

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

**М. Є. Тараненко**

# **ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АВТОКУЗОВНИХ ПАНЕЛЕЙ**

Конспект лекцій

Харків «ХАІ» 2020

УДК 629.331.024.002:621.73.073:338.512(075.8)  
Т19

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. О. І. Тришевський,  
д-р техн. наук, проф. В. Л. Чухліб

**Тараненко, М. Є.**

Т19 Основи технології виробництва автокузовних панелей [Текст] :  
консп. лекцій / М. Є. Тараненко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т  
ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 112 с.

ISBN 978-966-662-737-0

Наведено в стислому викладі склад перших стадій життєвого циклу продукції. Показано варіанти класифікації автокузовних панелей легкових автомобілів і автобусів. Описано метод отримання листових заготовок і способи їх технологічних випробувань.

Стисло викладено механізми й особливості деформування при виконанні операцій витяжки, формування, гнуття, відбортовки, роздачі, обтиску і роздільних операцій.

Подано загальні відомості про різне металоштампувальне обладнання і технологічні оснастки. Викладено методики розрахунку оснащення, трудомісткості технологічних процесів штампування і собівартості продукції.

Для студентів і аспірантів, які навчаються за спеціальністю «Атомобілі і транспортна інфраструктура».

Іл. 74. Табл. 1. Бібліогр.: 23 назви

**УДК 629.33.002+629.33.083(075.8)**

© Тараненко М. Є., 2020  
© Національний аерокосмічний  
університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», 2020

ISBN 978-966-662-737-0

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1.....	5
Тема 1.1 Вступ до курсу. Історична послідовність зародження різних технологічних процесів і технології машинобудування .....	5
Тема 1.2 Структура кузова автомобіля. Класифікація автокузовних панелей.....	10
Тема 1.3 Методи одержання сталі і сталевих продуктів для машинобудування.....	17
Тема 1.4 Методи, що застосовуються для формозміни листових заготовок.....	26
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2.....	30
Тема 2.1 Витяжка вісесиметричних днищ.....	30
Тема 2.2 Витяжка деталей складної форми.....	36
Тема 2.3 Операції «Формування, гнуття, відбортовка».....	44
Тема 2.4 Особливості операцій «Роздача» і «Обтиснення».....	56
Тема 2.5 Роздільні операції.....	62
ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 3.....	72
Тема 3.1 Типи і схеми обладнання, що використовують у виробництві автокузовних панелей.....	72
Тема 3.2 Типи і схеми обладнання, що використовують у виробництві автокузовних панелей.....	82
Тема 3.3 Технологічність великогабаритних листових деталей..	87
Тема 3.4 Оцінювання трудомісткості технологічних процесів штампування, строків і витрат на технологічну підготовку виробництва (ТПВ).....	95
ДОДАТОК А Керування навантаженням – фактор підвищення якості деталей і процесів (прикладі).....	103
Запитання до модульного контролю 1.....	106
Запитання до модульного контролю 2.....	106
Запитання до модульного контролю 3.....	108
Теми для самостійного вивчення.....	109
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	110

## ПЕРЕДМОВА

Основним завданням курсу «Основи технології виробництва автокузовних панелей» є формування комплексу знань про управління процесами підготовки виробництва, вибору оптимального змісту для різних конкретних умов, а також самого виробництва автокузовних панелей. З самого початку студент повинен знати, що технологія виготовлення машинобудівної продукції – це безперервна цілеспрямована послідовність перетворення заготовки в деталь. Після вивчення курсу студент повинен:

- уміти вибрати для даних умов раціональні методи виготовлення листових великогабаритних деталей;
- знати про необхідність і склад технологічної підготовки виробництва (ТПВ) з урахуванням технологічності конструкції деталі;
- мати уявлення про проектування технологічних процесів штампування;
- виконувати контроль якості деталей;
- мати уявлення про всі супутні процеси і види робіт.

Одним з різновидів перетворення форми заготовки з допомогою її деформування є штампування з листових заготовок або, більш коротко, листове штампування. Сама листова заготовка відрізняється таким габаритним співвідношенням – один з її габаритних розмірів істотно менше двох інших.

Залежно від матеріалу заготовки, її товщини і пластичних властивостей зазвичай використовується холодна і гаряча обробка тиском. Найчастіше листове штампування заготовок проводиться в холодному стані. Це обумовлено рядом причин.

Методичною основою курсу є відомий підручник Е. А. Попова, В. Г. Ковальова та І. Н. Шубіна «Технологія і автоматизація листового штампування», а також роботи А. І. Грошикова, В. А. Малофєєва «Заготівельно-штампувальні роботи в літакобудуванні» та І. М. Колганова зі співавторами «Технологічність авіаційних конструкцій, шляхи підвищення».

Пропонований курс складається з трьох частин: для вивчення бакалаврами на третьому курсі і фахівцями і магістрами на п'ятому курсі. Такий умовний поділ вибрано для спрощення засвоєння великого обсягу матеріалу студентами.

Викладений матеріал призначено для молодших фахівців, які навчаються за спеціальністю «Експлуатація та ремонт автомобільного транспорту».

## **ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1**

### **Тема 1.1 Вступ до курсу. Історична послідовність зародження різних технологічних процесів і технології машинобудування**

Історія технології починається з давніх часів, з того моменту, коли люди виявили, що гостра кам'яна пластинка допомагає легше розчленувати туші добутих тварин, обробляти палиці і списи для захисту від хижаків і будувати житла. Найпримітивніші ножі і сокири з'явилися близько 50 тисяч років тому. У X–VIII сторіччях до н. е. ніж почали використовувати як столовий прилад. Великою подією в історії людства було отримання знань про те, що плавлення металу в неоднакових умовах з різних природних речовин забезпечує отримання різноманітних його властивостей. У VII–VI сторіччях до н. е. людина вперше почала використовувати самородні метали: золото, срібло, мідь. У V–IV сторіччях до н. е. почалася виплавка з руд міді, олова, свинцю – настав мідний вік. Мідні знаряддя праці і зброї витискували кам'яні, потім настали бронзове і залізне сторіччя, нові етапи розвитку ливарних процесів. Початок нашої ери ознаменувався появою лиття в земляні форми, тобто процесів лиття сучасної форми.

На початку XIV ст. з'явилися процеси кування заліза і сталі та волочіння дорогоцінних металів, дещо пізніше з'явився процес прокатки. Кілька тисячоліть технологія розвивалася на рівні ремесла – з передачею знань і умінь у спадок. Але і саме середньовічне суспільство не наполегливо вимагало продукції промислового виробництва.

Потужний поштовх розвитку технології дало відкриття Христофором Колумбом Америки в 1492 році і, головне, його звістка про велику кількість золота в її надрах. У Західній Європі почалося широке будівництво кораблів для підкорення нових земель. Тисячі, десятки тисяч селян змінили вид діяльності і стали спочатку підмайстрами та ремісниками, а потім робочими верфей, мануфактур і майстерень. Це потребувало різкого підвищення продуктивності праці та навчання працівників. Передача їм знань і вміння не могло здійснюватися старим шляхом – у спадок. Почала з'являтися система передачі знань, спочатку в усній формі, а потім у письмовій. Трохи пізніше дійшли до майже сучасної системи навчання.

У цей час Східна Європа з її величезними просторами дещо відставала в розвитку промисловості у зв'язку з відсутністю великих географічних відкриттів: як їздили тисячі років на санях і возах, так і продовжували їздити. Згадаймо історію війська запорізького. Незважаючи на власне виробництво деяких видів зброї, спорядження і предметів праці, їх кращі зразки у великих кількостях надходили із Західної Європи.

Пожвавлення промислового виробництва почалося в кінці XVI ст. – на початку XVII ст. після початку підкорення Сибіру. У 1632 р. біля Тули були побудовані заводи для виробництва литих гармат, стволи яких

виготовлялися свердлінням і розточувалися. А. К. Нартовим (1680 р.) були розроблені нові технологічні процеси, верстати та інструменти. Створенням першого в світі токарного верстата з механічним супортом А. К. Нартов поклав початок механізації та автоматизації цих процесів. Істотний внесок у розвиток технології збройового виробництва зробили працівники Тульського збройового виробництва М. В. Сидоров, Я. І. Батищев і П. Д. Забава, які не тільки розробили ряд нових процесів, але й створили значну кількість необхідних верстатів та інструментів. На Тульському збройовому заводі ще в 1761 році вперше в світі було розроблено і використано виготовлення взаємозамінних деталей та їх вимір за допомогою калібрів. Надалі технологія машинобудування інтенсивно розвивалася на заводах, створювалися нова техніка і зброя (кораблі, парові двигуни, вагони, верстати, гвинтівки і артилерійське знаряддя).

Накопичений досвід був уперше описаний професором Московського університету В. Двигунським, який випустив у 1807 році книгу «Початкові підстави технології або короткий опис робіт, на заводах і фабриках вироблених». Надалі розвиток технології відбувався все більш швидкими темпами і регулярно випускалися тематичні підручники.

Загальний курс «Основи технології машинобудування» поступово перетворився на загальноінженерну дисципліну. З розвитком технології вона почала спеціалізуватися по галузях. Існують окремі курси: «Технологія виробництва літаків», «Технологія суднобудування», «Технологія приладобудування» і т. д. Зазвичай в цих галузях існують однакові технологічні процеси, але їх загальний склад багато в чому відрізняється.

Серед виробників поширена приказка: «Скажи мені, яка технологія твого виробу, і я скажу тобі, яким він буде». Це абсолютно точно відображає суть справи: саме технологія визначає якість, надійність, точність, довговічність та інші службові характеристики виробу, його конкурентоспроможність і життєву силу.

Склад технологічних процесів виготовлення виробу в першу чергу визначається призначенням виробу, технічними вимогами до нього і програмою випуску.

Автомобільна техніка містить:

- виготовлення деталей обтічної, тобто складної форми високої точності контуру і поверхні, що ускладнює їх виробництво;
- застосування малих програм випуску виробів, відносно невеликих термінів їх експлуатації і дорогих виробничих процесів.

Цим пояснюється специфічність технологічних процесів виробництва.

**Виробничий процес (ВП)** – це сукупність усіх дій людей і знарядь праці, необхідних на даному підприємстві для виготовлення і ремонту продукції. ВП в машинобудуванні охоплює підготовку засобів виробництва і організацію обслуговування робочих місць; отримання та зберігання матеріалів і напівфабрикатів; усі стадії виготовлення деталей, складання виробів; технічний контроль на всіх стадіях виробництва; упакування

готової продукції та інші дії, пов'язані з виготовленням виробів, що випускаються.

Найважливішим елементом ВП є ТПВ.

**Технологічний процес (ТП)** – частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії щодо зміни і/або визначення стану предмета праці.

**Технологічна операція (ТО)** – закінчена частина ТП, що виконується на одному робочому місці. Операцією охоплюють всі дії обладнання і робітників над одним або декількома спільно оброблюваними (збираними) об'єктами праці. ТО – основний елемент ТП – має відповідну структуру.

**Технологічний перехід** – закінчена частина того, що виконується одними і тими ж засобами технічного оснащення при постійних технологічних режимах.

**Робочий хід** – закінчена частина технологічного переходу.

**Структура і загальний склад технологічних перетворень.** Усі вироби матеріального світу колись виникають, використовуються людиною, зношуються і застарівають, а потім їх доводиться утилізувати. У подальшому з'являється нова продукція аналогічного призначення і цикл повторюється. Тому можемо говорити про життєвий цикл продукції.

**Життєвий цикл (ЖЦ) продукції** – сукупність взаємозв'язаних процесів створення і послідовної зміни стану продукції від формування вихідних вимог до неї до закінчення її експлуатації (споживання) і утилізації.

Як будь-яку історичну категорію, ЖЦ можна розділити на певні структурні складові – стадії.

**Стадія ЖЦ** є частиною ЖЦ продукції, що встановлюється в нормативно-технічній документації та характеризується певним станом продукції, видом передбачених робіт та їх результатом.

Прийнята до розгляду кількість стадій та їх найменування, що відповідає змісту, може бути різною. Це залежить від завдань вивчення. Але у будь-якому варіанті це має бути замкнений цикл.

Державним стандартом «Система розробки та постановки продукції на виробництво (СРППВ)» встановлюються такі стадії:

- дослідження та проектування;
- виготовлення;
- оборот та реалізація;
- експлуатація (споживання) і утилізація.

Така структуризація більш логічно показує характер перетворень на етапі, можливість проведення їх у різних просторах (організаціях), що дозволяє чітко вести документообіг, а також організувати вхідний і вихідний контроль.

Маркетингові дослідження можуть проводитися Замовником продукції або самостійними консалтинговими фірмами.

Із цього моменту починаються витрати на реалізацію інноваційного проекту, тобто витрати на реалізацію ЖЦ продукції.

Із фінансової точки зору ЖЦ складається з двох періодів:

- періоду, протягом якого фінансові потоки направляються на дослідження і проектування, а також на підготовку виробництва. Це витрати на освоєння продукції;

- ринкового періоду, який починається після виходу продукції на ринок. На початку цього періоду фінансові потоки змінюють напрямок – починається реалізація продукції, з'являється дохід, а після певного часу – прибуток.

Після прийняття менеджментом проекту рішення про початок робіт щодо проекту, прийнятого, в тому числі, на документальній основі – звіт про маркетингові дослідження, починається етап комплексної підготовки виробництва. Він містить науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи (НДДКР), організаційну і технічну підготовку виробництва. Остання складається з двох видів робіт (етапів): конструкторської підготовки виробництва (КПВ) і технологічної підготовки виробництва (ТПВ). Результатом комплексної підготовки виробництва є етап освоєння виробництва.

Після закінчення цього етапу починається ринковий етап ЖЦ – з початку реалізації продукції з'являється перша виручка (дохід) від реалізації проекту. Ці фінансові потоки ще не дозволяють отримувати прибуток, оскільки є витрати на організацію усталеного виробництва, але зменшується різниця між витратами на проект і доходом. Крім того, дуже важливим показником є швидкість зростання виручки, яка свідчить про правильність вибраного напрямку робіт.

Безпосередньо на самому підприємстві проводиться удосконалення прийнятих технологічних процесів, виробничих зв'язків, поліпшення якості продукції за рахунок внутрішніх ресурсів.

На ринковому етапі ЖЦ крива змінення виручки має дзвонувату форму. Максимум відповідає стабільно функціонуючому усталеному виробництву.

Після максимуму виручки і прибутку від виробництва неминуче настає спад цих параметрів і, як наслідок, зняття продукції з виробництва, яке потребує фінансової підтримки.

На цьому етапі ЖЦ здійснюється сервісне гарантійне та післягарантійне обслуговування продукції у споживача. Заключним етапом ЖЦ є утилізація продукції.

Ефективність виробництва тієї чи іншої продукції залежить від тривалості періодів розвитку і знаходження на ринку і розмірів фінансових потоків (витрат і прибутку) на них. Для збільшення ефективності виробництва продукції необхідно прагнути до скорочення періоду розвитку і зменшення витрат у цьому періоді, подовження ЖЦ за рахунок ринкового періоду.

Цим визначається доцільність модернізації продукції, яка може значно подовжити ринковий період ЖЦ, тобто подовжити терміни



функціонування існуючого виробництва і отримувати ефект, наприклад в області екології. Приклад: значне подовження термінів експлуатації літаків МіГ-25 шляхом установлення на них нових двигунів і авіоніки.

Взагалі величина тривалості ЖЦ різної продукції є досить своєрідним параметром. В основному спостерігається така залежність: чим менше за габаритами продукція, тим менше тривалість її ЖЦ. Порівняємо: легковий автомобіль–літак–корабель. Але є і винятки: електрична лампочка – предмет масового та тривалого попиту тощо.

У літакобудуванні загальне правило виконується чітко: чим менше розмір літака, тим його ЖЦ коротше (за рідким винятком – АН-2).

Для розуміння важливості етапів підготовки виробництва для сучасної високотехнологічної продукції треба оцінити тривалість і обсяги витрат, що реалізуються в ЖЦ великого літака.

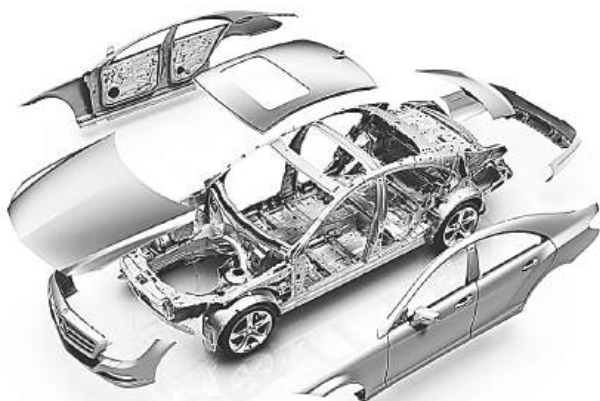
Повертаючись до опису стадій ЖЦ, необхідно зазначити, що кожна з них, у свою чергу, є сукупністю взаємозв'язаних етапів, що закономірно чергуються, протягом яких відтворюються певні процеси. Це дуже важливий момент, оскільки тут необхідні великі витрати фінансів і великі терміни їх відновлення. Для оптимізації співвідношення цих параметрів науково обгрунтована і розроблена, оформлена в нормативний документ система розробки і постановки продукції на виробництво (СРППВ). СРППВ (клас 15) – система правил, що визначають порядок проведення робіт зі створення, виробництва продукції та забезпечення її застосування [22, 23]. Це складна система, що містить 14 державних стандартів і чотири керівних нормативних документи. Вона постійно має застосовуватися, розширюватися і доповнюватися відповідно до завдань, що виникають, і до мети розробок. СРППВ розроблено у 80-х роках ХХ сторіччя в СРСР, але більшість правил і положень не застаріли і, за винятком деяких формулювань, використовуються у світовій практиці.

Коротко розглянемо першу стадію життєвого циклу дослідження і проектування, послідовність етапів і вирішення завдання [22, 23]. Вона містить маркетингові дослідження, науково-дослідну роботу зі створення продукції (НДР), розроблення аванпроекту з розробленого технічного завдання, дослідні випробування пробних зразків та інше, до самого промислового виробництва.

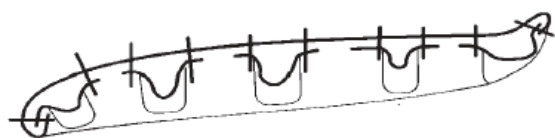
**Друга стадія ЖЦ** – виготовлення продукції являє собою строго встановлену систему послідовних перетворень, вироблену протягом декількох століть світового промислового виробництва. Ця послідовність фізично і економічно виправдана, вона застосовується у всьому світовому промисловому виробництві.

У додатку до виготовлення автокузовних панелей ця послідовність містить: виготовлення плоских заготовок, їх формозміни, видалення технологічних припусків і захисну обробку поверхні. Ці перетворення можна виконувати різними способами.

## Тема 1.2 Структура кузова автомобіля. Класифікація автокузовних панелей



а



б

Рисунок 1 – Склад автокузовних панелей легкового автомобіля (а) та типовий переріз збірної зовнішньої панелі (б) на прикладі марки Форд [1]

Підвищення дизайнерських, економічних (при виробництві і експлуатації), ергономічних та екологічних вимог до сучасного легкового автомобіля призвело до складної конструкції кузова (рисунок 1, а). На рисунку виділено:

- основа кузова (днище), з'єднана з шасі і виділеним місцем для розміщення двигуна;
- каркас кузова, що визначає форму і розміри салону автомобіля і решту його частин;
- ліва і права боковини з дверима;
- панелі капота, даху і багажника;
- передні і задні буфери.

Усі ці частини міцно зв'язані між собою. Кожна з цих частин складається з декількох панелей, які визначають зовнішні обводи автомобіля і форму внутрішніх поверхонь частин.

Більшість сучасних автокузовних панелей складається, як мінімум, з двох деталей – зовнішньої і внутрішньої. Перша має гладку поверхню і забезпечує виконання дизайнерських і аеродинамічних вимог. На другій виконують рифи, кармани і вікна для посилення всієї конструкції з мінімальною масою. Обидві панелі з'єднують точковим зварюванням. По краях зовнішня панель огинає внутрішню і місця загину скріплюють точковим зварюванням (рисунок 1, б). Обидві панелі виконують з тонкого листа, що зменшує їх масу і надає високої жорсткості.

Розподіл на певні групи деякої номенклатури деталей (класифікація) потрібний для визначення загальних ознак деталей цих груп (наприклад, за якістю поверхні деталей, габаритними розмірами або розмірами локальних елементів і т. д.). Для визначення загальних вимог до технологічних процесів виготовлення, вибору потрібного обладнання (кількості деталей в групі для побудови раціонального виробничого процесу). Ознаки класифікації можуть бути різними.

Згідно з однією з перших класифікацій автокузови залежно від конструкції, технології виготовлення і характеру вимог, що висуваються до готової продукції [2], підрозділяють на три основні групи:

– зовнішні облицювальні панелі: дах кузова, панель капота, зовнішні панелі дверей, передні і задні крила, облицювання радіатора та ін. Основні технологічні вимоги зводилися до необхідності отримання лицьових поверхонь деталей за один перехід без зміни оснащення при високій якості;

– каркасні деталі: внутрішні панелі кабіни з прорізом для вітрозахисного скла, панель підлоги, щит моторного відсіку, внутрішні панелі дверей (ставляться вимоги щодо точності та стабільності розмірів при складанні);

– каркасні деталі типу стояків і різних сполучень. Вимоги до цих деталей аналогічні попереднім вимогам.

Удосконалення конструкції привело до необхідності побудови більш складної системи класифікації автокузовних панелей (рисунок 2), основаної на вимогах до їх якості [3].

За вимогами, що висуваються до зовнішнього вигляду поверхонь, деталі кузова поділяють на такі групи.

Лицьові деталі (група I), що визначають зовнішній вигляд і аеродинаміку кузова. До цих деталей висувають найвищі вимоги щодо якості поверхні й геометрії. На лицьовій поверхні панелей не допускаються гофри, хвилястість, подвійний відбиток радіуса, рисунки, забоїни і т. п. Навіть незначні дефекти поверхні спричиняють після забарвлення кузова злам світлових ліній і погіршують зовнішній вигляд автомобіля. Лицьові деталі мають бути достатньо жорсткими, мати мінімальні пружні деформації після штампування, зберігати форму і не допускати вібрації за конструктивними і технологічними ознаками при експлуатації. До цієї групи належать панелі капота і даху, крила, двері тощо.

Лицьові деталі (група II), поверхня яких на кузові забарвлюється в чорний матовий колір, що приховує лицьові дефекти. До цієї групи належать пороги боковин, панелі задка, центральні стояки, рамки дверей. До них також висувають високі вимоги щодо якості, але допускають незначні видимі дефекти.

Деталі інтер'єру салону (внутрішні панелі дверей, боковин, стояків і т. п.). Це деталі, видимі в салоні автомобіля і при відкриванні дверей. Вимоги, що висуваються до їх зовнішнього вигляду, не такі жорсткі, як до лицьових деталей, на них менш помітні відблиски після фарбування.

Деталі моторного та багажного відсіків – внутрішні панелі капота і багажників, лонжерони, брызговики, деталі, видимі при відкриванні люка бензобака. Зазвичай, до якості їх поверхонь не ставлять високих вимог, допускаються недостатньо чіткі лінії і хвилястість.

Внутрішні деталі, невидимі на кузові, – панелі передньої і задньої підлоги, лонжерони підлоги, підсилювачі, поперечки і т. п. Для них можна допустити хвилястість, деформації, риски, в окремих випадках – гофри, якщо це не впливає на складання і міцність кузова. Залежно від габаритних розмірів деталі поділяють на особливо великі – зовнішні й внутрішні панелі боковин, панелі даху і підлоги; великі – панелі крил; середні – лонжерони підлоги, підсилювачі стояків боковин, поперечки та ін.

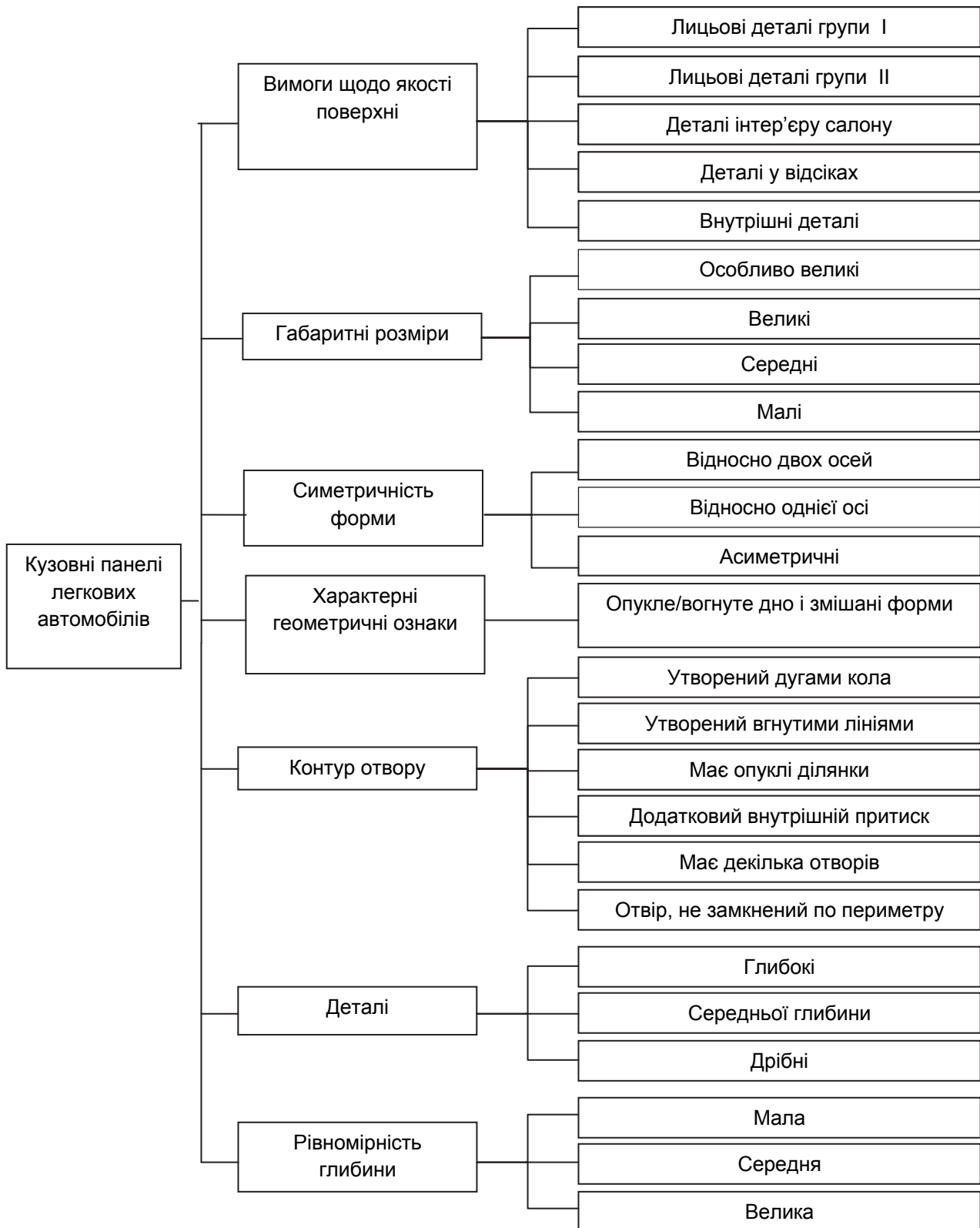


Рисунок 2 – Класифікація автокузовних панелей легкових автомобілів [1]

Така класифікація може стати основою для оцінювання складності, вироблення вимог до технологічності деталей і вибору технічних рішень при розробленні технологічних процесів штампування і проектування штампів.

**Класифікація кузовів автобусів.** Автобуси міських і приміських маршрутів вітчизняного виробництва, на відміну від легкових автомобілів, мають більш прості форми, а індивідуальність марок досягається забарвленням (рисунок 3). Застосовуються каркасні й безкаркасні конструкції кузова, які визначають конструкцію панелей обшивок або внутрішнього облицювання.



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд автобусів малого класу: а – моделі БАЗ-А079.04 «Еталон»; б – моделі ХАЗ-3230.01 «Скіф»; в – моделі БАЗ-3203 «Едельвейс» [1]

Дизайнерські рішення загального вигляду автобусів припускають використання гладких і плоских деталей кузова, зводячи просторові деталі до дуже вузької номенклатури (рисунок 4).



Рисунок 4 – Класифікація автокузовних панелей автобусів [1]

Бічні й задні борти – плоскі. Опуклість даху забезпечується вигином плоских листів при силовому збиранні. Водовідвідний жолобок виконаний з вигнутого профілю, який приварюється до даху. Virізани в плоских листах отвори вікон окантовуються спеціальним еластичним профілем, що з'єднується з металевою поверхнею за допомогою клею. Панель передньої частини даху, яка окреслює верхні тригранні ділянки з'єднання опуклого даху і окантовки переднього скла, має просторову, виготовлену штампуванням форму, яка істотно впливає на профіль кузова. Нижня панель окантовки скла і передній бампер індивідуальні для кожної моделі. Просторову форму також має задній бампер і ділянки зчленування бічних і передніх, задніх бортів. Комп'ютерне зображення цих деталей показано на рисунку 10. Підлога автобуса – гладка без збільшення жорсткості. Арки коліс виконуються прямим вигином зі смуги матового металу.

Довжина деталей – 2,2...2,5 м, ширина – до 500 мм, товщина – 0,8...0,9 мм. Для їх виготовлення найчастіше використовують сталь 08Ю, рідше – 08кп.

Така конструкція кузова різко знижує трудомісткість виготовлення вхідних деталей, тривалість і витрати на технологічну підготовку виробництва (ТПВ) і створює умови для поглибленої уніфікації конструкції машин і технологічних процесів штампування деталей.

Для оцінювання реальності, доцільності та економічної ефективності уніфікації панелей зовнішнього облицювання кузовів автобусів в межах різних модельних рядів під керівництвом С. В. Войтківа [17] було проведено комплекс дослідно-конструкторських робіт.

Для визначення типових деталей облицювання каркасів кузовів автобусів, найбільш складних для виготовлення в існуючих умовах автобусного виробництва, була проаналізована технологічна система їх виготовлення за такими показниками технологічного процесу:

- необхідність застосування універсального або спеціального оснащення;
- відносна (питома) вартість спеціального оснащення;
- тривалість виготовлення спеціального оснащення;
- необхідність застосування універсального (дешевого) і спеціального (дорогого) устаткування;
- трудомісткість виготовлення великогабаритних листових деталей;
- необхідність залучення для виготовлення деталей висококваліфікованих фахівців різних спеціальностей.

Загальна оцінка складності виготовлення деталей визначається в балах за відомою методикою [3]. Найбільш складним і трудомістким процесом щодо тривалості ТПВ при великих капітальних витратах є виготовлення деталей кузовів автобусів подвійної кривизни.

Для прикладу, деталі зовнішнього облицювання кузовів автобусів, що мають поверхню подвійної кривизни, умовно можна розділити на підгрупи, що відрізняються необхідною або раціональною схемою штампування, габаритними розмірами, можливістю членування на кілька деталей та іншими ознаками.

До першої підгрупи (4–8 найменувань) належать досить глибокі панелі типу коробка або півкороба з відносно великими радіусами зчленування їх стінок. Габаритні розміри таких панелей: довжина – 350...700 мм, ширина – 1000...2500 мм, глибина – 250...450 мм, матеріал – сталь 08Ю (08кп) товщиною 0,8...1,0 мм. При виготовленні таких деталей членуванням з однієї відштамповки можна отримати декілька конструктивних елементів кузова: передню і задню або ліву і праву кутові панелі облицювання каркасу.

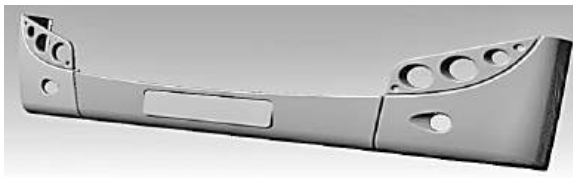
До другої підгрупи (2–4 найменування) можна включити відносно широкі опуклі деталі, які мають здебільшого по периметру невисокі відбортовки з невеликими радіусами. На панелях можуть бути розташовані локальні елементи, що додають їм жорсткість і мають вигляд підсічок, відбортованих отворів або рифтів. Габаритні розміри деталей: ширина – 1800...2500 мм, висота – 250...500 мм, висота відбортовок – до 100 мм, матеріал – сталь 08Ю (08кп) товщиною 1,0...1,2 мм. Таку форму мають панелі облицювання передньої і задньої стінок кузова, зовнішнього капота мотовідсіку, переднього і заднього бамперів (які мають більшу, ніж інші деталі, товщину).

Зниження собівартості виготовлення автобусів з урахуванням цінових умов, які склалися на сучасному внутрішньому ринку автобусів, є дуже важливим і актуальним завданням. Вирішення цього завдання можливе завдяки уніфікації деталей зовнішнього і внутрішнього облицювань кузовів автобусів.

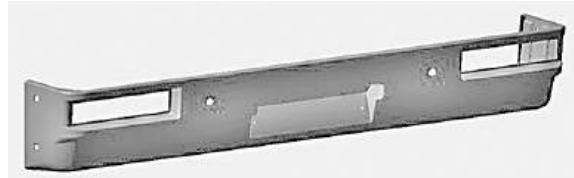
Для спрощення виробництва кузовних деталей автобусів С. В. Войтків запропонував виконувати членування штампованих деталей і виділяти універсальні для всього модельного ряду просторові форми. Для формозміни цих ділянок виготовляється штампове оснащення, що з'єднує ділянки великогабаритної деталі простішим чином, наприклад гнуттям. Наприклад, на панелі передка даху (рисунком 5, в) можна виділити ліву і праву ділянки, що являють собою кут коробки довжиною 250...700 мм і глибиною 120...150 мм при загальній довжині панелі 2000...2510 мм і глибині 200...450 мм.

Середня частина всієї панелі має значно більші розміри і більш просту форму. Далі при складанні вони з'єднуються зварюванням, як і весь дах автобуса.

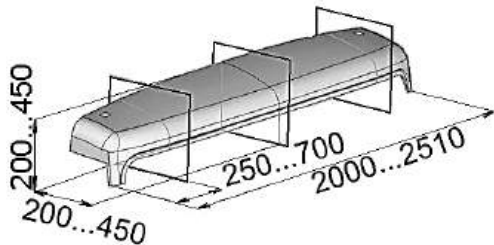
При цьому різко скорочуються тривалість і витрати на ТПВ, матеріаломісткість виробництва, а трудомісткість і вартість виробництва кузовів зростає не дуже.



а



б



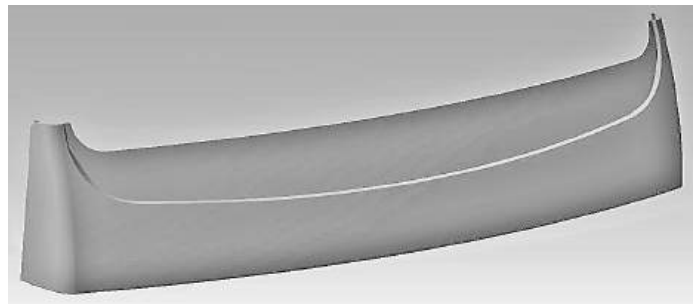
в



г



д



е

Рисунок 5 – Характерні великогабаритні листові деталі кузовів автобусів:  
а – бампер передній; б – бампер задній; в – панель даху передня (умовними площинами позначено бічні частини, що потребують для формоутворення максимальної густини потоку енергії);  
г – панель даху задня; д – панель бічна задньої частини кузова; е – панель вітрового вікна

Наведені матеріали дають коротке уявлення про об'єкт автокузовного виробництва.

Розглянуті автокузовні панелі мають великі габарити, відносно малу товщину і складну форму. Це виключає можливість їх виготовлення способами гарячого деформування. Для їх отримання можна використовувати способи холодного листового штампування.



### Тема 1.3 Методи одержання сталі і сталевих продуктів для машинобудування

Автокузовні панелі з ряду причин найчастіше виготовляють зі сталевих листів. Сталь як сплав заліза і вуглецю був відкритий порівняно недавно – в кінці XVIII століття. До цього моменту в техніці і будівництві застосовувалося технічно чисте залізо і чавун.

Як відомо, залізо на Землі є найбільш поширеним металом. Найбільш часто воно зустрічається у вигляді оксидів з різним вмістом кисню в молекулах. Сама залізна руда являє собою суміш оксидів заліза з різними мінеральними компонентами – піском, глиною, оксидами інших металів. Середній вміст заліза в залізній руді – 20...40 %, менш бідні руди вже економічно мало привабливі, а більш багаті руди вже вичерпані.

Для одержання заліза треба від його оксиду відірвати кисень, що можна зробити за допомогою реакції відновлення. Як відновник застосовують кокс. Раніше використовувалося деревне вугілля, а нині – кокс, що отримується з кам'яного вугілля спеціальних марок. Перспективно використовувати водень, але зараз він дуже дорогий. Існують проекти ядерно-металургійних заводів для отримання заліза відновленням воднем, отриманим у результаті ядерних реакцій.

Нині залізну руду попередньо очищають від домішок за допомогою магнітних сепараторів і виробляють так звані котуни – шматки спеченої збагаченої залізної руди. Їх нагрівають у суміші з коксом і отримують чавун – сплав заліза з вуглецем, в якому вміст останнього знаходиться в межах 2,1...6,7 %. Крім вуглецю в рідкому металі знаходяться шкідливі компоненти – сірка і фосфор, а також баласт – інші хімічні елементи. Цей процес проводять в домнах (доменне виробництво) або інших печах.

Далі проводиться операція видалення зайвого вуглецю. Тепер для цього використовують спеціальні апарати – конвертори, в яких рідкий чавун з необхідними добавками (у т.ч. із залізним металобрухтом) продувається струменями кисню. Необхідна температура в конверторах підтримується внаслідок виділення тепла при екзотермічній реакції окиснення частини заліза, що знаходиться в розплаві. У результаті такої реакції отримують суміш з необхідним вмістом вуглецю (менше 2,11 %).

Така сталь називається сталлю звичайної якості. Для отримання якісної сталі (зі значно меншим вмістом сірки і фосфору), легированих сталей і сталей з особливими властивостями розплав з конвертора додатково очищають і легують в електропечах (у т.ч. вакуумних), застосовують спеціальні способи розливу, які захищають гарячий метал від шкідливого впливу атмосферного повітря.

**Первинні методи формоутворення металопродукції.** Після отримання в металургійному виробництві рідкого металу потрібного хімічного складу, тобто певної марки, його розливають для отримання злитків самої простої геометричної форми: квадратного перерізу (блюнів), прямокутного перерізу (слябів) або виливків круглої (конічної) форми. Основна маса виливків направляється для прокатки в прокатне виробництво, а менша частина – для проковування і отримання одиночних поковок.

Перетворення форми злитків проводиться методами обробки металів тиском (ОМТ). Під час такої обробки переслідуються дві цілі:

- отримання виробів більш складної форми;
- поліпшення кристалічної структури вихідного литого металу з підвищенням його фізико-технічних властивостей.

До цих методів належать прокатка, волочіння і пресування – первинні методи, а також кування, штампування і деякі спеціальні процеси обробної або зміцнювальної обробки – вторинні методи.

Про місце ОМТ в технологіях отримання металевих виробів говорять такі статистичні дані:

- 70...80 % виплавленої сталі прокатується на різних прокатних станах для отримання прутків різного перерізу, профілів, балок, труб, товстих і тонких листів, а також заготовок для волочіння і пресування;
- 15...20 % виплавленої сталі переробляється вільним куванням;
- 15...25 % прокатуваної сталі піддається подальшому об'ємному штампуванню;
- більшість профілів з алюмінієвих сплавів виготовляється пресуванням;
- практично вся дротова продукція виготовляється волочінням.

У сучасному виробництві застосовують два способи розливання рідкого металу в зливник: періодичний (метал розливається у вільно стоячі виливниці) і безперервний (метал заливають у напівохолоджений кристалізатор установки безперервного лиття, при виході з якого утворюється злиток, що проходить зону вторинного охолодження і різання на мірні частини). Другий спосіб є більш прогресивним, оскільки дозволяє отримувати метал більш високої якості, з більшою продуктивністю і меншими втратами металу і енергії.

Після різання на мірні частини і прокатки отримують готовий продукт металургійного виробництва. Структурну схему таких перетворень показано на рисунку 6.

Виливки з алюмінієвих, магнієвих, титанових та інших сплавів отримують у вигляді окремих злитків, які в подальшому піддаються прокатці, волочінню або пресуванню.

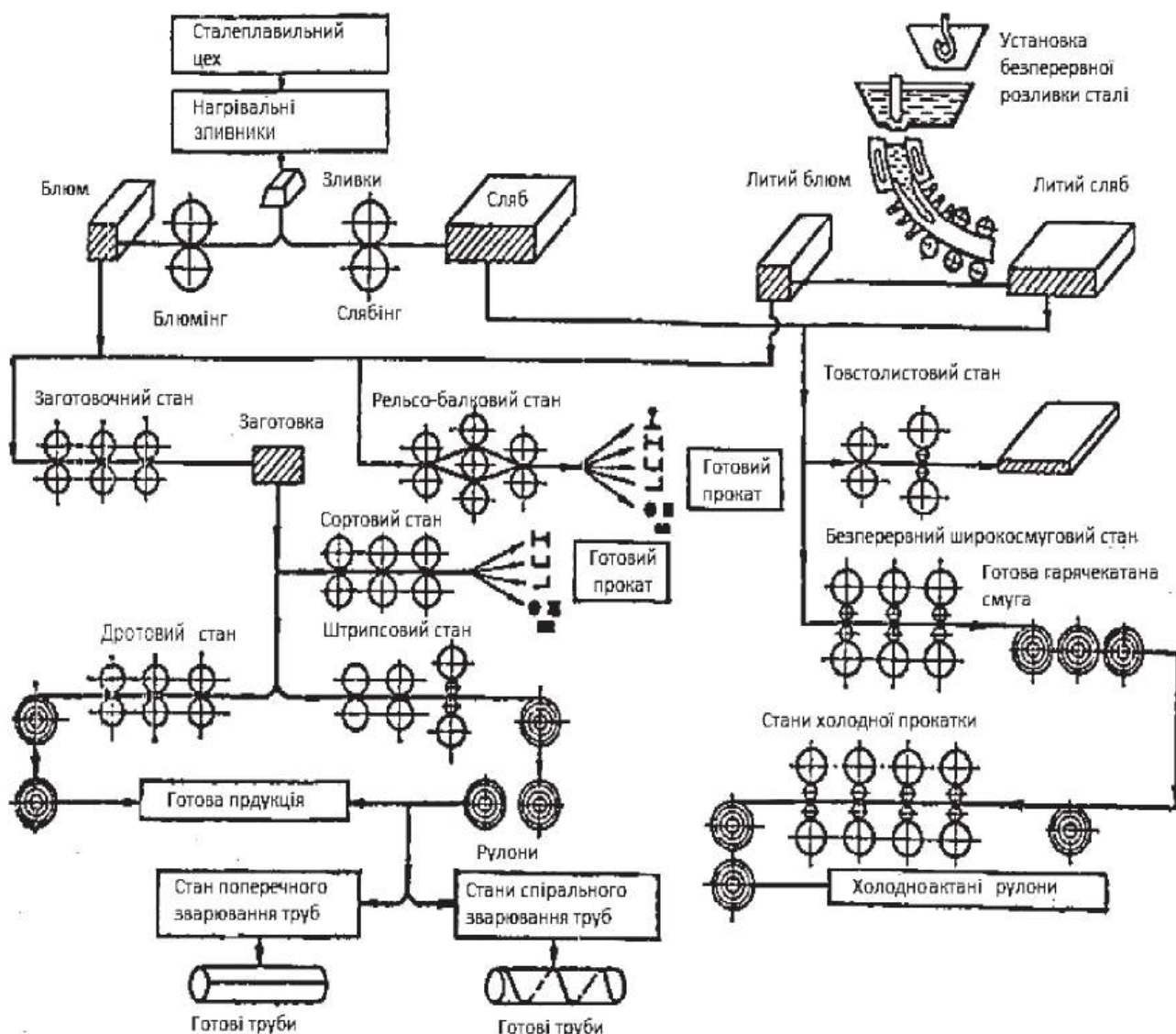


Рисунок 6 – Загальна схема технологічного процесу в прокатних цехах [5]

**Прокатка металів.** Суть прокатки полягає в пластичному деформуванні металу при проходженні його між обертовими валками, розміщеними з зазором, меншим товщини оброблюваної заготовки (рисунок 7). Оброблювана заготовка втягується обертовими валками в зазор між ними і деформується

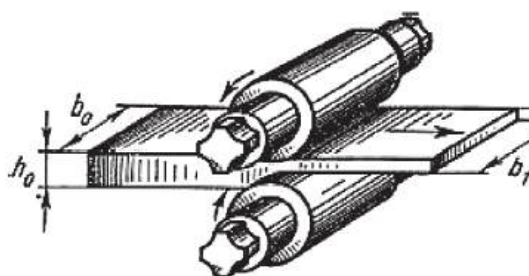


Рисунок 7 – Схема прокатки металу [21]

відповідно до форми зазору. Зазвичай застосовуються три схеми прокатки: поздовжня, поперечна і поперечно-гвинтова. При поздовжній прокатці поздовжня вісь заготовки перпендикулярна до паралельних осей валків, а при поперечній – паралельна осям валків. При поздовжній прокатці товщина заготовки зменшується, ширина і довжина збільшуються, тобто відбувається обтиснення, розширення і подовження (витяжка).

Показники деформації при прокатці:

– відносне обтиснення

$$\varepsilon = \left[ \frac{h_0 - h_1}{h_0} \right] 100 \%, \quad (\text{зазвичай}$$

$$\varepsilon = 10 \dots 30 \% \text{ за один прохід});$$

– витяжка  $\mu = \frac{L_K}{L_0}$ , де  $L_K$  і

$L_0$  – кінцева і початкова довжина зони деформації (зазвичай  $\mu = 1,1 \dots 1,6$ , інколи доходить до 2,0).

У більшості випадків для зниження опору деформації, підвищення пластичності проводиться прокатка заготовок, нагрітих до діапазону кувальних температур.

При прокатці реалізується схема нерівномірного всебічного стиснення, що сприяє пластичній деформації металу. Це дозволяє отримувати продукцію великої довжини і різної форми поперечного перерізу.

Форма поперечного перерізу прокатої продукції називається профілем. Його отримують за кілька (до 10 – 16) проходів між валками. Перелік різних профілів всіляких розмірів прийнято називати сортаментом.

Деякі перерізи сортового прокату показано на рисунку 8.

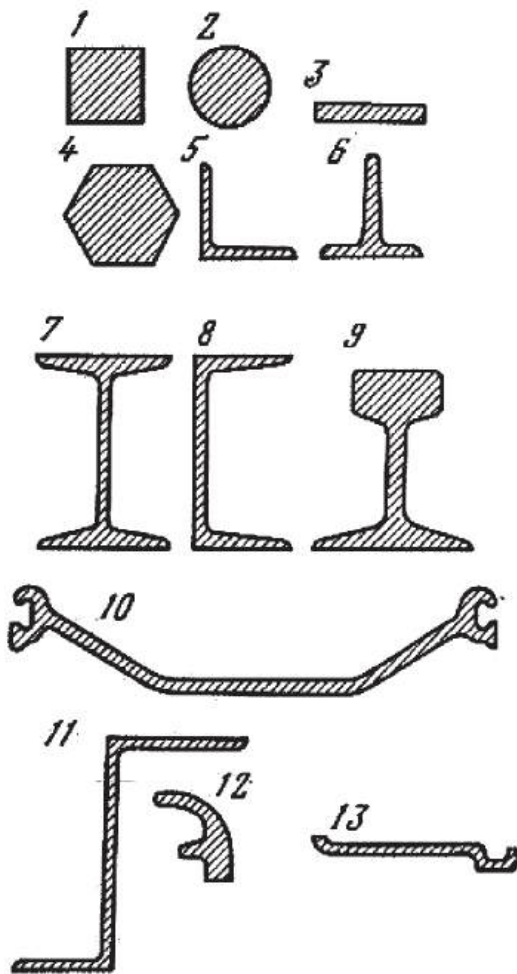


Рисунок 8 – Профілі сортової сталі:

- 1 – квадратний; 2 – круглий;
- 3 – смуговий;
- 4 – шестигранний;
- 5 – кутовий; 6 – тавровий;
- 7 – балковий; 8 – швелерний;
- 9 – рейковий; 10 – шпунтовий;
- 11 – зетовий; 12 – кільце автообода;
- 13 – автообід [21]

Продукцію сталевих прокату поділяють на такі групи: сортовий, листовий, трубний, спеціальний і періодичний.

**Профілі сортового прокату:**

- круг, квадрат, шестигранник, смуга та ін.;
- фасонний прокат: куточок, швелер, балка та ін.

**Листовий прокат:**

- товстолистовий – 4...60 мм, в особливих випадках до 500 мм;
- тонколистовий – 0,02...4,00 мм, оцинковане залізо, листи з алюмінієвих, титанових та інших сплавів.

**Трубний прокат:**

- безшовні труби  $\varnothing_{\text{зов}} 5...426$  мм і товщиною стінки – 5,0...40,0 мм;
- труби зварні  $\varnothing_{\text{зов}} < 1420$  мм і товщиною стінки – 14 мм.

**Спеціальний прокат** (використовується поперечно-гвинтова схема прокатки): вінці зубчастих коліс, бандажі вагонних коліс, колеса, кульки.

Періодичний прокат (використовується поперечна схема прокатки): арматура, вагонні осі, заготовки для інших процесів ОМТ.

Гнуті профілі: лопатки ГТД, довгомірні профілі тощо.

Дріт  $\varnothing 5...10$  мм.

Інструментом прокатки є валки, за допомогою яких оброблюються зливки та інші заготовки. Валки бувають гладкими (листи, стрічки), ступінчастими (смуги), струмковими (сортовий прокат).

Струмок верхнього і нижнього валків називається калібром.

**Випробування металу.** У результаті дуже складних хімічних, термічних і механічних перетворень, що проводяться в металургійному виробництві, отримувати металевий лист зі строго заданими показниками якості не вдається. Досить сказати, що допуск на значення тимчасової границі міцності  $\sigma_s$  для сталей, призначених для листового штампування, може досягати 20...22 %. Для виключення втрат листового матеріалу при виробництві відштамповок необхідно проводити випробування кожної партії одержуваного листа.

Більш того, створити єдиний критерій штампованості, що характеризує поведінку металу при усіх операціях листового штампування і їх різновидах, не уявляється можливим. Зараз наближену оцінку штампування можна отримати на підставі результатів випробування металів як способами, регламентованими нормативними документами, так і додатково розробленими.

Крім обов'язкових стандартних випробувань металу, таких, як визначення хімічного складу, оцінювання мікроструктури, випробування на розтяг, розроблено багато так званих технологічних проб. Частина з них

також увійшла до стандартів, наприклад випробування на знакозмінний вигин і проба за Еріксоном.

Зупинимось коротко на характеристиці деяких технологічних проб і на тенденції вдосконалення методів випробування металів.

За стандартами при випробуванні на розтягнення зазвичай визначаються дві основні характеристики:  $\sigma_e$  – тимчасова границя міцності і  $\varepsilon_{ривн}$  – відносне подовження. А для деформованих матеріалів у деяких стандартах наводяться рекомендації щодо визначення величин:

–  $\varepsilon_p$  – рівномірного відносного подовження;

–  $\sigma_{icm} = \frac{P_{max}}{F_{icm}}$  – істинної границі міцності ( $P_{max}$  – максимальне

зусилля в момент виникнення шийки;  $F_{icm}$  – площа поперечного перерізу зразка в момент початку утворення шийки);

–  $R_s = \frac{\ln\left(\frac{b_0}{b}\right)}{\ln\left(\frac{s_0}{s}\right)}$  – коефіцієнта анізотропії, що визначає співвідношення

між зміною ширини і товщини плоского зразка в умовах лінійного напруженого стану ( $b_0$  і  $b$  – початкова і кінцева ширина зразка в зоні рівномірного подовження, а  $s_0$  і  $s$  – початкова і кінцева товщина зразка в тій же зоні).

Крім коефіцієнта анізотропії  $R_s$  можуть визначатися коефіцієнти анізотропії властивостей в площині листа  $R_\alpha$ . Для металів з кубічною решіткою доцільно визначити коефіцієнт анізотропії  $R_s$  при випробуванні на розтягнення уздовж напрямку прокатки і під кутом  $45^\circ$  до нього. Коефіцієнт  $R_s$  характеризує можливість появи і висоту складок, що з'являються при витяжці вісесиметричних деталей. Співвідношення між деформаціями у різних напрямках зворотно пропорційне співвідношенню між значеннями міцності в тих же напрямках.

Крім зазначених раніше показників, доцільно також визначати границі текучості фізичного напруження  $\sigma_r$ , якщо є майданчик текучості, і умовного напруження  $\sigma_{02}$ , якщо майданчик текучості відсутній. Умовна

границя текучості відповідає виникненню залишкової відносної деформації подовження, що дорівнює 0,2 %.

Ці додаткові показники дозволяють більш точно робити висновок про штампованість, ніж  $\sigma_e$  і  $\mathcal{E}$ .

Вважається, що здатність до витяжки тим більша, чим більше відношення  $\frac{\sigma_s}{\sigma_T}$  і чим більше значення  $\mathcal{E}_P$  і  $R_s$ . Перші два показники деякою мірою характеризують здатність до зміцнення, а практика показує, що більше зміцнюються метали, тому допускають більшу формозміну при витяжці. Показник  $R_s$  характеризує здатність чинити опір локальному стоншенню при витяжці, і зі збільшенням  $R_s$  стоншення зменшується. Отже, небезпечний переріз здатний передавати більше зусилля, що приводить до збільшення допустимої формозміни. З практики штампування встановлено, що найбільш придатні для витяжки метали, що мають такі показники:

$$\mathcal{E}_P > 25 \% ; \frac{\sigma_s}{\sigma_T} = 1,4 \dots 1,7 \text{ і } R_s = 1,4 \dots 1,8.$$

Наведені показники, що визначаються при випробуванні на розтягнення, деякою мірою дозволяють робити висновок про здатність металу до витяжки. Однак при оцінюванні здатності до витяжки металу за наведеними вище показниками виявляється їх недостатня точність форми. Це змушує вишукувати інші способи випробування металів. Щодо цього було запропоновано значну кількість так званих технологічних проб, найбільш цікаві з яких частково буде розглянуто нижче.

У стандартах на листовий метал з технологічних проб зазвичай передбачається випробування на згин (рисунок 9) і випробування на глибину видавлювання сферичної лунки за Еріксоном (рисунок 10).

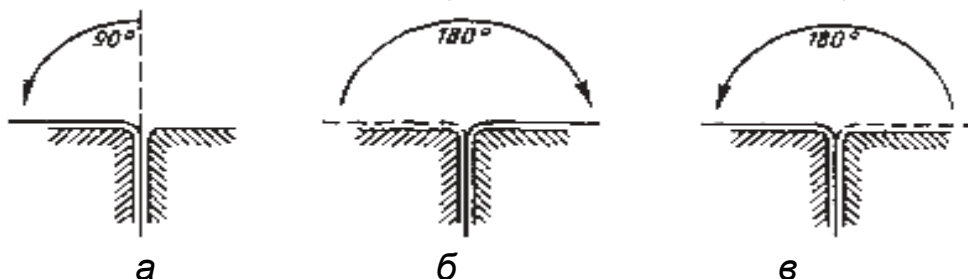


Рисунок 9 – Схема випробування на згин [3]:

а – початкове положення та 1-й згин; б – 2-й згин ; в – 3-й згин

При цьому випробуванні визначається кількість згинів до руйнування. По суті, це випробування є випробуванням на малоциклову втому, і

результати цього випробування вказують на здатність металу протистояти знакозмінному згину.

Великого поширення набуло випробування на видавлювання за Еріксоном (рисунок 10). При цьому випробуванні кругла або квадратна заготовка 1, вирізана з випробуваного металу, затискається між матрицею і вкладишем притискного кільця 2 таким чином, що протягування металу між ними виключається.

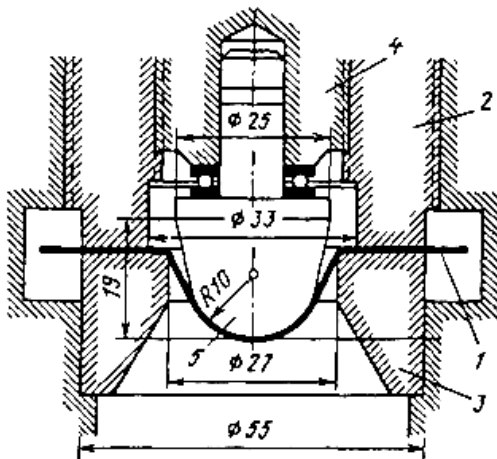


Рисунок 10 – Схема випробування за Еріксоном [3]

Видавлювання лунки здійснюється пуансоном 5 (він має сферичний робочий торець, закріплений на повзуні 4 шпинделя приладу) до появи тріщини, що спостерігається за допомогою дзеркальця, встановленого на корпусі приладу. Показником штампування при випробуванні за Еріксоном є глибина лунки до появи тріщини. Це просте випробування досить наближено оцінює штампування і, зокрема, здатність до витяжки.

Пояснюється це, по-перше, тим, що формування лунки за Еріксоном відбувається за схемою напруженого стану, близького до двовісного розтягування, тобто за схемою, що відрізняється від стану під фланцем при витяжці; по-друге, тим, що на глибину лунки крім властивостей металу впливають відносна товщина заготовки та умови тертя. Зі збільшенням товщини заготовки глибина лунки до руйнування збільшується, внаслідок чого в стандартах зазначаються припустимі значення глибини лунки для певного металу залежно від товщини. Вплив сил тертя на глибину лунки можна виключити, замінивши дію металевого пуансона тиском рідини.

Прилади для випробування металу гідростатичним випучуванням (модернізований прилад Еріксена, прилад Ольсена та ін.) дозволяють не тільки виключити вплив сил тертя, але також визначити інтенсивність напружень (напружень текучості) при двовісному розтягуванні за значеннями тиску і деформацій на полюсі одержуваної лунки.

При випробуванні на гідростатичне спучування або видавлювання за Еріксоном можна одержати корисну інформацію про можливу поведінку металу при глибокій витяжці сферичних або просторових деталей і штампуванні, руйнування яких може відбуватися на ділянках, які деформуються за схемою двовісного розтягу.

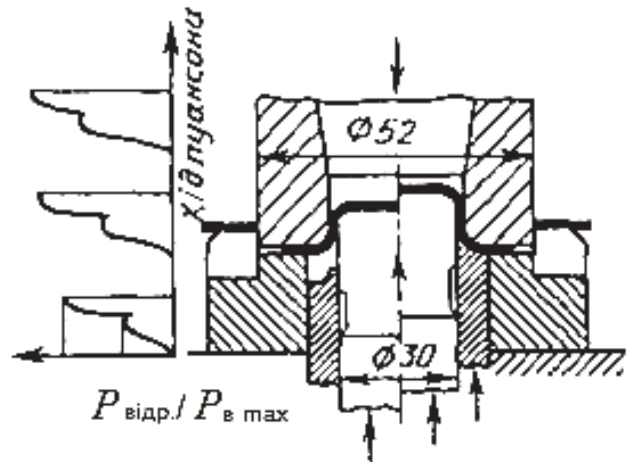
З метою отримання більш достовірних даних щодо здатності металу до витяжки було розроблено кілька варіантів технологічних проб, в яких



випробувана заготовка піддається витяжці без стоншення стінки циліндричного ковпачка.

Досить цікаве вдосконалення випробування на витяжку було запропоновано В. Енгельгардтом.

За методом Енгельгардта витяжка циліндричного стакана з круглої заготовки здійснюється з записом діаграми зміни зусилля по ходу пуансона (рисунок 11). Після досягнення максимального значення зусилля витяжки  $P_{в\ max}$  різко збільшується зусилля притиску до значень, за яких припиняється деформація фланця. Подальше переміщення пуансона відносно матриці призводить до збільшення зусилля деформування до значення  $P_{відр}$ , за якого



відбувається відрив дна стакана, що витягується.

Відношення  $P_{відр} / P_{в\ max}$  характеризує здатність до витяжки (по суті, це коефіцієнт запасу міцності заготовки при певному коефіцієнті витяжки).

Були запропоновані інші технологічні проби: випробування на відбортовку, на роздачу і т. п., пошук нових технологічних проб і єдиних критеріїв оцінювання штампування триває і нині.

Отримані результати випробувань нормуються для певних форм типів деталей. За результатами визначається можливість використання цієї партії листового металу для виготовлення тієї чи іншої партії деталей. За неможливості використання випробуваної партії металу для глибокої витяжки (формування) його використовують для виготовлення більш простих деталей.

У сучасних автобудівників, наприклад фірма Ford (США), при автоматизованих випробуваннях на розтягування визначаються параметри зміцнення на ділянках пластичної деформації, які використовують при комп'ютерному моделюванні процесів витяжки деталей та контролі цього процесу.

При випробуваннях зразки вирізаються вздовж, поперек та під кутом  $45^\circ$  до напрямку прокатки. У розрахунках використовуються їх середні значення.

Існує декілька інших методів випробувань, які є складними та дорогими, можуть дати дуже високі результати, але вони непотрібні для цих видів штампування.

## Тема 1.4 Методи, що застосовуються для формозміни листових заготовок

**Загальні положення.** Всі операції листового штампування можна умовно розділити на дві групи: формозмінювальні й роздільні. До першої групи входять операції, за яких плоска заготовка перетворюється на напівфабрикат (майже деталь), що має просторову форму (днище, коробка і т. д.). До таких операцій належать: витяжка, формування, відбортовка, гнуття, роздача і обтиск. Ці операції по-різному сприяють перетворенню форм, їх часто виконують не за один перехід. Схема зміни напружено-деформованого стану у них різна. До другої групи входять операції, за яких одну частину заготовки відокремлюють від іншої (або майже відокремлюють): різання, вирубка, пробивання, надрізування. Іноді окремо розглядають так звані штампозбиральні операції.

При операції листового штампування пластичні деформації, які визначають необхідний характер формозміни, зазвичай мають місце тільки в частині заготовки, що називається осередком деформацій. При виконанні формозмінювальних операцій прагнуть збільшити зону осередка деформацій для збільшення рівномірності товщини відштамповки і зменшення небезпеки її руйнування. При розділювальних операціях – навпаки, прагнуть зменшити розміри осередка деформацій.

У традиційному поданні операції листового штампування виконують за допомогою двох робочих інструментів – пуансона і матриці. **Пуансоном** називають інструмент, що охоплюється заготовкою, а **матрицею** – інструмент, що охоплює деформовану заготовку. Але в різних операціях це правило може порушуватися.

Для кожної операції ступінь допустимої формозміни є функцією ряду змінних факторів. Наближено основними з них є:

- розмірні параметри заготовки;
- розмірні характеристики інструменту;
- умови контактного тертя;
- температурні умови формування;
- швидкісні умови деформування;
- штампованість як здатність матеріалу деформуватися без руйнування.

**Коротке уявлення про напружено-деформований стан.** При ОМТ напружено-деформований стан (НДС) металу в області течії розглядається як елементарний об'єм металу (кубик), до боків якого прикладається напруження в загальному випадку в трьох напрямках ( $\sigma_1$ ;  $\sigma_2$ ;  $\sigma_3$ ). Цей

елементарний об'єм може деформуватися у трьох напрямках ( $\varepsilon_1; \varepsilon_2; \varepsilon_3$ ), тобто розглядаються два векторних комплекси:  $\sigma$  і  $\varepsilon$ .

#### Класифікація напружених станів:

- тривісний (об'ємний) – всі три головні напруження, що відрізняються від нуля;
- двовісний (плоский) – одне з головних напружень дорівнює нулю;
- одновісний (лінійний) – одне з головних напружень, що відрізняється від нуля.

**Приклад 1.** До круглого стрижня по його осі прикладено розтягальну або стискальну силу, його напружений стан лінійний (рисунок 12, а).

**Приклад 2.** Стрижень згинається під дією сил, прикладених перпендикулярно до його осі (у перерізах стрижня реалізується плоский напружений стан).

Необхідно зазначити, що напруження, по суті, є векторною величиною. Скалярним параметром, що описує напружений стан, є інтенсивність напружень

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}.$$

Деформований стан у точці тіла повністю визначається шістьма складовими деформації:

- трьома лінійними деформаціями  $\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$ ,

де  $l_0, l$  – початкова та кінцева довжина сторони виділеного об'єму по осях  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  (після деформації);

- трьома кутовими деформаціями (зрушення)  $\gamma_{xy}; \gamma_{yz}; \gamma_{zx}$ .

Вони являють собою зміни прямих кутів між гранями виділеного елементарного паралелепіпеда на непрямі.

Відповідно до закону збереження маси при малих деформаціях

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0.$$

Через цю точку можна провести такі три взаємно перпендикулярні осі, кути між якими і після деформації залишаються прямими – головні осі деформації. Деформації в напрямках головних осей (рисунок 12) за напрямом при малих деформаціях збігаються з головними напруженнями.

При практичному визначенні ступеня деформації в точці використовують спрощені формули (логарифмічні істинні ступені деформації):

$$\varepsilon_x = \ln\left(\frac{x_n}{x_k}\right); \varepsilon_y = \ln\left(\frac{y_n}{y_k}\right); \varepsilon_z = \ln\left(\frac{z_n}{z_k}\right),$$

де  $x$ ;  $y$ ;  $z$  – розміри виділеного елемента в напрямку відповідних осей; індекси  $n$  та  $k$  позначають початкові й кінцеві розміри цього елемента.

Деформації у напрямках осей є векторними величинами. Для

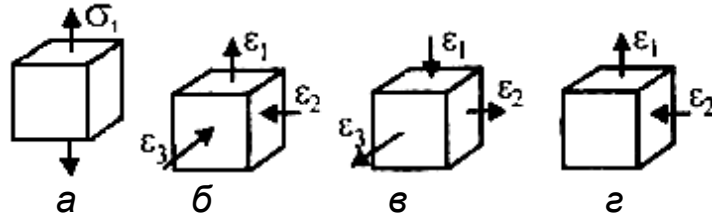


Рисунок 12 – Деякі схеми деформованого стану:

*a* – лінійне розтягування; *б* – об'ємний деформований стан – двовісне стиснення і одновісне розтягнення; *в* – двовісне розтягнення і стиснення уздовж однієї осі; *г* – плоский деформований стан

узагальненого опису деформованого стану використовують параметр, який називається інтенсивністю деформації:

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

при лінійному розтягуванні, коли  $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -\frac{1}{2}\varepsilon_1$ , інтенсивність деформацій  $\varepsilon_i = \varepsilon_1$ , тобто дорівнює відносному подовженню в напрямку діючого зусилля.

НДС тіла повністю визначено, якщо визначені в просторі і за величиною головні напруження і деформації. Залежності між деформаціями і напруженнями для пружного ізотропного тіла мають такий вигляд:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)];$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)];$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_y + \sigma_x)],$$

де  $E$  – модуль поздовжньої пружності (модуль Юнга);  $\mu$  – коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона).

Ці формули являють собою математичні вирази узагальненого закону Гука.

Розгляд НДС і його аналіз дуже важливі при побудові технологічного процесу штампування, аналізі можливого браку, а також автотехнічних експертизах. В останньому випадку, використовуючи відомі залежності напружень і твердості металу, можна визначити напрямок і енергію удару, тобто швидкість зіткнення кузова з перешкодою.

Умовою переходу матеріалу від пружного стану до пластичного є досягнення в ньому напруження пластичності, яке має відповідати інтенсивності напружень  $\sigma_i$ :

$$\sigma = \sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2};$$

де  $\sigma_1$ ;  $\sigma_2$ ;  $\sigma_3$  – компоненти головних напружень.

У разі витяжки плоскої заготовки в круглу матрицю рівняння пластичності набуває вигляду

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_s,$$

де  $\sigma_\rho$  – радіальні (максимальні) розтягальні напруження;  $\sigma_\theta$  – мінімальні дотичні напруження;  $\sigma_s$  – напруження пластичності.

При листовому штампуванні заготовка може розтягуватися і стискатися в площині заготовки, а також стовщуватися або зтоншуватися в напрямку, перпендикулярному до площини. У цьому випадку розглядається тривісний деформований стан з компонентами  $\varepsilon_1$  та  $\varepsilon_2$  у площині і  $\varepsilon_3$  – у перпендикулярному напрямку. Деформації зсуву під дією дотичних напружень ураховується рідко.

Напружений стан при листовому штампуванні частіше вважають плоским з двома компонентами  $\sigma_1$  і  $\sigma_2$  або  $\sigma_\rho$  і  $\sigma_\theta$  у радіальному і тангенціальному напрямках. Напруження, або тиск, що діють в перпендикулярній площині зазвичай значно менше площинних напружень.

Залежно від механічних властивостей металу, що штампується, питома робота деформування для більшості штампувальних матеріалів визначається залежністю

$$a_i = \frac{B}{1 + m} \varepsilon_1^{1+m} \left[ \frac{H \cdot m}{m^3} \right],$$

де  $\varepsilon_1$  – інтенсивність деформації;  $B$  і  $m$  – механічні характеристики металу при степеневій апроксимації кривої зміцнення.

Повна робота деформації дорівнює добутку  $a_i$  на деформівний об'єм  $V_i$ :

$$W = a_i V_i [H \cdot m].$$

## ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2

### Тема 2.1 Витяжка вісесиметричних днищ

**Витяжка** – операція формоутворення просторової форми шляхом витягування фланцевої частини заготовки в порожнину матриці.

Розрізняють операції витяжки без стоншення заготовки і з істотним стоншенням заготовки. Остання операція використовується для отримання глибоких деталей (гільз патронів, снарядів). У цьому курсі така операція не розглядається. Використовуються три схеми витяжки: витяжка пуансоном в матрицю, витяжка еластичним (рідким) середовищем в матрицю і обтягування заготовки по пуансону еластичним (рідким) середовищем.

Для проведення операції витяжки листова заготовка встановлюється на матрицю і втягується в її порожнину пуансоном, до якого прикладається деформувальне зусилля  $P$  (рисунок 13, б). У міру руху пуансона в порожнину матриці заготовка притискається до його торця в центральній частині, обтискає його округлені периферійні ділянки і починає втягуватися в матрицю. Зусилля втягування передається через циліндричну частину заготовки на її фланець. Його частини починають переміщатися до центру, обтискаючи округлені краї матриці і потрапляють у зазор між пуансоном і матрицею – периметр фланця заготовки зменшується.

У результаті такого механічного перетворення на зовнішній кромці фланця виникають розтягальні меридіональні напруження  $\sigma_r$  і стискальні тангенціальні (колові) напруження  $\sigma_t$ . Ці напруження спричиняють розтягувальні меридіональні деформації  $\varepsilon_\eta$  і стискальні тангенціальні деформації  $\varepsilon_\tau$ , які призводять до стовщення заготовки на фланці, тобто  $\varepsilon_\eta$  збільшується.

Стискальні напруження на фланці можуть призводити до утворення складок (гофрів). Для перешкоджання їх інтенсивному росту до фланця необхідно прикласти притискне зусилля  $Q$  за допомогою притискної плити 3. Притиск фланця спричиняє появу в матеріалі заготовки нормальних напружень  $\sigma_n$ . Але зазвичай ці напруження і деформації, спричинені ними, малі порівняно з  $\sigma_r$  та  $\sigma_t$  і приймаються такими, що дорівнюють нулю.

З диференціального рівняння рівноваги сегмента фланця за відсутності зміцнення ( $\sigma_s = \text{const}$ ) з використанням граничної умови, за якої на зовнішній кромці фланця  $\sigma_r = 0$ , можна встановити залежність зміни меридіональних напружень  $\sigma_r$  від радіуса фланця:

$$\sigma_r = -\sigma_s \ln \frac{R}{\rho},$$

де  $\rho$  – поточний радіус фланця.

З рівняння пластичності знаходимо  $\sigma_t = -\sigma_s \left( 1 - \ln \frac{R}{\rho} \right)$ .

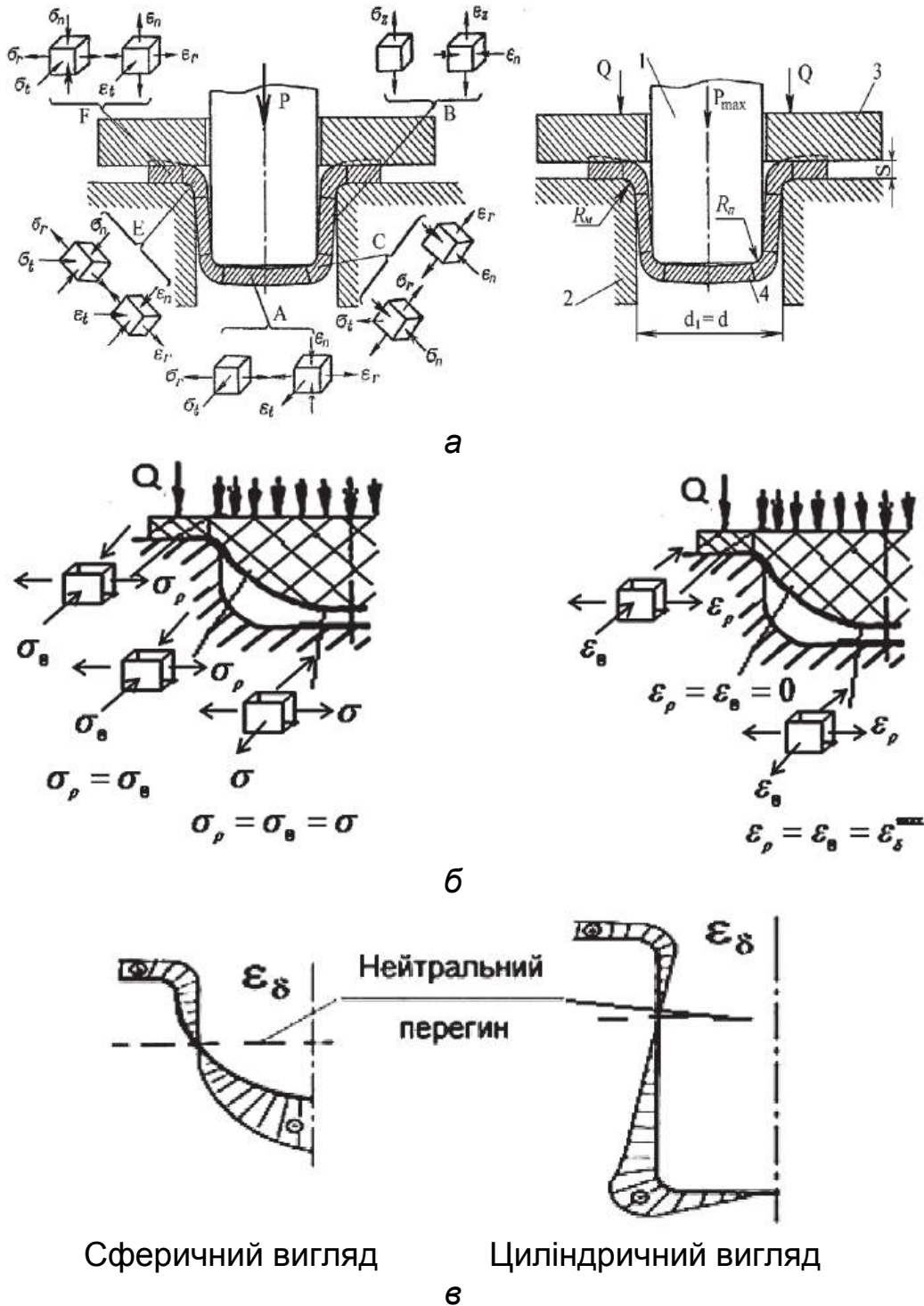


Рисунок 13 – Схема напружено-деформованого стану і діючі зусилля при штампуванні:

а – жорстким пуансоном у жорстку матрицю ; б – еластичною середою у жорстку матрицю; в – епюри відносних деформацій стоншення

З наведеної формули видно, що меридіональні напруження зростають у міру наближення до кромки отвору матриці і досягають максимальних значень при  $R = r$ . На ребрі до цих напружень додаються згинальні напруження, які залежать від радіуса ребра  $R_M$ . При малих значеннях  $R_M$  ( $R_M < \frac{R_M}{S} \approx 1,0 \dots 1,5$ ) сума цих напружень може призводити до руйнування заготовки (обрив фланця).

У центральній зоні заготовки, притиснутої до торця пуансона (зона А), спостерігаються розтягувальні напруження у двох напрямках, але вони малі внаслідок блокувальної дії сил тертя між торцем пуансона і заготовки.

На ділянці заготовки, прилеглої до радіусів заокруглення пуансона (зона А), виникають розтягувальні напруження  $\sigma_r$  та інтенсивні згинальні напруження. При малих радіусах  $R_n$  може настати руйнування заготовки (відрив дна).

На циліндричній ділянці заготовки (зона В) діють тільки розтягальні напруження, що визначаються зусиллям  $P$ .

Параметром, що визначає можливість витягування циліндричних деталей, є коефіцієнт витяжки, який дорівнює відношенню діаметрів заготовки і деталі:

$$K_B = \frac{D_{заг}}{d}.$$

Значення  $D_{заг}$  розраховують з умови сталості об'єму заготовки. Теоретичне значення  $K_B = 2,72$ . Його визначають без урахування сил тертя і зміцнення заготовки. Проміжне мінімальне значення дорівнює  $1,45 \dots 1,55$  залежно від використовуваного матеріалу.

У сучасних умовах для витяжки складних в плані і перерізах форм деталей (більшість автокузовних панелей) використовують операцію витяжки еластичним або рідким середовищем (рисунок 13, б). У цьому випадку на покладену на матрицю плоску заготовку діють тиском еластичного або рідкого середовища. Такий тиск створюється різними способами.

Основна відмінність такого процесу від розглянутого раніше полягає в тому, що відсутнє блокування розтягування центральної частини заготовки силами тертя. При дії деформувального тиску центральна частина заготовки також починає розтягуватися, потім це передається на ділянки фланця, який починає втягуватися в порожнину матриці. Напружено-деформований стан аналогічний описаному раніше.

У центрі деформованої заготовки діють розтягувальні напруження  $\sigma_r = \sigma_t = \sigma_s$ , які призводять до активного стоншення в центрі  $\epsilon_\delta^{max}$ . У міру збільшення поточного радіуса напруження зменшуються, але з боку



фланця надходять кілька стовщених ділянок, що може призводити до утворення перерізу деталі з нульовим стоншенням (нейтральний переріз).

Епюри відносних логарифмічних деформацій по товщині заготовки при витяжці за цією схемою показано на рисунку 13, в.

При витяжці сферичним пуансоном вище нейтрального перерізу знаходяться ділянки заготовки, в яких діють розтягувальні меридіональні напруження і стискальні тангенціальні напруження (зона  $l$ , рисунок 14). Це призводить до втрати стійкості форми деталі (утворення складок) по купольній частині деталі. Таке ж явище часто спостерігається при витяжці тонких заготовок пуансонами з неплоским торцем або витяжці еластичним або рідким середовищем. Для усунення цього явища використовують гальмування витяжки фланця, штучне збільшення товщини заготовки (приєднані маси) і багатопрохідне штампування.

Характерні види можливого браку при витяжці днищ показано на рисунку 15, на якому видно переміщення утворених складок через перетяжне ребро матриці (рисунок 15, а) і нерівномірну по периметру витяжку фланця (рисунок 15, б).

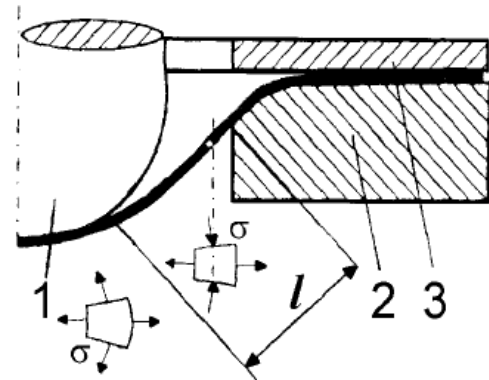
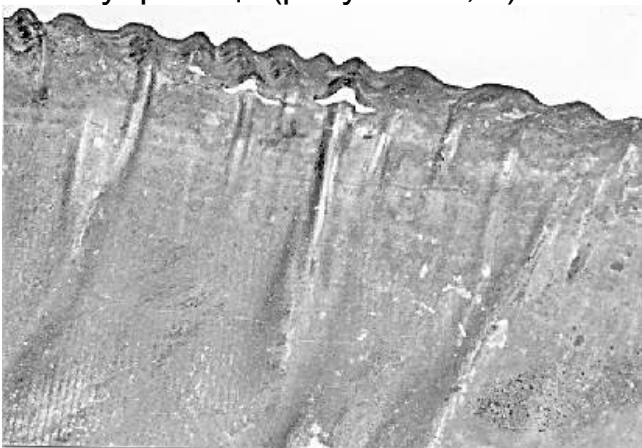
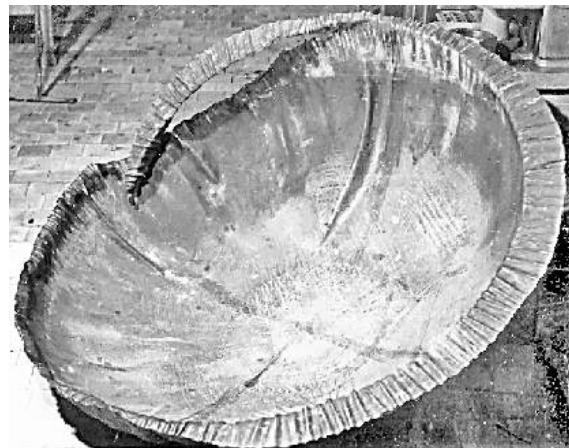


Рисунок 14 – Схема утворення на заготовці вільної зони при витяжці днища сферичним пуансоном:

1 – пуансон; 2 – матриця;  
3 – притискач



а



б

Рисунок 15 – Характерний брак днищ при прогресуючому складкоутворенні:

а – обрив фланціві переміщення складок на купольну частину;

б – нерівномірна витяжка фланця

Для формоутворення невеликих за розміром деталей з жорсткими вимогами до величини стоншень стінки використовують схему витяжки еластичним середовищем, показану на рисунку 16.

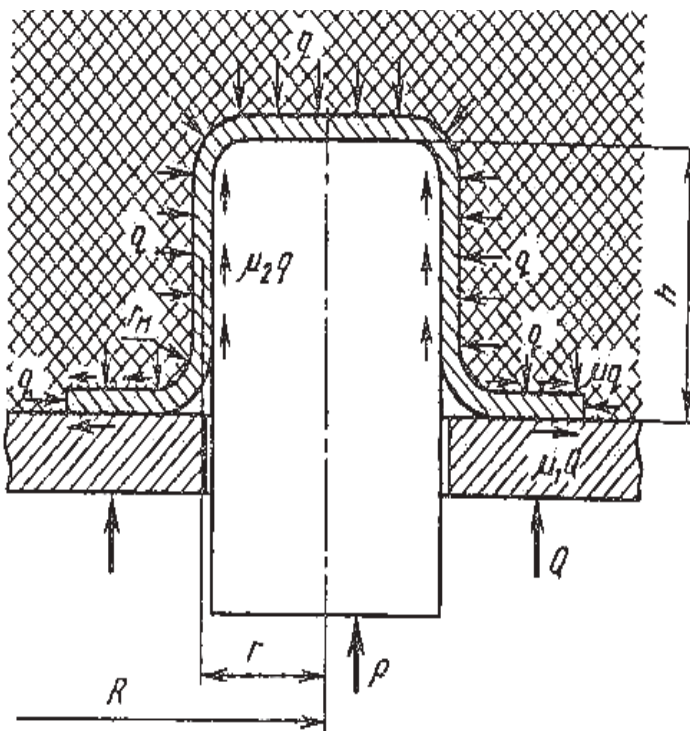


Рисунок 16 – Схема дії сил при витяжці еластичною матрицею [3]

У цьому випадку тиск еластичного середовища притискає деформовану заготовку до пуансона і перешкоджає її розтягуванню. Одночасно еластичне середовище притискає фланець заготовки і тисне на торець фланця, інтенсифікуючи його переміщення в зону активної деформації. Основним недоліком такого процесу є підвищена витрата енергії для деформування.

Потрібне зусилля для витяжки визначають за спрощеною формулою

$$P = LS\sigma_e k,$$

де  $L$  – периметр отвору в матриці;  $S$  – товщина листової заготовки;  $\sigma_e$  – тимчасове

напруження руйнування матеріалу заготовки;  $k$  – коефіцієнт, що враховує відносне значення товщини заготовки, радіуса заокруглення кромки матриці і пуансона, матеріалу мастила (умови тертя) та інші фактори. Він визначається за довідниками [4].

При технологічних розрахунках процесів штампування деталей з різко змінними значеннями кривизни поверхні (більшість автокузовних панелей) для визначення потрібних силових параметрів процесу використовують розрахунки потрібного тиску і енергії.

Для отримання точних за формою деталей з рівномірним стоншенням по всій поверхні використовують комбіновану схему: частину поверхні деталі обтягують по пуансону (грибку), а частину витягують в матрицю (рисунок 17).

Приклад використання такої схеми показано на рисунку 18.

Розміри заготовки для витяжки деталі розраховують з умов рівності площі заготовки і площі відштамповки. Розміри останньої визначаються сумою площ деталі і площ необхідних технологічних припусків (обрізування решти ділянок фланця, підрізання торців деталі та ін.).

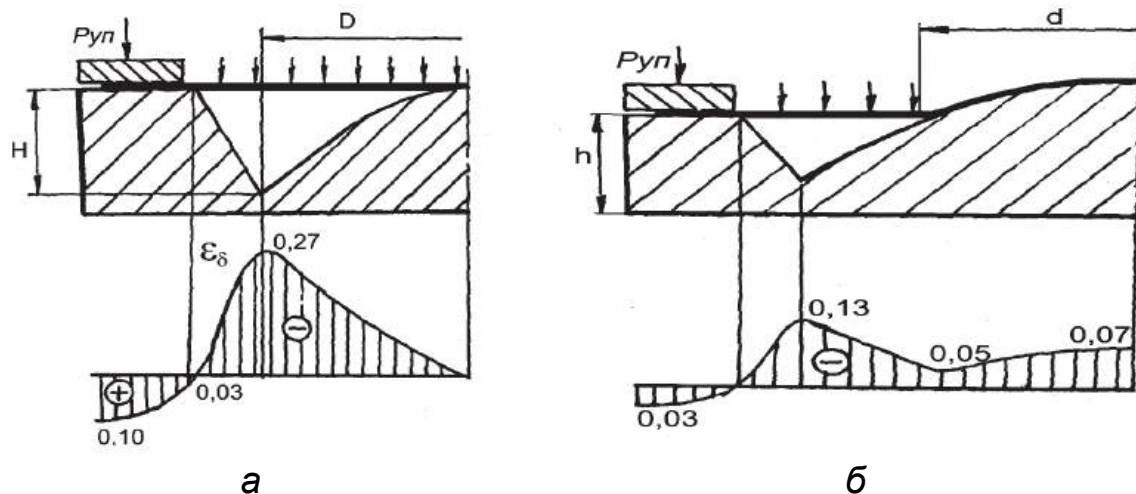


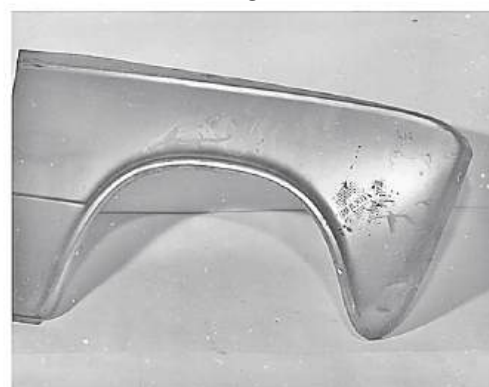
Рисунок 17 – Варіанти штампування параболічних дзеркал ( $\epsilon_{\delta}$  – експериментальні значення деформацій стоншення для дзеркал  $\varnothing 900$  мм товщиною 2,0 мм з матеріалу Д16АМ):  
 а – витяжка з плоскої заготовки; б – витяжка з попередньо деформованого напівфабрикату



а



б



в

Рисунок 18 – Деталь типу «крило переднє»:  
 а – заготовки, напівфабрикат, відштамповка, матеріал – сталь 10 (08кп), лист товщиною 1,0 (0,92) мм;  
 б – внутрішня сторона; в – зовнішня сторона

## Тема 2.2 Витяжка деталей складної форми

Витяжка великих коробчастих деталей з відносно малою товщиною ( $\delta/B$  менше 1000) є доволі складний процес. Це обумовлено різним характером переміщення частин фланця. На прямолінійних ділянках

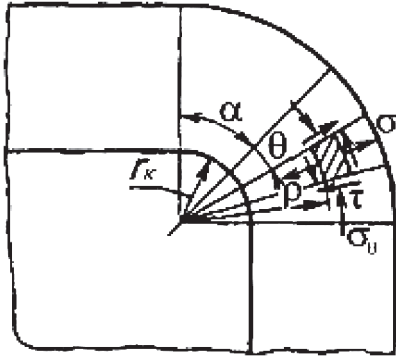


Рисунок 19 – Схема напруженого стану на фланці в кутовій частині коробки на першому етапі деформування

бортів фланець витягується з-під притискача і вигинається по прямій лінії в порожнину матриці. У цій частині фланця практично відсутні тангенціальні стискальні напруження і він не стовщується.

Інша картина спостерігається в зоні суміщення бортів. Тут відбувається витяжка по дузі кола (рисунок 19). На елементи фланця діють розтягальні напруження  $\sigma_r$  і знімаються тангенціальні напруження  $\sigma_\theta$ , які призводять до стовщення кромки фланця. Облягання радіуса заокруглення  $r_y$  важко забезпечити. Більш того, збільшення товщини фланця в кутових зонах призводить до переміщення притискача від

матриці й утворенню невеликих зазорів на прямолінійних ділянках фланця. А це спрощує його витяжку в порожнину матриці і сприяє надходженню до неї "зайвого" металу. На практиці доводиться гальмувати переміщення фланця уздовж прямолінійних бортів різними способами – штучним збільшенням розміру фланця або утворенням гальмівних порогів.



Рисунок 20 – Послідовні положення кромки фланця при витяжці коробчастої деталі (а) і вигляд ділянки сполучення двох бортів і дна перед початком другого етапу формоутворення (б)

Нерівномірність уздовж сторін переміщення кромки фланця при витяжці коробки показано на рисунку 20. Великий розмір фланця уздовж більш довгого борту перетворюється після формоутворення деталей на малий, практично однаковий уздовж контуру матриці.

Радіус зчленування бортів  $r_y$  досить сильно впливає на процес витяжки. В цілому зі збільшенням цього радіуса витяжка спрощується. Теоретично приймається значення місцевого коефіцієнта витяжки (розраховується по перерізу

бісектриси кута коробки)  $K_{місц} = R_{заг} / r_k$ .

Практично це значення досягається при використанні деяких технологічних прийомів для опуклих, на відміну від прямолінійних, бортів, дрібних коробок і т. д.

Наведена залежність дозволяє оцінити параметри технологічності конструкції деталі залежно від кута при його зміні від гострого (менше  $90^\circ$ ) до тупого (більше  $90^\circ$ ). На другому етапі підтягання фланців утруднене через дії сил тертя. Відстань між матрицею і заготовкою в її проміжному положенні максимальна саме в районі бісектриси кута зчленування бортів. Формозміна цієї зони заготовки відбувається переважно внаслідок інтенсивного розтягування матеріалу, що лімітує можливість отримання деталі з малими радіусами сполучення. Розтягування спостерігається як у напрямку ширини, так і в меридіональному напрямку відносно кута заготовки.

Вважається, що умовна межа між двома етапами є момент зіткнення (див. рисунок 20) заготовки з дном матриці на відстані, що дорівнює висоті борту. Для невисоких деталей з великими радіусами сполучення  $R_{nl}$  це відповідає дійсності.

Розглянута послідовність деформування і технологічність виготовлення таких деталей характеризуються рядом параметрів:

- шириною коробки  $B$ ;
- відносними висотою коробки  $\bar{H} = H/B$ , радіусом сполучення бортів в плані  $R_{nl}/B$ , радіусом сполучення бортів і дна  $r_d/H$ , товщиною  $\delta/B$  і радіусом перетяжного ребра матриці  $r_m/\delta$ .

Зазначимо, що комплексним параметром, який визначає технологічність витяжки коробчастої деталі, може бути місцевий ступінь витяжки  $m_{місц} = R_{заг}/R_{nl}$ , який визначається по лінії бісектриси кута зчленування бортів.

Для усунення локалізації стоншення в зоні зчленування бортів і дна пропонується кілька шляхів інтенсифікації подачі матеріалу в цю зону.

Перший шлях – підбір відповідних форми і розмірів заготовки. Однак у цьому випадку потрібне тривале відпрацювання технологічного процесу, оскільки розрахунок не забезпечує достатньої точності при різних співвідношеннях величин  $R_{nl}$ ,  $H$  і  $B$ .

Другий шлях – навантажування заготовки на початковому етапі в кутовій зоні для забезпечення в ній максимального втягування фланця в порожнину матриці. Подача матеріалу фланця на прямих ділянках обмежується через менший рівень енергії, що прикладається. На наступних етапах енергія прикладається уздовж всього периметра перетяжного ребра. Тут необхідно враховувати дві особливості. Перша – при надмірній подачі матеріалу в кутовій зоні на другому етапі можлива втрата стійкості форми борту на прямій ділянці через його відносно невелику жорсткість.

Калібрування таких складок є малоефективним. Друга особливість полягає в складності навантаження заготовки на досить обмеженій ділянці.

Нині розроблено технологічні пристрої, що дозволяють ефективно навантажувати заготовку в зоні діаметром 60...100 мм [6, ч. 1]. При штампуванні деталей з меншими розмірами ділянки сполучення в зону деформування на першому етапі залучаються і прямолінійні ділянки, чого слід уникати.

Третій шлях спрощення формоутворення зони сполучення бортів і дна коробчастої деталі – інтенсифікація подачі матеріалу заготовки на другому етапі деформування з зон, що оформились, до ділянок двох бортів або дна (рисунок 21). Це можливо, якщо виконати технологічні вирізи на ділянках борту або дна, що межують із зоною неприлягання заготовки до матриці.

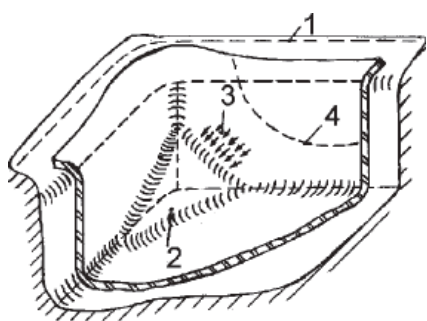


Рисунок 21 – Положення заготовки в матриці перед початком другого етапу деформування:

- 1 – кромка фланця на початку деформування;
- 2 – зона неприлягання заготовки перед початком другого етапу;
- 3 – область і напрямок текучості металу, необхідного для формоутворення кута;
- 4 – можлива межа технологічного вирізу

При додаванні тиску до провисаючої зони матеріал з боку технологічного вирізу інтенсивно підтягується, що дозволяє успішно завершити формоутворення зони зчленування.

Обмеженням застосування такого рішення є конструктивна допустимість наявності вирізів на бортах або дні деталі.

Найбільш ефективний, але найдорожчий четвертий шлях – формоутворення такої ділянки листової деталі за кілька переходів в двох (або більше) комплектах оснастки.

Деякі із зазначених рішень були перевірені під час штампування передніх крил автомобілів ВАЗ моделей 2101 і 2103, кузовних деталей (передня і задня панелі даху, панель арки колеса і кутова ділянка буфера) українського мікроавтобуса «Сула» [6, ч. 1]. Матеріал деталей – сталь 08кп товщиною 0,8 мм.

Деякі деталі, відштамповані на електрогідравлічних пресах ПЕГ-ХАІ-500 (дозволяє управляти місцем виділення енергії) і ПЕГ-25 (можливе виділення енергії тільки в центральній зоні розрядної камери), зображено на рисунках 22, 23.

Встановлено, що керування зоною навантаження заготовки при її деформації імпульсними способами дає можливість формувати кутову

зону зчленування бортів коробчастої деталі з дном, що характеризується місцевим ступенем витяжки  $m_{місц} \leq 2,35$  при  $R_{пл} / H \geq 0,4$ .

На рисунку 22 показано відштамповану задню панель даху. Для спрощення технологічного процесу дві деталі штампували одночасно.

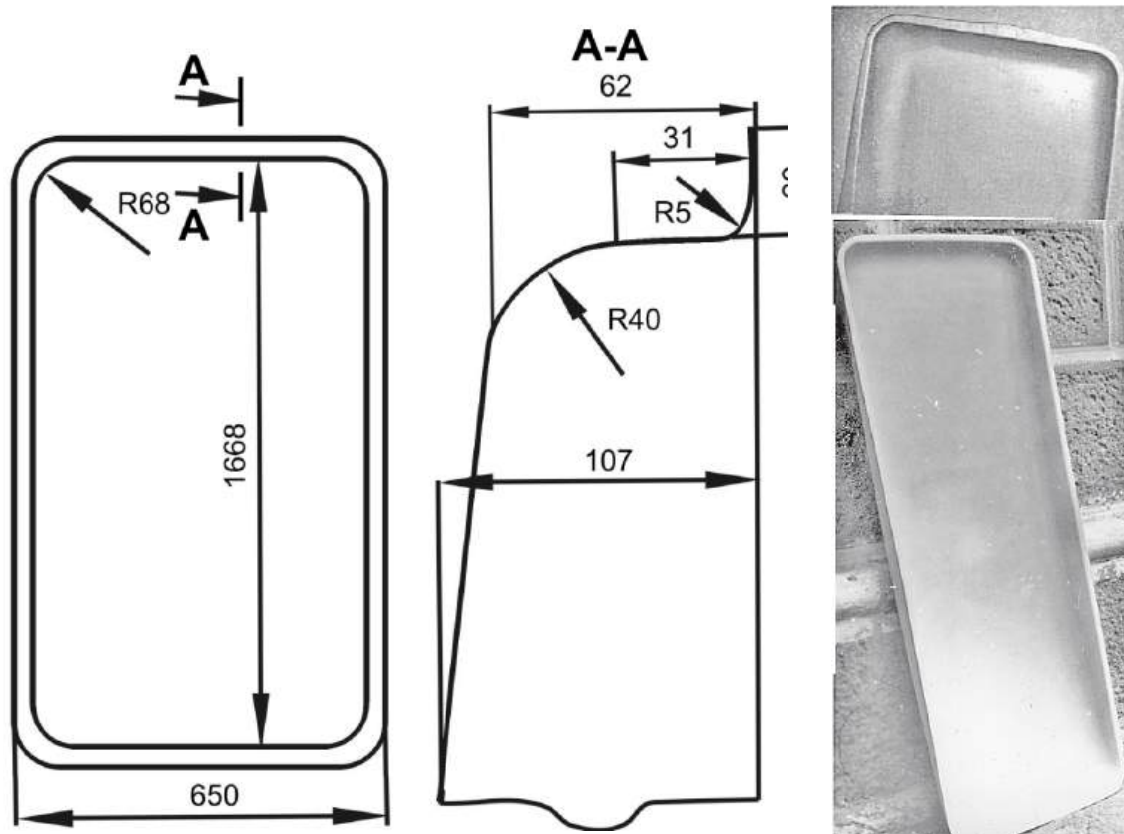


Рисунок 22 – Задня панель даху

Ефективність третього і четвертого шляхів інтенсифікації було перевірено при відпрацюванні технологічного процесу штампування кутового буфера мікроавтобуса «Сула». Буфер (див. рисунок 22) має чотири борти різної висоти і різні радіуси сполучення бортів зі стінкою. Борти в плані мають опуклу і увігнуту форми.

Для отримання деталі було виготовлено два комплекти оснащення:

- оснащення (матриця і притискна плита), що має контур отвору і глибину на 7 % менше, ніж габаритні розміри деталі;
- оснащення для роздачі і калібрування заготовки, відштампованої на першому переході (форма робочої порожнини матриці відповідала розмірам деталі).

Відпрацьовано технологічний процес виготовлення цієї деталі за два переходи. На першому переході плоску заготовку штампували до ступеня витяжки в зонах зчленування бортів 2,35...2,50. На другому – просторова

заготовка деформувалася по глибині і в горизонтальній площині по матриці, при цьому роздача плоского фланця була дещо ускладнена. Після його проміжного обрізування калібрування просторової заготовки відбувалося значно простіше. Деформації стоншення в зоні зчленування бортів становили 0,20...0,25.

Структуру трудомісткості (%) виготовлення деталі можна показати у такому вигляді:

- установлення оснащення першого переходу – 5;
- штампування на першому переході – 20;
- зняття оснащення першого переходу – 5;
- установлення оснащення другого переходу – 5;
- штампування на другому переході – 20;
- розмітка і обрізання напівфабрикату – 10;
- калібрування деталі – 20;
- остаточна розмітка і обрізання – 10;
- слюсарне доопрацювання – 5.

Був перевірений також такий варіант технологічного процесу:

- штампування заготовки в матрицю другого переходу до ступеня витяжки в зонах зчленування бортів 2,35...2,50;
- виконання технологічних вирізів на борту на відстані  $(50...100) \delta$  від зони неприлягання заготовки до матриці;
- штампування-калібрування заготовки просторової форми в матриці другого переходу.

У цьому випадку зона заготовки, що знаходиться між кромкою вирізу і межею неприлягання, інтенсивно підтягується до вершини кута зчленування. У результаті такої послідовності деформування була отримана деталь зі ступенем витяжки в зоні зчленування верхнього борту з дном (R10 на рисунку 23), що дорівнює 7,25. На ділянці R10 спостерігалися невеликі складки, які свідчать про інтенсивну подачу матеріалу в зону зчленування. У той же час на ділянці зчленування R13-R53-R13 такі складки відсутні. Це пояснюється тим, що між опуклими відносно центру деталі ділянками сполучення R10 є увігнута ділянка R53, на якій деформації стиснення по ширині компенсуються деформаціями розтягування по ширині на сусідніх ділянках. Місцевий ступінь витяжки на цих ділянках дорівнює 5,55. У результаті порівняння двох варіантів виготовлення виявлено, що другий варіант більш ефективний завдяки зниженню трудомісткості штампування майже в два рази і відсутності необхідності в другому комплекті оснастки.



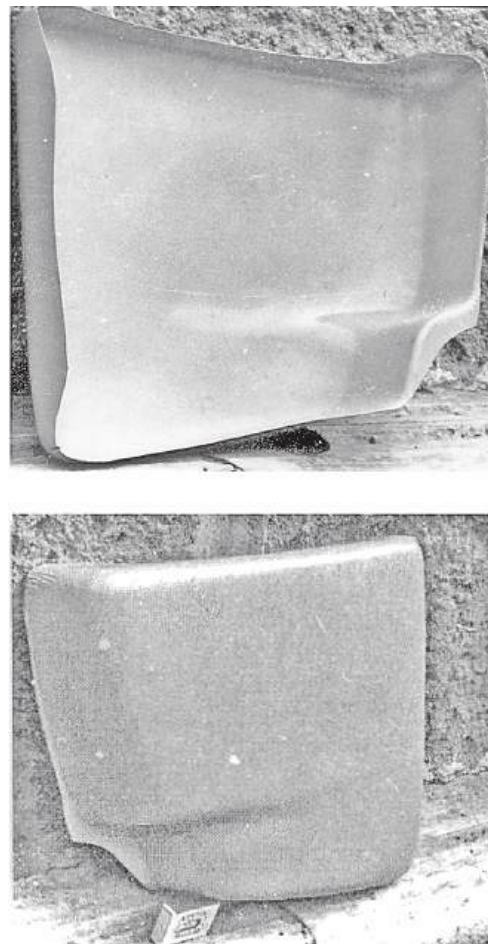
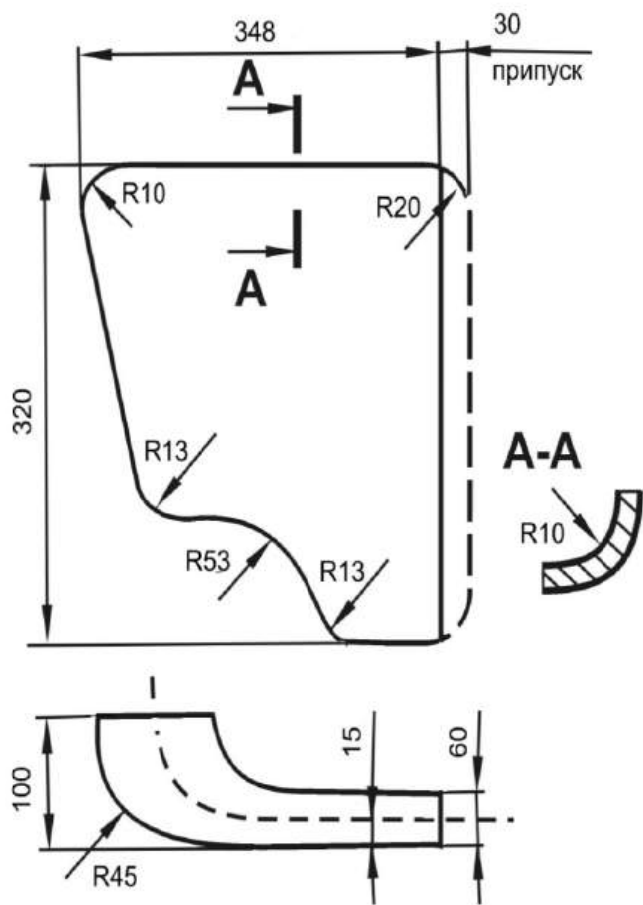


Рисунок 23 – Кут буфера

Тому такий варіант технологічного процесу був вибраний при ЕГШ передніх крил автомобілів ВА3-2101 і ВА3-2103, в яких отвори під фари на передньому борту деталі вирізали перед остаточним калібруванням зони зчленування переднього і верхнього бортів.

Результати дослідно-промислового відпрацювання технологічних процесів електрогідравлічного штампування коробчастих деталей зі сталі 08кп, технологічність яких багато в чому визначається розмірами зон зчленування бортів і дна, можна показати у вигляді схеми, наведеної на рисунку 24.

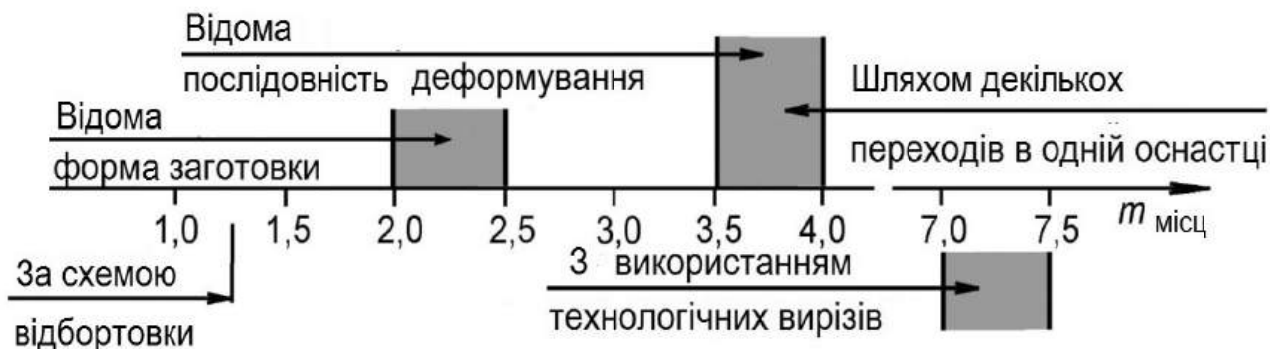


Рисунок 24 – Прийоми формоутворення кута

У міру збільшення місцевого ступеня витяжки складність виготовлення таких деталей зростає. Тому для підвищення технологічності необхідно прагнути до меншого значення  $m_{міц}$ . Решта відносних параметрів слабо корелюються з показником  $m_{міц}$ .

Типовим браком при штампуванні неглибоких тонколистових днищ з плоским дном є утворення неплоскостності донної частини (рисунок 25). Ця неплоскостність пояснюється перевищенням суми накопичених деформацій донної частини по довжині профілю перерізу деталі. Таке перевищення може розглядатися в поздовжньому і поперечному перерізах. Появу неплоскостності при реалізації описаної вище послідовності формоутворення можна пояснити кількома причинами [6].



Рисунок 25 – Неплоскостність донної частини тонколистової коробки.  
Габаритні розміри отвору матриці:  
~ 1480 × 750 мм, глибина – 120 мм, планові і донні радіуси – 80 мм

**Розрахунок потрібного тиску і енергії.** При розрахунку потрібних тисків для формоутворення різного роду локальних елементів використовують рівняння Лапласа – рівняння рівноваги тонкостінних оболонок. У спрощеному виді воно має вигляд

$$\frac{\sigma_{\rho}}{R_{\rho}} + \frac{\sigma_{\Theta}}{R_{\Theta}} = \frac{q}{S},$$

де  $\sigma_{\rho}$  і  $\sigma_{\Theta}$  – напруження в радіальному і тангенціальному напрямках;  $R_{\rho}$  і  $R_{\Theta}$  – радіуси кривизни у відповідних напрямках;  $q$  – потрібний тиск;  $S$  – товщина заготовки.

Для умов формування беруть  $\sigma_\rho = \sigma_\Theta = \sigma_s$ .

При формування сферичної пуклівки  $R_\rho = R_\Theta = r_{c\phi}$ . Тоді  $q = \frac{2S}{r_{c\phi}} \sigma_s$ .

Для прямолінійного рифта (сполучення борту та стінки) можна вважати  $R_\Theta = \infty$ , тоді  $q = \frac{S}{r} \sigma_s$ .

З урахуванням площі заготовки, на яку діє тиск, можна оцінити потрібне зусилля преса.

Треба звернути увагу на те, що в ці формули входить величина, зворотна відносному радіусу кривизни  $r/S$ . Звідси випливає висновок про те, що чим менше відносний радіус кривизни, тим більший тиск необхідно для його формоутворення.

Виходячи з основних залежностей пластичної текучості металу, що зміцнюється, для більшості штампувальних матеріалів можна визначити питому роботу пластичної деформації

$$a_{num} = \frac{B}{1+m} \varepsilon_i^{1+m},$$

де  $\varepsilon_i$  – інтенсивність деформації в даній точці;  $B$  і  $m$  – механічні характеристики штампувального матеріалу.

Інтегруванням по усьому об'єму  $V$  отримуємо повну роботу деформації  $W_n = a_{num} V$ .

Для числового визначення потрібно знати розподіл інтенсивності деформацій в точках деталі.

Для деяких простих форм деталей з використанням усереднення значень  $\varepsilon_i$  для півсфери штампування за схемою мембрани отримаємо

$$W^{c\phi} = \frac{B}{1+m} \left( \frac{4}{3} \cdot \frac{f^2}{r^2} \right)^{1+m} \pi r^2 \delta,$$

де  $f$  – глибина сферичного елемента;  $r$  – його радіус;  $\delta$  – товщина заготовки. У довідниках (наприклад, [5]) записана робота витяжки фланця.

## Тема 2.3 Операції «Формування, гнуття, відбортовка»

**Формування** – операція формоутворення локальних поглиблень або опуклостей в листових або просторових заготовках. При цьому осередок деформації в основному охоплює частину заготовки, розташованої навпроти отвору в матриці, схема напружено-деформованого стану близька до двовісного розтягування і формоутворення відбувається за рахунок стоншення заготовки. Глибина одержуваного поглиблення (рисунок 26) обмежується можливістю руйнування заготовки в місцях великого стоншення і істотно залежить від механічних властивостей матеріалу заготовки і об'єму металу, залученого в осередок формування. Як і при випробуваннях за Еріксоном, величина поглиблення залежить від відношення товщини заготовки до її поперечних розмірів радіусів заокруглення, ребер матриці та радіусів сполучення борту і дна опуклості. Чим більше значення відносних радіусів заокруглення, тим більшу глибину  $h$  при заданому граничному стонненні можна отримати при формуванні.

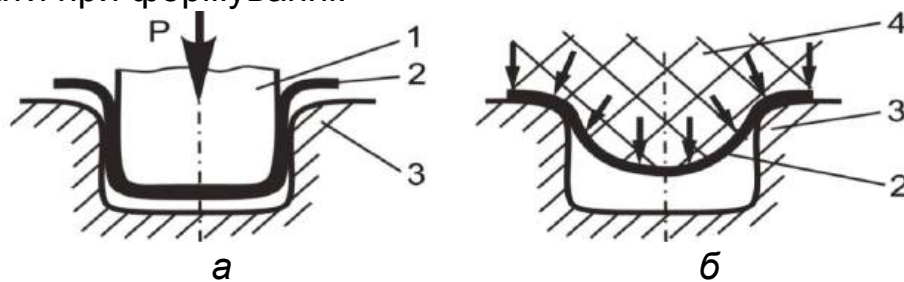


Рисунок 26 – Схема формоутворення рифта:  
а – пуансоном і матрицею; б – еластичним середовищем;  
1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матриця;  
4 – еластичне середовище під тиском

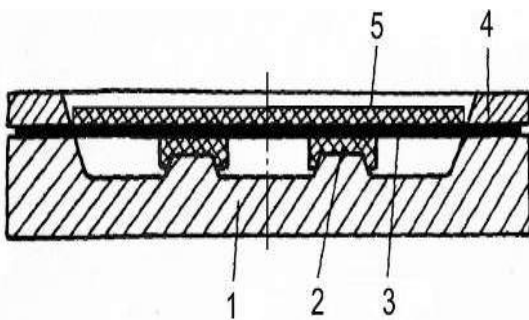


Рисунок 27 – Схема штампування панелей жорсткості:  
1 – матриця; 2 – еластичні підкладки; 3 – заготовка;  
4 – притискач; 5 – еластичний килимок

Рекомендовані значення цих параметрів наведено в довідниках з листового штампування [4]. Поліпшити якість процесу формування дозволяє широко використовуваний технологічний прийом – відштампування за два проходи (рисунок 27).

На першому переході на виступаючих частинах матриці розташовують еластичні листові прокладки, на які встановлюється заготовка. Вона піддається навантаженню і

деформації у більш вузькі порожнини матриці. На другому переході підкладки видаляються і попередньо відформована заготовка формоутворюється по твердій матриці. Цей прийом дозволяє збільшити обсяг осередку деформації і знизити стоншення заготовки на ребрах і в центрі провисаючої частини заготовки.

Варіант двоперехідного формування може бути реалізований при використанні двох комплектів оснастки (рисунок 28) при штампуванні регулярних рифтів. На першому переході штампують рифти максимально допустимої глибини. На другому переході заготовку повертають зворотною стороною і штампують в матрицю другого переходу (в поверхні, що задають форми, зміщені на половину місця відносно аналогічних порожнин матриці першого переходу).

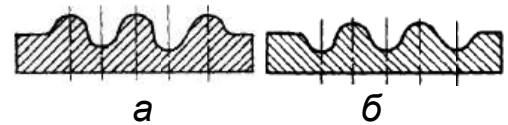


Рисунок 28 – Форма матриць для двоперехідного штампування панелей жорсткості з симетричним профілем виступів і западин: а – пряма; б – відображена

У цьому випадку деформації стоншення на опуклій частині рифта блокуються силами тертя між заготовкою і матрицею, а збільшення глибини рифта відбувається внаслідок розтягування малодеформованих ділянок заготовки після першого переходу. Зазначимо, що штампуванням рифта пуансоном в матрицю можна отримати більшу глибину рифта, ніж при штампуванні еластичним середовищем або тиском рідиною.

В останньому варіанті заготовку притискають до матриці по всій дотичній поверхні і сили тертя перешкоджають переміщенню металу з фланцевих частин рифта (рисунок 29, а). При навантаженні заготовки в її провисаючій частині (особливо це складно при імпульсному навантаженні) на початковому етапі заготовка підходить до інструменту вже частково зігнутою, а після зіткнення з краями матриці частково входить в порожнину матриці зігнутою і матеріал заготовки підтягується з фланцевих частин (рисунок 29, б).



Рисунок 29 – Послідовні положення заготовки при формоутворенні прямокутного рифта і розподіл деформацій стоншення при навантаженні: а – загальному; б – локальному; в – розподіл деформацій стоншення для цих варіантів (зліва – для загального навантаження, справа – для локального навантаження). Матеріал – АМцАМ, лист товщиною 2,0 мм

Для порівняння на рисунку 29, в наведено епюри розподілу деформацій стоншення уздовж твірної рифта прямокутного перерізу. Видно, що при суцільному навантаженні максимальні значення стоншення спостерігаються в кутових зонах і в центрі рифта, де вони досягають граничних значень. При навантаженні над провисаючою частиною заготовки епюра деформацій стоншення більш рівномірна з деяким збільшенням стоншення на фланцевій частині рифта. Варіант локального навантаження кращий порівняно із загальним навантаженням. Розроблено технологічні рішення реалізації локального навантаження.

Для прикладу на рисунку 30 показано панелі жорсткості літака, відштамповані за схемою «в матрицю». Така схема дозволяє виконувати місцеві вирізи або надрізи, які значно спрощують формоутворення профілю деталі. Операція вирізки вікон проводиться перед калібруванням.



а

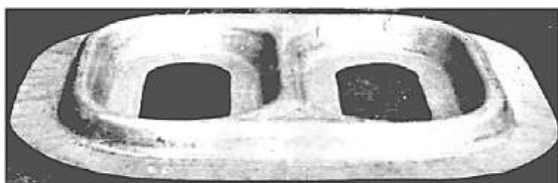


б

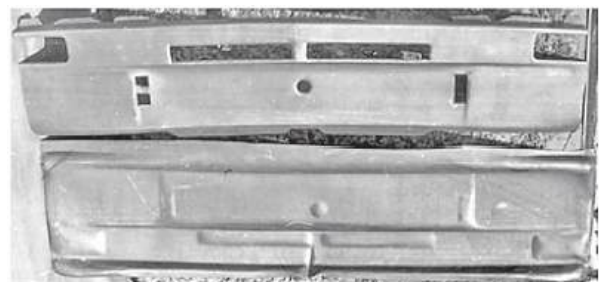
Рисунок 30 – Панелі жорсткості, відштамповані на пресі ПЕГ-150М. Кількість розрядів – 12 і 8 відповідно. Енергія розрядів на формотворних етапах – 32 кДж, при калібруванні – 45 кДж:

а – ділянка великогабаритної панелі жорсткості з матеріалу АК4-1 товщиною 1,2 мм; б – панель жорсткості з матеріалу Д16АМ товщиною 1,5 мм; висота відштамповок – 16 мм;

$$r_m = 2 \text{ мм}; R_{пл} = 12 \text{ мм}; \alpha = 15^\circ$$



а



б

Рисунок 31 – Панель жорсткості (а) та панель передка автомобіля ВА3-2106 (б, зверху) та її відштамповка (б, знизу)

За схемою «на пуансон» штампувалися деталі, показані на рисунку 31. Така схема була вибрана тому, що ці деталі є лицьовими і до якості їх поверхні ставляться підвищені вимоги. Таким чином, зазначимо,

що формування є більш енергоспоживаючим процесом порівняно з витяжкою. Розрахунок потрібних енергосилових параметрів у цьому випадку виконують за методикою визначення необхідних для формоутворення тисків.

Зміна форми плоскої листової заготовки здійснюється двома шляхами: вдавллюванням заготовки в порожнину матриці за допомогою твердого або еластичного інструменту і обтягуванням твердого опуклого інструменту (пуансона або грибка) листовою заготовкою. Варіанти відрізняються один від одного різним розподілом деформацій стоншення уздовж поверхні отриманої деталі. Це пояснюється різними величиною і напрямком дії сил тертя, що перешкоджає переміщенню матеріалу заготовки відносно інструменту.

У практиці штампування автокузовних панелей у чистому вигляді такі процеси реалізуються рідко. Складна форма конструкцій таких деталей забезпечується комбінуванням схем формоутворення в одному процесі.

На рисунку 32 показано проміжне положення заготовки при штампуванні деталі складної форми. Заготовка 3 втягується в порожнину матриці 1, але при цьому в своїй центральній частині вона обтягує пуансон 4. На початку процесу переважає процес обтягування (див. виноску на рисунку 32), а на заключному етапі – витяжка при формоутворенні бортів деталі.

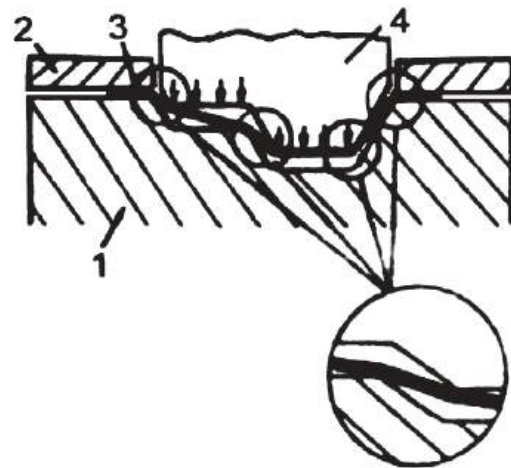


Рисунок 32 – Схема формозміни листової деталі складної форми:  
1 – матриця; 2 – притискач;  
3 – заготовка; 4 – пуансон [10]

Тому при виборі схеми штампування в першу чергу враховується складність виготовлення формотворної поверхні (випукла або увігнута) і реалізації притиску фланців, вимоги щодо розподілу стоншування уздовж поверхні деталі. Безпосередня передача деформувального зусилля до заготовки здійснюється через жорсткий інструмент (рисунку 33, а): пуансон і матрицю або еластичний (рідкий) інструмент. В останньому варіанті це можуть бути поліуретан (гума), машинне масло або вода (рисунку 33, б).

У першому варіанті на заготовці, що деформується, є значні за розмірами ділянки, на яких заготовка вільна і не опирається на інструмент. З одного боку, це позитивний фактор – сили тертя не перешкоджають рівномірній деформації заготовки, з іншого – це може

сприяти втраті стійкості форми заготовки, утворенню складок, які важко піддаються розрівнюванню при калібруванні.

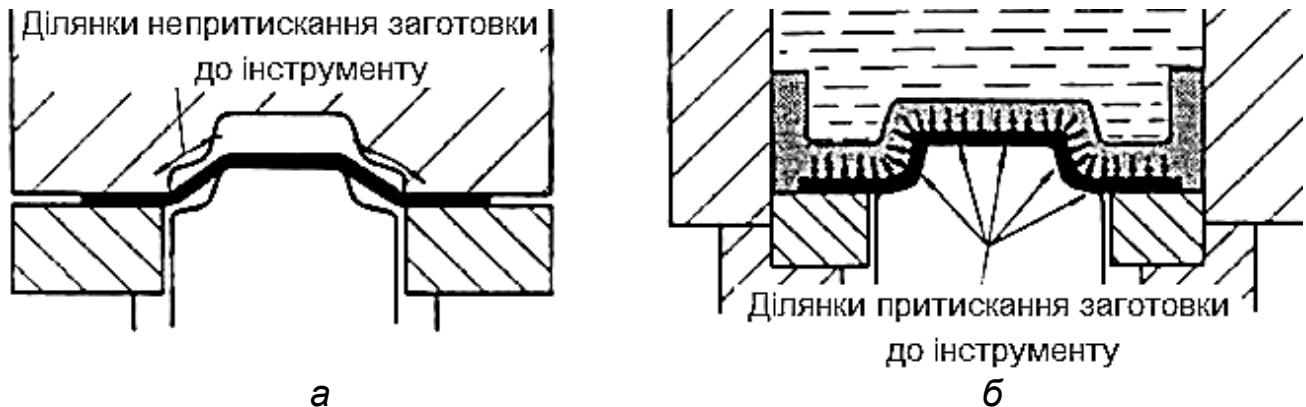


Рисунок 33 – Схема прикладення деформувальних зусиль до заготовки у двох варіантах формоутворення:

а – при використанні жорсткого інструменту; б – при деформації еластичним (рідким) інструментом [11]

У другому варіанті вся заготовка притиснута до твердої поверхні інструменту і умови для втрати стійкості з'являються рідко, але при цьому по всій притиснутій поверхні заготовки діють значні сили тертя, що перешкоджають приляганню заготовки до інструменту на важко формоутворюваних ділянках (рифтах, ділянках зчленування різновипуклих поверхонь).

Безумовною перевагою схеми штампування еластичним інструментом є необхідність застосування тільки одного формоутворювального інструменту (матриці або пуансона). Другий інструмент є універсальним. Це дозволяє скоротити терміни і витрати на виготовлення інструменту більш ніж на 60 %, оскільки виключаються такі операції, як виготовлення другої формоутворювальної поверхні і пригонка цих поверхонь одна до одної (трудомісткість операції пригонки за статистикою становить 30 % загальної трудомісткості виготовлення оснастки). Для підвищення продуктивності праці в сучасних пресах штампування еластичними і рідкими середовищами передбачається можливість групового штампування одночасно декількох деталей. При цьому підбір деталей для такого штампування проводиться з урахуванням розмірів столу преса і розмірів деталей, а також однакового потрібного тиску для зміни форми всіх заготовок.

На рисунку 34 показано загальний вигляд робочого місця штампувальника в момент зняття відштампованих деталей і установлення нових заготовок на допоміжній позиції преса. У робочому контейнері преса розташовується комплект формоутворювальної оснастки. У цьому випадку оснастка виконана з дельта-деревини у вигляді формблоків. Таку оснастку використовують для штампування різного роду бортів на деталях із



сплавів, що легко деформуються. У деяких випадках застосовують оснастку з алюмінієвих сплавів і сталі. На передньому плані рисунка 34 видно відштамповану деталь з відбортованими отворами. Праворуч знаходяться еластичні накладки, що встановлюються на заготовку, і пристрої для захисту еластичного килимка від порізів об гострі краї заготовок і оснастки. Робочий зліва встановлює заготовку на формблок.

На попередніх етапах установлення для виключення зміщення заготовки відносно оснастки в заготовці виконано отвори, а в формблоці встановлюють штифти. На передньому плані цієї оснастки видно встановлені штифти.

На середньому плані видно оснастку перегородки, якість якої контролює робітник, що знаходиться праворуч.

На задньому плані показано рулон еластичного килимка, що захищає еластичну діафрагму преса від порізів. На самому задньому плані видно обшивку робочої камери преса з технічними даними преса.

Після установлення всіх заготовок на оснастку контейнер, покритий еластичним килимком, подається в робочу зону преса для формотворення деталей.

Далі робочі переходять на друге робоче місце і на ньому знімають відштамповані деталі і встановлюють заготовки.

Тривалість самого процесу деформування становить 1–2 хв.

Такі технологічні процеси використовують великі автовиробники, але не в великосерійному або масовому виробництві, де застосовують механічні або гідравлічні преси з роботизацією і автоматизацією виробничих операцій.

Позитивний досвід групового штампування деталей, можливість використання уніфікованих автокузовних панелей для створення ряду автомобілів різних конструкцій і призначення був використаний при виробництві спеціальних мікроавтобусів «Сула» на Лубенському автозаводі (Полтавська обл.). На рисунку 35 показано дві моделі (з 4–5 прийнятих у виробництво), характерною особливістю яких є однакова конструкція



Рисунок 34 – Зовнішній вигляд робочого столу преса типу Quintus з встановленими на оснастку заготовками [12]

панелей задніх коліс, передньої і задньої панелей даху водія, кутових ділянок буфера і ряду більш дрібних деталей.



а



б

Рисунок 35 – Варіанти моделей автобусів з однаковими кузовними панелями: а – мікроавтобус спеціального призначення; б – машина дорожньої служби

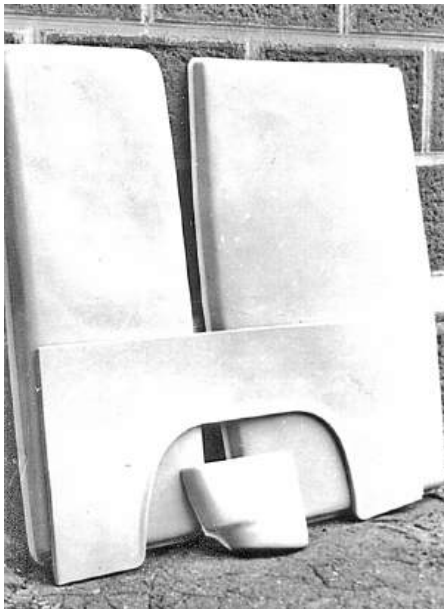


Рисунок 36 – Відштамповки панелей арки колеса і кутовий буфер мікроавтобуса «Сула»

Деякі відштамповки таких панелей показано на рисунку 36. Після формоутворення панелі ліву (дві панелі задньої кришки) розрізають посередині вздовж довгої сторони, праву (передок даху) – обрізають в розмір. Панелі арки задніх коліс і бокові ділянки буфера штампують по одній деталі в матрицю. З фланцевих частин відштамповок формують водозливні жолобки. Більш детальну інформацію про досвід ЕГ-штампування автокузовних панелей наведено в роботі [6]. У першу чергу в процесах групового штампування індивідуальних або уніфікованих панелей привертає увагу ряд особливостей:

- значно зменшені терміни і витрати на ТПВ порівняно з традиційними процесами;
- більш низькі витрати енергоресурсів для виготовлення автокузовних деталей;
- можливість більш повного використання запасу пластичних властивостей заготовок.

У разі застосування ЕГ-штампування відзначають значно менше викривлення відштамповок.

**Гнуття** – операція зміни кривизни серединної поверхні листової заготовки при майже незмінних її лінійних розмірах. Для цієї операції характерний нерівномірний розподіл деформацій по товщині. При вигині широкої смуги на її випуклій поверхні виникають напруження розтягнення, як мінімум такі, що перевищують границю пружності. У той же час на увігнутій стороні смуги утворюються стискальні напруження. В районі серединної поверхні ці напруження дорівнюють нулю. Характерний розподіл напружень по товщині смуги з урахуванням зміцнення металу в пластичній зоні показано на рисунку 37.

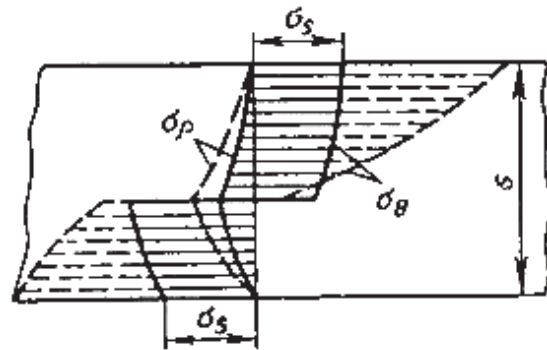


Рисунок 37 – Епюри напружень при вигині ( $r = \delta$ ) [3]: суцільна лінія – без зміцнення; пунктирна лінія – зі зміцненням

Розглянемо випадок вигину широкої смуги згинальним моментом, коли весь переріз піддається пластичній деформації (зона пружних деформацій відсутня) і коли зміцнення враховується з використанням лінійної апроксимації кривої зміцнення першого роду. Прийmemo також, що при вигині і розвантаженні плоскі перерізи, перпендикулярні до поверхні заготовки, залишаються плоскими, а їх центри повороту розміщуються на серединній поверхні.

Тут широтні напруження  $\sigma_{\theta}$  діють перпендикулярно до лінії згину, а меридіональні напруження  $\sigma_{\delta}$  – уздовж лінії вигину. Видно, що вони значно менше тангенціальних і напруження пластичності визначається в основному значенням  $\sigma_{\theta}$ .

Дія рівномірних напружень відносно точки на серединній поверхні призводить до утворення лінійних моментів сил, що розтягують вигнуту смугу після зняття навантаження. Це так званий ефект пружинення або наслідок технологічної послідовності перетворення смуги гнуттям. Максимальне значення напруження текучості – на зовнішній (розтягнутій) поверхні [8]:

$$\sigma_s = \sigma_{TO} + \frac{PI}{2r + \delta},$$

де  $\sigma_{TO}$  – екстрапольована границя текучості;  $P$  – модуль зміцнення.

Виходячи з епюри розподілу напружень (див. рисунок 37) можна знайти величину згинального моменту

$$M = \frac{1}{4} \sigma_s S^2 + \frac{1}{6} \frac{\Pi \delta}{(2r + \delta) S^2}.$$

Кут, на який відпружинює вигнута смуга, називають кутом пружинення  $\Delta\alpha$ . Для простого випадку прямолінійного гнуття

$$\Delta\alpha = \frac{1}{E} \left( 3\sigma_{to} + \Pi \frac{2\delta}{2r + \delta} \right) \left( 1 + \frac{r}{\delta} \right) \alpha,$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу;  $S$  – товщина смуги;  $r$  – радіус згину;  $\alpha$  – кут згину. Видно, що величина пружинення (неповторення форми оснастки) збільшується при збільшенні співвідношення  $\frac{\sigma_{to}}{E}$ , модуля зміцнення  $\Pi$  (обидва параметри – характеристики матеріалу), відносного радіуса  $\frac{r}{\delta}$  і кута  $\alpha$ , на який вигинається заготовка.

Відомі методи зменшення кута пружинення. До них належать:

- збільшення кута згину, коли після виникнення пружинення кут деталі фактично відповідає вимогам технічної документації. Але розрахунок точних значень кута пружинення при згинанні по прямій лінії (вигнутих бортів) досить складний;

- накладення на зону згину додаткових стискальних напружень, що розтягують або зміщують нейтральну точку за межі перерізу деталі (гнуття з розтягуванням або зі стисненням). Однак це ускладнює оснастку і процес деформування;

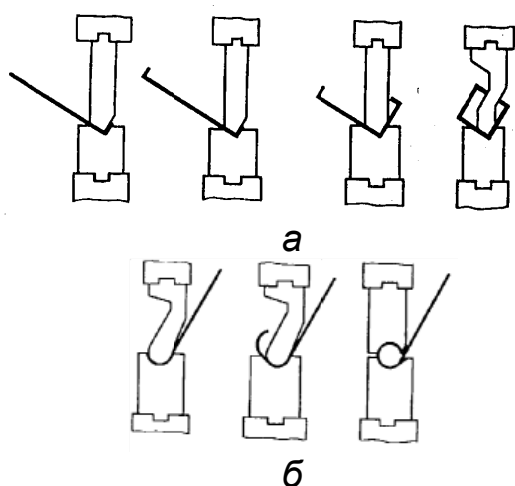


Рисунок 38 – Схема гнуття профілів на пресах:

- а – однокутового;
- б – трубчастого [3]

- накладення на зону згину різного роду фізичних полів (наприклад, вібрації), які призводять до релаксації (розтягування) залишкових напружень. Однак цей метод ще не повністю досліджено.

Операцію гнуття можна проводити в жорстких штампах із застосуванням пуансона і матриці, а також з використанням еластичних середовищ. Схему виготовлення профілів на згинальних пресах з поступальним рухом повзуна наведено на рисунку 38. Видно, що на згинальних пресах, використовуючи одні й ті ж пуансон і матрицю, можна

отримувати різні профілі, послідовно застосовуючи однокутове гнуття (рисунок 39, а) на різних ділянках вихідної листової заготовки.

Таким способом простіше виготовити профілі з відкритим поперечним перерізом. Заміною пуансонів і матриць на згинальних пресах можна отримувати і більш складні профілі, в тому числі й закриті профілі, наприклад трубчасті (рисунок 39, б), що мають круглий переріз. Довжина профілю, який можна отримувати на згинальних пресах, дещо менше довжини пуансонів і матриць. Для отримання досить довгих профілів гнуття преси зазвичай роблять двостояковими з довгим, але вузьким столом і повзуном.

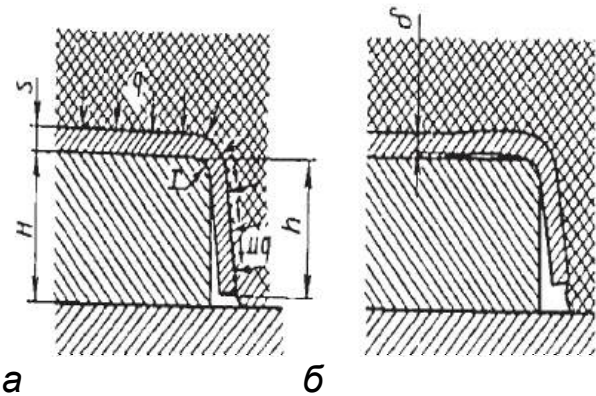


Рисунок 39 – Гнуття еластичним інструментом [3]:  
а – схема дії сил; б – формування зазору (пружинення)

При згинанні листової заготовки для утворення бічної стінки деталі еластичний інструмент діє на вільну ділянку заготовки і обтискує її по формблоку (рисунок 39, а). Висота форм блока  $H$  має бути трохи більше (на 1...5 мм) висоти отриманого борту деталі  $h$ . Значне збільшення висоти формблока може призвести до запливання еластичного матеріалу під торець заготовки і спотворення форми борту деталі.

Механізм деформування при згинанні еластичним інструментом має свої особливості, які визначаються дещо іншим розподілом діючих сил.

Крім цих способів гнуття деталі виробляють і на верстатах з роликками, наприклад при виготовленні зварювальних труб. Взагалі, цю операцію широко використовують при листовому штампуванні через відносну простоту застосовуваної оснастки.

**Відбортовка отворів** – операція отримання горловини в плоскій або просторовій заготовці шляхом вдавлювання в отвір матриці частини заготовки з попередньо пробитим отвором. Під час відбортовки осередком деформації є частина заготовки, що розташована проти отвору матриці, причому в осередку деформації довжина елементів у тангенціальному напрямку збільшується.

Схема процесу деформування при відбортовці з осью симетрії деформування наведено на рисунку 40.

Вдавлювання заготовки в отвір матриці (внаслідок суцільності заготовки) з урахуванням того, що частина заготовки, яка знаходиться на площині матриці (фланець), не повинна деформуватися, спричиняє появу

меридіональних розтягувальних напружень. Оскільки тангенціальна деформація  $\varepsilon_\theta$  є деформацією розтягування, то і тангенціальні напруження також розтягують.

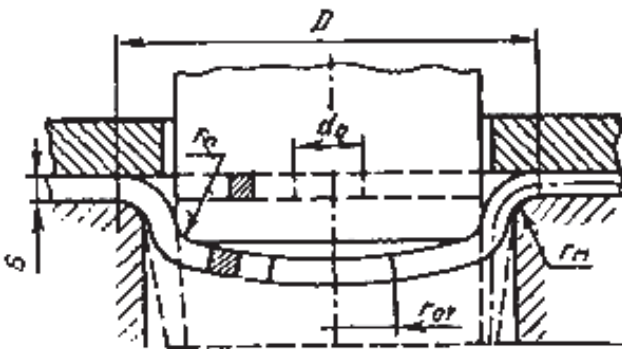


Рисунок 40 – Схема деформування при відбортовці [3]

Контактні напруження при  $r_{II} > \delta$  порівняно невеликі і не можуть чинити помітного впливу на перехід заготовки у пластичний стан, тому з достатньою точністю можна вважати, що при відбортовці в осередку деформації схема напруженого стану близька до схеми двовісного розтягування.

Як видно, при відбортовці діаметральні розміри кільцевих елементів заготовки збільшуються; при цьому вони зміщуються відносно торця пуансона і послідовно входять в зазор між пуансоном і матрицею, формуючи горловину. Геометричні розміри при відбортовці визначають, виходячи з рівності об'ємів заготовки та деталі, діаметр отвору визначають за формулою [3]

$$d_0 = D - 2(H - 0,43r_m - 0,72\delta).$$

Висота борту  $H$  виражається залежністю

$$H = 0,5(D - d_0) + 0,43r_m + 0,72\delta.$$

Як видно, при великих радіусах заокруглення матриці висота борту збільшується.

Зусилля, необхідні для відбортовки циліндричним пуансоном, можна визначити за наближеною формулою

$$P = 1,1\pi\delta\sigma_s(D - d_0),$$

де  $\sigma_s$  – напруження текучості.

Ступінь деформації при відбортовці визначають відношенням діаметра отвору в заготовці до діаметра борту або так званим коефіцієнтом відбортовки

$$K_0 = \frac{d}{D} = 1 - \psi,$$

де  $\psi$  – величина поперечного звуження. Вона менше, ніж при випробуваннях на розтягнення через дефекти, які знаходяться на кромці отвору.

Найменша товщина біля краю борту становить

$$S_{\sigma} = S \sqrt{K_0}.$$

Величина коефіцієнта відбортовки  $K_0$  залежить:

– від характеру відбортовки і стану кромки отворів;

– від відносної товщини заготовки  $\frac{S}{D} 100\%$ ;

– від форми робочої частини пуансона.

Конкретні значення коефіцієнтів відбортовки наведено в довідниках з холодного штампування.

**Відбортовка зі стоншенням стінки.** Такий вид відбортовки застосовують для отримання деталей з високими бортами. Для їх отримання використовують пуансони і матриці, що мають зазор, менший товщини матеріалу деталі. За деякими відомостями при такій операції можна зменшувати товщину борту майже в два рази відносно заготовки.

Відбортовка зовнішнього півтора. Це операція зміни положення частини кромки поверхні деталі відносно основної частини її поверхні. При такій відбортовці відбувається вигин периферії листової деталі по прямій, опуклій або вогнутій лінії з утворенням борту.

Ця операція може проводитися в інструментальних штампах і

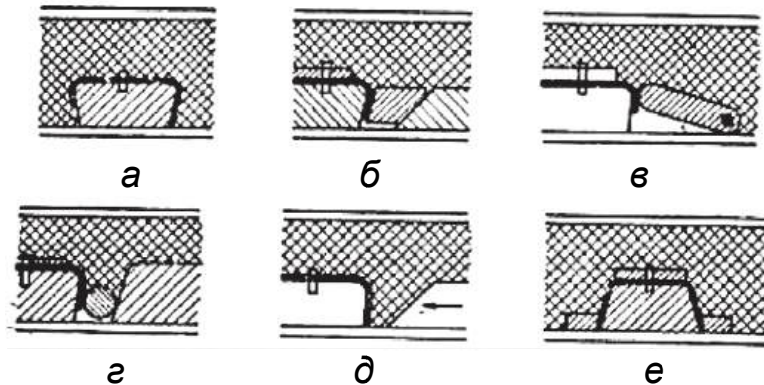


Рисунок 41 – Способи гнуття зовнішніх бортів еластичним середовищем [3]:

а – гумою; б – клином; в – шарнірною пластинкою; г – прутком;  
д – рухомим клином; е – кільцем

формоутворенням еластичним середовищем. Застосовувані способи гнуття зовнішніх бортів еластичним середовищем показано на рисунку 41.

Величина деформації при такій відбортовці характеризується відношенням висоти борту до суми або різниці радіуса кривизни борту і його висоти.

Теоретичні й практичні розробки цього виду відбортовки наведено в роботах Є. І. Ісаченка [6].

## Тема 2.4 Особливості операцій «Роздача» і «Обтиснення»

**Роздача** – операція збільшення поперечного розміру порожнистої заготовки. Найчастіше розглядають роздачу трубної заготовки, але можна роздавати периферичні частини півсфери або коробчастої заготовки. Операцію здійснюють шляхом додавання до внутрішньої поверхні порожнини заготовки розпираючого навантаження (тиск рідкого або еластичного середовища, а також жорстким пуансоном). Зовнішні розміри і форму перерізу деталі отримують застосуванням жорстких матриць заданих розмірів і форми.

При різних схемах проведення операції тангенціальні (широтні) напруження є розтягальними. Меридіональні (осьові) напруження можуть бути стискальними або розтягальними залежно від схеми процесу.

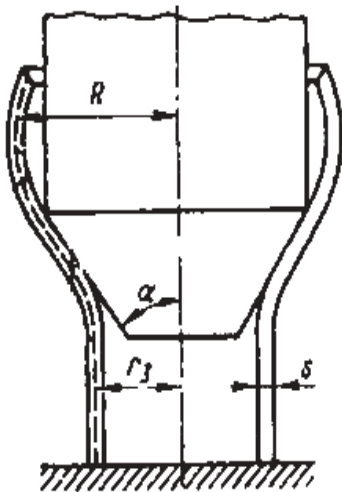


Рисунок 42 – Схема роздачі жорстким пуансоном [3]

У листовому штампуванні зазвичай застосовують роздачу зі стисненням, оскільки це дозволяє отримувати деталі з великим відношенням діаметрів деталі і заготовки. Цей параметр називають ступенем роздачі.

Схему роздачі трубної циліндричної заготовки без обмеження її деформації жорсткою матрицею показано на рисунку 42. При такій схемі роздачі тангенціальні розтягальні напруження максимальні, а меридіональні стискальні – мінімальні. Рівняння пластичності має вигляд

$$\sigma_{\theta} - \sigma_{\rho} = \omega_s.$$

Мінімальна товщина спостерігається на торці деталі [3]:

$$\delta_{min} = \delta_0 \sqrt{\frac{r_3}{R_k}}.$$

Наближено максимальну кількість заходів можна застосувати при роздачі без утворення шийки:

$$R_{max} = \frac{r_3}{1 - \psi_{ш}} \exp \sqrt{\frac{\delta}{r_3} \sin \alpha}.$$

Аналіз цієї формули показує:

– при більшому значенні радіуса заготовки та її товщини можна отримувати велику кількість деталей різного розміру;



– для матеріалів з великою пластичністю можна отримувати великий ступінь роздачі.

При роздачі важливо, щоб крайні шари заготовки не мали тріщин і не були наклепані. Це визначає вимоги до різання заготовок.

Своєрідним різновидом операції роздачі є заковчування, яке ведеться по краю виробу тороподібної частини (рисунок 43).

Така обробка країв автокузовних панелей зустрічається досить часто. Заковчування краю зменшує ймовірність його руйнування і зменшує корозію торця панелі.

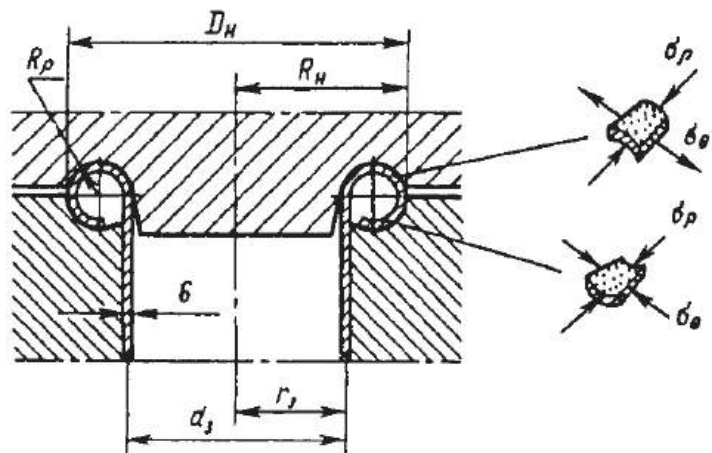


Рисунок 43 – Схема заковчування краю [3]

Початкова стадія деформування здійснюється

заштовхуванням краю заготовки на пуансон, що має тороподібну канавку.

Крайні елементи заготовки ковзають по цій канавці, подовжуючись в тангенціальному напрямку.

Для того, щоб крайня частина заготовки прилягала до поверхні канавки по всій поверхні, радіус заокруглення тороподібної канавки має дорівнювати або бути трохи більшим радіуса вільного вигину. Схема напруженого стану в осередку деформації відповідає схемі при роздачі ( $\sigma_\theta > 0$ ;  $\sigma_\rho < 0$ ), тоді зовнішній край заготовки збільшується до діаметра  $D_n = d_3 + 4R_p$ . Подальше деформування характеризується початком зменшення діаметра краю заготовки.

Заготовка ніби загортається всередину, зберігаючи кривизну елементів у меридіональному перерізі, отриману на попередньому етапі деформування.

Зменшення діаметра крайніх елементів потребує прикладання тангенціальних стискальних напружень у зоні від зовнішнього діаметра  $D_n$  до краю заготовки. Схема напружено-деформованого стану відповідає схемі при стисненні [5].

Зараз операцію роздачі часто виконують з використанням еластичних середовищ (поліуретану) або рідини під високим тиском за схемою, показаною на рисунку 44.

Деформування заготовки відбувається під дією тиску  $q$ , створюваного еластичним середовищем, що стискається пуансоном. Після зняття деформувального навантаження еластичне середовище набуває початкової форми і легко витягується з порожнини деталі.

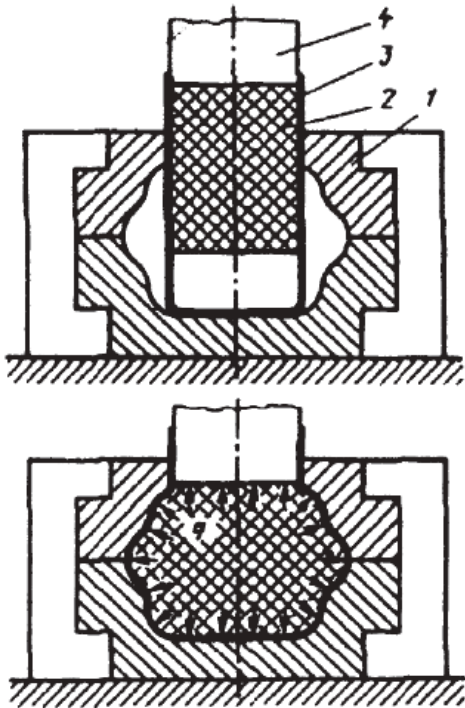


Рисунок 44 – Схема штампа для формування просторової деталі [3]:

- 1 – матриця; 2 – еластичний матеріал (поліуретан);
- 3 – порожниста заготовка з дном;
- 4 – пуансон

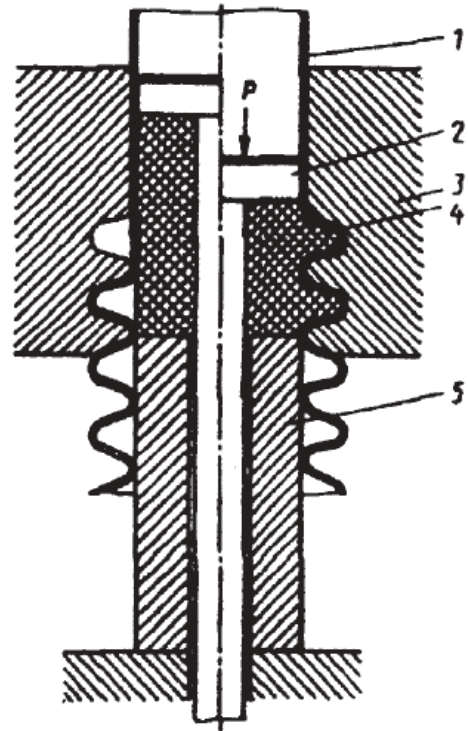


Рисунок 45 – Схема процесу формоутворення сільфона [3]:

- 1 – заготовка; 2 – ступінчастий пуансон; 3 – матриця;
- 4 – еластичний матеріал;
- 5 – контрольний пуансон

На авіаційних заводах застосовують схеми закінцівок численних трубопроводів, виробів з різних матеріалів.

На різного роду прес-гарматах тиск рідини, що знаходиться в порожнині заготовки, створюється високошвидкісним ударом бойка, що розганяється імпульсними енергоносіями. Прикладання заштовхуючої сили за допомогою торцевого продавлювання і регулювання тиску еластичного матеріалу дає можливість зменшити стоншення стінки заготовки, знизити розтягальні меридіональні й тангенціальні напруження, уникнути появи колових і поздовжніх тріщин і отримати радіус при вершині гофра 0,8...1,0 мм при загальному коефіцієнті формозміни (відношення максимального діаметра деталі по гофру до діаметра вихідної заготовки)  $K = 1,40...1,42$ .

Радіально-гофровані трубки (сільфони) також можна виготовляти формуванням еластичним матеріалом в рознімних матрицях шляхом подальшого формоутворення. Поперечний переріз сільфонів може бути круглим, квадратним, прямокутним, трикутним, багатограним. Матеріалом для сільфонів зазвичай є алюміній і алюмінієві сплави (типу АМц), берилієва бронза БрБ-2, БрБ-2,5, латунь Л63, низьковуглецева сталь 20, корозійно-стійка сталь 12Х18Н9Т та ін.

Вихідну заготовку отримують багатоперехідною витяжкою труб зі стоншенням стінки або зварюванням з попередньо підготовленої листової заготовки для великогабаритних сільфонів.

Заготовку 1 (рисунок 45) деформують в різних матрицях 3 за допомогою еластичного матеріалу 4, тиск на який передається від пуансона 2 поршневого типу і контрпуансона 5.

Заповнення кільцевої канавки і утворення гофра відбувається внаслідок переміщення вільної ділянки трубчастої заготовки на один крок і тангенціального розтягування ділянки кільця труби. Осьове переміщення вільної ділянки труби сприяє найменшому стоншенню на вершині гофра.

Після оформлення одного гофра матриці розмикають, заготовку переміщують на один крок і цикл повторюють. Для виключення утяжки вже відформованого гофра, забезпечення заданого кроку розташування гофрів попередньо відформований гофр вдруге деформують, здійснюючи його калібрування і фіксацію кроку.

Розширені схеми операції роздачі окреслюють коло можливостей цієї операції, але не вичерпують варіантів її використання в листовому штампуванні.

**Обтиснення** – операція призначена для зменшення поперечних

розмірів крайової частини порожнистої циліндричної заготовки. Деформування заготовки при обтисненні здійснюється одним робочим інструментом – матрицею. При обтисненні заготовка заштовхується в лійкоподібну робочу (рисунок 46) порожнину матриці, що приводить до зменшення поперечних розмірів. При цьому меридіональні напруження  $\sigma_\rho$  в осередку

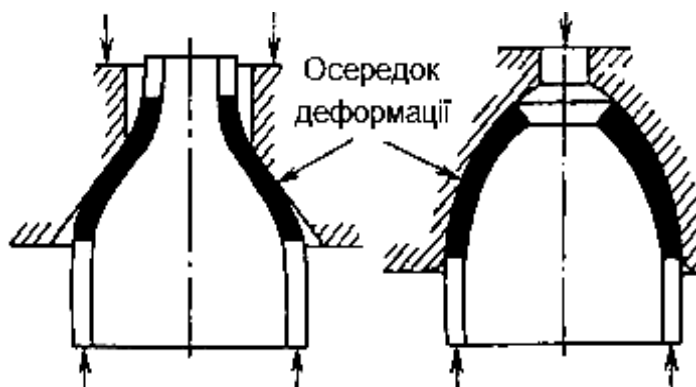


Рисунок 46 – Типові конфігурації деталей, які одержують обтиском [3]

деформації є стискальними. У той же час поперечні розміри кільцевих елементів заготовки зменшуються, що за наявності стискальних напружень  $\sigma_\rho$  є можливим лише тоді, коли тангенціальні напруження  $\sigma_\theta$  в осередку деформації також є стискальними. Внутрішня поверхня заготовки зазвичай вільна від напружень, а контактні нормальні напруження  $\sigma_K$ , які діють на зовнішній поверхні заготовки в осередку деформації і які можна визначити за рівнянням Лапласа [6] для порівняно тонкостінної заготовки, значно

менше напруження текучості  $\sigma_K = \delta \left( \frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} \right)$ .

Зі сказаного випливає, що схема напруженого стану в осередку деформації близька до схеми плоского напруженого стану. Так, біля крайньої частини заготовки напруження  $\sigma_{\rho}$  дорівнюють нулю і зростають до максимального значення на вході в матрицю. Можна вважати, що в осередку деформації мінімальним буде напруження  $\sigma_{\theta}$ , а максимальним – напруження, що діє перпендикулярно до серединної поверхні заготовки. Оскільки останнє напруження порівняно мале і схема напруженого стану близька до плоскої, то умовою переходу заготовки в пластичний стан можна визначити, використовуючи гіпотезу максимальних дотичних напружень, і рівняння пластичності записати у вигляді

$$\sigma_{\theta} = -\sigma_s.$$

Оскільки в осередку деформації діють тільки стискальні напруження, то пластичність металу в цих умовах досить велика.

Допустима формозміна заготовки при обтисненні зазвичай обмежується не руйнуванням заготовки, а можливістю втрати її стійкості в процесі деформування.

Одним з видів утрати стійкості заготовки при обтисненні є утворення поздовжніх складок в осередку деформації під дією стискальних напружень  $\sigma_{\theta}$ .

**Штампокладальні операції [3].** Операції листового штампування використовують не тільки для надання заготовці форми і розмірів деталі, заданої до виготовлення, але й для з'єднання окремих відштампованих деталей з утворенням зібраного складного виробу.

Для складання застосовують зазвичай формозмінювальні операції, характерні для листового і об'ємного штампування. Для забезпечення складання потрібна попередня підготовка елементів, що з'єднують конструкції.

На рисунку 47 наведено ескізи варіантів здійснення складальних операцій у листовому штампуванні. На рисунку 47, а показано варіант

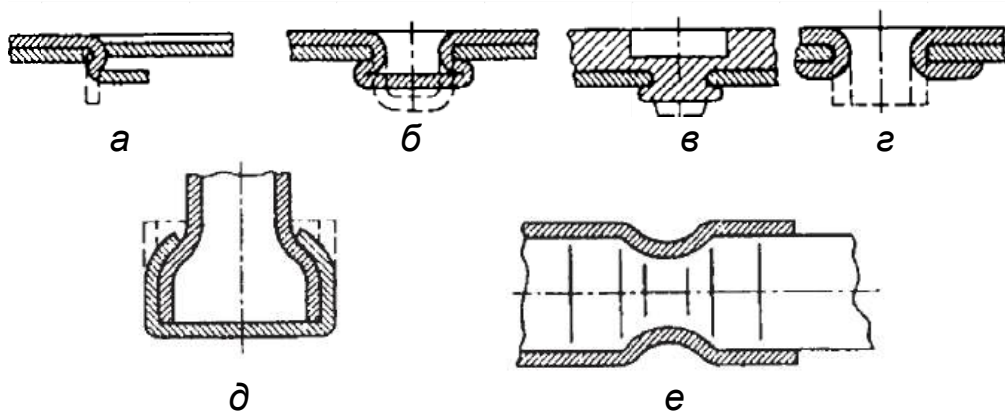


Рисунок 47 – Схеми складальних операцій

складання, що досить часто використовують з допомогою гнуття попередньо отриманого надрізанням язичка в одній деталі, розміщеного в отворі іншої деталі. Цей тип з'єднання не забезпечує досить високої жорсткості й міцності з'єднання і часто використовується при виготовленні металевих іграшок.

Більш міцне з'єднання забезпечується складанням за варіантами, показаним на рисунках 47, б і в.

За варіантом на рисунку 47, б в одній з деталей, що з'єднуються, формуванням отримують видавки, а в суміжній деталі виконують отвір. При складанні отримана формуванням видавка підсаджується і практично виходить пустотіла заклепка.

За варіантом на рисунку 47, в попередніми операціями є вирубка пуансоном по матриці з утворенням видавленого стрижня (без утворення тріщин) в одній деталі і пробивання отвору діаметром, що дорівнює діаметру стрижня в іншій деталі, яка з'єднується. Збирання здійснюється висадкою кінцевої ділянки стрижня, який виконує роль заклепки.

За варіантом на рисунку 47, г попередніми операціями є формування, пробивання, відбортовка в одній з деталей, що з'єднуються, і пробивання отвору діаметром, який дорівнює зовнішньому діаметру горловини в іншій з деталей, що з'єднуються. Збирання здійснюється роздачею крайньої частини отриманої горловини (борту).

За варіантом на рисунку 47, д складання здійснюється обтисканням крайової частини отриманого витяжкою стакана, а за варіантом рисунка 47, е – обтисненням (кільцевим формуванням) однієї з деталей, що з'єднуються, по кільцевій канавці, виготовленій в іншій з деталей, що з'єднуються.

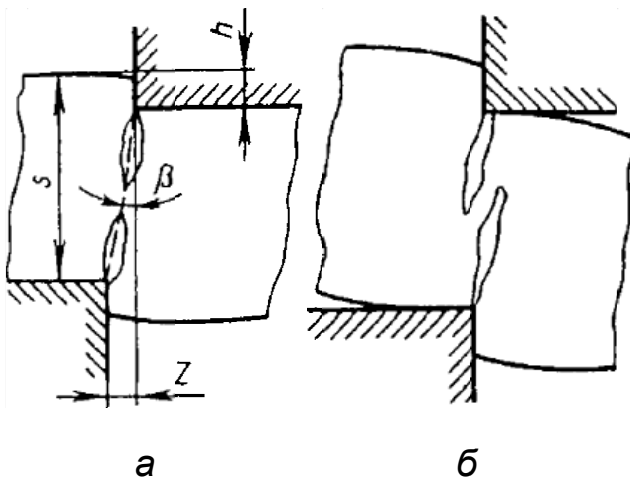
Операція кільцевого формування може здійснюватися обкаткою роликком, рухом розрізних плашок або дією імпульсного магнітного поля, яке створюється одновитковим індуктором. Наведені приклади з'єднання деталей листовим штампуванням не вичерпують наявних в практиці варіантів виконання складальних операцій.

Зауважимо, що при з'єднанні деталей, виготовлених з алюмінієвих сплавів, успішно застосовується холодне зварювання тиском, при якому шляхом локального стиснення деталей, що з'єднуються, пластична деформація приводить до руйнування оксидної плівки і дифузійного взаємопроникнення атомів деталей, що з'єднуються, через чисті ювенільні поверхні.

При виготовленні складаних вузлів кузова використовують штамп складального з'єднання, наприклад лицьових панелей з капотами, дверима, люками.

## Тема 2.5 Роздільні операції

**Механізм деформування в роздільних операціях.** Роздільні операції зазвичай здійснюють



внаслідок дії двох різальних кромки на протилежні поверхні заготовки (рисунок 48).

Через наявність зазору  $Z$  між різальними кромками сили, що прикладені до протилежних поверхонь заготовки, утворюють момент, який намагається повернути заготовку. Поворот заготовки призводить до того, що контактні напруження мають максимальну величину біля різальних кромки і різко зменшуються до нуля на межі контактної ділянки.

Рисунок 48 – Вигин шарів на початку деформування. Схеми розвитку тріщин:

- а – при нормальному зазорі;
- б – при малому зазорі

Концентрація напружень призводить до того, що осередок пластичних деформацій виникає біля різальних кромки, причому розміри осередку деформації збільшуються в міру зростання деформувального зусилля. У певний момент деформування осередки деформації, що поширюються від різальних кромки, об'єднуються, утворюючи єдиний осередок пластичних деформацій.

Подальше зближення різальних кромки призводить до того, що починається зсув (зрушення) однієї частини заготовки відносно іншої в напрямку відносного руху різальних кромки. На стадії зсуву шари металу, паралельні площинам заготовки, згинаються і подовжуються.

На ранній стадії зсуву різальні кромки проникають в заготовку і утворюють ділянки контакту заготовки з бічними поверхнями різального інструменту. Упор заготовки в бічні поверхні інструменту призводить до виникнення горизонтальних сил, які спричиняють стискальні контактні напруження, що згладжують поверхню при переміщенні різального інструменту відносно заготовки. Ті ж сили збільшують зазор між різальними кромками.

Типові графіки змінення зусилля за відстанню в роздільних операціях наведено на рисунку 49. З графіків видно, що на початкових стадіях деформування зусилля зростає повільно (зминання і утворення локальних осередків біля різальних кромки), а потім зусилля збільшується досить

швидко (утворення єдиного осередку деформації і початок зсуву однієї частини заготовки відносно іншої).

При певній глибині проникнення різальних кромek зусилля різко знижується для малопластичних металів або плавно змінюється для пластичних металів.

Однак і для пластичних металів у певний момент, коли тріщини поширюються від різальних кромek і завершують відділення частин заготовки, зусилля різко зменшується. Такий характер змінення зусилля за відстанню має місце при оптимальному зазорі і забезпечує злиття тріщин, що поширюються від різальних кромek.

При зазорі, меншому оптимального, коли тріщини не стикаються і утворюються пояски вторинного зрізу, зусилля знижується поступово, ривками, забезпечуючи зрізання перемичок, що залишаються між тріщинами. Таким чином, при зазорі, меншому оптимального, максимальне зусилля збільшується незначно, але істотно зростає робота деформування. Крім того, внаслідок заклинювання перемичок між тріщинами істотно зростають напруження, що діють на бічні поверхні різального інструменту, що призводить до їх підвищеного спрацювання.

Більш точні значення  $\sigma_{3P}$  (допустиме напруження на зріз), знайдені експериментально, наведено в довідниках [6].

При визначенні зусилля деформування з використанням експериментальних значень  $\sigma_{3P}$  доцільно враховувати, що дійсні значення товщини листового металу відрізняються від номінальних і допуск на товщину може становити 5...10 % її номінального значення. Крім того, у міру затуплення різальних кромek зусилля деформування дещо збільшується.

Вплив цих факторів на зусилля може бути враховано введенням коефіцієнта  $K = 1,1 \dots 1,2$ . У цьому випадку формула для визначення зусилля деформування набуває вигляду

$$P_{\max} = \sigma_{3P} F_{3P} K .$$

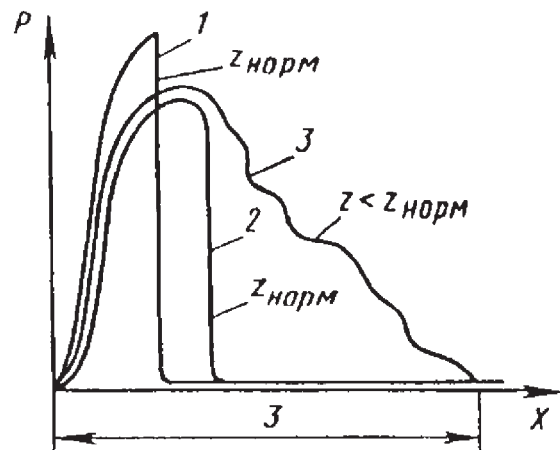


Рисунок 49 – Типові графіки змінення зусилля за відстанню в роздільних операціях [3]:

- 1 – малопластичний метал;
- 2 і 3 – пластичний метал

Робота деформування дорівнює площі під кривою  $P = f(x)$  і для роздільних операцій при нормальному зазорі може бути наближено визначена за допомогою коефіцієнта повноти діаграми

$$\lambda = \frac{F_D}{P_{max} h'}$$

де  $F_D$  – площа під кривою зміни зусилля за відстанню;  $h'$  – відстань до руйнування.

Значення коефіцієнта  $\lambda$  залежать від властивостей металу і при нормальному зазорі  $\lambda \cong 0,7 \dots 0,8$ .

Таким чином, роботу деформування при роздільних операціях приблизно можна визначити за формулою

$$A_D = \sigma_{3P} F_{3P} h K \lambda.$$

**Відрізування** – повне відділення частини листової заготовки по незамкнутому контуру шляхом зсуву, виконується на ножицях або в штампах. Для відрізування застосовують ножиці з поступальним або обертальним рухом ножів (різального інструменту).

Відрізування на ножицях з поступальним рухом ножів. При паралельних різальних кромках відділення частин заготовки відбувається одночасно по всій довжині. У цьому випадку зусилля різко зростає в міру проникнення різальних кромки, а також різко знижується до нуля при переміщеннях  $x = h$ .

Вібрація, що виникає при різкому зниженні зусилля, впливає на стійкість ножиць і призводить до швидкого розладження інструменту (зміна зазорів і т. п.).

Велику плавність змінення зусилля забезпечує похиле розташування різальних кромки ножів (рисунки 50, 51). У цьому випадку процес різання розосереджується по ходу ножа, а в будь-який момент різання площа зрізу є трикутник з кутом при вершині, який дорівнює куту між різальними кромками (ножиці з похилим розташуванням різальних кромки називають гільйотинними ножицями).

Якщо прийняти, що зусилля відрізання пропорційне площі, що

зрізається,  $F_{3P} = \frac{1}{2} \delta \frac{\delta}{\operatorname{tg} \alpha}$ , то наближена формула для визначення зусилля

відрізання набуде вигляду

$$P = \sigma_{3P} \frac{\delta^2}{2 \operatorname{tg} \alpha}.$$



З формули випливає, що зусилля відрізання ножами з нахиленим розташуванням різальних кромок зменшується зі збільшенням кута  $\alpha$ .

Зауважимо, що формула справедлива при

$$\frac{\delta}{\operatorname{tg}\alpha} < L,$$

де  $L$  – довжина смуги, що відрізається.

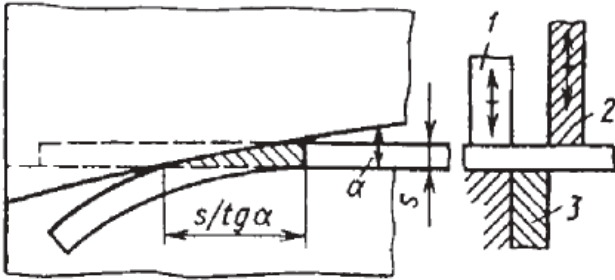


Рисунок 50 – Відрізання на гільйотинних ножицях [3]:  
1 – притискач; 2 – верхній ніж;  
3 – нижній ніж

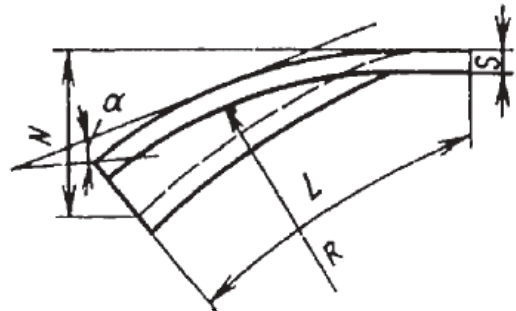


Рисунок 51 – Деформація смуги при відрізанні між нахиленими ножами [3]

Відрізання листового матеріалу на гільйотинних ножицях має ряд істотних переваг, але великим недоліком є неможливість (складність) різання по кривій лінії і декількох заготовок одночасно. Для відрізання в таких умовах використовують дискові або вібраційні ножиці.

Відрізання на ножицях з обертливим рухом різальних кромок. У цьому випадку ножами є диски, встановлені на осях, що отримують обертальний рух (рисунок 52). Якщо на ножицях з поступальним рухом різальних кромок довжина смуги, що відрізається, не може бути більше довжини ножів, то при відрізанні на ножицях з дисковими ножами довжина смуги, що відрізається, необмежена. Це є істотною перевагою ножиць з дисковими ножами.

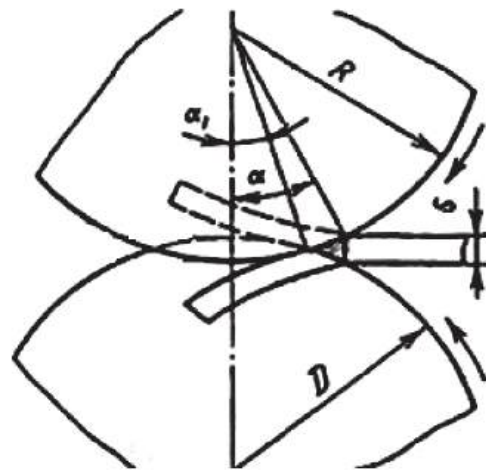


Рисунок 52 – Схема відрізання на дискових ножицях [3]

Щоб полегшити подачу заготовки при відрізанні на ножицях з дисковими ножами, беруть такі значення кута захоплення  $\alpha$ , при яких заготовку під дією сил тертя втягувало б між ножами (обертання забезпечує не тільки розрізання заготовки, але й її подачу).

Умова захоплення забезпечується при

$$\operatorname{tg} \alpha < \mu,$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя. Оскільки кут залежить від відношення діаметра ножа до товщини заготовки, то умову захоплення заготовки ножами можна подати в іншому вигляді:

$$\frac{D}{\delta} < \frac{1}{2\mu^2}.$$

Для поліпшення якості поверхні зрізу для дискових ножів іноді передбачають передній кут різання  $\beta = 1..2^\circ$ .

При відрізання тонколистового металу на дискових ножицях можна установити на осях декілька пар ножів і тоді лист одночасно можна розкрюювати на кілька смуг.

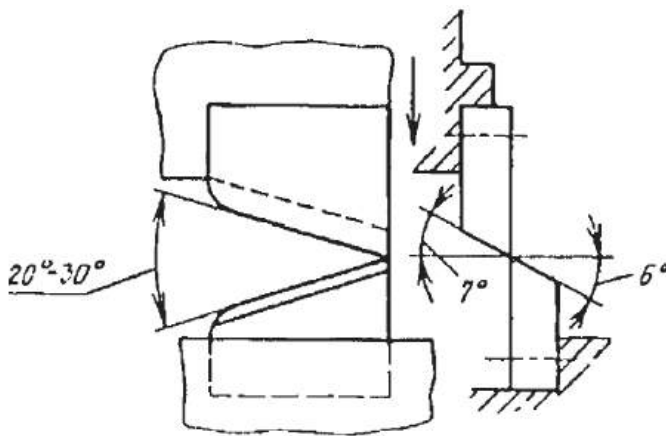


Рисунок 53 – Схема розташування ножів при відрізання на вібраційних ножицях

Прямолінійність лінії розрізу при відрізання на ножицях з дисковими ножами забезпечується наявністю напрямної, по якій подається заготовка, а також площею контакту заготовки з бічними площинами ножів. Для підвищення точності напрямку і забезпечення прямолінійності лінії відрізання слід збільшити площу зіткнення відокремлених частин заготовки з бічною площиною ножів.

Вібраційні ножиці з плоскими ножами (рисунок 53) являють собою невеликі гільйотинні ножиці з малим робочим ходом (2...3 мм) і великою кількістю ходів (1000–2500 ходів за хвилину). Кут створу ножів вібраційних ножиць більше кута тертя ( $\alpha = 24...30^\circ$ ), що потребує примусової подачі заготовки до ножів.

Великий кут створу і мале захоплення різальних кромки одна відносно одної визначають малу площу контакту поверхні зрізу з бічною поверхнею ножа, що полегшує поворот заготовки відносно ножів і дозволяє вирізати контури з малими радіусами кривизни (12...15 мм).

Швидке затуплення ножів і уривчастість процесу різання погіршують якість поверхні зрізу і найчастіше потребують обпилювання задирок.

**Вирубка і пробивка.** При вирубці отримують зовнішній контур деталі, при пробивці – отвір.

Якість одержуваних деталей (заготовок) при вирубці й пробивці визначається розмірною точністю зовнішніх і внутрішніх контурів (і їх

взаємним розташуванням), якістю поверхні зрізу, розміром торцевої задирки, величиною утяжок поблизу поверхні зрізу, а також спотвореннями заготовки внаслідок вигину (порушення площини вихідної плоскості заготовки) .

Вирубку і пробивку виконують пуансоном і матрицею.

Якість отриманих деталей залежить від ряду факторів, основними з яких є: розмір перемичок між суміжними поверхнею зрізу і краєм вихідної заготовки; величина зазору між різальними кромками і його рівномірність по периметру поверхні розділу; твердість різального інструменту і ступінь гостроти різальних кромок та інші чинники (конструкції штампа і робочого інструменту, мастильний матеріал, швидкість деформування та ін.), які будуть розглянуті при подальшому викладанні матеріалу.

**Перемички при розкрої матеріалу.** Оскільки відділення частини заготовки відбувається по замкнутому контуру, то поперечні сили, що виникають під час різання, можуть зрівноважуватися, не створюючи сил, що прагнуть спричинити поперечне зміщення пуансона відносно матриці, а отже, і змінення зазору між різальними кромками.

Однак це може мати місце лише у разі, якщо поперечні сили рівномірно розподілені по периметру поверхні зрізу. Як було зазначено раніше, поблизу поверхні зрізу виникає зона пластичних деформацій, що має певну протяжність. Отже, можна вважати, що тиск, який діє на бічну поверхню пуансона, буде однаковим, якщо відстань від поверхні зрізу до вільних поверхонь вихідної заготовки буде більше ширини зони пластичної деформації.

З цих міркувань випливає, що ширину перемички слід вибирати не менше товщини металу ( $K > \delta$ ).

Дуже істотним з позицій економного витрачання металу є оптимізація розкрою, тобто таке розташування контурів суміжних деталей, що вирубуються, при якому мінімізується відхід металу, який оцінюється коефіцієнтом використання металу

$$\eta = \frac{F_D}{F_3},$$

де  $F_D$  – площа вирубованої деталі;  $F_3$  – площа заготовки, що витрачається на одну деталь.

При однорядній вирубці зі смуги

$$\eta = \frac{F_D}{(AB)},$$

де  $A$  – крок подачі;  $B$  – ширина подачі.

При багаторазовій вирубці розрахунок виконують за відношенням площ. Деякі варіанти розташування деталей на смузі заготовки показано на рисунку 54.

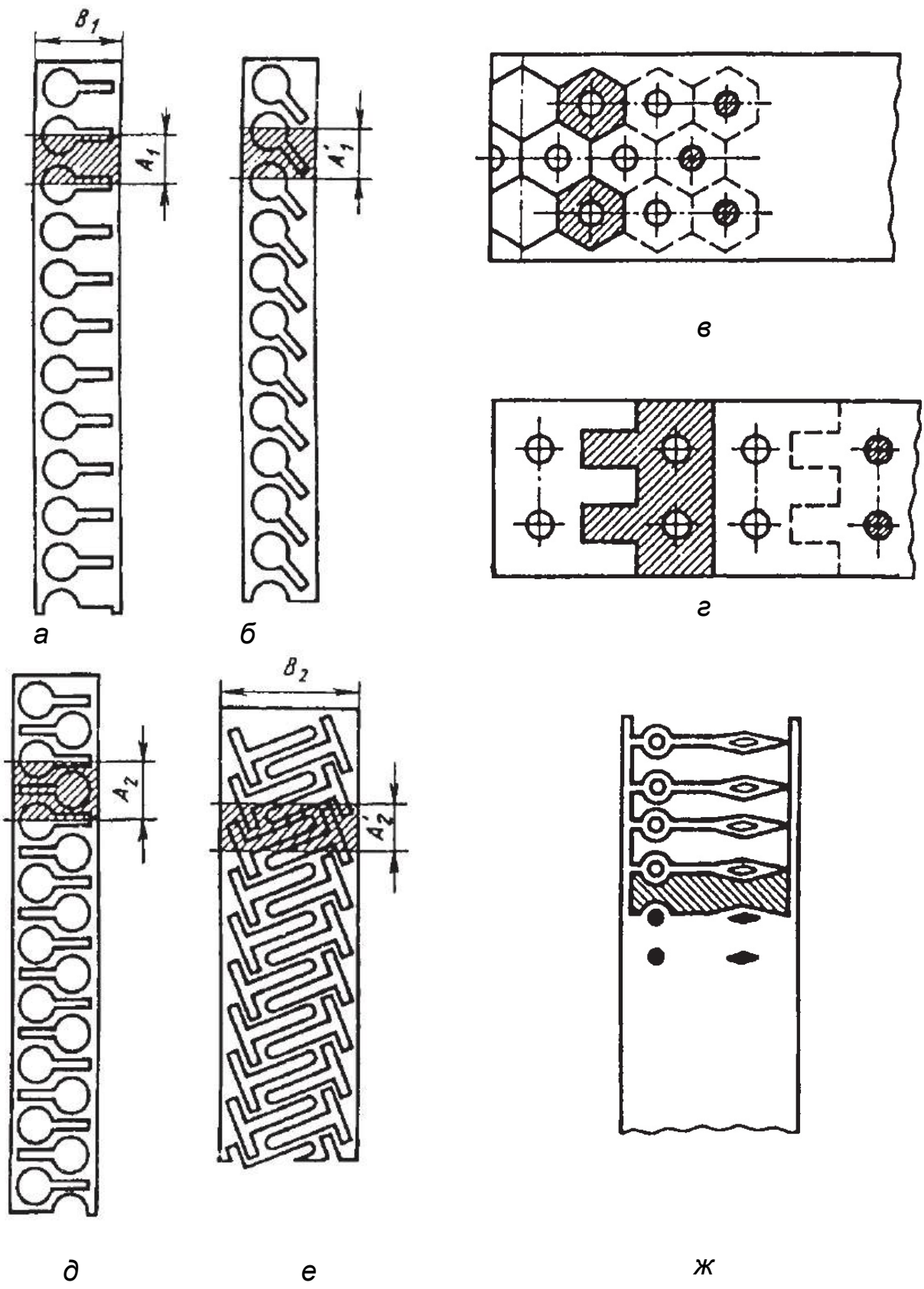


Рисунок 54 – Типові схеми розкрою [3]:  
 а – пряма; б – з нахилом; в – багаторядна; г – зустрічна;  
 д – зустрічна з нахилом; ж – послідовна

За схемами, подібними вирубці і пробивці, виконують операції зачищення (усунення задирок на поверхнях розрізу), надрізання, обрізування великогабаритних деталей.

### **Застосування еластичного інструменту в роздільних операціях.**

З використанням еластичного інструменту можна виконати роздільні операції в листових матеріалах з алюмінієвих сплавів, міді, латуні ( $\sigma_{\text{в}} < 250$  МПа) товщиною до 3 мм; алюмінієвих сплавів, латуні, бронзи, вуглецевих сталей ( $250 < \sigma_{\text{в}} < 500$  МПа) товщиною до 2,0...2,5 мм; корозійно-стійких сталей, титанових і магнієвих сплавів – до 1,5 мм.

Можливе використання і листових заготовок великої товщини (до 4...5 мм), однак при цьому різко знижується якість поверхні зрізу, особливо таких малопластичних матеріалів, як титанові, магнієві сплави і загартовані алюмінієві сплави марок Д16АТ, В95АТ та ін. Найменша товщина матеріалу не обмежена: з дуже тонкої алюмінієвої фольги товщиною 0,05...0,10 мм отримують деталі з високою якістю поверхні зрізу, без задирок і помітного спотворення.

Для роздільних операцій за-стосовують універсальний штамп (рисунок 55), який складається з контейнера 1, проміжної металевої шайби 2 товщиною 5...10 мм і поліуретанової подушки 3, запресованої в порожнину контейнера. Для вилучення подушки з контейнера в днищі контейнера передбачено отвір. Листову заготовку 4 встановлюють на вирізний шаблон 5, розміщений на підштамповій плиті 7, розташованій на столі преса. Для регулювання глибини отвору в шаблоні під пробивку застосовують змінний вкладиш 6.

Для збільшення терміну служби поліуретанової подушки бічний зазор між поверхнями контейнера і шаблону не має

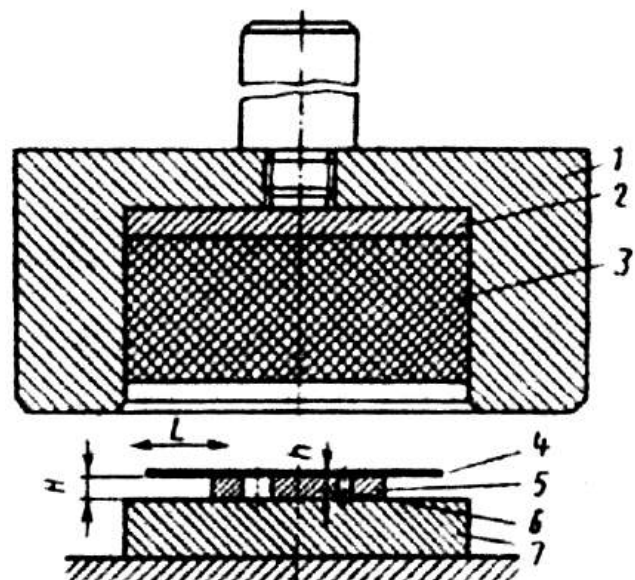
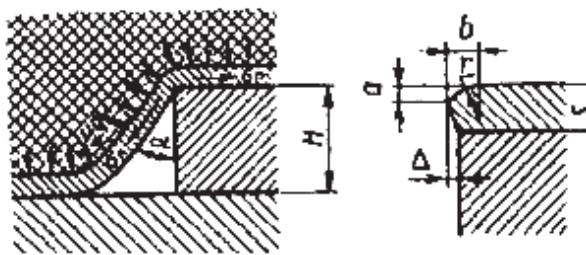


Рисунок 55 – Схема універсального штампа для роздільних операцій, що виконуються еластичним матеріалом [3]:

- 1 – контейнер; 2 – проміжна металева шайба;
- 3 – поліуретанова подушка;
- 4 – листова заготовка;
- 5 – вирізний шаблон;
- 6 – змінний вкладиш;
- 7 – підштампова плита

перевищувати 0,2...0,3 мм. Загальний термін служби еластичного інструменту при тиску 7...8 МПа становить 50 000–60 000 циклів навантаження. Оскільки еластичний інструмент в роздільних операціях замінює одну з робочих жорстких частин звичайного штампа – пуансон або матрицю, то розподіл матеріалу відбувається тільки на одній різальній кромці, що приводить до істотних змін в механізмі деформування. В операціях розділення жорстким інструментом (при відрізання, вирубуванні, пробиванні і т. п.) використовують дві різальні кромки інструменту, поблизу яких виникають локальні осередки пластичної деформації. У міру переміщення інструменту пластична деформація охоплює всю товщину матеріалу заготовки, починається зсув частин заготовки, зароджуються тріщини сколювання, які поширюються назустріч одна одній, стикаються при оптимальному технологічному зазорі і на цьому розподілення закінчується.

При використанні еластичного інструменту різальна кромка жорсткого інструменту проникає в тіло заготовки; поблизу різальної кромки в тілі заготовки виникає осередок пластичної деформації. Однак цей осередок деформації локалізований, він не поширюється на всю товщину заготовки.



а б  
Рисунок 56 – Розподіл листового матеріалу еластичним інструментом [3]:  
а – схема розподілу; б – поверхня заготовки

Під дією тиску еластичного матеріалу (гуми або поліуретану) частина заготовки прогинається, виникає згинальний момент, розтягальна сила і контактні дотичні напруження (рисунок 56, а), які призводять до появи розтягальних меридіональних напружень  $\sigma_p$ , що діють уздовж листа. Зменшення поперечного перерізу заготовки, спричинене його стоншенням через занурення різальної кромки,

призводить до збільшення розтягувального напруження. При напруженні, що перевищує напруження текучості і відповідає утворенню локальної шийки, відбувається обрив заготовки.

Поверхня зрізу буде нерівною, мати утяжки і відколки (рисунок 56, б). Контур поверхні розподілу характеризується такими залежностями.

Для пластичних матеріалів

$$a = (0,5 \dots 0,7)\delta; b = (0,75 \dots 1,15)\delta; r = \delta; \Delta = (0,07 \dots 0,12)\delta.$$

Для малопластичних матеріалів

$$a=(0,25..0,45)\delta; b=(0,35..0,65)\delta; r = 0,5\delta; \Delta=(0,05..0,10)\delta.$$

За даними Н. Ф. Баранова механізм розподілу при вирубці й пробивці малопластичних і пластичних матеріалів еластичним інструментом різний.

При вирубці малопластичних і міцних матеріалів (МА8, Д16Т, В95Т, ОТ4 та ін.) занурення різальної кромки у товщину заготовки незначне. Тому можна припустити, що утворення тріщин у цьому випадку почнеться не на різальній кромці, а в зовнішніх шарах заготовки, протилежних різальній кромці, де матимуть місце найбільші поздовжні деформації від дії згинального моменту. Тріщина, що зароджується, поширюється на всю товщину заготовки – розподіл матеріалу закінчується.

Розтягальна сила, що діє уздовж площини листа, збільшує меридіональне напруження і швидкість поширення тріщини.

Для зменшення технологічних припусків і підвищення якості поверхні зрізу в ряді випадків затискають край заготовки спеціальними прийомами.

За даними В. Д. Комарова висоту шаблона  $H$  слід визначати за такою залежністю:

$$H = 3(1 + \delta_p)\sqrt{\delta},$$

де  $\delta_p$  – відносне рівномірне подовження матеріалу заготовки;  $\delta$  – товщина заготовки.

Величину припуску визначають за формулою

$$L = \left(1,4 + \frac{1}{\mu}\right)H,$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя між заготовкою і штампувальною плитою.

Наближено тиск, необхідний для обрізання, можна оцінити так:

$$q = \frac{\delta \cos \alpha}{\mu H} \sigma_s,$$

де  $\alpha$  – кут між припуском і вертикальною стінкою шаблона;  $\sigma_s$  – напруження текучості.

Кут  $\alpha$  для непластичних матеріалів становить 70...80°, для пластичних – 40 ... 50°, коефіцієнт тертя  $\mu = 0,1...0,4$ .

Зусилля преса, необхідне для обрізання:

$$P = kqF,$$

де  $k = 1,2... 1,3$ ;  $F$  – площа контакту еластичної пластини і заготовки (деталі) з урахуванням припуску.

При пробиванні отворів еластичним середовищем можна одночасно проводити відбортовку отворів.

## ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 3

### Тема 3.1 Типи і схеми обладнання, що використовують у виробництві автокузовних панелей

Для штампування кузовних деталей автомобілів використовуються різні схеми штампування і різне обладнання. Воно відрізняється типом силового приводу робочого органу, фізичною моделлю робочого органу, технологічними можливостями та іншими параметрами, що суттєво впливають на функціонування всієї технологічної системи виробництва кузовів автомобілів.

Найбільш широко застосовують такі два типи листоштампувальних пресів: механічні (кривошипні й гвинтові) і гідравлічні. Рідше, у певних умовах виробництва, використовують падаючі молоти, обтяжні преси, профілювальні, профілезгинальні та інші верстати.

До кривошипних пресів належать ковальсько-пресові машини, що працюють від електроприводу, а в механізмі пресів є кривошипний механізм і з'єднаний з ним робочий орган (повзун) із закріпленням на ньому інструментом.

Традиційно назва «кривошипний прес» не залежить ні від виду кінематичного ланцюга, що з'єднує кривошип з повзуном, ні від конструктивного виконання вала, що несе кривошип.

Повзун, що виконує основну операцію технологічного процесу, називають головним повзуном, а механізм, що містить головний повзун, кривошип і кінематичний ланцюг, що з'єднує їх, – головним виконавчим механізмом (ГВМ).

Найбільш поширені схеми ГВМ кривошипних пресів подано на рисунку 57.

Принципова схема ГВМ кривошипного преса визначається особливостями технологічної операції, що виконується на пресі.

На рисунку 57, а наведено схему аксіального кривошипно-повзунного механізму, за якою виконано ГВМ універсальних листоштампувальних пресів, витяжних пресів подвійної і

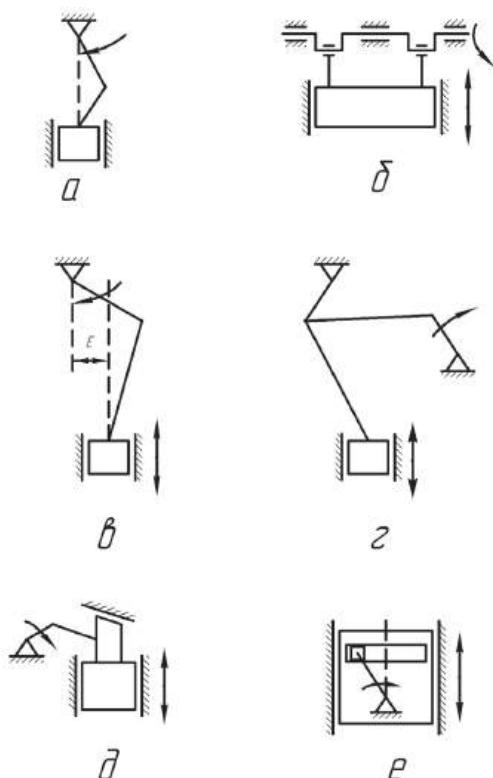


Рисунок 57 – Схеми головних виконавчих механізмів кривошипних пресів [9]

потрійної дії, обрізних пресів. Для оброблення великогабаритних заготовок



використовують двокривошипні преси (рисунок 57, б), а також чотирикривошипні. Для кривошипних гарячештампувальних пресів (КГШП), горизонтально-кувальних машин (ГКМ), більшості модифікацій холодновисаджувальних автоматів як горизонтально-висаджувальні машини (ГВМ) застосовують дезаксіальний кривошипно-повзунковий механізм (рисунок 57, в). Технологічні процеси у цьому випадку є багатоперехідними, зусилля від опору деформуванню збігаються з лінією руху осі шарніра з повзуном. Щоб уникнути перекосу повзуна, ГВМ виконують вертикальним, а повзун має подовжену форму і забезпечений дезаксіальними напрямними (на рисунку 57 не показано). Схеми реалізовані в ГВМ важких КГШП, ГКМ і холодновисаджувальних домкратів.

Графік переміщення повзуна являє собою синусоїду або близьку до неї гармонійну криву. Величину робочого ходу повзуна визначають залежно від положення повзуна, який відповідає початку і закінченню процесу штампування:

$$S_p = S_n - S_k,$$

де  $S_n$  та  $S_k$  – відстані до нижнього і крайнього положень повзуна на початку і в кінці заготовки.

Кривошипні преси належать до машин статичної дії. Зусилля, що виникають при деформації заготовки, замикаються (компенсуються) в станині. Динамічні навантаження, що виникають у вузлах преса, значно нижче навантажень, спричинених подоланням опору деформації заготовки. Крім того, кривошипні преси належать до машин з нерівномірним ходом. Час робочого ходу кривошипного преса набагато менше часу технологічного циклу. Тому, щоб отримати компактний електродвигун, розрахований за середньою потужністю на технологічний цикл, у привід преса встановлюють маховик і, якщо розглянути рівняння руху приводу

$$M - M_0 = J \frac{dw}{dt},$$

де  $M$  – момент на валу електродвигуна;  $M_0$  – момент опору деформуванню;  $J$  – зведений до вала електродвигуна момент інерції приводу преса;  $\frac{dw}{dt}$  – кутові прискорення вала електродвигуна, то виявиться, що під час робочого ходу момент опору  $M_0$  в десятки разів перевищує момент, що розвивається електродвигуном.

Подолання опору робочого ходу здійснюється внаслідок динамічного моменту гальмування маховика, момент інерції якого становить 90...95 % від наведеного моменту інерції приводу:  $M > M_0$ . Відбувається підвищення

кутової швидкості маховика  $\frac{dw}{dt} > 0$  і відновлення втраченої за робочий хід кінематичної енергії маховика. Тому всі кривошипні преси оснащуються великими маховиками.

Класифікація кривошипних пресів. Найбільш поширеною є класифікація пресів за технологічним призначенням з урахуванням їх спеціалізації та виду виконуваних робіт. Слід зазначити, що кривошипні преси використовуються на переважній більшості операцій холодного і гарячого штампування.

За технологічним призначенням преси поділяють на такі групи:

- |                                     |                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Преси для листового штампування. | 7. Кривошипні гарячештампвальні.  |
| 2. Універсальні.                    | 8. Обрізні.                       |
| 3. Листозгинальні.                  | 9. Холодновисаджувальні.          |
| 4. Витяжні.                         | 10. Дротоцвяхові.                 |
| 5. Автомати (різного призначення).  | 11. Для пресування порошків.      |
| 6. Преси об'ємного штампування.     | 12. Ножиці (різного призначення). |

За характером впливу на заготовку преси поділяють на преси простої, подвійної та потрійної дії.

Преси простої дії мають один робочий повзун і здійснюють одноразову дію на заготовку. Останнім часом ці преси забезпечуються додатковими пристроями для автоматичної подачі, притиснення листа, виштовхування виробів, але вони можуть працювати і без них, тому за ними зберігається характеристика пресів простої дії.

За конструктивним виконанням станин кривошипні преси поділяють на відкриті й закриті. У відкритих пресах доступ до робочого простору відкритий з трьох боків, у закритих – з двох.

Відкриті преси мають С-подібну станину, що може призводити до втрати паралельності нижньої поверхні повзуна і опорної поверхні столу під навантаженням і, як наслідок, до ускладнення конструкції штампів – застосування плаваючих хвостовиків і напрямних стовпчиків. Вони також мають знижену порівняно з закритими пресами технологічну жорсткість. Відкриті преси виготовляють з номінальним зусиллям до 2,5 МН.

Залежно від розташування лінії переміщення головного повзуна преси поділяють на вертикальні, горизонтальні і такі, що нахиляються.

Залежно від конструктивного виконання основних вузлів і деталей кривошипні преси бувають:

- з відкритим і закритим приводом;
- з верхнім і нижнім приводом;
- одно- і багатокривошипні.

Параметри кривошипних пресів. Всі основні параметри ковальсько-штампувальних машин підрозділяють на розмірні, лінійні, швидкісні, енергетичні та масові.

Головним розмірним параметром кривошипного преса є номінальне зусилля, що розвивається повзуном головного виконавчого механізму.

Головні розмірні параметри є основою при складанні стандартів, нормалей на розмірні ряди кривошипних пресів відповідного технологічного призначення.

Лінійні параметри визначають технологічні можливості машини, габарити штампового простору, умови взаємозамінності інструменту, умови точності штампування, габарити окремих вузлів і машини в цілому.

Основним швидкісним параметром кривошипного преса є кількість подвійних ходів повзуна у хвилину.

Для витяжних пресів швидкість робочого ходу обмежена величиною 0,35 м/с. Для гарячого штампування швидкість має бути як можна більше для зменшення часу контакту нагрітої заготовки зі штампом.

Енергетичні параметри преса визначають можливості приводу преса. Це такі, як потужність приводу, ККД технологічного циклу і робочого ходу та максимально допустима робота пластичної деформації.

Детальні відомості про листоштампувальне обладнання викладено в посібнику [1].

**Механічні та гідравлічні преси.** Масовим параметром цих пресів є маса преса в цілому або маса складальної одиниці. Вона визначає умови транспортування і монтажу.

За способом впливу на метал, що штампується, привідні, механічні та гідравлічні преси поділяють на преси простої, подвійної і потрійної дії. На пресах першого типу в основному виконують формування, згинання і відбортовку, рідше обтягання, а на двох інших типах – витяжку з листових заготовок або складну витяжку в комбінації з формуванням в іншому напрямку. Типові схеми штампового оснащення, що застосовується для цих пресів, показано на рисунку 58.

Преси простої дії мають один рухомий повзун, призначений для формоутворення однієї (основної) порожнини деталі з плоскої або попередньо зігнутої заготовки. У деяких випадках для виконання простої витяжки на них застосовують спеціальні буфери (пружинні або гумові) для створення притиску на фланцевих частинах заготовки. Для отримання деталей з порожнинами складної форми і за відсутності на конкретному підприємстві пресів інших типів процес формоутворення деталі доводиться поділяти на кілька переходів з проміжним кантуванням деталі і використанням декількох штампів. Преси подвійної дії мають два незалежно рухомих повзуни і застосовуються для витяжних робіт (рисунок 58, б, в). Преси потрійної дії мають два верхніх і один нижній повзун, що здійснює витяжку у зворотному напрямку або два повзуни і

стіл, що рухається їм назустріч. Такі преси застосовують для складної глибокої витяжки деталей автомобільних кузовів.

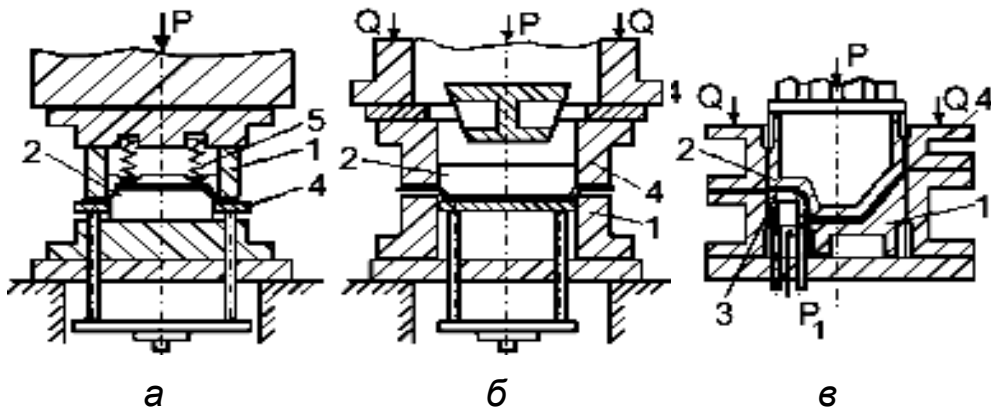


Рисунок 58 – Схеми штампів до пресів різного типу [3]:

а – простої дії; б – подвійної дії; в – потрійної дії;

1 – матриця; 2 – пуансон основний; 3 – пуансон додатковий; 4 – притискач;

5 – пружини буфера; P – основне зусилля; Q – зусилля притиску;

P<sub>1</sub> – додаткове зусилля

За місцем застосування навантаження повзуна розрізняють одно-, дво- і чотирикривошипні преси. Із збільшенням кількості місць прикладання зусиль зменшується ймовірність перекосу робочих органів преса, тобто збільшується точність одержуваних деталей і зменшується ймовірність поломки чи швидкого зносу оснастки. Природно, що зі збільшенням кількості ходів кривошипів та інших допоміжних пристроїв збільшуються вартість і металоємність обладнання, але підвищуються продуктивність, якість виготовлених деталей, надійність функціонування всієї технологічної системи виробництва кузовів. При виготовленні великої номенклатури листоштампувальних деталей кузовів автобусів та інших автотранспортних засобів листоштампувальні преси повинні мати досить великий робочий простір між траверсою і робочим столом, необхідний при виробництві деталей кузовної номенклатури складної форми, і велику закриту висоту для забезпечення глибокої витяжки. Технічні характеристики кривошипних пресів, які використовуються в листоштампувальному кузовному виробництві, наведено в [1]. До них не включено, зокрема, пресове обладнання серійного виробництва Волзького автозаводу, оскільки воно є спеціалізованим для масового виробництва легкових і вантажних автомобілів (виробляється фірмою Hitachi).

У результаті аналізу питомих показників встановлено, що для кривошипних пресів різних конструкцій і схем:

– питоме енергоспоживання знаходиться в межах 11,2...59,0 кДж/м<sup>2</sup>, а середнє – 25,7 кДж/м<sup>2</sup>. Зі збільшенням номінального зусилля і розмірів робочого столу цей показник зменшується, що свідчить про більшу ефективність використання великих пресів при відповідній номенклатурі деталей;

– питома металоємність пресів змінюється в межах 19...61 т/м<sup>2</sup>, а середня – 39,7 т/м<sup>2</sup>. У цьому випадку питомий показник також зменшується зі збільшенням номінального зусилля і площі столу залежно від типу преса;

– питома трудомісткість виготовлення деталі змінюється в межах 4...31 с/м<sup>2</sup>, а середня – 10,4...13,0 с/м<sup>2</sup>. Зі зростанням габаритних розмірів штампованих деталей і їх ускладненням за формою (наявність витяжки і необхідність застосування пресів подвійної дії) питома трудомісткість збільшується, що цілком природно.

При штампуванні на кривошипних пресах найчастіше використовують оснащення, що складається з жорстких частин – матриці і пуансона. Особливості конструкції кривошипних пресів і такого оснащення приводять до необхідності трудомісткого налаштування ходу повзуна преса під конкретну оснастку, а це при частій зміні штампованих деталей призводить до значного збільшення допоміжного часу і зниження продуктивності процесу, гнучкості виробництва, а також потребує використання кваліфікованих слюсарів-настроювачів. Неналежна точність налаштування може призвести до поломки преса або дорогої оснастки. Зміна товщини штампованого металу неприпустима. Це є істотними недоліками кривошипних пресів, що особливо виявляються в індивідуальному, дрібносерійному і серійному виробництвах.

При штампуванні автокузовних панелей використовують два типи гідравлічних пресів:

– колонного типу із застосуванням великого гідравлічного циліндра, що працює під високим (до 60 МПа) тиском робочої рідини. У пресах такого типу використовується штампове оснащення, що містить пуансон і матрицю;

– типу Quintus, оснащений еластичними діафрагмами великого діаметра, між якими подається робоча рідина під тиском до 200 МПа. На заготовку впливає стінка діафрагми через відповідні еластичні прокладки.

Деякі технічні показники гідравлічних пресів, що використовуються в листоштампувальному виробництві, наведено в [1]. Зіставлення їх питомих показників з аналогічними показниками кривошипних пресів показує, що:

– питома енергоспоживання у них приблизно однакове;

– металоємність гідравлічних пресів менше через можливість передачі енергії робочою рідиною високого тиску;

– збільшується значення питомої трудомісткості гідравлічних пресів, обумовлене відносно повільним переміщенням траверси на робочому і холостому ходах.

При заміні штампового оснащення на гідравлічних пресах не потрібно такого точного налаштування оснащення, як на кривошипних пресах, що є серйозною перевагою перших.

**Листове штампування великогабаритних деталей на гідравлічних пресах з використанням еластичних середовищ.** Силова

схема більшості гідравлічних пресів (рисунок 59) дозволяє реалізовувати великі зусилля на меншій площі виробничих приміщень. Сили, що виникають в пресах під час штампування, замикаються в системі силових вузлів і не передаються на фундаменти. На рисунку 59 показано силовий потік, що проходить через конструкцію преса із зчленованою рамою, яка складається з верхньої траверси (архітрава) 4, колон 5 і нижньої траверси (підставки) 14. Тиск рідини передається через силовий циліндр 1 і плунжер 2, який передає зусилля через рухливу траверсу 6, перехідну плиту 7 і пуансон 8 на заготовку 9, що штампується. Заготовка, яка сприймає зусилля преса, штампується в матриці 11, яка, у свою чергу, сприймаючи зусилля штампування, передає його через підкладну плиту 13 на нижню траверсу 14. Остання жорстко з'єднана з верхньою траверсою, через стяжні колони 5 і гайки 3 і 15 передає зусилля на силовий циліндр 1. Така жорстка схема конструкції дозволяє виконувати операції калібрування деталей, забезпечуючи їм підвищену точність.

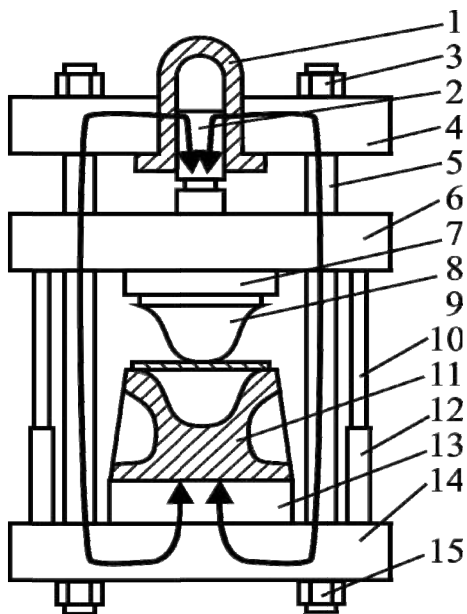


Рисунок 59 – Схема силового потоку (жирна лінія з потовщеними стрілками)

у зчленованій рамі гідравлічного преса [20]:

- 1 – головний циліндр; 2 – головний плунжер;
- 3 – верхня гайка; 4 – архітрав;
- 5 – колона преса; 6 – траверса;
- 7 – перехідна плита; 8 – пуансон штампа;
- 9 – заготовка; 10 – плунжер підйому траверси;
- 11 – матриця; 12 – циліндр підйому траверси;
- 13 – нижня плита; 14 – підставка преса;
- 15 – нижня гайка

Стійкість і якість пресів значною мірою залежать від жорсткості їх силової схеми. Для цього всі траверси виконують великої товщини і коробчастої форми. Колонки мають великий діаметр і траверси з'єднуються 2–6 колонками. Така конструкція має велику металоємність і це є істотним недоліком механічних і гідравлічних пресів.

Однак використання кривошипних (рисунок 60) і гідравлічних пресів з оснащенням, що складається з двох формоутворювальних елементів (пуансона і матриці) для штампування кузовних листових деталей, обмежується тільки умовами великосерійного і масового виробництва. При дрібносерійному виробництві тривалість і вартість технологічної підготовки такого виробництва приводять до необхідності застосування більш гнучких схем штампування та відповідного обладнання.



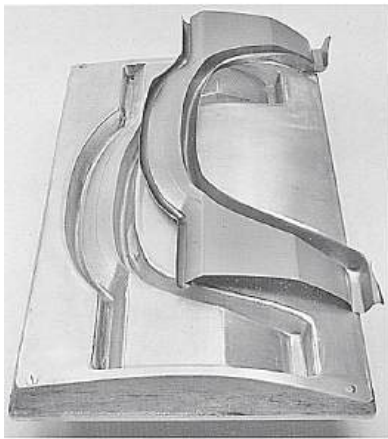
Рисунок 60 – Лінія механічних пресів для багатоперехідного послідовного штампування великогабаритних автокузовних панелей у великосерійному виробництві [19]

У західноєвропейській автомобільній промисловості для штампування листових деталей широко використовуються гідрпреси, в яких реалізовано схеми штампування еластичним середовищем і рідиною високого тиску, а також комбіновані схеми (пуансон або витяжне матричне кільце з еластичним середовищем) та інші комбінації. Такі схеми мають підвищену технологічну гнучкість і низку інших якостей, що відповідають вимогам автомобільного виробництва.

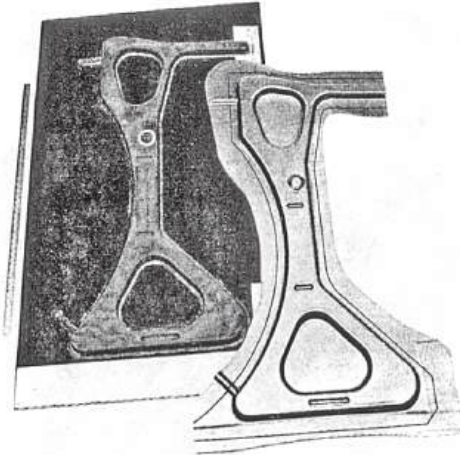
Зовнішній вигляд одного з пресів типу Quintus зображено на рисунку 61, а, де видно дві допоміжні позиції (зліва на передньому плані і справа на задньому плані), на яких проводяться операції знімання відштамповок з оснащення (зліва) і установлення заготовок (праворуч). На пресі виготовляють великогабаритні деталі, знімання яких з оснащення проводиться двома робітниками.



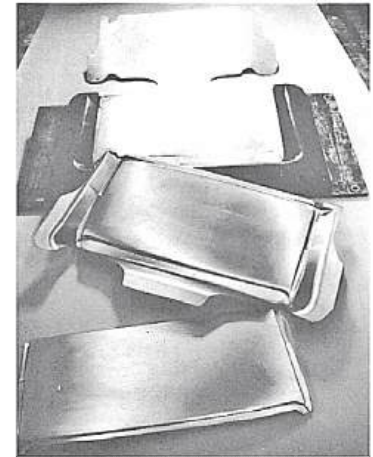
а



б



в



г

Риунок 61 – Прес типу Quintus (робочий тиск – 140 МПа, розмір робочого столу – 1600x3400 мм) і деякі відштамповані деталі авто- кузовів [10–12]:

а – зовнішній вигляд; б – крило; в – стояк; г – панель

Робочі столи, що знаходяться на допоміжних позиціях, по черзі подаються в робочу зону преса для деформування заготовок.

Відштамповки акуратно укладаються на спеціальні столи і тим самим зменшується їх пошкодження після штампування.

На станину, піддон та інші елементи таких пресів діють дуже великі сили (близько сотень тисяч тонн). Тому силові деталі пресів виготовляють з міцної сталі і підсилюють намотаним високоміцним дротом або стрічкою, що забезпечує їх більшу жорсткість і призводить до високої вартості. Конструкція робочої зони пресів обмежує можливу глибину технологічної оснастки в межах



200...360 мм (рідше більше), що не дозволяє штампувати на них глибокі деталі або деталі з попередньо вигнутих заготовок. Значення питомих показників енергоспоживання і металоємності в 2–3 рази вище порівняно з процесами штампування на гідропресах двоелементного контурного оснащення, а також вище питома трудомісткість штампування. Останнє може бути пояснено різними умовами урахування трудомісткості на вітчизняних та європейських підприємствах. Збільшені значення перших двох показників пояснюються тим, що при штампуванні на пресах типу Quintus деформувальний тиск прикладається до всієї поверхні оснащення із заготовкою, у тому числі й там, де прикладання навантаження не потрібне. Відсутність управління навантаженням по площі заготовки є істотним недоліком пресів цього типу.

Лицьові деталі кузовів автомобілів (рисунок 61, б і в) штампують за схемою «на пуансон» для отримання чітких опуклих малих радіусів сполучення і створення натягу в заготовці для отримання гладких опуклих поверхонь. При цьому збільшуються розміри технологічних відходів. Для штампування слабовигнутих панелей жорсткості (рисунок 61, г) використовують спрощену оснастку у вигляді плоского шаблона, що встановлюється на допоміжній плиті. Для точної орієнтації заготовок застосовують утоплювані установчі штифти, що розташовуються в зоні технологічних відходів. Для натягання матеріалу заготовок широко використовують гальмівні канавки або виступи.

На літакобудівних та автомобілебудівних заводах для штампування великогабаритних листових деталей застосовують ЕГ-преси. У Харківському авіаційному інституті (нині Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ») створено унікальний за енергією, що накопичується, і можливостями управління навантаженням ЕГ-прес ПЕГ-ХАІ-500 (рисунок 62, докладно див. у роботі [6]).

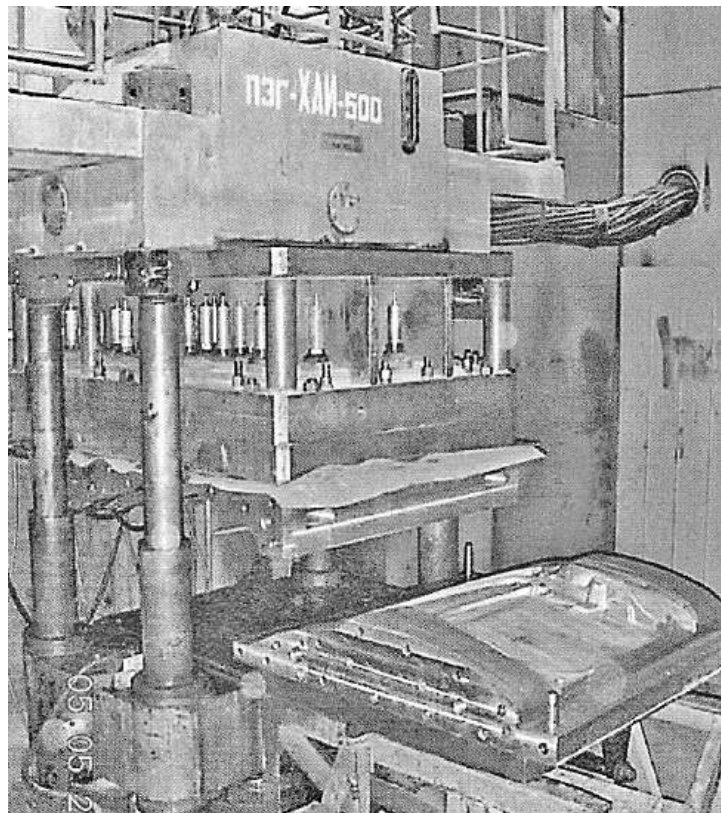


Рисунок 62 – Вид на стенд ПЕГ-ХАІ-500

### Тема 3.2 Типи і схеми обладнання, що використовують у виробництві автокузовних панелей

Конструкція штампової оснастки є дуже важливим елементом технологічної системи штампування листових деталей. Вона багато в чому визначає собівартість деталі, трудовитрати на виготовлення деталі і самої технологічної оснастки, а також якості деталі.

Вартість технологічного оснащення є однією зі складових її якості. Сама стійкість визначається правильним вибором матеріалу, основних елементів оснащення, конструкцією напрямних елементів і їх взаємною ув'язкою.

**Типова конструкція штампа.** Штампи для листового штампування мають найрізноманітніші конструкції, вони відрізняються за способом дії, кількістю виконуваних на них операцій, компонованням деталей, габаритами. Проте можна уявити типову конструкцію штампа, яка містить окремі групи деталей, характерні, як правило, для всіх штампів.

Як типовий штамп розглянемо штамп для вирубки (рисунок 63). Він містить такі основні групи деталей:

- I. Робочі інструменти – пуансон 1 і матриця 2.
- II. Елементи кріплення робочих інструментів – пуансонотримач 3 і матрицетримач 4.
- III. Базові деталі – верхня 5 і нижня 6 плити.
- IV. Елементи спрямування базових деталей штампа – напрямні колонки 7 і напрямні втулки 8.

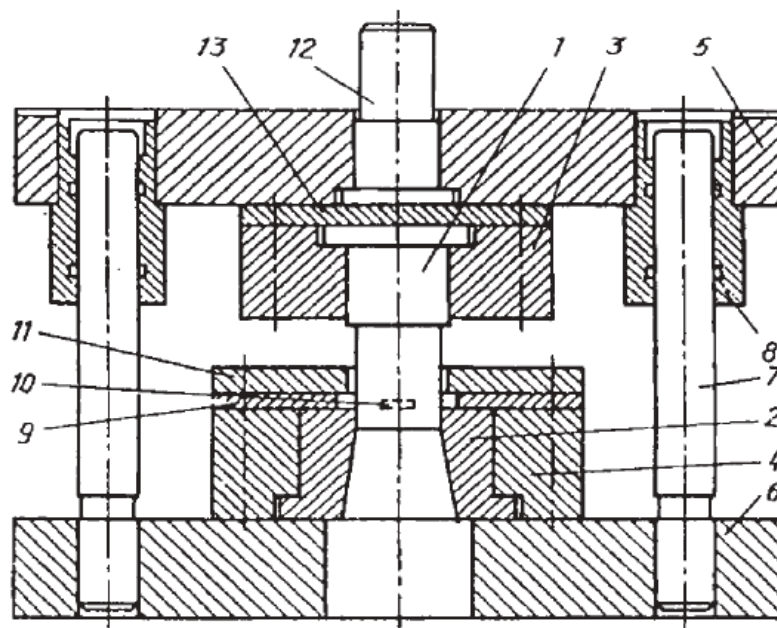


Рисунок 63 – Типова конструкція штампа [3]

V. Елементи спрямування вихідної заготовки – напрямні лінійки 9.

VI. Елементи фіксації вихідної заготовки – упор 10.

VII. Елементи видалення деталей і відходів – знімач 11.

VIII. Приєднувальні деталі – хвостовик 12, прокладка 13 із загартованої сталі.

Варіантів конкретного виконання основних елементів штампів досить багато. Вони подані в різного роду атласах, довідниках, виробничих інструкціях і технічних рекомендаціях.

Різні виробництва використовують типові конструкції, пристосовуючи їх до своїх умов, наявного обладнання та інших особливостей.

**Штапування та оснащення для виконання операцій листового штапування автобусних панелей.** Усі штампи і застосовувану оснастку для штапування автокузовних панелей умовно можна розділити на дві великі групи:

– штампи для формоутворення автокузовних панелей у багатосерійному і масовому виробництвах при використанні їх на механічних (кривошипних) пресах. У штаповому комплекті, зазвичай, застосовують штампи для декількох переходів (попередній, формоутворювальний і калібрувальний);

– штампи для використання в серійному і дрібносерійному виробництвах, на гідравлічних пресах (різної конструкції) із застосуванням еластичних середовищ і рідини високого тиску.

Штампи першої групи найбільш складні за конструкцією, в них використовують матеріали, що важко піддаються обробці. Тривалість їх виготовлення велика (може досягати декількох місяців). Для їх виготовлення використовують складне, можна сказати, унікальне обладнання. Для скорочення вартості і трудомісткості штапового оснащення на ряді автомобільних виробництв використовують інший підхід – застосування легкооброблюваних матеріалів, які обумовлюють різке зниження термінів і витрат при підготовці виробництва, але мають меншу, порівняно з традиційними матеріалами для штампів, стійкість до зносу. Таке оснащення відносно легко відновити або виготувати його дубль.

Штапове оснащення для процесів штапування еластичним середовищем і рідиною високого тиску більш просте за конструкцією порівняно зі штампами першої групи. При його виготовленні використовують пластмаси, композиційні матеріали і метали з можливістю їх повторного використання.

У першій групі найбільш складними є штампи подвійної і потрійної дії.

**Витяжні штампи до пресів подвійної дії для виготовлення великих деталей.** Подібні штампи відрізняються тим, що пуансони і матриці в них є, як правило, збірними. Плити виготовляють відливкою з чавуну із застосуванням ребер жорсткості. Оскільки великі вироби для автомобілів, тракторів та інших машин мають складну форму, що складається зі сфер, конусів та інших елементів, то для запобігання виникненню складок при витяжці в матрицях або на притискачах штамів застосовують спеціальні ребра, пороги (виступи). Зазвичай для підвищення стійкості матриці витяжні ребра доцільніше робити на притискачах. Тільки в тих випадках, коли наявність перетяжних ребер на обрізуваних кромках виробу (опуклістю вниз) ускладнюють конструкцію рамки штампа, ребра встановлюють на матриці.

**Штамп для витяжки даху кузова автомобіля.** На рисунку 64 показано типову конструкцію штампа до преса подвійної дії для витяжки даху кузова автомобіля. Штамп складається з чотирьох основних частин: верхньої поперечки 1, пуансона, закріпленого на ній, 2, притискача 3 і витяжної матриці 4. Перетяжні ребра 5 розташовані на матриці. Видалення виробу після штампування проводиться виштовхувачами 6, що працюють від пружин 7. На рисунку 64 показано також лінії обрізання деталі після витяжки.

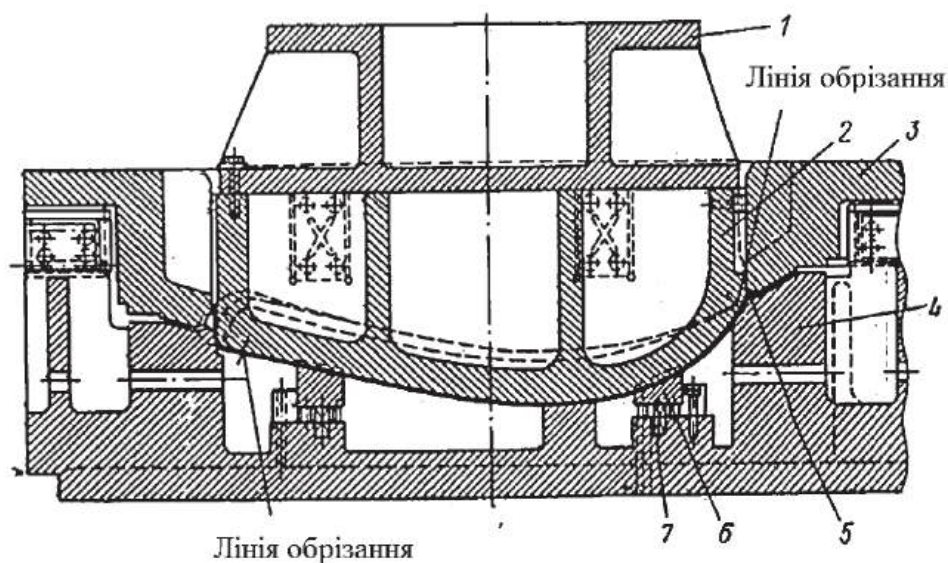


Рисунок 64 – Штамп для витяжки даху кузова автомобіля, встановлений на пресі подвійної дії [13, 14]:

- 1 – верхня поперечина; 2 – пуансон; 3 – притискач; 4 – матриця;  
5 – перетяжне ребро; 6 – виштовхувач; 7 – пружина

Напрямні елементи штампа знаходяться на верхній і нижній поперечинах (на рисунку 64 не показано).

Коробчата форма поперечки і пуансона обумовлена намаганням знизити масу штампа при збереженні його жорсткості і міцності. Застосування поперечин дозволяє деякою мірою уніфікувати конструкцію.

Попередню фіксацію плоских заготовок, призначених для рельєфного формування, здійснюють бічними планками – фіксаторами 1 (рисунок 65), остаточне більш точне положення заготовок встановлюють уловлювачами 2 за заздалегідь пробитими в заготовках отворами. Виштовхування деталі з матриці проводять притискачем 3 і стрижнем 4, а з пуансона – скидачем 5.

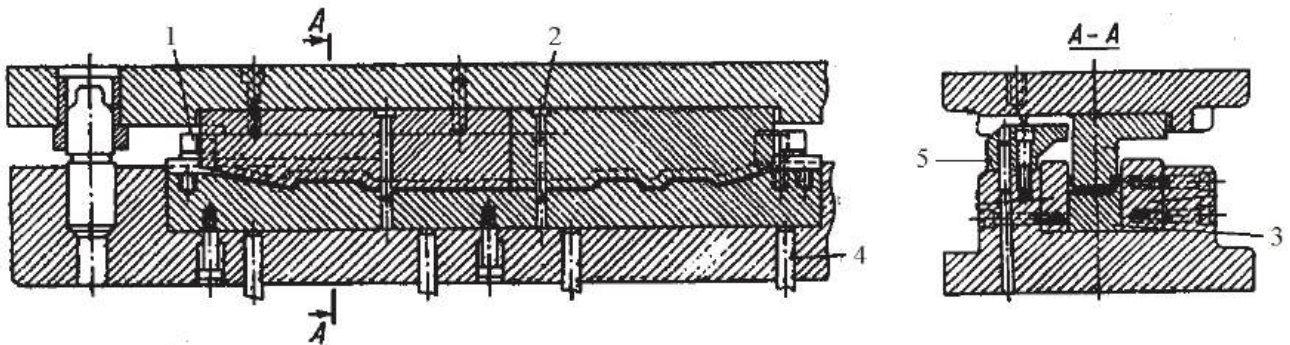


Рисунок 65 – Штмп для формування підсилювальної накладки під навішування [13]

При витяжці більш дрібних деталей використовують штампи традиційної конструкції – верхня і нижня плити (на яких закріплюються формозадавальні елементи) орієнтуються одна відносно одної за допомогою напрямних колонок.

На рисунку 66 показано штмп для другої операції витяжки шківa вентилятора автомобіля. Порожнисту заготовку встановлюють на притискне кільце 7, що діє від нижнього пневматичного пристрою через стрижні 8. При ході повзуна преса вниз матриця 1 затискає заготовку, а потім здійснює витяжку її навколо пуансона 5. Видалення виробу з матриці виконується виштовхувачем 2, що працює від поперечини преса через стрижень 3.

З метою економії легованої інструментальної сталі витяжну матрицю штампа виконують з двох частин – безпосередньо робочої втулки (матриці) та обойми 4, а пуансон 5 – з робочої частини і державки 6. Робочі частини матриці і пуансона виготовляють з інструментальної сталі, а обойму і державку – зі сталі Ст5.

Важливим при конструюванні штампів для витяжки є усунення можливого складкоутворення на фланцях. Притиск гладкими поверхнями фланцевих частин заготовок утруднений через високі значення потрібних тисків, що досягають рівня 1,5...2,0 МПа.

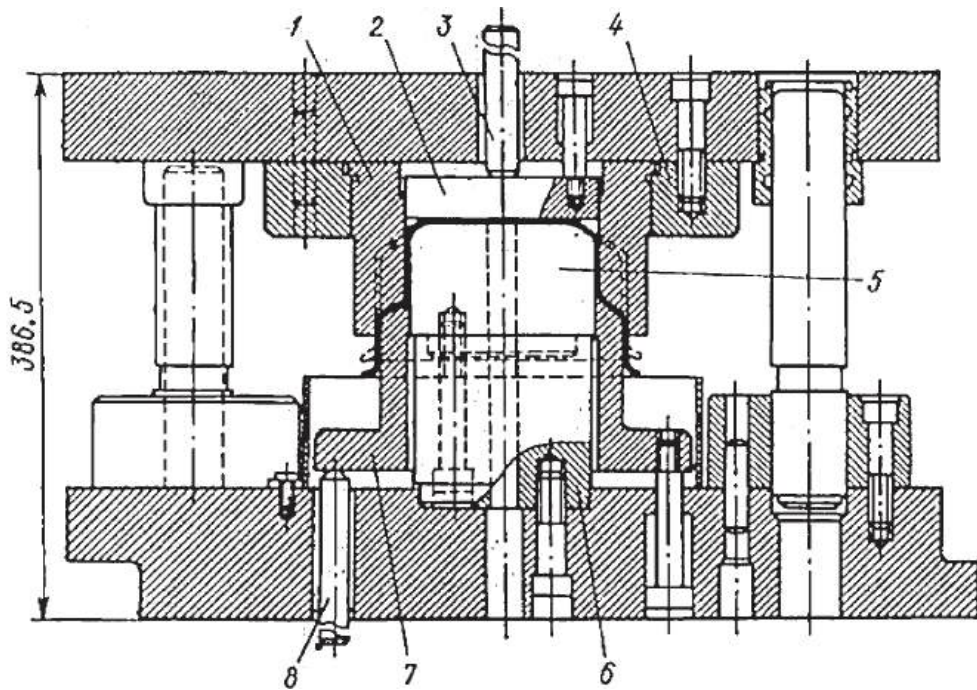


Рисунок 66 – Штмп на колонках для другої операції витяжки шківa вентилятора автомобіля [13, 14]:

- 1 – матриця; 2 – виштовхувач; 3 – стрижень; 4 – обойма; 5 – пуансон;  
6 – державка; 7 – притискне кільце; 8 – стрижень

При неможливості забезпечення потрібних значень зусиль притиску на фланцевих ділянках матриць, на яких відбувається інтенсивне переміщення частин заготовки, встановлюють перетяжні ребра або пороги. Наприклад, на рисунок 67 при витяжці коробчастої деталі на прямолінійних ділянках отвору матриці розташовують перетяжні ребра. Вони перешкоджають інтенсивній (понад міру) подачі фланцевих частин заготовки в порожнину матриці.

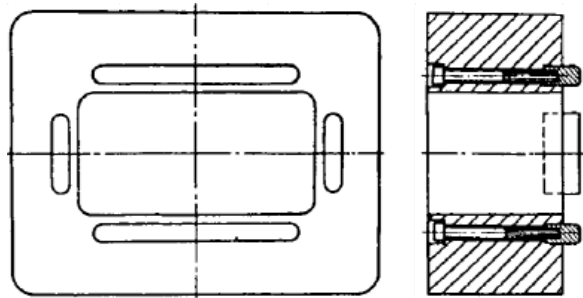


Рисунок 67 – Перетяжні ребра при витяжці коробчастих деталей [3]

Наведені приклади використовуваної оснастки з вуглецевої і легованої сталі показують складність і високу вартість виготовлення традиційної штампової оснастки.

Для електрогідравлічних пресів використовують штампи спрощеної конструкції, що містять матрицю (пуансон) і притискну плиту.

### Тема 3.3 Технологічність великогабаритних листових деталей

**Технологічність** – властивість деталі, конструкції або машини, що дає можливість виготовляти її на даному виробництві в задані терміни, в кількості і з зазначеною якістю при мінімальних витратах. Природно, на різних підприємствах і за різних умов показники технологічності можуть відрізнятися. Ця властивість комплексна і може бути розподілена на ряд більш простих властивостей (рисунок 68).

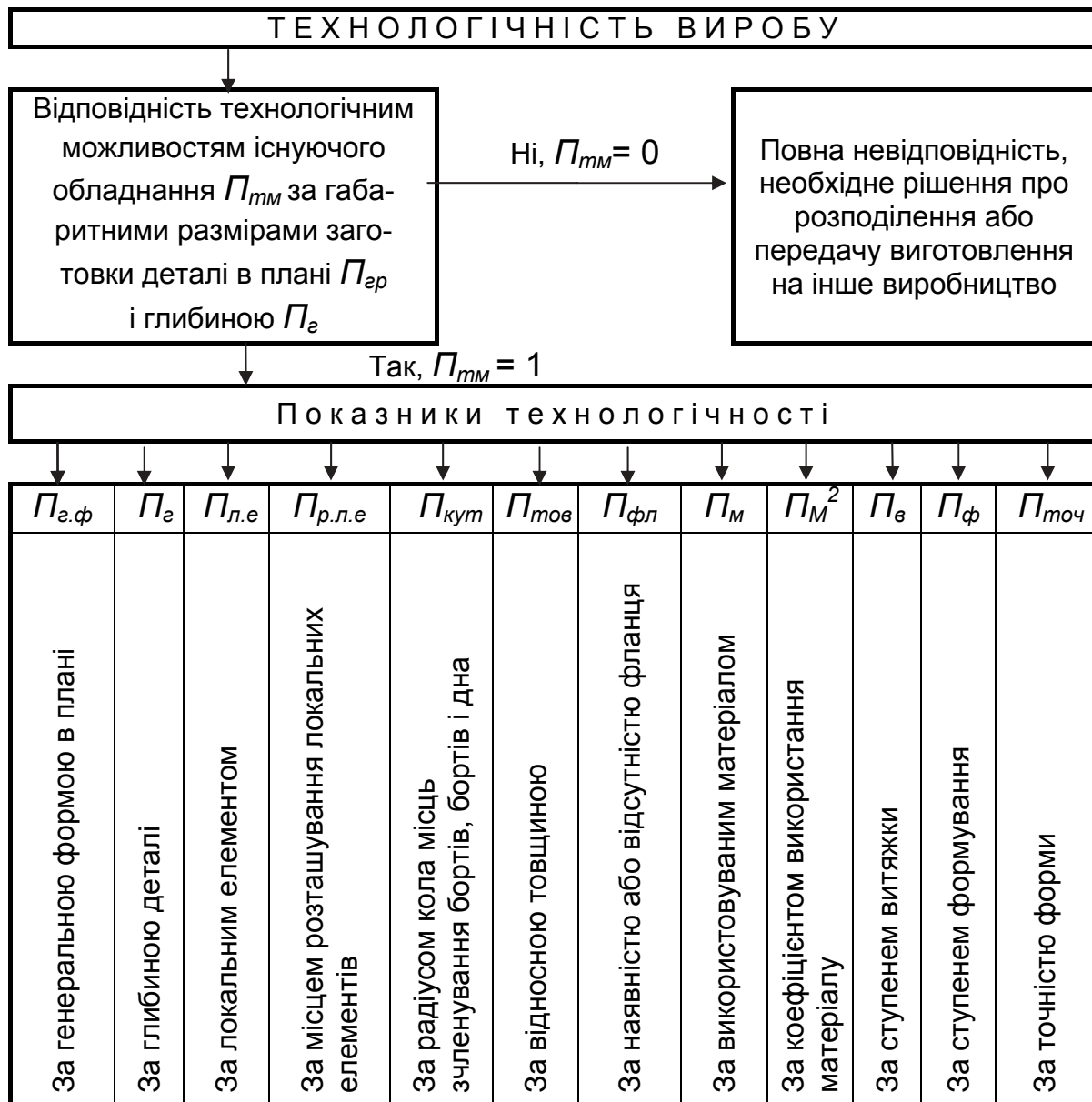


Рисунок 68 – Структура показників технологічності

Показники технологічності є важливою складовою оцінювання якості виробів, оскільки комплексно характеризують конструкцію з точки зору пристосованості до певного виробництва. Тому опрацювання виробу на технологічність є обов'язковим етапом при підготовці виробництва.

Визначення комплексного показника технологічності починається з оцінювання відповідності габаритних розмірів листової заготовки і деталі **технологічним можливостям** ( $P_{mm}$ ) обладнання, яке може набути два значення: 1 – відповідність технологічним можливостям і 0 – повна невідповідність. Останнє приводить до прийняття відповідних управлінських рішень.

1. Членування деталі. Однак з точки зору оцінювання форми деталі це буде інша деталь. Членування найчастіше призводить до збільшення витрат матеріалу на деталь, її обважнення і підвищення собівартості виготовлення.

2. Передача виготовлення на інше підприємство, яке має відповідне обладнання. Однак і це спричиняє економічні втрати. Для великогабаритних листових деталей можливість такого рішення обмежена через малу наявність великогабаритних пресів.

3. Рішення про модернізацію існуючого обладнання для розширення його технологічних можливостей. Але це теж рішення, що призводить до витрат.

4. За необхідності можна ввести градацію за ступенем відповідності технологічним можливостям. При цьому слід враховувати той факт, що найбільш прийнятним або технологічно оптимальним є використання 75 % технологічних можливостей устаткування.

Далі наведено окремі показники технологічності за іншими властивостями [2].

Строго кажучи, деякі з наведених нижче показників є комплексними, наприклад, показник технологічності за точністю можна розділити на ряд окремих показників:

- точність різних розмірів деталі;
- точність увігнутих або опуклих поверхонь (з опуклістю, спрямованою у бік прикладення деформувального навантаження або навпаки);
- точність товщини деталі;
- точність за двома координатами зон сполучення поверхонь.

**Технологічні особливості виготовлення деталей автокузовів.** Технологічну складність панелей, у першу чергу, можна охарактеризувати глибиною витяжки, перепадом глибини між перерізами, відношенням радіусів зчленування поверхонь до товщини панелі.

Виходячи з технологічної складності формулюють вимоги до форм технологічного оснащення (по переходах) і методів його отримання.

При штампуванні виявляються характерні особливості деталей різних груп.

На прикладі запропонованої класифікації панелей легкових автомобілів (рисунок 69) розглянемо технологічність деяких деталей.



Деталі першої групи в своїй більшості мають односпрямовані опуклі поверхні без різких переходів профілів перерізів (це не стосується крайніх ділянок, які використовують для кріплення деталей до кузова або зчленованих деталей).

Деталі другої і четвертої груп найбільш складні за формою. Вони мають ділянки двозначної і подвійної кривизни, зчленування різних ділянок деталі з малими відносними радіусами, великі перепади глибин, ці деталі технологічні для сучасних методів формоутворення пластичними і рідкими середовищами.

Для прикладу в Додатку А у роботі [1] показано ескізи деталей цих груп автомобіля фірми FordMotors, які є досконаліми для штампування традиційними методами в оснащенні, що містить пуансон і матрицю.

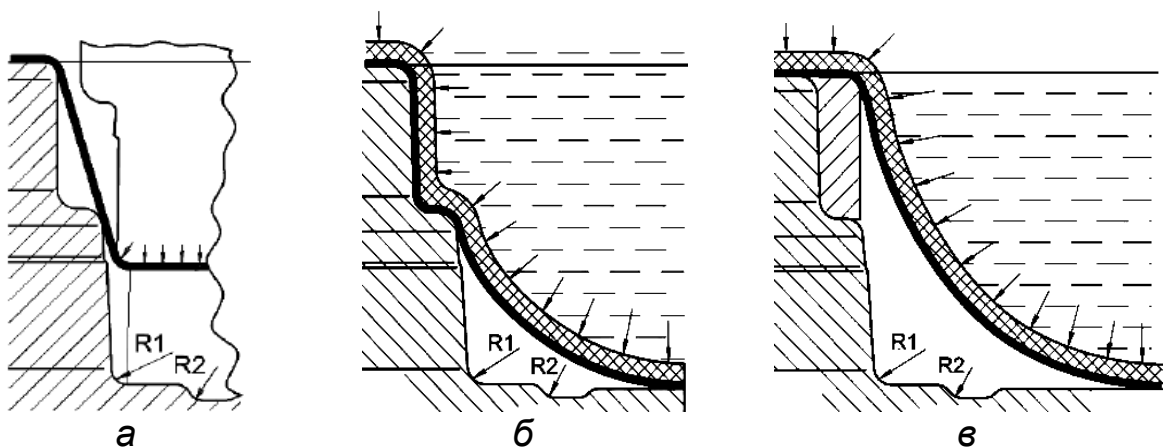


Рисунок 69 – Формування ступінчастого борту і донних радіусів заготовки деталі:

- а – за допомогою пуансона і матриці, проміжне положення;
- б – рідким середовищем на етапі заповнення донного зчленування;
- в – з використанням додаткової вставки в матрицю при ЕГ-штампуванні

Нижня частина деталі являє собою чашу (коробку) з габаритними розмірами і їх співвідношеннями, що відповідають критеріям технологічності при ЕГ-штампуванні. Однак радіуси зчленування ступінчастих бортів і дна (близько 5 мм) не відповідають встановленим критеріям технологічності для ЕГ-штампування. Технологічні значення цих радіусів за рекомендацією НДІАТ [18] при зазначених співвідношеннях довжини, ширини і глибини чаші мають знаходитися в межах 40...80 мм (залежно від схеми напружено-деформованого стану). Ступінчастий борт і радіуси відповідають критеріям технологічності при штампуванні за допомогою пуансона і матриці. Це пояснюється тим (рисунок 69, а), що пуансон при своєму переміщенні на перших етапах тягне заготовку, стикається з матрицею на обмежених ділянках ребер оснастки, причому заготовка притискається до них з мінімальним зусиллям. Формоутворення

сходинки відбувається на заключному етапі ходу пуансона. Сама сходинка не перешкоджає і не ускладнює утворення певного радіуса. При ЕГ-штампуванні схема розташування заготовки відносно матриці дещо інша (рисунок 69, б). При натисканні на заготовку рідиною на початкових етапах тиск рідини притискає її до всіх вхідних поверхонь порожнини матриці. І тільки частина цієї ділянки заготовки залишається вільною до моменту повного прилягання. Природно, що сили тертя на перетяжному ребрі матриці, проміжному ребрі, по всій поверхні сходинки борту, а також виступи і западини на дні матриці перешкоджають затіканню металу в зону зчленування борту і дна. Опір деформації досить великий порівняно з несучою здатністю заготовки як оболонки. Для спрощення процесу і зменшення локальних стоншень заготовки в зонах зчленування борту і дна деталі має виконуватися умова технологічності, яка зводиться до збільшення радіуса сполучення або застосування додаткового оснащення.

Один з варіантів використання додаткового оснащення показано на рисунку 69, в. На початкових етапах формоутворення борту в порожнину для створення сходинки встановлюють вкладиш, що зменшує розмір отвору матриці. Його радіусну кромку використовують як перетяжку для надання заготовці певної форми зі щільним або нещільним приляганням до дна матриці. Потім вкладиш видаляють і деформують напівфабрикат до зіткнення з поверхнею основної матриці, тобто використання в конструкції деталі у вигляді чаші зі ступінчастими бортами знижує ступінь її технологічності для пресів ЕГ-штампування в результаті:

- подовження часу тривалості процесу або кількості потрібної енергії;
- ускладнення процесу через необхідність виготовлення додаткового оснащення;
- неповного використання запасу пластичних властивостей заготовки або істотної локалізації залишкових напружень.

Виступаючі локальні елементи відносно площини дна нижньої частини деталі також знижують ступінь технологічності деталі порівняно з такою ж її властивістю для процесів механічного штампування. Для таких елементів цілком прийнятним рішенням є перенесення їх формування на подальшу операцію вирубки вікна і відбортовки кромки.

Видавки висотою близько 4 мм знаходяться в межах рекомендованого діапазону технологічності ( $H_{виd} < (0,12..0,4)B_{min}$ , де  $B_{min}$  – мінімальний поперечний розмір). Але вони розташовані на невеликій відстані від поверхні заготовки, яка знаходиться у вихідному положенні на фланцях матриці. При ЕГ-навантаженні заготовка не встигає розігнатися і

накопичити кінетичну енергію, необхідну для здійснення роботи деформування цих локальних елементів. Крім того, вони знаходяться в зоні втрати стійкості при обтисненні, де утворюються складки. Сліди розгладжених складок також ускладнюють формоутворення.

Формоутворення вузького рифта, що знаходиться в зоні  $D$  [1], утруднено через його віддаленість від енерговиділяючої поверхні багаторозрядного блока.

Охоплюючий кут дуже великий і має малий радіус заокруглення. За відношенням відносної висоти до радіуса зони заготовки, яку можна використовувати для його формоутворення, ця ділянка не відповідає вимогам технологічності всіх процесів штампування рідким і еластичними середовищами. Це призводить до утворення складок, що зароджуються і розвиваються при його обтисненні.

Найбільшу частку нетехнологічності обумовлює необхідність відштампування опуклої заготовки, що має різні радіуси кривизни в початковому стані. Додаткова поверхня опуклої заготовки відносно деякої мінімальної поверхні, яка забезпечує отримання необхідної форми деталі, визначає появу складок при її обтисненні на першому етапі формоутворення при подачі передавального середовища в розрядний об'єм. Керування величиною, формою і місцем розташування складок за допомогою еластичних накладок, підкладок і вирізки технологічних вікон не забезпечує їх повного усунення. Складки зосереджуються в найбільш важкодоступних зонах відштамповки і ще більш ускладнюють перетворення заготовки в деталь заданої форми. Роз'яснення цієї тези показано на рисунку 69. Фланцева частина матриці для формоутворення деталі, показаної на рисунку 69, а, являє собою опуклу поверхню, але з різними радіусами кривизни. При укладанні на неї плоскої заготовки і подальшому притисненні притискною плитою вона згинається в пружній зоні і прилягає до поверхні матриці без складок.

При подачі в район притиску еластичного середовища з рідиною під дією сил тяжіння починається деформація опуклої частини заготовки і на її непідпертій частині починають утворюватися складки, оскільки відбувається втрата стійкості форми заготовки. Їх досить складно розпрямити навіть на етапі розтягування заготовки.

Кардинальним рішенням є попереднє надання заготовці коробчастої форми (рисунок 70). Але навіть для цього потрібен додатковий комплект оснащення.

Коробчасті довгі деталі важко піддаються формоутворенню через обмеження відносних параметрів штампування – відношення глибини до ширини порожнини деталі, малих радіусів сполучення бортів і стінок та ін.

Це потребує збільшення пластичних властивостей матеріалу заготовок і міцності. Таким вимогам більшою мірою відповідають нові автомобільні сталі, показники пластичності і міцності яких порівняно з традиційними матеріалами (08Ю) вище – до 1,5 раза (таблиця 1).

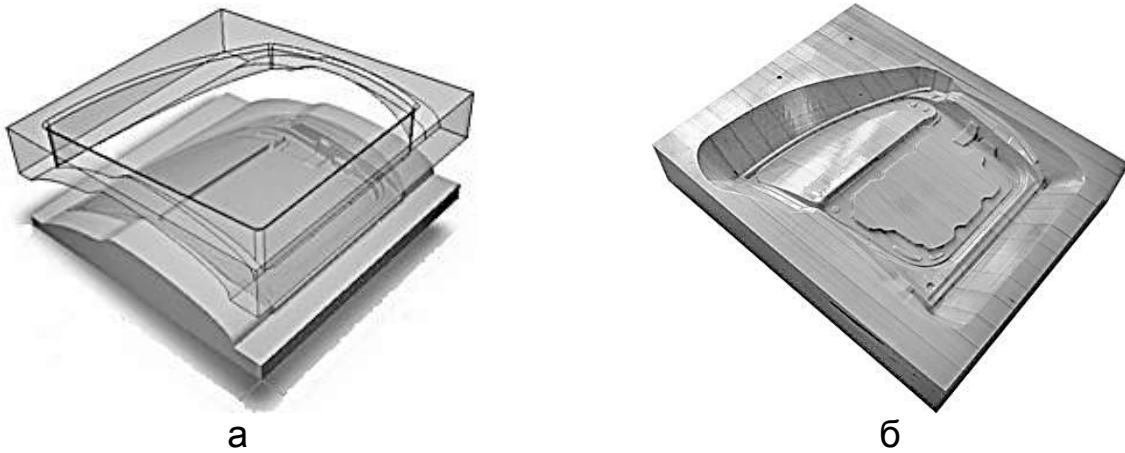


Рисунок 70 – Штампова оснастка для зворотної сторони деталі внутрішньої панелі дверей:

а – просторова схема матриці і притискача; б – модель матриці

Таблиця 1 – Механічні властивості сучасних штампувальних матеріалів

Матеріал	Значення механічних властивостей				
	$\sigma_{\text{ч}}$ , МПа	$\sigma_{\text{T}}$ , МПа	$\delta_{\text{рівн}}$ , %	$\delta_{\text{об'єм}}$ , %	$n$
Сталь ІF, лист 0,72 мм	315	162	23,2	44,7	0,227
Сталь ВН 210, лист 0,76 мм	366	253	17,2	35,6	0,189
Сталь ВН 240, лист 0,72 мм	405	296	18,8	34,8	0,192
Сталь 08Ю, лист 0,5 мм	300	-	-	30,0	0,300
Алюмінієвий сплав АА 5182, лист 1,2 мм	275	130	21,0	-	-
Позначка $n$ – показник ступеня зміцнення					

Для складних за формою деталей, що мають неплоский фланець, різноспрямовані опуклості, зазвичай вибирають напрямок деформування за навантаженням (рисунок 70). При такому виборі слід оцінювати:

- величину додаткового припуску, необхідного для виведення фланця деталі на площину. Це сприяє спрощенню виготовлення штампового оснащення;

- можливість отримання на готовій деталі чітких радіусів сполучення поверхонь;

- можливість виготовлення деталі з мінімальним стоншенням для підвищення її якості.

З таблиці 1 видно, що запропоновані матеріали мають підвищені механічні властивості і, швидше за все, потребують застосування особливих технологічних прийомів обробки (чи інших параметрів і конструктивних рішень обладнання) при використанні їх у великосерійному виробництві деталей методом ЕГШ або еластичними середовищами.

Для виготовлення стояків і навантажених деталей нижньої частини легкових машин застосовують більш міцні сталі типу DP500 або DP600, які значно зміцнюються при деформуванні, що призводить до значного викривлення деталей після штампування.

З деформаційних (рисунок 71) характеристик деяких автомобільних деталей випливає, що їх часова границя міцності значно більша, ніж листових сталей, що застосовуються в Україні.

На рисунку 72 показано експериментальні результати формотворення деталі «коробчаста балка», виготовленої на ЕГ-пресі Т 1226Б в Інституті імпульсних процесів і технологій НАН України. Навіть при багатоімпульсному навантаженні, що має забезпечувати значну релаксацію залишкових напружень, значення неприлягання деталі у вільному стані досягає 2,5...3,0 мм. Це неприпустимо для автоматичного складання кузовів автомобілів. Для кардинального підвищення точності деталі необхідна термообробка або корекція форми матриці (див. рисунок 72). Це є мало прийнятним з економічних міркувань.

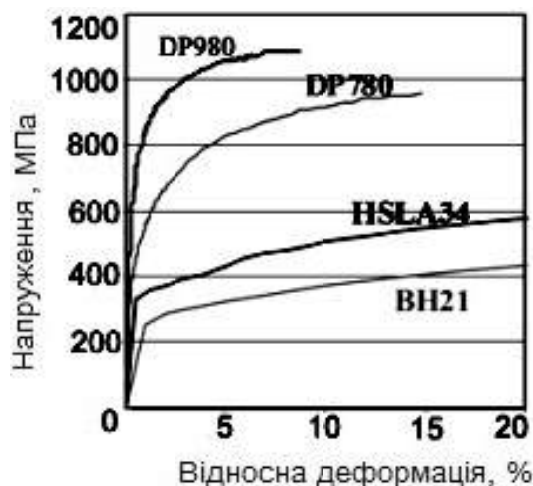


Рисунок 71 – Порівнювальні деформаційні характеристики автомобільних сталей

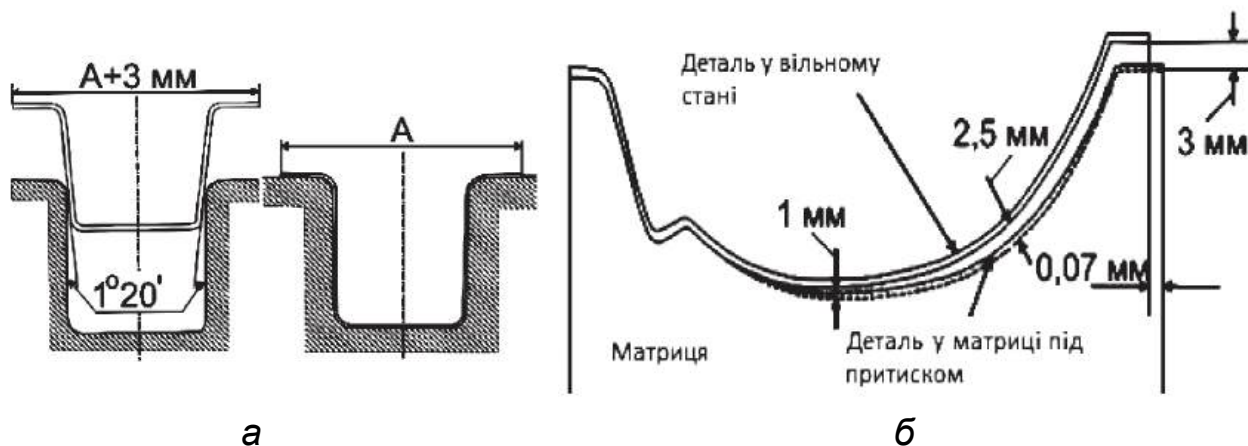


Рисунок 72 – Залишкова пружна деформація деталі зі сталі DP 780: а – поперечний переріз деталі «балка»; б – поздовжній вигляд

Для виготовлення всіх груп деталей автокузовів застосовують такі операції листового штампування: штампування-витяжка, формування, згинання, пробивання (просічка) отворів, обрізання.

Панелі жорсткості (підкапотна панель жорсткості, панель кришки багажника, передня і задня панелі кузова) краще штампувати за схемою формування «на пуансон». Для формоутворення малих планових радіусів і радіусів сполучення стінок виштамповок з дном на першому переході на матрицю рекомендується укласти еластичну підкладку товщиною 3...5 мм

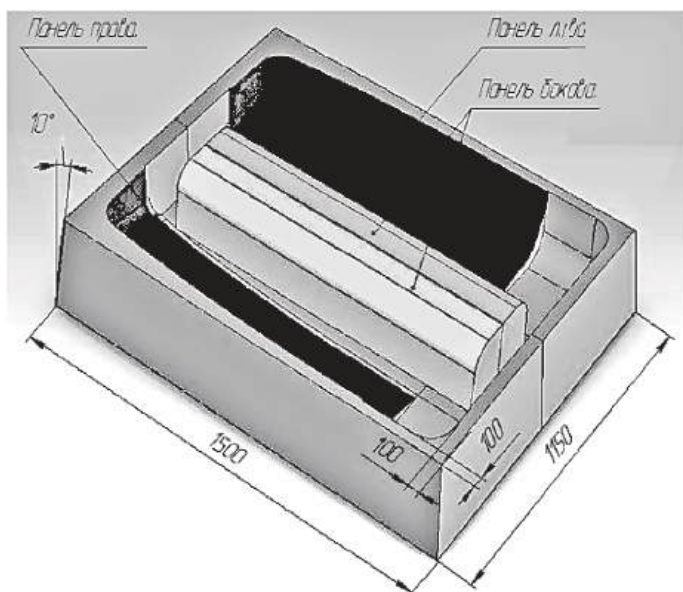


Рисунок 73 – Приклад розташування уніфікованих ділянок кузова автобуса в універсальній штамповій оснастці [17]

і штампувати заготовки до неприлягання її до дна матриці на кілька міліметрів. На другому (калібрувальному) переході, після зняття підкладок, заготовку штампують до повного прилягання до матриці. Існують рекомендації щодо технологічності розмірів виштамповок.

Переваги групового штампування виявляються при виготовленні автобусних панелей таким чином.

З виділених (лівих/правих) передніх і (лівих/правих) задніх ділянок формується «синтетична» деталь у вигляді коробки (рисунок 73), для якої виготовляється штампове оснащення для штампування-витяжки цієї форми деталі. З огляду на те, що дно цієї коробки відсутнє, в середній частині оснащення

можна розташовувати додаткове оснащення для виготовлення інших деталей.

Техніко-економічний аналіз такого методу виготовлення великогабаритної деталі показує його перевагу в дрібносерійному виробництві, до якого нині належить виробництво автобусів. Так, за даними С. В. Войтківа виготовлення уніфікованих панелей облицювання порівняно з неуніфікованими дозволяє:

- знизити трудомісткість виготовлення панелей в 1,5 – 4 рази залежно від їх класифікаційної групи;
- зменшити вартість потрібної оснастки до 4 разів і одноразові витрати на її виготовлення;
- у більшості випадків зменшити терміни технологічної підготовки виробництва шляхом зменшення кількості застосовуваної оснастки.

### Тема 3.4 Оцінювання трудомісткості технологічних процесів штампування, строків і витрат на технологічну підготовку виробництва (ТПВ)

При виборі того чи іншого технологічного процесу штампування керуються величиною трудовитрат на технологічний процес. Оцінювання трудомісткості необхідне при плануванні й нормуванні робіт.

Витрати праці при здійсненні того чи іншого технологічного процесу  $T_{виг}$  складаються з витрат праці, пов'язаних з безпосереднім перетворенням напівфабрикату в товар  $T'_{виг}$ , витрат праці в наступних або попередніх технологічних процесах при перетворенні напівфабрикатів в закінчену деталь згідно з прийнятим технологічним процесом  $T_{осн}$ ; витрат праці на додаткове оснащення і допоміжні матеріали, необхідні для здійснення заданого технологічного процесу; витрат праці, пов'язаних з нераціональним використанням основних матеріалів  $T_{мат}$ , витрат праці, пов'язаних зі створенням засобів (обладнання іншої техніки виробництва) для виконання заданого технологічного процесу  $T'_{устат}$ , а також інших витрат, пов'язаних з транспортуванням виробу в процесі виробництва, витрат енергії та інших витрат залежно від заданого технологічного процесу  $T_{ін}$ . Очевидно, що той технологічний процес буде найвигіднішим, найбільш досконалим у певних умовах виробництва, який потребує найменшої суми зазначених вище елементів витрат, суспільно необхідної праці, тобто

$$T_{техн} = T_{виг} \pm T'_{виг} + T_{осн} + T_{мат} + T_{устат} + T_{ін}.$$

Витрати праці на перетворення напівфабрикату в товар при здійсненні заданого технологічного процесу  $T_{виг}$  можна подати як

$$T_{изг.} = t_o + t_{дон} + \frac{t_{н.з.}}{n},$$

де  $n$  – кількість деталей в партії;  $t_o$  – основний час;  $t_{дон}$  – допоміжний час;  $t_{н.з.}$  – підготовчо-заключний час. Зміна трудомісткості залежно від заданого технологічного процесу при подальшому або попередньому обробленні напівфабрикату в процесі перетворення його в закінчену деталь  $T_{виг}$  може бути як позитивною, так і негативною.

Витрати праці, що припадають на одну деталь від оснащення, яке створюється для здійснення заданого технологічного процесу, можна подати у вигляді

$$T_{осн} = \frac{1 - K_1}{m} \left( t_{осн} + \frac{1}{K_2 \gamma_2} G_{осн} u_1 \right),$$

де  $m$  – кількість деталей, що знімаються з оснащення до морального або повного механічного їх зносу, шт.;  $K_1$  – коефіцієнт універсальності оснащення, що змінюється залежно від кількості універсальних елементів в оснащенні ( $K_1 = 0$  – суто спеціальне оснащення,  $K_1 = 1$  – строго універсальне оснащення);  $t_{осн}$  – трудомісткість виготовлення оснащення в годину;  $K_2$  – коефіцієнт використання матеріалу оснастки;  $\gamma_2$  – вартість однієї години праці робітника (середньої кваліфікації), зайнятого на виготовленні оснащення, грн;  $G_{осн}$  – вага оснастки, кг;  $u_1$  – середня ціна 1 кг матеріалу оснащення, грн. Зниження витрат праці на виріб завдяки оснащенню і допоміжним матеріалам, необхідним для виготовлення цієї оснастки в металі, складається зі зниження витрат праці на виготовлення оснащення і витрат, спричинених витратою матеріалів на її виготовлення.

Одним з ефективних шляхів зниження цих витрат є застосування універсальної і нормалізованої оснастки, що зберігається до повного фізичного або морального її зносу, а також застосування в окремих галузях спрощеного оснащення (для одиничного і дрібносерійного виробництва).

З аналізу величин, що виражають  $T_{осн}$ , випливає, що при всіх інших рівних умовах ця величина буде найменшою, якщо використати не універсальне оснащення з широким застосуванням нормалізованих елементів.

Процеси штампування гумою, рідиною або газами є прогресивними, оскільки в цих процесах передбачається застосування універсального деформувального інструменту – гумової, рідинної або газової матриці або пуансона.

Витрати праці, пов'язані з нераціональним використанням основних матеріалів, можна подати так:

$$T_{mat} = \frac{(1 - K_u) u_2 G_{дет}}{K_u \gamma_2},$$

де  $G_{дет}$  – вага деталі, кг;  $K_u$  – коефіцієнт використання матеріалу;  $u_2$  – ціна 1 кг матеріалу, грн;  $\gamma_2$  – вартість однієї години праці робітника, зайнятого у виробництві вихідних напівфабрикатів для виготовлення деталі.

Витрати праці на виробництво обладнання, необхідного для здійснення заданого технологічного процесу, визначають за формулою

$$T_{обл} = (1 - K_3) \frac{u_{обл}}{\gamma_3 N},$$



де  $u_{обл}$  – ціна, що замовляється, грн;  $K_3$  – коефіцієнт універсальності обладнання ( $K_3 = 0$  у разі застосування спеціального преса для виготовлення деталі даної конструкції;  $K_3 = 1$  у разі застосування універсального преса, придатного для виготовлення даної і наступних конструкцій деталей);  $N$  – кількість деталей, вузлів, агрегатів, що знімаються з устаткування;  $\gamma_3$  – середня вартість однієї години праці робітника, зайнятого у виробництві обладнання.

Зниження витрат праці, пов'язаних зі створенням засобів (машин, пристроїв та іншого обладнання) для здійснення заданого технологічного процесу, визначається насамперед ступенем універсальності обладнання, його трудомісткістю і металоємністю. Надання універсальності обладнанню внаслідок стандартизації його вузлів і агрегатів (створення агрегатного обладнання) є тим прогресивним напрямком, який сприяє зниженню витрат і надає найбільшу спадкоємність засобам виробництва при зміні продукції основного виробництва.

Витрати праці на обладнання визначаються також витратами матеріалів на його виготовлення. Тому зрозуміла актуальність боротьби за найменшу металоємність створюваного устаткування.

Преси та установки для штампування гумою, рідиною або газами становлять великий інтерес, будучи одним з характерних видів спеціалізованого обладнання, що має велику універсальність.

Найменші інші витрати, що включають витрати на транспортування виробів під час виконання заданого технологічного процесу, і енергетичні витрати є також елементами, що входять до показника досконалості технологічного процесу і рівня виробництва.

Ці витрати слід враховувати залежно від їх питомої ваги при оцінюванні якості проектного технологічного процесу.

Кількісний критерій оцінювання досконалості і вибору оптимального варіанта технологічного процесу або методу виготовлення деталі можна подати формулою

$$T_{мехн} \pm \left( t_o + t_{дон} + \frac{t_{н.з}}{n} \right) \pm T'_{виг} + \frac{1 - K_1}{m} \left( t_{осн} + \frac{1}{K_2 \gamma_2} G_{осн} u_1 \right) + \frac{(1 - K_u) u_2 G_{дет}}{K_u \gamma_2} + (1 - K_3) \frac{u_{обл}}{\gamma_3 N} + T_{ін}$$

У різних галузях виробництва (залежно від характеру і його виду) питома вага окремих видів витрат праці може змінюватися в загальному обсязі витрат суспільно необхідної праці, але метод оцінювання

досконалості технологічного процесу залишається при цьому незмінним для всіх галузей машинобудування.

Оцінювання досконалості проектного або прийнятого технологічного процесу за найменшими витратами суспільно необхідної праці дозволяє технологу комплексно враховувати всі сторони виробництва.

Якщо ж два або кілька з узгоджених технологічних процесів рівноцінні за витратами суспільно необхідної праці, перевагу, очевидно, має бути віддано тому процесу, який більшою мірою забезпечує поліпшення умов праці робітника; цей критерій є в такому випадку вирішальним.

**Оцінювання собівартості виготовлення деталей. Вибір оптимального варіанта технологічного процесу холодного листового штампування.** При розробленні технологічного процесу штампування деталі може бути виявлено кілька варіантів, які забезпечують приблизно однакові показники якості.

Вибирати оптимальний варіант технологічного процесу слід на основі оцінювання наведених витрат, що містять технологічну собівартість виготовлення деталі й питомі капітальні вкладення:

$$B = C_T + K_{num} E_n,$$

де  $B$  – зведені витрати;  $K_{num}$  – питомі капітальні вкладення;  $E_n$  – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності, що дорівнює в машинобудуванні 0,3 для нових технологічних процесів і часткової механізації та автоматизації;  $C_T$  – технологічна собівартість деталі:

$$C_T = M + Z_{II} + Ш + A_o + H,$$

де  $M$  – вартість матеріалу, що використовується для виготовлення однієї деталі;  $Z_{II}$  – заробітна плата основних робітників з доплатами і нарахуваннями;  $Ш$  – витрати на виготовлення штампа;  $A_o$  – витрати на експлуатацію обладнання;  $H$  – витрати на налагодження обладнання і установа штамп.

Вартість матеріалу визначають з урахуванням реалізованих відходів

$$M = Gu - gk,$$

де  $G$  – норма витрати матеріалу на одну деталь, кг;  $u$  – вартість 1 кг матеріалу, грн;  $k$  – маса реалізованого відходу на одну деталь, кг;  $g$  – вартість 1 кг реалізованого відходу, грн.

Витрати на заробітну плату виробничих робітників

$$Z_{II} = \sum_{i=1}^n T_{um} \frac{q_p}{60} \left( 1 + \frac{p}{100} \right),$$

де  $q_p$  – погодинна тарифна ставка, яка визначається відповідно до розряду працюючого виробничого робочого, грн;  $T_{ум}$  – норма штучного часу, хв;  $p$  – нарахування на заробітну плату виробничих робочих (близько 12...14 %);  $n$  – кількість операцій технологічного процесу виготовлення деталі.

Витрати на виготовлення штампів і спеціальних пристроїв до них:

– при величині річної програми, яка перевищує стійкість штампа:

$$Ш = \frac{1}{K_{cm}} \sum_{i=1}^n (C_{виз} + C),$$

– при величині річної програми, меншої за стійкість штампа:

$$Ш = \sum_{i=1}^n \left( C_{виз} + \frac{C_{НП}}{K'_{cm}} \right) \frac{1}{K_{cm}},$$

де  $C_{виз}$  – вартість виготовлення штампа для певної операції, грн;  $C$  – вартість одного відновлювального ремонту, грн;  $K_{cm}$  – стійкість штампа до повного зносу, штук деталей;  $n$  – кількість відновлювальних ремонтів до повного зносу;  $K'_{cm}$  – стійкість штампів між ремонтами, штук деталей;  $П$  – кількість років випуску виробів;  $N$  – річна програма (або величина партій), штук деталей.

Витрати на експлуатацію обладнання

$$A_O = \sum_{i=1}^n (A_{об} + T_p + B_{cm} + E + Л),$$

де  $A_{об}$ ;  $T_p$ ;  $B_{cm}$ ;  $E$ ;  $Л$  – витрати відповідно на амортизацію обладнання, ремонт та поточне обслуговування, стиснене повітря, силову електроенергію, амортизацію і обслуговування виробничої площі, що припадають на виконання певної операції.

Витрати на налаштування штампів

$$H = \sum_{i=1}^n \frac{q_H}{60} T_{виз} \left( 1 + \frac{p}{100} \right) n_1 q_1,$$

де  $q_H$  – погодинна тарифна ставка (зарплата) наладника штампів, грн;  $T_{виз}$  – норма підготовчо-заклучного часу, хв;  $p$  – нарахування на зарплату (12...14 %);  $n_1$  – кількість партій, на яку розподіляють загальну кількість деталей, що підлягають виготовленню;  $q_1$  – коефіцієнт, що враховує

кількість переналадок у процесі роботи (для серійного виробництва  $q_1 = 1,1 \dots 1,3$ ).

Оптимальним буде той варіант технологічного процесу, витрати на який будуть найменшими.

Якщо ж додаткові капітальні вкладення для розроблених варіантів технологічного процесу не робляться, то у цьому випадку вибір оптимального варіанта технологічного процесу слід проводити тільки на частину, яка відрізняється елементами витрат у будь-якому вигляді, однакові витрати за порівнюваними статтями не враховують, а оптимальним буде варіант, що забезпечує меншу собівартість.

Величина технологічної собівартості істотно залежить від ряду складових її витрат. До найбільш істотних належать сума трудомісткостей виконання операцій технологічного процесу  $T_{um}$  і вартість виготовлення штампового оснащення для цих операцій  $Ш$ .

Для визначення параметра  $T_{um}$  використовують довідники, де докладно описано основні й допоміжні операції технологічних процесів листового штампування. Використовують також статистичні дані різних листоштампувальних виробництв.

Для розрахунку вартості комплектів штампового оснащення  $Ш$  застосовують спрощений метод оцінювання, за яким таке оцінювання проводиться за параметрами: периметр штампового оснащення і глибина матриці. Для ряду класифікаційних угруповань деталей синтезовано математичні моделі залежностей «трудомісткість – периметр – глибина». На сталих виробництвах існують виробничі нормативи для оцінювання виготовлення штампового оснащення.

Помноживши значення трудомісткості на вартість нормо-години, величина якої різна на різних виробництвах, отримують значення вартості (штампового оснащення, обслуговування устаткування, його налагодження та ремонту).

Досить важливим є **вибір варіанта технологічного процесу**, що забезпечує мінімальну технологічну собівартість.

Сумарні витрати на виготовлення заданої кількості деталей в заданий проміжок часу можна розділити на дві групи:

– наростаючі в міру випуску продукції:  $M$ ;  $B$ ;  $A$ ;  $T$ ;

– східчасті, що залежать від кількості виготовлених деталей:  $Ш$ ;  $H$ ; спеціальний інструмент і т. д.

Така зміна пояснюється тим, що певну кількість деталей неможливо виготовити за допомогою одного комплекту штампового оснащення, спеціальних інструментів або пристроїв у заданий проміжок часу. Тому доводиться збільшувати кількість комплектів оснастки, інструменту та пристроїв, кількість налагоджень і т. п.

Результати розрахунку експериментальної технологічної собівартості оснастки мають вигляд:

– для механічних пресів  $C_{\Gamma} = A \cdot P_M^{1,109} \cdot S_M^{0,250} (\pm 13 \%)$ ;

– для гідравлічних пресів  $C_{\Gamma} = A \cdot P_{\Gamma}^{1,109} \cdot S_{\Gamma}^{0,250} (\pm 18 \%)$ ,

де  $C$  – вартість, у.о.;  $P$  – зусилля, тс;  $S$  – площа стола, мм<sup>2</sup>. Індексом  $M$  і  $\Gamma$  показано належність до механічних і гідравлічних груп. У дужках зазначено довірчий інтервал при рівні надійності 95%. Коефіцієнт  $A$  враховує поправку на валюту.

Графіки змінення різних витрат від обсягу випуску  $N$  або часу  $T$  показано на рисунку 74.

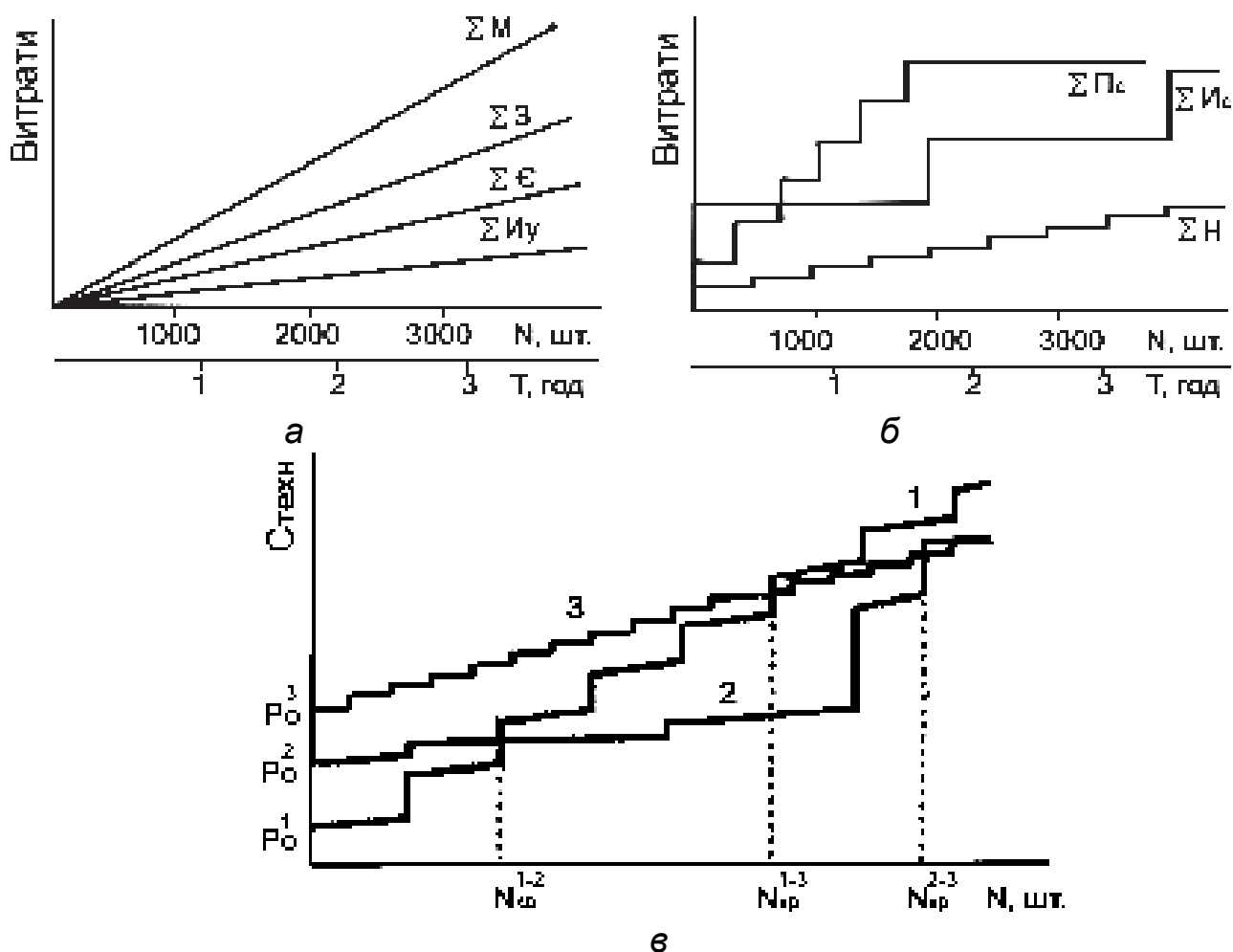


Рисунок 74 – Графік змінення технологічних витрат залежно від обсягу випуску деталей [5]:

а – змінення витрат першої групи; б – змінення витрат другої групи;

в – змінення технологічної собівартості виготовлення деталі за 1-м, 2-м і 3-м варіантами впровадження нових технологічних процесів;

$P_0^1, P_0^2, P_0^3$  – початкові витрати за відповідними технологічними процесами

Зміни витрат першої групи від  $N$  – це прямі лінії, що починаються в нульовій точці. Витрати другої групи змінюються східчасто, наприклад, через кожні 500 шт. деталей потрібне одне налагоджування оснастки і преса, але між виготовленням першої і другої партії налагоджень немає, отже, немає і витрат. Зміну сумарних витрат показано на рисунку 74, в; графіки побудовано для трьох варіантів технологічних процесів.

За першим варіантом технологічного процесу існують мінімальні початкові витрати, але відносно швидко зростає сумарна технологічна собівартість зі збільшенням обсягу випуску деталей. Для третього варіанта технологічного процесу характерні відносно великі початкові витрати, але повільне їх зростання в подальшому.

У точках  $N_{кр}^{1-2}$ ,  $N_{кр}^{1-3}$ ,  $N_{кр}^{2-3}$  ці графіки перетинаються. Обсяги випуску деталей, при яких за відповідними технологічними процесами сумарні витрати однакові, називають **критичними**. При обсязі випуску, меншому критичного, варіант технологічного процесу є економічно доцільним. У конкретному випадку перший варіант технологічного процесу економічно виправданий тільки при  $N < N_{кр}^{1-2}$ , другий варіант – при  $N_{кр}^{1-2} < N < N_{кр}^{2-3}$ . При великих обсягах випуску перевагу має третій варіант технологічного процесу.

При порівнянні варіантів упровадження нових технологічних процесів не завжди потрібно порівнювати всі складові  $C_T$ . Необхідно враховувати тільки ті витрати, які змінюються в різних варіантах впровадження нових технологічних процесів.

При виборі технологічного процесу слід враховувати, що економічність нових прогресивних технологічних процесів їх освоєння підвищується, і процеси, які нерентабельні зараз, можуть стати достатньо рентабельними в подальшому.

Незначним недоліком методу є ускладнення технологічної системи виготовлення кузовних деталей, оскільки збільшується кількість номенклатури виготовлених деталей.

Більшість кузовних деталей мікроавтобусів за класифікаційними ознаками і групами відповідають класифікації деталей автобусів. Деяка відмінність полягає в їх менших розмірах і можливості попарного виготовлення лівих і правих частин. Такий досвід був отриманий при виготовленні кузовних деталей мікроавтобуса «Сула».

## ДОДАТОК А

### Керування навантаженням – фактор підвищення якості деталей і процесів (приклад)

Необхідність керування показано на двох прикладах.

1. При ЕГШ потреби просторово-часового керування навантаженням більше, а можливості такого керування ширше. Розглянемо докладніше потреби керування. Як приклад візьмемо типову листову деталь складної форми типу «низькі коробки» – крило легкового автомобіля (рисунок А.1).

Уявімо її як оболонку певної генеральної форми з накладеними локальними елементами. Її генеральна форма – коробка з відносно плоским дном і бортами. На цю форму накладено локальні елементи у вигляді рифта, криволінійного в плані (зона II), і донні сполучення з радіусом кривизни, що плавно змінюються вздовж борту. Найбільш різка зміна кривизни цього елемента спостерігається в зоні I. Дно деталі (зона III) має великий радіус кривизни, що мало змінюється уздовж поверхні усієї деталі. Максимальна густина потоку енергії, необхідної для формоутворення зони I, значно менша тиску, який потрібний для формоутворення зони II, а для формоутворення зони III потрібні мінімальні значення статичного тиску.

При калібруванні деталі за рівнянням Лапласа для оформлення заданої геометрії необхідно прикласти тиск 90 МПа. Якщо цей тиск прикласти до всієї поверхні деталі, то загальне деформувальне зусилля дорівнюватиме 75,5 МН. Однак для формоутворення всієї поверхні деталі такого тиску не потрібно. Для формування зон II і III необхідно відповідно 60 і 11 МПа. Таким чином, для виготовлення деталі загальною площею  $1,25 \text{ м}^2$  тиск має бути 60 МПа – на  $0,2 \text{ м}^2$  і 11 МПа – на  $0,8 \text{ м}^2$  і лише на решту  $0,25 \text{ м}^2$  – 90 МПа. Це відповідає загальному деформувальному зусиллю 26 МН, або майже в 3 рази менше, ніж при рівномірно прикладеному тиску. Таким чином, перерозподіл навантаження дозволяє різко знизити потрібні деформувальні зусилля.

2. Послідовні положення заготовки через рівні проміжки часу і розподіл відносних деформацій стоншення при загальному і локальному навантаженнях показано на рисунку 29. Граничні значення відношення

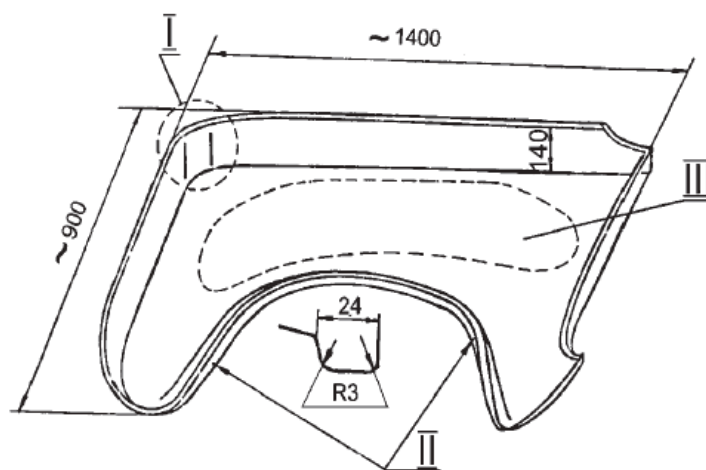


Рисунок А.1 – Характерна велико-габаритна листова деталь: I, II, III – зони деталі, що потребують статичного тиску відповідно 90, 60 і 11 МПа при калібруванні

глибини рифта до його ширини  $H/B$  не перевищували 0,23 для алюмінієвого сплаву АМцАМ.

На рисунку 29, б показано процес деформування заготовки при локальному навантаженні. Ширина зони навантаження дорівнює ширині локального елемента. У цьому випадку заготовка підходить до матриці значно викривленою, спочатку починається заповнення порожнини рифта і тільки пізніше заготовка стикається з ребрами матриці. До зони деформування залучаються великі поверхні заготовки, що призводить до менших деформацій стоншення. Їх максимальні відносні значення, отримані в результаті серії експериментів для алюмінієвих сплавів, не перевищували 0,166, а отримані значення відносної глибини рифта досягали 0,42.

**Стратегія** послідовного локального штампування багатогабаритних листових деталей полягає в локальному навантаженні певних ділянок деталі і послідовному переміщенні зон навантаження на ділянки заготовки, які визначаються її проміжною формою (рисунок А.2). Для прикладу на

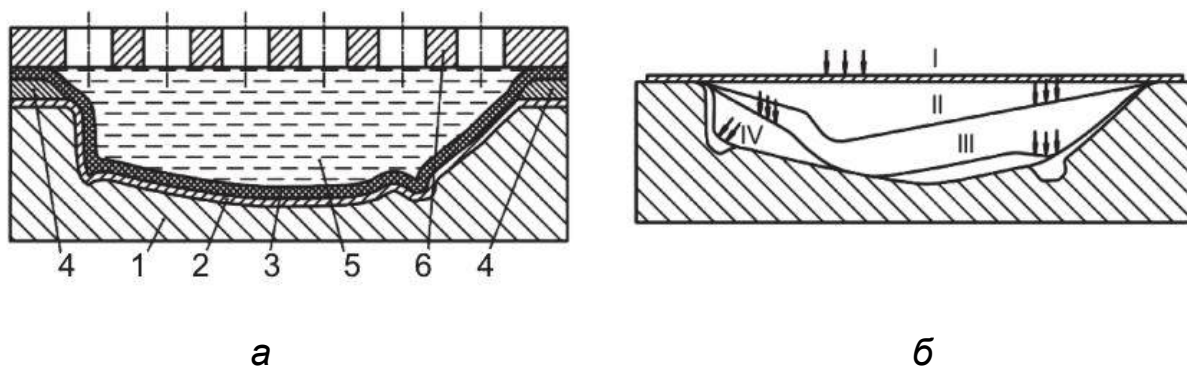


Рисунок А.2 – Послідовне локальне штампування великогабаритної листової деталі:

- а – принципова схема: 1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – гумова діафрагма; 4 – притискна плита; 5 – передавальне середовище (рідина);  
б – напрямна плита БРБ; б – послідовність деформування (стрілками показано ділянки локального навантаження заготовки на різних етапах формоутворення): I – початкове положення заготовки; II, III, IV – проміжні положення напівфабрикату

початковому етапі заготовка навантажується на центральній ділянці. При цьому здійснюється деяка витяжка фланцевої частини заготовки, її центральна частина викривляється і на цій ділянці з'являється стоншення, максимум якого знаходиться в центрі ділянки навантаження. Далі для інтенсифікації витяжки фланцевої частини, запобігання утворенню бухтин на куполі і більш повного використання запасу пластичних властивостей заготовки зону навантаження переміщують до зони перетяжних ребер. Після зіткнення більшої площі заготовки з матрицею по борту і дну проводиться калібрування (рисунок А.2, б, положення IV). При цьому навантаження проводиться над провисаючими частинами заготовки.

Приклади отриманих деталей показано на рисунку А.3.

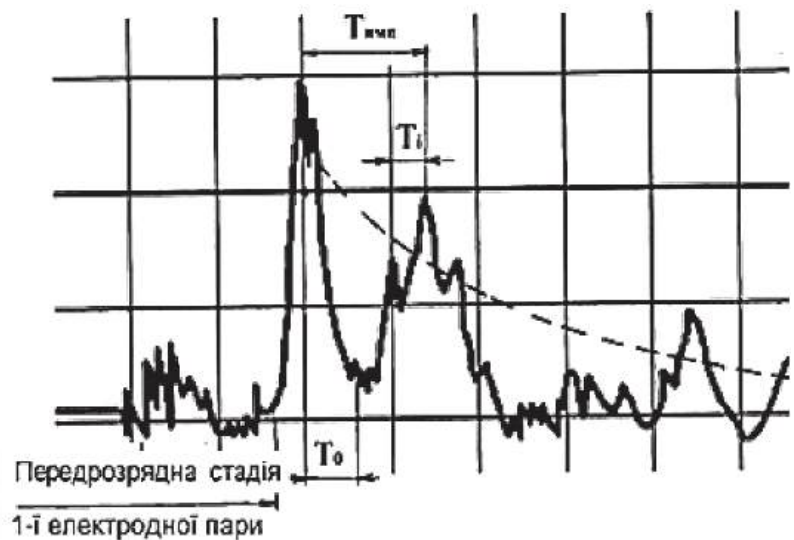




Рисунок А.3 – Деталі: заштриховані кола – розрядні порожнини, в яких проводиться розряд одного контуру (одиначне штрихування) і двох контурів (подвійна штриховка)

Керування часовими параметрами  $T$  забезпечує віброімпульсний режим навантаження (рисунок А.4), що підвищує швидкість релаксації остаточних напружень, які виникають у відштампованій деталі (короблення).

Рисунок А.4 – Характерна осцилограма тиску при ЕГ-розряді на 4-електродних парах, розташованих по колу. Записана одним датчиком тиску, розташованим у центрі кола. Пунктирна лінія – зміна квазістатичного тиску



## **Запитання до модульного контролю 1**

1. Дати визначення поняття «технологія».
2. Записати основну послідовність механічних перетворень.
3. Записати варіанти ТП етапу «Перетворення форми».
4. Визначити етапи стадії НДДКР.
5. Визначити види робіт на етапі «Підготовка виробництва».
6. Записати основні групи деталей кузовів легкових автомобілів.
7. Записати основні групи деталей кузовів автобусів.
8. Навіщо потрібна уніфікація кузовних деталей на прикладі кузовів автобусів?
9. Послідовність технологічних процесів отримання листа для заготовок листових деталей.
10. Особливості конструкцій автокузовних панелей.
11. Записати механічні властивості листових заготовок.
12. Технологічні проби листових заготовок.
13. Можливі варіанти напруженого стану в штампованій деталі (графічне зображення).
14. Можливі варіанти деформованого стану заготовки (графічне зображення).
15. Дати визначення понять «інтенсивність напружень» і «інтенсивність деформацій».
16. Записати енергетичну умову пластичності.
17. Записати залежність питомої повної роботи деформації.
18. Записати умови визначення розмірів і форми заготовок.

## **Запитання до модульного контролю 2**

1. Зобразити характер напруженого стану при витяжці жорстким пуансоном циліндричної деталі на зовнішній кромці фланця.
2. Зобразити характер напруженого стану при витяжці жорстким пуансоном циліндричної деталі на циліндричній частині деталі.
3. Зобразити характер напруженого стану при витяжці жорстким пуансоном циліндричної деталі радіусів заокруглення.
4. Зобразити характер напруженого стану при витяжці жорстким пуансоном циліндричної деталі у центрі плоского дна.
5. Зобразити характер деформованого стану при витяжці циліндричної деталі жорстким пуансоном на краю фланця деталі.

6. Зобразити характер деформованого стану при витяжці циліндричної деталі жорстким пуансоном на циліндричній частині деталі.
7. Зобразити характер деформованого стану при витяжці циліндричної деталі жорстким пуансоном на радіусах заокруглення.
8. Зобразити характер деформованого стану при витяжці циліндричної деталі жорстким пуансоном у центрі плоского дна.
9. Зобразити характер деформованого стану заготовки при витяжці сфероподібної деталі еластичним середовищем у центрі купольної частини.
10. Зобразити характер деформованого стану заготовки при витяжці сфероподібної деталі еластичним середовищем на зовнішній кромці фланця.
11. Зобразити характер деформованого стану заготовки при витяжці сфероподібної деталі еластичним середовищем на виході з перетяжної кромки.
12. Зобразити характер напруженого стану заготовки при витяжці сфероподібної деталі при деформуванні еластичним середовищем у центрі купольної частини.
13. Зобразити характер напруженого стану заготовки при витяжці сфероподібної деталі при деформуванні еластичним середовищем на виході з перетяжного ребра.
14. Пояснити наявність нейтрального перерізу при витяжці сфероподібної деталі еластичним середовищем.
15. Зобразити характер деформованого стану заготовки в районі радіуса сполучення бортів деталі при витяжці коробчастої деталі.
16. Записати залежність потрібного зусилля при витяжці деталі жорстким пуансоном.
17. Записати залежність потрібного тиску при витяжці деталі еластичним (рідким) середовищем.
18. Зобразити технічні схеми витяжки деталей пуансоном і еластичним (рідким) середовищем.
19. Зобразити технічні схеми формування деталей кузова автомобіля при штампуванні пуансоном і матрицею.
20. Зобразити технічні схеми формування автокузовних деталей еластичним (рідким) середовищем.
21. Записати залежність потрібного тиску для формування еластичним середовищем.
22. Зобразити технічні схеми при здійсненні роздачі трубної заготовки.
23. Зобразити технічні схеми обтиснення трубної заготовки.
24. Записати залежність потрібного тиску для роздачі трубної заготовки.

25. Зобразити технічну схему відбортовки пуансоном в матрицю.
26. Зобразити технічну схему відбортовки еластичним середовищем по формблоку.
27. Зобразити технічну схему відбортовки по пуансону.
28. Записати визначення операції «гнуття». Показати розподіл меридіональних напружень у перерізі листа.
29. Зобразити технічну схему двокутового згинання.
30. Зобразити технічну схему роздільних операцій.
31. Зобразити принципову схему гільйотинних ножиць. Виділити лінію розрізу.
32. Зобразити принципову схему різання дисковими ножицями. Виділити лінію розрізу.
33. Зобразити принципову схему різання віброножицями. Виділити лінію розрізу.
34. Записати залежність потрібного зусилля розрізу.
35. Записати визначення поняття «коефіцієнт використання матеріалу».
36. Зобразити приклади раціонального і нераціонального розкрою смуги при вирубці плоского куточка.

### **Запитання до модульного контролю 3**

1. Зобразити кінематичні схеми одно- і двокривошипних пресів.
2. Зобразити силовий потік, що реалізується при штампуванні на гідравлічному пресі.
3. Назвати технічні характеристики листоштампувальних пресів.
4. Схематично зобразити штампове оснащення і прикладені сили при роботі двоходових пресів.
5. Зобразити принципову схему технічного блока пресів для штампування еластичним середовищем і рідиною.
6. Зобразити принципову схему штампування на електрогідравлічних пресах.
7. Зобразити принципову схему вирубного штампа.
8. Пояснити призначення напрямних колонок і опорних плит.
9. Якими способами гальмують зайве переміщення фланця деталі?
10. Записати формулу визначення штучно-калькуляційного часу.
11. Записати залежність собівартості деталі від параметрів технологічного процесу.

12. Зобразити графічний метод визначення ефективного технологічного процесу залежно від обсягу випуску деталей.

13. Дати визначення поняття «технологічність деталі».

14. Перелічіть параметри, які визначають технологічність листової деталі.

15. Поясніть, чи залежить технологічність від способу виготовлення деталі.

16. Запишіть раціональні (за обсягами випуску) області виготовлення деталей на механічних, гідравлічних і електрогідравлічних пресах.

17. Чому відрізняється вартість штампового оснащення, яке використовується на одноходових, двоходових механічних пресах і електрогідравлічних пресах?

### **Теми для самостійного вивчення**

1. Загальні вимоги до точності та якості листових деталей та автокузовних панелей.

2. Методи контролю якості автокузовних панелей.

3. Загальні вимоги до технологічності автокузовних панелей.

4. Сучасні матеріали для автокузовних панелей.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Тараненко, М. Е. Особенности изготовления кузовов автомобилей [Текст] : учеб. пособие / М. Е. Тараненко, А. В. Маковецкий. – Харьков : ХАИ, 2016. – 56 с.
2. Тараненко, М. Е. Квалиметрия в листовой штамповке [Текст] : учебник / М. Е. Тараненко, А. В. Маковецкий. – Харьков : ХАИ, 2015. – 133 с.
3. Попов, Е. А. Технология и автоматизация листовой штамповки [Текст] / Е. А. Попов, В. Г. Ковалев, И. Н. Шубин. – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. – 480 с.
4. Романовский, В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение, 1971. – 782 с.
5. Тараненко, М. Е. Система технологий в машиностроении: консп. лекций. В 2 ч. Ч. 1 / М. Е. Тараненко. – Харьков : ХАИ, 2002. – 99 с.
6. Тараненко, М. Е. Система технологий в машиностроении : консп. лекций. В 2 ч. Ч. 2 / М. Е. Тараненко. – Харьков : ХАИ, 2003. – 99 с.
7. Тараненко, М. Е. Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы [Текст] : монография. В 2 ч. / М. Е. Тараненко. – Харьков : ХАИ, 2011. – 272 с.
8. Попов, Е. А. Основы теории листовой штамповки [Текст] : Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 278 с.
9. Исаченков, Е. И. Штамповка резиной и жидкостью [Текст] : Е. И. Исаченков. – М. : Машиностроение, 1967. – 367 с.
10. Рей, Р. І. Ковальсько-штампувальне обладнання. Преси кривошипні [Текст] / Р. І. Рей, С. С. Монетовський. – Луганськ : Вид-во СНУ, 2000. – 176 с.
11. Quintus flexform. Sheet metal forming. ABB Metallurgy // Pamphlet A08-4003E. Printed in Sweden 1990-08. – P. 14–30.
12. Stefan Nilsson (ABB Industrial Systems Inc.). Prototype Low-Volume Fabrication of Automotive Sheet Metal Parts Applying Flexforming. – Detroit, Michigan, February 27 – March 3, 1989. – P. 21–45.
13. Quintus fluid Form Deep-Draw Presses. Michigan Göransson (Quintus Sheet Metal Forming Department ABB Metallurgy AB), Flexair'90, at Deutsche Airbus. – Bremen, November Band 14, 1990. – P. 4–28.
14. Серепьев, В. В. Опыт построения вытяжных переходов для облицовочных деталей автомобилей [Текст] / В. В. Серепьев. – М. : Гостехиздат, 1958. – 96 с.
15. Ровинский, Г. Н. Штамповка крупногабаритных деталей в автомобильной промышленности [Текст] / Г. Н. Ровинский. – М. ; Л. : Машгиз, 1962. – 76 с.

16. Электрогидравлическая штамповка деталей кузовов специальных микроавтобусов [Текст] / В. К. Борисевич [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. – 1996. – № 12. – С. 27–30.

17. Якупов, В. А. Технологическое обеспечение изготовления крупногабаритных деталей кузова автомобиля в опытном и мелкосерийном производстве [Текст] / В. А. Якупов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2004. – № 5. – С. 19–21.

18. Войтків, С. В. Уніфікація технологічної оснастки при штамповці автобусних кузовів [Текст] / С. В. Войтків // Вісн. Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – Кременчук : КДПУ. – 2004. – Вип. 4 (27). – С. 87–89.

19. Современные технологии самолетостроения [Текст] / под ред. А. Г. Братухина, Ю. Л. Иванова. – М. : Машиностроение, 1999. – 832 с.

20. Сайт фірми ZDAS [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.zdas.com/> – 20.11.2019 р.

21. Любченко, А. А. Конструирование штампов и горячая листовая штамповка [Текст] / А. А. Любченко. – Л. : Машиностроение, 1974. – 480 с.

22. Технология металлов и сварка [Текст] : учеб. для вузов / под ред. П. И. Полухина. – М. : Высш. шк., 1977. – 464 с.

23. ГОСТ 15.000-82. Система разработки и постановки продукции на производство. Общие положения [Текст]. – Введ. 01.09.85. – М. : Изд-во стандартов, 1082. – 50 с.

24. Терминология системы разработки и постановки продукции на производство [Текст] : справочник / А. А. Воксман [и др.]. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 56 с.

Навчальне видання

**Тараненко Михайло Євгенович**

## **ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АВТОКУЗОВНИХ ПАНЕЛЕЙ**

Редактор Н. М. Сікульська

Зв. план, 2020

Підписано до друку 19.05.2020

Формат 60×84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 6,2. Обл.-вид. арк. 7. Наклад 50 пр.

Замовлення 117. 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](mailto: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