пристрою.

1. ІСНЮЮЧІ МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ ІМПУЛЬСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Розвиток промисловості потребує розроблення й упровадження високошвидкісних імпульсних способів оброблення матеріалів при виготовленні різних деталей.

Усе різноманіття цих способів за природою енергоносіїв підрозділяють:

- на вибухове формування;
- формування пневмомеханічне;
- формування за допомогою електричного розряду.

Вибухове формування припускає використання як енергоносіїв бризантних і металевих вибухових речовин, горючих газових сумішей, енергії зріджених газів. Як передавальні середовища при цьому можуть бути рідина, сипкі матеріали і повітря.

При пневмомеханічній деформації використовують розрідження, що створюється в закритих порожнинах і стиснені гази, які, розширюючись через рідке або газоподібне передавальне середовище, впливають на заготовку.

Деформацію електричним розрядом можна реалізувати через індуктор, вибуховий дріт або електроди, розміщені в рідині.

1.1. Штампування газовими горючими сумішами

Горючі гази як джерело енергії при формуванні з листа використовують досить ефективно, оскільки при згорянні вони виділяють велику кількість енергії [17, с. 20].

Використовується також енергія хімічної реакції з'єднання палива і окиснювача. Ця енергія може бути віддана заготовці безпосередньо, через передавальне середовище (рис. 1.1) або за допомогою механічного устаткування (преса). Застосування кожної зі схем визначається конкретними умовами.

З погляду доступності й економічності самими оптимальними сумішами вважають повітряні й кисневі суміші ацетилену, пропан-бутану і природні гази. В окремих випадках застосовують воднево-кисневу суміш, метанові і пропан-бутанові кисневі суміші з додаванням азоту.

Метод застосовують для виготовлення деталей з листових плоских, циліндричних і конічних заготовок. Спосіб найбільш придатний для виготовлення деталей складних форм і великогабаритних тонкостінних, невеликих трубчастих деталей, деталей типу днищ, а також у тих випадках, коли потрібен високопродуктивний автоматизований процес формоутворення. Можна одержувати деталі з незначною різницею товщини по перерізу.

Як позитивні чинники, що визначають застосування цього способу в промисловості, можна назвати такі: простота і низька вартість енергоносія; забезпечення рівномірного розподілу тиску на штамповану заготовку (газ знаходиться у контакті зі всією площею заготовки); тиск на заготовку і ха-

раक्टर його наростання можна легко регулювати в широкому діапазоні шляхом змінення первинного тиску в камері згоряння, а також складу газових сумішей; при цьому максимальний тиск досягається не відразу, а поступово; горючі гази при згорянні виділяють велику кількість енергії – при невеликих витратах можна формувати відносно крупні деталі; займистість газових сумішей легко регулюється шляхом варіювання співвідношення паливного і окиснювального компонентів, кількістю розбавляючого газу і початковим тиском суміші, що полегшує налагодження процесу; безпека роботи, безшумність.

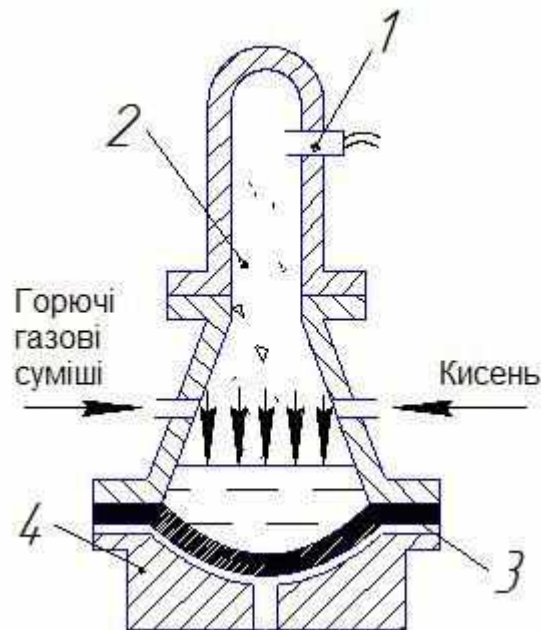


Рис. 1.1. Штампування газовими сумішами через передавальне середовище:
1 – запальний пристрій; 2 – камера згоряння; 3 – заготовка; 4 – матриця

Метод має ряд недоліків, а саме: підвищені вимоги до техніки безпеки; підвищені вимоги до оснащення; складність вибору газових сумішей.

1.2. Штампування зрідженими газами

При реалізації названих енергоносіїв зріджені гази під дією температури перетворюються на газоподібний стан і значно збільшуються в об'ємі. Тиск, що зростає в камері, є достатнім для деформації заготовки (рис. 1.2) [3].

Тиск газу на заготовку можна регулювати зміною співвідношення об'єму робочої камери і рідкого газу, що вводиться в неї. Як енергоносій найбільш доцільно застосовувати рідкий азот, який безпечний у застосуванні, відрізняється дешевизною. При випаровуванні 1 л (1 дм³) рідкого азоту утворюються 690 л (дм³) газу [17, с. 22]. З метою економії енергоносіїв, а також для зниження дії низької температури газу на заготовку рідкий азот уводиться в камеру, частково заповнену рідким передавальним середовищем.

Метод застосовують для формозмінення порожнистих заготовок, для виготовлення деталей типу днищ з відбортовуванням.

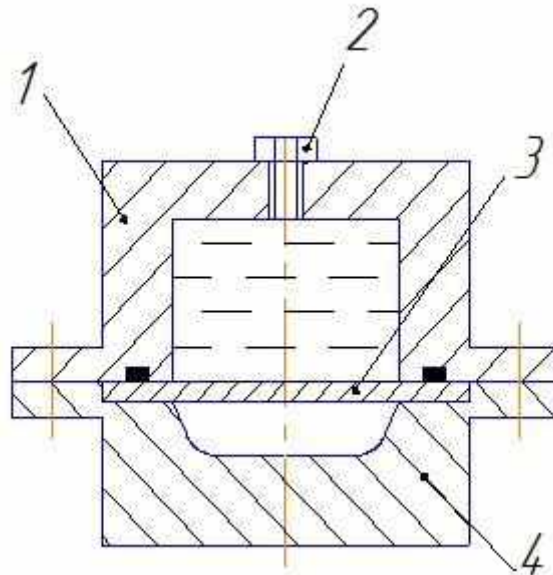


Рис. 1.2. Схема штампування випаровуванням зрідженого газу:
1 – закрита камера; 2 – пробка; 3 – заготовка; 4 – матриця

Зріджені гази широко застосовують як енергоносії завдяки простоті оснащення, відсутності шуму, можливості штампування безпосередньо у виробничих цехах. У деяких випадках штампування за допомогою зріджених газів є економічно вигіднішим за інші імпульсні методи формоутворення.

Застосування способу обмежено через неможливість створити дуже великий тиск.

1.3. Штампування порохом

Застосуванню металевих вибухових речовин у промисловості передували пневматичні системи, де для деформації матеріалу використовували енергію стисненого газу. Проте обмежені енергетичні можливості пневматичних установок привели до використання артилеристських систем як енергетичний вузол.

Підвищення швидкостей рухомих частин установок привело до створення компактних, енергоємних технологічних установок, в яких як енергоносії використовують порох, ініційований за допомогою полум'я від капсуля-запальника. Ця енергія може бути віддана заготовці безпосередньо, через рідину (рис. 1.3) або інструмент.

Слід зазначити, що енергетичні можливості порохових установок значні, при вибуху порошу в камері створюється тиск $2 \cdot 10^8 \dots 3 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$. В умовах статики такий тиск створювати дуже складно. Тиск у камері багато в чому залежить від швидкості горіння порохів і об'єму камери згорання [17, с. 24].

Оброблення металів тиском з використанням як енергоносії порохів розвивається за двома принципово різними напрямками. За першим – створюються машини-зброя, в яких енергія вибуху порохових зарядів перетворюється в кінетичну енергію рухомих частин цих машин. За дру-

гим – енергія вибуху передається оброблюваному матеріалу у вигляді роботи через газоподібні, рідкі або тверді передавальні середовища [6].

Дослідження, проведені в області застосування порохів у металообробці показали, що цей спосіб доцільно застосовувати для роздачі і калібрування порожнистих деталей із заготовок циліндричної, конічної і бочкоподібної форм; для отримання місцевих деформацій на плоских листах і циліндричних деталях; для калібрування турбінних лопаток невеликих розмірів.

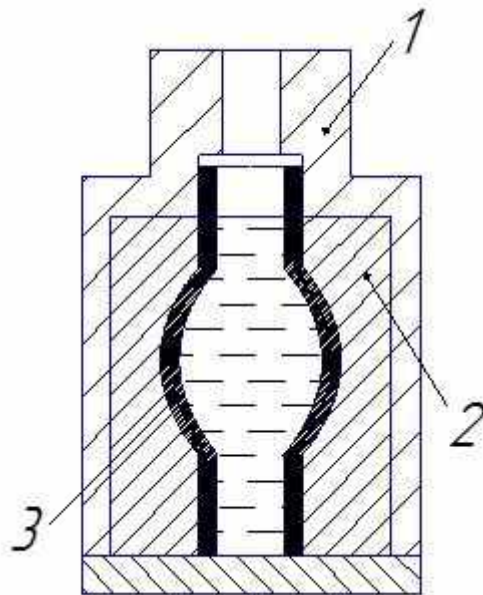


Рис. 1.3. Штампування порохом через рідину:
1 – камера; 2 – матриця; 3 – деталь

Метод застосовують для штампування-витяжки деталей з плоских заготовок, пробивання отворів, економічно вигідно його використовувати для виготовлення малогабаритних деталей. При великих габаритних розмірах деталей установки стають дуже громіздкими і вартість їх виготовлення різко зростає.

1.4. Електрогідравлічне штампування

При електрогідравлічному штампуванні відбувається процес перетворення електричної енергії на механічну в рідкому середовищі. Розряд у вигляді електричної дуги у рідині спричиняє появу ударних хвиль і відповідного тиску, який може бути використаний для формоутворення металів (рис. 1.4) [11, с. 79].

Електрогідравлічне штампування застосовують для витяжки деталей з плоских заготовок, відборткування, роздачі трубчастих деталей, оформлення складного рельєфу на листових і трубчастих заготовках, калібрування, пробивання отворів (у тому числі несиметричних), вирубки, зіговки, розвальцювання.

Товщина штампованих деталей зазвичай не перевищує 4...5 мм, а габаритні розміри більшості деталей у плані досягають 500...600 мм.

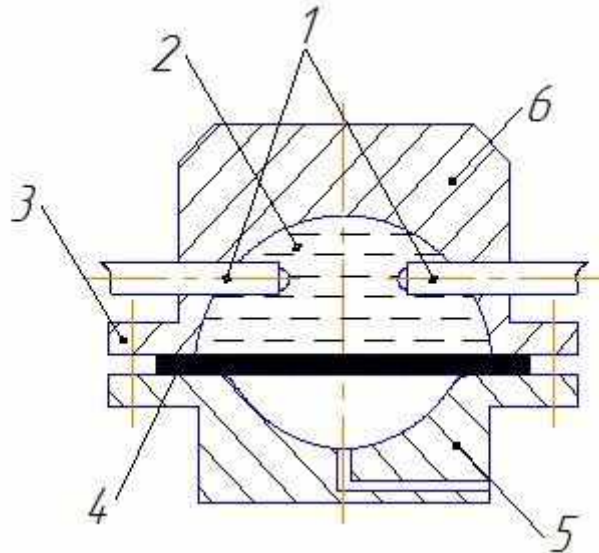


Рис. 1.4. Схема електрогідравлічного формозміння:
 1 – робочі електроди; 2 – вода; 3 – притискач; 4 – заготовка;
 5 – матриця; 6 – закрита камера

Спосіб можна застосовувати як у дрібносерійному, так і крупносерійному і масовому виробництвах (завдяки можливості майже повної автоматизації).

Електрогідравлічний метод обробки має ряд переваг, а саме рівномірне навантаження заготовки, легкість автоматизації процесу, економія часу завдяки скороченню ряду операцій, можливість виготовляти деталі складної форми з однієї заготовки, можливість застосування у звичайних виробничих приміщеннях; спрощується конструкція оснащення, відповідно її вартість нижче, ніж при звичайних способах; виключається можливість пошкодження поверхні штапованої заготовки через відсутність пуансона; простота точного встановлення кількості енергії, що накопичується і витрачається; можливість здійснювати серію розрядів, які ідуть один за одним, що особливо важливо при штампуванні деталей з важкооброблюваних металів.

До недоліків можна віднести те, що установка для електрогідравлічного штампування дорожча за установки для штампування вибухом; розміри і вартість електрогідравлічних установок обмежують енергетичні можливості методу.

1.5. Електромагнітне штампування

Передумовами до створення процесу електромагнітного штампування були наукові дослідження різних фізичних явищ.

Метод полягає в тому, що металеву заготовку поміщають у сильне імпульсне магнітне поле, що створюється за допомогою миттєвого розряду енергії, накопиченої в конденсаторній батареї, на котушку індуктивності.

При цьому в металі заготовки індуються вихрові струми, взаємодія яких зі струмом індуктора приводить до виникнення зусиль, що деформують заготовку (рис. 1.5).

Електрична енергія безпосередньо перетворюється на механічну роботу деформації заготовки.

Електромагнітне штампування застосовують для обтиснення, роздачі трубчастих заготовок, калібрування трубчастих виробів, отримання на деталях рифтів і пукльовок, штампування деталей з плоских заготовок, пробивання отворів у плоских і трубчастих деталях, вирубки, відрізки, чеканки; з'єднання деталей (зрощування трубок, герметичні з'єднання).

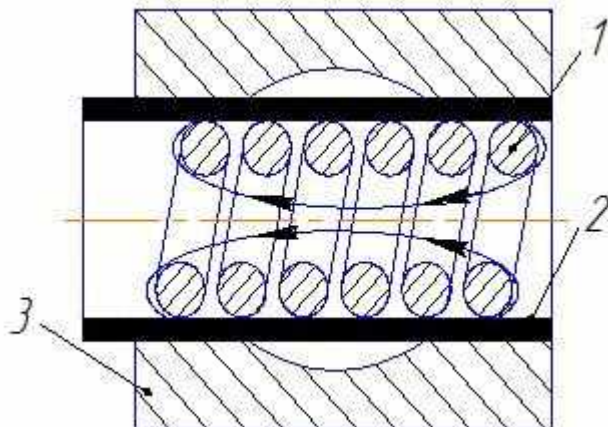


Рис. 1.5. Схема електромагнітного штампування:
1 – індуктор; 2 – заготовка; 3 – матриця (оправка)

Значного поширення набуло оброблення матеріалів і сплавів, що мають високу електропровідність (алюміній, мідь, латунь, маловуглецева сталь).

Переваги методу – велика швидкість формозмінення оброблюваного матеріалу; більш висока продуктивність (порівняно з традиційними методами оброблення деталей); можливість точніше регулювати параметри процесу (порівняно з традиційними методами оброблення деталей), можливість механізації і автоматизації операцій процесу; низька трудомісткість виготовлення деталі, хороші умови праці.

Основні труднощі при впровадженні цього способу в промисловість пов'язані зі створенням стійких індукторів, які надійно працюють, і довговічних триелектродних розрядників великої потужності і високовольтних нагромаджувачів ємностей.

Заготовка повинна мати високу електропровідність, а також відповідну геометрію, що забезпечує безперервність проходження струму, щоб уникнути виникнення нерівномірного тиску при здійсненні процесу.

1.6. Штампування бризантними вибуховими речовинами

Найбільший практичний інтерес для виготовлення крупногабаритних деталей, що виготовляються з високоміцних матеріалів, становить використання як енергоносіїв бризантних вибухових речовин (БВР) [17, с. 28].

Промислове застосування БВР почалося у 50-і роки минулого сторіччя. Це пов'язано з розвитком ракетно-космічної техніки.

Промислові методи були необхідні для дрібносерійного виробництва крупногабаритних, часто деталей складних фасонів з високоміцних матеріалів при підвищених вимогах до точності виготовлення. Застосування вибуху забезпечило можливість промислового виробництва крупногабаритних конструкцій без громіздких прецизійних пресів, верстатів або масивних, складних, точно пригнаних штампів.

Метод полягає у використуванні енергії вибуху БВР, що передається на штамповану заготовку через ударну хвилю і гідропотік, що її супроводжує (рис. 1.6).

Детонацію БВР здійснюють не запалюванням, а за допомогою детонаторів.

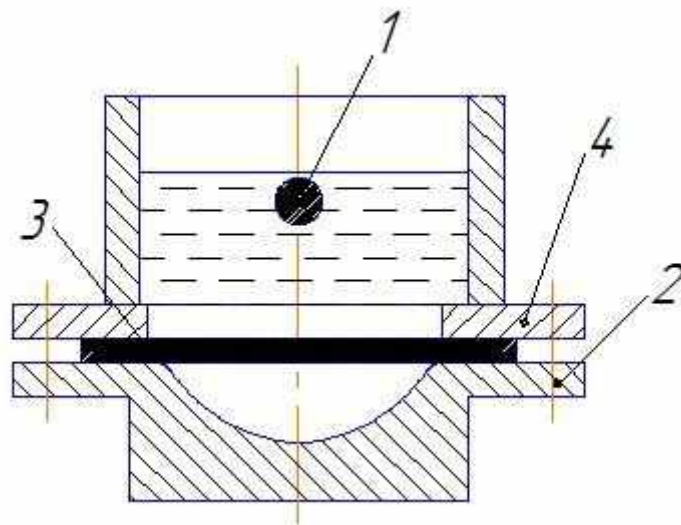


Рис. 1.6. Схема штампування БВР:
1 – заряд ВР; 2 – заготовка; 3 – матриця; 4 – притискне кільце

Процес формоутворення готових деталей з використанням БВР можна здійснити за різними схемами. При цьому можуть використовуватися заряди різної форми, а саме зосереджені й розподілені і їх поєднання. До першої групи належать сферичні, до другої – плоскі, лінійні, кільцеві й складної конфігурації.

Передача енергії від заряду до заготовки здійснюється через тверде, рідке або газоподібне передавальне середовище. Залежно від товщини матеріалу заготовки і схеми реалізації вибухова деформація може проводитися з попереднім вакуумуванням формуютьовальної порожнини матеріалу або без нього. При цьому використовують плоскі заготовки або просторові різної конфігурації.

Процес формоутворення листових деталей з використанням БВР можна підрозділити на формування контактним вибухом – формування накладеною на заготовку листовою вибуховою речовиною і формування вибухом заряду, розташованому на відстані від заготовки, – дистанційне, при цьому заготовки можуть знаходитися у нагрітому або холодному деформованому стані [17, с. 29].

Для попередження втрати стійкості і забезпечення ефективного процесу витяжки фланців заготовки застосовують притискні пристрої.

Деформацію заготовок можна здійснювати у разових басейнах, басейнах з жорсткими стінами і стаціонарних басейнах.

Разові басейни, виготовлені з картону або тонколистового матеріалу, застосовують для виготовлення невеликих партій деталей.

Технологічні процеси виготовлення деталей за допомогою БВР можна проводити в різних установках цехового типу, таких, як стаціонарні басейни, вакуумні камери, бронекамери, бронелями.

Сучасні бризантні речовини випускаються у вигляді порошку, пресованих брикетів (шашок), литих зарядів різної форми, пластичних або еластичних листів і шнурів (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Види бризантних вибухових речовин

Найменування вибухової речовини	Стан	Густина, г/см ³	Теплота вибуху, Ккал/кг	Швидкість детонації, м/с	Термін зберігання
Тротил	Литий	1,5-1,58	1010	6700-6800	Не обмежений
Тротил	Пресований	1,45-1,5	1010	5700-6000	Не обмежений
Амоніт	Пресований	1,49	1270	6000-6900	6 місяців
Димний порох	Розсип	1,6	720	400	Не обмежений

Залежно від чутливості до зовнішньої дії БВР підрозділяють на первинні й вторинні. До первинних, або ініціюючих, ВР належать гримуча ртуть і азид свинцю. До вторинних вибухових речовин відносять тротил і його похідні, амоніт, ТЕН, гексоген.

Область застосування методу: деталі необмежених габаритних розмірів з високоміцних матеріалів будь-якої товщини, крупногабаритні деталі з плоских і просторових заготовок, таких, як днища і обичайки. Метод застосовують для штампування жорсткостей, відбортовування, калібрування, місцевого штампування, пробивання отворів, а також для поєднання витяжки з відбортовуванням, витягування з пробиванням, формування, роздачі, гнуття, редукування.

Цим методом виготовляють деталі найрізноманітніших конфігурацій і розмірів з плоских і фасонних (циліндричних, конічних) листових заготовок з кольорових металів, сталі, високоміцних алюмінієвих і титанових сплавів. Метод можна використовувати для вирізання контурним зарядом, отримання попередніх отворів під лючки, вікна й інші вирізи в плоских листах і деталях складної форми з високоміцних матеріалів.

Основні переваги методу: простота і низька вартість оснащення і устаткування через відсутність пуансона; можливість виготовлення листових деталей, що відрізняються великою точністю як розмірів, так і форми; метод у багатьох випадках дозволяє отримати значний економічний ефект; потужність енергоносія необмежена, тому, збільшуючи вагу заряду ВР, можна створити і прикласти до формованої деталі тиск будь-якої величини, що дозволяє здійснювати штампування великогабаритних деталей з високоміцних сталей і сплавів.

Обмеженням при цьому є лише міцність оснащення – матриці, в якій відбувається калібрування.

До недоліків можна віднести велику витрату вибухового матеріалу; миттєве наростання і зняття навантаження, що може призвести до руйнувань матеріалу; трудомісткість виготовлення суцільнолитих матриць для штампування великогабаритних деталей (лиття і термообробки), необхідність застосування у ряді випадків унікального устаткування для механічного оброблення матриць, велика вага і трудність їх транспортування; великі швидкості деформації металу заготовки можуть призвести до руйнування деталі (необхідно правильно розрахувати відстань від заряду до заготовки); складність оброблення деталей невеликих розмірів (наприклад, лопаток).

До недоліків бризантних ВР як енергоносіїв у штампувальних операціях можна також віднести деяку утрудненість, пов'язану з їх зберіганням і використанням у цехових умовах, а також збільшення порівняно зі штампуванням на пресах для ряду деталей підготовчо-заключного часу.

1.7. Обґрунтування і вибір високошвидкісних процесів деформації

Різні джерела енергії, що застосовують для високошвидкісної деформації, з одного боку, сприяють розширенню можливостей металообробки, але у той же час ускладнюють вибір процесу, який використовують для конкретного випадку. Високошвидкісну деформацію з використанням як джерела енергії БВР, металної ВР, стиснутого газу, високовольтного розряду в рідині й електромагнітного поля можна застосовувати для листового штампування.

Проте, визначальним у виборі оптимального для даного конкретного випадку методу є економічний чинник і його слід ретельно проаналізувати.

Бризантні ВР є самим придатним джерелом енергії для процесів високошвидкісної деформації. Їх можна використовувати для здійснення штампування як у відкритих, так і закритих порожнинах.

Не менш важливою перевагою цього способу є практично необмежені габарити деталей, що виготовляються.

Іншою перевагою БВР є можливість застосування в різних формах – у вигляді різної форми зарядів (сферичній, лінійній, листовій, рідкій).

Іншими словами, для кожної формоутворювальної операції можна виготовити відповідну оптимальну форму заряду.

Методи вибухового штампування з використанням металевих ВР хоча і успішно застосовують у промисловому виробництві, але вони потребують усе складніших і більш дорогих установок, мають обмежену енергоємність, обмежене застосування через габарити, матеріали і конфігурації виробів, що виготовляються.

Електрогідравлічне штампування є більш придатним для виробничих ліній, ніж вибухові методи, проте енергетичні можливості методу обмежені. Хоча експлуатаційні витрати невеликі, необхідні значні капітальні вкладення. Таким чином, електрогідравлічне штампування використовують переважно у разі виготовлення невеликих і середніх деталей, що потребують незначної енергії деформації.

Електромагнітне штампування, як і електрогідравлічне, є більш придатним для існуючих виробничих автоматичних ліній. Магнітне поле забезпечує приблизно таку ж густину енергії, як і підривання БВР, проте це складно і дорого. Тому процеси з використанням електромагнітного штампування ведуться при значно меншій густині енергії, але все ж таки еквівалентній тиску, достатньому для деформації заготовок з широко поширених матеріалів невеликої товщини.

У таких випадках до джерела енергії установок для електромагнітного штампування ставляться менші вимоги, ніж для електрогідравлічного штампування, оскільки рівень енергії, що потребується, значно нижче.

Ключовою проблемою процесу електромагнітного штампування є конструкція робочого органа – індуктора, оскільки він зазвичай зазнає таких саме навантажень, що й оброблюваний матеріал.

Щодо використання зріджених газів і детонаційних газових сумішей можна сказати, що вони обмежені за енергоємністю, їх доцільно застосовувати для виготовлення тонколистових деталей обмежених розмірів.

Таким чином, проведений аналіз показав, що найпереважнішим, універсальним методом деформації металів імпульсними навантаженнями є використання енергії БВР, більш широке упровадження якого потребує проведення додаткових досліджень.

2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБІННИХ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

Деталі з листа, які використовують у конструкціях авіаційних газотурбінних двигунів, можна згрупувати за загальними конструктивними, технологічними, конструкторсько-технологічними ознаками, точнісними характеристиками, механічними і фізико-механічними властивостями матеріалів.

Розкриттю принципів форм з великою кількістю конструктивних особливостей з метою встановлення можливостей їх виготовлення проце-

сами штампування з використанням БВР якнайповніше відповідає класифікація деталей з листа за конструктивними і технологічними ознаками.

Конструктивні форми стабільні і не схильні до змін залежно від вигляду і технічних можливостей громадянського виробництва.

Класифікація за загальними конструктивними ознаками дозволяє систематизувати різноманіття форм не тільки деталей, які використовують нині у конструкціях авіаційних двигунів, але й тих, що можуть бути застосовані в майбутньому. У цей час їх обмежено застосовують через відсутність технологічних рішень їх виготовлення.

Що стосується класифікації за загальними технологічними ознаками, що базується на використовуваному технологічному процесі, то вона має строго довільний характер і потребує ретельного техніко-економічного порівняння.

Класифікація листових деталей авіадвигунів за загальними конструктивно-технологічними ознаками дозволяє обумовити основні технологічні задачі, що охоплюють у комплексі повне використання технологічних можливостей усіх процесів штампування бризантними вибуховими речовинами.

Питання класифікації листових деталей авіадвигунів, що виготовляються за допомогою енергії БВР, розглядалися в роботі [2], в якій розроблено рекомендації (рис. 2.1, табл. 2.1), згідно з якими всі технологічні процеси формоутворення розділено на три класи залежно від форми заготовки, складності й габаритів деталей:

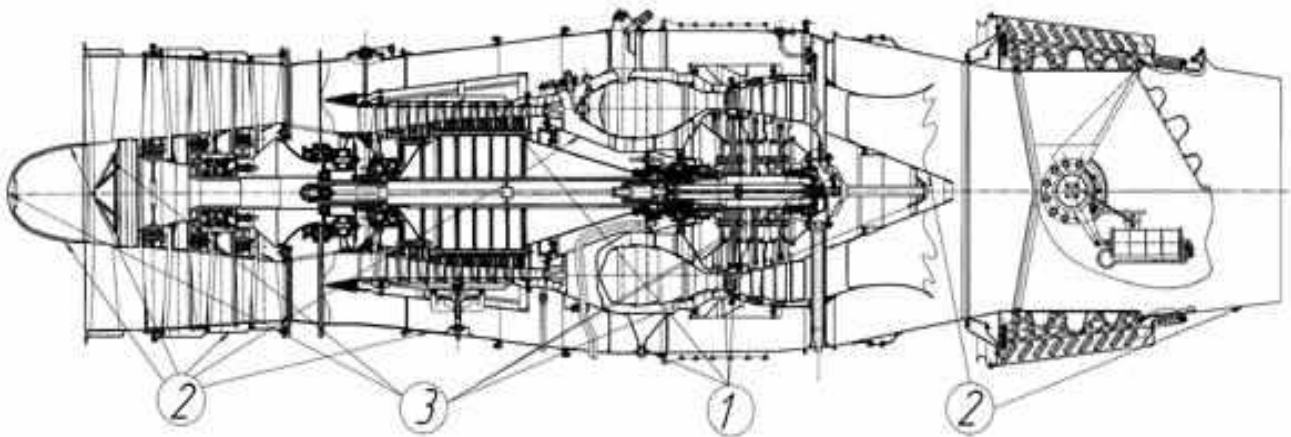


Рис. 2.1. Класифікація деталей двигуна і форм заготовок для виготовлення штампуванням вибухом:

1 – циліндричні; 2 – конічні; 3 – плоскі

1-й клас – деталі, що одержують з циліндричних заготовок;

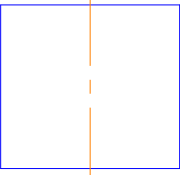
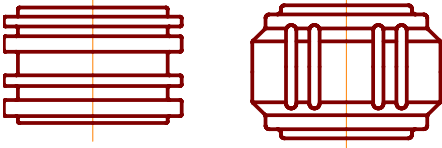
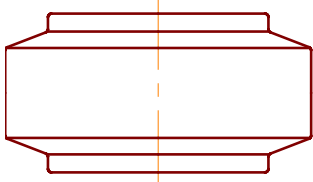
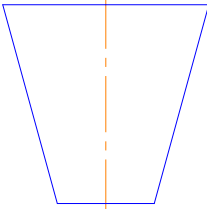
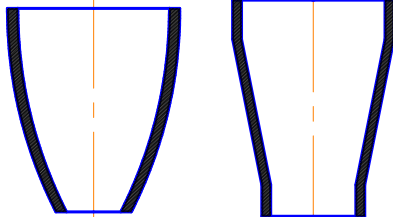
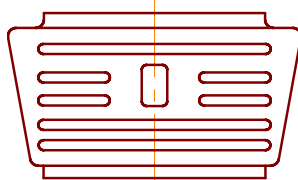
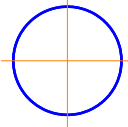

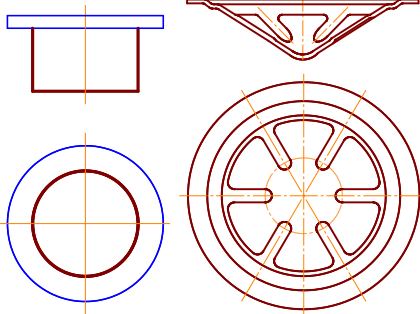
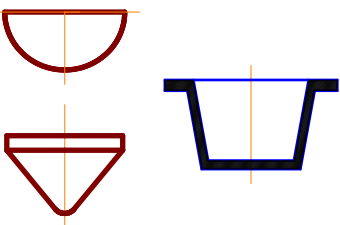
2-й клас – деталі, що виготовляють з конічних заготовок;

3-й клас – деталі, штамповані з плоских заготовок.

Деталі 1-го та 2-го класів виготовляють шляхом роздачі циліндричних і конічних заготовок з прямолінійною і криволінійною кривизною твірної, одинарною і подвійною кривизною, вісесиметричних і несиметричних, з гладкою поверхнею і складним рельєфом.

Таблиця 2.1

Основні типи деталей двигунів і заготовок, штампованих вибухом

Клас	Класифікація деталей і форма заготовки	Класифікація процесу	Форми деталей	Назва деталей
1	Деталі замкнутого контуру одинарної кривизни з рифтами  Циліндр	Роздача з формуванням рифтів радіальних і осьових		Компенсатор, жарова труба, кожух
		Роздача з формуванням виштамповок подвійної кривизни		Кожух додаткової камери колектора
2	Деталі замкнутого контуру подвійної кривизни  Конус	Формування деталей подвійної кривизни		Кожух жарової труби фронтального пристрою
		Формування деталей подвійної кривизни з рифтами і виштамповками		Кожух додаткової камери колектора газозбірника
3	Деталі незамкнутого контуру   Площина	Проста витяжка Формування одинарної кривизни		Коки, панелі жорсткості, ковпаки, дефлектори
		Глибока витяжка Формування подвійної кривизни		Діафрагми, стабілізатори, стіни, кільця, сектори

З плоских заготовок шляхом штампування-витягування і формування виготовляються деталі одинарної і подвійної кривизни, з гладкою поверхнею і складним рельєфом.

У табл. 2.1 показано типові деталі двигунів, які виконують штампуванням вибухом.

Процеси отримання листових деталей вибухом з циліндричних і конічних заготовок у технологічному плані за оснащенням, схемами деформування, величиною заряду мають належний рівень рішення (опрацьовування), чого не можна сказати про деталі третьої групи, однією з проблем для яких є притиснення фланця при штампуванні-витяжці. Вирішенню в першому наближенні питань з розроблення установки для виготовлення листових деталей штампуванням-витяжкою з використанням для притиснення фланця заготовки енергії основного заряду БВР і присвячено наступний розділ.

3. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ ВИБУХОМ

Важливою перевагою процесу листового штампування вибухом є можливість керування процесом деформації шляхом вибору основних технологічних параметрів.

До них належать тип ВР і маса заряду, форма заряду і відстань від заряду до заготовки, тип передавального середовища і відстань від заряду до граничних поверхонь передавального середовища і деякі інші чинники.

Одним з основних параметрів процесу є величина заряду бризантної ВР, яка має бути мінімальною для здійснення такого формозмінення.

Якщо маса заряду менше мінімальної необхідної, деталь не буде повністю оформленою. Зайве збільшення маси заряду призведе до передчасного спрацювання оснащення і вибухової установки.

Нині відомо декілька методик визначення величини заряду.

Самим розробленим є енергетичний метод, оснований на рівності енергії, потрібної для деформації, і енергії, що виділяється для вибуху заряду ВР з урахуванням втрат, що мають місце.

Нижче наведено методику визначення енергії деформації при листовому штампуванні-витяжці вісесиметричних деталей, роздачі циліндричних або конічних заготовок з отриманням обичайок відповідної форми.

3.1. Загальні принципи визначення енергії деформації

Питому енергію деформації можна визначити з діаграми істинних напружень $\sigma = f(\epsilon)$ (рис. 3.1) за формулою

$$a = \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon, \text{ Н/м}^2. \quad (3.1)$$

Для визначення питомої енергії деформації необхідно знати функціональну залежність між істинним напруженням σ і деформацією ϵ .

Для більшості металів і сплавів цю залежність достатньо точно можна визначити за рівнянням

$$\sigma = \beta \varepsilon^\alpha. \quad (3.2)$$

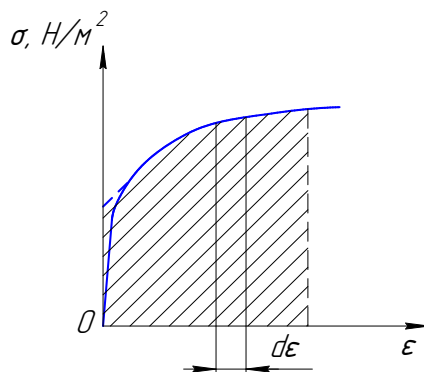


Рис. 3.1. Діаграма напруження – деформація

Підставляючи рівняння (3.2) в рівняння (3.1) і інтегруючи, отримаємо

$$a = \int_0^\varepsilon \sigma d\varepsilon = \int_0^\varepsilon \beta \varepsilon^\alpha d\varepsilon = \frac{\beta \varepsilon^{1+\alpha}}{1+\alpha}, \text{ Н/м}^2. \quad (3.3)$$

Для визначення питомої енергії деформації за будь-якою схемою напружено-деформованого стану необхідно замість деформації при лінійній схемі напруженого стану ε підставити інтенсивність деформації ε_i , яка відповідає цій схемі напруженого стану [17, с. 69]:

$$a_i = \frac{\beta \varepsilon_i^{1+\alpha}}{1+\alpha}, \text{ Н/м}^2. \quad (3.4)$$

У табл. 3.1 наведено значення α і β для деяких матеріалів.

Константа матеріалу α визначається як показник механічного зміцнення і характеризує нахил кривої «напруження – пластична деформація».

Таблиця 1.1

Характеристики матеріалів

Матеріал	β , кгс/мм ²	α
Ст3	59	0,23
Сталь 20	89	0,21
Сталь 12Х18Н9Т	118	0,29
Дуралюмін Д16АМ	33	0,15
Амг6	70	0,29
Дуралюмін В95	36	0,17
Титановий сплав ОТ4	72	0,062
Титановий сплав ОТ4-1	120	0,18
ИЕ5-1	115	0,08
АмцАМ	19,9	0,15
Сталь 30ХГСА	110	0,15

Дати просте визначення константи матеріалу досить важко, проте можна вважати, що вона є істинним напруженням, що відповідає істинній деформації, яка дорівнює 100 %.

Повна робота пластичної деформації при формоутворенні деталі визначається як добуток питомої енергії деформації a_i на об'єм деформованої заготовки V :

$$A = a_i V, \text{ Дж.} \quad (3.5)$$

Визначення об'єму заготовки, що піддається деформації, не викликає труднощів [17, с. 70]. Способи визначення питомої енергії деформації розглянуто нижче.

3.1.1. Визначення роботи деформації при роздачі циліндричної оболонки

При роздачі циліндричної оболонки кожна частинка заготовки переходить на контур (профіль) деталі по складній траєкторії. Тому математична інтерпретація процесу надзвичайно складна і здійснити її можна тільки за певних допущень.

У загальному випадку деформація стану металу описується симетричним тензором деформацій (рис. 3.2), який може бути складений з компонентів деформації: ϵ_{ll} , $\epsilon_{\varphi\varphi}$, ϵ_{rr} , ϵ_{lr} , $\epsilon_{\varphi r}$, ϵ_{rl} , $\epsilon_{l\varphi}$. При цьому деформації $\epsilon_{l\varphi}$ і $\epsilon_{\varphi r}$ дорівнюють нулю унаслідок симетричності процесу роздачі; ϵ_{rl} дорівнює нулю за гіпотезою плоских перерізів, яка виконується для тонкостінних оболонок.

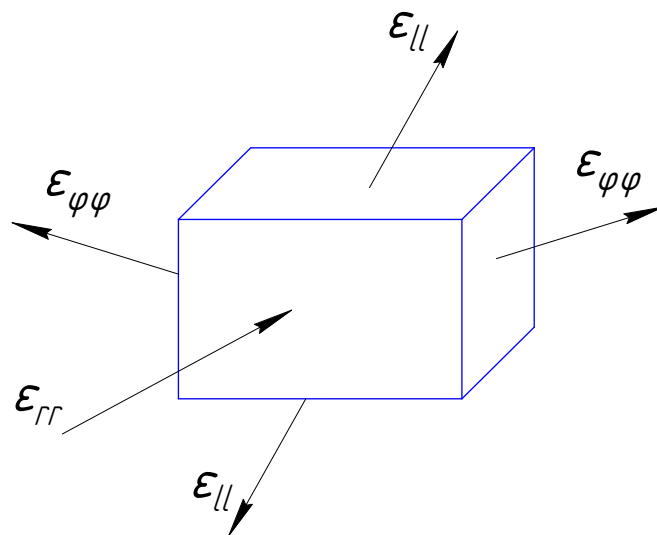


Рис. 3.2. Напрямы деформації матеріалу

У припущенні, що при симетричній роздачі деформації окрім головних напрямів відсутні, деформований стан оболонок характеризується трьома деформаціями:

– широтна, або тангенціальна,

$$\epsilon = \ln \frac{D}{D_0} = \ln \frac{2\pi \cdot r}{2\pi \cdot r_0} = \ln \frac{r}{r_0}, \quad (3.6)$$

де D – довжина кола деформованої оболонки, м;
 D_0 – довжина дуги початкової оболонки, м;
– радіальна, або нормальна,

$$\varepsilon_{rr} = \ln \frac{r}{r_0}; \quad (3.7)$$

– деформація уздовж твірної ε_{\parallel} .

На рис. 3.3 подано схему роздачі циліндричної оболонки і епюру розподілу дійсної деформації по деформівній деталі.

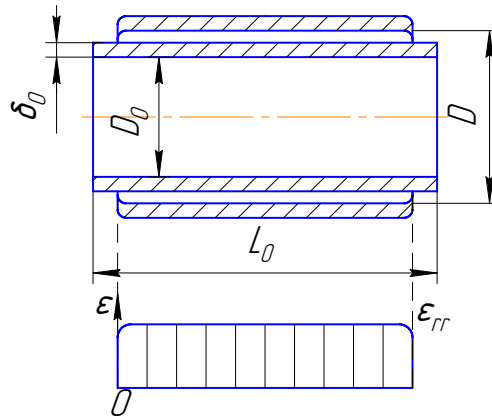


Рис. 3.3. Розподіл деформацій по довжині деталі

З умови вільного переміщення торців деформація уздовж твірної ε_{\parallel} дорівнюватиме нулю:

$$\varepsilon_{\parallel} = 0. \quad (3.8)$$

З урахуванням (3.8) матеріал заготовки знаходиться у плоскому деформованому стані.

Виходячи з умови постійності об'єму, запишемо

$$\varepsilon_{\parallel} + \varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\varphi\varphi} = 0, \quad (3.9)$$

звідси

$$\varepsilon_{\varphi\varphi} = -\varepsilon_{rr}. \quad (3.10)$$

Тоді інтенсивність деформації є другим інваріантом девіатора і в головних деформаціях має вигляд

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_{\varphi\varphi} - \varepsilon_{rr})^2 + (\varepsilon_{rr} - \varepsilon_{\parallel})^2 + (\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\varphi\varphi})^2}, \quad (3.11)$$

з урахуванням (3.9) і (3.11) отримаємо

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{r}{r_0}. \quad (3.12)$$

Питому роботу деформації знаходимо за залежністю

$$a_i = \frac{\beta}{1+\alpha} \varepsilon_i^{1+\alpha} = \frac{\beta}{1+\alpha} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{r}{r_0} \right)^{1+\alpha}. \quad (3.13)$$

Робота, необхідна для деформації обичайки, являє собою добуток питомої роботи на об'єм:

$$A = \frac{\beta}{1 + \alpha} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{r}{r_0} \right)^{1 + \alpha} \cdot V, \text{ Дж}, \quad (3.14)$$

де $V = \pi D_0 l_0 \delta_0$ – об'єм обичайки, м³.

3.1.2. Визначення роботи деформації при штампуванні деталей з плоских заготовок

3.1.2.1. Визначення роботи деформації круглої заготовки, затисненої по контуру

Оскільки витяжка заготовок з-під фланця відсутня, заготовка набуває сферичної форми під дією рівномірно розподіленого тиску при стоншуванні матеріалу (рис. 3.4). У цьому випадку деформацію у будь-якій точці сфери (r) виражаємо через максимальну деформацію в центрі ϵ_{max} за залежністю

$$\epsilon_1 \approx \epsilon_2 = \epsilon \approx \epsilon_{max} \left(1 - \frac{r^2}{r_0^2} \right), \quad (3.15)$$

де r_0 – радіус сфери, м.

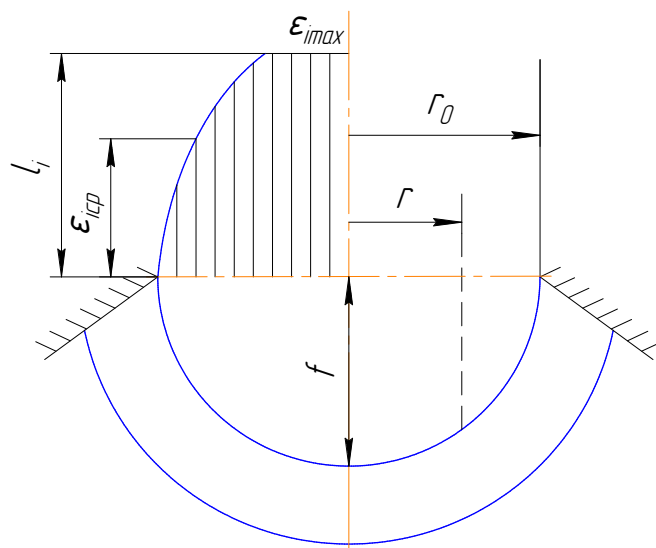


Рис. 3.4. Схема деформації круглої заготовки, затисненої по контуру

Приймаємо також, що максимальну деформацію ϵ_{max} визначають з виразу

$$\epsilon_{max} = \frac{f^2}{r_0^2}, \quad (3.16)$$

де f – прогинання в центрі купола, м.

Оскільки об'єм заготовки при деформації залишається незмінним, то

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0, \quad (3.17)$$

де $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ – деформація по трьох взаємно перпендикулярних осях.

Звідси визначаємо деформацію ϵ_3 , яка характеризує стоншування матеріалу:

$$\varepsilon_3 = -2\varepsilon. \quad (3.18)$$

Підставимо значення деформацій ε_1 , ε_2 (3.15), ε_{max} (3.16) і ε_3 (3.18) у вираз для інтенсивності деформацій

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}, \quad (3.19)$$

отримаємо

$$\varepsilon_i = 2\varepsilon. \quad (3.20)$$

Інтенсивність деформації – величина змінна і змінюється від $\varepsilon_i = 0$ при $r = r_0$ до $\varepsilon_i = \varepsilon_{imax}$ при $r = 0$. З достатньою для практики точністю можна визначити середню інтенсивність деформації

$$\varepsilon_{icp} = \frac{4}{3} \cdot \frac{f^2}{r_0^2}, \quad (3.21)$$

або

$$\varepsilon_{icp} = \ln \left(1 + \frac{4}{3} \cdot \frac{f^2}{r_0^2} \right). \quad (3.22)$$

Енергію, потрібну для утворення півсфери, визначаємо за формулою

$$A_{сф} = \frac{\beta}{1+\alpha} \left(1 + \frac{4}{3} \cdot \frac{f^2}{r_0^2} \right)^{1+\alpha} \cdot \pi r_0^2 \delta, \text{ Дж}, \quad (3.23)$$

де δ – товщина заготовки, м [23, с. 72].

3.1.2.2. Визначення енергії деформації круглої заготовки при штампуванні-витяжці (з переміщенням фланця)

Повна енергія деформації складається з енергії утворення сфери, енергії деформації фланця, енергії, необхідної для перегину матеріалу на протяжному ребрі матриці, і енергії, потрібної на подолання сил тертя (рис. 3.5).

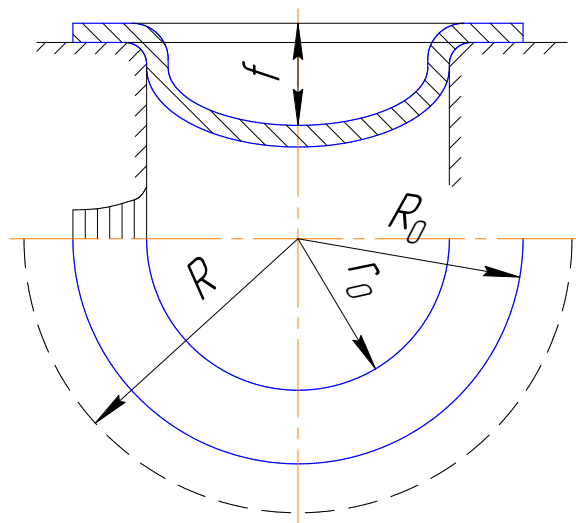


Рис. 3.5. Схема деформації круглої заготовки при штампуванні-витяжці з переміщенням фланця

Енергію формоутворення сфери визначають за формулою (3.23), величину прогинання f у цьому випадку – як різницю між глибиною виробу z і висотою пояса h , утвореного внаслідок переміщення фланця:

$$f = \frac{D_0^2 - D_\phi^2 + 1,7d\rho - 0,65\rho^2}{4D_0}, \quad (3.24)$$

де D_0 – діаметр заготовки, м;

D_ϕ – діаметр фланця, м;

d – діаметр виробу, м;

ρ – радіус закруглення протяжного ребра матриці, м.

Для визначення середньої інтенсивності деформації фланця можна використати вираз

$$\varepsilon_{icp} = \frac{2}{\sqrt{3}(K_\phi - 1)} \left[K_\phi \ln \frac{K_0}{K_\phi} - \frac{1}{2} \ln(K_0^2 - K_\phi^2 + 1) + \sqrt{K_0^2 - K_\phi^2} \arccos \frac{K_0^2 - K_\phi^2 + 1}{K_0 \sqrt{K_0^2 - K_\phi^2 + 1}} \right], \quad (3.25)$$

де $K_\phi = \frac{R}{r_0}$ – коефіцієнт витягування фланця;

$K_0 = \frac{R_0}{r_0}$ – початковий коефіцієнт витягування.

Приблизно, але достатньо точно, середню інтенсивність деформації можна визначити за більш простою формулою

$$\varepsilon_{icp} = \frac{K_0 - K_\phi}{K_0 - 1} \ln K_0. \quad (3.26)$$

Об'єм матеріалу фланця, м³:

$$V = \pi(R_0^2 - r_0^2) \delta = \pi r_0^2 (K_0^2 - 1) \delta. \quad (3.27)$$

Енергія деформації фланця визначається виразом

$$A = \frac{\beta}{1 + \alpha} \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{K_0 - K_\phi}{K_0 - 1} \ln K_0 \right]^{1 + \alpha} \pi r_0^2 (K_0^2 - 1) \delta, \text{ Дж.} \quad (3.28)$$

Енергію, необхідну для подолання сил тертя і перегину матеріалу на протяжному ребрі, розрахувати складно, тому у вираз для енергії вводяться поправкові коефіцієнти K_r і K_T , які враховують цей вид енергії.

Рівняння для визначення енергії деформації фланця має вигляд

$$A_\phi = \frac{K_r \cdot K_T \cdot \beta}{1 + \alpha} \left[1,15 \frac{K_0 - K_\phi}{K_0 - 1} \ln K_0 \right]^{1 + \alpha} \pi r_0^2 (K_0^2 - 1) \delta, \text{ Дж.} \quad (3.29)$$

Значення коефіцієнта K_T , який враховує енергію, потрібну для подолання сил тертя, коливаються від $K_T = 1,1$ при мастилі оптимальної в'язкості до $K_T = 1,3$ при штампуванні без мастила.

Значення коефіцієнта K_r , що враховує енергію перегину на протяжному ребрі матриці, залежать від радіуса протяжного ребра ρ і становлять $K_r = 1,15$ при $\frac{\rho}{\delta} > 4$ [17, с. 76].

3.1.3. Визначення енергії деформації при штампуванні параболічних обичайок

Заготовкою для параболічної обичайки може бути зварний корпус (рис. 3.6).

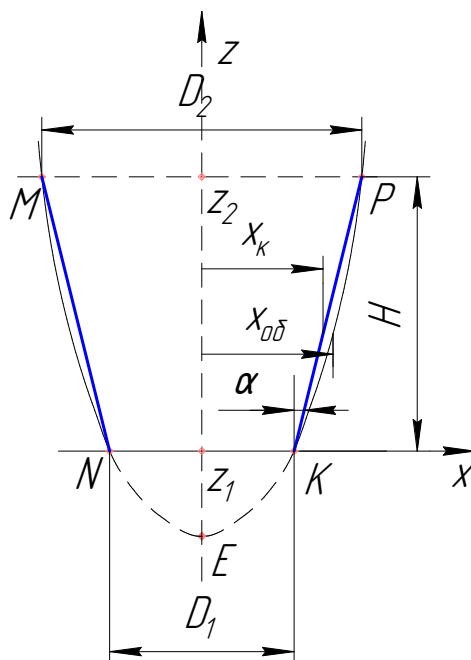


Рис. 3.6. Заготовка параболічної обичайки

Рівняння параболи в загальному вигляді має вигляд

$$z = ax^2 + bx + c. \quad (3.30)$$

Оскільки парабола симетрична відносно осі z , то при $x = 0$ і $b = 0$, $z = c$ (c -ордината вершини параболи E)

$$z = ax^2 + c. \quad (3.31)$$

Знаючи геометричні розміри конічної заготовки і параболічної обичайки (діаметри D_1 і D_2 , висоту H), тобто координати точок K і P , можна визначити значення коефіцієнтів a і c :

$$\text{при } z = z_1 = 0, \quad x = x_1 = \frac{D_1}{2} \quad c = -\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 a;$$

$$\text{при } z = z_2 = H, \quad x = x_2 = \frac{D_2}{2}$$

$$H = \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 a + c = \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 a - \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 a = a \left[\left(\frac{D_2}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 \right],$$

$$\text{звідси } a = \frac{H}{\left(\frac{D_2}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_1}{2}\right)^2} = \frac{4H}{D_2^2 - D_1^2}.$$

Підставивши значення a у вираз для c , отримаємо

$$c = -\frac{H \cdot D_1^2}{D_2^2 - D_1^2}.$$

Рівняння параболи набуває вигляду

$$z = \frac{4H}{D_2^2 - D_1^2} x^2 - \frac{HD_1^2}{D_2^2 - D_1^2} = \frac{H}{D_2^2 - D_1^2} (4x^2 - D_1^2). \quad (3.32)$$

Виходячи з (3.32), абсциса поточної точки параболічної заготовки має вигляд

$$x_{об} = \sqrt{\frac{D_1^2}{4} + \frac{z(D_2^2 - D_1^2)}{4H}} = \sqrt{\frac{x_1^2}{16} + \frac{z(x_2^2 - x_1^2)}{16H}} = \frac{1}{4} \sqrt{x_1^2 + \frac{z(x_2^2 - x_1^2)}{H}}.$$

Рівняння твірної конуса – це рівняння прямої лінії, що проходить через дві точки з координатами $(x_1; z_1)$ і $(x_2; z_2)$ (конічна заготовка), яке має вигляд

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1}. \quad (3.33)$$

Абсцису поточної точки конічної заготовки визначають за залежністю

$$x_k = (x_2 - x_1) \frac{z - z_1}{z_2 - z_1} + x_1, \quad z_1 \leq z \leq z_2. \quad (3.34)$$

Якщо нехтувати зсувом відповідних точок конічної заготовки по висоті при перетворенні на параболічну обичайку, окружну деформацію в будь-якій точці можна визначити з виразу

$$\varepsilon_1 = \ln \frac{x_{об}}{x_k}. \quad (3.35)$$

Значення середньої окружної деформації $\varepsilon_{1ср}$ визначають шляхом інтеграції окружної деформації по висоті обичайки H :

$$\varepsilon_{1ср} \approx \frac{\int_{z_1}^{z_2} \ln \frac{x_{об}}{x_k} dz}{H}. \quad (3.36)$$

Якщо прийняти, що довжина заготовки твірної L у процесі деформації не змінюється, має місце плоский деформований стан ($\varepsilon_2 = 0; \varepsilon_3 = -\varepsilon_1$) і вираз для середньої інтенсивності деформації матиме вигляд

$$\varepsilon_{1\text{сеп}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_{1\text{сеп}} \cdot \quad (3.37)$$

Робота деформації одиничного об'єму визначається виразом

$$a = \frac{B}{\alpha + 1} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_{1\text{сеп}} \right)^{\alpha + 1} \cdot \quad (3.38)$$

Повна робота, необхідна для деформації конічної обичайки, дорівнюватиме добутку питомої роботи на об'єм деформівного металу (рис. 3.7):

$$A = \frac{\pi B \delta H}{\alpha + 1} (R + r) \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \varepsilon_{1\text{сеп}} \right)^{\alpha + 1}, \quad (3.39)$$

де R – радіус основи конуса;
 r – радіус зрізаного конуса;
 H – висота зрізаного конуса;
 δ – товщина листа.

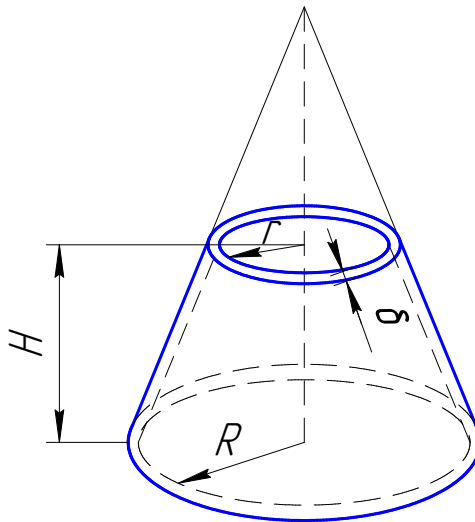


Рис. 3.7. Конічна обичайка

Величина заряду

$$G = \frac{W}{\eta IQ}, \quad (3.40)$$

де I – механічний еквівалент теплоти, Дж/ккал;
 η – коефіцієнт корисної дії;
 Q – питома теплота вибуху, ккал/кг.

3.2. Розрахунок маси заряду вибухової речовини при штампуванні деталей з плоских заготовок

Одним з основних параметрів, що визначає успішне застосування процесу вибухового штампування, є величина заряду, необхідного для отримання деталі. Від правильного його визначення залежить якість виробу, вартість виготовлення, стійкість оснащення. Можна сказати, що вага заряду визначає техніко-економічні показники процесу.

В основу запропонованої методики розрахунку покладено відомий принцип, що полягає у рівності робіт внутрішніх і зовнішніх сил.

Для визначення величини заряду бризантної вибухової речовини потрібно поставити у відповідність значення роботи пластичної деформації і енергії заготовки, що поглинається, при вибуху заряду в конкретних умовах, обумовлених вибором технологічної схеми. На практиці при проведенні процесу штампування використовують різні схеми, які відрізняються:

- за формою вживаного розряду (сферичний, лінійний);
- за типом контейнера для передавального середовища (разові, стаціонарні, мікробасейни, вибухові камери з жорсткими стінами);
- за конструкцією матриці для штампування (зі спрямовувальною вставкою і вільним відбортюванням без неї).

Зі всього різноманіття зазначених схем обмежимося розглядом випадку з використанням сферичного заряду і стаціонарного басейну.

Проведемо розрахунок, вважаючи деталь сферичним сегментом.

Для оцінювання величини заряду бризантної вибухової речовини використаємо залежність, запропоновану Р. В. Піхтовниковим і В. І. Зав'яловою [17], яка має такий вигляд:

$$G = \left(\frac{a \cdot \delta \cdot L_0^{1,76}}{1 - v^2} M \right)^{0,8}, \quad (3.41)$$

де G – маса заряду, кг;

L_0 – дистанція підриву заряду, м;

δ – товщина заготовки, м;

a – енергія деформації заготовки, віднесена до поверхні заготовки, що змочується водою (Н•м)/м²;

v – коефіцієнт відбиття ударної хвилі від заготовки, який дорівнює відношенню тиску в подавальній і відбитій хвилях;

M – константа для кожного матеріалу заготовки, яка залежить від його щільності.

Значення v знаходимо за формулою

$$v = \frac{\varphi}{2} (1 + e^{-\beta}). \quad (3.42)$$

Тут φ – коефіцієнт відбиття ударної хвилі:

$$\varphi = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\rho c - \rho_0 c_0}{\rho c + \rho_0 c_0}; \quad (3.43)$$

β – коефіцієнт, що ураховує жорсткість заготовки :

$$\beta = \frac{\rho_0 c_0 \theta}{\rho S}, \quad (3.44)$$

де ρ, ρ_0 – щільність матеріалу заготовки і передавального середовища;

c, c_0 – швидкість звуку в заготовці й передавальному середовищі відповідно;

S – товщина заготовки;

θ – характеристичний час.

Величину θ для сферичного заряду визначаємо за залежністю

$$\theta = 10^{-4} G^{\frac{1}{3}} \left(\frac{R}{G^{\frac{1}{3}}} \right)^{0,24}, \text{ с}, \quad (3.45)$$

де R – дистанція вибуху, м;

G – вага (маса) заряду, кг.

Значення параметрів для знаходження величини заряду різних видів матеріалу заготовки подано у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Характеристики матеріалів для знаходження величини заряду

Найменування сплаву	ρ , кг·с ² /см ³	φ	$1 - v^2$ при $v > 2$	M
Алюмінієві сплави	$2,8 \cdot 10^{-6}$	0,840	0,824	$79 \cdot 10^{-6}$
Титанові сплави	$4,5 \cdot 10^{-6}$	0,865	0,813	$128 \cdot 10^{-6}$
Сталі	$7,8 \cdot 10^{-6}$	0,936	0,781	$222 \cdot 10^{-6}$

3.2.1. Розроблення програми розрахунку заряду

Керуючись розглянутою вище методикою, складемо програму на мові програмування Turbo Pascal 5.5.

Текст програми наведено нижче. Цей програмний продукт, блок-схему якого подано на рис. 3.8, дозволяє проводити розрахунок маси заряду за 10 діаметрами заготовки для 10 значень товщини одночасно (рис. 3.9 – 3.12).

Програма дозволяє вводити дані (табл. 3.3) як з файла Explo.dat, так і безпосередньо з клавіатури (за вибором користувача).

Результати розрахунку виводяться одночасно на екран монітора і у файл Explo rez. Виконуваний файл – Explo.exe. Для успішної роботи необхідна наявність файла Explo.dat в одній директорії з файлом Explo.exe. Файл Explo.dat є текстовим файлом з поперемінними рядками коментарів і рядками числових даних. У разі введення декількох чисел в одному рядку їх необхідно відділяти пропусками.

Нижче наведено початкові дані (файл Explo.dat), результат розрахунку і побудовані за ними графіки залежності енергії деформації і маси заряду W_P від діаметра заготовки для різної товщини заготовки (рис. 3.13 – 3.18).

Розрахунки проводилися для шести діаметрів заготовки при чотирьох різних значеннях товщини. Розглядалися три види матеріалів: сталь 30, ВТ-1, 12Х18Н10Т. При побудові графіків використовувався графічний пакет для персональної ЕОМ типу IBM Hard Graphics.

Таблиця 3.3

Список ідентифікаторів, які використовуються у програмі Expro

Найменування величин	Позначення	Ідентифікатор
Діаметр отвору матриці	Д	D
Дистанція підриву заряду	L_0	L0
Висота циліндричного поясочка матриці	h	H
Кінцевий прогин заготовки	b	F
Радіус закруглення перетяжного ребра	ρ	RO
Константа матеріалу заготовки	μ	MU
Коефіцієнт відбиття ударної хвилі	v	NU
Стала, що характеризує властивості матеріалу	B	B
Стала властивостей матеріалу	α	ALF
Лічильники циклів	–	I, J
Ідентифікатор уведення	–	Vvod
Кількість варіантів товщини заготовки	–	Col Del
Кількість варіантів діаметра заготовки	–	Col DO
Масив з 10 елементів, що містить значення товщини заготовки	–	DEL
Масив з 10 елементів, що містить значення діаметра заготовки	–	D0
Файлові змінні	–	File dat File rez
Радіус отвору матриці	r	R
Коефіцієнт	$K_0 = D_0/D$	K0
Коефіцієнт	$K_\phi = D_{\phi l}/D$	KF
Коефіцієнт, що враховує додаткову енергію перегину матеріалу навкруги перетяжного ребра	K_r	KG
Енергія деформації фланця	A_ϕ	AF
Енергія деформації сфери	$A_{сф}$	ASF
Питома енергія деформації	a	A1
Повна енергія деформації (масив зі 100 елементів)	A	A

Найменування величин	Позначення	Ідентифікатор
Діаметр деталі, масив зі 100 елементів	Д _{фл}	DFL
Маса заряду, масив зі 100 елементів	G	GZAR
Ідентифікатор функції зведення числа в степінь	–	STR

Отриманими результатами розрахунків можна користуватися у виробничих умовах, визначаючи масу заряду за наведеними графіками для трьох різних матеріалів, які найчастіше використовуються на практиці: ВТ-1, сталь 30, сталь 12Х18Н10Т.

При цьому результатами можна користуватися не тільки для розглянутих товщини і діаметрів, але й для проміжних.

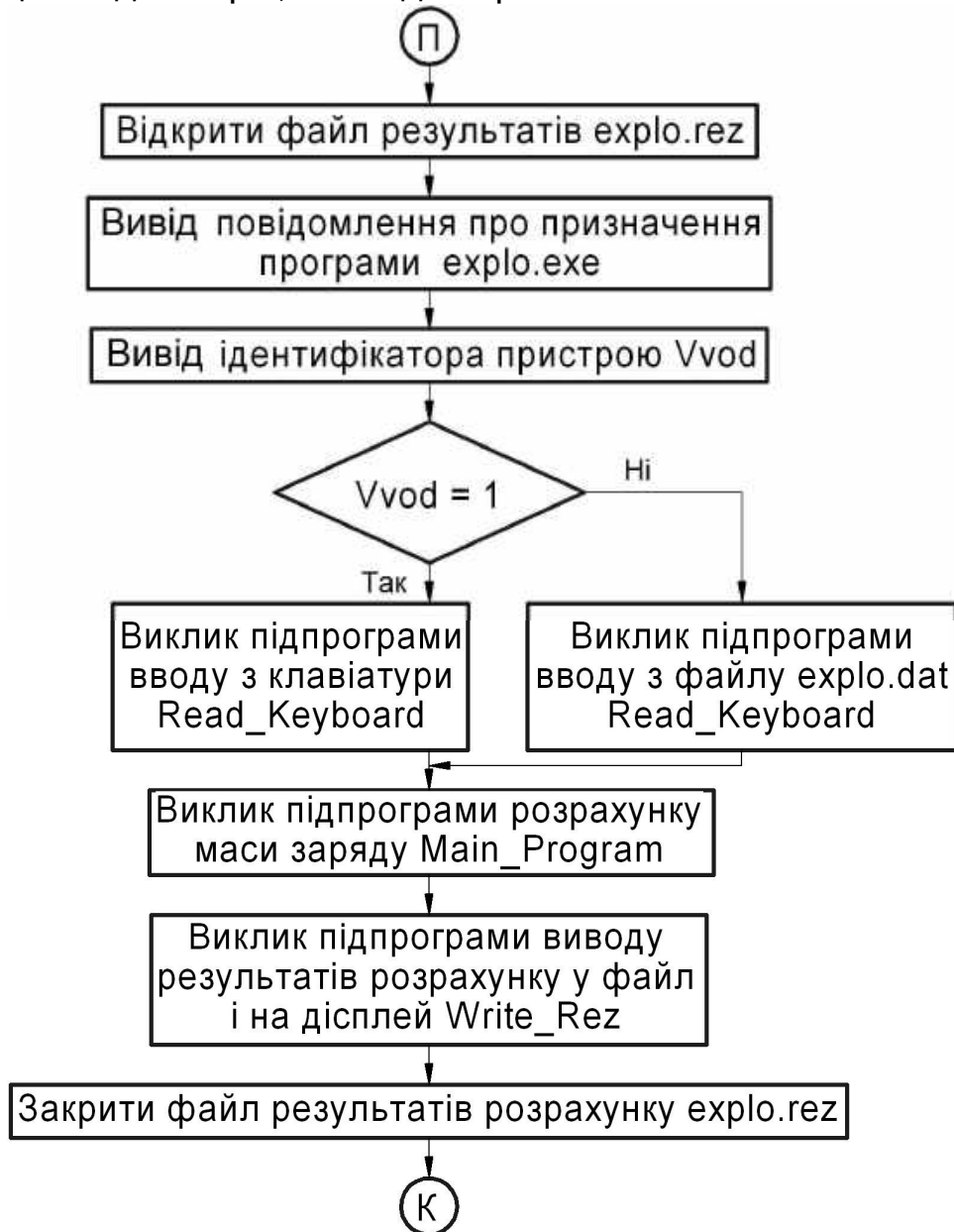


Рис. 3.8. Блок-схема програми

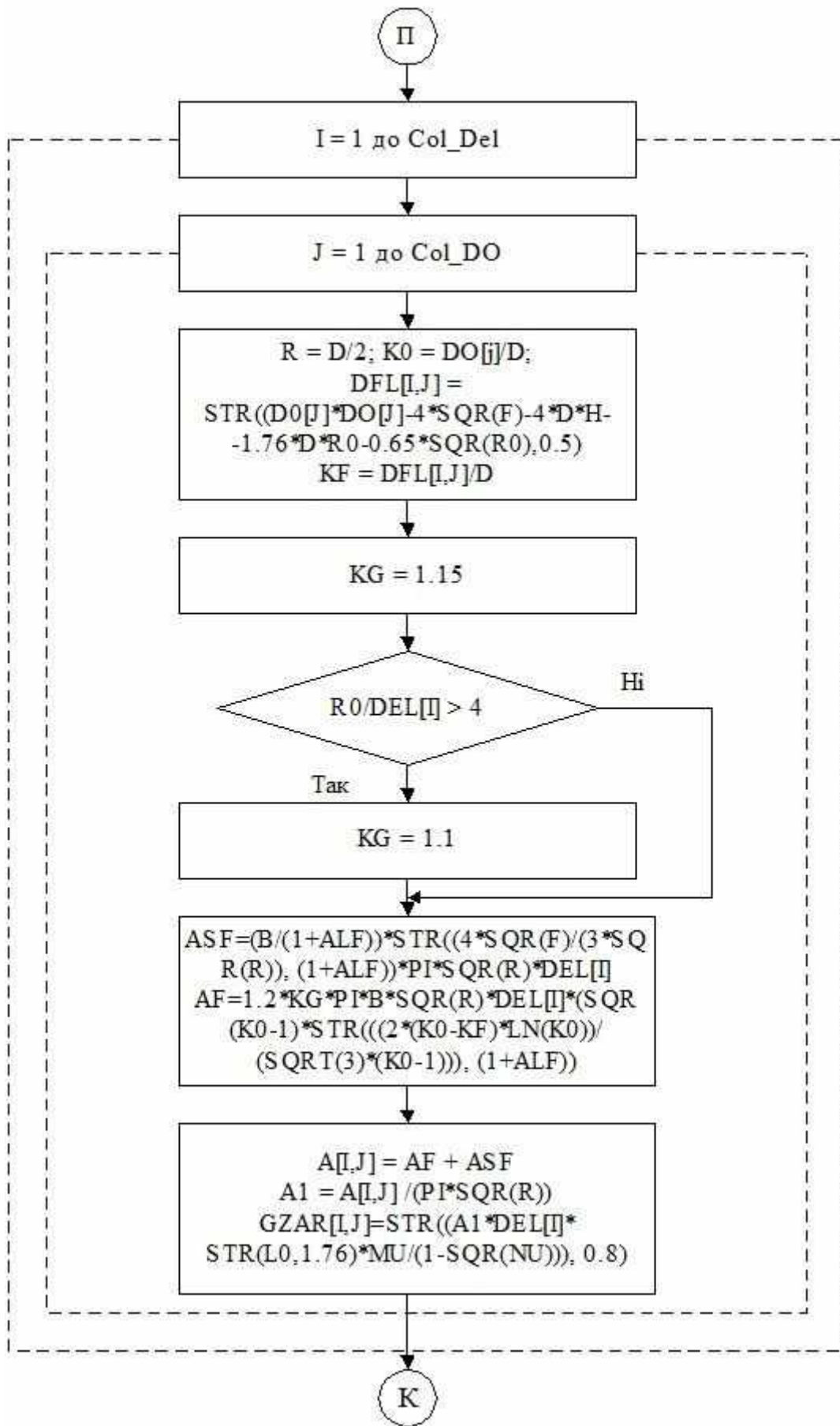


Рис. 3.9. Підпрограма Main Program

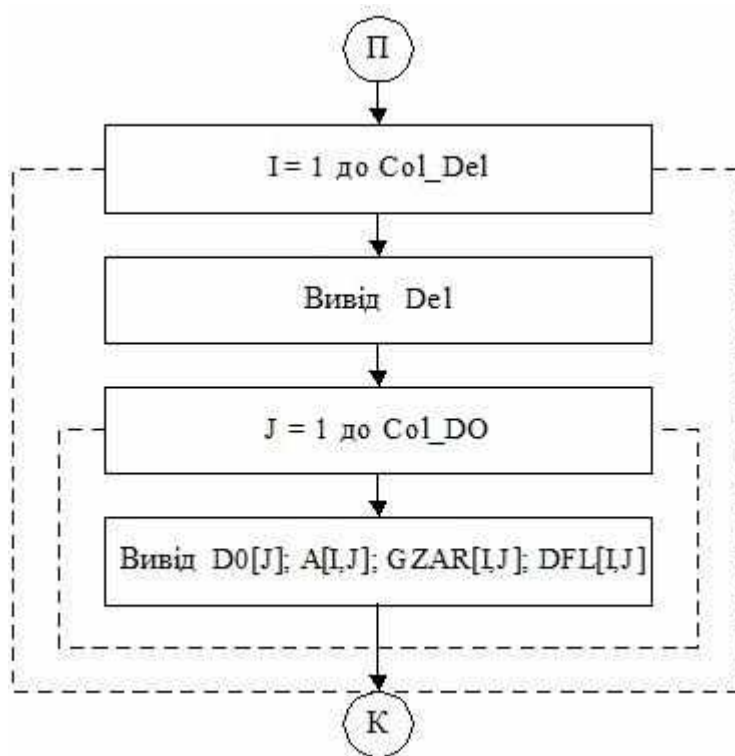


Рис. 3.10. Підпрограма Write Rez

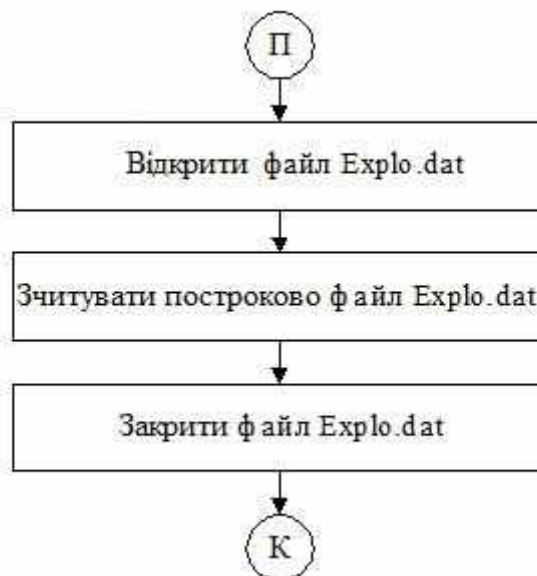


Рис. 3.11. Підпрограма Read File



Рис. 3.12. Підпрограма Read Keyboard

3.2.1.1. Розрахунок маси заряду вибухової речовини (матеріал – сталь 12X18H10T)

Дані для розрахунку маси заряду

Геометричні параметри:

кількість варіантів діаметра заготовки (1–10) : 6
 діаметр заготовки, м : 0.25
 діаметр заготовки, м : 0.3
 діаметр заготовки, м : 0.35
 діаметр заготовки, м : 0.4
 діаметр заготовки, м : 0.45
 діаметр заготовки, м : 0.5
 діаметр отвору матриці, м : 0.21
 дистанція підриву заряду, м : 0.15
 кількість варіантів товщини заготовки (1–10) : 4
 товщина заготовки, м : 0.0015
 товщина заготовки, м : 0.002
 товщина заготовки, м : 0.0025
 товщина заготовки, м : 0.003
 висота циліндра матриці, м : 0
 прогин заготовки, м : 0.06
 радіус перетяжного ребра, м : 0.01

Властивості матеріалу і середовища:

матеріал заготовки : сталь 12X18H10T
 стала M для матеріалу : 1876.0e-6
 коефіцієнт відбиття ударної хвилі NU : 0.528
 стала B властивостей матеріалу, Па : 1180e+6
 стала L властивостей матеріалу : 0.29

Результати розрахунків маси заряду

Матеріал заготовки – сталь 12X18H10T

товщина заготовки (m) DEL = 1.5000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	2.0408666963E+04	1.3463947802E-01	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	2.3247778766E+04	1.4942589974E-01	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	2.4882589376E+04	1.5777462856E-01	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	2.5904131285E+04	1.6293558125E-01	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	2.6576688033E+04	1.6631116091E-01	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	2.7035014491E+04	1.6860171721E-01	4.8162744938E-01

товщина заготовки (m) DEL = 2.0000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	2.7211555951E+04	2.1334103507E-01	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	3.0997038355E+04	2.3677064547E-01	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	3.3176785834E+04	2.4999950282E-01	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	3.4538841714E+04	2.5817721567E-01	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	3.5435584044E+04	2.6352594153E-01	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	3.6046685988E+04	2.6715540935E-01	4.8162744938E-01

товщина заготовки (м) DEL = 2.5000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	3.4328952612E+04	3.0713418005E-01	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	3.9275889844E+04	3.4205861632E-01	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	4.2124423483E+04	3.6176528038E-01	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	4.3904382871E+04	3.7394351806E-01	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	4.5076262052E+04	3.8190735641E-01	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	4.5874861183E+04	3.8731072076E-01	4.8162744938E-01

товщина заготовки (м) DEL = 3.0000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	4.1194743134E+04	4.1116689867E-01	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	4.7131067813E+04	4.5792096604E-01	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	5.0549308179E+04	4.8430268605E-01	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	5.2685259445E+04	5.0060594548E-01	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	5.4091514463E+04	5.1126730111E-01	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	5.5049833419E+04	5.1850089706E-01	4.8162744938E-01

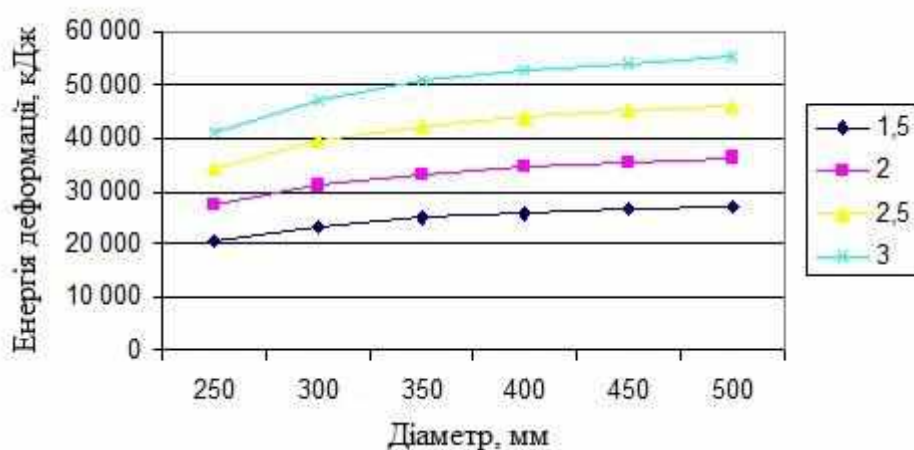


Рис. 3.13. Графіки залежності енергії деформації від діаметра заготовки для різних товщин (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм), сталь 12X18H9T

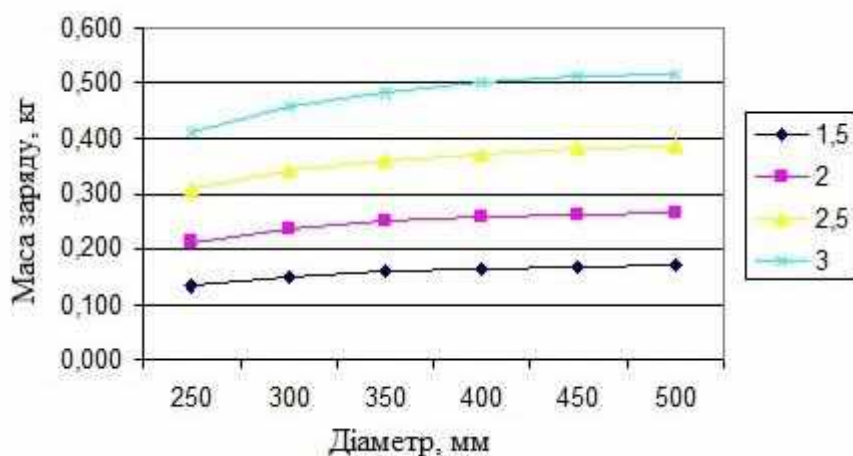


Рис. 3.14. Графіки залежності маси заряду від діаметра заготовки для різних товщин (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм), сталь 12X18H9T

3.2.1.2. Розрахунок маси заряду вибухової речовини (матеріал – сталь 30)

Дані для розрахунку маси заряду

Геометричні параметри:

кількість варіантів діаметра заготовки (1–10) : 6
 діаметр заготовки, м : 0.25
 діаметр заготовки, м : 0.3
 діаметр заготовки, м : 0.35
 діаметр заготовки, м : 0.4
 діаметр заготовки, м : 0.45
 діаметр заготовки, м : 0.5
 діаметр отвору матриці, м : 0.21
 дистанція підриву заряду, м : 0.15
 кількість варіантів товщини заготовки (1–10) : 4
 товщина заготовки, м : 0.0015
 товщина заготовки, м : 0.002
 товщина заготовки, м : 0.0025
 товщина заготовки, м : 0.003
 висота циліндра матриці, м : 0
 прогин заготовки, м : 0.06
 радіус перетяжного ребра, м : 0.01

Властивості матеріалу і середовища:

матеріал заготовки : сталь 30
 стала M для матеріалу : 979.0e-6
 коефіцієнт відбиття ударної хвилі NU : 0.528
 стала B властивостей матеріалу, Па : 560e+6
 стала L властивостей матеріалу : 0.23

Результати розрахунків маси заряду

Матеріал заготовки – сталь 30

товщина заготовки (m) DEL = 1.5000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	1.0677518110E+04	4.7658113567E-02	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	1.2230326806E+04	5.3126480269E-02	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	1.3171435219E+04	5.6372471362E-02	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	1.3792184435E+04	5.8488036151E-02	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	1.4225562266E+04	5.9953721641E-02	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	1.4540716964E+04	6.1013965373E-02	4.8162744938E-01

товщина заготовки (m) DEL = 2.0000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	1.4236690814E+04	7.5515973677E-02	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	1.6307102408E+04	8.4180794943E-02	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	1.7561913625E+04	8.9324183121E-02	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	1.8389579246E+04	9.2676370670E-02	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	1.8967416355E+04	9.4998801388E-02	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	1.9387622619E+04	9.6678795239E-02	4.8162744938E-01

товщина заготовки (m) DEL = 2.5000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	1.7960404642E+04	1.0871575537E-01	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	2.0666056157E+04	1.2163139236E-01	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	2.2305866271E+04	1.2929295741E-01	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	2.3387474753E+04	1.3428461535E-01	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	2.4142602792E+04	1.3774215252E-01	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	2.4691735979E+04	1.4024290326E-01	4.8162744938E-01

товщина заготовки (m) DEL = 3.0000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	2.1552485571E+04	1.4554003714E-01	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	2.4799267388E+04	1.6283046833E-01	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	2.6767039525E+04	1.7308716441E-01	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	2.8064969703E+04	1.7976960045E-01	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	2.8971123351E+04	1.8439827719E-01	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	2.9630083175E+04	1.8774608409E-01	4.8162744938E-01

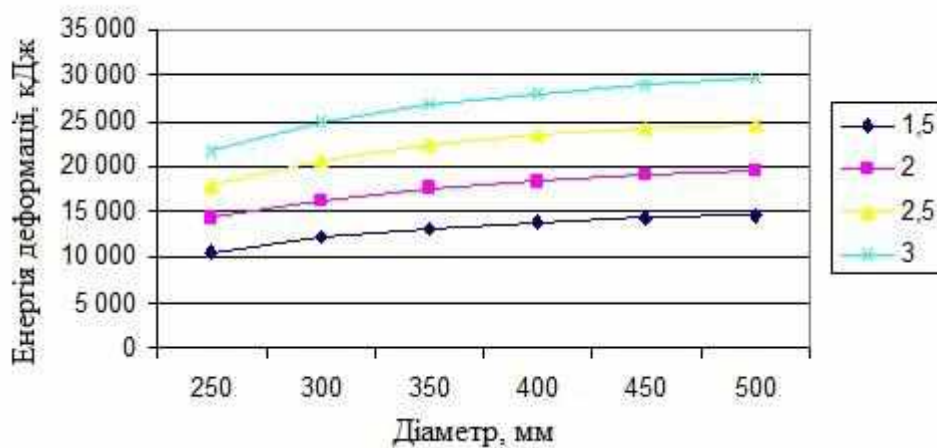


Рис. 3.15. Графіки залежності енергії деформації від діаметра заготовки для різних товщин (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм), сталь 30

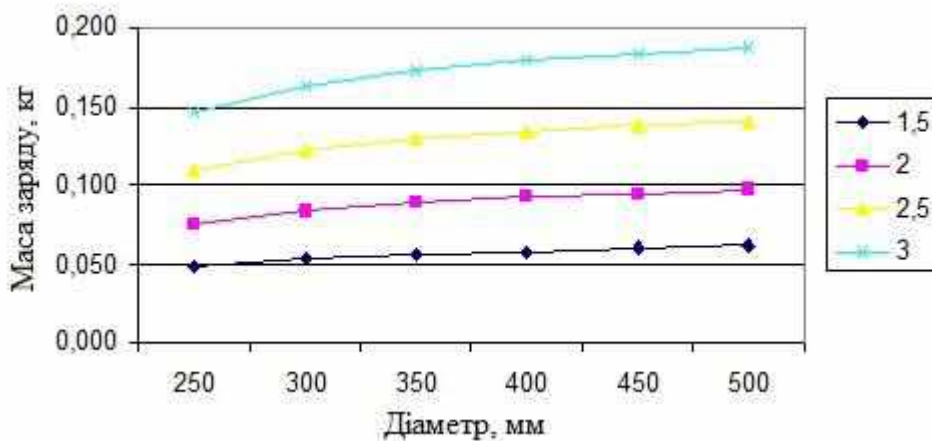


Рис. 3.16. Графіки залежності маси заряду від діаметра заготовки для різних товщин (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм), сталь 30

3.2.1.3. Розрахунок маси заряду вибухової речовини (матеріал – ВТ-1)

Дані для розрахунку маси заряду

Геометричні параметри:

кількість варіантів діаметра заготовки (1–10) : 6
 діаметр заготовки, м : 0.25
 діаметр заготовки, м : 0.3
 діаметр заготовки, м : 0.35
 діаметр заготовки, м : 0.4
 діаметр заготовки, м : 0.45
 діаметр заготовки, м : 0.5
 діаметр отвору матриці, м : 0.21
 дистанція підриву заряду, м : 0.15
 кількість варіантів товщини заготовки (1–10) : 4
 товщина заготовки, м : 0.0015
 товщина заготовки, м : 0.002
 товщина заготовки, м : 0.0025
 товщина заготовки, м : 0.003
 висота циліндра матриці, м : 0
 прогин заготовки, м : 0.06
 радіус перетяжного ребра, м : 0.01

Властивості матеріалу і середовища:

матеріал заготовки : ВТ-1
 стала М для матеріалу : 792.0e-6
 коефіцієнт відбиття ударної хвилі NU : 0.432
 стала В властивостей матеріалу, Па : 900e+6
 стала L властивостей матеріалу : 0.12

Результати розрахунків маси заряду

Матеріал заготовки – ВТ-1

товщина заготовки (m) DEL = 1.5000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	2.0623867790E+04	6.1862843517E-02	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	2.3851750400E+04	6.9494428923E-02	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	2.5982573742E+04	7.4418261556E-02	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	2.7510782113E+04	7.7899762834E-02	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	2.8670139306E+04	8.0515154044E-02	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	2.9586249461E+04	8.2566850242E-02	4.8162744938E-01

товщина заготовки (m) DEL = 2.0000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	2.7498490386E+04	0.9023872810E-01	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	3.1802333866E+04	1.1011639094E-01	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	3.4643431656E+04	1.1791837864E-01	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	3.6681042818E+04	1.2343494107E-01	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	3.8226852408E+04	1.2757912134E-01	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	3.9448332615E+04	1.3083010683E-01	4.8162744938E-01

товщина заготовки (m) DEL = 2.5000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	3.4689302261E+04	1.4111371877E-01	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	4.0313643172E+04	1.5913819333E-01	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	4.4026441420E+04	1.7075901943E-01	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	4.6689228733E+04	1.7897243429E-01	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	4.8709320811E+04	1.8514093151E-01	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	5.0305573355E+04	1.8997903088E-01	4.8162744938E-01

товщина заготовки (m) DEL = 3.0000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.5000000000E-01	4.1627162713E+04	1.8891186288E-01	2.1086725682E-01
3.0000000000E-01	4.8376371806E+04	2.1304160091E-01	2.6826293072E-01
3.5000000000E-01	5.2831729704E+04	2.2859864189E-01	3.2321045775E-01
4.0000000000E-01	5.6027074480E+04	2.3959411077E-01	3.7678243059E-01
4.5000000000E-01	5.8451184974E+04	2.4785200596E-01	4.2949388820E-01
5.0000000000E-01	6.0366688026E+04	2.5432886995E-01	4.8162744938E-01

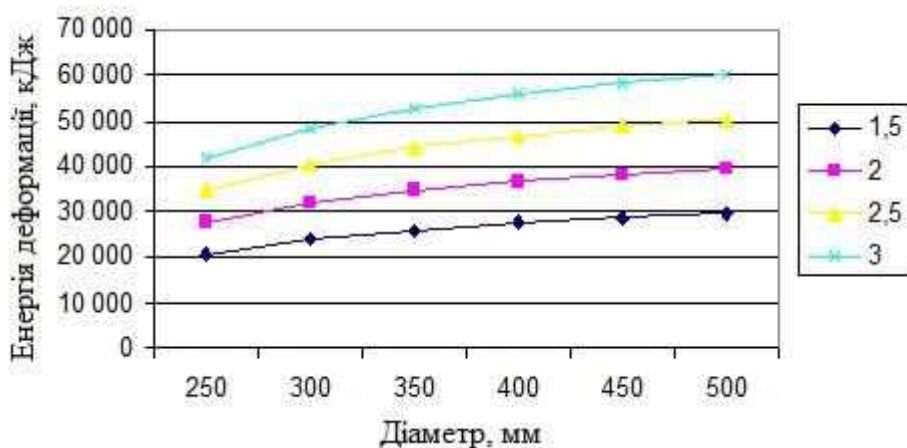


Рис. 3.17. Графіки залежності енергії деформації від діаметра заготовки для різних товщин (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм), матеріал – ВТ-1

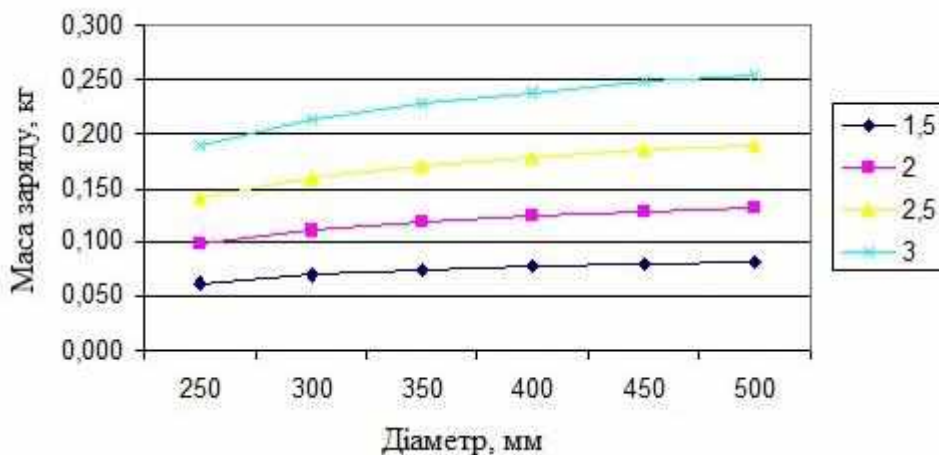


Рис. 3.18. Графіки залежності маси заряду від діаметра заготовки для різних товщин (1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм), матеріал – ВТ-1

4. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПРИТИСНЕННЯ ФЛАНЦЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ШТАМПУВАННІ-ВИТЯЖЦІ

Розвиток листового штампування за допомогою бризантних вибухових речовин відбувається в основному шляхом створення цехових установок і установок закритого типу, що містять матрицю, камеру для розміщення заряду і передавального середовища. Між камерою і матрицею встановлюється заготовка, яка притискається за допомогою різних пристроїв.

До цих пір не тільки в одиничному, але й в серійному виробництвах часто використовують примітивні затискні вузли – гвинтові (з гайками) або клинові. Такі способи затискання особливо ускладнюють розбирання оснащення, оскільки навіть незначні складки на фланці і його потовщення довантажують притиск, і вибивання клинів або відкручування гайок потребують значних зусиль.

Механізація затискних вузлів потребує великої продуманості. При створенні притиснення безпосередньо гідроциліндрами традиційного вигляду різко зростає вартість оснащення і установок для вибухового штампування, особливо зі зростанням габаритів виробу. Вони стають порівнянними за своїми технічними і економічними показниками з гідропресами, тобто втрачаються основні переваги штампування вибухом.

Механізми клиноричажного гідрозатискача стають дуже громіздкими у великогабаритному і важкому штампувальному оснащенні.

Імпульсне притиснення фланців можна забезпечити не тільки вибуховими, але й електромагнітними методами.

Існуючі способи притиснення заготовки недосконалі. Одні притискачі прості, але не зручні в експлуатації, потребують великої витрати ручної праці. Інші механізовані, але відрізняються великою складністю і застосуванням дорогого устаткування. Разом з тим відомі способи притиснення заготовки не завжди можна використовувати в процесах імпульсного оброблення листових металів. Тому для широкого упровадження у виробництво прогресивних методів оброблення металів тиском за допомогою імпульсних джерел енергії необхідно розробити нові ефективні способи притиснення заготовки, що відповідають швидкісним процесам.

4.1. Розроблення реальної моделі пристрою для штампування-втяжки листових деталей з притисненням фланця заготовки енергією основного заряду БВР

При імпульсному штампуванні процес деформації триває частки секунди, а допоміжний час, пов'язаний з підготовкою штампувальних пристроїв, особливо з притисненням заготовки, на декілька порядків вище. Потрібні швидкодійні притискні пристрої. Відомі спроби здійснити притиснення заготовки силами додаткового заряду вибухової речовини, який встановлюють над притискним кільцем і підривають з деякою затримкою за часом щодо вибуху основного заряду.

Проте такий спосіб значного поширення не отримав. Застосування системи зарядів потребує спеціальної апаратури для синхронізації вибуху. Крім того, для кожної ваги основного заряду, габаритів і товщини деталі необхідно знати час затримки. Наявність другого заряду, його установлення і ізоляція збільшують витрати і підвищують трудомісткість процесу. Разом з тим система з двох зарядів ненадійна, часто приводить до браку виробів і не дозволяє механізувати технологічний процес штампування.

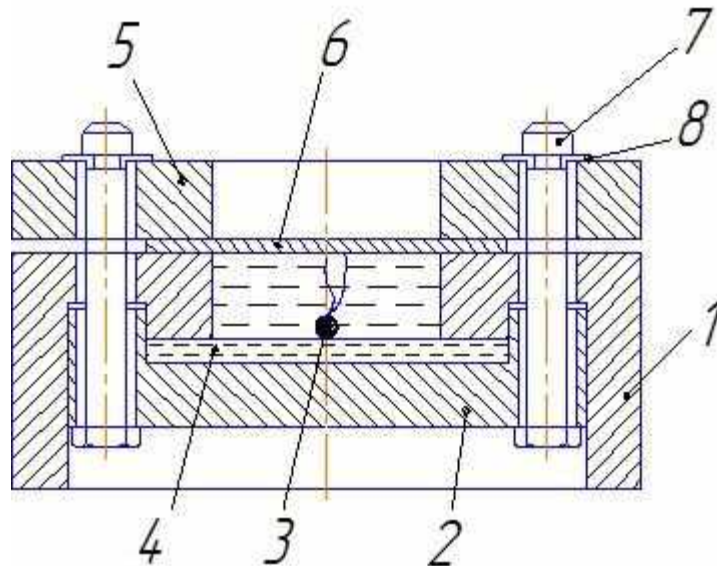


Рис. 4.1. Експериментальний пристрій (принципова схема):

1 – корпус; 2 – донна частина; 3 – заряд; 4 – вода; 5 – матриця; 6 – заготовка;
7 – болт; 8 – гайка

Розроблено конструкцію пристрою, в якому для притиснення заготовки використовується енергія основного імпульсного джерела, що виділяється в закритій камері і спрямована у бік, протилежний деформації заготовки. Пропонований пристрій схематично зображений на рис. 4.1 і складається з циліндричної товстостінної камери 1 з рухомою донною частиною 2 і вміщеним у неї зарядом 3 і передавальним середовищем 4, матриці 5, заготовки 6, встановлених і зафіксованих на ній за допомогою, наприклад, штирів 7 з розрізними шайбами 8. Камера 1 є товстостінним циліндром, в стінах якого є отвори під штирі 7. Внутрішня поверхня має складну форму. Верхня частина може бути виконана профільованою (парабола) або циліндричною.

У всіх випадках має бути східчастий перехід на циліндричну поверхню великого діаметра, де встановлюється донна частина камери. При цьому торцева частина уступу і донної частини камери утворюють кільцеву порожнину.

4.2. Проектування, виготовлення модельного пристрою і проведення експериментів

На підставі раніше зазначеного способу притиснення фланця заготовки (рис. 4.1) було виготовлено (рис. 4.2, 4.3) і опробовано спроектований пристрій.



Рис. 4.2. Експериментальний пристрій в зібраному вигляді

Експеримент полягав у такому. У камеру 1 поміщають заряд 3 і передавальне середовище 4, потім установлюють заготовку 6, матрицю 5, надають шайби 8 на штирі 7.

Відомо, що при імпульсному штампуванні в закритих камерах на корисну деформацію витрачається частина енергії, що виділяється імпульсним джерелом, спрямована у бік заготовки. Інша ж частина деформує камеру, не виконуючи корисної роботи. Ця енергія раніше не використовувалася. У цьому пристрої її використовують для притиснення заготовки.

При штампуванні в закритих камерах заряд розташовують біля донної частини камери 2, а частіше – у контакті з нею.



Рис. 4.3. Експериментальний пристрій у розібраному вигляді

Тому після вибуху заряду 3 ударна хвиля і газовий пухир діють на дно камери 2 і надають їй рух у напрямі, протилежному деформації заготовки 6.

Проте рух донної частини камери обмежений через жорсткий зв'язок, наприклад через штирі 7 і шайби 8, з матрицею 5, установленій на корпусі камери 1.

Зусилля притиснення передається через дно 2, штирі 7, шайби 8, матрицю 5 і заготовку 6, і до моменту початку деформації заготовка вже притиснута.

Притискач працює за наявності тиску в камері, а оскільки камера із заготовкою являє собою закритий об'єм, то тиск у ньому зберігається тривалий час, в усякому разі протягом усього часу деформації заготовки.

Для експериментів з листової латуні Л62 і алюмінієвого сплаву АМЦ товщиною 0,8 мм і діаметром 100 мм було виготовлено заготовки.

Експерименти проводили таким чином.

Корпус і рухому частину камери, оснащені болтами без гайок, установлювали на металеву плиту з виступом, діаметр якого на 10 мм був менше діаметра рухомої донної частини камери, а висота виступу забезпечувала перевищення виступаючих болтів над верхньою площиною корпусу камери на величину товщини матриці й гайки. Потім у камеру встановлювали заряд, на корпус камери – заготовку і матрицю, яку фіксували гайками.

Робочу порожнину камери заповнювали водою і установку встановлювали заново на інше місце, тобто звільняли від упора.

Оскільки затягування болтами системи камера – матриця відсутня, то фланець заготовки був притиснутий за рахунок маси донної частини камери. Після складання до виступаючих токопроводів заряду під'єднували провідники від імпульсного пристрою, який вмикали до джерела струму і після зарядки конденсаторів проводили підрив заряду. Отримані таким чином вироби подано на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Отримані вироби

Проведені експерименти підтвердили можливість використання в запропонованій установці енергії БВР для деформації і притиснення фланця заготовки, що забезпечує значне підвищення ефективності застосування енергії БВР під час виготовлення деталей штампуванням-витяжкою.

5. ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГІЄЮ ВИБУХУ

Незважаючи на деяку схожість оснащення для листового штампування вибухом істотно відрізняється від використовуюваного пресового штампування за конструкцією і застосовуваним матеріалом.

До оснащення для вибухового штампування деталей з листа ставляться такі вимоги:

- висока міцність – здатність витримувати без руйнування дію зовнішнього навантаження (ударної хвилі, зусилля деформації і т. д.);
- жорсткість – здатність працювати в області пружних деформацій;
- стійкість – здатність витримувати велику кількість навантажень;
- простота і зручність в експлуатації;
- невисока вартість матеріалу і виготовлення;
- герметичність формоутворювальної порожнини;
- можливість швидкого видалення повітря з формоутворювальної порожнини при формуванні деталі або попереднього вакуумування.

5.1. Матеріали, які використовуються при виготовленні оснащення

При виготовленні оснащення для штампування вибухом деталей з листа застосовують різні матеріали.

Вибір матеріалу для оснащення визначається типом виробництва, характером штампувальної операції, розміром і формою деталі, що виготовляється, і її матеріалом, а також необхідною точністю.

Оснащення може бути виготовлено з наведених нижче матеріалів.

1. Пластмаси на основі епоксидних смол (епоксидопласти) ЕЖ-1; ЕЖ-2; ЕП-1; ЕП-2.
2. Алюмінієво-цинкові сплави АЦ13-1; АЦ13-3.
3. Алюмінієві сплави АЛ4; АЛ7.
4. Цинкові сплави Ц1; Ц2.
5. Сталі вуглецеві Ст3; сталь 35л; сталь 45.
6. Сталі леговані 5ХНВ; 20Х; 50Х та ін.
7. Бетон різних марок.
8. Дерево різних порід.
9. Комбіновані матеріали – бетонно-металеві, бетонно-пластмасові, деревометалеві.

При великосерійному і масовому виробництвах оснащення доцільно виготовляти з таких матеріалів, які забезпечують тривалу експлуатацію при належній стійкості.

В умовах дрібносерійного і дослідного виробництва потрібно застосовувати оснащення спрощеної конструкції з відносно дешевого матеріалу. При серійному виробництві деталей з габаритними розмірами до 2000 мм рекомендується застосовувати сталеве оснащення.

У разі виготовлення невеликих партій деталей, а також у дослідному виробництві застосовують литі матриці з цинкових і алюмінієвих сплавів, бетон, залізобетон, епоксидні смоли з наповнювачем, склопластик і дере-

во. Цинковий сплав АЦ-13 і чавун застосовуються для оснащення при виготовленні деталей з алюмінієвих сплавів товщиною до 3 мм.

Якщо габаритні розміри перевищують 2000 мм, можна використовувати бетонно-металеве оснащення з облицюванням або без нього.

При виготовленні деталей з алюмінієвих сплавів товщиною до 3 мм можна використовувати матриці, виготовлені литтям з цинкових сплавів Ц1, Ц2 на перших переходах і АЦ-13 або чавуну для матриць на інших переходах. Матеріали і технологія аналогічні матеріалам і технології виробництва оснащення для падаючих молотів. Пружини до названих раніше матриць слід виконувати литими зі свинцю. Для фіксації притискачів передбачається 2–4 замки аналогічно штампам до падаючих молотів.

Матриці із залізобетону і дерева застосовують при виготовленні деталей з плавними обводами.

Для штампування деталей складної конфігурації з високоміцних матеріалів використовують матриці зі сталевого прокату або з поковок (сталі 45, 20Х, 50Х, 5ХНВ та ін.).

5.2. Різновиди оснащення для виготовлення листових деталей енергією вибуху

Основними формоутворювальними пристроями для імпульсного і пресового штампування є штампи, які для імпульсного варіанта замість пуансона і матриці містять тільки матрицю (рис. 5.1), конструкція і матеріал яких залежить від розмірів деталі, що виготовляється, її матеріалу, схеми штампування та ін.

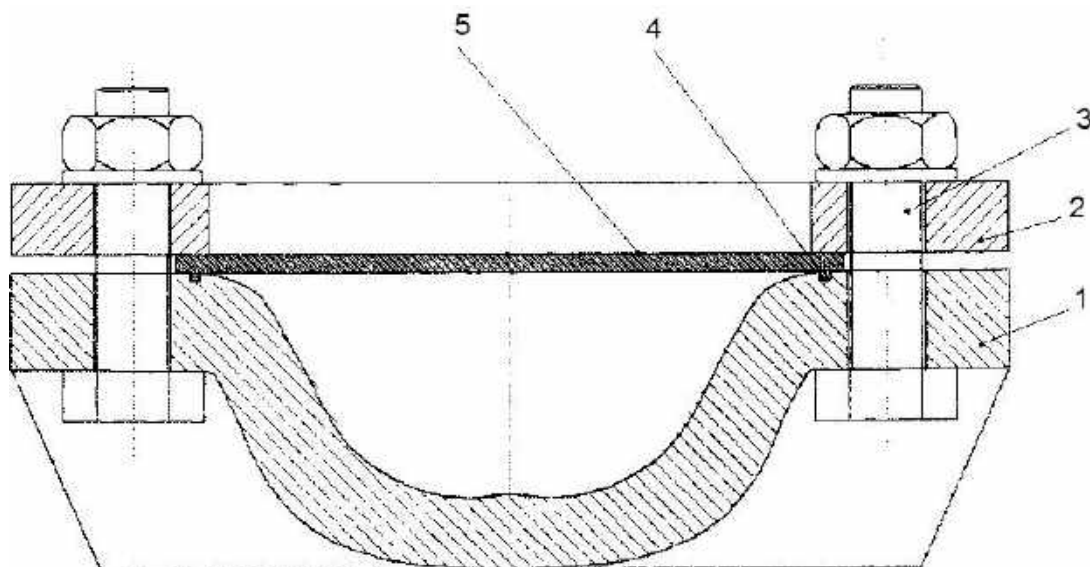


Рис. 5.1. Схема штампа для штампування-витагування:

1 – матриця; 2 – притискне кільце; 3 – кріплення;

4 – прокладка; 5 – заготовка

Для штампування деталі розміром до 1500 мм матрицю виготовляють шляхом лиття (рис. 5.2).

Матеріал відливання – ливарні сталі 30Л, 35Л, чавун або цинкові сплави.

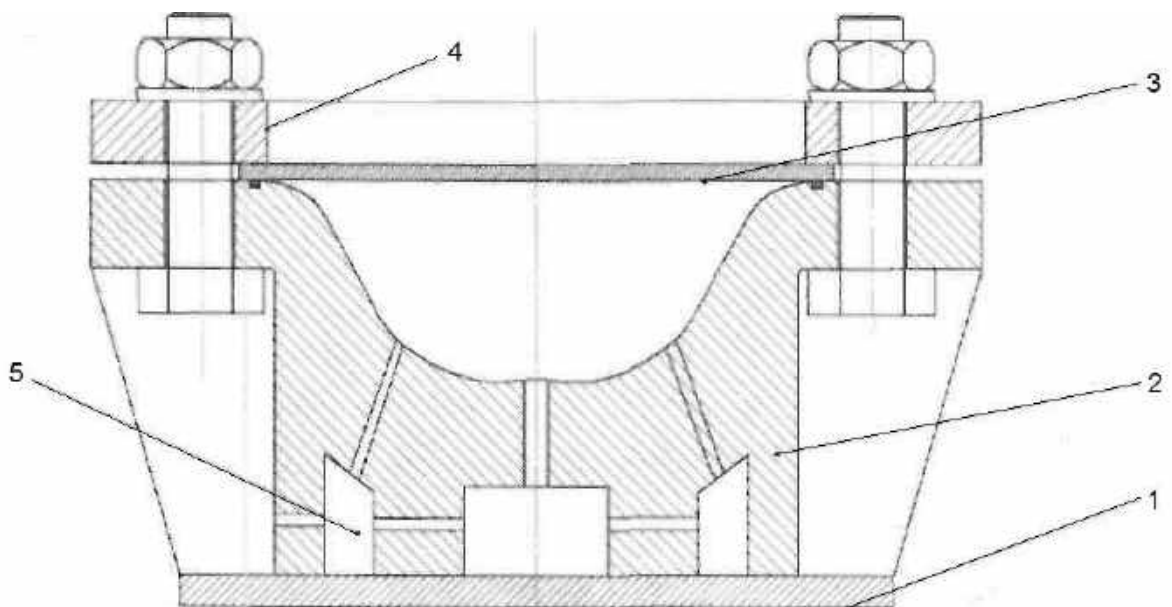


Рис. 5.2. Суцільнолита матриця: 1 – дно; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4 – притискне кільце; 5 – канали для відведення повітря

Товщину стін сталевих литих матриць вибирають залежно від товщини і міцнісних характеристик деформівного матеріалу, товщина якого може становити 8 – 10 товщин заготовки.

Мінімальна товщина стін чавунних матриць становить приблизно 200 мм.

Для забезпечення необхідної міцності і жорсткості передбачаються радіальні або кільцеві ребра жорсткості.

При штампуванні деталей з габаритними розмірами більше 1500 мм доцільно виготовляти полегшені матриці: зварні, збірні, штампозварні та ін.

На рис. 5.3 показано матрицю, отриману зі сталевих кілець шляхом зварювання.

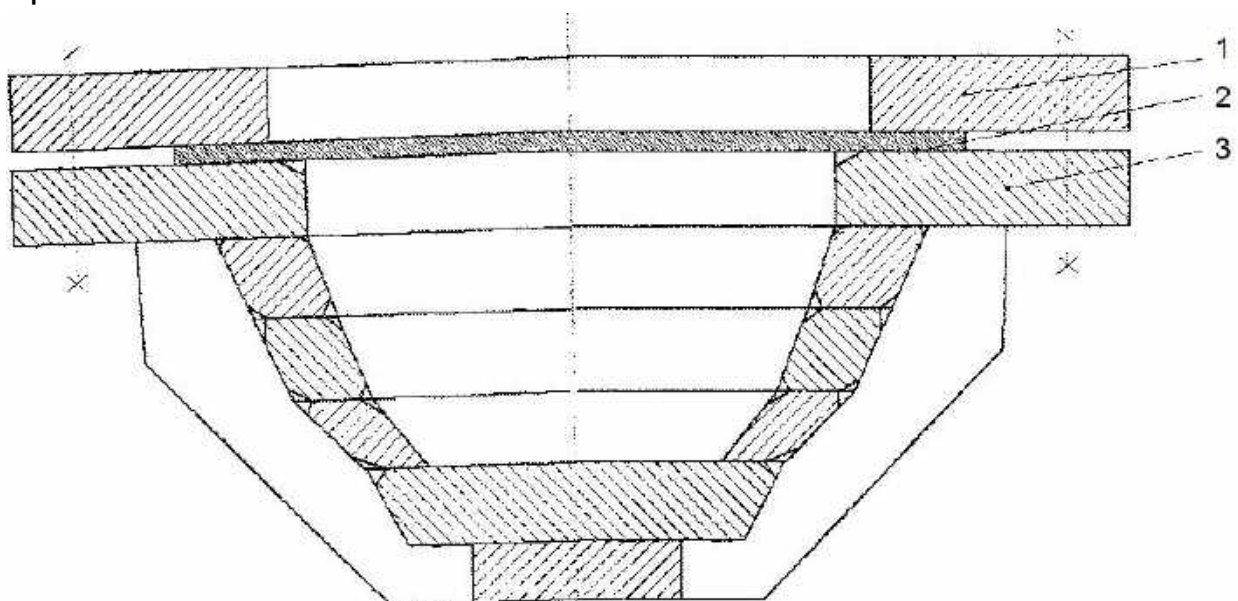


Рис. 5.3. Штамп з матрицею, звареною зі сталевих кілець: 1 – корпус матриці; 2 – притискне кільце; 3 – заготовка

Становить інтерес матриця, виготовлена зварюванням з листової сталі товщиною 8...10 мм (рис. 5.4).

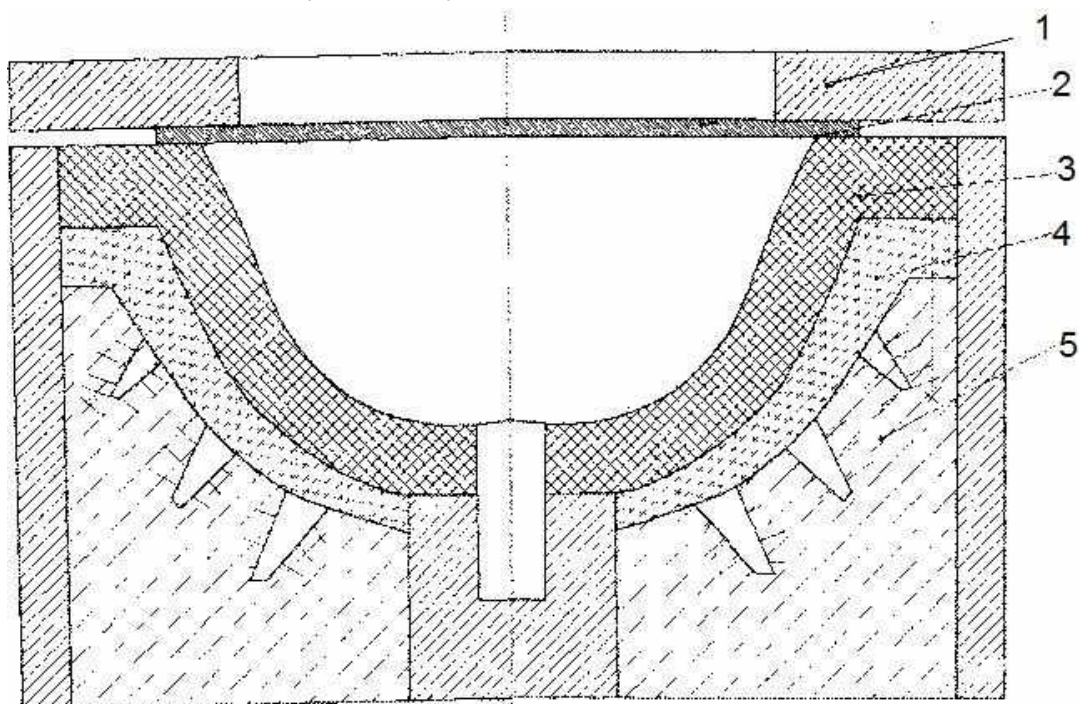


Рис. 5.4. Штмп із зварною матрицею, фанерованою епоксидною смолою:
 1 – притискне кільце; 2 – облицювання з епоксидної смоли;
 3 – корпус матриці; 4 – сталеві смуги; 5 – порожнина, заповнена бетоном;
 6 – канал для відведення повітря

Формувальна поверхня матриці облицюється епоксидною смолою з наповнювачем. Товщина облицювального шару – 8...10 мм. Порожнина 5 матриці заповнюється бетоном, який додає матриці потрібну жорсткість.

Заслуговує на увагу штмп для виготовлення рефлектора діаметром 1500 м з нержавіючої сталі товщиною 10 мм (рис. 5.5).

Штмп є зварним металевим корпусом, залитим бетоном, формувальна частина, виконана за допомогою шаблона, фанерована склопластиком.

Притискне кільце і протяжне ребро виготовлено з товстолистової сталі.

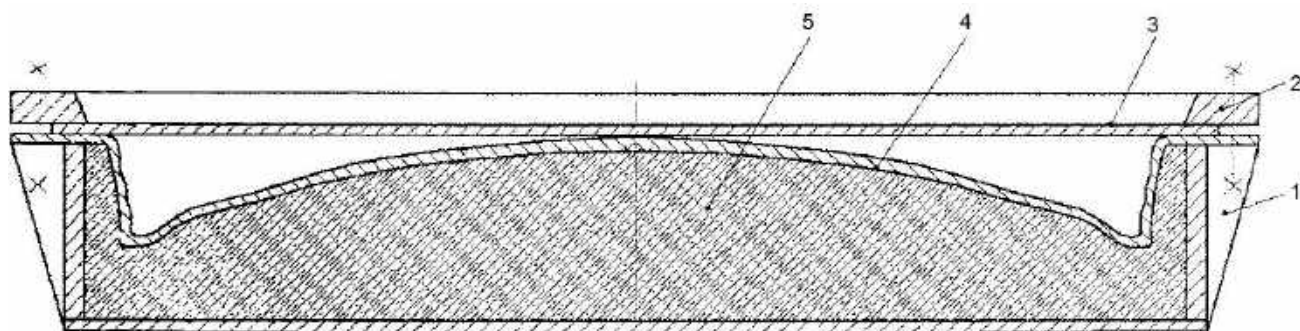


Рис. 5.5. Схема штмпа для формування рефлектора вибуховим штампуванням:
 1 – корпус зварної матриці з листової сталі; 2 – притискне кільце – сталевий прокат;
 3 – заготовка; 4 – облицювальний шар на основі поліефірної смоли, армованої пластиком; 5 – бетон

5.3. Оснащення для штампування деталі з просторових заготовок

Оснащення для штампування замкнутих оболонок принципово відрізняється від розглянутих вище.

Залежно від конфігурації деталей матриці можуть бути нерознімними і рознімними, в яких деформація заготовок здійснюється шляхом редукування роздачі. Нерознімні матриці застосовують для виготовлення обичайок з діаметрами, що поступово збільшуються (рис. 5.6).

Рознімні матриці використовують для формоутворення циліндричних і конічних обичайок, що мають складні контури, місцеві виштамповки або кільцеві рифти, що перешкоджають витяганню готової деталі з матриці.

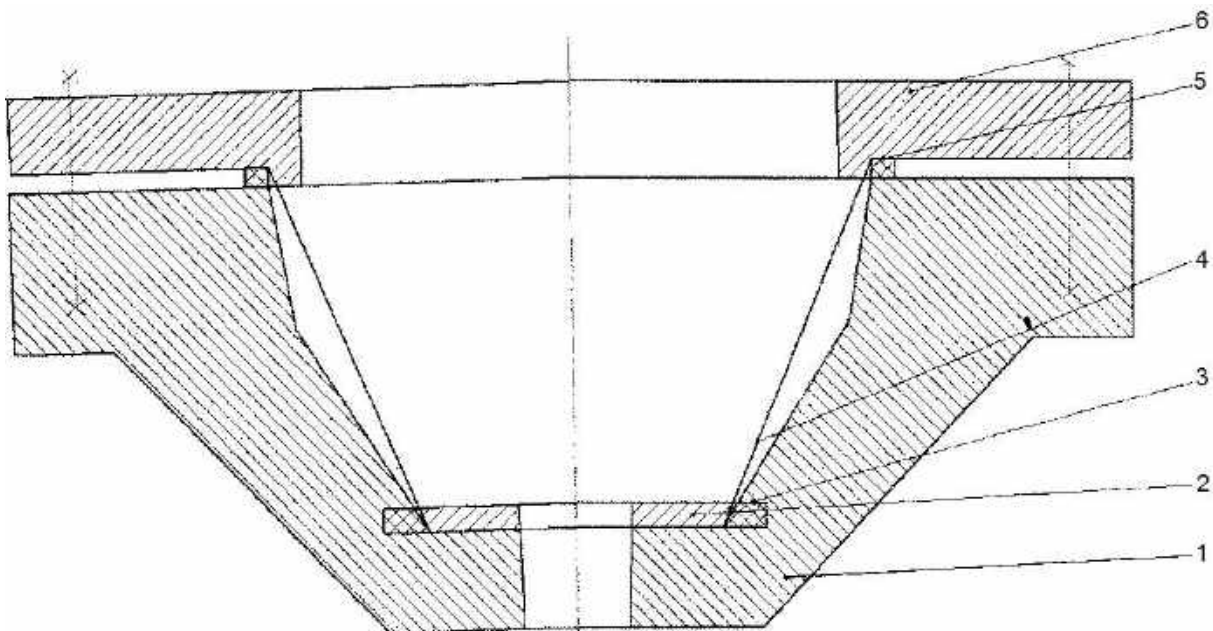


Рис. 5.6. Штмп з нерознімною матрицею:
1 – корпус; 2 – кільце; 3 – ущільнення; 4 – заготовка;
5 – гумове ущільнення; 6 – притискне кільце

5.4. Притискний пристрій

Важливим елементом в конструкції оснащення для вибухового штампування є притискний пристрій, який призначений для запобігання втрати стійкості й утворення складок, а також для забезпечення герметичності формувальної порожнини матриці.

Притискний пристрій складається з притискного кільця і елементів його кріплення у вигляді болтів, шпильок, клинів, струбцин або інших механізмів.

Тиск притиска фланця заготовки залежить від її матеріалу, коефіцієнта витяжки, відносної товщини заготовки і радіуса закруглення протяжного ребра матриці.

При штампуванні-витяжці енергією вибуху визначити теоретично тиск притискання утруднено у зв'язку з динамічними навантаженнями, які діють на притискний пристрій.

На підставі оброблення експериментальних даних деякі автори рекомендують приймати тиск притиску для алюмінієвих сплавів 0,8...1,2 МПа, для маловуглецевої сталі – 2...3 МПа.

При виробництві великогабаритних деталей рекомендується застосувати так званий жорсткий притиск, при якому між заготовкою і притискним кільцем забезпечується гарантований зазор, величина якого вибирається в межах від 8 до 15 % товщини заготовки. Цей зазор сприяє зменшенню тертя і в той же час перешкоджає складкоутворенню.

Жорсткість притискного кільця забезпечується його товщиною.

Зусилля притиска створюються за допомогою пристроїв.

Болтові і клинові притискачі можна використовувати тільки в дослідному і одиничному виробництвах.

При серійному виробництві доцільно використовувати універсальні пристрої.

На процес витяжки листових деталей істотно впливають величина радіуса закруглення протяжного ребра, яка залежить від коефіцієнта витяжки і форми матриці, дистанція вибуху, механічні властивості, відносна товщина матеріалу заготовки.

Практика показує, що значення радіуса закруглення потрібно приймати таким, що дорівнює двом-трьом товщинам заготовки. Цю величину можна вважати мінімальною. У процесі налагодження оснащення величину радіуса можна збільшити до чотирьох-п'яти товщин заготовки. Разом з тим потрібно мати на увазі, що надмірне збільшення радіуса закруглення протяжного ребра сприяє складкоутворенню.

У зв'язку з великими швидкостями деформації при вибуховому штампуванні в конструкції штампа необхідно передбачити елементи для герметизації і природного або примусового видалення повітря з робочої порожнини матриці.

Для герметизації на фланцевій поверхні матриці виконують кільцеву проточку на відстані 8...10 мм від радіуса закруглення протяжного ребра матриці, куди укладається ущільнювальне кільце у вигляді гумового джгута, переріз якого вибирається з умови рівності площі перерізу кільцевої канавки.

Для відведення повітря з робочої порожнини матриці під час штампування або попереднього вакуумування в стінах матриці виконуються отвори, діаметри яких мають бути менше товщини заготовки, а кількість їх залежить від об'єму формувальної порожнини.

Для отримання якісної деталі отвори розташовують у тих місцях, де прилягання заготовки до матриці відбувається в останню чергу, а сумарний їх переріз має бути не менше прохідного перерізу шланга для вакуумування.

Для фіксації заготовки на матриці виконують проточки або встановлюють спеціальні кільця, які можуть використовуватися для створення гарантованого зазору при жорсткому притиску.

6. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ АВІАДВИГУНА

Розроблення технологічних процесів штампування вибухом є основою всієї підготовки виробництва.

Порівняно великі складність і тривалість підготовки виробництва, а також досить висока вартість штампів потребують ретельного розроблення технологічних процесів і обґрунтованого вибору технічно раціонального і економічно найефективнішого варіанта технологічного процесу, який відповідає певному масштабу виробництва. Навіть невеликі подальші змінення технологічних процесів зазвичай приводять до перероблення штампів або проектування і виготовлення нових, що потребує значного часу і коштує досить дорого.

Розроблення технологічних процесів штампування вибухом складається з таких етапів [13]:

- 1) аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталі;
- 2) визначення форми і розмірів заготовки, а також витрати матеріалу;
- 3) вибір найраціональнішого технологічного процесу, що забезпечує виготовлення необхідних деталей;
- 4) визначення типу устаткування, що потребується;
- 5) вибір типу і технологічної схеми штампа;
- 6) визначення трудомісткості виготовлення штампованих деталей, а також кількості та розряду виробничих робітників.

6.1. Проектування технологічного процесу виготовлення листової деталі авіадвигуна – дефлектора

6.1.1. Аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталі

Дефлектор – це тонколистова деталь, яка є складовою частиною турбовального двигуна Д-136, який використовують на важких транспортних вертольотах Мі-26.

Дефлектор має куполоподібну форму, встановлюється в носовій частині двигуна і призначений для розмежування масляної порожнини опори і повітряної порожнини обігріву кока (рис. 6.1).

Куполоподібний дефлектор як характерний представник цього типу деталей виготовляють штампуванням, і він не потребує високої якості поверхні. Точність деталі (після БВР) визначається точністю оброблення робочої поверхні матриці. Відхилення профілю деталей від робочого профілю матриці залежать від розмірів деталі. Для вісесиметричних днищ діаметром до 300 мм відхилення становить 0,3...0,8 мм [4, с. 52].

Робоча температура в зоні деталі становить 50°C, середовище – умовно агресивне, тому для дефлектора рекомендується використовувати леговану, корозійностійку сталь Х18Н10Т, яка може тривало працювати у зазначених вище умовах.

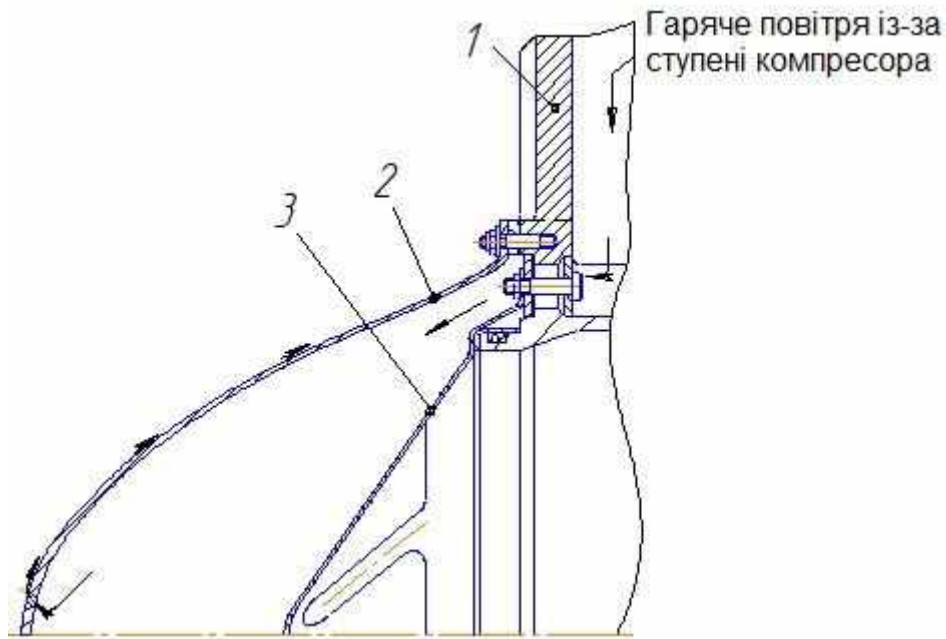


Рис. 6.1. Протиобліднювальна система двигуна Д-136:
1 – силовий стояк; 2 – кок; 3 – дефлектор

Для забезпечення герметичності протиобліднювальної порожнини дефлектор з'єднують аргонодуговим зварюванням з деталлю типу диск.

Для кріплення дефлектора на його фланці розташовано вісім отворів «під болти».

Тиск масляної порожнини суфлірує з атмосферним тиском, а тиск повітряної порожнини обігріву кока близький до такого, що відбирається з компресора, дефлектор має витримувати різницю цього тиску, для чого на його поверхні передбачено ребра жорсткості.

Деталь належить до деталей середньої технологічності: конструкція деталі полегшена – для підвищення жорсткості передбачено ребра жорсткості; для запобігання утворенню складок і гофрів збільшують площу притиснення, тобто збільшують діаметр фланця, що потребує додаткової витрати матеріалу; форма деталі – вісесиметрична. Після штампування-витяжки необхідно застосувати механічну обробку (свердлення отворів на фланці для кріплення дефлектора), що значно знижує технологічність.

6.1.2. Обґрунтування вибору матеріалу

Марку матеріалу вибирають відповідно до рекомендацій [12], урахувавши вимоги, що ставляться до деталі: міцність, зносостійкість, жароміцність, корозійна стійкість і т. д. Умови роботи деталі (температура нагріву, робоче середовище) обумовили вибір матеріалу – корозійної, жаростійкої сталі аустенітного класу Х18Н10Т ГОСТ 5449-75. У табл. 6.1 і 6.2 подано хімічний склад і механічні властивості вибраного матеріалу.

Термооброблення листа – загартування при температурі 1020...1100 °С, середовище охолодження – вода, масло або повітря. Інтервал температур деформації у нагрітому стані – 900...1220 °С.

Хімічний склад сталі X18H10T

Хімічний елемент	C	Cr	Ni	Ti	Mn	Si	S	P	Fe
%	0,01	18	10	1,5	≤ 2	≤ 0,8	≤ 0,02	≤ 0,035	решта

Таблиця 6.2

Механічні властивості сталі X18H10T при кімнатній температурі

σ_e , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	φ , %
510	196	40	55

6.1.3. Проектування заготовки

Початковими даними при визначенні форми і розмірів заготовки є креслення готової деталі, вказівки щодо виду заготовки і характеру термообробки.

При витяжці без стоншування стін зміною товщини матеріалу зазвичай нехтують і визначення розмірів заготовки проводять за умови, що площа поверхні заготовки і готової деталі з припуском на обрізання дорівнюють одна одній, тобто вважаємо, що діаметр заготовки дорівнює довжині деталі твірної.

Для даного випадку витяжки заготовка має форму круга, діаметр якого знаходять за формулою

$$D = 1,13\sqrt{F} = 1,13\sqrt{\sum f}, \quad (6.1)$$

де F – площа поверхні готової деталі, мм²;

$\sum f$ – сума площ окремих елементів поверхні деталі, мм².

На рис. 6.2 показано деталь з фланцем. Для підрахунку площі поверхні твірну деталі розділяють на окремі ділянки, площу яких визначають за рядом формул [13, с. 118, т. 37], а повну поверхню – сумою площ ділянок:

$$f_1 = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2) = \frac{\pi}{4}(250^2 - 203^2) = 16713 \text{ мм}^2;$$

$$f_2 = \pi(d_2L - 2R_1h_1) = \pi(203 \cdot 2,72 - 2 \cdot 4 \cdot 0,94) = 1710 \text{ мм}^2,$$

$$\text{де } L = \frac{\pi R_1 \alpha}{180} = 0,017R_1\alpha = 0,017 \cdot 4 \cdot 40 = 2,72 \text{ мм};$$

$$f_3 = \frac{\pi l_1}{2}(d_3 + d_4) = \frac{4,1\pi}{2}(198 + 191) = 2503 \text{ мм}^2;$$

$$f_4 = \pi(d_5L + 2R_2h_2) = \pi(184 \cdot 4,1 + 2 \cdot 6 \cdot 1,4) = 2422 \text{ мм}^2,$$

$$\text{де } L = \frac{\pi R_2 \alpha}{180} = 0,017R_2\alpha = 0,017 \cdot 6 \cdot 40 = 4,1 \text{ мм};$$

$$f_5 = \frac{\pi}{4}(d_5^2 - d_6^2) = \frac{\pi}{4}(184^2 - 173^2) = 3083 \text{ мм}^2;$$

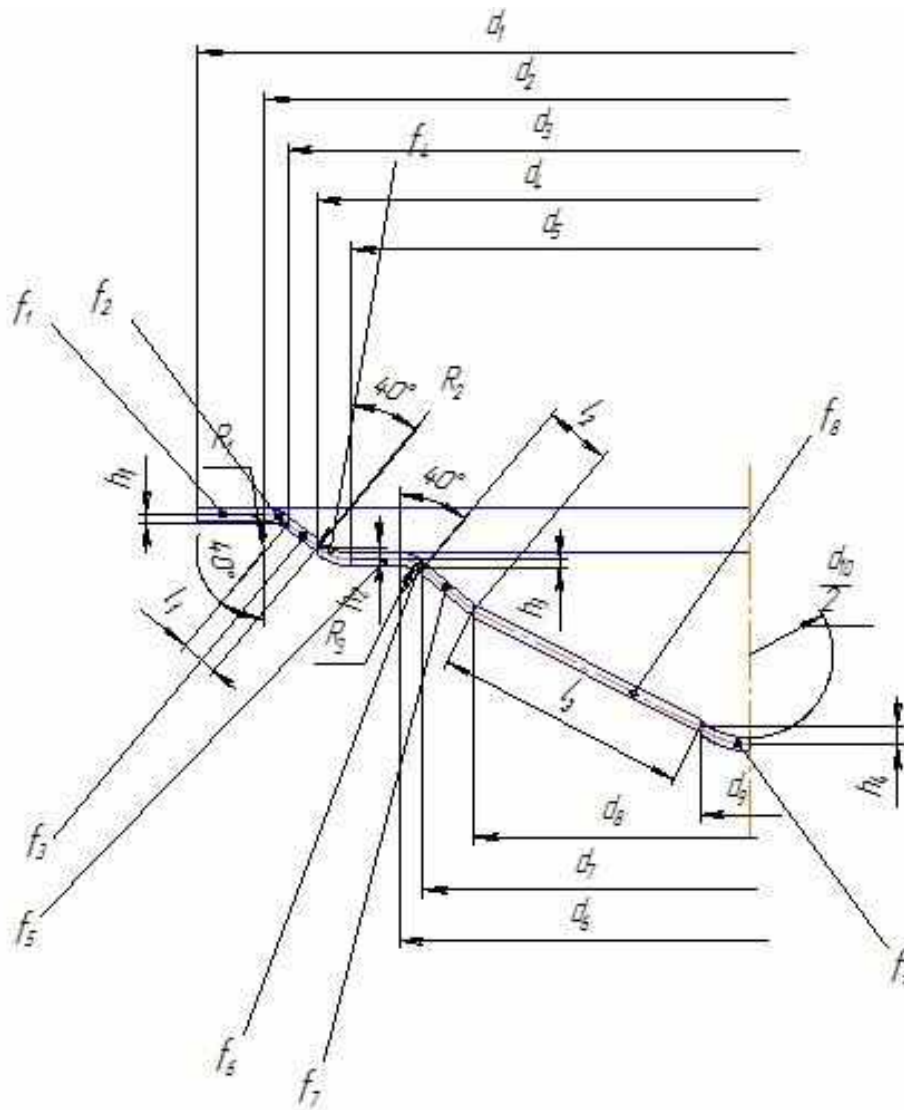


Рис. 6.2. Розподіл деталі на окремі ділянки

$$f_6 = \pi (d_6 L - 2R_3 h_3) = \pi (173 \cdot 2,72 - 2 \cdot 4 \cdot 0,94) = 1454 \text{ мм}^2,$$

$$\text{де } L = \frac{\pi R_3 \alpha}{180} = 0,017 R_3 \alpha = 0,017 \cdot 4 \cdot 40 = 2,72 \text{ мм};$$

$$f_7 = \frac{\pi l_2}{2} (d_7 + d_8) = \frac{7,4\pi}{2} (168 + 156,5) = 3770 \text{ мм}^2;$$

$$f_8 = \frac{\pi l_3}{2} (d_8 + d_9) = \frac{80\pi}{2} (156,5 + 22) = 22420 \text{ мм}^2;$$

$$f_9 = \pi d_{10} h_4 = \pi \cdot 35,8 \cdot 3,7 = 416 \text{ мм}^2;$$

а діаметр заготовки

$$\begin{aligned} D_0 &= 1,13 \sqrt{f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_8 + f_9} = \\ &= 1,13 \sqrt{16713 + 1710 + 2503 + 2422 + 3083 + 1454 + 3770 + 22420 + 416} = \\ &= 263,8 \approx 265 \text{ мм.} \end{aligned}$$

6.1.4. Вибір способу отримання початкової заготовки

Спосіб отримання заготовки визначає норму витрати матеріалу і коефіцієнт його використання, істотно впливає на трудомісткість механічної обробки і значною мірою визначає собівартість виробів, що випускаються.

Одночасно правильний вибір виду заготовки має велике значення для розроблення економічно доцільного технологічного процесу виготовлення деталей.

Широко вживані в авіадвигунобудуванні корозійностійкі жароміцні й жаростійкі сплави мають високу міцність у поєднанні з великою в'язкістю і належать до категорії матеріалів, що важко оброблюються різанням.

Крім того, жароміцні сплави схильні до значного зміцнення поверхневого шара при обробленні лезовим інструментом, що призводить до збільшення сил різання і прискореного спрацювання різального інструменту.

Тому одним з основних напрямів розвитку сучасної технології виробництва деталей авіаційних двигунів є зменшення обсягів технологічних процесів зняття шару металу і їх заміни процесами точного поверхневого і об'ємного формування деталей з мінімальною подальшою механічною обробкою або без неї.

Велика вартість витрат на матеріали при виготовленні двигунів пояснюється низьким коефіцієнтом використання металу (КВМ). Нині залежно від технологічності двигуна і ступеня його серійного освоєння коефіцієнт використання металу коливається в межах 0,17...0,33 [7].

Останнім часом спостерігається зростання кількості заготовок, які одержують шляхом лиття, об'ємним і листовим штампуванням.

Розглядувану деталь виготовляють з листа. Розміри листа вибирають з урахуванням розмірів деталі з сортаменту листової гарячекатаної сталі (ГОСТ 19903-74) з нормальною точністю, високою площиною і необрізаною кромкою.

Розміри листа: товщина – 1,5 мм, ширина – 700 мм, довжина – 2000 мм [1, с. 134].

Лист розмічають і розрізають на гільйотинних ножицях. Допуск при відрізанні становить 1,5 мм [14, с. 157, т. 40]. Після розмітки на вібраційних ножицях вирізають заготовку, зачищають облої.

Після штампування проводять обрізання фланця, термообробку і контроль деталі.

6.1.5. Розкрій матеріалу і величина перемичок

Під розкромом матеріалу розуміють прийнятий порядок розташування плоских заготовок або деталей на листі і подальше їх вирізання. Листові матеріали для холодного штампування у більшості випадків заздалегідь розрізають на смуги або заготовки необхідних розмірів. Різання смуг є заготовчою операцією і проводиться на важельних, гільйотинних, дискових (роликових) або вібраційних ножицях, а також на спеціальних відрізних штампах [13, с. 13].

Характер операцій розкроїв залежить від конфігурації деталі, матеріалу, з якого вони виконуються, і типу устаткування.

Для розкрою такого листа застосовуємо гільйотинні ножиці. У результаті різання одержуємо деталі з прямолінійними контурами. При паралельному розкрої виходять великі відходи по краях заготовок. З метою економії матеріалу застосовуємо косий розкрій листа, у результаті одержуємо таку схему розкрою (рис. 6.3).

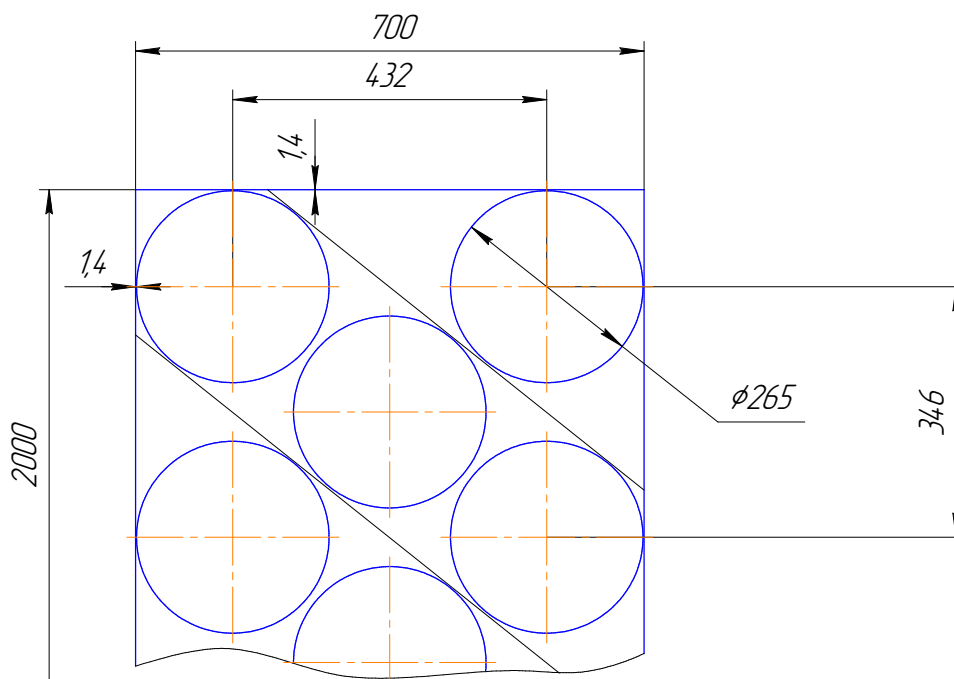


Рис. 6.3. Схема розкрою листів

Для криволінійного розкрою круглих заготовок діаметром 265 мм застосовуємо вібраційні ножиці. На листі розміром 700x2000 одержуємо 17 таких заготовок.

Економічність розкрою значною мірою залежить від правильної величини перемичок. Основне призначення перемички – компенсувати погрішності подачі матеріалу з тим, щоб забезпечити повну вирізку деталі по всьому контуру і запобігти отриманню бракованих деталей.

Розмір перемички залежить від товщини і твердості матеріалу, розмірів і конфігурації деталі.

У цьому випадку величина перемички становить 1,4 мм [13, с. 424, табл. 166].

Точність розкрою на ножицях відповідає 14...16-му квалітету (шорсткість поверхні Rz 40).

Основною вимогою, що ставиться до розкрою, є якнайповніше використання матеріалу, економія матеріалу, зменшення відходів.

Основним критерієм відпрацювання і раціональності технологічних процесів розкрою матеріалів є коефіцієнт використання матеріалу (КВМ), який визначається як відношення сумарної маси вирізованих заготовок (деталей) до маси вихідного матеріалу:

$$KBM = \frac{\Sigma m_{\text{дет}}}{m_{\text{листа}}} = \frac{\Sigma F_{\text{дет}}}{F_{\text{листа}}}, \quad (6.2)$$

$$KBM = \frac{17 \cdot \pi r^2}{H \cdot L} = \frac{17 \cdot 132,5^2 \pi}{700 \cdot 2000} \approx 0,7,$$

де r – радіус заготовки, мм;

H – довжина листа, мм;

L – ширина листа, мм.

6.1.6. Розрахунок норми витрати матеріалу при виготовленні дефлектора

Під нормою витрати матеріалу розуміють мінімальну його кількість, яка необхідна для виготовлення одиниці виробу згідно з прийнятою технологією.

Норма витрати встановлюється як на основні, так і допоміжні матеріали. Основними матеріалами є матеріали, що входять в конструкцію виробу основного виробництва. Допоміжними матеріалами називають матеріали, що не входять в конструкцію виробу основного виробництва, але необхідні при його виготовленні.

Для деталей з листа норма витрати матеріалу залежить від виду розкрою: індивідуального, групового або змішаного. Найекономічнішим є груповий розкрій.

Норма витрати матеріалу для даної деталі складе

$$N = \frac{q}{KBM}, \quad (6.3)$$

або

$$N = f \frac{S}{KBM} \gamma, \quad (6.4)$$

де q – маса заготовки, кг;

f – площа заготовки, м²;

S – розрахункова товщина листа, м;

γ – густина матеріалу, кг/м³.

У результаті розрахунку отримаємо

$$N = 0,055127 \frac{0,0015}{0,7} 7800 = 0,96 \text{ кг}$$

6.1.7. Визначення роботи деформації і розрахунок маси заряду вибухової речовини при штампуванні дефлектора

Для визначення роботи деформації і величини заряду при штампуванні дефлектора скористаємося програмою розрахунку величини заряду, запропонованою у підрозд. 3.2.1. Для цього введемо початкові дані – геометричні параметри заготовки і властивості матеріалу заготовки і середовища штампування.

Дані для розрахунку маси заряду

Геометричні параметри:

кількість варіантів діаметра заготовки (1–10) : 1
діаметр заготовки, м : 0.265
діаметр отвору матриці, м : 0.2
дистанція підриву заряду, м : 0.148
кількість варіантів товщини заготовки (1–10) : 1
товщина заготовки м : 0.0015
висота циліндра матриці, м : 0
прогин заготовки, м : 0.06
радіус перетяжного ребра, м : 0.007

Властивості матеріалу і середовища:

матеріал заготовки : сталь 12X18H9T
стала M для матеріалу : 1876.0e-6
коефіцієнт відбиття ударної хвилі NU : 0.528
стала B властивостей матеріалу, Па : 1180e+6
стала L властивостей матеріалу : 0.29

Результати розрахунків маси заряду

Матеріал заготовки – сталь 12X18H9T

товщина заготовки (m) DEL = 1.5000000000E-03

Діаметр заготовки (м)	Енергія деформування (Н·м)	Маса заряду (кг)	Діаметр деталі (м)
2.6500000000E-01	2.2338514826E+04	1.3955325461E-01	2.4111285122E-01

Таким чином, робота, необхідна для отримання заданих параметрів деталі, становить 22339 кДж, маса заряду – 0,140 кг.

Для отримання деталі достатньо чотирьох переходів штампування. Маса величини заряду для кожного переходу становитиме 0,035 кг.

6.1.8. Розроблення маршрутної технології виготовлення дефлектора

Для побудови процесів штампування слід вирішити основні технологічні питання: установити характер, кількість, послідовність і суміщеність операцій вибухового штампування.

Характер операцій визначається в основному геометричною формою і конфігурацією штампованих деталей, станом їх поверхні, наявністю вирізів або отворів.

У результаті аналізу конструктивних і технологічних особливостей деталі і розгляду різних схем побудови технологічного процесу були розроблені маршрути виготовлення дефлектора (табл. 6.3, 6.4).

Таблиця 6.3

Маршрутна технологія виготовлення дефлектора (базовий варіант)

Номер операції	Найменування операції	Найменування устаткування	Тип моделі	Штучний час, хв	Розряд роботи	Кількість робочих
005	Розмітка	Лінійка-рисувалка	–	0,5	4	1
010	Розкрій (лист на смуги і карти)	Гільйотинні ножиці	H415	1,0	4	2
015	Розкрій (карт на мірні заготовки)	Вібраційні ножиці	–	1,0	4	1
020	Слюсарна (зачищення облоїв)	Верстак, полірувальна бабка	–	0,5	4	1
025	Термообробка	Піч	H75 №3	5	5,6	2
030	Підготовка заряду (Відрізати поліетиленову плівку і липку стрічку. Відважити амоніт і помістити його в плівку. Установити в підготовлений заряд)	Ваги	ВНЦ-2	3,5	5,6	2
035	Підготовка штампа (Вийняти матрицю з корпусу, обдути стисненим повітрям, протерти чистою ганчіркою внутрішню поверхню матриці. Вставити заготовку до упора в дно і	Вибухова камера, штамп	–	10,48	5,6	2

Продовження табл. 6.3

Номер операції	Найменування операції	Найменування устаткування	Тип моделі	Штучний час, хв	Розряд роботи	Кількість робочих
	притиснути притискним кільцем. Матрицю із заготовкою встановити в корпус. Ущільнити верхній зазор між заготовкою і матрицею мастикою ущільнювача. Надіти трубку вакуумної системи на штуцер, підключити вакуумну систему)					
040	Штампування (Закріпити заряд на пристрої для підвішування заряду і встановити його на заготовку. Опустити штамп на дно басейну. Підірвати заряд. Вимкнути вакуумну систему, підняти штамп з басейну. Витягнути деталь, обдути її стиснутим повітрям і протерти чистою ганчіркою)	Вибухова камера, штамп	–	6,6	5,6	2
045	Підготовка заряду	Ваги	ВНЦ-2	3,5	5,6	2
050	Підготовка штампа	Вибухова камера, штамп	–	10,48	5,6	2

Закінчення табл. 6.3

Номер операції	Найменування операції	Найменування устаткування	Тип моделі	Штучний час, хв	Розряд роботи	Кількість робочих
055	Штампування	Вибухова камера, штамп	–	6,6	5,6	2
060	Термообробка	Піч	H75 №3	5	5,6	2
065	Підготовка заряду	Ваги	ВНЦ-2	3,5	5,6	2
070	Підготовка штампа	Вибухова камера, штамп	–	10,48	5,6	2
075	Штампування	Вибухова камера, штамп	–	6,6	5,6	2
080	Термообробка	Піч	H75 №3	5	5,6	2
085	Контроль	Стіл	–	1	5,6	2
090	Підготовка заряду	Ваги	ВНЦ-2	3,5	5,6	2
095	Підготовка штампа	Вибухова камера, штамп	–	10,48	5,6	2
100	Калібрування	Вибухова камера, штамп	–	6,6	5,6	2
105	Контроль	Стіл	–	1,5	5,6	2
110	Транспортування	–	–	–	–	–
Штучний час на деталь, хв				102,82		

Таблиця 6.4

Маршрутна технологія виготовлення дефлектора
(з використанням розробленого пристрою)

Номер операції	Найменування операції	Найменування устаткування	Тип моделі	Штучний час, хв	Розряд роботи	Кількість робочих
005	Розмітка	Лінійка-рисувалка	–	0,5	4	1

Продовження табл. 6.4

Номер операції	Найменування операції	Найменування устаткування	Тип моделі	Штучний час, хв	Розряд роботи	Кількість робочих
010	Розкрій (розкроїти лист на смуги)	Гільйотинні ножиці	H415	1,0	4	2
015	Розкрій (вирізати мірні заготовки)	Вібраційні ножиці	–	1,0	4	1
020	Слюсарна (зачищення облоїв)	Верстак, полірувальна бабка	–	0,5	4	1
025	Термообробка	Піч	H75 №3	5,0	5,6	2
030	Підготовка заряду	Ваги	ВНЦ-2	3,0	5,6	2
035	Підготовка штампа (Підняти рухому частину заготовки у крайнє верхнє положення. Нанести мастило на фланцеву частину заготовки і матриці. Установити заготовку на притискне кільце. Опустити верхню частину установки в початкове положення. Установити гільзу із зарядом на зарядний пристрій, зафіксувати гільзу на корпусі. Увімкнути систему вакуумуван-	Вибуховий прес, вакуумнасос, насос	ВП-1, ВН2-МГ, 4К8	5,5	5,6	2

Продовження табл. 6.4

Номер операції	Найменування операції	Найменування устаткування	Тип моделі	Штучний час, хв	Розряд роботи	Кількість робочих
	ня робочої порожнини матриці. Включити подачу води у вибухову камеру)					
040	Штапування (Підірвати заряд. Зняти деталь і встановити нову заготовку. Злити воду. Зняти гільзу з корпусу камери, встановити і закріпити на корпусі другу гільзу з зарядом)	Вибуховий прес, насос	ВП-1, 4К8	4,0	5,6	2
045	Підготовка заряду	Ваги	ВНЦ-2	3,0	5,6	2
050	Підготовка штампа	Вибуховий прес, вакуум-насос, насос	ВП-1, Вн2-МГ, 4К8	4,5	5,6	2
055	Штапування	Вибуховий прес, насос	ВП-1, 4К8	4,0	5,6	2
060	Термообробка	Піч	Н75 №3	5,0	5,6	2
065	Підготовка заряду	Ваги	ВНЦ-2	3,0	5,6	2
070	Підготовка штампа	Вибуховий прес, вакуум-насос, насос	ВП-1, Вн2-МГ, 4К8	4,5	5,6	2
075	Штапування	Вибуховий прес, насос	ВП-1, 4К8	4,0	5,6	2

Закінчення табл. 6.4

Номер операції	Найменування операції	Найменування устаткування	Тип моделі	Штучний час, хв	Розряд роботи	Кількість робочих
080	Термообробка	Піч	Н75 №3	5,0	5,6	2
085	Контроль	Стіл	–	1,0	5,6	2
090	Підготовка заряду	Ваги	ВНЦ-2	3,0	5,6	2
095	Підготовка штампа	Вибуховий прес, вакуум-насос, насос	ВП-1, Вн2-МГ, 4К8	4,5	5,6	2
100	Калібрування	Вибуховий прес, насос	ВП-1, 4К8	3,0	5,6	2
105	Контроль	Стіл	–	1,5	5,6	2
110	Транспортування	–	–	–	–	–
Штучний час на деталь, хв				63		

7. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Відомо, що один і той же виріб можна виготовити за різними способами з використанням різних варіантів технологічних процесів. У виробництві слід упроваджувати ті технологічні процеси, які, забезпечуючи необхідну якість виробів і не погіршуючи умови праці, забезпечують при заданих масштабах виробництва якнайменші витрати суспільно необхідної як живої, так і упредметненої праці (у матеріалі, устаткуванні, оснащенні, енергії та ін.)

Тому при розробленні нових технологічних процесів ще на стадії проведення наукових досліджень потрібен аналіз їхньої економічної ефективності.

Загальний порядок економічного обґрунтування нового технологічного процесу можна подати таким чином [9, с. 6]:

- вибір об'єкта для порівняння (базовий варіант);
- аналіз особливостей і технологічних відмінностей порівнюваних варіантів;
- вибір показників економічної ефективності;
- розрахунок прийнятих показників;
- аналіз і висновки про ефективність порівнюваних варіантів.

У такій послідовності нижче наведено розрахунок економічної ефективності технологічного процесу виготовлення листових деталей авіаційних двигунів енергією вибуху з використанням розробленої установки.

Мета роботи – розроблення технологічного процесу виготовлення листової деталі авіаційного двигуна (дефлектора) енергією БВР з використанням установки, де притиснення фланця заготовки при штампуванні здійснюється енергією основного заряду.

База для порівняння – виготовлення листової деталі авіаційного двигуна (дефлектора) енергією БВР з використанням стаціонарного басейну і штампа з клиновим притисненням заготовки.

Обидва технологічні процеси організовано на ділянці вибухового штампування, оснащеному спеціальною установкою і стаціонарним басейном діаметром 2000 мм. Ділянку обслуговують дві людини. При порівнянні вважаємо, що якість виробів і умови праці в обох варіантах однакові.

7.1. Коротка характеристика порівнюваних варіантів

Виготовлення дефлекторів здійснюється на ділянці штампування вибухом, розміщеному в закритому приміщенні. За базовим варіантом деталі виготовляють за чотири переходи у стаціонарному басейні за допомогою штампа, оснащеного клиновим притискачем фланця заготовки.

За новим варіантом виготовлення дефлектора також здійснюють за чотири переходи, але при цьому використовують спеціально розроблену установку зі швидкодійним притисненням заготовки. Порівнювані варіанти відрізняються за трудомісткістю, оснащенням і капітальними витратами.

Маршрутну технологію за варіантами наведено у табл. 6.2, 6.3.

При визначенні трудомісткості витрат використовували матеріали Запорізького машинобудівного об'єднання «Мотор Сич», Південно-турбінного заводу (м. Миколаїв). З урахуванням статистичних даних цих підприємств і за умови роботи в обох випадках по двоє людей трудомісткість за базовим варіантом становить 102,82 люд.-хв, за новим варіантом – 63 люд.-хв. Трудомісткість порівнювальних операцій за базовим і новим варіантами становить відповідно 83,32 і 46 люд.-хв.

7.2. Розрахунок показників економічної ефективності

Основними показниками для оцінювання економічної ефективності є витрати на виготовлення і експлуатацію нової техніки. Ці витрати виражаються двома грошовими показниками:

- капітальні вкладення, пов'язані з упровадженням нової техніки. Проводять одноразово до початку її експлуатації;
- експлуатаційні витрати, пов'язані з використанням нової техніки у виробництві. Для технологічних процесів ці витрати включають у собівартість продукції, що виготовляється.

Окрім названих показників при аналізі користуватимемося річною економією, що характеризує грошову економію, яку отримує виробництво від упровадження нової техніки, і річним економічним ефектом, що визначається за різницею річних зведених витрат.

Початкові дані по варіантах наведено в табл. 7.1, 7.2.

Таблиця 7.1

Початкові дані для розрахунку

№ п.п.	Найменування	Порівнювані варіанти			
		Одиниці вимірювання	Базовий варіант	Новий варіант	Примітка
1	Трудомісткість виготовлення деталі	люд.-хв	83,32	46	–
2	Кількість робітників	люд	2	2	–
3	Кількість переходів	шт.	4	4	–
4	Розряд робітників (середній)	–	5	5	–
5	Середня тарифна ставка	грн/год	9,09	9,09	–
6	Дійсний річний фонд роботи устаткування	год	3770	3980	–
7	Вага штампів	кг	110	75	–
8	Вантажопідйомність устаткування	т	5	–	–
9	Потужність устаткування	кВт	52	40	–
10	Вартість електроенергії	грн/кВт·год	0,615	0,615	–

Таблиця 7.2

Початкові дані для розрахунку

№ п.п.	Найменування витрат	Порівнювальні варіанти		
		Базовий варіант	Новий варіант	Примітка
1	Вартість технологічного устаткування	27100	4340	–
2	Вартість оснащення	740	504	–
3	Вартість вантажопідйомного устаткування	25201	–	–
Разом (капітальні витрати)		53041	4844	

За відомою залежністю знаходимо складові технологічної собівартості. При цьому враховуємо тільки відмінні витрати, оскільки однакові на співвідношення варіантів не впливають. У розрахунках ураховано такі витрати: на заробітну платню, амортизацію устаткування, енергію. При цьому заробітну платню визначали за трудомісткістю і середніми тарифними ставками з урахуванням нарахування на соціальне страхування і додаткову заробітну платню. Норма амортизаційних відрахувань для устаткування прийнята 5,5 %. Вартість електричної енергії – 0,615 грн/кВт·год.

У загальному випадку технологічна собівартість річного обсягу робіт включає велику кількість показників, її визначають за формулою [5, с. 21]

$$C_{техн} = (M_{осн} + C_{з.п} + C_{ен} + A_{уст} + P_{уст} + I + C_{осн} + M_{доп} + A_{буд} + P_{буд} + C_{вт}) \cdot N + A_{сп.обс}^N + A_{буд}^N + C_{сп.осн}^N + C_{нал}^N, \quad (7.1)$$

де $M_{осн}$ – витрати на основні матеріали за вирахуванням оборотних відходів, що припадають на одиницю виробу, грн;

$C_{з.п}$ – заробітна платня виробничих робітників на одиницю виробу (основна і додаткова з урахуванням оподаткування фонду заробітної платні), грн;

$C_{ен}$ – витрати на електроенергію і енергоносії на одиницю виробу, грн;

$A_{уст}$ – амортизаційні відрахування від вартості універсального устаткування на одиницю виробу, грн;

$P_{уст}$ – витрати на поточний ремонт і обслуговування устаткування з розрахунку на одиницю виробу, грн;

I – витрати на універсальний інструмент (різальний, мірильний) з розрахунку на одиницю виробу, грн;

$C_{осн}$ – витрати на універсальне оснащення з розрахунку на одиницю виробу, грн;

$M_{доп}$ – витрати на допоміжні матеріали з розрахунку на одиницю виробу, грн;

$A_{буд}$ – амортизаційні відрахування від вартості будівель, площі яких зайняті спеціальним устаткуванням, з розрахунку на одиницю виробу, грн;

$P_{буд}$ – витрати на обслуговування і ремонт будівель з розрахунку на одиницю виробу, грн;

$C_{вт}$ – втрати від браку з розрахунку на одиницю виробу, грн;

$A_{сп.уст}^N$ – річні амортизаційні відрахування від вартості спеціального устаткування, грн;

$A_{буд}^N$ – річні амортизаційні відрахування від вартості будівель, площі яких зайняті спеціальним устаткуванням, грн;

$C_{сп.уст}^N$ – витрати на спеціальне оснащення, що списуються за рік, грн;

$C_{нал}^N$ – річні витрати на налагодження устаткування, грн;

N – річний обсяг робіт, шт.

При розрахунку елементів витрат технологічної собівартості користуватимемося правилами, спрямованими на спрощення розрахунків:

- урахувувати тільки головні витрати, а другорядними – нехтувати;
- урахувувати в калькуляції тільки ті витрати, які відрізняються у порівнюваних варіантах.

Виходячи з цього формула для розрахунку технологічної собівартості одиниці виробу має вигляд

$$C_{\text{техн.вир}} = C_{\text{з.п}} + A_{\text{уст}} + P_{\text{уст}} + C_{\text{ен}} + \frac{C_{\text{сп.осн}}^N}{N}. \quad (7.2)$$

Проведемо розрахунок складових технологічної собівартості [5, с. 24]:

1. Заробітна платня виробничих робітників, грн:

$$C_{\text{з.п}} = I \cdot t(1 + \omega_D)(1 + \omega_{\text{відрах}}), \quad (7.3)$$

де t – трудомісткість одиниці роботи, люд.-год;

I – погодинна ставка робітника;

ω_D – коефіцієнт додаткової заробітної платні (0,2 – 0,3);

$\omega_{\text{відрах}}$ – коефіцієнт, що ураховує відрахування до фондів пенсійного страхування, зайнятості та соціального страхування (0,25 – 0,35).

2. Амортизаційні відрахування від вартості устаткування, грн:

$$A_{\text{уст}} = \frac{C_{\text{уст}}}{\Phi_D \cdot K_3} t \frac{H_a}{100}, \quad (7.4)$$

де Φ_D – дійсний річний фонд роботи устаткування, год;

H_a – норма амортизаційних відрахувань;

$C_{\text{уст}}$ – вартість устаткування;

K_3 – коефіцієнт завантаження устаткування (0,8 – 0,9);

t – трудомісткість одиниці роботи, верстато-год.

3. Витрати на поточний ремонт і обслуговування устаткування (укрупнюючий), грн:

$$P_{\text{уст}} = \frac{P_{\text{річ}}}{\Phi_D \cdot K_3} t, \quad (7.5)$$

де $P_{\text{річ}}$ – річні витрати на ремонт при повному завантаженні устаткування, приймаються 3.4 % від вартості устаткування;

Φ_D – дійсний річний фонд роботи устаткування, год;

K_3 – коефіцієнт завантаження устаткування (0,8 – 0,9);

t – трудомісткість одиниці роботи, верстато-год.

4. Витрати на електричну, силову і технологічну енергію, грн:

$$C_{\text{ен}} = N_y \cdot K_n \cdot K_q \cdot t \cdot C_{\text{ен}}, \quad (7.6)$$

де N_y – установлена потужність електродвигунів устаткування, що використовується на даній операції, кВт;

K_n – коефіцієнт використання електродвигунів за потужністю ($K_n = 0,1$);

K_q – коефіцієнт використання електродвигунів за часом ($K_q = 0,38$);

t – оперативний час на операцію, верстато-год;

$C_{\text{ен}}$ – вартість електроенергії, грн/кВт·год.

Розрахунок складових елементів технологічної собівартості базового і нового варіантів наведено в табл. 7.3.

Розрахунок елементів технологічної собівартості

№ п/п	Елементи витрат	Базовий варіант	Новий варіант
1	Заробітна платня виробничих робітників, грн	$C_{з.п} = 9,09 \frac{83,32}{60} \times 2 (1 + 0,3) \times (1 + 0,3) = 42$	$C_{з.п} = 9,09 \frac{46}{60} \times 2 (1 + 0,3) \times (1 + 0,3) = 23,6$
2	Амортизаційні відрахування від вартості устаткування, грн	$A_{уст} = \frac{53041}{3770 \cdot 0,9} \times \frac{83,32}{60} \cdot \frac{5,5}{100} = 1,2$	$A_{уст} = \frac{4844}{3980 \cdot 0,9} \times \frac{46}{60} \cdot \frac{5,5}{100} = 0,06$
3	Витрати на поточний ремонт і обслуговування устаткування, грн	$P_{уст} = \frac{53041 \cdot 0,03}{3770 \cdot 0,9} \times \frac{83,32}{60} = 0,65$	$P_{уст} = \frac{4844 \cdot 0,03}{3980 \cdot 0,9} \times \frac{46}{60} = 0,03$
4	Витрати на електричну, силову і технологічну енергію, грн	$C_{ен} = 52 \cdot 0,1 \cdot 0,38 \times \frac{83,32}{60} \cdot 0,615 = 1,68$	$C_{ен} = 40 \cdot 0,1 \cdot 0,38 \times \frac{46}{60} \cdot 0,615 = 0,72$
Технологічна собівартість, грн/дет		49,23	26,96

Наведений розрахунок технологічної собівартості показав, що для деталі, яка розглядається, при реальних для дрібносерійного виробництва випусках виробів перевагу слід віддавати новому варіанту.

Різниця технологічних собівартостей річної програми між базовим і новим варіантами дає умовно-річну економію від упровадження нової техніки у виробництво [9, с. 51]:

$$C_{y.p} = (C_{m.б} - C_{m.н}) N, \quad (7.6)$$

де $C_{m.б}$ – технологічна собівартість базового варіанта;

$C_{m.н}$ – технологічна собівартість нового варіанта;

N – програма випуску (річний обсяг робіт):

$N = 200$ дет./рік.

$$C_{y.p} = (49,23 - 26,96) 200 = 4454 \text{ грн.}$$

Узагальнюючим показником ефективності нової техніки є зведені витрати, в яких сполучено поточні витрати і капітальні вкладення

$$П = CN + E_n K, \quad (7.7)$$

де C – собівартість одиниці роботи;

K – капітальні вкладення;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Різниця зведених витрат за порівнюваними варіантами дає річний економічний ефект [9, с. 52]

$$E = \Pi_6 - \Pi_H = (C_6 - C_H)N + E_H(K_6 - K_H), \quad (7.8)$$

$$E = (49,53 - 26,96)200 + 0,15(53041 - 4844) = 11684 \text{ грн.}$$

Техніко-економічні показники порівнюваних варіантів наведено у табл. 7.4.

Таблиця 7.4

Техніко-економічні показники

№ п.п.	Найменування показника	Порівнювані варіанти		
		Базовий варіант	Новий варіант	Примітка
1	Капітальні витрати, тис. грн	53041	4844	–
2	Потужність устаткування, кВт	52	40	–
3	Трудомісткість виготовлення, люд.-год	1,389	0,766	–
4	Кількість робітників, люд.	2	2	–
5	Технологічна собівартість, грн	49,23	26,96	Однієї деталі
6	Річна економія, грн	4454		$N = 200$ шт.
7	Річний економічний ефект, грн	11684		$N = 200$ шт.

Таким чином, при програмі випуску двісті деталей за рік річна економія становить 4218 грн, річний економічний ефект – 11448 грн. Наведений розрахунок показав, що для розглянутої деталі новий варіант має значні переваги порівняно з базовим унаслідок зниження капітальних витрат, трудомісткості, вартості оснащення, витрат на підйомно-транспортне устаткування. Разом з тим можливості використання нового варіанта обмежені габаритами деталей (500...600 мм), що виготовляються, устаткування потребує серйозних теоретичних і експериментальних досліджень щодо зовнішнього навантаження, міцнісних параметрів, конструктивних рішень.

8. ВИЯВЛЕННЯ І АНАЛІЗ ШКІДЛИВИХ І НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЧИХ ЧИННИКІВ У РОБОЧІЙ ЗОНІ ДІЛЯНКИ ШТАМПУВАННЯ

При виконанні робіт на ділянках вибухового штампування необхідно дотримуватися правил і вимог, що забезпечують безпечні умови праці – необхідно враховувати виробничі чинники, які можуть знижувати працездатність персоналу, який обслуговує технічні установки, і впливати на навколишнє середовище. До таких чинників слід віднести шкідливі речовини, що утворюються при хімічному розкладанні вибухових речовин під час ви-

буху. Шкідливі речовини потрапляють у повітря і у воду, яка використовується при листовому штампуванні у вигляді передавального середовища. Їх кількість слід урахувувати при проектуванні ділянок вибухового штампування і забезпеченні умов праці, що задовольняють вимоги санітарних норм. Використовування для металообробки як джерело енергії вибухових речовин потребує виконання загальних вимог безпеки, передбачених «Єдиними правилами безпеки при вибухових роботах», а також спеціальних вимог, що відповідають специфіці процесу вибухового штампування.

Для визначення заходів щодо усунення дії на персонал шкідливих речовин, що виділяються в робочій зоні технологічних установок, крім кількості цих речовин важливим є ступінь їх токсичності, який характеризується гранично допустимою концентрацією (ГДК).

Уважаємо, що для виробництва листових деталей був застосований заряд з амоніту 6ЖВ.

ГДК для окису азоту становить 2 г/м^2 , а для С – 20 г/м^2 . За ступенем небезпеки кількості NO_2 , що виділяється, і СО близькі за значенням, що необхідно урахувувати при визначенні режимів вентиляції.

Кількість у повітрі аміаку NH_3 , що виділяється, незначна (менше 0,2 % маси заряду). Виділення CO_2 (біля 1 % від маси заряду) слід уважати незначним, до того ж двоокис вуглецю добре розчиняється у воді, практично не утворюючи шкідливих домішок.

Можна сказати, що кількість аміаку NH_3 , що виділяється, і двоокису вуглецю CO_2 при розрахунках можна не урахувувати: режим вентиляції визначатиметься кількістю оксидів азоту і окису вуглецю СО.

У воді при підриві амоніту 6ЖВ слід урахувувати наявність ціанідів (для яких ГДК = $1,5 \text{ г/м}^2$), нітратів (для яких ГДК = 10 г/м^2) і аміаку.

Для створення нормальних умов роботи потрібна посилена вентиляція виробничих приміщень.

8.1. Очищення відпрацьованої води

Відпрацьована вода перед зливанням її у виробничу каналізацію або повторним використанням має проходити спеціальне очищення.

Замінення води у гідровибуховій установці слід проводити після вибуху не більше 2 кг ВР на 1 м^3 води. Допускається неповне зливання відпрацьованої води і розбавлення залишку чистою водопровідною водою або водою, що пройшла повний цикл очищення.

Відпрацьована вода під час проведення штампування вибухом забруднюється різними шкідливими, органічними і неорганічними речовинами і містить такі домішки:

– нафтопродукти, що утворюються при застосуванні мінеральних масел для змащування штапованих заготовок і матриць. Уміст нафтопродуктів у воді становить 150...400 мг/л, що значно перевищує встановлені гранично допустимі концентрації для водоймищ;

– неорганічні, що містять азотні сполуки і ціаніди, що утворюються в результаті реакції розкладання при вибуху ВР. Концентрація речовин, що містять азотні сполуки (нейридів, нітратів і аміаку), у відпрацьованій воді незначна;

– частинки твердих речовин, що знаходяться у завислому стані, які складаються головним чином з сажі (72 %), що додає воді темний колір, оксидів заліза (окаліни) і металів (заліза, міді, хрому, алюмінію, титану).

З робочих басейнів забруднена вода має періодично поступати в спеціальні відстійники для очищення її від завислих речовин. Після зливання води дно і стіни басейну слід очистити від осаду, який потім знищують. Відстійники для очищення води повинні мати розміри, що забезпечують повне зливання відпрацьованої води з робочих басейнів, і бути доступними для їх очищення. Відстійники після відкачування з них води слід очистити від осаду, який потім знищують [4, с. 135].

Особливе значення має очищення відпрацьованої води від ціанідів, що мають високу токсичність при концентраціях, які перевищують допустимі.

Очищену воду зливають у виробничу каналізацію або повторно використовують у технологічних ємностях.

Перед зливанням очищеної води в каналізацію проводять додатковий комплексний аналіз у промислово-санітарній лабораторії на вміст у воді, що зливається в каналізацію, нафтопродуктів, завислих речовин, ціанідів, нітридів, нітратів, аміаку, катіонів заліза, цинку, міді і реакцію середовища. Вміст зазначених речовин у воді, що зливається, не повинен перевищувати встановлених гранично допустимих концентрацій.

8.2 Шумові дії

Залежно від рівня і характеру шуму, його тривалості, а також індивідуальних здібностей людини шум може по-різному на неї діяти. Шум, навіть якщо він невеликий, створює значне навантаження на нервову систему. Людина, працюючи при шумі, може частково або повністю втратити слух. Впливаючи на кору головного мозку, шум подразливо діє на нього, прискорює процес стомлення, ослабляє увагу і уповільнює психічні реакції. При дії шуму дуже високих рівнів (більше 145 дБ) можливий розрив барабанної перетинки.

Головною характеристикою імпульсного шуму є його рівень, який визначається амплітудним значенням звукового тиску. Також необхідно ураховувати тимчасові характеристики шуму – його тривалість і частоту повторення звукових імпульсів.

Безпечним рівнем імпульсного шуму можна вважати рівень 110 дБ, який допускається при найменших значеннях інтервалів між вибухами – 0,5 хв. Якщо значення шуму підвищується до 120 дБ, необхідно призначити додаткові перерви, тривалість і кількість яких має збільшуватися зі зменшенням інтервалу між вибухами.

Гранично допустимим рівнем шуму при систематичній роботі на установках слід уважати 130 дБ, який можна допустити при інтервалі між вибухами не менш 5 хв.

При проектуванні установок рекомендується вводити певні запаси надійності, підвищуючи розрахунковий рівень шуму на 5...10 дБ. І таким чином зменшити вірогідність наближення рівня шуму до небезпечних для персоналу границь.

Виробничі випробування показують, що при штампуванні в разовому басейні при вазі заряду 40 г рівень шуму становить 138 дБ, 20 г – 136 дБ. При штампуванні на вибуховому пресі рівень шуму значно нижче.

Зниження шуму можна досягнути шляхом застосування спеціальних заходів:

- 1) вибором найбезпечнішої в шумовому відношенні схеми технологічного процесу;
- 2) належним розрахунком параметрів шумопоглинаючих елементів установок (розмір басейну, об'єм і товщина стіни вакуум-камери, геометрія і розміри глушника для прес-гармати);
- 3) установленням безпечних відстаней віддалення обслуговуючого персоналу від місць вибуху;
- 4) введенням додаткових перерв протягом робочого дня;
- 5) зміною періодичності зміни [8].

8.3. Визначення безпечних відстаней при вибухових роботах і зберіганні вибухових матеріалів

Розрахунок безпечних відстаней у разі аварійного вибуху виконується відповідно до інструкції, наведеної в «Єдиних правилах безпеки при вибухових роботах».

Початкові (технологічні) дані:

- максимальна вага заряду – 0,5 кг;
- місткість витратного складу БВР – 20 кг;
- довжина детонуючого дроту (ДД) – 50 м;
- кількість електродетонаторів – 100 шт.;
- установки: металевий басейн, вибуховий прес;
- тип витратного складу ВР: напівпоглиблений, такий, що примикає до території цеху;
- змінний запас ВР – 10 кг;
- спосіб зберігання змінного запасу ВР – сейфи.

Результати розрахунку безпечних відстаней:

- безпечні відстані L від витратного складу ВР до оточуючих будівель залежно від дії повітряної хвилі [10, с. 15]:

$$L = K_e \sqrt{G}, \quad (8.1)$$

де K_e – коефіцієнт пропорційності, величина якого залежить від характеру пошкоджень і умов зберігання заряду ($K_e = 2$);

G – вага ВР у витратному складі, кг;

$$L = 2\sqrt{20} = 9 \text{ м};$$

– безпечні відстані **L** від витратного складу ВР до виробничого приміщення:

$$L = \sqrt{G}, \quad (8.2)$$

де **G** – вага ВМ у витратному складі, кг

$$L = \sqrt{20} = 4,5 \text{ м};$$

– безпечні відстані від сховища БВР до сховища ДД і електродетонаторів при передачі детонації.

Детонуючий дріт (ДД) і електродетонатори зберігаються у сейфі заглибленого сховища витратного складу. За активний заряд приймаємо сховище детонаторів і ДД, причому один метр ДД дорівнює п'яти детонаторам, тоді

$$n_d = 100 + 50 \cdot 5 = 350 \text{ шт.}$$

Безпечні відстані для передачі детонації [10, с. 16]

$$L_d = 0,06\sqrt{n_d}, \quad (8.3)$$

$$L_d = 0,06\sqrt{350} = 1,1 \text{ м};$$

– безпечні відстані при сейсмічному ефекті.

Розрахунок безпечних відстаней від гідровибухових установок проводиться:

а) за руйнівною дією коливань ґрунту під фундаментами будівель (цехи вибухового штампування або близько розташовані будівлі);

б) за залишковими коливаннями ґрунту під будівлями з точними вимірювальними приладами і апаратами.

Критична швидкість коливань піщаного ґрунту в основі цегляної будівлі без посилення приймається такою, що дорівнює 8 см/с.

Радіус сейсмонебезпечної зони при $V_{кр} = 8$ см/с при застосуванні металевих басейнів визначають за формулою [10, с. 17]

$$L_c = K_c \cdot 13\sqrt{G}, \quad (8.4)$$

де K_c – коефіцієнт, що ураховує тип ґрунту ($K_c = 1,1$ – для глинистих ґрунтів);

G – максимальна вага заряду, кг;

$$L_c = 1,1 \cdot 13\sqrt{0,5} = 10,1 \text{ м.}$$

8.4. Пожежобезпечність ділянки штампування вибухом

Нагляд за протипожежним станом усіх виробничих ділянок має постійно здійснюватися пожежною охороною.

Відповідальність за пожежну безпеку цеху покладається на начальника цеху, в змінах – на начальників змін, старших майстрів (бригадирів з вибухових робіт). Відповідальні особи зобов'язані забезпечити наявність у

цеху правил пожежної безпеки, узгоджених з пожежною охороною і затверджених директором підприємства [4, с. 148].

Майданчик, де зберігають вибухові речовини, приміщення для попереднього формування вибухових речовин, а також бліндаж-укриття підричника мають бути обладнані засобами для гасіння пожеж: вогнегасниками і пожежними гідрантами.

Робочий і обслуговуючий персонал промислової ділянки оброблення металів вибухом повинен бути проінструктований про заходи безпеки при роботі на ділянці і навчений наданню першої невідкладної допомоги потерпілим при аварійних і надзвичайних ситуаціях.

Куріння дозволяється тільки у спеціально відведених місцях.

8.5. Блокування, опалювання, вентиляція, очисні пристрої

У відділенні вибухового штампування двері повинні мати автоблокування з виводом на пульт управління. Автоблокування дверей має виключати можливість входу людей на ділянку після попереджувального сигналу. Під час проведення вибухових робіт над входними дверима, що ведуть до відділення вибухового штампування, має горіти світлове табло: «Не входити! Ведуться вибухові роботи». Двері мають бути замкнуті, впускати людей можна тільки після сигналу «Відбій».

Подача сигналів – попереджувального, бойового і відбою – має проводитися з пульта управління.

Перед установленням заряду має подаватися попереджувальний сигнал, за яким усі працюючі йдуть в укриття, за винятком підричників, що встановлюють заряд.

Перед вибухом заряду має подаватися бойовий сигнал, за яким залишають приміщення також і підричники.

Після вибуху ВР і огляду підричниками місця вибуху має подаватися сигнал «Відбій», за яким дозволяється вихід з укриття.

Подачу сигналу проводять за допомогою сирени, різка, свистка і т. д. у наперед зазначеному порядку, наприклад:

- перший сигнал – попереджувальний, один тривалий;
- другий сигнал – бойовий, два тривалих;
- третій сигнал – відбій, три коротких [4, с. 146].

Виробничі й допоміжні приміщення цеху вибухового штампування мають бути обладнані опалюванням, що забезпечує рівномірну температуру. У всіх приміщеннях на видних місцях мають бути встановлені термометри.

У виробничих приміщеннях обов'язково передбачається повітряне опалювання, суміщене з вентиляцією припливу, в побутових приміщеннях опалювання здійснюється місцевими нагрівальними приладами. Зовнішні ворота виробничих приміщень мають бути обладнані повітряними тепловими завісами.

У приміщеннях для підготовки зарядів, зберігання змінного запасу ВР і для витратного складу ВР рекомендується водяне опалювання.

У вибухонебезпечних приміщеннях температура на поверхні нагрівальних приладів не повинна перевищувати 80 °С [4, с. 136].

Освітлення має здійснюватися лампами розжарювання у вибухобезпечній арматурі при закритій проводці. Вимикачі, запобіжники, штепселі і струмопровідні дроти мають розташовуватися в закритих ящиках із зовнішнього боку відділення вибухового штампування і приміщень для підготовки і зберігання зарядів ВР.

Частини електричних пристроїв, що знаходяться під напругою, мають виключати можливість випадкового дотику до них. Це досягається застосуванням спеціальних огорож, ізоляцією струмоведучих частин, використанням блокувань, гумових килимків і т. д. Устаткування, корпуси електродвигунів, кожухи електроапаратури та інші металеві частини, які можуть виявитися під напругою або накопичувати заряди статичної електрики, мають бути заземлені.

Будівлі цеху вибухового штампування повинні мати грозовий захист.

Відділення вибухового штампування має бути обладнано ефективними припливно-витяжними установками. На ділянці підготовки зарядів біля робочих місць мають бути передбачені місцеві відсмоктувачі.

Проектування вентиляційних установок слід проводити з урахуванням результатів аналізу газів, що виділяються, при вибуховому штампуванні [4, с. 137].

Контроль за забезпеченням видалення газів з робочого приміщення відділення вибухового штампування має проводитися за допомогою газоаналізаторів двічі на зміну, а за необхідності додатково у випадках можливої підвищеної забрудненості повітря.

8.6. Охорона праці

Адміністрація цеху вибухового штампування зобов'язана забезпечити працюючих захисними засобами, спецодягом і спецвзуттям згідно з діючими нормами. Для очищення робочих басейнів і очисних пристроїв слід видавати захисний одяг і взуття, а в зимовий час – теплий одяг (як інвентар).

Адміністрація цеху зобов'язана забезпечити працюючих на ділянках зі шкідливими умовами праці спеціальним харчуванням за діючими нормами, а також молоком і милом за списком професій, затвердженим директором.

Для осіб, пов'язаних у процесі роботи з використанням вибухових речовин, додаткові відпустки і тривалість робочого дня мають бути встановлені з урахуванням умов праці у законодавчому порядку.

У цеху мають бути аптечки та інші засоби надання першої допомоги (носилки, джгути, перев'язувальний матеріал та ін.) [4, с. 149].

8.7. Особливі вимоги до цехів і ділянок штампування вибухом

При проектуванні будівель і споруд для листового штампування вибухом виникає необхідність урахування особливих вимог, виконання яких має забезпечувати, крім надійної роботи установок для здійснення технологічних процесів, стійкість будівельних конструкцій, що піддаються дина-

мічним діянням, і безпеку людей, зайнятих у виробництві, пов'язаному з використанням вибухових речовин.

Будівельні норми і правила для проектування будівельної частини виробничих будівель не враховують цих специфічних особливостей, тому були розроблені технічні умови на проектування ділянок і цехів листового штампування вибухом в спеціальних захисно-технологічних установках.

У технічному завданні вказують призначення ділянки, програму і коротку характеристику виробів, територію для розміщення ділянки, режим роботи ділянки (змінність), склад ділянки із зазначенням переліку обладнання, допоміжних площ і служб, складські приміщення, енерго- і водопостачання, вихідні матеріали у вигляді технологічних процесів. Проектна організація визначає схему організації цеху, розміри площ, планування і розташування ділянки відповідно до правил проектування і вимог безпеки при виконанні підривних робіт, продуктивність ділянки, робочі установки і розташування їх на ділянці.

Цех (ділянка) листового штампування вибухом повинен бути самостійною виробничою спорудою, розташованою на окремій ізольованій ділянці, з огорожею території, що не допускає присутності людей, не зайнятих безпосередньо в даному виробництві.

В основу генерального плану закладається розподіл цеху (ділянки) на дві функціональні зони: «небезпечну» і «безпечну».

«Небезпечна зона» – зона, де проводиться робота з відкритими БВР. У цій зоні знаходяться гідровибухові та інші установки, що працюють з використанням БВР, а також забезпечується безпосереднє обслуговування їх споруд (укриття для обслуговуючого персоналу, пульти управління, приміщення підготовки зарядів, змінний і витратний склади БВР, необхідні електричні, сантехнічні та транспортні пристрої).

Установки, що працюють з використанням БВР, мають бути відокремлені одна від одної залізобетонними перегородками до рівня підкранових колій та мати пультаву та укриття для обслуговуючого персоналу.

«Безпечна зона» – зона заготівельних ділянок, підготовки оснащення, механічної і термічної обробки заготовок і готових деталей.

До цієї зони примикають адміністративно-господарські та санітарно-побутові служби, тобто розташовуються зі сторони, протилежної до вибухонебезпечних приміщень.

«Небезпечну зону» відокремлюють від «безпечної зони» суцільною залізобетонною стіною. Висота стіни обумовлюється інтенсивністю звукової та повітряної хвиль і виконується не нижче 6 метрів, вона повинна мати в'їзні ворота. Під час виробництва вибухом ворота повинні бути закриті і заблоковані електропідливним ланцюгом, а також мають бути оснащені звуковою і світловою сигналізацією.

«Небезпечна» і «безпечна» зони повинні поєднуватися між собою рейковим або безрейковим шляхом для транспортування оснащення, заготовок і готових деталей.

ВИСНОВКИ

У посібнику проведено огляд існуючих методів виготовлення листових деталей імпульсними навантаженнями (штамбування газовими горючими сумішами, зрідженими газами, порохом, електрогідравлічне і електромагнітне штампування, штампування БВР). Найвідповіднішим джерелом енергії для процесів високошвидкісної деформації є БВР.

Проведено аналіз форм листових деталей двигуна і розроблено класифікацію деталей за конструктивними формами деталі, яка має принципове значення у виборі методу формоутворення.

У роботі подано методики визначення основних технологічних параметрів процесу – роботи деформації і величини заряду для випадків роздачі циліндричної і конічної оболонки, витягування деталей з плоских заготовок. Наведено програму розрахунку заряду, яка дозволяє визначати роботу деформації і масу заряду для різних матеріалів, а також заготовок різних діаметрів і товщини.

Розроблено проект установки для штампування-витяжки листових деталей авіадвигуна з плоских заготовок з притисненням фланця заготовки енергією основного заряду БВР, проведено перевірні розрахунки елементів установки.

Спроектовано технологічні процеси виготовлення деталей авіадвигуна: штампування-витяжки листової деталі (дефлектор) з плоскої заготовки з використанням розробленого пристрою, роздачі конічної заготовки (кожух зовнішній).

На підставі спроектованого технологічного процесу виготовлення дефлектора виконано розрахунок економічної ефективності розробленого пристрою для штампування. За базовий варіант прийнято виготовлення цієї ж деталі енергією БВР з використанням стаціонарного басейну і штампа з клиновим притисненням заготовки.

Наведений розрахунок показав, що для розглянутої деталі застосування розробленого пристрою має значні переваги порівняно з базовим. Разом з тим можливості пристрою обмежені габаритами деталей, що виготовляються. Устаткування потребує серйозних теоретичних і експериментальних досліджень за зовнішнім навантаженням, міцнісними параметрами, конструктивними рішеннями.

Було проаналізовано шкідливі й небезпечні виробничі чинники в робочій зоні ділянки штампування і запропоновано способи їх усунення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В. И. Анурьев – 5-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – Т. 1. – 728 с.
2. Пихтовников, Р. В. Перспектива развития листовой штамповки взрывом / Р. В. Пихтовников, В. К. Борисевич // Импульсная обработка металлов давлением. – М. : Машиностроение, 1977. – 144 с.
3. Анучин, М. А. Штамповка взрывом / М. А. Анучин, О. Д. Антоненков. – М. : Машиностроение, 1972. – 152 с.
4. Беспрессовая листовая штамповка с использованием взрывчатых веществ : инструктивный материал. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1965. – 198 с.
5. Гавва, В. Н. Экономическая оценка инженерных решений : учеб. пособие / В. Н. Гавва, М. А. Голованова. – Харьков : ХАИ, 1999. – 135 с.
6. Пихтовников, Р. В. Сверхскоростная штамповка-вытяжка листового металла / Р. В. Пихтовников // Труды ХАИ. – Харьков, 1957. – 147 с.
7. Изготовление основных деталей авиадвигателей : учеб. пособие для авиац. спец. вузов / М. И. Евстигнеев [и др.] ; под ред. А. В. Поздея. – М. : Машиностроение, 1972. – 478 с.
8. Кулешова, И. В. Исследование шумовых характеристик при штамповке металлов взрывом : дис. ... канд. техн. наук : 05.324 / Кулешова Ирина Владимировна. – Харьков, 1968. – 159 с.
9. Расчет экономической эффективности технологических процессов и оборудования : учеб. пособие / О. М. Пархоменко [и др.]. – Харьков : ХАИ, 1983. – 125 с.
10. Борисевич, В. К. Проектирование и оборудование цехов листовой штамповки : учеб. пособие / В. К. Борисевич, А. И. Волков, А. А. Губский. – Харьков : ХАИ, 1973. – 23 с.
11. Шахназаров, И. М. Высокоскоростное деформирование металлов / И. М. Шахназаров. – М. : Машиностроение, 1966. – 175 с.
12. Скубачевский, Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1981. – 550 с.
13. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – М. : Машиностроение, 1977. – 520 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение-1, 2001. – Т. 1. – 912 с.
15. Анучин, М. А. Штамповка взрывом / М. А. Анучин, О. Д. Антоненков. – М. : Машиностроение, 1972. – 152 с.
16. Степанов, В. Г. Импульсная металлообработка в судовом машиностроении / В. Г. Степанов, И. А. Шавров. – Л. : Судостроение, 1968. – 252 с.
17. Пихтовников, Р. В. Штамповка листового металла взрывом / Р. В. Пихтовников, В. И. Завьялова. – М. : Машиностроение, 1964. – 164 с.

18. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1975. – 360 с.
19. Попов, Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 275 с.
20. Колмогоров, В. Л. Механика обработки металлов давлением : учебник для вузов / В. Л. Колмогоров. – М. : Metallurgy, 1986. – 688 с.
21. Третьяк, В. В. Расчет параметров импульсных процессов в объектном представлении // В. В. Третьяк, А. В. Онопченко, Т. В. Лоза // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 7 (84). – С. 92–95.
22. Согришин, О. П. Штамповка на высокоскоростных молотах / О. П. Согришин, Л. Г. Гришин, В. М. Воробьев. – М. : Машиностроение, 1978. – 167 с.
23. Интерактивный программный комплекс для расчета технологических процессов импульсных технологий. Компьютерная программа / В. В. Третьяк, А. М. Гринченко, Т. В. Лоза, А. В. Онопченко, А. С. Федорова // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 577712 від 19. 12. 2014 р.
24. Зорик, В. Я. Информационная технология классификационной обработки данных в проектировании техпроцессов листовой штамповки взрывом / В. Я. Зорик, Л. А. Филипковская, В. В. Третьяк // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : Донбаська державна машинобудівна академія, 2007. – С. 286–289.
25. Фираго, В. П. Основы проектирования технологических процессов и приспособлений. Методы обработки поверхностей / В. П. Фираго. – М. : Машиностроение, 1973. – 468 с.
26. Шишков, М. М. Марочник сталей и сплавов / М. М. Шишков. – 3-е изд., доп. – Донецк : Юго-Восток, 2002. – 456 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ІСНУЮЧІ МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ ІМПУЛЬСНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ.....	4
1.1. Штампування газовими горючими сумішами.....	4
1.2. Штампування зрідженими газами.....	5
1.3. Штампування порохом.....	6
1.4. Електрогідравлічне штампування.....	7
1.5. Електромагнітне штампування.....	8
1.6. Штампування бризантними вибуховими речовинами.....	9
1.7. Обґрунтування і вибір високошвидкісних процесів деформації.....	12
2. КЛАСИФІКАЦІЯ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБІННИХ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ.....	13
3. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ ВИБУХОМ.....	16
3.1. Загальні принципи визначення енергії деформації.....	16
3.1.1. Визначення роботи деформації при роздачі циліндричної оболонки.....	18
3.1.2. Визначення роботи деформації при штампуванні деталей з плоских заготовок.....	20
3.1.2.1. Визначення роботи деформації круглої заготовки, затисненої по контуру.....	20
3.1.2.2. Визначення енергії деформації круглої заготовки при штампуванні-втяжці (з переміщенням фланця).....	21
3.1.3. Визначення енергії деформації при штампуванні параболічних обичайок.....	23
3.2. Розрахунок маси заряду вибухової речовини при штампуванні деталей з плоских заготовок.....	25
3.2.1. Розроблення програми розрахунку заряду.....	27
3.2.1.1. Розрахунок маси заряду вибухової речовини (матеріал – сталь 12Х18Н10Т).....	32
3.2.1.2. Розрахунок маси заряду вибухової речовини (матеріал – сталь 30).....	34
3.2.1.3. Розрахунок маси заряду вибухової речовини (матеріал – ВТ-1).....	36
4. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПРИТИСНЕННЯ ФЛАНЦЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ ШТАМПУВАННІ-ВИТЯЖЦІ.....	38
4.1. Розроблення реальної моделі пристрою для штампування-втяжки листових деталей з притисненням фланця заготовки енергією основного заряду БВР.....	38
4.2. Проектування, виготовлення модельного пристрою і проведення експериментів.....	39
5. ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГІЄЮ ВИБУХУ.....	42

5.1. Матеріали, які використовуються при виготовленні оснащення.	42
5.2. Різновиди оснащення для виготовлення листових деталей енергією вибуху.....	43
5.3. Оснащення для штампування деталі з просторових заготовок..	46
5.4. Притискний пристрій.....	46
6. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ АВІАДВИГУНА.....	48
6.1. Проектування технологічного процесу виготовлення листової деталі авіадвигуна – дефлектора.....	48
6.1.1. Аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталі.....	48
6.1.2. Обґрунтування вибору матеріалу.....	49
6.1.3. Проектування заготовки.....	50
6.1.4. Вибір способу отримання початкової заготовки.....	52
6.1.5. Розкрій матеріалу і величина перемичок.....	52
6.1.6. Розрахунок норми витрати матеріалу при виготовленні дефлектора.....	54
6.1.7. Визначення роботи деформації і розрахунок маси заряду вибухової речовини при штампуванні дефлектора.....	54
6.1.8. Розроблення маршрутної технології виготовлення дефлектора.....	55
7. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	61
7.1. Коротка характеристика порівнюваних варіантів.....	62
7.2. Розрахунок показників економічної ефективності.....	62
8. ВИЯВЛЕННЯ І АНАЛІЗ ШКІДЛИВИХ І НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЧИХ ЧИННИКІВ У РОБОЧІЙ ЗОНІ ДІЛЯНКИ ШТАМПУВАННЯ.....	67
8.1. Очищення відпрацьованої води.....	68
8.2. Шумові дії.....	69
8.3. Визначення безпечних відстаней при вибухових роботах і зберіганні вибухових матеріалів.....	70
8.4. Пожежобезпечність ділянки штампування вибухом.....	71
8.5. Блокування, опалювання, вентиляція, очисні пристрої.....	72
8.6. Охорона праці.....	73
8.7. Особливі вимоги до цехів і ділянок штампування вибухом.....	73
ВИСНОВКИ.....	75
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	76

Навчальне видання

**Гринченко Анатолій Марейович
Третяк Володимир Васильович
Лемешко Юлія Володимирівна
Онопченко Антон Віталійович**

**КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА
ВИРОБНИЦТВА ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ
ІМПУЛЬСНОГО ШТАМПУВАННЯ**

Редактор Н. М. Сікульська

Зв. план, 2018

Підписано до друку 11.07.2018

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 4,4. Обл.-вид. арк. 5,00. Наклад 100 пр.

Замовлення 243. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр "ХАІ"
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001